

ISSN: 1412-3258

PROSIDING
**SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR
2018**

Malang, 2 Agustus 2018

**Tema: Peningkatan Optimisasi Proteksi Radiasi
dalam Pengawasan Ketenaganukliran
yang Terpadu**



Diselenggarakan Oleh:
Badan Pengawas Tenaga Nuklir dan Universitas Brawijaya

SEKRETARIAT PANITIA

P2STPFRZR - Badan Pengawas Tenaga Nuklir

Jl. Gajah Mada No. 8 Jakarta 10120

Telp/Fax (021) 6302131

FMIPA - Universitas Brawijaya

Jalan Veteran Malang 65145

Telp/Fax (0341) 554403

ISSN: 1412-3258

PROSIDING
SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR

Malang, 2 Agustus 2018

**Tema : Peningkatan Optimisasi Proteksi Radiasi
dalam Pengawasan Ketenaganukliran
yang Terpadu**



Diselenggarakan Oleh:
Badan Pengawas Tenaga Nuklir dan Universitas Brawijaya

SEKRETARIAT PANITIA

P2STPFRZR-Badan Pengawas Tenaga Nuklir

Jl. Gajah Mada No. 8 Jakarta 10120
Telp/Fax (021) 6302131

FMIPA - Universitas Brawijaya

Jalan Veteran Malang 65145
Telp/Fax (0341) 554403

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warohmatullahi Wabarokaatuh
Selamat datang di Seminar Keselamatan Nuklir 2018.

Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena pada hari ini tanggal 2 Agustus 2018, bertempat di Gedung Widyaloka, Universitas Brawijaya (UB), Malang, dapat dilaksanakan Seminar Keselamatan Nuklir (SKN) Tahun 2018 dengan tema “Peningkatan Optimisasi Proteksi Radiasi dalam Pengawasan Ketenaganukliran yang Terpadu”. Dengan tema ini, diharapkan komunikasi antara BAPETEN, stakeholder dan masyarakat dapat terjalin dengan lebih baik sehingga terbangun kesepahaman dalam mencapai tujuan pengawasan tenaga nuklir yaitu menjamin keselamatan pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup.

SKN memiliki visi mengenalkan bidang ketenaganukliran kepada *stakeholder* dan masyarakat yang lebih luas seperti instansi pemerintah, akademisi, pemerhati, dan asosiasi profesi sehingga pengawasan ketenaganukliran dapat menjadi isu nasional. Untuk mencapai visi tersebut, tahun 2018 ini BAPETEN bekerjasama dengan Universitas Brawijaya dalam penyelenggaraan SKN sehingga keterlibatan pihak universitas menjadi lebih aktif.

SKN Tahun 2018 yang terselenggara atas kerjasama BAPETEN dengan UB ini dihadiri oleh 300 orang peserta yang berasal dari berbagai instansi pemerintah, universitas, pemerhati dan asosiasi profesi yang merupakan pemangku kepentingan yang tersebar di Indonesia. Dalam SKN ini diundang pembicara kunci dari Menteri Ristek dan Dikti, pembicara tamu dari IAEA dan UB, serta para penyaji makalah. Dari 107 makalah yang masuk, terpilih sebanyak 73 makalah dengan 32 makalah disajikan secara oral dan 41 makalah disajikan dalam poster.

Di akhir kata, kami ucapkan terima kasih kepada seluruh panitia yang telah berupaya semaksimal mungkin untuk terselenggaranya acara ini. Tidak lebih penting, kami ucapkan terima kasih kepada para pejabat dan jajarannya di lingkungan BAPETEN dan UB, pemakalah yang telah berpartisipasi serta para pembicara yang telah memenuhi undangan kami.

Kami sebagai panitia penyelenggara mohon maaf apabila terdapat kekurangan dalam pelaksanaan acara ini.

Wassalamu'alaikum Warohmatullahi Wabarokaatuh

Malang, 2 Agustus 2018



Dr. Syahrir, M.Sc
Ketua Panitia

SUSUNAN PANITIA

LAMPIRAN

KEPUTUSAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR

NOMOR : 0653 /K/III/2018

TENTANG PANITIA SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2018

PANITIA SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2018

PENGARAH	:	Prof. Dr. Jazi Eko Istiyanto, M.Sc., IPU	BAPETEN
		Dr. Khoirul Huda, M.Eng	BAPETEN
		Drs. Hendriyanto Hadi Tjahyono, M.Si	BAPETEN
		Prof. Dr. Ir. Nuhfil Hanani AR, M.S	UB
PENANGGUNGJAWAB	:	Dr. Eng. Yus Rusdian Akhmad	BAPETEN
		Drs. Adi Susilo, Ph.D	UB
PENYELENGGARA			
	Ketua	: Dr. Syahrir, M.Sc	BAPETEN
Wakil Ketua	:	1. Zalfy Hendry Eka Putra, MT	BAPETEN
		2. Chomsin Sulistya Widodo, Ph.D	UB
Sekretariat	:	1. Diella Ayudhya Susanti, MIL	BAPETEN
		2. Nurhadiansyah, ST	BAPETEN
		3. Iswandarini	BAPETEN
		4. Moekhammad Alfijan, MT	BAPETEN
		5. Rahmat	BAPETEN
		6. Fiqri Munajat Aidid, SE	BAPETEN
		7. Surakhman, MM	UB
		8. Sukir Maryanto, Ph.D	UB
Sie Persidangan			
Koordinator	:	Ardhiantoro Setya Purnomo, SST	BAPETEN
Anggota		1. Rusmanto, M.Si	BAPETEN
		2. Intanung Syafitri, S.Si	BAPETEN
		3. Ida Bagus Gede Putra Pratama, S.Si	BAPETEN
		4. Noviazida, SE	BAPETEN
		5. Indah Annisa, M.Si	BAPETEN
		6. Kuspriyanto, S.Sos	BAPETEN
		7. Ahmad Nadhir, Ph.D	UB
		8. M. Gufron, M.Si	UB

Sie Perlengkapan

Koordinator	:	Eny Erawati, ST	BAPETEN
Anggota		1. Wawan Susanto, SST	BAPETEN
		2. Liya Astuti, M.Sc	BAPETEN
		3. Dra. Leily Savitri	BAPETEN
		4. Deni Agus Darmawan	UB
		5. Purnomo	UB

Sie Dokumentasi

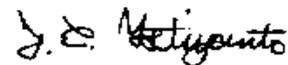
Ilmiah dan Prosiding

Koordinator	:	Werdi Putra Daeng Beta, MKKK	BAPETEN
Anggota		1. Endang Kunarsih, M.Si	BAPETEN
		2. Sudarto, M.Eng	BAPETEN
		3. Gancang Saroja, MT	UB
		4. Nur Wahid Muhsinin	UB
		5. Pitoyo Widhi Atmoko, M.Si	UB

PENILAI MAKALAH

Koordinator	:	Ishak, M.Si	BAPETEN
merangkap Anggota			
Penilai			
Anggota Penilai		1. Dr. Ing. Sihana	UGM
		2. Prof. Abdul Waris	ITB
		3. Supriyanto A. Pawiro, M.Si, Ph.D	UI
		4. Drs. Johan Andoyo Effendi Noor, Ph.D	UB
		5. Dr. Dadong Iskandar	BATAN
		6. Drs. Azhar, M.Sc	BAPETEN
		7. Ir. Budi Rohman M.Sc.	BAPETEN
		8. Dr. Azizul Khakim	BAPETEN
		9. Drs. Reno Alamsyah, M.Sc	BAPETEN

KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR,



Prof. Dr. Jazi Eko Istiyanto, M.Sc., IPU

NIP. 196110181988031001

**AGENDA
SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2018**

“Peningkatan Optimisasi Proteksi Radiasi dalam Pengawasan Ketenaganukliran yang Terpadu”

Gedung Graha Widyaloka Universitas Brawijaya, Malang, 2 AGUSTUS 2018

WAKTU	AGENDA	KETERANGAN
08.00 – 08.30	Registrasi	Panitia
08.30 – 09.00	Pembukaan: 1. Laporan Panitia 2. Sambutan 1 3. Sambutan 2 4. Pembukaan	1. Dr. Syahrir, M.Sc (Ketua Panitia) 2. Prof. Dr. Ir. Nuhfil Hanani AR, M.S (Rektor UB) 3. Prof. Dr. Jazi Eko Istiyanto, M.Sc, IPU (Kepala BAPETEN) 4. Prof. H. Mohamad Nasir, Ph.D., Ak (Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi)
09.00 – 09.30	Pembicara Kunci	Prof. H. Mohamad Nasir, Ph.D., Ak.
09.30 – 09.45	REHAT KOPI (Press Conference)	
09.45 – 10.15	Pembicara 1 : International Basic Safety Standards: Key Issues in Radiation Protection	Tony Colgan IAEA Moderator Pembicara 1: Dra. Taruniyati Handayani, M.Sc
10.15 – 10.45	DISKUSI SESI 1	
10.45 – 11.15	Pembicara 2 : BAPETEN “Menyongsong Industri 4.0”	Prof. Dr. Jazi Eko Istiyanto, M.Sc, IPU Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir
11.15 - 11.45	Pembicara 3 : Peran Perguruan Tinggi dalam Pengembangan Ketenaganukliran di Indonesia	Drs. Adi Susilo, M.Si., Ph.D Dekan Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya Moderator Sesi 2: Drs. Johan Andoyo Effendi Noor, Ph.D
11.45 – 12.15	DISKUSI SESI 2	
12.15 – 13.15	ISHOMA	

WAKTU	AGENDA		KETERANGAN	
13.15 – 13.30	Presentasi POSTER sesi 1			
13.30 – 15.45	Presentasi ORAL (FRZR 1)	Presentasi ORAL (FRZR 2)	Presentasi ORAL (IBN)	Presentasi ORAL (Umum)
	OA1 (10')	OA9 (10')	OB1 (10')	OC1 (10')
	OA2 (10')	OA10 (10')	OB2 (10')	OC2 (10')
	OA3 (10')	OA11 (10')	OB3 (10')	OC3 (10')
	OA4 (10')	OA12 (10')	Diskusi(15')	OC4 (10')
	Diskusi 15')	Diskus (15')	OB4 (10')	Diskusi(15')
13.30 – 15.45	Presentasi ORAL (FRZR 1)	Presentasi ORAL (FRZR 2)	Presentasi ORAL (IBN)	Presentasi ORAL (Umum)
	OA5 (10')	OA13 (10')	OB5 (10')	OC5 (10')
	OA6 (10')	OA14 (10')	OB6 (10')	OC6 (10')
	OA7(10')	OA15 (10')	Diskusi (15')	OC7(10')
	OA8(10')	OA16 (10')	OB7 (10')	Diskusi(15')
	Diskusi(15')	Diskusi(15')	OB8 (10')	
			OB9 (10')	
			Diskusi(15')	
15.45 – 16.00	Presentasi POSTER sesi 2			
16.00 – 16.30	REHAT KOPI			
16.30 – 17.00	Penutupan : 1. Perumusan 2. Penutupan		1. Ketua Panitia 2. Dr. Eng. Yus Rusdian Akhmad (Deputi Pengkajian Keselamatan Nuklir BAPETEN)	

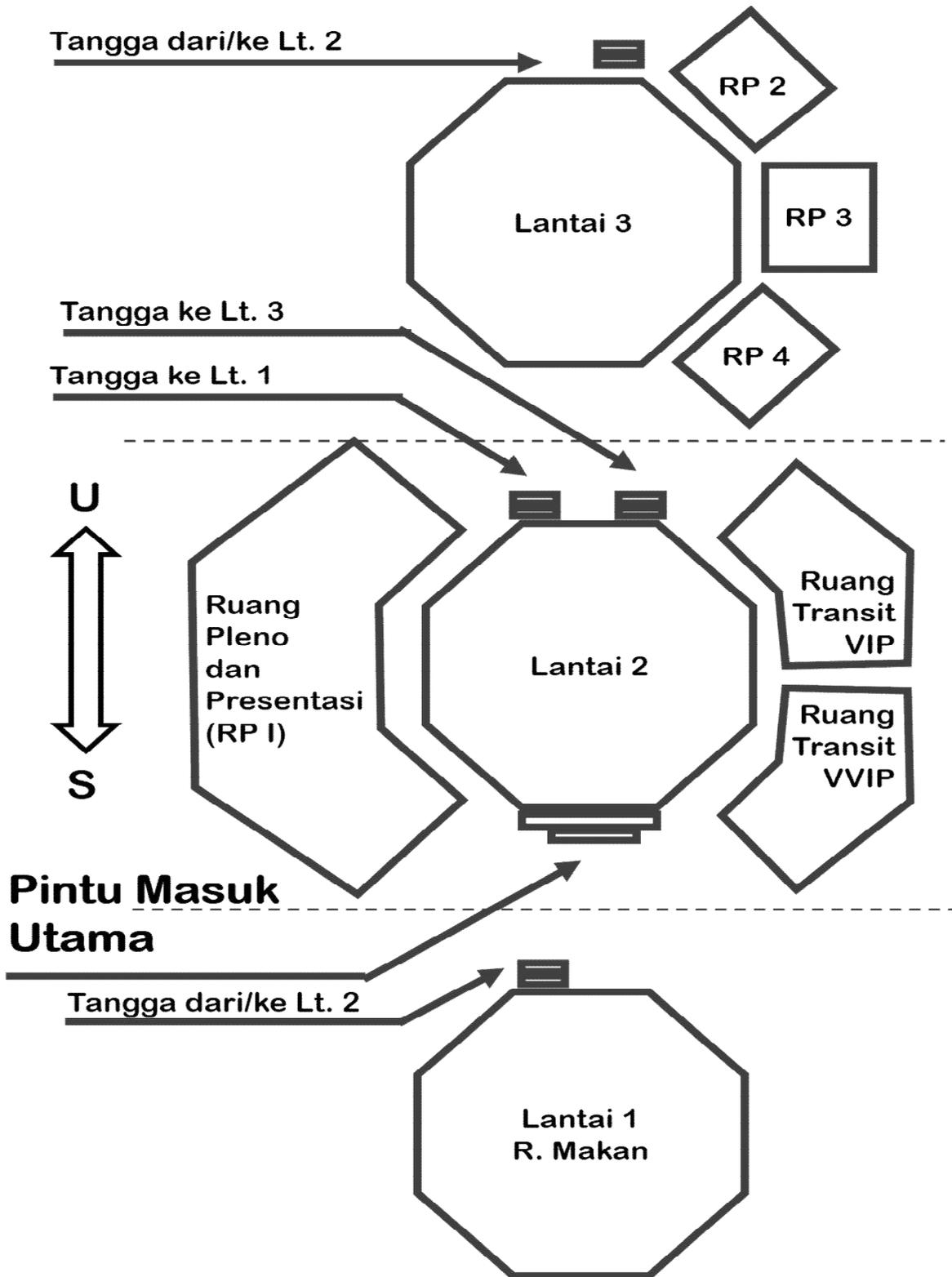
KETENTUAN PENYAJIAN MAKALAH

1. Penyaji makalah melakukan registrasi pada petugas registrasi sebelum acara dimulai dengan menyerahkan:
 - a. Untuk penyaji oral, makalah dalam bentuk file PDF dan berkas bahan presentasi
 - b. Untuk penyaji poster sesuai dengan ketentuan.
2. Panitia akan memberikan kode poster yang telah ditentukan untuk penentuan posisi peletakan poster.
3. Selama sidang, penyaji makalah wajib mengenakan pakaian bebas dan rapi.

Khusus dalam penyajian makalah oral:

1. Setiap penyaji makalah masing-masing diberikan waktu presentasi selama 10 menit, sisa waktu yang tersedia digunakan untuk sesi tanya jawab.
2. Setiap pertanyaan yang diajukan peserta SKN wajib dituliskan dalam lembar formulir yang telah disediakan panitia.
3. Selain memberikan jawaban lisan, penyaji makalah wajib menyertakan jawaban secara tertulis yang diserahkan kepada panitia sebagai kelengkapan penerbitan prosiding.
4. Makalah yang diterbitkan dalam prosiding hanya makalah yang telah dipresentasikan oleh penulisdan telah diperbaiki sesuai masukan dari Tim Penilai Makalah.
5. Penyaji makalah adalah salah seorang dari penulis makalah.

DENAH LOKASI/RUANGAN
GRAHAWIDYALOKA UNIVERSITAS BRAWIJAYA



**DAFTAR PENYAJI MAKALAH
SIDANG ORAL**

Kelompok A:

Keselamatan dan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif dan Keamanan Sumber Radioaktif (FRZR)

Kode	Penyaji	Judul Makalah	Halaman
OA01	Wawan Susanto	Penentuan Nilai <i>Diagnostic Reference Level</i> (DRL) <i>CT-Scan</i> untuk Pemeriksaan Kepala dan Dada Pasien Dewasa	1
OA02	Liya Astuti	Kajian Regulasi untuk Pedoman Keselamatan Radiasi TENORM pada Industri Pertambangan Timah di Indonesia	7
OA03	Nurhadiansyah	Kajian Regulasi Keselamatan terkait Sumber Yatim pada Industri Besi Bekas di Indonesia	14
OA04	Iswandarini	Penerapan A3 (<i>Awareness, Appropriate, Audit</i>) dalam Upaya Peningkatan Justifikasi Paparan Medik	21
OA05	Nita Suhartini	Penggunaan Isotop Alam ^{137}Cs dan ^{210}Pb yang Ada di Lingkungan untuk Estimasi Laju Erosi/Deposisi di SubDAS Ciberang-Serang-Banten	27
OA06	Bimo Saputro	Pengembangan Pengatur Parameter Pesawat Sinar-X Medik Berbasis Arduino	34
OA07	Mahrus Salam	Penentuan Pembatas Dosis (<i>Dose Constraint</i>) di Pusat Sains dan Teknologi Akselerator (PSTA)	42
OA08	Endang Kunarsih	Skenario Penetapan dan Penerapan Pembatas Dosis di Fasilitas Kesehatan dalam Upaya Optimisasi Proteksi Radiasi Tahap Operasional	48
OA09	Hermawan Puji Yuwana	Tinjauan Pengaturan dalam Pengawasan Pemanfaatan Baterai Nuklir	57
OA10	Mukhlisin	Verifikasi Paparan Radiasi terhadap Desain Perisai Radiasi <i>Gamma Knife Radiosurgery</i>	66
OA11	Assef Firnando Firmansyah	Kalibrasi Luaran Berkas Foton 6 MV Tanpa <i>Flattening Filter</i> Dua Buah Pesawat Pemercepat Linier Varian Trilogy	75
OA12	Hermawan Candra	Pembuatan Sumber Standar ^{57}Co Bentuk <i>Rod</i> untuk Kedokteran Nuklir	81
OA13	Hermawan Puji Yuwana	Tinjauan Pengaturan Pengawasan terhadap Proteksi dan Keselamatan Radiasi Kegiatan Penambangan yang Menghasilkan TENORM	88
OA14	I Made Ardana	Kajian Teknologi <i>Boron Neutron Capture Therapy</i> (BNCT) dan Aspek Regulasinya	95
OA15	Haendra Subekti	Analisis Penggunaan Metode <i>T-Test</i> dalam Pengecekan Antara pada Alat Ukur <i>X-Ray Multimeter</i> untuk Uji	102

Kode	Penyaji	Judul Makalah	Halaman
		Kesesuaian	
OA16	Werdi Putra Daeng Beta	Tinjauan Aspek Etika dalam Proteksi Radiasi untuk Penggunaan Pencitraan Manusia Non-Medis di Indonesia	110

Kelompok B:

Keselamatan dan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, Keamanan Instalasi dan Bahan Nuklir (IBN)

Kode	Penyaji	Judul Makalah	Halaman
OB01	Agus Waluyo	Kajian Keselamatan dan Keamanan PLTN Terapung di Indonesia	115
OB02	Angga Kautsar	Penerapan Pendekatan Bertingkat dalam Peraturan Kepala BAPETEN tentang Keselamatan Operasi Reaktor Nondaya	123
OB03	Arifin Muhammad Susanto	Kajian Identifikasi Ketentuan Keselamatan Dalam Desain Teras Reaktor Daya	129
OB04	Zulfiandri	Tinjauan <i>Pre-Licensing</i> dalam Tahapan Perizinan Raktor Daya - Studi Kasus Kanada	139
OB05	Midiana Ariethia	Kajian terhadap Kemungkinan Ratifikasi Konvensi Pertanggungjawaban Kerugian Nuklir	146
OB06	Farid Noor Jusuf	Kajian Identifikasi untuk Pembentukan Peraturan Pemerintah tentang Ketentuan Keselamatan Pertambangan Bahan Galian Nuklir	153
OB07	Dwi Cahyadi	Studi Penggunaan Pendekatan Berbasis Kinerja pada Analisis Kerentanan Sistem Proteksi Fisik (SPF) Instalasi Nuklir	162
OB08	Diah Hidayanti Sukarno	Simulasi Numerik 3D Pendinginan Teras SAMOP	169
OB09	Sri Budi Utami	Kajian Teknis Pengawasan Pengelolaan Bahan Bakar Nuklir Bekas	175

Kelompok C:

Keselamatan dan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif, Keselamatan dan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, Keamanan Sumber Radioaktif, Keamanan Instalasi dan Bahan Nuklir (Umum)

Kode	Penyaji	Judul Makalah	Halaman
OC01	Reno Alamsyah	Tantangan dan Peluang Indonesia pada Pertemuan Tinjauan Ke-Delapan Konvensi Keselamatan Nuklir 2020	181

OC02	Donni Taufiq	Urgensi Penyidik Pegawai Negeri Sipil dalam Penegakan Hukum Pengawasan Pemanfaatan Tenaga Nuklir	188
OC03	Eny Erawati	Kajian Sistem Informasi Manajemen Keselamatan Radiasi TSA 1 - Infrastruktur Pengawasan	194
OC04	Liliana Yetta Pandi	Kajian Penerapan Analisis Dampak Peraturan dalam Penyusunan Peraturan Perundangan Ketenaganukliran	200
OC05	Reno Alamsyah	Evaluasi Peraturan Perundang-undangan Mengenai Kemandirian BAPETEN	208
OC06	Bagiyono	Manajemen Risiko Hilang Pengetahuan Nuklir di Pusdiklat BATAN	218
OC07	Indah Annisa	Tinjauan Dukungan Keamanan Nuklir dan Peran Kerjasama Internasional BAPETEN dalam Persiapan <i>Major Public Event</i> (MPE) Asian Games 2018	225

DAFTAR PENYAJI MAKALAH SIDANG POSTER

Kelompok A:

Keselamatan dan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif dan Keamanan Sumber Radioaktif (FRZR)

Kode	Penyaji	Judul Makalah	Halaman
PA01	Deddy Rusdiana	Identifikasi Potensi Bahaya Kerja pada Pelaksanaan Inspeksi Fasilitas Radiografi Industri sebagai Dasar Penyusunan Prosedur Pelaksanaan Inspeksi Berbasis Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)	232
PA02	Diella Ayudhya Susanti	Kajian Awal Keselamatan Radiasi Pemanfaatan Zirkonia pada Industri Abrasif di PT. X	237
PA03	Sulistyoningsih	Tinjauan Ketidaksihinggaan Dokumen Program Proteksi dan Keselamatan Radiasi untuk Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional dalam Proses Perizinan	244
PA04	Veronika Tuka	Kajian Keselamatan dan Kemanfaatan TENORM pada Industri Minyak dan Gas Bumi di Indonesia	249
PA05	Intanung Syafitri	Kajian Optimisasi Proteksi dan Keselamatan Radiasi Pasien Anak-anak pada Pemeriksaan <i>CT-Scan</i> Kepala	255
PA06	Nita Suhartini	Penggunaan Isotop ¹³⁷ Cs dan ²¹⁰ Pbex yang Ada di Lingkungan untuk Memperkirakan Asal Usul Sedimen di SubDAS Ciberang-Serang-Banten	261
PA07	Sudradjat	Peningkatan Kualitas Citra <i>Computed Radiography</i> (CR) Fuji dari <i>Pre-Processing</i> dengan Sistem Filtrasi Matlab	269
PA08	Adi Dradjat Noerwasana	Peningkatan Efektivitas Pengawasan Kinerja Keselamatan Radiasi Seiring dengan Deregulasi Persyaratan Izin	276

Kode	Penyaji	Judul Makalah	Halaman
		Pemanfaatan Sumber Radiasi Pngion	
PA09	Jhon Hadearon Saragih	Uptake Radioaktivitas Tc99m pada Daerah Lutut dan <i>Sacroilliac Joints</i> dari Pasien Kanker Prostat yang Dilakukan Pemeriksaan <i>Bone Scan</i>	283
PA10	Indragini	Penerapan Optimisasi Proteksi Radiasi dalam Kegiatan Praktikum Pelatihan: Kajian Pembatas Dosis bagi Peserta Pelatihan	291
PA11	Rini Marini	Analisis Uji Korelasi Karakteristik Pasien dengan Dosis Permukaan pada Pemeriksaan <i>CT Abdomen</i>	298
PA12	Rindy Panca Tanhindarto	Status Terkini Penelitian dan Pengembangan Iradiasi Pangan di Indonesia	308
PA13	Roy Candra Primarsa	Revolusi Pelayanan Perizinan dalam Berusaha pada Sektor Ketenaganukliran melalui Kerangka Integrated Sistem <i>Online Single Submission</i> (OSS) untuk Perizinan Pemanfaatan Tenaga Nuklir di Indonesia	319
PA14	Dewi Prima Meiliasari	Tinjauan Hukum Perpindahan Lintas Batas Limbah Radioaktif	324
PA15	Satria Prahara	Pengembangan Peraturan Ketenaganukliran dalam Rangka Mendukung Pembuatan Tingkat Panduan Paparan Medik Nasional	333
PA16	Supriatno	Analisis Keselamatan Pemanfaatan <i>Small-Size Electron Accelerator 7 MeV</i> (SEA-7) dalam Kegiatan Uji Tak Merusak	340
PA17	Leily Savitri	Kajian Paparan Radiasi yang Tidak Perlu (<i>Unnecessary Exposure</i>) pada Pasien Radiologi	350
PA18	Rini Indrati	Optimisasi Dosis Radiasi Pemeriksaan <i>CT Scan Thorax</i> dengan Pengaturan Delay Aktivasi Bolus Triggering (Studi di Instalasi Radiologi RSUD DR Moewardi)	358
PA19	Werdi Putra Daeng Beta	Penilaian Keselamatan Radiasi untuk Penggunaan Pencitraan Manusia Non-Medis di Lapas Banceuy Bandung	365
PA20	Ardhiantoro Setya Purnomo	Kajian Proteksi Radiasi Pemindai Barang Bagasi (Fluoroskopi Bagasi) di Pelabuhan, Bandara dan Hotel di Indonesia	370

Kelompok B:

Keselamatan dan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir dan Keamanan Instalasi dan Bahan Nuklir (IBN)

Kode	Penyaji	Judul Makalah	Halaman
PB01	Reno Alamsyah	Kajian Aspek Kepemimpinan dan Manajemen Keselamatan	375

Kode	Penyaji	Judul Makalah	Halaman
		untuk Usulan Perubahan Perka BAPETEN No. 4 Tahun 2010	
PB02	Manda Fermilia	Urgensi Penyusunan Peraturan Mengenai Sertifikasi Produk Nuklir	383
PB03	Nur Siwhan	Kajian Kemamputerapan, Kandungan dan Struktur Perka No. 6 Tahun 2008 tentang Evaluasi Tapak Reaktor Daya untuk Aspek Kejadian Eksternal Akibat Ulah Manusia	388
PB04	Wiryono	Strategi Reviu dan Penilaian Dokumen <i>Safety Case</i> Reaktor Daya Eksperimental	396
PB05	Wiryono	Reviu Penerapan Peraturan Dekomisioning Instalasi Nuklir di Indonesia	404
PB06	Imron	Kompetensi Dasar untuk Petugas Penghitung Teras Reaktor Non Daya	411
PB07	Arif Isnaeni	Perhitungan <i>Shutdown Margin (One Stuck Rod)</i> Reaktor Kartini menggunakan Program Komputer SCALE	416
PB08	Arif Isnaeni	Perhitungan Kritikalitas dalam rangka Kajian Konversi Reaktor Triga Pelat Bandung Menggunakan SCALE	422
PB09	Hidayati Amar	Analisis Spektrum Neutron Elemen Bakar TRIGA 2000 dan RSG - GAS dengan SRAC2006	427
PB10	Dedi Hermawan	Kajian Revisi Perka No. 10 Tahun 2006 tentang Pedoman Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan INNR	433
PB11	Catur Febriyanto Sutopo	Pentingnya Revisi terhadap Peraturan Kepala BAPETEN No. 10 Tahun 2006	440
PB12	Rahmat Edhi Harianto	Evaluasi dan Penilaian BAPETEN terhadap Aspek Safeguards pada Kegiatan SAMOP di Reaktor Kartini	446
PB13	Mohamat Mamat	Perlindungan Informasi Sensitif yang Terkait dengan Keamanan Nuklir di Indonesia	452
PB14	Azizul Khakim	Karakterisasi Produk Fisi Fasilitas Uji <i>Subcritical Assembly for Mo99 Production</i>	458
PB15	M. David Wahyu Permadi	Studi Aplikasi Inerting pada Pengembangan Kinerja <i>Apparatus Corrosion Test</i> Berpendingin Logam Cair Statis pada Material <i>Stainless Steel SS316: Tolacore Project</i>	464
PB16	Dina Wahyu Lestari	Kajian Numerik Pengaruh Fluks Panas terhadap Profil Temperatur dan Kecepatan Alir Air pada Sistem Pendinginan SAMOP	469
PB17	Dwi Cahyadi	Studi Perhitungan Kejadian Sabotase Sistem Proteksi Fisik pada Fasilitas Hipotetik Instalasi Nuklir Menggunakan Metode EASI	476

Kelompok C:

Keselamatan dan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif, Keselamatan dan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, Keamanan Sumber Radioaktif, Keamanan Instalasi dan Bahan Nuklir (Umum)

Kode	Penyaji	Judul Makalah	Halaman / Keterangan
PC01	Ronida	Kajian Faktor-faktor yang Penting dalam Realisasi Anggaran Kegiatan BAPETEN Periode Tahun Anggaran 2015-2017	485
PC02	Astri Indriasih W.	Tinjauan Efektivitas Kerja Sama Bilateral BAPETEN Periode 2012 - 2017	Penyaji tidak hadir dalam SKN 2018
PC03	Diana Ratnasari	Sistem Pengamanan Nuklir pada <i>Major Public Event</i> di ASIAN Games 2018 Jakarta Palembang	491
PC04	Hermawan Puji Yuwana	Strategi Pengembangan Arsitektur Deteksi Keamanan Nuklir	497

OA01

PENENTUAN NILAI *DIAGNOSTIC REFERENCE LEVEL* (DRL) CT-SCAN UNTUK PEMERIKSAAN KEPALA DAN DADA PASIEN DEWASA

Wawan Susanto

Badan Pengawas Tenaga Nuklir-BAPETEN

e-mail: wawan.sst@gmail.com

ABSTRAK

Diagnostic Reference Level (DRL) merupakan besaran dosis yang ditetapkan dan menjadi acuan dalam mengidentifikasi penerimaan dosis radiasi tinggi yang diterima oleh pasien untuk jenis pemeriksaan tertentu dan jika terlampaui diperlukan revaluasi terhadap metode pemeriksaan dan menentukan kualitas citra dapat diterima pada dosis yang rendah. DRL bertujuan untuk meningkatkan proteksi radiasi pasien melalui pemberian dosis serendah mungkin dengan kualitas citra seoptimal mungkin. Perhitungan atau penentuan nilai DRL didasarkan pada pengukuran dosis pasien dalam kondisi tertentu atau phantom standar pada fasilitas kesehatan yang representatif. Nilai DRL ditetapkan pada sekitar persentil ke-75 dari pengukuran dosis pasien atau data phantom. Hal ini berarti bahwa prosedur yang dilakukan pada 75% dari fasilitas kesehatan yang disurvei memiliki tingkat dosis berada pada nilai DRL atau dibawahnya. Data dosis yang digunakan untuk menentukan nilai DRL dalam kajian ini menggunakan data sekunder dari aplikasi Sistem Informasi Data Dosis Pasien (Si-INTAN) pada tahun 2017. Data dosis pasien terdiri atas data dosis pemeriksaan kepala dewasa dengan jumlah 390 pasien dari 39 Rumah Sakit dan data dosis pemeriksaan dada dewasa dengan jumlah 90 pasien dari 9 Rumah Sakit. Dari kajian ini diperoleh nilai DRL untuk pemeriksaan kepala dewasa CTDI_w = 63 mGy; DLP = 1371 mGy.cm dan pemeriksaan dada dewasa CTDI_w = 14 mGy; DLP = 919.75 mGy.cm dan nilai ini akan diusulkan sebagai nilai DRL Nasional. Agar DRL berfungsi efektif maka DRL harus direvisi dan dimutakhirkan berdasarkan data survei terbaru sehingga dapat mencerminkan perubahan dalam teknologi dan praktik secara nasional.

Kata kunci: DRL, Dosis Pasien, Kuartil 3.

ABSTRACT

Diagnostic Reference Levels (DRLs) are the assigned dose amounts and are reference in identifying the acceptable high-dose radiation received by the patient for certain types of examination and if exceeded it is necessary to review the inspection method and determine the acceptable quality of the image at low doses. DRL aims to improve patient radiation protection by providing the lowest possible dose with optimum image quality. The calculation or determination of the DRL value is based on measuring the dose of the patient under certain conditions or standard phantom on a representative health facility. The DRL value is set at around the 75th percentile of a patient dose measurement or phantom data. This means that procedures performed on 75% of health facilities surveyed have dose levels at DRL or below. The dose data used to determine the DRL value in this study used secondary data from the Patient Data Information System (Si-INTAN) application in 2017. The patient dose data consisted of adult headache dose data with 390 patients from 39 hospitals and data dose of adult chest examination with jumlah 90 patients from 9 hospitals. From this study obtained DRL value for adult head examination CTDI_w = 63 mGy; DLP = 1371 mGy.cm and adult breast examination CTDI_w = 14 mGy; DLP = 919.75 mGy.cm and this value will be proposed as the National DRL value. For DRL to work effectively DRL must be updated and updated based on the latest survey data so as to reflect changes in technology and practices nationwide.

Keywords: DRL, Patient Dose, Quartile 3.

PENDAHULUAN

Pemanfaatan radiasi untuk kesehatan di Indonesia menunjukkan adanya peningkatan yang signifikan, hal tersebut dapat diketahui dari semakin banyaknya modalitas sumber radiasi pengion yang digunakan dan jenis tindakan medis yang dilakukan dengan bantuan radiasi. Salahsatunya modalitas CT-Scan. Penggunaan modalitas radiasi tersebut harus dilakukan pengawasan untuk menjamin proteksi dan keselamatan pekerja, pasien, dan masyarakat.

Perlindungan terhadap pasien dari dosis yang berlebih (*unnecessary*) harus menjadi konsentrasi utama pada pasien yang menjalani pemeriksaan CT-Scan. Sebagaimana diketahui bahwa pemeriksaan pasien dengan CT-Scan memiliki potensi dosis yang diterima lebih besar dari penggunaan modalitas lain.

Semua pemanfaatan tenaga nuklir di Indonesia wajib memenuhi persyaratan keselamatan radiasi seperti yang tercantum dalam Pasal 4 Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif. Perlu diketahui bahwa PP tersebut salah satu peraturan yang mengatur keselamatan radiasi terhadap pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup, keamanan sumber radioaktif dan inspeksi dalam pemanfaatan tenaga nuklir. Sedangkan Pasal 21 menyatakan bahwa salah satu persyaratan keselamatan radiasi adalah persyaratan proteksi radiasi yang meliputi justifikasi pemanfaatan tenaga nuklir, limitasi dosis, dan optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi[1].

Manfaat yang diperoleh harus lebih banyak dari risiko yang ditimbulkan merupakan prinsip dasar azas justifikasi pemanfaatan tenaga nuklir, sedangkan limitasi dosis wajib diberlakukan untuk paparan pekerja dan paparan masyarakat yang dapat diterapkan melalui nilai batas dosis. Di lain pihak, azas optimisasi proteksi harus mengupayakan agar besarnya dosis yang diterima individu menjadi serendah mungkin dengan mempertimbangkan faktor sosial ekonomi. Ketiga azas ini merupakan butir yang perlu diperhatikan.

Praktisi medik wajib menggunakan *Diagnostic Reference Level (DRL)* pada saat melaksanakan prosedur radiologi diagnostik dan intervensional untuk mengoptimalkan proteksi terhadap pasien. DRL berguna dalam membantu menghindari penerimaan dosis tinggi yang tidak perlu bagi pasien akibat adanya ketidaktepatan dosis yang diberikan pada pasien. DRL merupakan besaran dosis yang ditetapkan dan menjadi acuan dalam mengidentifikasi penerimaan dosis radiasi tinggi yang diterima oleh pasien untuk jenis pemeriksaan tertentu dan jika terlampaui diperlukan revaluasi terhadap metode pemeriksaan dan menentukan kualitas citra dapat diterima pada dosis yang rendah. DRL bertujuan untuk meningkatkan proteksi radiasi pasien melalui pemberian dosis serendah mungkin dengan kualitas citra seoptimal mungkin. Perhitungan atau penentuan nilai DRL didasarkan pada pengukuran dosis pasien dalam kondisi tertentu atau phantom standar pada fasilitas kesehatan yang representatif. Nilai DRL ditetapkan pada sekitar persentil ke-75 (kuartil ke-3) dari pengukuran dosis pasien atau data phantom. Hal ini berarti bahwa prosedur yang dilakukan pada 75% dari fasilitas kesehatan yang disurvei memiliki tingkat dosis berada pada nilai DRL atau dibawahnya [2].

Penyusunan DRL biasanya data ditetapkan pada kuartil-3 (Q3) dalam distribusi nasional. Dengan demikian maka DRL bukan merupakan dosis optimal, DRL dapat membantu dalam mengidentifikasi praktik yang berpotensi di luar kebiasaan. Untuk mendapatkan DRL Nasional, maka dilakukan perhitungan melalui penyeleksian data yang tersedia dari profil estimasi dosis pasien dari konsol peralatan. Seleksi dilakukan dengan mengambil data terbaik yang mempunyai simpangan kecil, maka data yang mempunyai frekuensi kecil dengan simpangan besar akan tereliminasi, maka DRL akan diasumsikan sebagai data terbanyak di daerah terbatas dengan tingkat kepercayaan tertentu.

Sebagai salah satu upaya optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi untuk pasien yang menjalani prosedur radiologi diagnostik dan intervensional, BAPETEN menyediakan Sistem Informasi Data Dosis Pasien (Si-INTAN). Si-INTAN merupakan sistem aplikasi database berbasis web dan merupakan wujud dari program pemantauan dosis pasien atau sistem manajemen dosis pasien[3].

Sampai saat ini, Indonesia belum memiliki profil atau gambaran mengenai DRL di fasilitas

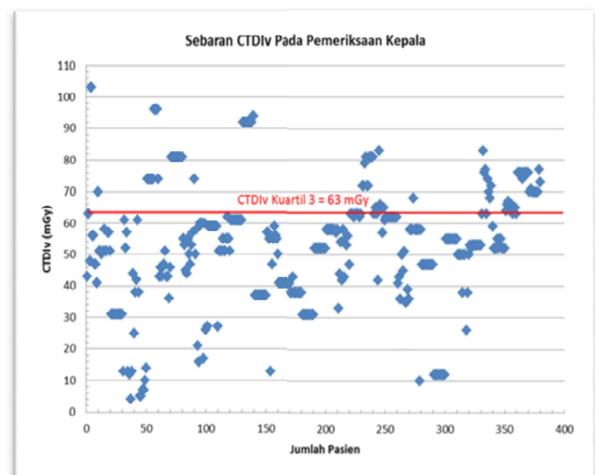
radiologi diagnostik dan intervensional untuk modalitas CT-Scan. Oleh karena itu, dalam kajian ini dilakukan bagaimana cara menentukan nilai DRL CT-Scan untuk pemeriksaan kepala dan dada pasien dewasa secara nasional. Sehingga BAPETEN sebagai badan pengawas dapat menyediakan profil DRL yang baru untuk modalitas CT-Scan untuk pemeriksaan kepala dan dada pasien dewasa.

METODOLOGI

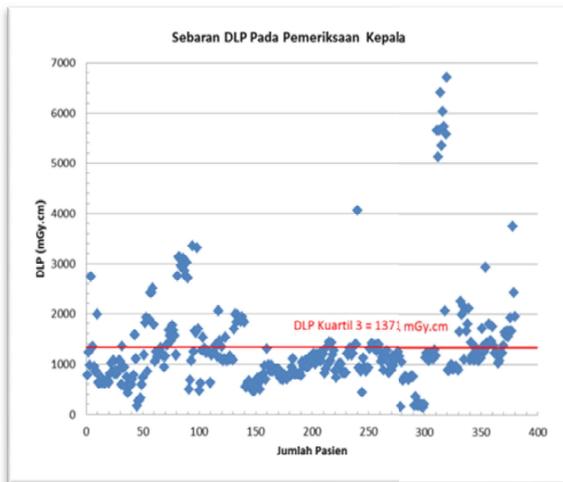
Metodologi yang digunakan dalam kajian ini dengan studi pustaka dan data sekunder. Telaah terhadap beberapa literatur mengenai DRL [2][4][6][7] dan menggunakan data sekunder yaitu data dosis pasien dari aplikasi Si-INTAN tahun 2017 untuk pemeriksaan kepala dan dada pada pasien dewasa. Data dosis pasien terdiri atas data dosis pemeriksaan kepala dewasa dengan jumlah 390 pasien dari 39 Rumah Sakit dan data dosis pemeriksaan dada dewasa dengan jumlah 90 pasien dari 9 Rumah Sakit. Data dosis pasien yang digunakan tersebut adalah data yang di input ke dalam aplikasi Si-INTAN dengan minimal data 10 pasien untuk setiap jenis pemeriksaan, namun jika data pasien memadai dapat diinput sebanyak 20 pasien [4]. Data yang telah terkumpul selanjutnya dilakukan pengolahan dan analisis dengan menentukan nilai kuartil ke-3 atau 75 persentil dari sebaran data. Nilai kuartil ke-3 itulah yang dijadikan sebagai DRL.

HASIL DAN PEMBAHASAN

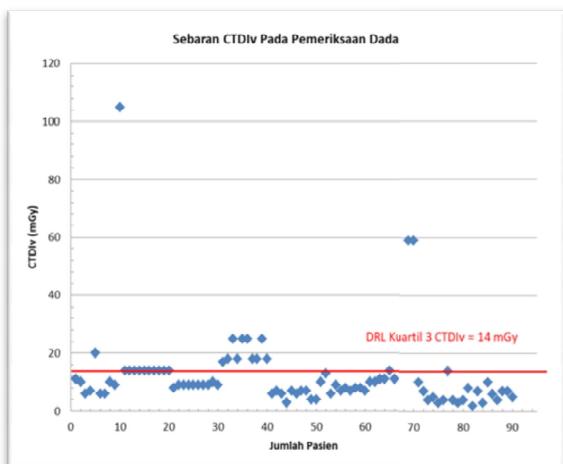
Berdasarkan data dari aplikasi Si-INTAN tahun 2017 dapat disajikan distribusi data dosis pasien CTDIV dan DLP untuk pemeriksaan kepala dan dada sebagaimana tersaji dalam gambar 1, 2, 3 dan 4.



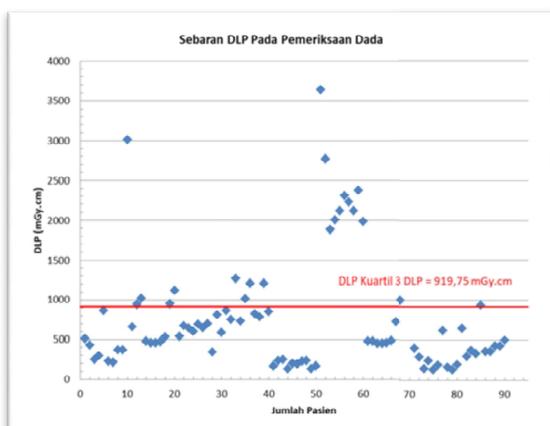
Gambar 1. Sebaran CTDIV pada pemeriksaan kepala



Gambar 2. Sebaran DLP pada pemeriksaan Kepala



Gambar 3. Sebaran CTDiv pada pemeriksaan Dada



Gambar 4. Sebaran DLP pada pemeriksaan Dada

Untuk mencari posisi Q3 dari sebaran data dosis pasien menggunakan rumus:

$$n_{q3} = \frac{3(n+1)}{4}$$

Sedangkan nilai Q3 dihitung menggunakan rumus:

$$X_{q3} = X_{a3} + \frac{1}{4}(X_{b,3} - X_{a,3})$$

Dimana:

n_{q3} = posisi kuartil ke-3

n = banyaknya data

X_{q3} = nilai kuartil ke-3

$X_{a,3}$ = pengamatan sebelum posisi kuartil ke-3

$X_{b,3}$ = pengamatan setelah posisi kuartil ke-3.

Dari hasil kalkulasi data diperoleh nilai DRL untuk pemeriksaan kepala dewasa CTDiv = 63 mGy; DLP = 1371 mGy.cm dan pemeriksaan dada dewasa CTDiv = 14 mGy; DLP = 919.75 mGy.cm. dari nilai Q3 tersebut yang akan menjadi nilai DRL. Nilai ini dapat dipergunakan sebagai acuan (*baseline*) pada pemeriksaan radiologi diagnostik dan intervensional. Artinya setelah nilai DRL ditetapkan maka nilai tersebut digunakan sebagai perbandingan dengan perkiraan dosis yang diterima pasien selama 1-2 tahun ke depan.

Dalam gambar 1, 2, 3 dan 4 diatas terdapat beberapa pemeriksaan yang dosisnya melebihi dari nilai DRL. Maka nilai yang lebih tersebut harus dievaluasi atau diinvestigasi apa yang menjadi penyebabnya dan dilakukan tindakan perbaikan. Misalnya: perbaikan prosedur atau SOP untuk faktor eksposi. Sehingga tidak akan terulang lagi untuk pemeriksaan yang mendatang. Demikian juga dengan reviu untuk teknologi yang baru dalam modalitas sinar-X, jika dapat meningkatkan nilai dari DRL. Dengan mengevaluasi dan menindaklanjuti temuan dosis yang melebihi DRL, maka data dosis pasien pada tahun berlakunya DRL tersebut akan mayoritas berada di bawah DRL dan untuk periode selanjutnya data dosis pada masa berlakunya akan digunakan untuk menetapkan nilai DRL berikutnya. Sehingga nilai DRL setelahnya akan lebih rendah dari DRL yang semula dan akan di ulang-ulang seterusnya.

Berikut hasil perhitungan nilai CTDiv dan DLP untuk nilai kuartil ke-3 (Q3) untuk pemeriksaan kepala dan dada pasien dewasa dibandingkan dengan nilai DRL dari Australia (ARPANSA), Malaysia dan Jepang disajikan dalam **Tabel 1**.

Tabel 1.Perbandingan Nilai CTDIv dan DLP untuk pemeriksaan kepala dan dada pasien dewasa Australia, Malaysia dan Jepang

Jenis Pemeriksaan	INDONESIA		AUSTRALIA [5]*		MALAYSIA [10]**		JEPANG [11]***	
	CTDIv (mGy)	DLP (mGy.cm)	CTDIv (mGy)	DLP (mGy.cm)	CTDIv (mGy)	DLP (mGy.cm)	CTDIv (mGy)	DLP (mGy.cm)
Kepala	63	1371	60	1000	46.8	1050	85	1350
Dada	14	919.75	15	450	19.9	600	15	550

Ket:

* <https://www.arpana.gov.au/research/surveys/national-diagnostic-reference-level-service/current-diagnostic-reference-levels/adult>

** *Malaysian Diagnostic Reference Levels In Medical Imaging (Radiology)(2013)*

*** Japan DRLs 2015 for Adult Computed Tomography

Pemilihan jenis pemeriksaan kepala dan dada pasien dewasa dilakukan karena modalitas CT-Scan memiliki potensi paparan radiasi yang tinggi terhadap pasien dan jumlah tindakan untuk pemeriksaan kepala dan dada merupakan paling banyak dilakukan diantara jenis pemeriksaan yang lain. Dari hasil kajian terlihat nilai dosis CTDIv dan DLP untuk jenis pemeriksaan kepala lebih besar nilai dosisnya jika dibandingkan dengan pemeriksaan dada. Hal ini disebabkan karena struktur organ anatomi tubuh yang berbeda.

Jika dibandingkan dengan nilai dosis CTDIv dan DLP dari negara Australia, Malaysia, dan Jepang nilai dosis CTDIv dan DLP Indonesia sedikit lebih tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa di Indonesia belum tersentuh adanya upaya optimisasi proteksi melalui DRL sehingga dibutuhkan sosialisasi dan pembinaan bagaimana cara melakukan optimisasi dengan DRL.

Dari Tabel 1 tersebut, juga dapat diperoleh gambaran bahwa negara Indonesia dan negara Jepang baru dalam tahap awal melangkah dalam upaya optimisasi, yaitu dengan menetapkan nilai DRL Nasional untuk pertama kali. Jadi nilai DRL tersebut baru dalam tahap implementasi, maka dapat dinyatakan bahwa nilai DRL Nasional tersebut merupakan gambaran atau potret awal dari paparan medik yang terjadi di negara masing-masing.

KESIMPULAN

Dari hasil kajian ini dapat disimpulkan bahwa nilai DRL untuk pemeriksaan kepala dewasa CTDIv = 63 mGy; DLP = 1371 mGy.cm dan pemeriksaan dada dewasa CTDIv = 14 mGy; DLP = 919.75 mGy.cm. Sehingga nilai yang didapatkan tersebut dapat diajukan sebagai nilai DRL untuk pasien dewasa secara nasional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada Kepala P2STPFRZR, Kabid Kajian Kesehatan, Tim I-DRL Si-INTAN P2STPFRZR dan stakeholder yang telah membantu dan mendukung

penulis, sehingga dapat menyelesaikan pembuatan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pengawas Tenaga Nuklir (2007), *Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif*.
- [2] *Acr–Aapm Practice Parameter For Diagnostic Reference Levels And Achievable Doses In Medical X-Ray Imaging*
- [3] P2STPFRZR (2018), *Manual Penggunaan Si-INTAN 2.0*.
- [4] European Commission (EC) (1999), *Radiation Protection Report 109, Guidance On Diagnostic Reference Levels (DRLs) for Medical Exposures*.
- [5] Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency (2018), <https://www.arpana.gov.au/research/surveys/national-diagnostic-reference-level-service/current-diagnostic-reference-levels/adult>
- [6] IAEA, Safety Standards (2014), *Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International basic Safety Standards, GSR Part 3*
- [7] ICRP Publication 135 (2017), *Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging*.
- [8] Badan Pengawas Tenaga Nuklir (2011), *Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional*.
- [9] P2STPFRZR (2016), *Pedoman Teknis Penyusunan DRL Nasional*.
- [10] Radiation Health and safety Section Engineering Services Division Ministry of Health Malaysia (2013), *Malaysian Diagnostic Reference Levels In Medical Imaging (Radiology)*.
- [11] Diagnostic Reference Levels Based in Latest Surveys in Japan (Japan DRLs 2015), <http://www.radher.jp/J->

NO	Nama penanya	Kode Makalah	Nama Penyaji	Pertanyaan dan Jawaban
1.	Kamilan Niam I.R. (STTN-BATAN)	OA01	Wawan Susanto (BAPET EN)	<p>1. Apakah perbedaan NBD, pembatas dosis, dan dose constraint dan DRL (Dose Reference Level)?</p> <p>Jawab:</p> <p>1. NBD adalah dosis tertinggi yg diperbolehkan oleh BAPETEN yg diterima oleh pekerja radiasi dan anggota masyarakat dlm waktu tertentu tanpa menimbulkan efek genetic dan somatic yg berarti. Sedangkan pembatas dosis adalah batas atas dosis pekerja radiasi dan anggota masyarakat yg tidak boleh melampaui NBD. DRL adalah tingkat panduan paparan medic adalah besaran dosis yg diterapkan dan menjadi acuan dlm mengidentifikasi penerimaan dosis radiasi tinggi yg diterima oleh pasien utk jenis pemeriksaan tertentu.</p>
2.	Hermawan Dwi S. (Universitas Brawijaya)	OA01	Wawan Susanto (BAPET EN)	<p>1. Pengukuran nilai CTDIV berasal dari software bawaan CT-Scan. Pada saat penentuan protocol pemeriksaan, sudah muncul nilai CTDI. Kemudian setelah pemeriksaan muncul juga nilai CTDI yg nilainya hamper sama. Pertanyaannya apakah nilai CTDI sudah mewakili nilai yg sebenarnya → termasuk factor alat ukur, bagaimana kalibrasinya?</p> <p>Jawab:</p> <p>1. Benar. Nilai CTI yg keluar sudah mewakili nilai yg sebenarnya. Tetapi harus dipastikan nilai CTDI nya apakah sudah diverifikasi dg nilai simpangan error < 20%. Jika belum dikalibrasi, maka nilai CTDI nya tidak bias digunakan utk data DRL. Karena nilai DRL sudh dipastikan nilai simpangan errornya < 20%</p>
3.	Risalatul Latifah (Univ. Airlangga)	OA01	Wawan Susanto (BAPET EN)	<p>1. Apakah penentuan DRL kepala dan thorak dpt digeneralisir? Artiya tidak dibedakan antara kontras dan non kontras?</p> <p>2. Apakah ada metode lain selain pengambilan data lampau pada profil dosis pasien? Misalnya, apakah valid menggunakan data LHU uji kesesuaian.</p> <p>3. Jika nantinya sudah ditetapkan nilai DL nasional, bagaimana jika DRL local melebihi nilai DRL nasional?</p> <p>Jawab:</p> <p>1. Iya, digeneralisir sama semua, dibedakan</p>

				<p>antara kontras dan non kontrassaat menggunakan DLP, sedangkan nilsi CTDIv tidak.</p> <ol style="list-style-type: none">2. Menurut saya masih valid dg menggunakan data dari LHU hasil UK dan nilai CTI nya memiliki simpangan errornya dibawah 20% antara tampilan konsol dengan hasil pengukuran.3. Tidak ada sanksi dari badan pengawas namun harus dievaluasi apa penyebab nilai DRL nya tinggi dan dilakukan tindakan perbaikan, missal dg perbaikan prosedur atau SOP utk factor ekposi.
--	--	--	--	---

OA02

KAJIAN REGULASI UNTUK PEDOMAN KESELAMATAN RADIASI TENORM PADA INDUSTRI PERTAMBANGAN TIMAH DI INDONESIA

Liya Astuti¹, Nurhadiansyah²,

^{1,2}*Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif BAPETEN*
e-mail: ¹l.astuti@bapeten.go.id, ²n.nurhadiansyah@bapeten.go.id

ABSTRAK

KAJIAN REGULASI KESELAMATAN RADIASI TENORM PADA INDUSTRI PERTAMBANGAN TIMAH DI INDONESIA Telah dilakukan penelaahan literatur untuk mengkaji keselamatan radiasi terkait TENORM (*Technologically Enhanced of Naturally Occurred Radioactive Materials*) di industri pertambangan timah. Industri pertambangan timah sebagai salah satu penghasil logam utama di Indonesia berpotensi menghasilkan paparan radiasi dari TENORM. Bangka merupakan penghasil timah utama di Indonesia. Selain keuntungan yang dihasilkan, terdapat potensi bahaya radiasi dari potensi TENORM dalam kegiatan pertambangan Timah. Selama ini peraturan mengenai TENORM telah diatur melalui Peraturan Kepala BAPETEN nomor 9 Tahun 2009, yang di dalamnya memuat mengenai analisis keselamatan radiasi yang merupakan kewajiban penghasil TENORM. Belum ada regulasi atau panduan spesifik untuk melaksanakan analisis keselamatan radiasi. Makalah ini menelaah karakteristik dalam industri pertambangan timah, utamanya pemrosesan mineral yang akan menjadi dasar disusunnya pedoman melakukan analisis keselamatan radiasi. Diperoleh hasil bahwa bahwa diperlukan adanya pedoman rinci mengenai bagaimana melakukan analisis keselamatan radiasi dengan survei penilaian resiko radiasi TENORM sebagai salah satu tahapannya. Aspek yang perlu dipertimbangkan dalam melakukan survei yaitu lokasi survei, sifat mineral dan pertambangan timah, persepsi masyarakat, standar dan norma yang berlaku di masyarakat dan praktik internasional yang dapat dijadikan acuan.

Kata kunci: keselamatan radiasi, TENORM, pertambangan, timah.

ABSTRACT

A literature review on safety assessment in tin mining industry has been conducted. Tin mining industry, as one of the ultimate mining industry in Indonesia has potential radiation exposure due to the TENORM, despite the profit obtained from the mining process. So far, the regulation on TENORM has been regulated in BAPETEN Chairman Regulation No. 9/2009, which contains the impact of safety which is the producer of TENORM. However, there are no specific regulations or guidelines for conducting the radiation safety analysis. This paper examines the characteristics in the tin mining industry, minerals that will form the basis for the drafting of the guidelines. The review also results in the aspects to be considered during the survei in determining the radiation risk, which will construct the radiation safety analysis document. Factors need to be considered in implementing the survei are the survei location, mineral and tin properties, societal understanding, standards and norms applicable in the society and international practice to be referenced in the guidance.

Keywords: radiation safety, TENORM, mining, tin.

PENDAHULUAN

Timah merupakan salah satu komoditi industri pertambangan yang terbesar di Indonesia. Salah satu pelaku industri pertambangan timah Indonesia yaitu PT Timah, Tbk[1]. Di balik manfaat ekonomi dari industri pertambangan timah, terdapat potensi bahaya. Salah satunya yaitu paparan radiasi dari *Technologically Enhanced of Naturally Occurred Radioactive Materials* (selanjutnya disingkat TENORM) yang dihasilkan dari pemrosesan timah.

Kegiatan dalam pertambangan timah yang potensial menambah paparan antara lain di *tailing*. Limbah timah memiliki aktivitas spesifik yang rendah namun memiliki volume yang besar, sehingga potensi terbesar dari kontaminasi limbah timah dapat berasal dari jalur eksternal melalui peralatan yang terkontaminasi radionuklida, maupun jalur internal jika terhirup atau tertelan. Personil yang terlibat

langsung dalam kegiatan industri pertambangan dapat terkena dampak dari TENORM. Oleh karena itu perhatian khusus diperlukan untuk melindungi pekerja dan masyarakat yang beraktivitas di area ini.

BAPETEN dalam menjamin keselamatan pekerja, masyarakat dan lingkungan telah menetapkan peraturan Kepala BAPETEN nomor 9 tahun 2009 mengenai intervensi terhadap paparan yang berasal dari TENORM (selanjutnya disingkat Perka 9/2009). Dalam peraturan tersebut penghasil TENORM dipersyaratkan untuk melakukan analisis keselamatan radiasi[3]. Namun demikian, belum ada regulasi atau panduan spesifik mengenai bagaimana melakukan analisis keselamatan radiasi, dan lebih spesifik lagi di industri pertambangan timah.

Makalah ini sendiri bertujuan untuk mengkaji kebutuhan disusun dan diterbitkannya pedoman

melakukan analisis keselamatan radiasi bagi penghasil TENORM di industri pertambangan timah.

METODOLOGI

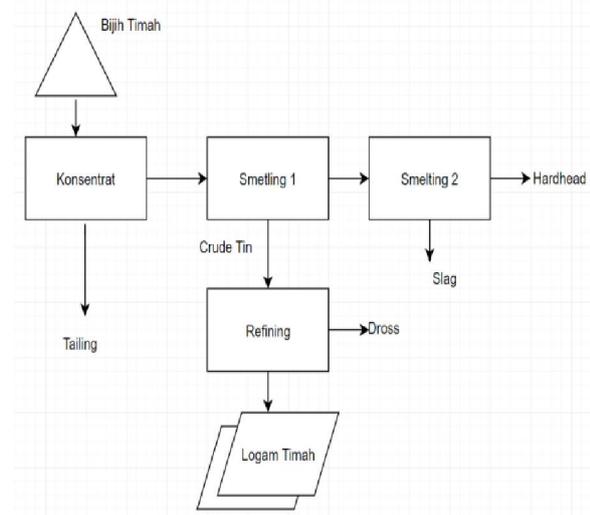
Metodologi yang dilakukan dalam makalah ini yaitu telaahan terhadap dokumen peraturan BAPETEN mengenai TENORM dan intervensinya. Selain itu, dilakukan juga studi literatur dengan substansi TENORM di industri pertambangan timah.

Analisis dilakukan dan kesimpulan diambil berdasarkan kebutuhan adanya panduan dan regulasi terkait proteksi radiasi, TENORM, dan pelaksanaan analisis keselamatan radiasi di bidang industri pertambangan timah.

TINJAUAN LITERATUR

TENORM dari industri Pertambangan Timah

Proses produksi timah diawali dengan pemrosesan bijih timah menjadi konsentrat melalui proses *washing/pencucian*, *screening*, *gravitationseparation*, *milling* dan *floatation separation* dengan hasil sampingan berupa *tailing*. Konsentrat akan diproses di *smelting* awal, yang akan menghasilkan *crude tin* untuk selanjutnya dimurnikan menjadi logam timah. Sementara proses *smelting* lanjutan akan menghasilkan *tinslag* [13,14]. Untuk lebih jelasnya, proses pengolahan timah pada industri pertambangan timah dapat dilihat di gambar 1 di bawah ini :



Gambar 1. Proses pengolahan timah secara umum, dalam industri pertambangan timah

TENORM yang dihasilkan dari industri pertambangan timah memiliki volume yang besar dan aktivitas rendah. TENORM tersebut merupakan hasil sampingan dari kegiatan industri pertambangan timah berupa *tinslag*, *monazite*, *xenotime* dan mineral lainnya. Hasil samping tersebut mengandung zat radioaktif Th-228, Ra-228, Ra-226, dan K-40.

Sampel dari amang (sebutan untuk *tin slag* dalam industri pertambangan timah di Malaysia) menunjukkan nilai konsentrasi aktivitas melebihi tingkat intervensi [9] terutama untuk monazite dan xenotime, sebagaimana ditunjukkan dalam tabel 1.

Tabel 1. Kandungan Radionuklida dalam monazite dan xenotime dalam sampel amang (sumber IAEA, 2011)

	Konsentrasi aktivitas (Bq/g)	
	Th-232 atau Ra-228	U-238 atau Ra-226
Monazite [10]	67-370	12-46
Xenotime	13-200	37-247
Zircon	1-88	4.8-62
Ilmenite	0.06-10.5	0.07-8.2
Campuran rutile, timah oksida [11]	0.25	0.44
Timah oksida, 72 % [11]	0.02	0.04
Struverite	7.7	29
Turmalin [11]	2.3	0.99
Wolframite [11]	0.03	0.23

Sementara, dari hasil penelitian BATAN di PT Timah TBK dan PT Kobatin untuk mengambil unsur tanah jarang dari monazite, diperoleh produk RE_2O_3 . Dari tabel 1 terlihat bahwa ada kandungan radionuklida di produk tersebut, dengan konsentrasi radionuklida melebihi tingkat intervensi (1 Bq/g).

Tabel 2. Kandungan Radionuklida dalam produk RE_2O_3 (sumber : BATAN)

Radionuklida	Konsentrasi (Bq/g)	Nilai tingkat intervensi
U	-	1 Bq/gr atau
Th	0.848±0.004	
Ra-226	1.780±0.01	
Ra-228	10.779±0.037	
K-40	0.825±0.022	

Kontaminasi di dalam proses pengolahan dan penyimpanan limbah timah juga berpotensi menimbulkan paparan terhadap pekerja di industri pertambangan timah. Pada penelitian yang dilakukan oleh Asrul, dalam limbah timah terkandung rata-rata Ra-226 sebanyak 4.63 Bq/gr dan Th-228 sebanyak 17.13Bq/gr [6]. Hasil konsentrasi dalam sampel limbah timah ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 3. Kandungan Radionuklida dalam produk RE_2O_3 (sumber : Asrul, 2006)

No.	Sampel	Nuklida induk	Konsentrasi (Bq/gr)	Nilai tingkat intervensi
1.	Tin Slag	Th-2268	17.127±0.133	1 Bq/gr
		Ra-226	4.629±0.094	

Selain itu, penimbunan dan *land spreading* juga dikaitkan dengan paparan terhadap pekerja dan masyarakat mengingat adanya paparan potensial dan

terhirupnya radon dari lokasi industri pertambangan timah. Dalam *Safety Report Series* No. 68 disebutkan bahwa dosis tahunan yang diterima oleh pekerja sekitar 4 mSv tapi lebih tinggi dibandingkan di operasi terdahulu [9], sedangkan total dosis efektif yang diterima oleh masyarakat dari jalur eksternal dan internal mencapai 5.14 mSv [15]. Dosis Jadi, selain aspek kontaminasi pekerja saat pengolahan timah, aspek pembuangan limbah TENORM juga perlu diperhatikan terkait kontaminasinya terhadap masyarakat dan lingkungan.

Perka BAPETEN Nomor 9 tahun 2009

Pengawasan terhadap TENORM telah diatur dalam Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007 tentang keselamatan radiasi pengion dan keamanan sumber radioaktif. Dalam Pasal 50 dinyatakan bahwa setiap orang atau badan yang karena kegiatannya dapat menghasilkan mineral ikutan berupa TENORM harus melaksanakan intervensi terhadap terjadinya paparan yang berasal dari TENORM melalui tindakan remedial. Pasal tersebut menjadi salah satu dasar ditetapkannya Perka 9/2009.[2]

Lebih spesifik lagi, TENORM di atas diatur dalam Peraturan Kepala BAPETEN No. 9 Tahun 2009 tentang Intervensi Terhadap Paparan Yang Berasal Dari *Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material* (TENORM). Pasal 4 dalam Perka 9/2009 mewajibkan kepada penghasil TENORM untuk melakukan analisis keselamatan radiasi untuk TENORM pada setiap lokasi TENORM yang dimiliki atau berada di dalam wilayah penguasaan penghasil TENORM. [3]

Industri pertambangan timah termasuk ke dalam subyek pengawasan TENORM, mengingat dalam Perka 9/2009 disebutkan beberapa kegiatan yang berpotensi menghasilkan TENORM, yaitu: kegiatan di bidang energi dan sumber daya mineral; dan industri. Kegiatan di bidang energi dan sumber daya mineral sendiri dapat meliputi meliputi penambangan, pengolahan, dan pemurnian pada : mineral logam, mineral bukan logam, dan batu bara.

Analisis keselamatan radiasi untuk TENORM yang dimaksud di dalam Perka 9/2009 dapat meliputi paling sedikit : jenis dan proses kegiatan yang dilaksanakan, jumlah dan kuantitas TENORM, jenis dan tingkat konsentrasi radionuklida, dan paparan radiasi dan/atau kontaminasi tertinggi di permukaan TENORM. Laporan analisis diserahkan ke BAPETEN untuk dilakukan penilaian oleh BAPETEN berdasarkan tingkat intervensi.

Tingkat intervensi yang ditetapkan oleh BAPETEN sendiri dinyatakan dalam jumlah atau kuantitas TENORM paling sedikit 2 (dua) ton dan tingkat kontaminasi ≤ 1 Bq/cm² dan/atau konsentrasi

aktivitas sebesar 1 Bq/gr untuk tiap radionuklida anggota deret uranium dan thorium; atau 10 Bq/gr untuk kalium.

Dalam Perka 9/2009 tersebut sudah disebutkan mengenai komponen yang perlu dicantumkan di dalam laporan analisis keselamatan radiasi dan jangka waktu penilaian oleh BAPETEN. Namun demikian, Perka 9/2009 belum menjelaskan secara rinci mengenai bagaimana menentukan jenis dan tingkat konsentrasi aktivitas radionuklida dan tingkat kontaminasi dan/atau kontaminasi tertinggi di permukaan TENORM, khususnya di industri pertambangan timah.

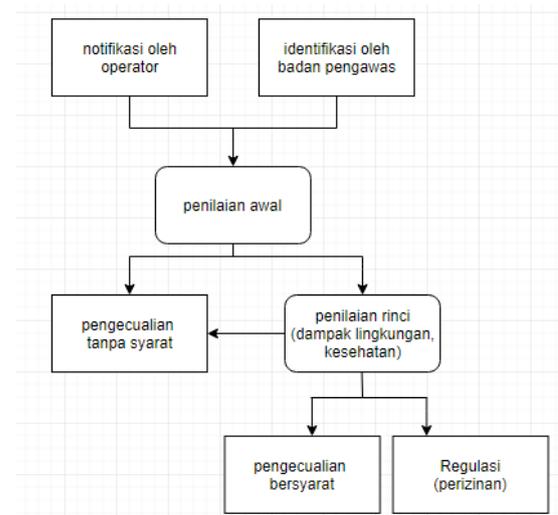
HASIL DAN PEMBAHASAN

Regulasi TENORM dari industry Pertambangan Timah di Australia

Secara umum, Australia dalam mengatur TENORM menerapkan pendekatan berjenjang terhadap pengawasan, di mana diasumsikan bahwa tindakan pengawasan harus sebanding dengan resiko radiasi atau menerapkan prinsip ALARA. Badan pengawas di Australia mengirim notifikasi kepada penghasil TENORM untuk mengadakan survei atau *screening* bilamana diperlukan.

Hasil dari penilaian *screening* akan menentukan apakah penghasil TENORM mendapatkan “keluaran berupa exemption tanpa syarat (*unconditional exemption*), exemption bersyarat (*conditional exemption*) dengan penilaian berkala, dikenai persyaratan izin dan/atau penyusunan rencana manajemen TENORM. [4]

Secara lebih jelas, skemanya ditampilkan dalam gambar 2 :



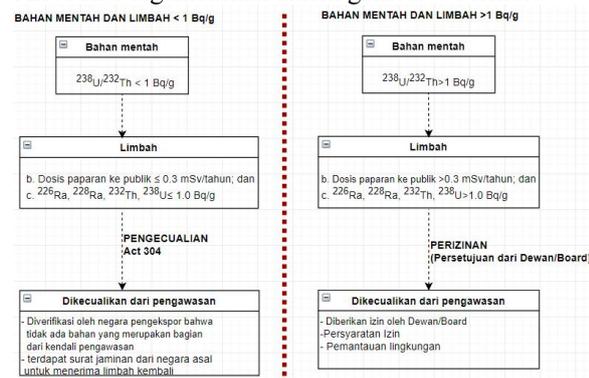
Gambar 2. Skema manajemen NORM di Australia (sumber : Australian Government, 2008)

Dalam skema tersebut, penentuan jenis dan tingkat dosis yadasi yang diterima oleh pekerja dan masyarakat dilakukan di proses *screening*, yang dilanjutkan dengan penilaian yang lebih detail seperti analisis dampak lingkungan dan analisis dampak kesehatan baik terhadap pekerja maupun masyarakat.

Dalam panduannya, Australia menyebutkan bahwa persepsi publik merupakan isu yang penting dalam menangani masalah TENORM. Sehingga, dalam melakukan survei perlu dilakukan komunikasi terbuka dengan pekerja di industri pertambangan timah maupun masyarakat sekitar yang akan dianalisis dampak radiasinya.

Regulasi Tenorm Industri Pertambangan timah di Malaysia

Di Malaysia, TENORM dalam timah juga dihasilkan dari *tin slag*, yang disebut dengan amang dan diberlakukan sebagai limbah radioaktif. Untuk pengolahan dan pembuangan limbah yang mengandung NORM, penghasil TENORM dibelakukan sebagai subyek izin. Perizinan untuk TENORM digambarkan dalam gambar 3 berikut :



Gambar 3. Diagram alir penerapan pengawasan untuk bahan tambang dan pembuangan limbah TENORM di Malaysia (sumber : Teng Yiu Lin, 2008)

Atomic Energy Licensing Board (AELB) Malaysia mewajibkan penghasil TENORM untuk memenuhi persyaratan perizinan. Sebelum mendapatkan izin, ada beberapa dokumen yang harus dipenuhi, di antaranya *Radiological Impact Assessment (RIA)*, *Radiation Protection Program* dan *monitoring program*. Secara umum tingkat intervensi untuk TENORM di Malaysia berdasarkan konsentrasi aktivitas sama dengan tingkat intervensi di Indonesia. [5]

Pedoman Analisis Keselamatan Radiasi di Industri Pertambangan Timah

Mengacu pada praktik di beberapa negara, Penulis menyimpulkan bahwa diperlukan pedoman khusus untuk analisis keselamatan radiasi TENORM di industri pertambangan timah. Hal tersebut dituangkan dalam pedoman yang sifatnya lebih teknis dibandingkan dengan peraturan sehingga dapat diacu oleh pekerja di industri pertambangan timah secara lebih spesifik dan terperinci. Di dalamnya harus

tercantum kriteria untuk pelaksanaan survei awal dalam menentukan tingkat radioaktivitas di industri pertambangan timah.

Dalam penyusunan pedoman ini, perlu juga dipertimbangkan standar, norma, dan praktek internasional yang diadaptasikan untuk kondisi Indonesia. Hal ini diharapkan agar penghasil TENORM dapat menjamin adanya pengendalian yang memadai untuk mencegah kontaminasi ke lingkungan, dan melindungi keselamatan pekerja dan masyarakat. Penerimaan atau persepsi publik terhadap pembangunan fasilitas disposal juga perlu diperhatikan dan dituangkan ke dalam pedoman untuk mengantisipasi persepsi negatif yang mungkin terjadi, sebagaimana yang dipertimbangkan oleh Australia.

Keselamatan Radiasi TENORM Di Industri Pertambangan Timah

Untuk menentukan resiko radiasi yang diterima oleh pekerja di industri pertambangan timah maupun oleh masyarakat, maka perlu dilakukan penentuan resiko radiasi TENORM. Bunawas dalam makalahnya merekomendasikan tahapan penilaian resiko radiasi TENORM yang dapat diaplikasikan ke dalam survei dan dijadikan panduan bagi penghasil TENORM dalam melakukan analisis keselamatan radiasi dan menyusun laporan analisis keselamatan radiasi [7]. Penilaian berdasarkan analisis resiko juga disarankan dalam *activity report of TENORM task group* dari negara Australia.

Tahapan penentuan resiko radiasi terkait TENORM tersebut dapat meliputi survei untuk *screening*, seperti yang dilakukan oleh Australia, pengambilan sampel TENORM dan komponen lingkungan, analisis laboratorium untuk menentukan jenis radionuklida di dalam sampel TENORM, perkiraan dosis yang diterima oleh pekerja di industri pertambangan timah dan masyarakat, dan penentuan resiko radiasi berdasarkan perkiraan dosis yang diterima.

Aspek survei lainnya yang perlu dimasukkan ke dalam pedoman yaitu lokasi potensial untuk penumpukan TENORM bisa di penyimpanan bijih, lokasi pemrosesan untuk menghasilkan konsentrat, tempat penyimpanan akhir *tin slag*, dan tempat *tailing*.

Untuk menentukan lokasi yang harus disurvei, perlu diingat bahwa karakteristik industri pertambangan logam satu dengan logam yang lainnya dapat berbeda. Pertambangan timah dapat bersifat terbuka atau tertutup di dalam tanah. Untuk timah yang pertambangannya terbuka di Indonesia, maka ketika melakukan survei harus diantisipasi untuk menghindari kontaminasi di tapak akibat sebaran mineral timah yang mengandung radioaktif.

Sifat *tailing* sendiri bergantung dari asal logam tersebut; bijihnya, apakah teroksidasi atau tidak. Demikian juga dengan contoh ukuran *tailing*. Ukuran dapat bergantung pada proses pengolahan menjadi konsentrat atau dalam proses *smelting*. Pembuangan *tailing* sendiri biasanya dipompa atau disalurkan secara gravitasi ke daerah pantai *tailing* (*subaerial despositon*). Dengan demikian, bila perlu dilakukan survei di area ini.

KESIMPULAN

Perlu disusun pedoman analisis keselamatan radiasi TENORM di industri pertambangan timah. Di dalamnya kriteria melakukan analisis keselamatan radiasi. Laporan analisis keselamatan radiasi ini nantinya akan dievaluasi oleh BAPETEN sesuai dengan tata cara yang berlaku berdasarkan Perka 9/2009.

Pedoman Analisis Keselamatan Radiasi di industri pertambangan timah paling kurang memuat survei untuk mengukur paparan radiasi dengan mempertimbangkan karakteristik khusus dari mineral timah dan lokasi survei.

Dalam melakukan analisis keselamatan radiasi, Australia menerapkan pentingnya persepsi publik dan komunikasi terbuka terkait TENORM. Hal ini dapat menjadi contoh untuk diterapkan di Indonesia mengingat perlunya pertimbangan aspek sosial dan ekonomi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Wisnubroto, Djarot S, 2005, Implementasi BSS pada pengelolaan NORM-TENORM, PPLR BTAN, ISSN 0216-3218
2. BAPETEN, 2007, Peraturan Pemerintah nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif
3. BAPETEN, 2009, Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 9 Tahun 2009 Tentang Intervensi Terhadap Paparan yang berasal dari *Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Material*
4. Australian Government, 2008, *Management of Naturally Occuring Radioactive Material-Radiation Protection Series Publication No. 15*
5. Teng Yiu Lin, 2008, *Regulatory Control of Milling of Minerals Containing Naturally Occuring Radioactive Materials (NORM) in Malaysia*, Atomic Energy Licensing Board (AELB)
6. Asrul, Rika Tiananda, 2006, Pengukuran Fraksi Leaching Radionuklida Alami Th-228 Dan Ra-226 Dalam *Tin Slag Dan Copper Slag*
7. Bunawas, Syarbaini, 2005, Penentuan Potensi Resiko TENORM pada industri non nuklir. Puslitbang Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir-BATAN
8. IAEA, 2011, *Safety Report Series no. 68, Radiation Protection And Norm Residue Management In The Production Of Rare Earths From Thorium Containing Minerals International Atomic Energy Agency, Vienna*, p 116
9. IAEA, 2011, *Safety Report Series no. 68, Radiation Protection And Norm Residue Management In The Production Of Rare Earths From Thorium Containing Minerals International Atomic Energy Agency, Vienna*, p 120
10. Azlina, M.J., Ismail, B., Samudi Yasir, M., Syed H.S., Khairuddin, M.K., 2003, *Radiological impact assessment of radioactive minerals of amang and ilmenite on future landuse using RESRAD computer code*, Appl. Radiat. Isot. 58 ,p 413-419
11. Omar, M., Sulaiman, I., Hassan, A., Wood, A.K., 2007, *Radiation dose assessment at amang processing plants in Malaysia*, Radiat. Prot. Dosim. 124 4 ,p 400-406.
12. Wisnubroto, Djarot S, 2005, Studi NORM dan TENORM dari Kegiatan Industri Non Nuklir, 'Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah' Volume 6 No. 2 Desember 2005 (ISSN:1410-9565)
13. Widaningsih, Anisa, 2013, <https://prezi.com/bjq0xjfabza6/proses-pengolahan-timah/>, diakses tanggal 1 Juli 2018
14. Ardra, <https://ardra.biz/sain-teknologi/mineral/pengolahan-mineral/pengolahan-bijih-timah/>, diakses tanggal 1 Juli 2018
15. Syarbaini, Iskandar, D.,Kusdiana, 2015, Perkiraan Dosis Radiasi Yang Diterima Publik Di Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, BATAN

NO	Nama penanya	Kode Makalah	Nama Penyaji	Pertanyaan dan Jawaban
1.	Nur Rahmat Yusuf (BAPETEN)	OA02	Liya Astuti	<p>1. Dari kedua Negara yg ditampilkan dalam presentasi, manakah yg lebih sesuai untuk Indonesia?</p> <p>2. Menurut anda, apakah TENORM dalam peraturan kita sebaiknya dimasukkan dalam kategori hasil samping atau limbah?</p> <p>3. Peraturan seperti apakah yg perlu ditambahkan dalam pengelolaan dan pengawasan TENORM oleh BAPETEN?</p> <p>Jawab:</p> <p>1. Menurut pemahaman saya, Malaysia lebih sesuai/mirip dengan yg ada di Indonesia, pertimbangan kedekatan lokasi dan budaya.</p> <p>2. Menurut saya TENORM sebaiknya di kategorikan sebagai hasil samping, karena jika diekstrak / diproses lebih lanjut, ada yg masih bisa digunakan.</p> <p>3. Turunan peraturan berupa pedoman, instruksi kerja atau prosedur yg menjabarkan pasal-pasal dalam peraturan menjadi lebih rinci.</p>
2.	Joanne Salres (STTN-BATAN)	OA02	Liya Astuti (BAPETEN)	<p>1. Bagaimana penanggulangan/kelanjutan terhadap daerah pengecualian tanpa syarat? Sedangkan cadangan timah pada daerah tsb. cukup besar dan bernilai ekonomi?</p> <p>Jawab:</p> <p>1. Diberlakukan sebagai limbah radioaktif dan berlaku izin simpan. TENORMnya sendiri terdapatnya pada by-product/hasil sampingan, bukan pada timahnya. Namun jika dikecualikan tanpa syarat, berarti tidak dikenai persyaratan izin, dengan kata lain bebas dari pengawasan.</p>
3.	Dwy Ranita (UB)	OA02	Liya Astuti (BAPETEN)	<p>1. Bagaimana cara penanggulangan terhadap persepsi masyarakat dengan analisis proteksi radiasi pada industry?</p> <p>Jawab:</p> <p>1. Sepemahaman saya, masyarakat perlu dilibatkan dalam upaya proteksi radiasi melalui stakeholder engagement. Cara penanggulangannya melalui komunikasi public, dengan metode yg bermacam-macam, bergantung pada karakteristik masyarakatnya. Misalnya melalui workshop, meeting, sosialisasi, flyer, brosur, dll.</p>
4.	Firdy Yuana	OA02	Liya	Saran: penulisan satuan gram sebaiknya dituliskan

	(Fisika UB)		Astuti (BAPET EN)	dg symbol g. Karena jika dituliskan gr berarti grain, dimana 1 grain = 0,065 gram.
--	-------------	--	-------------------------	--

OA03

KAJIAN REGULASI KESELAMATAN TERKAIT SUMBER YATIM PADA INDUSTRI BESI BEKAS DI INDONESIA

Nurhadiansyah¹, Liya Astuti²

^{1,2}Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif BAPETEN
e-mail: n.nurhadiansyah@bapeten.go.id

ABSTRAK

KAJIAN REGULASI KESELAMATAN TERKAIT SUMBER YATIM PADA INDUSTRI BESI BEKAS DI INDONESIA. Telah dilakukan suatu kajian awal mengenai regulasi keselamatan terkait sumber yatim pada industri besi bekas. Kajian dilakukan dengan membahas potensi sumber yatim yang tidak disengaja bercampur dengan besi bekas, standar internasional terkait sumber yatim di industri besi bekas, kondisi industri besi bekas di Indonesia, regulasi yang sudah ada di Indonesia serta rekomendasi dalam pengembangan regulasi terkait sumber yatim di industri besi bekas. Dari kajian ini dapat disimpulkan bahwa diperlukan pengembangan regulasi keselamatan terkait sumber yatim pada industri besi bekas di Indonesia mengingat besarnya kontribusi besi bekas sebagai bahan baku utama dalam industri daur ulang logam di Indonesia.

Kata kunci: sumber yatim, besi bekas, regulasi.

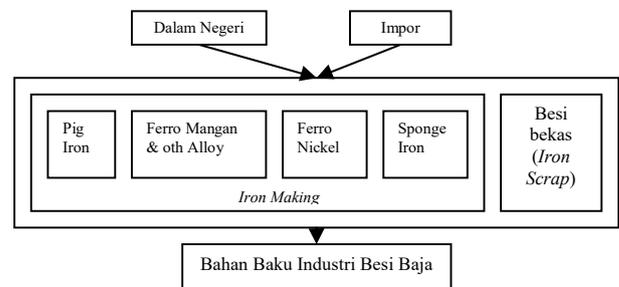
ABSTRACT

REGULATION ASSESSMENT ON SAFETY RELATED TO ORPHAN SOURCES IN IRON SCRAP INDUSTRIES IN INDONESIA. An Pre-eliminatory assessment of orphan sources in the iron scrap industries has been conducted. The assessment was conducted by studying potential of orphan sources inadvertently mixed to iron scrap, international standards related orphan sources in the iron scrap industries, the condition of iron scrap industries in Indonesia, the existing regulations and recommendations of development regulations related to orphan sources in the iron scrap industries in Indonesia. By this assessment, we concluded to develop regulations on safety related to orphan sources in the iron scrap industries in Indonesia considering the large contribution of iron scrap as the main raw material in the metal recycling industry in Indonesia

Keywords: orphan sources, iron scrap, regulation.

PENDAHULUAN

Logam besi memiliki nilai penjualan global sebesar USD 225 Miliar pertahun [1]. Kebutuhan Indonesia terhadap ketersediaan produk besi baja saat ini sangat besar dalam menunjang pembangunan infrastruktur yang masif. Baja adalah logam hasil paduan besi dengan karbon sebagai unsur paduannya yang berfungsi mencegah bergesernya kisi kristal (*crystal lattice*) atom besi untuk mendapatkan sifat kuat, ulet dan tangguh yang lebih baik dari bahan lainnya [2]. Secara umum terdapat 31 perusahaan di Indonesia yang bergerak di bidang industri *smelter & refinery* logam dengan bagian besar di subsektor industri besi baja. Bahan baku industri besi baja di Indonesia dipasok dari ketersediaan *Pig Iron*, *Ferro Mangan & oth alloy*, *Ferro Nickel*, *Sponge Iron* dan *Iron Scrap* [1]. Penyedia bahan baku ini dikelompokkan menjadi dua yaitu kelompok proses pembuatan besi (*iron making*) serta industri penyedia besi bekas (*iron scrap*) [2].



Secara kasar produksi besi baja Indonesia berkisar 8 juta ton. Adapun data ekspor impor industri besi baja di Indonesia dapat dilihat pada tabel dibawah ini [1].

Tabel 1. Data ekspor bahan baku industri besi baja di Indonesia

Deskripsi	Ekspor (angka dalam ton)		
	2014	2015	Jan – Nov 2016
Pig Iron	286.019	282.942	561.116
Ferro Mangan & oth alloy	38.743	20.905	20.583
Ferro Nickel	83.749	181.700	313.496
Sponge Iron	21.194	1.130	1
Iron Scrap	41.955	51.558	54.614

Total	471.661	538.235	949.809
--------------	----------------	----------------	----------------

Sumber: Direktorat Jenderal Industri Logam, Mesin, Alat Transportasi dan Elektronika Kementerian Perindustrian

Tabel 2. Data impor bahan baku industri besi baja di Indonesia

Deskripsi	Impor (angka dalam ton)		
	2014	2015	Jan – Nov 2016
Pig Iron	22.548	9.468	18.326
Ferro	78.712	53.706	76.269
Mangan & oth alloy			
Ferro	2	14	3
Nickel			
Sponge Iron	36.846	33.761	14.041
Iron Scrap	2.136.802	1.019.586	926.097
Total	2.274.910	1.116.535	1.034.736

Sumber: Direktorat Jenderal Industri Logam, Mesin, Alat Transportasi dan Elektronika Kementerian Perindustrian

Berdasarkan tabel dapat dilihat kontribusi signifikan besi bekas (*iron scrap*) sebagai salah satu bahan baku dalam produksi besi baja yang ada di Indonesia. Oleh karena itu, terdapat potensi adanya zat radioaktif tak bertuan/sumber yatim (*orphan sources*) tidak disengaja bercampur dengan besi bekas saat peleburan. Zat radioaktif tersebut diluar dari kontrol pengawasan badan pengawas karena terabaikan penggunaannya, hilang, dipindahtangankan, dicuri dan pemindahan lain tanpa izin. Zat radioaktif tersebut didefinisikan sebagai sumber yatim (*orphan sources*). Sumber yatim banyak menyebabkan kecelakaan serius, bahkan fatal yang diakibatkan dari paparan radiasi terhadap individu.

Dalam catatan IAEA terdapat kejadian kecelakaan radiasi yang melibatkan besi bekas (*iron scrap*) yang mengandung radiasi yakni kecelakaan Juarez di Meksiko dan Goiania di Brazil. Pada kecelakaan di Goiana, head pesawat teleterapi diberikan kepada pemilik perusahaan besi bekas, sehingga sumber Cs-137 pecah dan tersebar ke masyarakat [3]. Peleburan sumber yatim dengan besi bekas dapat menyebabkan kontaminasi pada logam yang didaur ulang. Jika hal itu terjadi, maka dibutuhkan operasi *cleanup* yang memakan biaya mahal dan menjadi kerugian finansial bagi industri besi baja. Jika bahan terkontaminasi tidak terdeteksi dalam fasilitas produksi dan daur ulang logam, pekerja akan terpapar radiasi dan radionuklida akan berada di berbagai produk akhir yang akhirnya akan memberikan paparan kepada pengguna produk tersebut.

Di Indonesia, terdapat beberapa kali laporan kejadian telah ditemukan sumber yatim yang diterima oleh BAPETEN diantaranya adalah penemuan sumber yatim di Gresik. Hal ini menjelaskan bahwa ancaman potensi sumber yatim di Indonesia dijadikan besi bekas (*iron scrap*) itu memang ada.

Salah satu alat untuk mendeteksi secara pasif pergerakan sumber radioaktif adalah RPM

(*Radiation Portal Monitor*). Alat ini bisa mendeteksi sumber radioaktif yang melewatinya dan biasanya terpasang di tempat-tempat lalu lintas barang seperti pelabuhan dan perbatasan. Industri besi bekas belum memanfaatkan alat RPM ini sebagai deteksi dini terhadap bahan baku besi bekas yang masuk ke dalam industri mereka. Pemasangan alat RPM di pintu masuk kawasan industri besi bekas diharapkan bisa mencegah dan mendeteksi keberadaan sumber yatim yang bercampur dengan bahan baku *iron scrap* ketika akan memasuki kawasan industri besi bekas.

Namun, karena belum ada regulasi yang mengharuskan pemasangan RPM pada setiap industri besi baja, maka keberadaan sumber yatim yang bercampur dengan bahan baku berupa *iron scrap* belum dapat terinformasikan secara lengkap.

Sebagaimana amanat Undang Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran bahwa pengawasan terhadap pemanfaatan tenaga nuklir ditujukan salah satunya terjaminnya kesejahteraan, keamanan dan ketentraman masyarakat serta menjamin keselamatan dan kesehatan pekerja dan anggota masyarakat serta perlindungan terhadap lingkungan hidup [4], maka pengawasan sumber yatim di besi bekas harus menjadi perhatian. Keberadaan sumber yatim di besi bekas (*iron scrap*) sebagai konsekuensi lemahnya pengawasan selama dekomisioning instalasi nuklir atau fasilitas lainnya, atau dapat juga dihasilkan dari industri yang memproses bahan mentah seperti pertambangan dan produksi minyak dan gas dimana terdapat deposit zat radioaktif didalam pipa berupa TENORM (*Technically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Materials*).

Kajian regulasi keselamatan terkait sumber yatim pada industri besi bekas di Indonesia dibutuhkan mengingat besarnya impor besi bekas (*iron scrap*) Indonesia dan dominannya besi bekas (*iron scrap*) sebagai bahan baku produksi besi baja di Indonesia.

Indonesia sendiri sudah memiliki beberapa regulasi terkait dengan sumber yatim. Adapun regulasi di Indonesia yang terkait sumber yatim di Industri besi bekas yakni :

1. Peraturan Pemerintah Nomor 61 Tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif [5]
2. Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif [6]
3. Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 16 Tahun 2012 tentang Tingkat Klierens [7]
4. Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2016 tentang Pengolahan Limbah Radioaktif Tingkat Rendah dan Tingkat Sedang [8]
5. Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 1 Tahun 2015 tentang Penatalaksanaan Tanggap Darurat Badan Pengawas Tenaga Nuklir [9]
6. Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 1 Tahun 2010 tentang Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir [10]

Dalam dunia internasional kita bisa merujuk kepada regulasi IAEA terkait sumber yatim di

industri daur ulang logam yang dibahas tersendiri dalam sebuah dokumen *Specific Safety Guide* Nomor 17 tentang *Control of Orphan Sources and Other Radioactive Material in the Metal Recycling and Production Industries* [11].

Fokus makalah ini membahas tentang kajian regulasi keselamatan terkait sumber yatim pada industri besi bekas di Indonesia sehingga bisa memetakan hal-hal apa saja yang sudah diatur dan belum diatur terkait sumber yatim pada industri besi bekas serta kesesuaian dengan standar IAEA khususnya *Specific Safety Guide* Nomor 17 tentang *Control of Orphan Sources and Other Radioactive Material in the Metal Recycling and Production Industries*. Makalah ini juga membatasi cakupan dari proses pengadaan besi bekas sampai masuk ke industri pengolahan daur ulang besi. Makalah ini tidak membahas langkah langkah ketika sumber yatim ditemukan di dalam industri besi bekas.

POKOK BAHASAN

Regulasi di Indonesia terkait Limbah Radioaktif yang didalamnya termasuk besi bekas (*iron scrap*) bisa dilihat pada Peraturan Pemerintah Nomor 61 Tahun 2013 Pasal 2 Ayat 2 berbunyi Limbah Radioaktif tingkat rendah dan tingkat sedang sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf a dan huruf b berupa : (a) zat radioaktif terbungkus yang tidak digunakan; (b) zat radioaktif terbuka yang tidak digunakan; atau (c) bahan serta peralatan terkontaminasi dan/atau teraktivasi yang tidak digunakan [5]. Besi bekas bisa termasuk dari bahan serta peralatan terkontaminasi dan/atau teraktivasi yang tidak digunakan. Bahkan bisa juga secara tidak sengaja didalamnya terdapat zat radioaktif.

Regulasi di Indonesia juga mengatur tentang Klierens yakni pembebasan zat radioaktif terbuka, Limbah Radioaktif, atau bahan dan peralatan terkontaminasi dan/atau teraktivasi dari pengawasan. Penghasil Limbah Radioaktif wajib mengajukan permohonan penetapan Klierens kepada Kepala BAPETEN apabila telah mencapai nilai dibawah atau sama dengan Tingkat Klierens [5].

Penentuan Tingkat Klierens ditetapkan oleh BAPETEN diatur dalam Perka BAPETEN No.16 Tahun 2012 [7]. Berdasarkan Pasal 4 Perka No. 16 Tahun 2012 menyebutkan bila radioaktif buatan hanya satu radionuklida, dapat dibebaskan dari pengawasan BAPETEN apabila konsentrasi aktivitas radionuklida buatan kurang dari atau sama dengan Tingkat Klierens sebagaimana tercantum dalam Lampiran I Perka BAPETEN No. 16 Tahun 2012 tentang Tingkat Klierens. Dalam hal radionuklida buatan terdiri lebih dari satu radionuklida, Klierens ditetapkan berdasarkan persamaan :

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{(\text{konsentrasi aktivitas})_i} \leq 1$$

Keterangan :

- C_i adalah konsentrasi (Bq/g) dari radionuklida i dalam campuran radionuklida;

- (*konsentrasi aktivitas*) I adalah nilai konsentrasi aktivitas untuk radionuklida i sebagaimana tercantum dalam Lampiran I Perka BAPETEN No. 16 Tahun 2012 tentang Tingkat Klierens; dan
- n adalah jumlah radionuklida buatan yang terdapat dalam campuran radionuklida

Pasal 5 Perka No. 16 Tahun 2012 berbunyi Radionuklida alam dapat dibebaskan dari pengawasan BAPETEN apabila konsentrasi aktivitas radionuklida alam kurang dari atau sama dengan Tingkat Klierens sebagaimana tercantum dalam Lampiran II Perka BAPETEN No. 16 Tahun 2012 tentang Tingkat Klierens. Pasal 6 Perka No. 16 Tahun 2012 berbunyi Limbah Radioaktif dan Material Terkontaminasi dapat dibebaskan dari pengawasan BAPETEN apabila tingkat kontaminasi permukaan kurang dari atau sama dengan 1 Bq/cm² (satu Becquerel per sentimeter persegi). Dalam hal jenis radionuklida buatan dan alam tidak dapat diidentifikasi, Tingkat Klierens ditetapkan kurang dari atau sama dengan 0.1 Bq/g (satu per sepuluh Becquerel per gram) atau 0.1 Bq/cm² (satu per sepuluh Becquerel per sentimeter persegi)[7].

Dalam Peraturan Pemerintah Nomor 61 Tahun 2013 Pasal 46 ayat 1 yang berbunyi Setiap orang atau badan dilarang memasukkan limbah radioaktif yang berasal dari luar negeri kedalam wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia [5].

Oleh karena itu, dari pengertian diatas terkait Limbah Radioaktif yang dihasilkan di luar negeri dapat disimpulkan bahwa Negara Indonesia melarang setiap orang atau badan memasukkan limbah radioaktif ke dalam wilayah Negara Indonesia baik legal (impor) maupun ilegal (*illicit trafficking*) termasuk didalamnya bahan serta peralatan yang terkontaminasi dan/atau teraktivasi yang tidak digunakan lagi dan diatas Tingkat Klierens.

Maka, impor besi bekas (*iron scrap*) tidak bisa dilakukan apabila besi bekas tersebut termasuk kedalam bahan serta peralatan terkontaminasi dan/atau teraktivasi yang tidak digunakan lagi dan diatas Tingkat Klierens. Limbah Radioaktif yang dihasilkan dari dalam negeri tidak dapat dimanfaatkan menjadi besi bekas kecuali Limbah Radioaktif khususnya bahan serta peralatan yang terkontaminasi dan/atau teraktivasi yang tidak digunakan lagi sama dengan atau dibawah tingkat Klierens yang sudah ditetapkan BAPETEN, itupun sudah mengajukan permohonan Penetapan Klierens kepada Kepala BAPETEN.

Adapun regulasi terkait sumber radioaktif yang tidak diketahui pemiliknya (sumber yatim) masih berupa aspek penanggulangan penemuan sumber yatim tercantum dalam Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 Pasal 73 dan 74 dimana BAPETEN melakukan pengamanan terhadap sumber radioaktif yang tidak diketahui pemiliknya, melakukan pencarian keterangan mengenai kepemilikan sumber radioaktif tersebut dan jika ditemukan pemiliknya maka menjadi tanggung jawab

pemilik apabila tidak ditemukan maka dinyatakan sebagai limbah radioaktif oleh BAPETEN [6].

Mengenai kedaruratan hal itu diatur dalam Perka BAPETEN Nomor 1 Tahun 2010 tentang Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir [10] dan Perka BAPETEN Nomor 1 Tahun 2015 tentang Penatalaksanaan Tanggap Darurat Badan Pengawas Tenaga Nuklir [9].

Adapun Standar IAEA khususnya Specific Safety Guide No. 17 *Control of Orphan Sources and Other Radioactive Material in the Metal Recycling and Production Industries* mengatur tentang :

1. Perlindungan publik dan lingkungan
2. Tanggung jawab
3. Pemantauan zat radioaktif
4. Respon penemuan zat radioaktif
5. Remediasi area terkontaminasi
6. Pengelolaan pemulihan zat radioaktif

SSG No. 17 ini berfokus kepada sumber yatim dan bahan radioaktif lainnya yang mungkin memasuki rantai suplai industri besi bekas. SSG No.17 ini tidak menyediakan rekomendasi detail terkait:

- persyaratan untuk mencegah hilangnya kontrol terhadap bahan radioaktif;
- rencana kedaruratan lokal, nasional dan regional;
- dekontaminasi area yang terkontaminasi;
- pemantauan komoditas termasuk didalamnya besi bekas (*scrap metal*).

Bab pertama membahas kondisi paparan kecelakaan dan paparan insiden selain itu dibahas juga kontaminasi oleh radionuklida buatan maupun alami. Dengan kata lain bab ini adalah dasar penting proteksi radiasi dari sumber yatim di industri besi baja karena memuat parameter-parameter teknis kontaminasi radionuklida serta apa saja yang harus dilakukan saat terjadi paparan kecelakaan dan paparan insiden [11].

Bab kedua membahas tanggung jawab pemangku kepentingan diantaranya Pemerintah, Badan Pengawas dan Industri Besi Baja. Kondisi Indonesia diantara ketiga pemangku kepentingan belum terjalin koordinasi dalam membahas persoalan sumber yatim di besi bekas. Perlu ada koordinasi antara pemerintah dalam hal ini kementerian terkait dengan badan pengawas dalam hal regulasi dan peraturan. Selain itu keterlibatan Industri besi baja harus dimulai dan diberikan pemahaman tentang pentingnya keselamatan radiasi [11].

Bab ketiga tentang pemantauan zat radioaktif membahas tentang pemantauan rutin, analisis laboratorium, uji keberterimaan, kalibrasi, pemeliharaan, pemanfaatan radiasi portal monitor, tingkat investigasi dan alarm, pelatihan dan peningkatan kewaspadaan personil. Kondisi ini belum diterapkan di Indonesia, karena pembahasan di bab ini merupakan panduan kepada Industri besi baja dalam isu keselamatan radiasi [11].

Bab keempat yakni respon terhadap penemuan sumber radioaktif membahas tentang perencanaan tindakan cepat tanggap, respon terhadap kejadian tertentu, pembagian informasi kepada publik, pelatihan dan informasi, dan kerjasama internasional. Hal ini juga belum bisa diterapkan di Indonesia, karena bab ini khusus untuk diterapkan di Industri besi baja [11].

Bab kelima membahas tentang remediasi area terkontaminasi pada industri besi baja. Indonesia belum memiliki pengalaman remediasi yang dilakukan di industri besi baja. Menurut dokumen standar ini, persetujuan melakukan remediasi harus melalui Badan Pengawas dan saat melakukan pekerjaan remediasi seluruh operasi produksi harus berhenti [11].

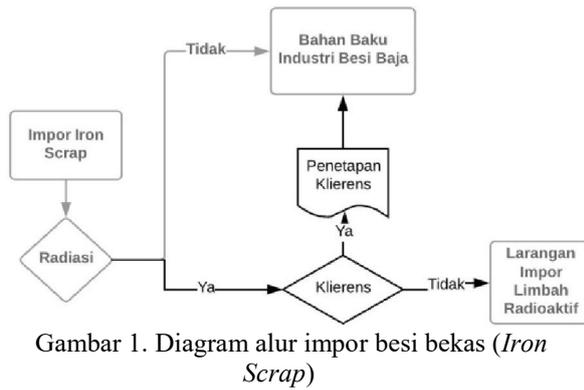
Bab keenam membahas tentang pengelolaan pemulihan zat radioaktif pada industri besi baja khususnya pada industri daur logam dan produksi logam [11]. Regulasi Indonesia belum mengatur secara spesifik tentang hal itu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan menjadikan Standar IAEA khususnya Specific Safety Guide No. 17 *Control of Orphan Sources and Other Radioactive Material in the Metal Recycling and Production Industries* sebagai acuan dalam membangun regulasi keselamatan terkait sumber yatim pada industri besi bekas di Indonesia, yang pertama diidentifikasi adalah kesesuaian kondisi di Indonesia dengan SSG Nomor 17 tentang *Control of Orphan Sources and Other Radioactive Material in the Metal Recycling and Production Industries*.

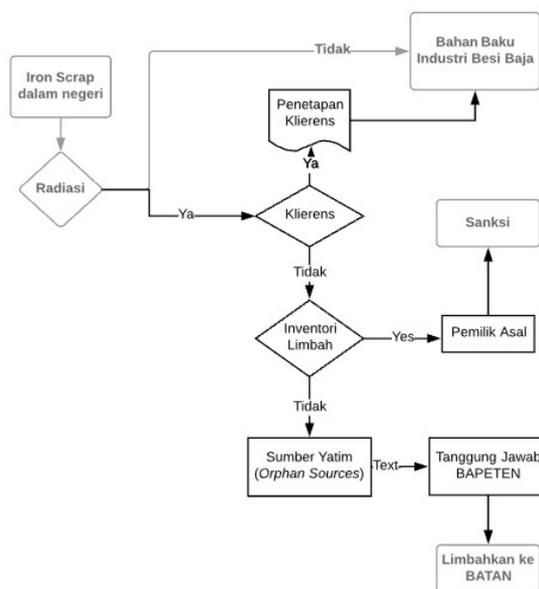
Sebagai langkah awal ada beberapa hal penting yang harus dimulai dalam regulasi keselamatan terkait sumber yatim pada industri besi bekas di Indonesia. Hal pertama adalah industri besi bekas harus mampu mendeteksi bahan baku besi bekas (*iron scrap*) mengandung radiasi atau tidak. Menurut SSG No. 17 hal ini bisa dilakukan dengan memasang Radiasi Portal Monitor sebelum memasuki kawasan industri besi baja. Hal kedua adalah menyediakan SDM yang mampu mengoperasikan Radiasi Portal Monitor, melakukan pengukuran radiasi sehingga bisa menentukan besi bekas yang terukur mengandung radiasi diatas Tingkat Klierens atau tidak. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada gambar Diagram alur dibawah ini.

Berikut ini dilampirkan diagram alur impor besi bekas dan Diagram alur besi bekas yang berasal dari dalam negeri.



Gambar 1. Diagram alur impor besi bekas (*Iron Scrap*)

Dari diagram alur pada gambar 1 tentang impor besi bekas, hal penting pertama adalah mendeteksi besi bekas tersebut bersifat radiasi atau tidak. Lalu yang kedua adalah mampu menghitung besi bekas yang bersifat radiasi tersebut berada di atas Tingkat Klierens atau tidak.



Gambar 2. Diagram alur besi bekas (*Iron Scrap*) dalam negeri

Berdasarkan gambar 2 selain dua hal penting yang terdapat juga pada diagram alur besi bekas impor, hal penting lainnya adalah adanya inventori limbah yang akurat untuk menentukan sumber yatim atau besi bekas yang mengandung radiasi tersebut memiliki pemilik sebelumnya atau tidak. Inventori limbah ini harus didukung dengan data nasional penggunaan sumber radioaktif di Indonesia. Hal ini untuk mencegah adanya sumber radioaktif atau bahan serta peralatan terkontaminasi dan/atau teraktivasi dapat terpantau secara nasional.

Hal lainnya adalah pemasangan Radiasi Portal Monitor di setiap pintu masuk barang impor yang dikelola oleh Bea Cukai menjadi titik fokus pencegahan adanya sumber yatim dari negara lain yang tidak disengaja tercampur dengan besi bekas impor. Dalam SSG No.17 disebutkan badan atau orang yang berpotensi menghadapi sumber yatim (seperti daur ulang besi bekas dan pos bea cukai)

harus menerapkan program pemantauan untuk mendeteksi sumber sumber tersebut.

Dari hal hal diatas dapat dibahas pertama, industri besi baja harus mampu melakukan deteksi apakah besi bekas (*iron scrap*) yang akan mereka olah bersifat radiasi atau tidak, maka diperlukan alat deteksi radiasi dalam hal ini sesuai yang direkomendasikan dalam SSG Nomor 17 adalah Radiasi Portal Monitor (RPM) yang terjamin dalam hal pemeliharaan, kalibrasi dan perbaikan. Selain itu harus adanya program pemantauan radiasi yang secara rutin dilaksanakan oleh industri daur ulang besi bekas. Diperlukannya pendekatan bertingkat (*graded approach*) mengenai industri besi baja manakah yang diwajibkan memasang Radiasi Portal Monitor. Pengelompokan ini berdasarkan dari volume dan besarnya industri besi baja serta resiko radiasi dan kemampuan fasilitas dalam menghadapi besi bekas (*scrap metal*) yang mengandung bahan radioaktif.

Selain itu, peran pemerintah dalam mengontrol lalu lintas barang terutama ekspor-impor terkait besi bekas (*iron scrap*) harus ditingkatkan. Diantaranya pemasangan RPM di berbagai pelabuhan yang menjadi pintu masuk impor besi bekas.

Industri besi bekas berskala besar harus mampu meminta dan mempersyaratkan pemasok besi bekas dari negara lain menyediakan pernyataan apakah besi bekas telah dilakukan pemantauan radiasi dan apa hasil pemantauan tersebut.

Dalam hal ketiadaan regulasi yang mengontrol sumber yatim di industri besi bekas, maka pemerintah harus mempertimbangkan penerapan pendekatan *voluntary* terhadap semua entitas yang terlibat dalam aspek proteksi radiasi di daur ulang besi bekas untuk bekerjasama menjadikan bahan radioaktif tersebut berada di bawah kontrol pengawasan. Jika pendekatan *voluntary* tidak dimungkinkan, pemerintah harus mempertimbangkan untuk menerbitkan peraturan terkait dalam rangka perlindungan masyarakat dan lingkungan dari bahaya pemrosesan yang tidak disengaja sumber yatim bersama besi bekas (*scrap metal*) dalam daur ulang besi.

Pembahasan kedua, diperlukannya petugas yang bekerja di rantai industri besi bekas mampu menggunakan peralatan pemantauan radiasi serta menghitung apakah besi bekas mengandung radiasi diatas Tingkat Klierens atau tidak.

Pembahasan ketiga, diperlukan data nasional sumber radioaktif yang digunakan dan inventori limbah termasuk didalamnya besi bekas yang terkontaminasi dan/atau teraktivasi yang tidak digunakan lagi dan ini merupakan tugas pemerintah serta Badan Pengawas. Selain tiga hal diatas, yang harus diperhatikan adalah mekanisme penanggulangan kedaruratan ketika terjadi kecelakaan yang disebabkan sumber yatim di industri besi bekas.

Dari pembahasan diatas dapat dituangkan dalam tiga prinsip yakni pencegahan, deteksi dan penanggulangan. Pencegahan dengan inventori

limbah dan data nasional penggunaan sumber radioaktif serta proteksi fisiknya dan pemantauan ekspor-impor besi bekas. Deteksi dengan sistem pasif melalui Radiasi Portal Monitor dan sistem aktif mencari sumber radioaktif yang tidak sengaja bercampur dengan besi bekas, hal ini hanya bisa dilakukan ketika industri besi bekas memiliki pemahaman tentang keselamatan radiasi. Dan terakhir penanggulangan terkait keadaan kedaruratan ditemukannya sumber yatim bercampur dengan besi bekas di industri pengolahan logam.

KESIMPULAN

Regulasi keselamatan terkait sumber yatim pada industri besi bekas harus melibatkan Pemerintah, Badan Pengawas dalam hal ini BAPETEN dan Industri Besi Baja di tanah air dengan tetap berpedoman terhadap SSG No. 17 *Control of Orphan Sources and Other Radioactive Material in the Metal Recycling and Production Industries*.

Diantaranya adalah pertama, ketiga pemangku kepentingan yakni Pemerintah (kementerian terkait, bea cukai, kepolisian), Badan Pengawas dan Industri Besi Baja belum duduk bersama dalam membahas potensi sumber yatim di Industri Besi Bekas. Kementerian perdagangan dalam mengeluarkan Permendag terkait kebijakan ekspor dan impor besi bekas (*iron scrap*) belum menjadikan kriteria Klierens sebagai persyaratan. Badan Pengawas dalam hal ini BAPETEN belum mengeluarkan regulasi terkait kewajiban Industri Besi Baja untuk memasang Radiasi Portal Monitor sebagai alat deteksi dini keberadaan besi bekas yang mengandung radiasi memasuki kawasan industri.

Kesimpulannya sebagai tahap awal yang harus dilakukan adalah memberikan pemahaman tentang pentingnya melindungi masyarakat dan lingkungan dari bahaya kecelakaan radiasi yang disebabkan oleh sumber yatim kepada industri besi baja. Selain hal itu, Pemerintah harus memperkuat sistem inventori limbah dan data nasional penggunaan sumber radioaktif sebagai fungsi pencegahan.

Membina industri besi baja tanah air agar mampu mendeteksi besi bekas bersifat radiasi atau tidak serta mampu menentukan apakah diatas Tingkat Klierens atau tidak dengan tetap berdasarkan prinsip pendekatan bertingkat (*graded approach*), hal ini sebagai fungsi deteksi.

Serta menyiapkan penanggulangan kedaruratan nuklir berdasarkan potensi terjadinya kecelakaan disebabkan sumber yatim yang tidak disengaja bercampur dengan besi bekas di industri daur ulang logam dan produksi logam, hal ini sebagai fungsi penanggulangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Bapak Azhar, Bapak Reno Alamsyah atas bimbingannya dan arahnya dalam menyelesaikan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Perindustrian RI (2017) Evaluasi Implementasi Hilirisasi Pertambangan, Jakarta
- [2] Atmawinata A, Irianto D, Diawati L et al. (2010) Telaahan Kedalaman Struktur Industri Engineering Prioritas (Industri Baja dan Industri Logam Non Ferrous). Jakarta
- [3] Zuniga-Bello P, Croft J.R, Glenn J. Lesson Learned From Accident Investigations. IAEA, XA9949000
- [4] Republik Indonesia, Undang Undang No. 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, Jakarta, 1997
- [5] Republik Indonesia, Peraturan Pemerintah No. 61 Tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif, Jakarta, 2013
- [6] Republik Indonesia, Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif, Jakarta, 2007
- [7] Republik Indonesia, Peraturan Kepala BAPETEN No. 16 Tahun 2012 tentang Tingkat Klierens, 2012
- [8] Republik Indonesia, Peraturan Kepala BAPETEN No. 8 Tahun 2016 tentang Pengolahan Limbah Radioaktif Tingkat Rendah dan Tingkat Sedang, Jakarta, 2016
- [9] Republik Indonesia, Peraturan Kepala BAPETEN No. 1 Tahun 2015 tentang Penatalaksanaan Tanggap Darurat Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jakarta, 2016
- [10] Republik Indonesia, Peraturan Kepala BAPETEN No. 1 Tahun 2010 tentang Penanggulangan Kedaruratan Nuklir, Jakarta, 2010
- [11] IAEA, Specific Safety Guide No. 17 Control of Orphan Sources and Other Radioactive Material in the Metal Recycling and Production Industries, Vienna, 2012

NO	Nama penanya	Kode Makalah	Nama Penyaji	Pertanyaan dan Jawaban
1.	Lega Nachrufani (UB)	OA03	Nurhadia nsyah (BAPET EN)	<p>1. Bagaimana metode yg terbaik utk mendeteksi sumber radiasi yatim/tak bertuan di tumpukan besi bekas?</p> <p>2. Bagaimana cara menaggulangi sikap masyarakat Indonesia terhadap harga besi bekas yg murah, tetapi ternyata besi tersebut adalah sumber radiasi yatim?</p> <p>Jawab:</p> <p>1. Penggunaan sumber radioaktif harus terdata secara nasional, sehingga bias tertelusur. Ini dilakukan agar meminimalisir sumber radioaktif yg berada di luar pengawasan. Utk mendeteksi bias dg cara menggunakan surveimeter dan dg cara pasif menggunakan Radiation Portal Monitor (RPM). Pemasangan RPM di jalur lalu lintas besi bekas menjadi salah satu opsi utk mendeteksi sumber yatim di besi bekas.</p> <p>2. Perlu diadakan sosialisasi dan peran aktif Pemerintah, Badan Pengawas dan industry pengumpul besi bekas dalam mengkampanyekan bahaya radiasi dan proteksi radiasi.</p>

OA04

PENERAPAN A3 (*AWARERENESS, APPROPRIATE, AUDIT*) DALAM UPAYA PENINGKATAN JUSTIFIKASI PAPARAN MEDIK

Iswandarini

Badan Pengawas Tenaga Nuklir
e-mail: i.iswandarini@bapeten.go.id

ABSTRAK

Saat ini terjadi perkembangan peralatan medis yang cukup pesat termasuk CT atau PET-CT, dosis radiasi dari paparan medis sekarang menjadi sumber terbesar dari paparan radiasi buatan manusia. Prinsip-prinsip umum proteksi radiasi dari bahaya radiasi pengion adalah pembenaran (justifikasi), optimasi, dan batas dosis. Dokter dan ahli radiologi harus sadar akan risiko radiasi dan manfaat yang terkait dengan paparan medis, dan memahami dan menerapkan prinsip-prinsip proteksi radiasi bagi pasien. Justifikasi paparan medis harus mempertimbangkan manfaat yang diperoleh lebih besar daripada resiko yang ditimbulkan. Dalam penerapannya membutuhkan sebuah tools (alat) yang menggunakan metode pendekatan yang sistematis dan terencana dengan prinsip A3 yaitu Awareness, Appropriate, Audit. Pendekatan ini disarankan oleh IAEA. Dalam menumbuhkembangkan prinsip tersebut diperlukan kerjasama dan harmonisasi antara stakeholder, asosiasi profesi dan dokter perujuk.

Kata kunci: Justifikasi, paparan medis dan A3

ABSTRACT

Currently the development of medical equipment is quite rapid, including CT or PET-CT, radiation dose from medical exposure is now the largest source of exposure to man-made radiation. The general principles of radiation protection from ionizing radiation hazards are justification, optimization, and dose limits. Doctors and radiologists should be aware of the radiation risks and benefits associated with medical exposure, and understand and apply the principles of radiation protection for patients. Justification of medical exposure should consider the benefits gained greater than the risks posed. In its application requires a tool that uses a systematic and planned approach to the principle of A3 that is Awareness, Appropriate, Audit. This approach is suggested by the IAEA. In developing these principles, cooperation and harmonization between stakeholders, professional associations and referring doctors are required.

Keywords: *Justification, medical exposure, A3*

I. PENDAHULUAN

Justifikasi paparan medis adalah suatu pembenaran tindakan medis yang menggunakan peralatan sumber radiasi berdasarkan pada manfaat yang diperoleh lebih besar daripada resiko yang ditimbulkan. Dari hasil kajian Pengawasan Paparan Medik di Fasilitas Radiologi Diagnostik dan Intervensional tahun 2014 [1] didapatkan kesimpulan bahwa dari sekian pemeriksaan radiologi ditemukan bahwa optimisasi dosis radiasi pada pasien RDI masih kurang, masih ditemukan beberapa fasilitas kesehatan yang memberikan dosis pasien berlebih. Oleh karena itu justifikasi sangatlah penting karena pemberian dosis yang tidak perlu sangatlah merugikan pasien. Hal ini juga telah diuraikan pada GSR IAEA Part 3 [2] dan IAEA safety standar terkait justifikasi [3]. Di Indonesia sudah ada ketentuan justifikasi yang diatur dan dijelaskan dalam pasal 22 ayat (1) Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007 [4], bahwa pemegang ijin dalam melaksanakan pemanfaatan tenaga nuklir, wajib memenuhi prinsip justifikasi yang didasarkan pada manfaat yang diperoleh lebih besar daripada resiko yang ditimbulkan dan Perka BAPETEN No.8 tahun 2011 [5].

Untuk menerapkan justifikasi dibutuhkan sebuah metode pendekatan yang sistematis dan terencana dengan menggunakan prinsip A3 yaitu *Awareness, Appropriate, Audit*. Prinsip tersebut direkomendasikan untuk memfasilitasi dan meningkatkan justifikasi paparan medis

Upaya peningkatan justifikasi dimulai dengan pengetahuan terhadap proteksi dan keselamatan radiasi (*awareness*) yang kemudian ditingkatkan dengan adanya pedoman penerapan justifikasi (*appropriate*) dan dilanjutkan dengan pengawasan (*audit*) baik internal maupun eksternal.

II. METODE

Penulis dalam penulisan paper ini menggunakan metode kajian literatur terkait justifikasi dari dokumen IAEA yaitu General Safety Requirement part 3, dokumen BAPETEN (PP 33 tahun 2007 dan Perka 8 tahun 2011), diskusi dan pengalaman dalam pengambilan data survei pada kegiatan kajian implementasi justifikasi paparan medik dalam fasilitas kesehatan tahun 2017.

III. POKOK BAHASAN

III.1 Gambaran Awal Awareness Dokter Terkait Dengan Resiko Radiasi dan Justifikasi Paparan Medik

Berdasarkan hasil kajian justifikasi paparan medik dalam fasilitas kesehatan tahun 2017 [6] yang di lakukan oleh unit kerja Pusat Pengkajian Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif (P2STPFRZR) BAPETEN dengan jumlah sampel sebanyak 54 rumah sakit, dan menggunakan metode kuesioner dengan topik sudut pandang "awareness" dokter terkait resiko radiasi dan justifikasi dalam melakukan prosedur penyinaran pasien radiologi dengan radiasi. Responden terdiri dari dokter spesialis, dokter umum dan dokter residen dari wilayah Kepulauan Riau, Sulawesi Selatan, Riau, Bali, Jawa Barat dan Jawa Tengah, dengan rata-rata sebagai dokter perujuk lebih dari 5 tahun.

Tabel. Kesadaran (awareness) pentingnya justifikasi untuk penyinaran pasien dengan sinar-X

Wlayah	Prosentase (dalam %)		
	Tidak penting	Kurang Penting	Penting
Kepri	-	-	100
Sulawesi Selatan	-	10	90
Riau	-	5	95
Bali	-	20	80
Jawa Barat	-	-	100
Jawa Tengah	-	-	100

-	Prosentase responden yang menganggap pentingnya justifikasi untuk penyinaran pasien dengan sinar-X sebanyak 94,2%
-	Prosentase responden yang menganggap kurang pentingnya justifikasi untuk penyinaran pasien dengan sinar-X sebanyak 5,8%

Kajian tersebut menghasilkan gambaran bahwa 94,2 % responden di wilayah Kepulauan Riau, Sulawesi Selatan, Riau, Bali, Jawa Barat dan Jawa Tengah memiliki tingkat awareness yang tinggi terkait resiko radiasi dan justifikasi dalam melakukan prosedur penyinaran pasien radiologi dengan radiasi masih kurang, mereka sadar pentingnya justifikasi untuk penyinaran pasien dan paham dengan istilah-istilah pemeriksaan seperti pemeriksaan yang berguna, pemeriksaan yang dibenarkan, pemeriksaan dengan radiasi, pemeriksaan yang diindikasikan dan pemeriksaan yang tidak disarankan. 5, 8 % responden dari daerah Sulawesi Selatan, Riau dan Bali belum mengetahui dan paham pemeriksaan dengan modalitas radiasi pengion atau non pengion. Sebagian besar dokter melakukan pengulangan pemeriksaan karena kualitas citra yang buruk, dan dokter perujuk berdiskusi dengan dokter spesialis radiologi yang memeriksa. Dan hanya sebagian responden yang menggunakan pedoman rujukan baik nasional maupun internasional untuk pencitraan.

III.2 Strategi Untuk Meningkatkan Justifikasi

Tiga pendekatan praktis yang diperkenalkan pada bulan September tahun 2009, pada Konferensi Internasional tentang proteksi radiasi di kesehatan yang diselenggarakan oleh IAEA di Jerman, disponsori oleh WHO dan dihadiri oleh 500 peserta dari 80 negara dan 16 organisasi kesehatan menghasilkan Bonn Call for Action untuk meningkatkan proteksi radiasi dalam kesehatan [7,8]. Salah satu point pentingnya adalah cara untuk memastikan bahwa pasien dirujuk untuk pemeriksaan radiologi benar-benar membutuhkan, yaitu sesuai (appropriate). Kemudian melaksanakan *Audit* klinis pedoman rujukan yang digunakan, untuk meningkatkan efektivitas komunikasi terkait resiko radiasi antara pasien, dokter radiologi,

dokter perujuk dan masyarakat. Pendekatan dengan appropriate dan audit diawali dengan meningkatkan kesadaran (awareness) di kalangan praktisi medik.

Kesadaran (Awareness)

Dari hasil pemaparan hasil studi dan makalah ilmiah internasional [9,10,11] didapatkan kesimpulan bahwa kesadaran dan pemahaman tentang dosis radiasi dan resiko radiasi di antara dokter di semua bagian negara masih sangat kurang. Kendala utamanya adalah komunikasi yang kurang efektif antar dokter radiologi dan praktisi medis yang terkait termasuk dokter perujuk.

Masalah kesadaran ini bisa di tingkatkan dengan hadirnya stakeholder sebagai fasilitator/inisiator dengan mengadakan pendekatan kepada asosiasi profesi di bidang medik dalam membuat suatu pertemuan teknis untuk profesional medik. Profesional medik yang dimaksud tidak terbatas pada pemegang ijin dan akademisi, tetapi juga pabrikan dan pihak lain yang terkait.

Tabel 2. Kesadaran (Awareness)

Kesadaran: Komunikasi

- Komunikasi terkait resiko dan dosis radiasi antara sesama dokter, praktisi kesehatan lainnya dan praktisi proteksi radiasi.
- Dokter memiliki kewajiban untuk menginformasikan kepada pasien terkait keputusan yang diambil, mencakup resiko jangka pendek dan panjang dari tindakan yang dipilih.
- Peningkatan pengetahuan di kalangan dokter terhadap proteksi dan keselamatan radiasi.
- Pemahaman tugas masing-masing praktisi.
- Kesadaran untuk memahami kenapa justifikasi diperlukan.
- Kesadaran bahwa justifikasi yang diberikan tidak terkait dengan jaminan kesehatan nasional (BPJS)

Ketepatan (Appropriate)

Pedoman rujukan untuk radiologi diagnostik dan intervensional telah ada lebih kurang 20 tahun yang lalu. Pedoman rujukan telah diterbitkan oleh komisi Eropa [12], Inggris [13], Amerika [14], Kanada [15], Australia [16], Hongkong [17] dan negara lain. Pedoman ini untuk mendukung pengambilan keputusan dan membantu investigasi ketika ada kesalahan prosedural dalam melakukan tindakan.

Tabel 3. Perbandingan pedoman rujukan negara Inggris dan Amerika Serikat

Uraian	iRefer (UK)	ACR Appropriateness Criteria (USA)
Versi Pertama	Sejak 1989	Sejak 1995

Jumlah Pedoman	12 kategori, 306 pedoman	Bagian diagnostik: 11 sistem, 168 pedoman (tidak termasuk onkologi radiologis)
Grading Bukti	Berdasarkan pusat kedokteran Oxford untuk obat berbasis bukti: A ke C	Berdasarkan metode yang dikembangkan oleh ACR: kategori 1-4
Grading Rekomendasi	Sistem 4 grade	Sistem 9 derajat
	Ditunjukkan	1-3 biasanya tidak sesuai
	Investigasi khusus	4-6 mungkin tepat
	Ditunjukkan hanya dalam keadaan tertentu	7-9 biasanya tepat
	Tidak diindikasikan	
Aksesibilitas	Kurang diakses (akses setelah pembelian)	Lebih mudah diakses (akses terbuka melalui web gratis)
	Booklet, online dan aplikasi untuk mobile	Versi online
	Tabel bukti tidak dibuka	Tabel Bukti Dibuka

Pedoman pencitraan di Inggris: iRefer yang dibuat oleh Britania Raya Royal College of Radiology (UK RCR) dan telah dikembangkan dan diperbaharui sejak 1989, dan menyediakan 306 pedoman berbasis bukti dalam 12 bagan sistemik termasuk kanker, radiologi intervensi, dan trauma. Grading bukti dibagi menjadi A, B, dan C. Grading rekomendasi dibagi menjadi 4 (empat) kategori: mengindikasikan, investigasi khusus, ditunjukkan hanya dalam keadaan tertentu dan tidak ditunjukkan. Sayangnya iRefer tidak memungkinkan akses ke bagian informasi inti seperti bukti meskipun pedoman dikembangkan berbasis bukti.

Pedoman pencitraan klinis di Amerika: American College Radiology (ACR) Appropriateness Criteria (AC), dikembangkan sejak 1995. Pada Bagian diagnostik membahas: 11 sistem, 168 pedoman (tidak termasuk onkologi radiologis). ACR AC direpresentasikan dalam skala ordinal yang menggunakan bilangan bulat dari 1 sampai 9 dikelompokkan menjadi tiga kategori: 1 sampai 3, "biasanya tidak sesuai" di mana bahaya melakukan

prosedur lebih besar daripada manfaatnya; 4 sampai 6, “mungkin tepat” di mana risiko dan manfaat yang samar-samar atau tidak jelas; dan 7 sampai 9, “biasanya tepat” di mana manfaat melakukan prosedur lebih besar daripada bahaya atau risiko. ACR AC lebih mudah diakses karena tersedia dalam web gratis dan sudah terintegrasi dengan kartu catatan medis serta sudah menggunakan computerized provider order entry (CPOE) systems, sehingga organisasi kesehatan dengan mudah dapat memanfaatkan ACR AC memastikan bahwa dokter dapat dengan mudah memilih modalitas pencitraan yang tepat secara on-line.

Efektivitas pedoman harus di tingkatkan dengan melibatkan stakeholder terkait dan asosiasi profesi pada semua tahap. Pedoman rujukan harus dikembangkan dan disebarluaskan secara global untuk memastikan sumber daya dan isu-isu teknologi terkini tidak menghambat dan memberikan lebih banyak informasi diagnosa.

Tabel 3. Ketepatan (Appropriate)

Ketepatan: Pedoman Rujukan

- Kriteria Kesesuaian atau pedoman rujukan sangat membantu praktek justifikasi
- Pedoman tidak hanya memuat dosis efektif, tetapi juga mendorong dan mempromosikan praktik medis yang baik.
- Pedoman lokal dan regional harus dikembangkan untuk mendukung pengambilan keputusan dan investigasi medik
- Pedoman yang dibuat harus mudah diakses, bisa menggunakan teknologi informasi dalam pelaksanaannya
- Sosialisasi pedoman baik tingkat nasional, regional, dan lokal
- Dalam pedoman diberikan perhatian lebih untuk pasien hamil atau berpotensi hamil,

Audit Klinis

Sebagian besar negara berusaha untuk membangun transparansi atau keterbukaan publik untuk meningkatkan kualitas dan mutu berkelanjutan dalam perawatan kesehatan. Tujuan umum Audit klinis untuk:

- Meningkatkan kualitas perawatan pasien
- Mempromosikan penggunaan sumber daya secara efektif
- Meningkatkan organisasi pelayanan klinis
- Melanjutkan pendidikan profesional dan pelatihan di lingkungan tim kesehatan

Justifikasi adalah landasan proteksi radiasi dan harus menjadi salah satu prioritas utama dalam program audit. Audit kepatuhan dengan pedoman dapat menjadi alat yang sederhana dan efektif untuk meningkatkan justifikasi, kesesuaian dan pola rujukan.

Sebagai contoh di Eropa MED mengharuskan [20,Pasal 6.4]: “ Audit klinis harus dilakukan sesuai dengan prosedur nasional” di negara anggota. Pasal 2 dari MED mendefinisikan audit klinis sebagai: pemeriksaan sistematis atau review prosedur radiologi medis yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas dan hasil perawatan pasien, melalui review terstruktur dimana praktek radiologi, prosedur, dan hasil diperiksa dengan standar yang telah disepakati, dengan modifikasi dari praktik dan standar yang terbaru jika diperlukan.

Beberapa negara telah mempunyai pedoman audit klinis [18,19,20,21], Pedoman audit yang lebih rinci telah diterbitkan oleh IAEA [22].

Informasi tentang organisasi audit, auditor, frekuensi pemeriksaan, biaya, pembiayaan dan aspek lain sudah tersedia di Internasional [23,24].

Tabel 2. Audit

Audit: Audit klinis justifikasi

- Audit klinis adalah bagian integral praktik medis yang baik dalam fasilitas kesehatan
- Audit justifikasi harus menjadi prioritas utama, indikator untuk kecukupan justifikasi harus menjadi point tinggi untuk meningkatkan pelayanan radiologi
- Audit harus menilai kepatuhan pada pedoman rujukan dan persyaratan komunikasi pasien.
- Audit klinis dapat dilakukan secara internal dan eksternal dengan melibatkan asosiasi profesi
- Audit klinis harus mempengaruhi budaya kerja dan kualitas pelayanan

KESIMPULAN

Penerapan Prinsip A3 yaitu Awareness, Appropriate, Audit direkomendasikan sesuai untuk memfasilitasi dan meningkatkan justifikasi, dengan sedikit kendala yang minimum.

Dengan menumbuhkembangkan prinsip A3 dalam pemanfaatan tenaga nuklir akan memudahkan kita dalam mengambil keputusan penting terkait justifikasi paparan medik dalam fasilitas kesehatan. Dalam penerapan prinsip A3 dapat diawali dengan adanya regulasi yang mengharuskan pemegang izin membuat prosedur rujukan dan pola komunikasi antara dokter perujuk, dokter spesialis radiologi dan pasien, keputusan justifikasi paparan medik harus diberikan oleh dokter spesialis radiologi dan/atau tim radiologi melalui revidi tujuan, dan dalam merevisi rujukan, dokter perujuk, harus menggunakan referral guideline nasional atau internasional.

Stakeholder terkait kesehatan harus mendorong dan menginisiasi asosiasi profesi, akademisi dan pihak terkait lainnya untuk duduk bersama membuat referral guideline nasional.

DAFTAR PUSTAKA

[12] P2STPFRZR-BAPETEN (2014) *Kajian Pengawasan Paparan Medik di Fasilitas Radiologi Diagnostik dan Intervensional*

[13] General Safety Requirement part 3, No. GSR Part 3, *Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards*

[14] International Atomic Energy Agency (IAEA), (2014) *General Safety Guide (GSG), IAEA Safety Standards Series No. GSG-5, "Justification of Practices, Including Non-Medical Human Imaging"*

[15] Peraturan Pemerintah No.33 (2007) *Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif*

[16] Peraturan Kepala BAPETEN No.8 (2011) *Keselamatan Radiasi Dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostic dan Intervensional*

[17] P2STPFRZR-BAPETEN (2017) *Kajian Justifikasi Paparan Medik Dalam Fasilitas Kesehatan*

[18] International Atomic Energy Agency (IAEA), (2012) *Bonn Call For action*

[19] J.Malone, *Strategies for Improving Justification*

[20] Ria F (2017) in *Awareness of medical radiation exposure among patients: A patient survey as a first step for effective communication of ionizing radiation risks*

[21] Sundaran Kanda (2017), *Awareness and knowledge of radiation dose and associated risks among final year medical students in Norway*

[22] Lorenzo Faggioni (2017), *Awareness of radiation protection and dose levels of imaging procedures among medical students, radiography students, and radiology residents at an academic hospital: Results of a comprehensive survey*, European Journal of Radiology 86 : 135–142

[23] European Commission, 2000, *referral guidelines for imaging. Radiation Protection Publication no.118*. Luxembourg:European Commission, DG TREN:2000

[24] Royal College of Radiologist, UK:RCR. (2007), *Making the best use of clinical radiology services, 6th edn. London*

[25] *American College of Radiology. Appropriateness criteria* [cited 12 November 2009]

[26] Canadian Association of Radiologists. 2005, *Diagnostic imaging referral guidelines. A guide for physicians*. Quebec, Canada: Canadian Association of Radiologists

[27] Royal Australian and New Zealand College of Radiologists (2001) *Imaging guidelines*. Perth, WA:Western Australian Department Health

[28] Hong Kong College of Radiologists, Hongkong (1999). *Clinical referral guidelines*

[29] Oikarinen H, Meriläinen S, Pääkkö E, Karttunen A, Nieminen MT, Tervonen O (2009) *5Unjustified CT examinations in young patients* Eur Radiol 2009;19:1161–

[30] Almén A, Leitz W, Richter S. (2010) *National survey on justification of CT-examinations in Sweden*. SSM Report 2009:03 ISSN:2000–0456

[31] American Board of Internal Medicine, American College of Physicians. (2002) *European Federation of Internal Medicine Medical professionalism in the new millennium: a physicians charter*. Ann Intern Med 2002;136:243–6

[32] Triantopoulou C, Tsalafoutas I, Maniatis P, Papavdis D, Raios G, Sifas I, et al. (2005) *Analysis of radiological examination request forms in conjunction with justification of X-ray exposures*. Eur J Radiol;53:306–11

[33] International Atomic Energy Agency (IAEA), (2008) *International Workshop on Practical Implementation of Clinical Audit for Medical Exposure to Ionizing Radiation*

[34] European Commission. (2010) *European Commission Guidelines on Clinical Audit for Medical Radiological Practices (Diagnostic Radiology, Nuclear Medicine and Radiotherapy)*. Radiation Protection Publication no. 159

[35] International Atomic Energy Agency (2010) *Clinical audits of diagnostic radiology practices: a tool for quality improvement*.

OA05

PENGGUNAAN ISOTOP ^{137}Cs dan ^{210}Pb YANG ADA DI LINGKUNGAN UNTUK ESTIMASI LAJU EROSI/DEPOSISI DI SubDAS CIBERANG – SERANG – BANTEN

Nita Suhartini* dan Barokah Aliyanta*

**) Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi – BATAN*

e-mail : s-nita@batan.go.id

ABSTRAK

Sungai Ciujung memiliki daerah tangkapan air yang luas, dan karena hilangnya hutan di daerah hulu menyebabkan sungai ini mengalami pendangkalan dan sering mengalami banjir. DAS Ciujung memiliki beberapa sungai besar diantaranya S.Ciberang, S.Cisemeut dan S.Ciujung Hulu. SubDAS Ciberang merupakan salah satu daerah hulu dari DAS Ciujung. Radioisotop ^{137}Cs dan $^{210}\text{Pb}_{\text{excess}}$ yang terdapat di tanah dapat digunakan sebagai perunut untuk estimasi laju erosi di daerah subDAs Ciberang ini. Penelitian ini bertujuan untuk memperkirakan laju erosi/deposisi dari subDAS Ciberang. Lokasi penelitian yang dipilih adalah suatu lahan olahan dan lahan yang tidak diolah, dan pengambilan sampel dilakukan menggunakan alat coring ($d_i = 7$ cm) dengan kedalaman 20 cm, secara transek. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju erosi di subDAS ini lah berkisar antara -32,7 t/ha.th sampai dengan 63,6 t/ha.th dan -63,4 t/ha.thn sampai dengan 4,0 t/ha.thn masing-masing untuk radioenvironmental isotope ^{137}Cs dan $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$.

Kata kunci : Erosi/deposisi, radioenvironmental isotope, ^{137}Cs , ^{210}Pb

ABSTRACT

THE USE OF ^{137}Cs and ^{210}Pb ENVIRONMENTAL ISOTOPES TO ESTIMATE EROSION/DEPOSITION RATE AT SubCATCHMENT OF Ciberang – Serang - BANTEN. Ciujung river has a wide catchment area, and deforestation at upstream caused sedimentation and flood. Ciujung catchment has few rivers namely Ciberang river, Cisemeut river and Ciujung Hulu rivers. Ciberang catchment is a small part of Ciujung catchment and located at the upstream of its. Radioisotopes of ^{137}Cs and $^{210}\text{Pb}_{\text{excess}}$ content in the soil can be used as tracer to estimate erosion/deposition rate at subCatchmentn of Ciberang. The study is aimed to estimate the rate of erosion/deposition soil at Ciberang subCatchment. Cultivated and uncultivated area had been chosen as study sites and soil sampling were done by using coring ($d_i = 7$ cm) at the depth of 20 cm. the experimental result showed that rate of erosion/deposition were range from -32,7 /ha.y to 63,6 t/ha.y and -63,4 t/ha.y 4,0 to t/ha.y, for ^{137}Cs and $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ respectively.

Keyword : erosion/deposition, environmental radioisotope, ^{137}Cs , ^{210}Pb

PENDAHULUAN

Sungai Ciujung merupakan salah satu sungai besar di Indonesia yang terdapat di wilayah Propinsi BANTEN. Sungai Ciujung ini selalu mengalami banjir besar setiap musim hujan, karena telah terjadi pendangkalan di sungai ini akibat terjadi erosi dan longsor di daerah hulu. Erosi merupakan problem besar di Indonesia karena dapat menyebabkan berkurangnya kesuburan tanah, pendangkalan sungai dan terjadinya banjir. Erosi ini terjadi akibat adanya pembukaan hutan yang tidak terkendali sehingga daerah yang tadinya merupakan tangkapan air yang dapat mengendalikan keseimbangan alam sudah hilang fungsinya. Besarnya erosi dapat ditentukan secara konvensional yaitu dengan cara melihat seluruh kondisi lapangan dan membawa sampel tanah untuk dianalisis beberapa unsur hara dan organiknya (N, P, C organik), tetapi metode ini membutuhkan ^{137}Cs adalah radioisotop yang ada di lingkungan (*environmental isotope*) dengan waktu paruh 30,2 tahun. Keberadaan radioisotop ^{137}Cs di

waktu yang lama, dimana pengamatan dilakukan pada musim penghujan dan musim kering (minimum 1 tahun) [1]. Karena adanya keterbatasan pada metode konvensional dalam mendokumentasikan distribusi erosi, maka metode teknik nuklir mulai banyak digunakan, terutama penggunaan isotope ^{137}Cs dan ^{210}Pb yang ada di lingkungan (*environmental isotope*) sebagai pendekatan alternatif untuk penelitian erosi tanah dan asal usul sedimen. *Environmental isotope* ^{137}Cs merupakan alat untuk mendapatkan informasi tentang distribusi dari erosi/deposisi yang telah terjadi dalam kurun waktu 40 tahun, sedangkan radioisotop alam ^{210}Pb untuk kurun waktu 100 tahun. Pengambilan sampel untuk metode Nuklir ini hanya dilakukan satu kali pengambilan sampel ke lokasi penelitian [2].

alam ini adalah merupakan jatuhnya (*fallout*) dari atmosfer sebagai hasil percobaan senjata nuklir. ^{137}Cs secara global telah dapat dideteksi di alam ini

sejak 1954, dan fluks yang tertinggi pada belahan bumi bagian utara terjadi pada tahun 1973 sehubungan dengan adanya percobaan senjata nuklir sesar besar-besaran yang terjadi pada saat itu. Jatuhan ^{137}Cs dari atmosfer berkurang drastis setelah adanya perjanjian percobaan senjata nuklir pada tahun 1963, dan sejak Tahun 1970-an jatuhan ^{137}Cs dari atmosfer menjadi sangat tidak signifikan (hampir tidak ada). Selain dari percobaan senjata nuklir, untuk beberapa wilayah di Eropa dan wilayah yang berada berdekatan dengan Rusia, mengalami penambahan jatuhan ^{137}Cs yang berasal dari peristiwa kecelakaan Chernobyl pada tahun 1986 [3]. Jatuhan ^{137}Cs ketika menyentuh permukaan bumi akan teradsorpsi secara cepat dan kuat pada permukaan tanah dan kemudian terdistribusi secara vertikal dan lateral bersamaan dengan pergerakan partikel tanah. Kuatnya ikatan ^{137}Cs pada partikel tanah membuat ^{137}Cs dapat digunakan sebagai perunut (*tracer*) pada pergerakan tanah dan sedimen [4].

^{210}Pb adalah suatu radioisotop alam (waktu paruh 22,2 tahun) yang merupakan hasil dari rangkaian peluruhan dari radioaktif induk ^{238}U . ^{210}Pb dihasilkan melalui beberapa rangkaian peluruhan radioaktif umur pendek dari peluruhan gas ^{222}Rn (waktu paruh 3,8 hari) yang merupakan anak luruh dari radioaktif alam ^{226}Ra (waktu paruh 1622 tahun) [5]. ^{210}Pb yang terdapat di tanah dan batuan merupakan hasil peluruhan secara alamiah dari ^{226}Ra . ^{222}Rn akan meluruh menjadi ^{222}Rn yang berumur pendek ($t_{1/2} = 3,8$ hari), dimana sebagian kecil dari gas ^{222}Rn ini akan terdifusi ke atas dan terlepas ke atmosfer. Gas ^{222}Rn yang terperangkap di tanah dan batuan akan meluruh menjadi ^{210}Pb yang berada dalam kesetimbangan dengan induknya, dan ini disebut sebagai ^{210}Pb *supported*. Sedangkan gas ^{222}Rn yang terlepas ke atmosfer akan meluruh menjadi ^{210}Pb kemudian jatuh ke permukaan tanah melalui air hujan. Jatuhan ^{210}Pb ini di permukaan tanah tidak berada dalam kesetimbangan dengan induknya, dan ^{210}Pb jatuhan ini disebut sebagai ^{210}Pb *unsupported* atau *excess*. Karena kuatnya daya serap partikel tanah dan sedimen, maka jatuhan ^{210}Pb ketika menyentuh permukaan tanah secara cepat akan teradsorpsi dan melekat sangat kuat pada partikel tanah dan sedimen. Pergerakan ^{210}Pb di tanah dan sedimen secara vertikal dan horizontal disebabkan karena adanya proses erosi, transportasi dan deposit. Oleh karena fenomena ini maka fungsi ^{210}Pb *unsupported* atau *excess* sama seperti ^{137}Cs sebagai perunut (*tracer*) untuk penelitian erosi tanah dan asal usul sedimen [6].

Pada penelitian ini digunakan dua radioaktif yang ada di lingkungan yaitu ^{137}Cs dan

^{210}Pb *unsupported* untuk menentukan laju erosi/deposisi pada suatu lokasi yang terdiri dari lahan yang diolah (*cultivated*) dan yang tidak diolah (*uncultivated*). Lokasi penelitian yang dipilih adalah sub Daerah Aliran Sungai (subDAS) Ciberang – Serang – BANTEN. **Tujuan** dari naskah ini adalah untuk menyajikan hasil penelitian dalam menentukan laju erosi/deposisi subDAS Ciberang yang merupakan salah satu hulu dari DAS Cijung – Serang - BANTEN menggunakan radioisotop ^{137}Cs yang ada di lingkungan dan radioisotop alam ^{210}Pb .

METODE

Metode yang digunakan adalah analisis kandungan radioisotop lingkungan (*environmental isotope*) yang terdapat di tanah. Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan menggunakan alat *coring* (di 7 cm) dengan kedalaman 20 cm, kemudian dilakukan perlakuan awal terhadap sampel tanah sebelum dianalisis menggunakan alat spektrometer gamma.

Lokasi penelitian

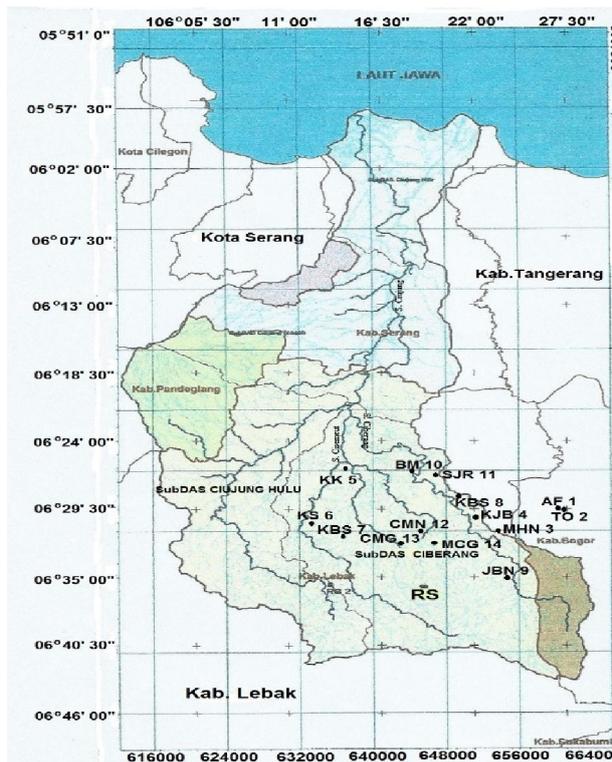
Lokasi pengambilan sampel dilakukan pada 14 lokasi (Gambar 1), yaitu 4 lokasi lahan olah dan 10 lahan yang tidak diolah. Lokasi penelitian ini merupakan suatu lahan yang diolah secara komersial (perkebunan) dan lahan yang diolah oleh penduduk setempat. Lokasi penelitian memiliki kemiringan yang berbeda-beda berkisar antara 10° sampai dengan 45° . Sedangkan untuk lokasi pembandingan (*reference site*) dipilih jutan lindung di kecamatan Muncang – Lebak – BANTEN.

Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan secara vertikal dari atas ke bawah (transek), dan setiap transek terdiri dari beberapa titik percobaan dengan jarak antara titik untuk setiap transek antara 10 m hingga 15 m. Jarak antara transek antara 5 km hingga 10 km. Pengambilan sampel dilakukan dengan kedalaman 20 cm menggunakan alat *coring*, dan untuk lokasi pembandingan menggunakan *scraper* dengan ketebalan setiap lapisan 2 cm hingga kedalaman 20 cm.

Perlakuan Pendahuluan sampel

Sampel-sampel tanah dibawa ke laboratorium sedimentologi – PAIR – BATAN, kemudian dilakukan perlakuan pendahuluan sebelum kandungan ^{137}Cs dan ^{210}Pb nya dianalisis. Perlakuan pendahuluan sampel terdiri dari : pengeringan sampel tanah, penimbangan berat kering total sampel, pengayakan hingga lolos ayakan 1 mm dan penggerusan untuk sampel yang tidak lolos ayakan 1 mm



Gambar 1. Lokasi Penelitian (SubDAS Ciberang – Serang – BANTEN) dan titik pengambilan sampel

Analisis kandungan ^{137}Cs dan ^{210}Pb

Sebanyak 400 g dari sampel tanah kering dan halus dimasukkan ke dalam merinelli, ditutup rapat, kemudian disegel menggunakan selotip kertas selama 21 hari. Hal ini dilakukan untuk menjamin bahwa kesetimbangan antara ^{226}Ra dan anak luruhnya ^{222}Rn sudah terjadi. Kandungan ^{137}Cs dan ^{210}Pb dalam sampel tanah selanjutnya dianalisis menggunakan *High Purity Germanium* (HPGe) detektor dengan efisiensi 30 % yang dihubungkan ke GENIE 2000 *spectrum master* dan *multi channel analyzer* (MCA). Pengukuran dilakukan selama minimum 80.000 detik, dan standar yang digunakan adalah standar sekunder tanah yang diambil dari daerah Nganjuk yang telah diketahui aktivitas ^{137}Cs dan ^{210}Pb total dan *supported* nya (^{137}Cs = 1,20 Bq/kg, ^{210}Pb total = 27,09 Bq/kg dan ^{210}Pb *supported* = 12,13 Bq/kg pada Desember 2006). Standar sekunder tanah juga dimasukkan dalam merinelli sebanyak 400 gr dan ditutup rapat menggunakan selotip selama minimum 21 hari. Aktivitas isotop lingkungan (*environmental isotope*) ^{137}Cs didapat pada energi 661 keV, sedangkan aktivitas ^{210}Pb total ditentukan pada energi 46,5 keV, dan radioaktivitas ^{214}Pb atau ^{210}Pb *supported* ditentukan pada energi 351,9 keV. Radioaktivitas dari ^{210}Pb *unsupported* atau *excess* didapat dengan cara melakukan pengurangan radioaktivitas ^{210}Pb

supported terhadap ^{210}Pb total [7]. Setelah pencacahan, sampel tanah dikembalikan ke kantong plastik dan disimpan atau tetap didalam merinelli yang tersegel sehingga dapat dianalisis kembali jika diperlukan.

Analisis data

Perhitungan laju erosi/deposisi untuk setiap titik percobaan menggunakan Model Kesetimbangan Massa 1 (MKM1) yang terdapat dalam software model konversi ^{137}Cs yang dikembangkan di Universitas EXETER- United Kingdom, yaitu : [8]

$$Y = 10 d B (1 - (1 - X/100)^{1/(t-1963)})$$

(i)
Dimana :

Y = laju erosi pertahun (t/ha/th)

d = kedalaman lapisan pengolahan tanah (m)

B = densitas bulk (kg/m^3)

X = persentase kehilangan total inventori isotop lingkungan (didefinisikan sebagai

- $(A_{\text{ref}} - A) / A_{\text{ref}} \times 100$ untuk $A < A_{\text{ref}}$, dan

- $(A - A_{\text{ref}}) / A_{\text{ref}} \times 100$ untuk $A > A_{\text{ref}}$)

t = Tahun saat pengambilan sampel

A_{ref} = total inventori isotop lingkungan di lokasi pembanding (Bq/m^2)

A = total inventori isotop lingkungan titik percobaan (Bq/m^2)

HASIL dan PEMBAHASAN

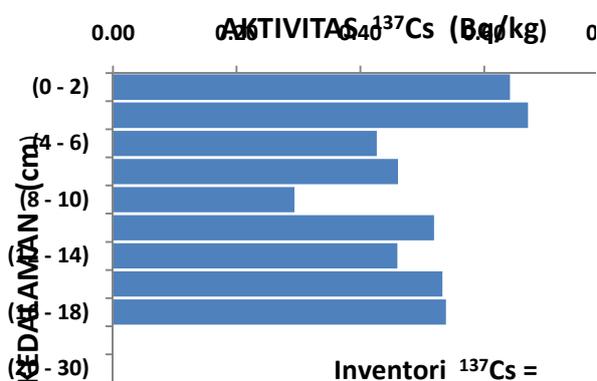
a. Lokasi Pembanding

Pada studi erosi menggunakan radioisotop yang ada di lingkungan (*environmental isotope*), dan perlu dicari suatu lokasi dimana erosi/deposisi tidak terjadi/kecil sekali. Lokasi itu disebut sebagai lokasi pembanding, dimana nilai inventori radiolisotop lingkungannya yang terdapat di lokasi ini akan digunakan sebagai pembanding terhadap nilai inventori radioisotop lingkungan yang terdapat di lokasi penelitian, sehingga laju erosinya dapat dihitung. Pada penelitian ini lokasi pembanding yang dipilih adalah hutan lindung yang terletak di kecamatan Muncang pada posisi (S = $06^\circ 36' 12''$; T = $106^\circ 18' 43''$). Pengambilan sampel di lokasi pembanding dilakukan sebanyak 1 titik menggunakan alat *scraper* untuk profil distribusi vertikal dan 7 titik menggunakan alat *coring* untuk nilai inventori. Sampel-sampel tanah setelah mengalami perlakuan awal akan dianalisis menggunakan alat spektrometer gamma dimana alat ini memiliki minimum deteksinya (MDC) adalah untuk ^{210}Pb total = 7,7 Bq/kg, ^{210}Pb *supported* = 5 Bq/kg dan ^{137}Cs = 0 Bq/kg. Nilai aktivitas dan profil distribusi vertikal dari radioisotop ^{137}Cs dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 2.

Tabel 1. Aktivitas (Bq/kg) dan inventori (Bq/m²) ¹³⁷Cs di lokasi pembanding Ht.Lindung- Kec. Muncang - BANTEN

No	Profil distribusi		INVENTORI		
	Kedalaman (cm)	Bq/kg	KODE	Bq/kg	Bq./m ²
1.	(0 - 2)	0,64 ± 0,08	Scrapper (0 -20) cm	4,54 ± 0,21	63,45 ± 3,33
2.	(2 - 4)	0,67 ± 0,08	COR 1	0,34 ± 0,08	58,67 ± 14,32
3.	(4 - 6)	0,43 ± 0,07	COR 2	0,46 ± 0,08	83,05 ± 13,67
4.	(6 - 8)	0,46 ± 0,04	COR 3	0,57 ± 0,08	88,71 ± 11,90
5.	(8 - 10)	0,29 ± 0,06	COR 4	0,58 ± 0,05	83,39 ± 6,80
6.	(10 - 12)	0,52 ± 0,07	COR 5	0,49 ± 0,13	83,76 ± 22,17
7.	(12 - 14)	0,46 ± 0,07	COR 6	0,39 ± 0,14	65,49 ± 23,48
8.	(14 - 16)	0,53 ± 0,07	COR 7	0,64 ± 0,05	95,67 ± 7,02
9.	(16 - 18)	0,54 ± 0,09			
10.	(18 - 20)	< MDC	RERATA	77,78 ± 8,86	
11.	(20 - 30)	< MDC			

Profil distribusi vertikal dari radioisotop ¹³⁷Cs di lokasi pembanding ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Profil distribusi vertikal radioisotop ¹³⁷Cs di Lokasi pembanding Ht. Lindung - Kec.Muncang – Lebak

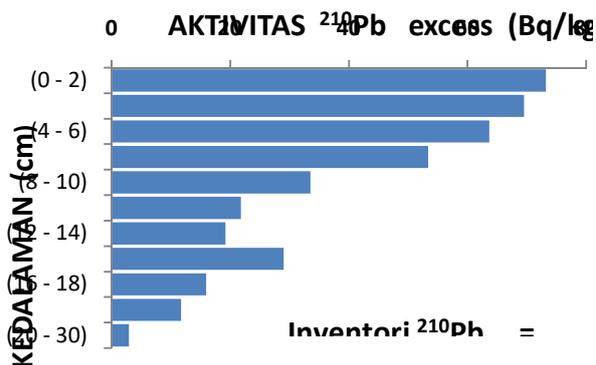
Melalui Gambar 2 dapat diketahui bahwa profil distribusi radioisotop ¹³⁷Cs di lokasi ini tidak mengikuti pola secara teoritis yaitu aktivitas maksimum pada lapisan atas dan menurun secara eksponensial dengan bertambahnya kedalaman. Hal ini karena tempat datar di lokasi ini tidak terlalu luas dan jarak antara pohon tidak terlalu jauh sehingga akar-akar tanaman tersebut saling bertemu, akibatnya dapat mengganggu proses distribusi radioisotop ke lapisan yang lebih dalam. Aktivitas maksimum pada profil distribusi ini terdapat pada lapisan pertama dan kedua. Jatuhan (*fallout*) dari radioisotop ¹³⁷Cs hanya terjadi sekali, sehingga distribusi ini tidak dapat terulang kembali.

Untuk nilai aktivitas dan profil distribusi vertikal dari radioisotop alam ²¹⁰Pb_{ex} dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 3.

Tabel 2. Aktivitas (Bq/kg) dan inventori (Bq/m²) ²¹⁰Pb_{excess} di lokasi Pembanding Ht.Lindung – Kec.Muncang – Lebak

No	Profil distribusi		INVENTORI		
	Kedalaman (cm)	Bq/kg	KODE	Bq/kg	Bq./m ²
1.	(0 - 2)	73,24 ± 2,62	Scrapper (0 - 20) cm	390,97 ± 9,04	4535 ± 143
2.	(2 - 4)	69,53 ± 3,32	COR 1	26,48 ± 2,02	4628 ± 353
3.	(4 - 6)	63,66 ± 3,49	COR 2	16,39 ± 2,88	2963 ± 521
4.	(6 - 8)	53,39 ± 1,86	COR 3	24,95 ± 2,81	3895 ± 439
5.	(8 - 10)	33,52 ± 2,65	COR 4	27,13 ± 1,54	3868 ± 220
6.	(10 - 12)	21,80 ± 3,00	COR 5	24,28 ± 2,64	4182 ± 454
7.	(12 - 14)	19,18 ± 2,85	COR 6	21,55 ± 3,26	3644 ± 551
8.	(14 - 16)	29,00 ± 2,95	COR 7	31,29 ± 1,94	4698 ± 291
9.	(16 - 18)	15,94 ± 3,63			
10.	(18 - 20)	11,71 ± 1,48	RERATA	4052 ± 388	
11.	(20 - 30)	2,92 ± 2,68			

Profil distribusi vertikal dari radioisotop ²¹⁰Pb_{ex} di lokasi pembanding ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Profil distribusi vertikal radioenvironmental isotope ²¹⁰Pb_{ex} di lokasi Pembanding Ht. Lindung – Kec.Muncang – Lebak

Pada Gambar 3 terlihat bahwa profil distribusi ²¹⁰Pb_{ex} pada lapisan tanah mendekati idealis, hal ini disebabkan karena jatuhnya ²¹⁰Pb_{ex} masih berlangsung sampai saat ini sehingga dapat membentuk profil distribusi vertikal yang baik.

b. Studi erosi/deposisi

Pengambilan sampel untuk titik-titik percobaan distribusi erosi/deposisi dilakukan menggunakan alat coring dengan kedalaman 20 cm. Lokasi-lokasi yang dipilih adalah berupa lahan olahan, kebun campuran dan perkebunan karet dan kelapa sawit. Untuk kebun campuran pada umumnya ditanami oleh tanaman keras seperti jengkol, pete, duren, akasia, jati, mahoni dan beberapa jenis tanaman keras lainnya. Nilai-nilai aktivitas dan inventori ¹³⁷Cs untuk setiap titik percobaan dapat dilihat pada Tabel 3.

No	LOKASI	INVENTORI (Bq/m ²)		
		¹³⁷ Cs	²¹⁰ Pb _{ex}	
1.	Agroforestry : AF 1	169 ± 14	4350 ± 480	
		AF 2	160 ± 26	5160 ± 617
		AF 3	198 ± 15	4301 ± 495
		AF 4	292 ± 20	5664 ± 196
2.	Lahan Olahan : TO 8	124 ± 11	1716 ± 329	
		TO 9	145 ± 11	2024 ± 314
		TO 10	146 ± 25	3163 ± 341
3.	Kebun campuran : MHN 11	272 ± 16	3087 ± 465	
		MHN 12	69 ± 33	2050 ± 569
		MHN 13	199 ± 15	1199 ± 410
4.	Kebun campuran : KJB 14	62 ± 7	535 ± 221	
		KJB 15	346 ± 19	1328 ± 471
5.	Lahan Kosong : (bekas tanaman Karet) KK 16	248 ± 40	333 ± 89	
		KK 17	164 ± 12	665 ± 127
		KK 18	126 ± 11	704 ± 165
6.	Perkebunan Kelapa Sawit : KS 19	97 ± 12	883 ± 271	
		KS 20	153 ± 10	613 ± 175
		KS 21	< MDC	3269 ± 436
7.	Lahan Olahan (campuran) : KBS 22	150 ± 13	3616 ± 477	
		KBS 23	77 ± 6	149 ± 26
		KBS 24	142 ± 12	1642 ± 377
8.	Lahan Olahan (Kebun singkong) : KBS 25	159 ± 13	543 ± 84	
		KBS 26	101 ± 6	1681 ± 99
		KBS 27	90 ± 40	524 ± 110
		KBS 28	186 ± 41	2638 ± 497
		KBS 29	247 ± 34	1584 ± 346
9.	Kebun campuran : JBN 31	276 ± 18	3220 ± 782	
		JBN 32	142 ± 17	133 ± 37
10.	Kebun karet (peremajaan Tanaman) : BM 34	126 ± 14	418 ± 98	
		BM 35	109 ± 21	433 ± 75
		BM 36	103 ± 7	1149 ± 197
		BM 37	103 ± 10	2041 ± 408
11.	Kebun karet : SJR 38	51 ± 19	1445 ± 313	
		SJR 39	< MDC	870 ± 331
12.	Kebun campuran (tnm utama segon) : CMN 40	108 ± 18	3306 ± 468	
		CMN 41	97 ± 20	2320 ± 347
13.	Kebun campuran (tnm utama segon) : CMG 42	104 ± 5	3288 ± 94	
		CMG 43	163 ± 14	2943 ± 529
14.	Kebun campuran (tnm utama Mahoni) : MCG 44	86 ± 8	403 ± 112	
		MCG 45	181 ± 28	1672 ± 352
		MCG 46	132 ± 25	1723 ± 264

Dengan menggunakan persamaan (i), diperoleh laju erosi/deposisi dari setiap lokasi seperti yang terlihat pada Tabel 4.

Tabel 3. Lokasi penelitian dan nilai inventori untuk

Tabel 4. Hasil perhitungan laju erosi/deposisi setiap lokasi penelitian

No	LOKASI	POSISI		LAJU EROSI (t/ha.th)		KETERANGAN
		S	T	¹³⁷ Cs	²¹⁰ Pb _{ex}	
1.	Agroforestry (AF 1)	06° 29' 25"	106° 27' 27"	41,0	4,0	Tanaman Akasia
2.	Lahan Olahan (TO 2)	06° 29' 28"	106° 27' 29"	14,4	-9,7	Palawija (sistim rotasi)
3.	Kebun campuran (MHN 3)	06° 31' 11"	106° 22' 51"	33,2	-20,0	Tanaman utama Akasia
4.	Kebun campuran (KJB 4)	06° 30' 22"	106° 22' 21"	32,2	-42,3	Jinjing, akasia
5.	Lahan kosong (KK 5)	06° 25' 13"	106° 13' 55"	38,5	-63,4	Peremajaan tanaman karet
6.	Perkebunan Sawit (KS 6)	06° 31' 07"	106° 12' 30"	14,1	-49,0	Kelapa sawit
7.	Lahan olahan (KBS 7)	06° 31' 54"	106° 13' 29"	12,0	-39,4	Singkong, kapulaga, jagung
8.	Lahan olahan (KBS 8)	06° 29' 06"	106° 22' 02"	26,2	-45,0	Singkong
9.	Kebun campuran (JBN 9)	06° 34' 56"	106° 24' 28"	63,6	-48,7	Jati ambon, pisang
10.	Kebun karet (BM 10)	06° 26' 48"	106° 19' 05"	9,4	-43,4	Peremajaan tanaman karet
11.	Perkebunan karet (SJR 11)	06° 29' 49 "	106° 20' 47"	-32,7	-32,9	Karet
12.	Kebun campuran (CMN 12)	06° 32' 08"	106° 19' 14"	5,2	-9,8	Tanaman utama serasa
13.	Kebun campuran (CMN 13)	06° 32' 14"	106° 18' 21"	13,1	-6,7	Tanaman utama akasia

14.	Kebun campuran (MCG 14)	06° 32' 57"	106° 16' 03"	16,1	-36,8	Tanaman utama mahoni
-----	-------------------------	-------------	--------------	------	-------	----------------------

Melalui Tabel 4, dapat dilihat bahwa hasil yang diperoleh menunjukkan ada perbedaan hasil perhitungan antara ^{137}Cs dan $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$, hal ini disebabkan karena radioisotop ^{137}Cs yang ada di lingkungan memberikan akumulasi laju erosi selama 40 tahun sedangkan $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ memberikan akumulasi laju erosi untuk kurun waktu selama 100 tahun. Pada Tabel 2 terlihat bahwa radioisotop ^{137}Cs memberikan hasil laju deposisi untuk hampir semua lahan penelitian hanya perkebunan karet yang memberikan laju erosi, sedangkan radioisotop alam $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ memberikan laju erosi untuk hampir semua lahan penelitian kecuali lahan agroforestry (AF1) memberikan hasil laju deposisi. Berdasarkan teknik isotop lingkungan ^{137}Cs diperoleh bahwa hampir seluruh lahan tidak mengalami proses erosi atau terjadi proses deposisi, hal ini karena perhitungan laju erosi berdasarkan pada selisih nilai inventori radioisotope lingkungan dari lokasi terhadap nilai inventori radioisotop lingkungan dari lokasi penelitian. Lokasi pembanding (*reference site*) yang berupa hutan lindung yang terletak di kecamatan Muncang. Hutan lindung ini ditumbuhi oleh tanaman keras sejenis pinus yang cukup rapat dengan akar-akar tumbuhannya yang panjang dan dalam. Nilai inventori untuk radioisotop ^{137}Cs dari lokasi ini relatif kecil (78 Bq/m^2), sedangkan untuk lokasi penelitian kandungan radioisotop ^{137}Cs sebagian besar lebih besar dari lokasi pembanding, sehingga pada perhitungan laju erosi diperoleh laju deposisi. Kecilnya nilai inventori radioisotop ^{137}Cs di lokasi pembanding ini, disebabkan karena kondisi tanaman yang cukup dekat satu sama lain dengan akar-akar yang panjang dan dalam menyebabkan proses distribusi jatuhnya radioisotop alam ^{137}Cs pada lapisan tanah yang terjadi sekitar tahun 1950-an hingga 1960-an terganggu, sehingga kemungkinan lebih banyak radioisotop ^{137}Cs yang terbawa oleh air hujan dibandingkan yang melekat

DAFTAR PUSTAKA

1. "Rencana Tindak DAS Cijung", laporan Utama 1 BP DAS Ciliwung-Citarum, 2010
2. Shuller, P., Walling, D.E., et al, (2013), "Using ^{137}Cs and $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ and other sediment source Fingerprints to document suspended sediment sources in small forested catchments in south-central Chile", *Journal of Environmental Radioactivity*, 124, p. 147 – 159
3. Yungi Zhang, Yi Long, et al, (2014), "Spatial patterns of ^{137}Cs inventories and soil erosion from earth-banked terraces in the Yimeng Mountains, China", *Journal of Environmental Radioactivity*, 136, p. 1 - 9
4. Walling, D.E., (2002), "Recent advance in the use of environmental radionuclides in Soil

pada lapisan tanah. Berdasarkan data-data tersebut maka dapat dilihat bahwa radioisotop ^{137}Cs yang terdapat di lingkungan subDAS ini tidak dapat digunakan untuk menghitung laju erosi/deposisi. Sedangkan radioisotop alam $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ merupakan hasil peluruhan panjang dari ^{238}U yang terjadi sampai sekarang, sehingga memberikan nilai inventori yang ideal demikian juga untuk profil distribusinya. Berdasarkan pada kondisi lapangan dimana air sungai yang berwarna coklat pekat dan seingnya terjadi banjir di subDAS ini karena adanya pendangkalan sungai menunjukkan bahwa telah terjadi erosi yang cukup tinggi di subDAS Ciberang ini, maka penggunaan radioisotop alam $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ lebih memberikan hasil yang sesuai karena hampir seluruh lokasi penelitian memberikan hasil laju erosi.

KESIMPULAN

Melalui hasil percobaan ini dapat diketahui bahwa metode ^{137}Cs dan $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ dapat diaplikasikan untuk menentukan memperkirakan laju erosi/deposisi. Untuk beberapa tahun kedepan penggunaan $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ akan lebih bermanfaat, karena aktivitas dari ^{137}Cs akan semakin habis sehingga akan sulit untuk mendeteksinya, sedangkan radioenvironmental isotope $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ akan selalu ada di alam ini.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini terlaksana atas dana dari Lembaga Non Departemen BATAN. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, Kepala Bidang Industri dan Lingkungan serta rekan-rekan di subKelompok Erosi/Sedimentasi sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik.

Erosion Investigation". *Nuclear Techniques in Integrated Plant Nutrient, Water and Soil Mangement*. (Proc. Vienna Symp., Oct. 2000), IAEA Publication CSP- 1/C., International Atomic Energy Agency, Vienna, p. 290-312

5. Walling, D.E., Collin, A.L., and Sickingabula, H.M., (2003), "Using unsupported lead-210 measurements to investigate soil erosion and sediment delivery in a small Zambia catchment" *Geomorphology*, 52, Elsevier, p. 193 -213.
6. Fang, H.Y., Sheng, M.L., et al, (2013), "Assessment of soil redistribution and spatial pattern for a small catchment in the black soil region, Northeastern China: Using fallout $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ", *Soil and Tillage Research*, 133, p. 85 – 92.

7. Porto, P., and Walling, D.E., (2012) Validating the use of ^{137}Cs and $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ measurements to estimate rates of soil loss from cultivated land in southern Italy. *Journal of Environmental Radioactivity* 106 : 47 – 57.
8. Zapata,F., (2002) Handbook for the assessment of soil erosion and sedimentology using environmental

radionuclides”, Dordrecht- Netherland, Kluwer Academic Publishers, 111 - 162.

NO	Nama penanya	Kode Makalah	Nama Penyaji	Pertanyaan dan Jawaban
1	Nur Fatoni (STTN-BATAN)	OA05	Nita Suhartini (BATAN)	<p>1. Dari data yg diperoleh utk parameter Cs dari permukaan tanah, cukup fluktuatif, sehingga kurang baik untuk dijadikan sbg parameter acuan. Sedangkan utk PB, data yg diperoleh cukup baik, karena dari permukaan ke kedalaman tanah semakin kecil. Pertanyaannya pada kedalaman +/- 14 cm data Pb lebih besar dari permukaan di atasnya. Mengapa hal ini terjadi dimungkinkan karena Radon yg menjadi Pb paling banyak di kedalaman ini atau adahal lain yg menyebabkannya?</p> <p>Jawab:</p> <p>1. Utk Pb-210 ex pd kedalaman 14 cm lebih tinggi dari lapisan di atasnya, karena air hujan membawa sampai kedalaman tsb. Dan kandungan lempung pd lapisan tsb, cukup tinggi.</p>

OA06

PENGEMBANGAN PENGATUR PARAMETER PESAWAT SINAR-X MEDIK BERBASIS ARDUINO

Bimo Saputro¹, I Putu Susila², Muhtadan³

¹Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi – Badan Tenaga Nuklir Nasional

²Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir – Badan Tenaga Nuklir Nasional

³Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir – Badan Tenaga Nuklir Nasional

e-mail: bimo-saputra@batan.go.id, putu@batan.go.id, muhtadan@batan.go.id

ABSTRAK

PENGEMBANGAN PENGATUR PARAMETER PESAWAT SINAR-X MEDIK BERBASIS ARDUINO. Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik yang tidak memiliki massa dan muatan listrik. Sinar-X telah diaplikasikan pada berbagai bidang, diantaranya pada bidang kesehatan dimana sinar-X dihasilkan dari pesawat sinar-X medis yang dimanfaatkan untuk tujuan diagnostik. Pada pemanfaatan untuk diagnostik, sinar-X yang dihasilkan dari pesawat sinar-X harus presisi agar dosis yang dipaparkan pada objek sesuai dan menghasilkan citra yang sesuai. Selain itu, diperlukan kemandirian teknologi dalam bidang rekayasa pesawat sinar-X sehingga dapat memenuhi kebutuhan pesawat sinar-X bagi industri kesehatan. Maka pada penelitian ini dilakukan pengembangan pengatur parameter pesawat sinar-X menggunakan sistem digital dimaksudkan untuk meningkatkan performa dari pengatur parameter pesawat sinar-X menggunakan sistem analog. Sistem digital memiliki beberapa keunggulan diantaranya memiliki kemampuan memproduksi sinyal yang akurat serta memiliki reliabilitas yang baik. Pada penelitian ini, pengembangan generator sinar-X berbasis Arduino sebagai pengendali parameter pesawat sinar-X meliputi tegangan tinggi, arus filamen dan waktu penembakan (*time exposure*). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pada pengaturan tegangan tinggi dilakukan menggunakan modul berbasis PWM (*Pulse Width Modulation*) untuk mengatur nilai tegangan tinggi (kV) pada pesawat sinar-X, membuat penyesuaian tegangan terhadap fluktuasi tegangan PLN ($\pm 10\%$) serta menilai kualitas kVp dari berkas sinar-X yang dihasilkan pada modul berbasis PWM dengan modul berbasis VARIAC. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan hasilnya diperoleh bahwa pada modul berbasis PWM nilai eror RMSE kVp mencapai 3,26 sedangkan pada modul berbasis VARIAC nilai eror RMSE kVp sebesar 9,26. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pengaturan tegangan tinggi (kV) berbasis PWM memiliki tingkat presisi yang lebih baik dibandingkan dengan berbasis VARIAC.

Kata Kunci : Arduino, Pesawat Sinar-X Digital, PWM, Sinar-X, VARIAC

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF MEDICAL X-RAY TUBE PARAMETERS CONTROLLER BASED ON ARDUINO. X-rays are an electromagnetic waves that have no mass and electric charge. X-rays have been applied to various fields, such as in the health field whereas X-rays are produced from medical X-ray tube used for diagnostic purposes. X-rays that utilize for diagnostic, generated from X-ray tube should be precision so that the doses exposed to object are appropriate and produce an image corresponding to the object. In addition, technological independence is required in a fields of X-ray tube engineering so the need of X-ray tube for health industry can be completed. So on the research has been development of X-ray tubes parameters controlled using a digital system is intended to enhance the performance of X-ray tubes parameters using a analog system. Digital system has been several advantages including the ability to produce an accurate signal and has a good reliability. In this research, developed the X-ray generator based Arduino as a control X-ray tubes parameters such as high voltage, filament current and exposure time. The methods are used in this research are the high voltage regulator is done using a module-based PWM (*Pulse Width Modulation*) for setting the value of high voltage (kV) on X-ray tubes, making the adjustment voltage against PLN voltage fluctuation ($\pm 10\%$) as well as assessing the kVp as a X-ray quality generated in module-PWM based with module-VARIAC based. Based on the research the result showed that the module-PWM based on RMSE error value of kVp value reached 3,26 while the module-VARIAC based on RMSE error value of kVp amount of 9,26. Then can be concluded that the module-PWM based better than module-VARIAC based on the precision performance.

Keywords : Arduino, Digital X-Ray Tubes, PWM, VARIAC, X-Ray

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik yang tidak memiliki massa dan muatan listrik. Sinar-X pertama kali ditemukan oleh Wilhelm Conrad Rontgen pada tahun 1895 dan telah diaplikasikan di berbagai bidang seperti bidang

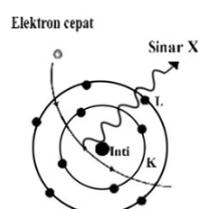
industri, keamanan dan bidang kesehatan. Pada bidang kesehatan terdapat pesawat sinar-X medis yang dimanfaatkan untuk tujuan diagnostik^[2]. Menurut data yang dikeluarkan oleh BAPETEN, penggunaan perangkat sinar-X untuk radiologi dan intervensional di Indonesia mencapai 5.403 dari jumlah tersebut masih banyak penggunaan perangkat

sinar-X konvensional, dimana pada umumnya pesawat sinar-X konvensional masih menggunakan sistem analog. Beberapa kelemahan sistem analog adalah tidak memiliki kemampuan yang akurat, sehingga berdampak terhadap paparan radiasi yang diterima oleh pasien serta dapat mempengaruhi kualitas berkas sinar-X. Meskipun begitu, beberapa Rumah Sakit di Indonesia telah menggunakan sistem pesawat sinar-X digital, dimana pemenuhan kebutuhan pesawat sinar-X digital masih dilakukan secara impor sehingga ketergantungan terhadap produk luar negeri akan tinggi. Selain itu, penelitian mengenai rekayasa sistem pesawat sinar-X digital dalam negeri tidak terlalu banyak, maka dari itu penguasaan dalam hal pesawat sinar-X digital penting dilakukan dalam rangka untuk mencapai kemandirian teknologi Indonesia.

Pada dasarnya sistem digital menggunakan kombinasi sistem logika benar dan salah. Cara tersebut digunakan untuk menyelesaikan sebuah masalah dalam sistem elektronik dengan langkah berpikir logis dan berurutan. Penerapan metode digital pada sistem pengendali pesawat sinar-X memungkinkan pengaturan tegangan tinggi, arus filamen maupun waktu penyinaran (*timer*) secara presisi, sehingga didapatkan berkas sinar-X dan dosis yang presisi. Pada penelitian ini dilakukan pengembangan pengatur tegangan tinggi (kV), waktu penyinaran (*exposure timer*) dan *start/stop* secara digital dengan berbasis Arduino serta memperhitungkan dampak perubahan tegangan PLN $\pm 10\%$ (Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 atau PUIL 2000) terhadap keluaran untuk pengaturan tegangan tinggi (kV), sehingga sistem ini akan memiliki kemampuan kompensasi secara otomatis apabila terjadi perubahan tegangan PLN sehingga tidak mempengaruhi perubahan nilai keluaran tegangan tinggi tabung sinar-X (kV).

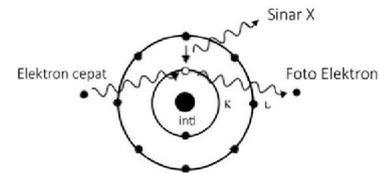
DASAR TEORI Sinar-X

Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik yang tidak mempunyai massa dan muatan listrik. Sinar-X dihasilkan dari tumbukan elektron dengan materi. Terdapat 2 sinar-X yang dihasilkan, yaitu sinar-X kontinyu (Bremsstrahlung) dan sinar-X karakteristik^[6]. Sinar-X kontinyu atau bremsstrahlung dihasilkan dari perlambatan sebuah elektron yang mendekati inti atom kemudian mengalami perlambatan dan berbelok arah. Pada saat mengalami perlambatan, elektron memancarkan sinar-X. Gambar 1. menunjukkan terjadinya sinar-X bremsstrahlung^[4].



Gambar 1. Sinar-X Bremsstrahlung^[7].

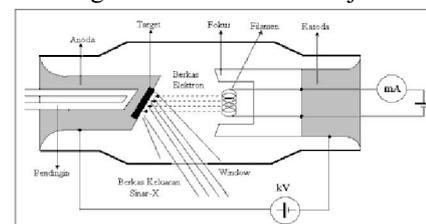
Gambar 2. menunjukkan terjadinya sinar-X karakteristik, dimana sinar-X karakteristik dihasilkan dari sebuah elektron cepat yang menumbuk elektron dari kulit atom hingga elektron terlepas. Elektron yang berada pada kulit diluarnya mengisi kekosongan elektron di kulit dalamnya. Pada saat pengisian elektron (proses eksitasi) diikuti dengan pancaran sinar-X karakteristik^[4].



Gambar 2. Sinar-X Karakteristik^[7]

Pesawat Sinar-X

Pesawat sinar-X adalah pesawat yang digunakan untuk memproduksi sinar-X. Skema tabung sinar-X dapat dilihat pada Gambar 3. Sinar-X berasal dari elektron yang dibangkitkan dengan memberi daya pada filamen, kemudian dipercepat menggunakan tegangan tinggi (HV) agar mempunyai energi kinetik yang besar. Selanjutnya elektron berenergi tinggi ditembakkan pada sebuah target. Pada saat menumbuk target, elektron-elektron ini akan melepaskan energi kinetiknya, kemudian energi tersebut berubah menjadi sinar-X^[5].



Gambar 3. Skema Tabung Sinar-X^[10].

A. Pengaruh arus tabung

Arus tabung dalam besaran mA merupakan arus yang mempengaruhi pemanasan filamen, jika arus tabung semakin tinggi maka panas filamen semakin meningkat. Peningkatan arus tabung akan menambah intensitas sinar-X dan sebaliknya, sehingga semua intensitas sinar-X atau derajat terang/ *brightness* dipengaruhi oleh arus tabung^[12].

B. Pengaruh tegangan tinggi

Tegangan tinggi (HV) dalam besaran kV akan berpengaruh pada daya tembus sinar-X terhadap obyek.

Semakin besar tegangan masukan maka semakin besar energi yang dihasilkan, sehingga dosis serap sinar-X yang dihasilkan juga semakin meningkat. Maka tegangan tinggi tabung berpengaruh pada pembentukan gambar, karena perubahan tegangan menyebabkan perubahan pada intensitas berkas sinar-X. Hal ini terjadi tanpa adanya perubahan arus tabung^[12].

Arduino

Arduino merupakan rangkaian elektronik dengan sebuah *board* mikrokontroler yang berbasis ATmega328 yang memiliki perangkat keras dan lunak. Arduino memiliki kelebihan dibanding *board* mikrokontroler yang lain, yaitu modul Arduino murah, *software* dapat dioperasikan pada Windows, Macintosh OSX, Linux, serta sistem perangkat lunak dan keras yang sudah terintegrasi dalam *board* Arduino. Modul *board* Arduino seperti pada Gambar 4.

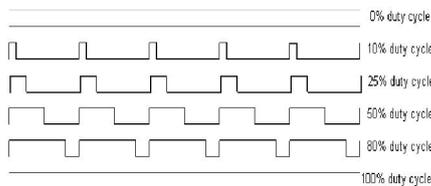


Gambar 4. *Board* Arduino Uno^[1].

Pada Arduino memiliki fitur timer, dimana timer pada arduino dengan ATmega 328 memiliki 3 modul timer yang terdiri atas 2 buah timer/counter 8-bit dan 1 buah timer/counter 16 bit. Masing-masing timer memiliki register tertentu yang digunakan untuk mengatur mode dan cara kerjanya. Nilai maksimal untuk 8 bit sebesar 255 dan 16 bit sebesar 65535^[1].

PWM (Pulse Width Modulation)

Pulse Width Modulation (PWM) adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam satu periode, untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. Lebar pulsa PWM berbanding lurus dengan amplitudo sinyal asli yang belum termodulasi. Artinya, sinyal PWM memiliki frekuensi gelombang yang tetap namun *duty cycle* (lebar sinyal) bervariasi antara 0% hingga 100%. Pada PWM, perubahan tegangan yang berbeda dilakukan dengan mengubah periode pulsa. Periode pulsa dapat diubah menggunakan fasilitas dari mikrokontroler ataupun Arduino, dengan menentukan nilai luasan tertentu pada nilai periode pulsa. Pada PWM teknik pengontrolan digital dilakukan dengan membuat gelombang kotak dengan sinyal yang terhubung *on* dan *off*. Gambar 5. menunjukkan durasi atau periode dari kondisi *on-off* pulsa PWM^[1].



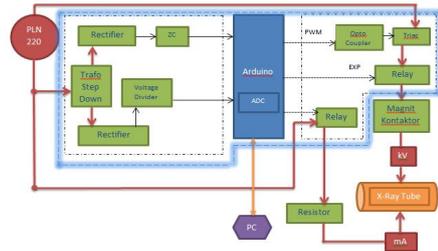
Gambar 5. Perubahan *Duty Cycle* pada Pulsa PWM^[1].

METODOLOGI

Perancangan Sistem

Gambar 56. menunjukkan rancangan modul pengatur parameter pesawat sinar-X berbasis PWM. Tegangan PLN digunakan sebagai masukan nilai

tegangan yang akan diatur menggunakan PWM, relay, serta magnet kontaktor.



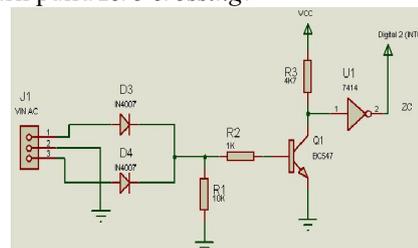
Gambar 6. Blok Diagram Rangkaian Modul Pengendali Pesawat Sinar-X Berbasis PWM.

Tegangan PLN sebagai tegangan masukan untuk *trafo step down* CT dari 220 diturunkan tegangannya hingga 12 volt dan disearahkan dengan 4 buah diode. Dioda digunakan sebagai pendeteksi pulsa *zero crossing*. Cara kerja pulsa *zero crossing* dengan memanfaatkan kinerja dari transistor. Ketika tegangan PLN berada pada tegangan $\geq 0,7$ VAC hingga 220 VAC maka kondisi di basis transistor akan *high*, hal tersebut menyebabkan kondisi pada kolektor transistor akan *low*. Ketika tegangan PLN berada pada $< 0,7$ VAC maka akan terjadi sebaliknya, sehingga pada kondisi tersebut kolektor transistor mendeteksi titik nol dari pulsa sinus.

Tegangan searah masuk ke *voltage divider* sehingga didapatkan tegangan referensi untuk nilai bit ADC sebesar 10 bit (1023) yang akan digunakan sebagai masukan Arduino. Tegangan referensi digunakan pada modul Arduino untuk pembacaan perubahan tegangan PLN sebagai penyesuaian fluktuasi tegangan dengan model persamaan yang telah dimasukkan pada program. Terakhir, setelah Arduino mendapat perintah dari PC, kemudian pulsa PWM diinterupsi oleh pulsa *zero crossing* agar permulaan pulsa dapat “seragam” dari titik nol pulsa sinus. Pulsa PWM terhubung dengan komponen triac untuk digunakan sebagai saklar tegangan AC. Triac tersambung dengan relay sebagai *start/stop exposure* kemudian terhubung dengan magnet kontaktor sebagai suplai tegangan tinggi (kV) pada tabung sinar-X. Sedangkan arus filamen tabung sinar-X (mA) mendapat suplai dari tegangan PLN untuk mengaktifkan relay pada modul.

Perancangan Modul Pengatur Parameter

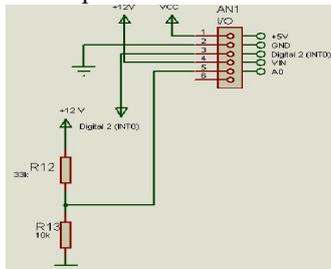
Pulsa *zero crossing* merupakan suatu pulsa yang digunakan untuk mendeteksi titik nol suatu gelombang sinus. Gambar 7. menunjukkan rangkaian penghasil pulsa *zero crossing*.



Gambar 7. Rangkaian Pulsa *Zero Crossing*.

Cara kerja rangkaian tersebut memanfaatkan cara kerja transistor. Ketika Tegangan PLN mencapai nilai $\geq 0,7$ maka basis transistor akan aktif sehingga membuat kolektor *off*. Kemudian ketika tegangan PLN berada $< 0,7$ kolektor pada transistor akan *on* karena basis transistor tidak aktif. Pada kondisi saat tegangan PLN berada $< 0,7$ terjadi pulsa *zero crossing* dengan lebar sebesar $400 \mu s$. Pulsa *zero crossing* digunakan untuk “menseragamkan” mulainya pulsa dengan cara menginterupsi setiap kali pulsa PWM muncul. Meskipun tanpa pulsa *zero crossing* jumlah periode pulsa akan tetap sama dengan menggunakan pulsa *zero crossing*, tapi keunggulan dengan adanya pulsa *zero crossing* membuat pulsa sinus akan dimulai pada titik nol.

ADC atau *Analog to Digital Converter* merupakan perangkat elektronika yang berfungsi untuk mengubah sinyal analog (sinyal kontinu) menjadi sinyal digital. Gambar 8. menunjukkan rangkaian pembagi tegangan sebagai pensuplai tegangan referensi pada fasilitas ADC Arduino.



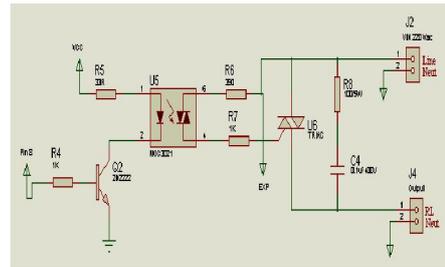
Gambar 8. Rangkaian Pembagi Tegangan.

Rangkaian ADC tersebut digunakan sebagai pembaca perubahan nilai PLN. Ketika terjadi perubahan tegangan tiap 1 Volt dari PLN maka Arduino akan mensampling kemudian mengubah perubahan tegangan tiap 1 Volt setara dengan nilai ADC. Kesetaraan sampling tergantung pada tegangan referensi pada ADC atau tegangan yang masuk pada rangkaian *voltage divider* dan nilai ADC (bit) yang digunakan. Rumusan berikut adalah rumusan yang digunakan untuk mendapatkan tegangan referensi pada ADC dengan *voltage divider*:

$$V_{adc} = \frac{R_{13}}{R_{13} + R_{12}} \times V_{cc} \quad (1)$$

Menggunakan rumusan (1) maka didapatkan V_{adc} sebesar 4,5 V pada rangkaian pembagi tegangan. Kemudian tegangan V_{adc} digunakan sebagai tegangan referensi untuk konversi ke nilai digital menggunakan 10 bit.

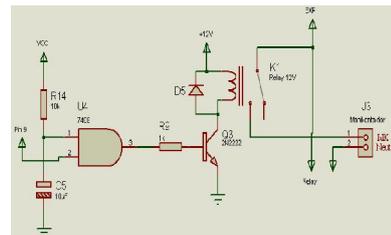
PWM atau *Pulse Width Modulation* merupakan sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam satu periode, untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. Gambar 9. merupakan rangkaian untuk keluaran pulsa PWM.



Gambar 9. Rangkaian Keluaran PWM.

Pulsa PWM akan muncul ketika pulsa *zero crossing* mengintrupsi pertama kali. Pulsa PWM diatur melalui Arduino kemudian mengirimkan datanya untuk mengaktifkan Triac. Tegangan masukan dari PLN diatur lebar pulsanya oleh PWM untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. Tegangan yang didapatkan tersebut digunakan sebagai pengatur tegangan tinggi ke tabung sinar-X.

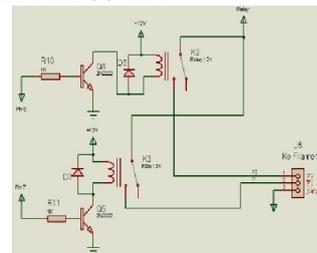
Pada pengatur *start exposure* terdapat gerbang AND yang digunakan sebagai pengirim logika 1 atau 0 atau *on* atau *off*. Ditunjukkan pada Gambar 10. pada gerbang AND terdapat rangkaian RC (Resistor-Capacitor) untuk mengaktifkan *start exposure* dengan memberikan logika 1 pada gerbang AND.



Gambar 10. Rangkaian *Start Exposure*.

Jika gerbang AND memiliki keluaran 1 maka akan mengaktifkan relay yang terkoneksi dengan rangkaian pengatur tegangan tinggi (kV) dan akan membuat *exposure on* dan sebaliknya. Selanjutnya relay akan mengaktifkan magnetkontaktor yang terhubung dengan generator atau pembangkit tegangan tinggi pada tabung pesawat sinar-X.

Pada pemilih arus filamen (mA) digunakan untuk memberi logika 1 atau 0 pada relay yang terhubung dengan tahanan geser. Pada Gambar 11. terdapat dua pemilih arus untuk memilih masing-masing 50 mA dan 70 mA.



Gambar 11. Rangkaian *Selector mA*.

Pada rangkaian tersebut, modul memberi logika 1 pada transistor kemudian mengaktifkan relay yang terhubung dengan tahanan geser sehingga membuat arus filamen *on*. Masing-masing *channel* tahanan

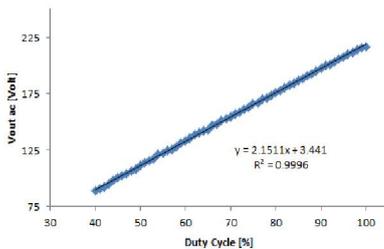
geser terhubung dengan kabel yang terkoneksi dengan bagian filamen pesawat sinar-X.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Modul Berbasis PWM

Setelah dilakukan perancangan modul elektronik dilakukan pengujian terhadap modul. Pengujian *duty cycle* dilakukan untuk menghasilkan tegangan keluaran berdasar nilai *duty cycle* seperti ditunjukkan pada

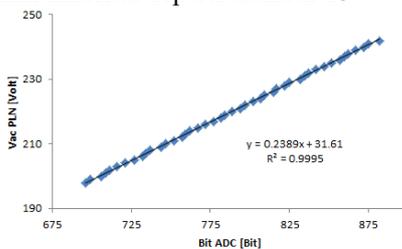
Gambar 12.



Gambar 12. *Duty Cycle* vs V_{out_ac} .

Hasil pengujian menunjukkan nilai *duty cycle* linier dengan hasil tegangan keluar. Selanjutnya nilai tegangan keluaran digunakan sebagai representasi nilai kV pada tabung pesawat sinar-X.

Berikutnya dilakukan pengujian untuk *reliability* jika terjadi fluktuasi tegangan pada tegangan suplai PLN. Variasi tegangan dilakukan pada 198 VAC hingga 242 VAC, pengaturan *range* tersebut didasarkan pada aturan Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000) yang menyatakan bahwa fluktuasi perubahan tegangan PLN sebesar $\pm 10\%$ dari nilai V_{rms} 220 VAC. Hasil Pengujian didapatkan linieritas seperti Gambar 13.



Gambar 13. Nilai ADC vs V_{ac} PLN.

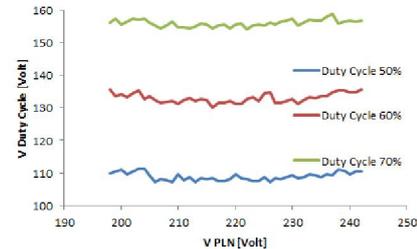
Hasilnya diperoleh linieritas sebesar 0,9995 serta didapatkan persamaan:

$$y = 0.2389x + 31.61 \quad (2)$$

Persamaan tersebut kemudian digunakan sebagai permodelan pengkompensasi pada proses program Arduino jika terjadi fluktuasi tegangan PLN dengan nilai x adalah hasil pembacaan nilai ADC.

Pengujian selanjutnya pada modul berbasis PWM yaitu dengan melakukan pengujian kestabilan VAC dengan variasi *duty cycle* pada 50%, 60% dan 70% yang digunakan sebagai representasi nilai *setting* tegangan tinggi (kV) pada nilai 50 kV, 60 kV dan 70 kV. Pengujian ini kondisi program telah diberi kompensator sebagai pengkompensasi fluktuasi tegangan PLN. Selain itu, sebagai simulasi fluktuasi tegangan PLN diubah-ubah menggunakan VARIAC

(*variable transformer*) pada nilai range 198 V hingga 242 V dengan interval 1 V. Data hasil pengujian didapatkan seperti Gambar 14.

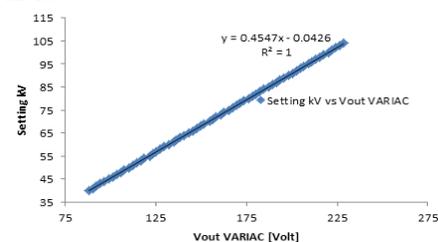


Gambar 14. $V_{Duty Cycle}$ vs V_{PLN} .

Pada percobaan tersebut didapatkan nilai standar deviasi masing-masing 1,205 untuk *duty cycle* 50 ; 1,403 untuk *duty cycle* 60 ; serta 1,044 untuk *duty cycle* 70. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pengkompensasi telah berhasil bekerja dengan mengeluarkan tegangan keluaran yang stabil meskipun terjadi fluktuasi tegangan PLN.

Pengujian Tegangan Keluaran V_{out_ac} Analog Berbasis VARIAC (*Variacble Transforator*)

Pada pengujian pada modul berbasis VARIAC dilakukan untuk mendapatkan data primer sebagai pembandingan performa modul digital berbasis PWM. Dari hasil pengujian didapatkan nilai *setting* tegangan tinggi (kV) pada *range* 40kV-100kV dengan menghasilkan tegangan VAC tertentu. Pada kondisi tersebut tegangan keluaran digunakan untuk membangkitkan tegangan tinggi pada tabung sinar-X. Kemudian dinilai kesesuaiannya dengan metode linieritas antara *duty cycle* dengan V_{out_ac} seperti Gambar 15.



Gambar 15. *Setting* kV vs V_{out} VARIAC

Hasil pengujian tersebut didapatkan nilai linieritas 1 artinya bahwa *setting duty cycle* telah sesuai dengan tegangan keluaran yang diinginkan. Pada pengujian tersebut terbukti bahwa tegangan keluaran VARIAC tidak terpengaruh oleh fluktuasi tegangan dari PLN.

Pengujian *Setting* tegangan tinggi (kV) terhadap Keluaran kVp Pesawat Sinar-X Berbasis Arduino

Pengujian kualitas kVp dari berkas sinar-X berbasis Arduino dilakukan pada tegangan tinggi (kV) 50 dan arus filamen (mA) 50. Spesifikasi tabung sinar-X yang digunakan adalah F50-100 dengan tegangan kerja 100 kV/70 mA. Pada pengujian tersebut digunakan X-ray multimeter merk RaySafe sebagai pembaca nilai dosis efektif. Probe dari X-ray multimeter dipasang tepat dibawah *focal spot* dengan waktu penembakan selama 0,5

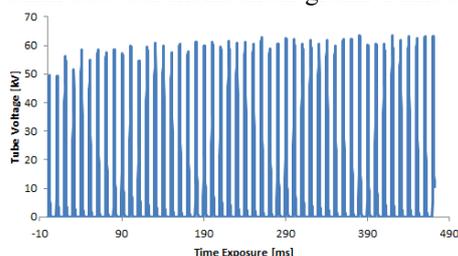
detik pada jarak 1,5 meter dari focal spot. Dari 3 kali pengujian didapatkan hasil seperti Tabel 1.

Tabel 1. Hasil kVp, Dosis dan Jumlah Pulsa pada Modul Berbasis PWM

No	Tegangan (kV)	Dosis (μGy)
1	67	0,1237
2	66,9	0,1228
3	67,4	0,1236

Tabel 1 menunjukkan bahwa secara nilai akurasi masih belum sesuai dengan *setting* awal, dimana ketika dilakukan *setting* tegangan tinggi 50 kV justru dihasilkan nilai dari pembacaan X-ray multimeter sebesar 67 kV ; 66,9 kV serta 67,4 kV. Meskipun jika ditinjau dari segi pembacaan kVp atau akurasi terhadap nilai yang diinginkan belum sesuai dengan *setting* awal yaitu pada nilai kV 50, namun analisis pada penelitian ini difokuskan terhadap nilai presisi dari nilai tegangan tinggi (kVp) yang terbaca oleh X-ray multimeter. Ketidaksesuaian akurasi tersebut disebabkan karena belum diketahuinya kondisi dalam tabung sinar-X. Kondisi dalam tabung sinar-X yang digunakan belum diketahui secara detail mengenai perbandingan lilitan serta pembangkitan tegangan tinggi (HV) dalam tabung. Pada penelitian ini diasumsikan bahwa kondisi tabung ideal, yaitu ketika dilakukan pada catu daya tertentu maka pelipatgandaan menjadi tegangan tinggi (HV) akan sesuai dengan catu daya pada modul. Contohnya, ketika diinginkan pada *setting* tegnagna tinggi 50 kV maka akan menghasilkan keluaran kVp sebesar 50. Meskipun demikian, penelitian ini telah mencapai tujuan awal penelitian dimana hasil yang dituju adalah melihat peforma tingkat presisi modul berbasis Arduino dengan melihat dari kualitas kVp dari berkas sinar-X. Kekurangan yang terdapat dalam penelitian ini dapat dijadikan saran untuk pengembangan lebih lanjut dari pengatur parameter pesawat sinar-X secara digital.

Penilaian tingkat presisi dilakukan dengan metode RMSE (*Root Mean Square Error*), dimana jika nilai yang dihasilkan semakin mendekati nol maka semakin kecil eror dari nilai tersebut. Setelah dilakukan penembakan dengan 3 kali pengujian didapatkan data dan membentuk grafik Gambar 16.



Gambar 16. *Exposure Time vs kV*.

Meskipun belum tepat hasilnya pada 50 kV, akan tetapi peforma tingkat presisi atau kestabilan berbasis Arduino telah stabil. Peforma kestabilan tersebut didapatkan karena pengaturan dilakukan melalui

sistem digital dimana pengaturan tegangan (catu daya) bisa dilakukan lebih presisi karena sistem digital hanya dapat dikondisikan pada dua hal yaitu *high* atau *low* atau biasa disebut diskret.

Dari perhitungan RMSE yang dilakukan kemudian digunakan sebagai penentuan analisis peforma tingkat presisi kVp dari hasil pengaturan berbasis PWM, dimana hasilnya didapatkan nilai RMSE kVp sebesar 3,26 yang berarti bahwa nilai kVp hasil pembacaan memiliki nilai eror sebesar 3,26% dari *setting* awal. Nilai RMSE tersebut menunjukkan tingkat presisi sinar-X hasil pengaturan dari modul berbasis PWM. Meskipun belum tepat hasilnya pada 50 kV, akan tetapi peforma tingkat presisi telah dapat dilakukan penilaian.

Pengujian *Setting* tegangan tinggi (kV) terhadap Keluaran kVp Pesawat Sinar-X Bebas VARIAC

Pengujian kualitas kVp dari berkas sinar-X berbasis VARIAC dilakukan pada kondisi yang sama dengan pengujian kualitas sinar-X berbasis Arduino yaitu pada tegangan tinggi (kV) 50 dan arus filamen (mA) 50. Spesifikasi tabung sinar-X yang digunakan adalah F50-100 dengan tegangan kerja 100 kV/70 mA. Hanya saja pengujian dilakukan dengan waktu penembakan selama 1 detik pada jarak 1 meter dari focal spot dikarenakan ketika pengujian pada kondisi 0,5 detik dengan jarak 1,5 meter dari focal spot alat X-ray multimeter belum dapat membaca keluaran kVp dari tabung sinar-X karena berkas sinar-X yang dihasilkan terlalu rendah sehingga tidak tertangkap oleh X-ray multimeter. Dari 3 kali pengujian didapatkan hasil seperti Tabel 2.

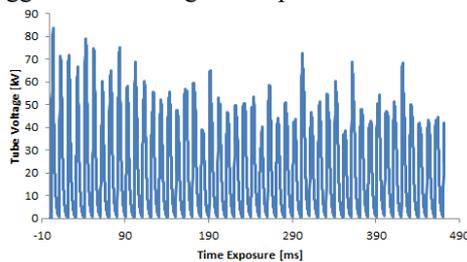
Tabel 2. Hasil kVp, Dosis dan Jumlah Pulsa pada Modul Berbasis VARIAC

No	Tegangan (kV)	Dosis (μGy)
1	0	0,0399
2	39,4	0,08665
3	40,1	0,1045

Tabel 2 menunjukkan bahwa secara nilai akurasi masih belum sesuai dengan *setting* awal, dimana ketika dilakukan *setting* tegangan tinggi 50 kV justru dihasilkan nilai dari pembacaan X-ray multimeter sebesar 0 kV ; 39,4 kV serta 40,1 kV. Meskipun jika ditinjau dari segi pembacaan kVp atau akurasi terhadap nilai yang diinginkan belum sesuai dengan *setting* awal yaitu pada nilai kV 50, namun analisis pada penelitian ini difokuskan terhadap nilai presisi dari nilai tegangan tinggi (kVp) yang terbaca oleh X-ray multimeter. Ketidaksesuaian akurasi tersebut disebabkan karena masalah yang hampir serupa dengan modul berbasis PWM bahwa belum diketahuinya kondisi tabung sinar-X. Meskipun demikian, penelitian ini bertujuan untuk menilai tingkat presisi dengan membandingkan peforma modul berbasis PWM dan berbasis VARIAC.

Penilaian tingkat presisi dilakukan menggunakan metode yang sama yaitu metode RMSE

(*Root Mean Square Error*). Setelah dilakukan penembakan dengan 3 kali pengujian didapatkan data sehingga membentuk grafik seperti Gambar 17.



Gambar 17. *Exposure Time vs kV* Berbasis VARIAC.

Dari perhitungan RMSE yang dilakukan kemudian digunakan sebagai penentuan analisis performa tingkat presisi kVp dari hasil pengaturan berbasis PWM, dimana hasilnya didapatkan nilai RMSE kVp sebesar 9,26, yang berarti bahwa nilai kVp hasil pembacaan memiliki nilai eror sebesar 9,26 % dari *setting* awal. Nilai RMSE tersebut menunjukkan tingkat presisi sinar-X hasil pengaturan dari modul berbasis VARIAC. Meskipun belum tepat hasilnya pada 50 kV, akan tetapi performa tingkat presisi telah dapat dilakukan penilaian. Performa tingkat presisi tersebut didapatkan untuk kemudian dibandingkan sehingga akan didapatkan kualitas tingkat presisi antara modul berbasis PWM dengan modul berbasis VARIAC.

Jika dinilai dari nilai RMSE kVp maka performa metode berbasis PWM lebih baik dibanding berbasis VARIAC. Pada penelitian ini, metode berbasis PWM memiliki performa yang lebih baik dibandingkan dengan metode berbasis VARIAC dengan nilai perbandingan RMSE 3,26 berbanding 9,26 dengan metode penilaian menggunakan RMSE. Hasil tersebut didapatkan dari analisis bahwa dengan kondisi menggunakan tipe tabung yang sama tipe F50-100 diperoleh dua grafik masing-masing grafik dari modul berbasis PWM dan berbasis VARIAC. Dari kedua grafik tersebut dapat dinilai tingkat presisi dari kualitas kVp hasil dari catu daya PWM serta VARIAC. Tingkat presisi adalah suatu ukuran kemampuan untuk mendapatkan pengukuran yang serupa. Artinya dengan memberikan suatu harga tertentu bagi sebuah variabel, tingkat presisi merupakan suatu ukuran tingkatan yang menunjukkan perbedaan hasil pengukuran pada pengukuran-pengukuran secara berurutan. Hal ini berbeda pengetahuan dengan akurasi, bahwa akurasi adalah harga terdekat dari suatu pembacaan instrumen yang mendekati harga sebenarnya dari variabel yang diukur. Maka dari itu pada penelitian ini dilakukan penilaian performa modul berbasis PWM dan berbasis VARIAC dari tingkat presisi kVp.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat diperoleh kesimpulan bahwa telah berhasil dilakukan pembuatan modul pengatur

parameter pesawat sinar-X berbasis Arduino dengan metode PWM dan diperoleh hasil yang presisi. Penilaian performa presisi modul dinilai dengan metode kuantitas nilai kVp dari berkas sinar-X. Menggunakan rumusan RMSE maka didapatkan nilai RMSE kVp pada modul digital berbasis Arduino sebesar 3,26 serta pada modul analog berbasis VARIAC nilai RMSE kVp sebesar 9,26. Hal ini mengindikasikan bahwa secara kemampuan presisi modul digital berbasis Arduino berkerja lebih baik sehingga dapat berdampak terhadap dosis efektif yang diterima.

Meskipun begitu penelitian ini masih memerlukan perbaikan kembali diantara perlu dilakukan pendalaman terhadap tabung yang digunakan untuk mengetahui perbandingan lilitan dan pembangkitan tegangan tinggi (HV) pada tabung pesawat sinar-X. Hal tersebut dilakukan untuk mendapatkan nilai akurasi guna melengkapi nilai presisi yang telah didapatkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini diucapkan terima kasih untuk peneliti dan tim pendukung di Pusat Rekayasa dan Fasilitas Nuklir. Tak lupa pula untuk segenap akademisi Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir yang telah mendukung guna terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arduino, 2015, *Board Arduino Uno*, Dipetik Agustus 21, 2015, dari <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>.
- [2] BAPETEN, 2011, *Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 9: Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional*, Jakarta.
- [3] BAPETEN, 2014, *Data Ijin Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif*, http://www.bapeten.go.id/index.php?modul=info&menu=izin_tujuandiakses_pada_5_Juni_2016.
- [4] IAEA, 2014, *Diagnostic Radiology Physics: A Handbook for Teachers and Students*, Vienna.
- [5] Kardiawarman., 1996, *Sinar-X*. Jurusan Pendidikan Fisika, IKIP Bandung.
- [6] Maryanto D, Solichin, Abidin Z., 2008, *Analisis Keselamatan Kerja Radiasi Pesawat Sinar-X di Unit Radiologi RSU Kota Yogyakarta*. Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir, STTN-BATAN, Yogyakarta 25-26 Agustus.
- [7] Pratiwi, Umi., 2006, *Aplikasi Analisis Citra Detail Phanom dengan Metode Konversi Data Digital ke Data Matrik untuk Meningkatkan Kontras Citra Menggunakan Film Imaging Plate*. Skripsi, Solo: FMIPA Universitas Sebelas Maret.
- [8] Reza, A., 2010, *Rancang Bangun Pengendali Kecepatan Motor Induksi Satu Phase*. Depok: Skripsi Universitas Indonesia.

- [9] Rudi, Pratiwi, Susilo., 2012, *Pengukuran Paparan Radiasi Pesawat Sinar-X di Instalasi Radiodiagnostik untuk Proteksi Radiasi*. Semarang, Republik Indonesia: Universitas Negeri Semarang, Unnes Physics Journal 2012.
- [10] Suparno dan Baskan, 2009, *Teori Radiografi Industri 9 Pemilihan Teknik*, Jakarta: Pusat Pendidikan dan Pelatihan BATAN.
- [11] Suyatno F, Istofa, Yuniarsari L., 2007, *Rekatasa Sistem Pengatur Parameter Pesawat Sinar-X Diagnostik Berbasis Mikrokontroler Keluarga MCS 51*. Seminar Nasional III SDM Teknologi Nuklir, STTN-BATAN, Yogyakarta 21-22 November.
- [12] Yufita, E dan Safitri, R., 2012, *Analysis Output Tolerance Limits X-Ray Machine Diagnostik*. Jurnal Natural Vol.12, No.1.

OA07

**PENENTUAN PEMBATAS DOSIS (*DOSE CONSTRAINT*) DI PUSAT SAINS DAN TEKNOLOGI
AKSELERATOR (PSTA)**

Mahrus Salam, Elisabeth Supriyatni

Pusat Sains dan Teknologi Akselerator (PSTA- BATAN) – Yogyakarta

e-mail: mahrus.salam@batan.go.id

ABSTRAK

PENENTUAN PEMBATAS DOSIS (*DOSE CONSTRAINT*) DI PUSAT SAINS DAN TEKNOLOGI AKSELERATOR (PSTA). Peraturan Pemerintah (PP) nomor 33 tahun 2007 mensyaratkan bahwa instalasi nuklir harus menentukan pembatas dosis sebagai salah satu penerapan prinsip proteksi radiasi yaitu optimisasi. Pada tahun 2012 Pusat Sains dan Teknologi Akselerator (PSTA) telah menentukan pembatas dosis sebesar 15 mSv/tahun. Pembatas dosis bersifat perspektif sehingga harus dipantau dan direview pada waktu tertentu. Makalah ini memaparkan kajian penetapan nilai pembatas dosis di PSTA. Dalam penentuan pembatas dosis, selain data histori penerimaan dosis radiasi pekerja radiasi di PSTA maka kontribusi dosis radiasi dari kegiatan terencana dievaluasi sebagai pertimbangan dalam penentuan dosis pembatas. Dari hasil kajian yang dilakukan dapat direkomendasikan nilai pembatas dosis di PSTA sebesar 6 mSv/tahun jika dilakukan peningkatan program/perencanaan proteksi radiasi pada kegiatan-kegiatan di PSTA yang diharapkan dapat menurunkan penerimaan dosis sebesar 25% dari nilai dosis radiasi maksimum yang diperoleh dari data rekaman dosis 5 tahun sebelumnya. Jika tidak dilakukan peningkatan program/perencanaan proteksi radiasi maka direkomendasikan nilai pembatas dosis sebesar 9 mSv/tahun. Kedua nilai pembatas dosis yang direkomendasikan masih berada dibawah nilai pembatas dosis sebelumnya yaitu 15 mSv/tahun.

Kata kunci: pembatas dosis, program proteksi, optimisasi

ABSTRACT

DETERMINATION DOSE CONSTRAINT IN THE CENTER FOR ACCELERATOR SCIENCE AND TECHNOLOGY (PSTA). According to the Government Regulation No. 33 of 2007, it requires that Nuclear Installations should determine a dose constraint as implementation of the radiation protection principle i.e. optimization. In 2012 PSTA has established a dose constraint of 15 mSv/year. Dose constrain should be monitored and reviewed periodically. This paper presents a study to determine the dose constraint in PSTA. To determine the dose constraint, the radiation dose that probably received from research activity was evaluated beside the radiation dose that was measured. The results of this study gives a recommendation of the dose constraint value in PSTA of 6 mSv/year, if there is enhancement on the protection program in PSTA that can reduce a radiation dose about 25% of the maximum radiation dose that accepted in the previous 5 years. If there is no enhancement in the radiation protection program, it is recommended the dose constraint value of 9 mSv/year. However, both recommended dose constraint values are still below the previous dose constraint value of 15 mSv/year.

Keywords: dose constraint, radiation protection program, optimization

PENDAHULUAN

Pusat sains dan Teknologi Akselerator (PSTA) merupakan bagian dari kawasan nuklir Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) Yogyakarta yang memiliki instalasi nuklir berupa Reaktor Kartini dan terdapat beberapa fasilitas radiasi. Peraturan Pemerintah (PP) nomor 33 tahun 2007 mensyaratkan bahwa instalasi nuklir harus menentukan pembatas dosis sebagai salah satu penerapan prinsip proteksi radiasi yaitu optimisasi[1]. Hal ini dilakukan agar penerimaan dosis pekerja radiasi di PSTA dapat di kurangi secara optimum. PSTA memiliki instalasi nuklir dan beberapa fasilitas radiasi, oleh karena itu dalam penetapan nilai pembatas dosis harus diperhitungkan kontribusi dosis radiasi yang diperoleh dari setiap fasilitas yang ada[2]. Pada tahun 2012 Pusat Sains dan Teknologi Akselerator (PSTA) telah menentukan pembatas dosis sebesar 15 mSv/tahun[3]. Pembatas dosis bersifat prospektif, artinya bisa diharapkan,

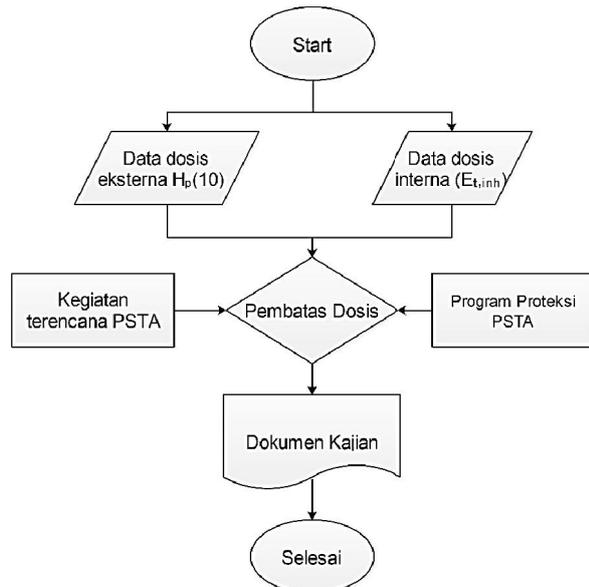
direncanakan, dapat terjadi, yang ada prospeknya, atau yang harus dipantau atau ditindaklanjuti untuk jangka waktu tertentu[4]. Dengan adanya perubahan beberapa lingkup kegiatan dan upaya pengendalian radiasi yang telah dilakukan maka dimungkinkan terjadinya perubahan penerimaan dosis radiasi oleh pekerja radiasi. Oleh karena itu, maka kajian terkait penetapan pembatas dosis perlu untuk dilakukan. Selain itu, dengan adanya rencana perpanjangan ijin operasi Reaktor Kartini maka hasil kajian ini dapat digunakan sebagai acuan dalam penyusunan Laporan Analisa Keselamatan (LAK) reaktor Kartini terkait proteksi dan keselamatan radiasi.

Makalah ini menyajikan kajian penentuan pembatas dosis yang telah dilakukan di PSTA. Penentuan pembatas dosis dilakukan dengan mempertimbangkan hasil evaluasi dosis radiasi eksterna maupun dosis radiasi interna yang diperoleh dari kegiatan-kegiatan di PSTA terkait pengoperasian reaktor Kartini maupun fasilitas radiasi yang lain.

Hasil dari kajian pembatas dosis ini dapat digunakan sebagai acuan dalam penerapan program proteksi radiasi pada kegiatan-kegiatan di PSTA.

METODOLOGI

Kajian penentuan pembatas dosis pada makalah ini dilakukan dengan memperhitungkan potensi penerimaan dosis interna maupun dosis eksterna yang diperoleh dari setiap kegiatan di PSTA terkait penanganan sumber radiasi, operasi fasilitas radiasi maupun instalasi nuklir. Adapun metode kajian disajikan dalam bentuk diagram alir pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir kajian pembatas dosis di PSTA

Kajian Dosis Radiasi Interna

Di PSTA belum dilakukan pengukuran dosis radiasi interna secara langsung dengan menggunakan *whole body counter* (WBC), oleh karena itu data dosis radiasi interna diperhitungkan berdasarkan potensi penerimaan dosis dari tingkat radioaktivitas udara melalui inhalasi (pernafasan). Dalam kajian ini, dilakukan pengukuran tingkat radioaktivitas udara disetiap daerah kerja yang berpotensi memberikan kontribusi dosis radiasi interna.

Sampling udara dilakukan di beberapa titik di Laboratorium PSTA dan dianalisa dengan menggunakan spektroskopi gamma. Data radioaktivitas udara yang diperoleh dikonversi menjadi besaran dosis. Persamaan 1 digunakan untuk melakukan perhitungan dosis radiasi interna[5].

$$E_{t,inh} = \sum_j e(g)_{j,inh} I_{j,inh} \quad (1)$$

- $E_{t,inh}$: dosis efektif (Sv).
- $e(g)_{j,inh}$: dosis efektif terikat per satuan masukan melalui pernafasan untuk radionuklida j oleh kelompok umur g sebagaimana tercantum dalam Tabel II-1 Perka

BAPETEN No.04 Tahun 2013 (Sv.Bq⁻¹).

$I_{j,inh}$: masukan melalui pernafasan dari radionuklida j (Bq).

Kajian Dosis Radiasi Eksterna

Data dosis eksterna diperoleh dari hasil pemantauan dosis pekerja radiasi di PSTA selama 5 tahun terakhir. Pemantauan dosis radiasi eksterna pekerja radiasi dilakukan dengan mengevaluasi hasil pembacaan *Thermo Luminescent Dosimeter* (TLD) yang dikenakan oleh setiap pekerja radiasi.

Data pembacaan dosis selama 5 tahun dievaluasi dan penetapan pembatas dosis diperoleh dengan menggunakan nilai kuartil 3 (atau 75%) dari sebaran dosis yang diterima oleh pekerja radiasi.

Evaluasi Paparan Radiasi dari Kegiatan yang Terencana

Evaluasi paparan radiasi dari kegiatan yang terencana di PSTA dalam hal ini diperoleh dari kegiatan yang terkait dengan utilisasi reaktor Kartini yang dimungkinkan memberikan kontribusi dosis terhadap pekerja radiasi secara signifikan. Kegiatan utilisasi reaktor Kartini mencakup dua kegiatan antara lain pemanfaatan reaktor untuk penelitian *Subcritical Assembly for ⁹⁹Mo Production* (SAMOP) dan uji in-vivo dan in-vitro *Boron Neutron Capture Therapy* (BNCT).

Penetapan nilai dosis pembatas dilakukan dengan menggunakan persamaan 2,

$$E_t = H_p(10) + E_{t,inh} + E_p \quad (2)$$

- E_t : dosis efektif total (mSv)
- $H_p(10)$: dosis ekuivalen dari penetrasi radiasi pada kedalaman 10 mm yang didapat dari hasil pembacaan dosimetri perorangan (mSv)
- $E_{t,inh}$: dosis efektif dari inhalasi (mSv)
- E_p : dosis efektif kegiatan terencana (mSv)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Kajian

Kajian Dosis Radiasi Interna

Dilakukan sampling radioaktivitas udara di beberapa laboratorium di PSTA dengan menggunakan pompa penghisap yang dilengkapi dengan filter jenis TFA 2133. Sampel dicacah dengan menggunakan spektroskopi gamma. Data hasil perhitungan radioaktivitas sampel udara disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perhitungan Dosis radiasi interna

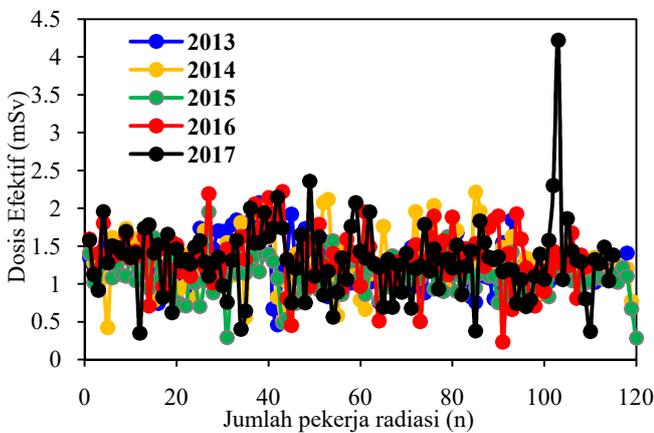
Nuklida	Aktivitas(Bq/l)	Aktivitas Total	Dosis (mSv)
K-40	0,000147168	706,408	2,12E-03
Ac-228	5,04023E-06	24,193	7,02E-04
Pb-212	0,000226604	1087,699	3,59E-02

Pb-214	5,38819E-05	258,633	1,24E-03
Bi-214	8,64676E-05	415,044	8,72E-03
Bi-212	4,99705E-05	239,858	9,35E-03
Dosis Total			5,80E-02

Tabel 1 menyajikan hasil perhitungan dosis radiasi maksimum yang dimungkinkan diterima oleh pekerja radiasi melalui proses inhalasi yang dianggap sebagai potensi penerimaan dosis radiasi interna. Beberapa radionuklida yang terdeteksi merupakan anak turun radon. Hasil radioaktivitas udara dari masing-masing radionuklida dikonversi menjadi dosis efektif dengan mengalikan koefisien yang diperoleh dari Lampiran Perka BAPETEN No.04 Tahun 2013 dengan menggunakan persamaan 1 dan ICRP-119, 2012 digunakan sebagai referensi[8]. Dengan menggunakan AMAD 5 μ , diperoleh nilai dosis radiasi interna PSTA sebesar 0,058 mSv/tahun.

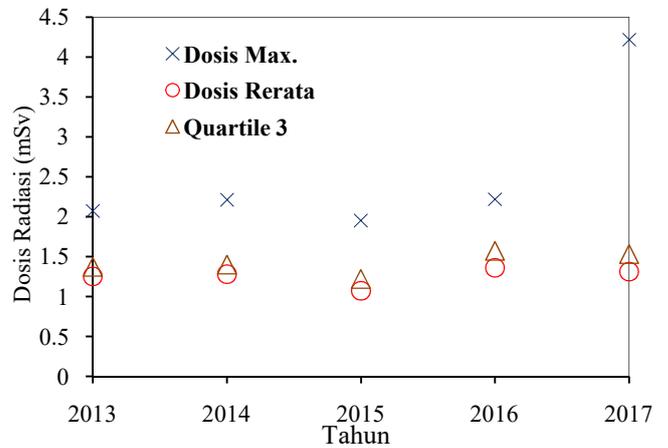
Kajian Dosis Radiasi Eksterna

Kajian dosis radiasi eksternal di PSTA dilakukan berdasarkan hasil evaluasi TLD yang dilakukan di Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR). Data pembacaan dosis dari TLD selama 5 tahun dievaluasi untuk menentukan nilai dosis radiasi yang digunakan sebagai pembatas dosis dari kontribusi dosis eksternal. Gambar 2 menyajikan sebaran dosis radiasi eksternal Hp(10) pekerja radiasi PSTA selama 5 tahun.



Gambar 2. Sebaran dosis radiasi eksternal Hp(10) pekerja radiasi PSTA selama 5 tahun

Dari Gambar 2 diperoleh bahwa nilai sebaran dosis radiasi pekerja selama 5 tahun memiliki nilai rata-rata lebih kecil dari 1,3 mSv/tahun. Nilai dosis maksimum selama 5 tahun diperoleh pada tahun 2017 yaitu sebesar 4,4 mSv/tahun. Evaluasi pembatas dosis dalam kajian ini dilakukan dengan menggunakan nilai kuartil 3 (75%) dari sebaran data dosis yang diperoleh selama 5 tahun. Gambar 3 menunjukkan hasil evaluasi data dosis radiasi selama 5 tahun yang akan digunakan untuk penetapan dosis pembatas.



Gambar 3. Evaluasi pembatas dosis dari kontribusi dosis radiasi eksternal Hp(10) di PSTA

Dari Gambar 3 diperoleh bahwa berdasarkan analisa nilai kuartil 3 dari sebaran dosis radiasi eksternal selama 5 tahun diperoleh nilai 1,57 mSv/tahun.

Kajian Dosis Tambahan dari Utilisasi Reaktor Kartini

Dalam sub-bab ini akan dibahas dosis radiasi yang dimungkinkan akan diperoleh dari kegiatan terencana terkait penanganan radiasi di PSTA. Ada dua kegiatan yang dimungkinkan akan memberikan kontribusi dosis tambahan yang signifikan terhadap pekerja radiasi antara lain:

A. Utilisasi beamport reaktor Kartini untuk penelitian SAMOP

Pada kegiatan penelitian ini kegiatan dibagi menjadi dua kegiatan besar, yaitu proses produksi ⁹⁹Mo dengan cara reaksi fisi dan proses pengambilan cairan mengandung ⁹⁹Mo. Perisai reaktor SAMOP didesain dengan perkiraan laju dosis rata-rata di lokasi dimana para pekerja radiasi bekerja adalah 10 μ Sv/jam. Dengan asumsi reaktor akan dioperasikan selama 100 jam, dengan laju dosis dianggap konstan dari awal sampai reaktor shutdown (untuk SAMOP), maka total dosis maksimum yang akan diterima oleh pekerja adalah 1 mSv[6].

Pada proses pengambilan cairan yang mengandung ⁹⁹Mo, laju dosis terukur didekat tangki reaktor SAMOP akan dijadikan sebagai acuan dalam menentukan penerimaan dosis pekerja radiasi yang terlibat. Karena proses pengambilan dilakukan di PT INUKI Serpong, maka kemungkinan peningkatan penerimaan dosis terjadi pada saat persiapan untuk

pengangkutan. Kegiatan persiapan dimulai dari pemindahan cairan uranil nitrat teriradiasi dari reaktor SAMOP dengan menggunakan *fuel transfer cask*. Laju paparan dipermukaan transfer cask adalah 64,4 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$. Laju dosis radiasi yang terukur pada posisi pekerja radiasi dimungkinkan $\leq 7,5 \mu\text{Sv}/\text{jam}$. Total dosis maksimum yang akan diterima oleh pekerja saat proses persiapan pengangkutan cairan uranil nitrat yang mengandung ^{99}Mo adalah 0,3 mSv[6].

Dari kegiatan utilisasi *beamport* reaktor Kartini untuk penelitian SAMOP, penerimaan dosis radiasi maksimum oleh pekerja radiasi sebesar 1,3 mSv.

B. Uji In-Vivo & In-Vitro Fasilitas penelitian BNCT

Desain perhitungan laju dosis radiasi pada kegiatan Uji In-Vivo & In-Vitro Fasilitas penelitian BNCT dilakukan dengan menggunakan program computer MCNP. Terdapat 4 model desain *shielding* yang telah dibuat. Tabel 2 menunjukkan parameter laju dosis dari 4 model *shielding* yang telah dihitung untuk penelitian uji In-Vivo & In-Vitro Fasilitas penelitian BNCT.

Tabel 2. Ringkasan hasil perhitungan laju dosis *epithermal neutron* dari 4 model *shielding* untuk penelitian uji In-Vivo & In-Vitro Fasilitas penelitian BNCT[7].

Parameter laju dosis	Design 1	Design 2	Design 3	Design 4
Laju dosis tertinggi ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)	8,2	32,1	34,47	51,95
Laju dosis rata-rata ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)	1,27	6,91	6,28	16,14

Tabel 2 menunjukkan bahwa laju dosis radiasi maksimum dari beberapa design. Design 1 dipertimbangkan sebagai design model *shielding* yang terbaik dengan laju dosis tertinggi 8,20 $\mu\text{Sv}/\text{hr}$ [7].

Dari hasil pengukuran awal pada beberapa titik diluar *shielding* fasilitas uji In-Vivo & In-Vitro Fasilitas penelitian BNCT diperoleh laju dosis neutron tertinggi sebesar 41.31 $\mu\text{Sv}/\text{hr}$, pada saat reaktor beroperasi pada daya 100 kW. Sedangkan laju dosis dari gamma terukur sebesar 325 $\mu\text{Sv}/\text{hr}$. Dengan mempertimbangkan bahwa jam operasi untuk uji In-Vivo & In-Vitro fasilitas penelitian BNCT di reaktor kartini ≤ 100 jam selama satu tahun, dan personil/petugas radiasi tidak terus-menerus berada di area fasilitas penelitian BNCT tersebut maka dimungkinkan tambahan penerimaan dosis radiasi selama 1 tahun sebesar 3 mSv.

Pembahasan

Berdasarkan Perka Bapeten No.04 tahun 2013 dinyatakan bahwa pemegang ijin instalasi nuklir

maupun fasilitas radiasi harus menetapkan pembatas dosis sebagai implementasi prinsip proteksi radiasi yaitu optimisasi. Selain itu, sesuai dengan prinsip ALARA (*as low as reasonably achievable*), ICRP merekomendasikan penggunaan pembatas dosis untuk membantu perencanaan program proteksi radiasi secara optimal dalam situasi yang telah direncanakan sebelumnya.

Pada makalah ini, penentuan pembatas dosis dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa aspek antara lain:

A. Histori penerimaan dosis pekerja radiasi

Histori penerimaan dosis radiasi selama 5 tahun baik dosis radiasi interna maupun eksternal. Selain itu, kontribusi dosis radiasi yang dimungkinkan dari kegiatan yang terencana juga dipertimbangkan sebagai bahan dalam penentuan nilai dosis pembatas. Berdasarkan hasil evaluasi terhadap sebaran dosis radiasi eksternal Hp(10) pekerja radiasi di PSTA selama 5 tahun, dari hasil evaluasi kuartil 3 (75%) diperoleh nilai dosis radiasi sebesar 1,57 mSv/tahun. Nilai ini dipilih dengan pertimbangan adanya peningkatan program/perencanaan proteksi radiasi pada kegiatan-kegiatan di PSTA sehingga dapat menurunkan dosis pekerja radiasi sebesar 25%. Peningkatan program proteksi radiasi dapat berupa peningkatan terhadap upaya pengendalian sumber radiasi, pengendalian personil, pengendalian daerah kerja maupun peningkatan kompetensi pekerja radiasi. Jika tidak ada perubahan (peningkatan) terhadap program/perencanaan proteksi radiasi yang ada maka pembatas dosis ditentukan berdasarkan nilai maksimum dari pembacaan dosis radiasi eksternal Hp(10) yaitu sebesar 4,4 mSv/tahun.

Dari penerimaan dosis radiasi interna yang dihitung berdasarkan pengukuran radioaktivitas udara sebesar 0,058 mSv/tahun. Sehingga nilai pembatas dosis yang diperoleh dari histori penerimaan dosis pekerja radiasi dapat ditentukan 1,63 mSv/tahun ataupun 4,46 mSv/tahun. Mengingat bahwa pembatas dosis bersifat prospektif, artinya bisa diharapkan, yang direncanakan, yang dapat terjadi, yang ada prospeknya, atau yang harus dipantau atau ditindak lanjuti untuk jangka waktu tertentu. Oleh karena itu juga harus dipertimbangkan penerimaan dosis dari kegiatan-kegiatan non-rutin yang terencana.

B. Kegiatan terencana terkait penelitian

Dari hasil kajian yang diperoleh dari dokumen teknis kegiatan utilisasi *beamport* Reaktor Kartini untuk penelitian SAMOP dan uji in-vitro/in-vivo BNCT ditetapkan nilai pembatas dosis sebesar 4,3 mSv/tahun.

Dari point (A) dan (B) dapat ditetapkan nilai pembatas dosis PSTA sebesar 6,0 mSv/tahun jika dilakukan peningkatan terhadap program/perencanaan tindakan proteksi. Jika tidak

dilakukan perubahan (peningkatan) program/perencanaan kegiatan proteksi radiasi di PSTA maka direkomendasikan penetapan nilai pembatas dosis sebesar 9,0 mSv/tahun.

Nilai pembatas dosis ini bersifat prospektif dalam artian penerapannya harus dievaluasi serta ditinjau ulang secara periodik. Dalam GSR part 3 dinyatakan bahwa pembatas dosis digunakan sebagai usaha optimisasi proteksi dan keselamatan dengan hasil yang diharapkan adalah bahwa semua paparan dikendalikan ke tingkat serendah mungkin yang dapat dicapai secara wajar, dengan memperhitungkan faktor ekonomi, social dan lingkungan[2]. Hal ini menegaskan penerapan pembatas dosis harus ditinjau berdasarkan kemampuan pemegang ijin, dimana melebihi pembatas dosis tidak berarti sebagai ketidakpatuhan terhadap persyaratan peraturan, tetapi hal ini diperlukan adanya evaluasi serta tindak lanjut.

KESIMPULAN

Telah dilakukan kajian pembatas dosis di PSTA berdasarkan penerimaan dosis radiasi selama 5 tahun. Mengingat pembatas dosis bersifat prospektif, selain data histori penerimaan dosis radiasi pekerja radiasi di PSTA maka kontribusi dosis radiasi dari kegiatan terencana dievaluasi sebagai pertimbangan dalam penentuan pembatas dosis.

Dari hasil kajian yang dilakukan dapat direkomendasikan nilai pembatas dosis di PSTA sebesar 6,0 mSv/tahun jika dilakukan peningkatan program/perencanaan proteksi radiasi pada kegiatan-kegiatan di PSTA. Jika tidak dilakukan peningkatan program/perencanaan proteksi radiasi maka direkomendasikan nilai pembatas dosis sebesar 9,0 mSv/tahun. Dengan adanya peningkatan program proteksi diharapkan dapat menurunkan penerimaan dosis sebesar 25% dari nilai dosis radiasi maksimum yang diperoleh dari data rekaman dosis 5 tahun

sebelumnya. Kedua nilai pembatas dosis yang direkomendasikan masih berada dibawah nilai pembatas dosis sebelumnya yaitu 15 mSv/tahun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada PSTA – BATAN, khususnya staff KKPR – BK3 yang telah mendukung dalam pembuatan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Peraturan Pemerintah No. 33 tahun 2007, Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif.
- [2] IAEA GSR Part 3, Radiation Protection and Safety Radiation Source: International Basic Safety Standard, 2014.
- [3] Program Proteksi dan Keselamatan Radiasi Reaktor Kartini PSTA Rev. 02/Terbitan 02, 2015.
- [4] BAPETEN, Pedoman umum optimisasi proteksi radiasi untuk pengendalian paparan kerja, 2013.
- [5] Perka BAPETEN No. 04 tahun 2013, Proteksi dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir.
- [6] Program Utilisasi *Beamport* Reaktor Kartini Untuk Penelitian Pengembangan *Subcritical Assembly For Moly Production* (SAMOP) – Rev. 07, 2018.
- [7] Gani Priambodo, Fahrudin N., Dwi Satya P., R. Zailani, Y. Sardjono, 2017. *Optimization of Biological Shield for Boron Neutron Capture Cancer Therapy (BNCT) at Kartini Research Reactor*. J. Tek. Reaktor Nuklir Vol. 19 No.3 Hal. 139-148.
- [8] ICRP-119, 2012. *Compendium of Dose Coefficients Based on ICRP Publication 60*. Volume 41.

NO	Nama penanya	Kode Makalah	Nama Penyaji	Pertanyaan dan Jawaban
1.	Dadong Iskandar (BATAN)	OA07	Elizabeth Supriyatni (BATAN)	<p>1. Saran: Perhitungan dosis interna PSTA agar dihitung ulang karena terlalu besar.</p> <p>Jawab:</p> <p>1. Terima kasih sarannya, akan kami perbaiki tanpa memperhitungkan gut factor (f).</p>
2.	Endang Kunarsih (BAPETEN)	OA07	Elizabeth Supriyatni (BATAN)	<p>1. Terkait dg. kegiatan utilisasi reactor kartini; bagaimana pengaruhnya terhadap pembatas dosis yg telah ditetapkan?</p> <p>2. Apakah pembatas dosis diterapkan utk 1 kawasan bukan perjenis kegiatan.</p> <p>Jawab:</p> <p>1. Utk kegiatan utilisasi reaktor kartini, dalam skenario kami tambahkan karena sebagian pelaksana pekerjaan adalah operator atau PPR reactor kartini.</p> <p>2. Pembatas dosis yg dipakai perkuartil utk seluruh kegiatan di PSTA, karena program proteksi di PSTA menjadi satu kegiatan.</p>
3.	Syahrir (BAPETEN)	OA07	Elizabeth Supriyatni (BATAN)	<p>1. Bagaimana mengevaluasi optimisasi dosis internal?</p> <p>Jawab:</p> <p>1. Untuk perhitungan dianggap dari pengukuran konsentrasi udara yg terukur secara rutin di daerah kerja, dikalikan dg 2000 jam kerja setahun, karena pekerja mempunyai potensi berada di daerah tsb.</p>

OA08

SKENARIO PENETAPAN DAN PENERAPAN PEMBATAS DOSIS DI FASILITAS KESEHATAN DALAM UPAYA OPTIMISASI PROTEKSI RADIASI TAHAP OPERASIONAL

Endang Kunarsih¹, Iswandarini¹

¹Pusat Pengkajian Sistem Teknologi dan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif -BAPETEN
e-mail: e.kunarsih@bapeten.go.id

ABSTRAK

SKENARIO PENETAPAN DAN PENERAPAN PEMBATAS DOSIS DI FASILITAS KESEHATAN DALAM UPAYA OPTIMISASI PROTEKSI RADIASI TAHAP OPERASIONAL. Pembatas dosis yang ditetapkan untuk pekerja radiasi tahap operasional merupakan nilai dosis yang menjadi salah satu indikator tingkat penerapan optimisasi proteksi radiasi di suatu fasilitas. Pada tahun 2017 dilakukan survey di beberapa fasilitas kesehatan terkait penerapan pembatas dosis tahap operasional, yang hasilnya menunjukkan bahwa sebagian besar fasilitas belum menentukan dan menerapkan konsep pembatas dosis bagi pekerja radiasi pada tahap operasional, yang disebabkan antara lain dari aspek *awareness* yang belum memadai dalam memahami pentingnya peranan pembatas dosis sebagai salah satu upaya dalam mengoptimalkan proteksi radiasi dan aspek ketersediaan metode penetapan dan penerapan pembatas dosis yang juga belum memadai. Dalam makalah ini akan dilakukan telaah untuk merekomendasikan beberapa skenario metode penetapan dan penerapan pembatas dosis pada berbagai kondisi fasilitas kesehatan dalam upaya mendukung penerapan optimisasi proteksi radiasi di fasilitas kesehatan. Sampel data dosis yang digunakan sebagai contoh kasus untuk pembahasan adalah data dosis tahunan yang diterima oleh pekerja radiasi di fasilitas radiologi diagnostik dan intervensional, fasilitas radioterapi, dan fasilitas kedokteran nuklir. Hasil telaah menunjukkan bahwa penetapan pembatas dosis dapat dipertimbangkan melalui masa operasional dan situasi izin suatu fasilitas, sedangkan penerapan pembatas dosis dilakukan melalui pemantauan secara berkala terhadap data dosis tahunan pekerja.

Kata kunci: pembatas dosis, optimisasi, proteksi radiasi

ABSTRACT

THE SCENARIO FOR DETERMINATION AND IMPLEMENTATION OF DOSE CONSTRAINT IN MEDICAL FACILITIES AS A MEANS OF RADIATION PROTECTION OPTIMIZATION AT THE OPERATIONAL PHASE. The dose constraint assigned to the operational phase are the dose values that serve as an indicator of the implementation level of optimization of radiation protection at a facility. In 2017 a survey was conducted at several medical facilities related to the implementation of dose constraint at the operational phase, the results showed that most facilities have not yet determined and applied the concept of dose constraint for workers at the operational phase, caused by i.a. the lack of awareness in understanding of importance of dose constraint role as the efforts in optimizing radiation protection and the lack of methods for determining and implementing dose constraint. In this paper, a review will be conducted to recommend some scenarios for assigning and implementing dose constraint to various medical facility conditions in order to support the implementation of radiation protection optimization in medical facilities. The dose data samples for discussion are annual worker data dose at diagnostic and interventional radiology facilities, radiotherapy facilities, and nuclear medicine facilities. The results show that the determination of dose constraint may be considered over the operational life and license status of a facility, whereas implementation dose constraint is carried out through periodic monitoring of annual doses of workers.

Keywords: dose constraint, optimization, radiation protection

PENDAHULUAN

Optimisasi proteksi radiasi merupakan suatu upaya untuk meminimalkan dosis yang diterima pasien atau pekerja radiasi atau masyarakat menjadi serendah mungkin yang dapat dicapai (*As Low As Reasonably Achievable = ALARA*). Optimisasi proteksi radiasi dalam bidang kesehatan diterapkan berdasarkan pada jenis paparan radiasi yang terlibat, yaitu paparan kerja, paparan medik, dan paparan publik. Optimisasi terhadap paparan medik dikembangkan melalui penetapan tingkat panduan untuk paparan medik, sedangkan optimisasi terhadap

paparan kerja dan publik dikembangkan melalui penetapan pembatas dosis.

Untuk mendorong penerapan optimisasi tersebut khususnya dalam konteks paparan kerja, BAPETEN telah menerbitkan Peraturan Kepala (Perka) BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 [1] tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir yang mewajibkan pemegang izin (PI) untuk menerapkan optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi. Pada Pasal 41 dan Pasal 43 ayat (1) dan ayat (2), diuraikan bahwa penerapan optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi salah satunya dapat dilaksanakan melalui

penetapan pembatas dosis untuk pekerja radiasi. Pembatas dosistersebut ditetapkan oleh PI pada tahap konstruksi dan/atau tahap operasional.

Pembatas dosis untuk tahap konstruksi/desain bangunan fasilitas telah ditetapkan BAPETEN yaitu sebesar 1/2 (satu per dua) dari Nilai Batas Dosis (NBD) pekerja radiasi atau 10 mSv/tahun sebagaimana tertuang dalam Perka BAPETEN No. 17 Tahun 2012 [2] tentang Keselamatan Radiasi dalam Kedokteran Nuklir Pasal 47 ayat 3, Perka BAPETEN Nomor 3 Tahun 2013 [3] tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Radioterapi Pasal 41 Ayat 2, dan Perka BAPETEN Nomor 8 Tahun 2011 [4] tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional Pasal 37.

Pembatas dosis untuk tahap operasional belum ditetapkan dalam regulasi BAPETEN melainkan harus ditetapkan sendiri oleh masing-masing fasilitas atau PI sebagai bentuk upaya penerapan prinsip optimisasi proteksi radiasi di fasilitas tersebut. Namun demikian, berdasarkan hasil survey di fasilitas kesehatan pada tahun 2017 ditemukan bahwa sebagian besar fasilitas kesehatan belum menentukan dan menerapkan konsep pembatas dosis bagi pekerja radiasi pada tahap operasional ini, yang disebabkan antara lain dari aspek *awareness* yang belum memadai dalam hal memahami pentingnya peranan pembatas dosis sebagai salah satu upaya dalam mengoptimalkan proteksi radiasi dan aspek ketersediaan metode dalam hal penetapan penerapan pembatas dosis juga belum memadai.

Dengan demikian dalam makalah ini akan diuraikan usulan beberapa skenario metode penetapan pembatas dosis dan penerapan pembatas dosis pada berbagai kondisi fasilitas kesehatan dalam upaya mendukung penerapan optimisasi proteksi radiasi di fasilitas kesehatan.

LANDASAN TEORI

a) Manajemen dosis bagi pekerja radiasi

Dalam GSR Part 3, dikenal situasi paparan yang salah satunya adalah paparan terencana (*planned exposure*) yaitu paparan radiasi yang berasal dari kegiatan yang terencana yang menggunakan sumber radiasi pengion. Pengendalian paparan dalam situasi ini adalah dengan penggunaan desain fasilitas yang baik (*good design of facilities*), penggunaan peralatan yang memadai dan penggunaan prosedur pengoperasian yang tepat serta pengadaan pelatihan bagi pekerja radiasi. [5]

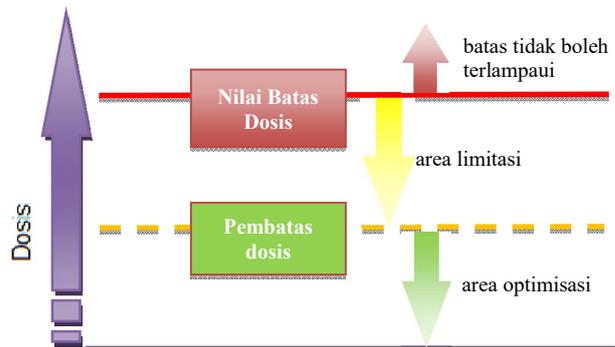
Manajemen dosis bagi pekerja radiasi hendaknya diutamakan berbasis pada situasi paparan terencana. Data jumlah pekerja radiasi, jumlah jam kerja, jumlah beban kerja, menjadi acuan pimpinan/manajemen fasilitas kesehatan yang dibantu oleh Petugas Proteksi Radiasi (PPR) dalam menyusun perencanaan kegiatan dengan mempertimbangkan aspek proteksi dan keselamatan

radiasi. Manajemen menetapkan penugasan berdasarkan usulan PPR terkait aspek proteksi dan keselamatan radiasi. Selama penugasan pekerja radiasi, PPR melakukan pemantauan dosis pekerja radiasi dan secara berkala melakukan evaluasi. PPR melaporkan hasil evaluasi dosis ke manajemen fasilitas kesehatan sebagai umpan balik dari perencanaan kegiatan di masa mendatang.

b) Konsep pembatas dosis

Sesuai dengan prinsip ALARA, International Commission on Radiological Protection (ICRP) merekomendasikan penggunaan pembatas dosis untuk membantu perencanaan program proteksi radiasi secara optimal dalam situasi paparan yang telah direncanakan. Selain itu pembatas dosis menjadi salah satu parameter tingkat optimisasi bagi pekerja radiasi dalam melaksanakan tugasnya, sehingga nilainya sangat mungkin berbeda antar jenis pekerja radiasi satu dengan yang lainnya. Tujuan utama pembatas dosis adalah untuk mengendalikan dosis individual pekerja radiasi yang berasal dari sebuah sumber radiasi pengion, kegiatan atau tugas tertentu dengan mempertimbangkan proses optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi terhadap sumber, kegiatan atau tugas tersebut. Dalam konteks paparan kerja, pembatas dosis merupakan tingkat dosis yang dijadikan acuan besarnya dosis yang umumnya diterima oleh pekerja radiasi di suatu fasilitas pada kondisi operasional normal, dengan mempertimbangkan penerapan proteksi dan keselamatan radiasi, oleh karena itu dapat digunakan untuk membatasi pilihan tindakan yang dipertimbangkan dalam proses mengoptimalkan proteksi radiasi. [6, 7, 8, 9]

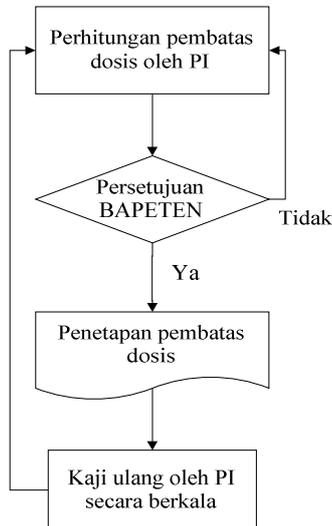
Perbedaan mendasar antara pembatas dosis dengan NBD diilustrasikan pada Gambar 1 yang mendeskripsikan posisi pembatas dosis sebagai marjin optimisasi yang nilainya lebih kecil dari NBD tahunan yang merepresentasikan marjin limitasi.



Gambar 6. Perbedaan pembatas dosis dengan NBD.

Di Indonesia, pembatas dosis telah diberlakukan melalui Perka BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 [1]. Dalam peraturan tersebut diamanatkan bahwa PI yang telah menetapkan pembatas dosis pekerja radiasi harus menyampaikan perhitungan penetapan pembatas dosis tersebut kepada BAPETEN untuk mendapatkan persetujuan

Kepala BAPETEN. Setelah mendapatkan persetujuan, PI diharuskan melaksanakan kaji ulang terhadap pembatas dosis secara berkala selama pengoperasian fasilitas atau instalasi. Apabila hasil kaji ulang tersebut menunjukkan bahwa diperlukan perubahan pembatas dosis, maka PI harus mengajukan perubahan pembatas dosis kepada Kepala BAPETEN.



Gambar 7. Alur proses implementasi konsep pembatas dosis di fasilitas kesehatan

Meskipun demikian, hingga kini konsep pembatas dosis belum dirumuskan secara khusus untuk tingkat operasional. Tersedianya sumber daya manusia dan peralatan memungkinkan fasilitas tertentu menetapkan pembatas dosis untuk diberlakukan pada fasilitas tersebut berdasarkan hasil kajian internal

METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam makalah ini adalah survey dan wawancara di fasilitas kesehatan untuk mengumpulkan data sekunder, dilanjutkan dengan analisis statistik terhadap data tersebut.

Data yang dikumpulkan berupa dosis efektif per tahun yang diterima pekerja radiasi pada kondisi operasional normal dalam kurun waktu 3 (tiga) tahun. Data dosis yang tersedia dikelompokkan berdasarkan kategori profesikarenasetiap profesi memiliki tugas yang berbeda dalam kaitannya dengan sumber radiasi, sehinggakaan memengaruhi besarnya perolehan dosis setiap individu.

Melalui pengumpulan data dosis efektif tahunan pekerja, akan dapat di-peta-kan karakter/profil dosis pekerja di suatu fasilitas kesehatan sehingga skenario penetapan dan penerapan pembatas dosis pada berbagai kondisi dapat dianalisis dengan lebih mudah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Responden yang dihimpun tahun 2017 sebanyak 20 fasilitas radioterapi, 11 (sebelas) fasilitas

kedokteran nuklir dan 1 (satu) fasilitas radiologi diagnostik dan intervensional, namun sampel data dosis yang digunakan sebagai contoh kasus untuk pembahasan makalah ini dibatasi pada data dosis tahunan pekerja dari 1 (satu) fasilitas radiodiagnostik dan intervensional, 2 (dua) fasilitas radioterapi, dan 1 (satu) fasilitas kedokteran nuklir.

1. Penetapan pembatas dosis

Dalam makalah ini diusulkan metode penentuan pembatas dosis dengan melalui pendekatan konservatif yaitu berdasarkan data dosis tahunan pekerja radiasi. Sebagaimana diatur dalam Perka BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 Pasal 25, Pasal 34 dan Pasal 53 [1] bahwa PI wajib melakukan pemantauan dosis yang diterima pekerja radiasi melalui evaluasi dosis perorangan secara berkala setiap 3 (tiga) bulan sekali (apabila menggunakan TLD) dan hasil pemantauan dosis tersebut harus disimpan. Dengan demikian setiap fasilitas kesehatan diasumsikan memiliki rekaman data dosis pekerja yang lengkap terhitung sejak fasilitas tersebut beroperasi minimal selama setahun.

Oleh karena itu, terkait dengan ketersediaan data dosis pekerja, diusulkan 3 (tiga) skenario penetapan pembatas dosis berdasarkan kategori masa operasi fasilitas, yaitu sebagai berikut:

- Masa operasi 1, untuk instalasi atau fasilitas dengan masa operasi dari 0 (nol) sampai dengan 2 (dua) tahun.
- Masa operasi 2, untuk instalasi atau fasilitas dengan masa operasi dari 3 (tiga) sampai dengan 4 (empat) tahun.
- Masa operasi 3, untuk instalasi atau fasilitas dengan masa operasi lebih dari 4 (empat) tahun.

Berdasarkan kategori masa operasi di atas, rekomendasi pemilihan skenario penetapan pembatas dosis ditampilkan pada Tabel 1. Sebagai catatan, penentuan jumlah tahun (masa) operasi ini diperhitungkan sejak dioperasikannya fasilitas dengan modalitas yang pertama kali digunakan. Apabila fasilitas kesehatan menambah modalitas baru maka tidak berarti kembali pada masa operasi 1, namun tetap sesuai dengan masa operasi yang terkini.

Tabel 3. Skenario pemilihan penetapan pembatas dosis berdasarkan masa operasi suatu fasilitas

Masa operasi fasilitas	Pembatas Dosis
1	2
Masa operasi 1 (0 – 2 tahun)	Menggunakan pembatas dosis sesuai tahap desain bangunan fasilitas ($\frac{1}{2}$ NBD).
Masa operasi 2 (2 – 4 tahun)	Menggunakan dosis tahunan maksimum yang diterima pekerja.
Masa operasi 3 (> 4 tahun)	Menggunakan dosis pada kuartil ke-3 dari sebaran data dosis tahunan pekerja pada kurun waktu tertentu.

Pada instalasi atau fasilitas baru (masa operasi 1), dapat menggunakan metode $\frac{1}{2}$ NBD pekerja sebagai pembatas dosis sampai dengan 2 (dua) tahun fasilitas tersebut beroperasi. Pada fasilitas baru ini tentunya data dosis pekerja belum tersedia, sehingga pilihan yang paling memungkinkan adalah menggunakan pembatas dosis pada tahap desain bangunan fasilitas yaitu sebesar $\frac{1}{2}$ NBD. Pada masa operasi ini, seluruh profesi dapat menggunakan nilai pembatas dosis yang sama.

Pada instalasi atau fasilitas yang telah beroperasi lebih dari 2 (dua) tahun dapat menggunakan kategori masa operasi 2. Sebagai contoh kasus untuk skenario ini adalah data dosis dari salah satu responden fasilitas radioterapi, yang disajikan pada tabel 2.

Tabel 4. Data dosis tahunan pekerja radiasi di fasilitas radioterapi RS A.

Profesi	Dosis tahunan (mSv)				
	2014	2015	2016	Rerata	Max
1	2	3	4	5	6
Dokter Sp. Onk	0,019	0,065	0,117	0,067	0,117
Fisikawan medis	0,019	0,070	0,123	0,071	0,123
PPR	0,068	0,095	0,090	0,084	0,095
Radioterapis	0,034	0,081	0,076	0,064	0,081
Dosimetris	0,018	0,080	0,095	0,064	0,095
Teknisi elektromedis	0,014	0,080	0,130	0,075	0,130
Perawat radioterapi	0,025	0,153	0,051	0,076	0,153
Petugas mould room	0,036	0,170	0,030	0,079	0,170

Catatan:

- Jenis dosimeter perorangan yang digunakan adalah TLD

Pada masa operasi 2 diasumsikan memiliki data dosis tahunan pekerja sebanyak minimal 2 (dua) kelompok data. Nilai dosis tahunan yang diperoleh dapat lebih kecil, sama dengan atau lebih besar dari pembatas dosis yang telah ditetapkan sebelumnya. Pada masa operasi 2 ini, nilai numerik pembatas dosis dapat ditetapkan berdasarkan nilai dosis tahunan maksimum (tertinggi) yang diterima oleh setiap jenis profesi pekerja radiasi. Pendekatan ini dilakukan karena jumlah data yang tersedia belum mewakili tren penerimaan dosis secara statistik. Pada Tabel 2 di atas, pembatas dosis untuk masing-masing jenis profesi ditetapkan sebesar nilai pada kolom 6.

Pada instalasi atau fasilitas yang telah beroperasi lebih dari 4 (empat) tahun, dapat menggunakan masa operasi 3. Sebagai contoh kasus untuk skenario ini disajikan pada tabel 3.

Tabel 5. Data dosis tahunan pekerja radiasi di fasilitas kedokteran nuklir RS B.

Profesi	Dosis tahunan (mSv)					
	2013	2014	2015	2016	Rata	Q3
1	2	3	4	5	6	7
Dokter Sp.KN	1,755	0,287	0,100	0,153	0,574	0,654
DokterSp.Rad	0,730	0,322	0,023	0,060	0,284	0,424
Fisikawan medis	0,572	0,227	0,420	0,260	0,370	0,458
Radiofarmasis	0,938	0,994	2,070	1,610	1,403	1,725
Radiografer	1,098	1,088	0,980	2,030	1,299	1,331

Profesi	Dosis tahunan (mSv)					
	2013	2014	2015	2016	Rata	Q3
1	2	3	4	5	6	7
Perawat KN	2,624	2,704	2,980	2,760	2,767	2,815
Analisis kesehatan	0,857	1,106	1,020	1,210	1,048	1,132

Catatan:

Jenis dosimeter perorangan yang digunakan adalah TLD

Pada masa operasi 3 diasumsikan bahwa fasilitas telah memiliki data dosis tahunan pekerja sebanyak minimal 4 (empat) kelompok data sehingga cukup untuk mewakili tren penerimaan dosis secara statistik. Oleh karena itu, nilai pembatas dosis untuk setiap profesi dapat menggunakan metode penentuan nilai kuartil ke-3 dari sebaran dosis yang diterima oleh pekerja radiasi, dengan asumsi sebaran data tersebut berupa sebaran normal (Gaussian) [10].

Kuartil adalah suatu nilai data yang membagi empat sama banyak kumpulan data yang telah diurutkan. Untuk mencari posisi kuartil ke-3 (Q3) dapat menggunakan rumus:

$$n_{q3} = \frac{3(n+1)}{4} \quad (\text{persm. 1})$$

Sedangkan nilai Q3 dihitung menggunakan rumus:

$$X_{q3} = X_{a,3} + \frac{1}{4} (X_{b,3} - X_{a,3}) \quad (\text{persm. 2})$$

dengan

n_{q3} = posisi kuartil ke-3

n = banyaknya data

X_{q3} = nilai kuartil ke-3

$X_{a,3}$ = nilai sebelum n_{q3}

$X_{b,3}$ = nilai setelah n_{q3}

Nilai $Q3$ inilah yang dapat diusulkan menjadi nilai pembatas dosis. Pada Tabel 3 di atas, pembatas dosis untuk masing-masing jenis profesi ditetapkan sebesar nilai pada kolom 7.

Dengan memperhatikan Tabel 2 dan Tabel 3, dapat ditarik pemahaman bahwasan dengan ditetapkannya nilai numerik pembatas dosis, maka hal tersebut dapat menjadi indikator bahwa dosis yang besarnya di atas pembatas dosis harus menjalani langkah-langkah sebagai upaya mengoptimalkan proteksi radiasi sehingga diharapkan dosis tersebut dapat turun nilainya menjadi di bawah atau sama dengan pembatas dosis yang telah ditetapkan. Sebagaimana direkomendasikan dalam ICRP 103 [11] bahwa apabila terdapat pekerja radiasi yang mendapatkan dosis melebihi dari pembatas dosis, penanggungjawab fasilitas harus menginvestigasi untuk menentukan akar penyebab dan selanjutnya mengambil langkah tindak lanjut guna memperbaiki optimisasi proteksi radiasi.

Namun demikian, penerapan optimisasi proteksi radiasi tidak serta merta hanya melibatkan aspek teknis saja namun hendaknya juga mempertimbangkan aspek ekonomi dan sosial, oleh

karena itu terdapat beberapa kondisi yang perlu diperhatikan, yaitu:

- a) Perbedaan dosis tahunan pekerja antara satu profesi dengan profesi yang lain tidak berbeda signifikan.

Skenario penentuan pembatas dosis berdasarkan jenis profesi pekerja radiasi pada suatu fasilitas kesehatan dapat dipertimbangkan kembali apabila data menunjukkan bahwa perbedaan dosis tahunan antara satu profesi dengan profesi yang lain tidak berbeda signifikan. Pada kondisi ini, pembatas dosis dapat ditetapkan seragam untuk semua profesi yang ada di fasilitas kesehatan tersebut.

Penetapan signifikansi perbedaan pembatas dosis antar profesi diusulkan dengan menggunakan kriteria margin dosis maksimum antar profesi, yang diperoleh dari selisih antara dosis rerata tahunan tertinggi dengan dosis rerata tahunan terendah. Apabila margin dosis antar profesi lebih kecil dari atau sama dengan 1 mSv maka signifikansi perbedaan dosis antar profesi relatif rendah, sehingga direkomendasikan agar pembatas dosis ditetapkan seragam untuk semua profesi, dengan besarnya nilai pembatas dosis adalah nilai pembatas dosis dari profesi dengan dosis rerata tertinggi.

Sebagai contoh kasus untuk skenario ini disajikan dalam Tabel 4 berikut:

Tabel 6. Data dosis tahunan pekerja radiasi di fasilitas radioterapi RS C

Profesi	Dosis tahunan (mSv)				
	2014	2015	2016	Rerata	PD
1	2	3	4	5	6
Dokter Sp. Onk	0,830	0,985	1,060	0,958	1,060
Fisikawan medis	1,000	0,960	0,650	0,870	1,000
PPR	1,055	0,888	0,604	0,849	1,055
Radioterapis	1,070	1,500	0,720	1,097	1,500
Teknisi elektromedis	1,180	0,870	0,640	0,897	1,180
Perawat radioterapi	1,080	1,150	0,640	0,957	1,150
Petugas mould room	0,960	0,560	0,670	0,730	0,960
			max	1,097	
			min	0,730	
			margin	0,367	

Catatan:

- Jenis dosimeter perorangan yang digunakan adalah TLD
- PD = pembatas dosis

Pada Tabel 4 tersebut nampak bahwa margin dosis diperoleh sebesar 0,367 mSv (kurang dari 1 mSv), sehingga disimpulkan bahwa pembatas dosis di fasilitas tersebut dapat ditetapkan seragam bagi semua profesi yaitu sebesar 1,5 mSv (dipilih dari profesi yang memiliki dosis rerata maksimum).

- b) Data dosis tahunan pekerja hampir semua menunjukkan nilai nol atau kurang dari 1 mSv.

Pada kondisi demikian makadirekomendasikan agar fasilitas dapat langsung menetapkan nilai

pembatas dosisnya sebesar 1 mSv. Sebagai contoh untuk skenario ini disajikan dalam Tabel 5 berikut:

Tabel 7. Data dosis tahunan pekerja radiasi di fasilitas radiologi diagnostik intervensional RS D.

Profesi	Data Tahunan (mSv)				
	2014	2015	2016	Rerata	PD
1	2	3	4	5	6
Dokter Sp. Rad	0,598	0,099	0,084	0,260	0,598
Fisikawan medis	0,490	0,240	0,290	0,340	0,490
PPR	0,567	0,220	0,340	0,376	0,567
Radiografer	0,529	0,206	0,265	0,333	0,529
Perawat	0,590	0,050	0,035	0,225	0,590
Cathlab	0,753	0,462	0,227	0,481	0,753

Catatan:

- Jenis dosimeter perorangan yang digunakan adalah TLD
- PD = pembatas dosis

Pada Tabel 5 tersebut nampak bahwa seluruh nilai pembatas dosis yang diperoleh adalah kurang dari 1 mSv, oleh karena itu fasilitas dapat langsung menetapkan bahwa pembatas dosis yang digunakan adalah 1 mSv dan berlaku untuk seluruh jenis profesi pekerja radiasi dalam fasilitas.

2. Penerapan pembatas dosis

Pada fasilitas yang telah menghitung dan menetapkan nilai numerik pembatas dosis, maka implementasi dari penetapan pembatas dosis tersebut harus dipantau secara rutin atau berkala. Namun demikian, sebagaimana yang telah disajikan dalam Gambar 2 di atas, fasilitas melalui PI perlu menjalani beberapa tahapan berikut:

- a) PI menyampaikan pengajuan usulan perhitungan pembatas dosis tersebut kepada BAPETEN untuk dilakukan evaluasi dan mendapatkan persetujuan Kepala BAPETEN, sebagaimana diuraikan dalam Perka BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 [1] Pasal 43 ayat (3) dan (4). Oleh karena itu direkomendasikan agar pengajuan pembatas dosis dilakukan bersamaan dengan pengajuan izin. Dengan mengacu pada sistem perizinan yang berlaku di BAPETEN, penetapan pembatas dosis ini dimasukkan sebagai bagian dari dokumen Program Proteksi dan Keselamatan Radiasi (PPKR). Guna melengkapi usulan penetapan nilai numerik pembatas dosis tersebut, hendaknya dicantumkan uraian yang memuat informasi antara lain tentang:
- urgensi perlunya penetapan pembatas dosis,
 - metode yang digunakan untuk penetapan pembatas dosis,
 - nilai pembatas dosis yang diusulkan, dan
 - periode kaji ulang pembatas dosis,
- serta dilampiri dengan data dukung antara lain berupa:
- hasil pengumpulan data dosis pekerja pada periode tertentu dan pengolahan data dosis pekerja menjadi pembatas dosis,

- hasil kaji ulang pembatas dosis, apabila telah dilakukan.

Dalam hal pengajuan penetapan pembatas dosis ini, PI perlu mempertimbangkan berbagai situasi terkini status perizin yang ada di fasilitas, sehingga dapat dipilih beberapa skenario pembatas dosis yang tepat dan efektif. Beberapa contoh situasi (status perizin) yang dapat dipertimbangkan dalam skenario pemilihan pembatas dosis yang akan diajukan ke BAPETEN diuraikan dalam Tabel 6.

Tabel 8. Skenario pemilihan penetapan pembatas dosis berdasarkan situasi/status izin.

No.	Situasi (status perizin)	Kategori masa operasi	Pembatas Dosis
1	2	3	4
1.	Fasilitas baru dengan 1 jenis modalitas yang akan mengajukan izin konstruksi.	Situasi ini disetarakan dengan Pra-Masa operasi 1.	Menggunakan pembatas dosis pada tahap desain bangunan fasilitas.
2.	Fasilitas baru dengan 1 modalitas yang mengajukan izin operasi.	Situasi ini disetarakan dengan Masa operasi 1.	Menggunakan pembatas dosis pada tahap desain bangunan fasilitas.
3.	Fasilitas dengan 1 modalitas yang mengajukan izin perpanjangan.	Situasi ini disetarakan dengan Masa operasi 2 atau Masa operasi 3 sesuai jumlah tahun operasionalnya.	Menetapkan pembatas dosis sesuai masa operasi (lihat Tabel 1).
4.	Fasilitas yang telah memiliki lebih dari 1 modalitas dan akan mengajukan izin konstruksi untuk modalitas baru.	Situasi ini dapat disetarakan dengan Masa operasi 2 atau Masa operasi 3 sesuai jumlah tahun operasional modalitas yang pertama.	Menetapkan pembatas dosis tahap operasi sesuai masa operasi (lihat Tabel 1).
5.	Fasilitas yang telah memiliki lebih dari 1 modalitas dan akan mengajukan izin operasi untuk modalitas baru.	Situasi ini disetarakan dengan Masa operasi 2 atau Masa operasi 3 sesuai jumlah tahun operasional modalitas yang pertama.	Menetapkan pembatas dosis sesuai masa operasi (lihat Tabel 1).
6.	Fasilitas yang telah memiliki lebih dari 1 modalitas dan akan mengajukan perpanjangan izin untuk modalitas baru.	Situasi ini disetarakan dengan Masa operasi 2 atau Masa operasi 3 sesuai jumlah tahun operasional modalitas yang pertama.	Menetapkan pembatas dosis sesuai masa operasi (lihat Tabel 1).
7.	Fasilitas telah memiliki modalitas untuk	Pada situasi ini masa operasi untuk modalitas baru	Menetapkan pembatas dosis sesuai

No.	Situasi (status perizin)	Kategori masa operasi	Pembatas Dosis
1	2	3	4
	jenis pemanfaatan tertentu dan akan mengajukan izin konstruksi modalitas baru untuk jenis pemanfaatan yang berbeda.	tersebut menggunakan masa operasi 1, tidak dipengaruhi dengan modalitas yang telah ada sebelumnya karena berbeda jenis pemanfaatan	masa operasi (lihat Tabel 1).

Catatan: situasi (status perizin) untuk masing-masing pemanfaatan radiologi diagnostik intervensional, radioterapi atau kedokteran nuklir tidak memiliki keterkaitan satu dengan yang lainnya karena dokumen PPKR dibuat secara terpisah.

Situasi nomor 1 menggambarkan suatu fasilitas kesehatan yang akan membangun fasilitas layanan radiologi berupa radiologidiagnostik, interventional, radioterapi dan/atau kedokteran nuklir. Meskipun izin konstruksi diberlakukan hanya untuk radioterapi dan kedokteran nuklir, namun persyaratan desain bangunan fasilitas berlaku untuk radiologidiagnostik intervensional, radioterapi dan kedokteran nuklir. Pemenuhan terkait penerapan pembatas dosis terhadap persyaratan desain bangunan fasilitas dinilai pada saat evaluasi dokumen PPKR untuk izin konstruksi penggunaan radioterapi dan kedokteran nuklir yaitu sebesar $\frac{1}{2}$ NBD pekerja radiasi.

Situasi nomor 2 menggambarkan suatu fasilitas kesehatan yang akan mengajukan permohonan izin operasi untuk pemanfaatan radiologidiagnostik intervensional, radioterapi dan/atau kedokteran nuklir. Pemenuhan terkait penerapan pembatas dosis terhadap persyaratan desain bangunan fasilitas dinilai pada saat evaluasi dokumen PPKR pada pemanfaatan radiologi diagnostik dan intervensional, sedangkan pada pemanfaatan radioterapi dan kedokteran nuklir, pemenuhan pembatas dosis dinilai tetap menggunakan kriteria yang sama dengan tahap desain bangunan fasilitas, yaitu $\frac{1}{2}$ NBD pekerja radiasi.

Situasi nomor 3, nomor 4, nomor 5, nomor 6 dan nomor 7 menggambarkan fasilitas kesehatan yang telah mendapat izin pemanfaatan dan akan mengajukan permohonan perpanjangan izin operasi dan permohonan izin konstruksi atau izin operasi untuk modalitas baru. Untuk radiologi diagnostik dan intervensional, pada saat dilakukan perpanjangan izin diharapkan penerapan pembatas dosis menggunakan masa operasi 2 atau masa operasi 3 sesuai jumlah tahun operasinya. Sedangkan untuk radioterapi dan kedokteran nuklir, pada saat dilakukan perpanjangan izin diharapkan penerapan pembatas dosis menggunakan masa operasi 1, masa operasi 2 atau masa operasi 3 sesuai jumlah tahun operasinya.

- Bagi fasilitas yang telah memiliki izin operasi dan mengajukan izin konstruksi maupun izin operasi bagi modalitas baru, penerapan pembatas dosis tetap mengikuti masa operasi sesuai jumlah tahun operasional dari izin yang telah ada sebelumnya. Dengan adanya pengoperasian 2 (dua) atau lebih modalitas, terdapat potensi kenaikan dosis radiasi pekerja dikarenakan peningkatan beban kerja. Situasi ini berkaitan erat dengan kaji ulang dosis radiasi, apabila analisis statistik menunjukkan kenaikan dosis maka nilai pembatas dosis perlu dinaikkan. Sebagai catatan pada kasus ini, dalam hal pengajuan izin konstruksi modalitas baru, evaluator BAPETEN tetap akan menggunakan kriteria pembatas dosis ½ NBD pekerja radiasi dalam mengevaluasi desain bangunan fasilitas untuk modalitas baru.

Sebagai contoh:

RSX telah memiliki izin operasi pesawat Co-60 yang memasuki jumlah tahun operasi 6 tahun. RS X akan mengajukan permohonan izin konstruksi untuk pesawat LINAC. Dalam kasus ini, pembatas dosis tahap operasional yang diimplementasikan oleh RS X tetap menggunakan pembatas dosis selama pengoperasian pesawat Co-60, sedangkan untuk keperluan izin konstruksi LINAC RS X menggunakan pembatas dosis sebesar ½ NBD.

- Bagi fasilitas kesehatan yang telah memiliki izin operasi untuk jenis pemanfaatan tertentu dan mengajukan izin konstruksi maupun izin operasi bagi modalitas baru untuk jenis pemanfaatan yang berbeda, maka penerapan pembatas dosis akan ditetapkan secara berbeda.

Sebagai contoh:

RSX telah memiliki izin operasi pesawat Co-60 yang memasuki jumlah tahun operasi 6 tahun. RS X akan mengajukan permohonan izin untuk pesawat fluoroskopi C-arm baru. Dalam kasus ini, RS X perlu menetapkan pembatas dosis untuk fasilitas radioterapi dan pembatas dosis untuk fasilitas radiologi intervensional. Untuk fasilitas radioterapi menggunakan pembatas dosis sesuai kategori masa operasi 3, sedangkan untuk fasilitas radiologi intervensional menggunakan pembatas dosis dengan kategori masa operasi 1.

- b) PI melaksanakan kaji ulang terhadap pembatas dosis pekerja radiasi selama pengoperasian fasilitas atau instalasi secara berkala, sebagaimana diuraikan dalam Perka BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 [1] Pasal 44, namun demikian periode waktu dan tata cara kaji ulang tidak diatur dalam regulasi ini. Oleh karena itu direkomendasikan bahwa:
 - i. Penentuan periode perlu mempertimbangkan tingkat signifikansi risiko paparan kerja dan

tren penerimaan dosis pekerja radiasi dari tahun ke tahun. Tingkat signifikansi risiko dapat direpresentasikan dari masa berlaku izin, sehingga secara teknis dapat menggunakan pendekatan yang moderat untuk menentukan periode kaji ulang yaitu 2 (dua) kali masa berlaku izin.

Tabel 9. Rekomendasi pemilihan periode kaji ulang pembatas dosis berdasarkan jenis fasilitas kesehatan dan masa berlaku izin.

Fasilitas Kesehatan	Masa berlaku izin operasi (PP 29 Tahun 2008 Lampiran I [12])	Periode kaji ulang
1	2	3
Radioterapi	1 (satu) - 2 (dua) tahun	2 (dua) tahun
Kedokteran nuklir diagnostik in vivo	1 (satu) tahun	2 (dua) tahun
Kedokteran nuklir diagnostik terapi	1 (satu) tahun	2 (dua) tahun
Radiologi diagnostik dan intervensional	2 (dua) - 3 (tiga) tahun	4 (empat) tahun

- ii. Kaji ulang dilakukan melalui pemantauan dan evaluasi terhadap rekaman data dosis pekerja radiasi pada periode berikutnya. Apabila hasil evaluasi menunjukkan bahwa dosis pekerja tidak memiliki kecenderungan melampaui pembatas dosis yang telah ditetapkan maka dapat dipertimbangkan untuk tidak melakukan perubahan pembatas dosis atau bahkan dapat menurunkan besarnya nilai pembatas dosis. Demikian pula sebaliknya. Namun demikian, perlu dilakukan reviu untuk mencari akar penyebab terjadinya nilai dosis yang melebihi pembatas dosis, yang pada umumnya mencakup aspek personil, peralatan, prosedur operasional, dan manajemen, antara lain:
 - kemampuan dan kepedulian personil dalam menerapkan proteksi dan keselamatan radiasi di bidang kerja yang menjadi tugasnya,
 - kemampuan personil dalam melakukan pekerjaan sesuai dengan standar/prosedur operasional,
 - desain beban kerja personil, yang terkait dengan jumlah jam kerja, jumlah pasien yang ditangani, jumlah kegiatan yang dilakukan, dan lainnya,
 - kinerja peralatan utama dan peralatan pendukung,
 - ketersediaan perlengkapan proteksi radiasi,
 - adanya insiden atau kecelakaan yang terjadi selama periode pemantauan.
 - kesalahan dalam meletakkan/menyimpan TLD kontrol sehingga mempengaruhi hasil evaluasi pembacaan dosis.

Dengan teridentifikasinya akar penyebab tersebut kemudian dapat dirumuskan rencana aksi untuk menindaklanjutinya, misalnya:

- menyediakan program pelatihan rutin untuk meningkatkan pemahaman dan kepedulian personil terkait proteksi radiasi dan keselamatan radiasi
- menyediakan program pelatihan rutin untuk meningkatkan kemampuan teknis terkait prosedur operasional atau pengoperasian peralatan tertentu,
- meningkatkan ketersediaan personil yang kompeten sesuai bidang kerja yang akan menjadi tugasnya,
- perbaikan dan pemutakhiran metode/prosedur operasional,
- pengendalian mutu peralatan utama maupun peralatan pendukung,
- peningkatan ketersediaan dan kelengkapan perlengkapan proteksi radiasi,
- perbaikan sistem/desain penjadwalan kerja personil.

Hasil kaji ulang yang terdiri atas alasan terkait perubahan penetapan nilai pembatas dosis harus disertai dengan akar penyebab dan rencana tindak lanjutnya. Hasil kaji ulang ini jugahendaknya dicantumkan dalam dokumen PPKR dan diajukan kembali kepada Kepala BAPETEN dengan tata cara yang sama sebagaimana diuraikan dalam butir 2.a).

Dalam hal komitmen untuk menerapkan konsep pembatas dosis di fasilitas kesehatan, fasilitas harus mendokumentasikan tiap proses yang terkait dan mengendalikan rekaman yang dihasilkan, diantaranya adalah:

- Program proteksi dan keselamatan radiasi revisi terkini.
- Prosedur penentuan dan kaji ulang pembatas dosis.
- Kartu dosis pekerja radiasi pada kurun waktu tertentu.
- Kartu dosis pekerja radiasi untuk kegiatan tertentu, misalnya komisioning dan lainnya.
- Rekaman pengolahan data dosis pekerja untuk penetapan pembatas dosis.
- Hasil kaji ulang pembatas dosis.
- Rekaman dosis pekerja dalam kondisi kedaruratan atau tanggap darurat.

Rekaman di atas merupakan data primer dan sekunder yang penting untuk disimpan secara memadai guna menjaga ketertelusuran ke sumber data.

Hal yang tidak kalah penting untuk diperhatikan dalam penerapan pembatas dosis ini adalah ketepatan dalam penanganan dosimeter personal di fasilitas, dalam makalah ini dosimeter personal yang digunakan dalam survey adalah TLD. Analisis mengenai profil dosis pekerja radiasi yang akan digunakan dalam penentuan dan penerapan

pembatas dosis di suatu fasilitas sangat erat kaitannya dengan ketersediaan dan kelengkapan serta keakuratan data dosis pekerja yang direkam oleh PPR. Dalam hal keakuratan hasil evaluasi pembacaan TLD, besarnya bacaan dosis dari TLD dipengaruhi oleh banyak aspek, diantaranya adalah arah datangnya paparan radiasi, masa pakai TLD, jeda waktu antara penerimaan dosis radiasi dan pembacaan TLD, besarnya paparan radiasi latar yang diterima oleh TLD kontrol, kondisi lingkungan tempat penyimpanan TLD, keandalan TLD reader dan lainnya. Beberapa hal teknis tersebut berkontribusi dalam komponen ketidakpastian pengukuran sehingga menyebabkan keakuratan hasil menjadi kurang memadai. Namun demikian, laboratorium dosimetri telah disyaratkan untuk mampu melakukan evaluasi pembacaan dosimeter dengan ketidakpastian pengukuran yang besarnya kurang dari 30% sebagaimana disebutkan dalam Perka BAPETEN Nomor 11 Tahun 2015 [13] Pasal 32.

Selain kontribusi faktor teknis dalam evaluasi dosis oleh laboratorium dosimetri, penanganan TLD di fasilitas juga dapat memengaruhi keakuratan hasil evaluasi pembacaan TLD. PPR sebagai personil yang bertugas sebagai penyelenggara keselamatan radiasi di fasilitas hendaknya mengendalikan dan mendokumentasikan pengelolaan TLD dalam hal:

- Penyimpanan TLD secara benar saat tidak digunakan untuk bekerja. Fasilitas harus menentukan area/lokasi penyimpanan TLD badge (baik TLD kerja maupun TLD kontrol). Area ini harus berada di bagian fasilitas dimana level radiasinya adalah *background*, sehingga tidak berpotensi untuk menangkap paparan dari sumber radiasi.
- Kepatuhan pekerja radiasi dalam penggunaan/pemakaian TLD dengan posisi yang benar.
- Kepatuhan fasilitas dalam pengiriman TLD secara tepat waktu untuk keperluan evaluasidosis di laboratorium dosimetri.

KESIMPULAN

- a) Pembatas dosis merupakan *tool* yang praktis untuk memantau optimisasi penerapan proteksi radiasi di fasilitas kesehatan pengguna radiasi pengion dan penerapan pembatas dosis merepresentasikan pemenuhan terhadap aspek budaya keselamatan.
- b) Penetapan pembatas dosis dapat dilakukan dengan pendekatan konservatif yaitu dengan memanfaatkan data dosis tahunan pekerja radiasi tahap operasional.
- c) Skenario dalam metode penetapan pembatas dosis dapat melalui pertimbangan masa operasional suatu fasilitas dan status/situasi izin suatu fasilitas.
- d) Olah data dosis tahunan pekerja pada kurun waktu tertentu dapat memberikan hasil yang

dinamis bergantung pada situasi dan kondisi fasilitas, pada beberapa kondisi tertentu dibutuhkan *metode cut-off* untuk menentukan pembatas dosis yaitu sebesar 1 mSv/tahun.

- e) Implementasi dari penetapan pembatas dosis tahap operasional harus dipantau melalui kaji ulang rutin dengan periode 2 (dua) kali masa berlaku izin.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada:

- Tim Pengkaji bidang kesehatan di P2STPFRZR yang telah berkontribusi dalam survey tahun 2017 guna mengumpulkan data sekunder,
- Para pakar yang telah menyumbang ide dan saran teknis sesuai bidang ilmu terkait makalah, dan
- Rumah Sakit sebagai responden survey data dosis pekerja radiasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [36] BAPETEN (2013), Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi Dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir, Jakarta, Indonesia.
- [37] BAPETEN (2012), Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 17 Tahun 2012 tentang Keselamatan Radiasi dalam Kedokteran Nuklir.
- [38] BAPETEN (2013), Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 3 Tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Radioterapi
- [39] BAPETEN (2011), Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional.
- [40] IAEA (2011), Safety Standards Series, GSR Part 3, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, Vienna, Austria.
- [41] PCRPPH-NEA (2011), Dose constraints – Dose Constraints in Optimization of Occupational Radiation Protection and Implementation of the Dose Constraint Concept into Radiation Protection Regulations and Its Use in Operator’s Practices, Paris.
- [42] IAEA (1999), Safety Standard Series, RS-G-1.1, Occupational Radiation Protection, Vienna, Austria.
- [43] IAEA (2014), Tecdoc-1735, The Information System on Occupational Exposure in Medicine, Industry and Research (ISEMIR): Interventional Cardiology, Vienna, Austria.
- [44] Fennel, Stephen (2011), Survey On The Use Of Dose Constraints And Reference Levels Made In The Context Of The European ALARA Network. ICRP Symposium on the International System of Radilological Protection.
- [45] Kunarsih. E (2017), Penetapan Pembatas Dosis Dan Peranannya Dalam Upaya Optimisasi Proteksi Radiasi Bagi Pekerja Radiasi Di Fasilitas Kedokteran Nuklir, Jakarta.
- [46] ICRP (2007), Publication 103 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Pergamon Press.
- [47] BAPETEN (2008), Peraturan Pemerintah Nomor 29 Tahun 2009 tentang Perijinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion Dan Bahan Nuklir, Jakarta.
- [48] BAPETEN (2015), Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 11 Tahun 2015 tentang Laboratorium Dosimetri Eksterna, Jakarta.

OA09

TINJAUAN PENGATURAN DALAM PENGAWASAN PEMANFAATAN BATERAI NUKLIR**Hermawan Puji Yuwana***Direktorat Pengaturan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif - BAPETEN*e-mail: h.puji@bapeten.go.id**ABSTRAK**

TINJAUAN PENGATURAN DALAM PENGAWASAN PEMANFAATAN BATERAI NUKLIR. Sebagaimana diatur dalam Undang-undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran bahwa setiap pemanfaatan tenaga nuklir wajib memiliki izin. PP Nomor 29 Tahun 2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pngion dan Bahan Nuklir membagi kegiatan pemanfaatan menjadi 3 kelompok yaitu kelompok A, B, dan C. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dimungkinkan akan berdampak pada berkembangnya pemanfaatan sumber radiasi pngion yang ada saat ini. Hal yang mungkin terjadi adalah terdapat kegiatan pemanfaatan baru yang belum terlingkupi dalam 3 (tiga) kelompok pemanfaatan tersebut. Sehingga perlu dilakukan pendekatan tertentu agar suatu kegiatan pemanfaatan yang mungkin tidak masuk kedalam lingkup kelompok pemanfaatan PP Nomor 29 Tahun 2008 dapat tetap terawasi kegiatan pemanfaatannya. Salah satu kegiatan pemanfaatan yang mungkin akan berkembang adalah pemanfaatan baterai nuklir. Tinjauan pengaturan pengawasan dalam pemanfaatan baterai nuklir untuk mengetahui dan mengidentifikasi infrastruktur pengawasan dalam menghadapi kemungkinan muncul dan berkembangnya pemanfaatan tenaga nuklir berupa baterai nuklir. Dalam menghadapi tantangan tersebut dikaitkan dengan sedang berlangsungnya amandemen PP Nomor 29 Tahun 2008 dengan menggunakan pendekatan-pendekatan tertentu. Pendekatan tersebut dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa hal diantaranya perlu melihat kembalipengelompokan pemanfaatan dan perlunya ketentuan atau persyaratan tambahan dalam hal terdapat pemanfaatan tenaga nuklir di luar pengelompokan pemanfaatan. Pendekatan dalam isu pengelompokan pemanfaatan harus mempertimbangkan potensi bahaya radiasi, tingkat kerumitan fasilitas, kompleksitas peralatan atau fasilitas, jumlah dan kompetensi personil yang bekerja, potensi dampak kecelakaan radiasi dan potensi terhadap sumber radioaktif yang digunakan. Sedangkan pendekatan melalui ketentuan/ persyaratan tambahan dilakukan melalui dokumen kajian justifikasi terhadap pemanfaatan baterai nuklir. Dokumen kajian justifikasi yang berisikan diantaranya terkait deskripsi, tujuan penggunaan, perbandingan baterai konvensional dan baterai nuklir, kajian dosis terhadap masyarakat, pengujian, prosedur penggunaan, prosedur pemasangan, prosedur perawatan, prosedur penyimpanan sementara, atau prosedur pembuangan akhir.

Kata kunci: pemanfaatan, baterai, pengelompokan, teknologi.

ABSTRACT**REVIEW OF REGULATORY CONTROLS IN THE UTILIZATION OF NUCLEAR BATTERY.**

As stipulated in the Act Nr. 10 Year 1997 on Nuclear Energy that any utilization of nuclear energy shall be subjected for licensing. Government Regulation Nr. 29 Year 2008 on Licensing of the Utilization of Ionizing Radiation Sources and Nuclear Materials dividing the utilization activities into 3 groups: group A, B, and C. The development of science and technology might probably have an impact on the development of existing utilization of ionizing radiation sources. It is possible that there are new utilization activities that are not covered yet in the existing 3 (three) groups. Hence, it is necessary to make certain approach for activities are not included yet in the existing groups of GR Nr. 29 Year 2008, the utilization might be under supervision. One of the utilization that possible to be developed is nuclear battery. The aim of reviewing regulatory controls in the utilization of nuclear battery is to have knowledge and to identify the infrastructure of supervision in order to encounter the possibility of the occurrence and development of nuclear battery technology. To overcome these challenges, particular approaches have been implemented in association with the ongoing amendment of GR Nr. 29 Year 2008. These approaches are taking into account several matters, for instance the need to review the utilization grouping and additional provisions or requirements in case any uses of nuclear energy out of the utilization grouping. The approach to the issue of utilization grouping should take into account the potential radiation hazards, the complexity of the facility, the complexity of the equipment or facilities, the number and competence of the personnel, the potential impact of accidents and the potential for the radioactive sources are used. While the approach through additional provisions or requirements is done through the document justification review of the use of nuclear batteries. A justification assessment document comprising description, intended use, comparison of conventional batteries and nuclear batteries, public dose assessment, testing, usage procedures, installation procedures, maintenance procedures, temporary storage procedures, or final disposal procedures.

Keywords: utilization, battery, grouping, technology.

PENDAHULUAN

Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran telah mendefinisikan bahwa pemanfaatan adalah kegiatan yang berkaitan dengan tenaga nuklir yang meliputi penelitian, pengembangan, penambangan, pembuatan, produksi, pengangkutan, penyimpanan, pengalihan, ekspor, impor, penggunaan, dekomisioning, dan pengolahan limbah radioaktif untuk meningkatkan kesejahteraan rakyat[1]. Dalam rangka untuk melakukan pengawasan terhadap pemanfaatan tersebut, UU No. 10 Tahun 1997 mengamanatkan pembentukan badan pengawas yaitu Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) untuk melaksanakan pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir yang dilakukan melalui tiga pilar pengawasan, yaitu peraturan, perizinan, dan inspeksi .

Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi dan Keamanan Sumber Radioaktif dan Peraturan Pemerintah Nomor 29 Tahun 2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pion dan Bahan Nuklir, merupakan beberapa peraturan pelaksana dari ketentuan dalam UU Nomor 10 Tahun 1997. Setiap orang atau badan yang akan memanfaatkan tenaga nuklir wajib memiliki izin pemanfaatan tenaga nuklir dan memenuhi persyaratan keselamatan radiasi [2]. Ketentuan keselamatan radiasi telah diatur dalam PP Nomor 33 Tahun 2007, sedangkan ketentuan perizinan pemanfaatan tenaga nuklir diatur dalam PP Nomor 29 Tahun 2008. Kegiatan pemanfaatan sumber radiasi pion dikelompokkan menjadi 3 (tiga) yaitu kelompok A, kelompok B, dan kelompok C. Pengelompokan pemanfaatan didasarkan pada risiko yang terkait dengan keselamatan radiasi dan keamanan sumber radioaktif dan bahan nuklir dengan mempertimbangkan potensi bahaya radiasi, tingkat kerumitan fasilitas, jumlah dan kompetensi personil yang bekerja, potensi dampak kecelakaan radiasi dan potensi ancaman terhadap sumber radioaktif [3].

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi secara langsung dan tidak langsung akan berdampak pada berkembangnya pemanfaatan sumber radiasi pion yang ada saat ini. Kemungkinan besar yang terjadi adalah terdapat kegiatan pemanfaatan baru yang belum terlingkupi dalam 3 (tiga) kelompok pemanfaatan tersebut. Dengan adanya ketentuan bahwa “setiap orang atau badan yang memanfaatkan tenaga nuklir wajib memiliki izin pemanfaatan tenaga nuklir dan memenuhi persyaratan keselamatan radiasi”, maka diperlukan suatu mekanisme atau dengan

pendekatan-pendekatan tertentu dalam pengawasannya. Mekanisme atau pendekatan tertentu tersebut perlu dilakukan agar suatu kegiatan pemanfaatan yang mungkin tidak masuk kedalam lingkup kelompok pemanfaatan PP Nomor 29 Tahun 2008 dapat tetap terawasi kegiatan pemanfaatannya. Sebagai contoh adalah beberapa tahun yang lalu, terdapat pemberitaan di portal berita online terkait dengan penggunaan tenaga nuklir yang ditujukan untuk baterai nuklir.

Tinjauan pengawasan pengaturan dalam pemanfaatan baterai nuklir untuk mengetahui dan mengidentifikasi infrastruktur pengawasan pengaturan yang dibutuhkan dalam mengawasi kemungkinan muncul dan berkembangnya pemanfaatan tenaga nuklir berupa baterai nuklir.

POKOK BAHASAN

Tinjauan pengaturan dalam pengawasan pemanfaatan baterai nuklir ini menggunakan metodologi kajian literatur dengan menggunakan berbagai macam sumber seperti perkembangan baterai konvensional, perkembangan baterai nuklir, dan peraturan ketenaganukliran terkait. Sehingga perlunya identifikasi terhadap persyaratan-persyaratan pengaturan yang mungkin diperlukan dalam mengawasi perkembangan pemanfaatan baterai nuklir.

a. Identifikasi perkembangan baterai konvensional dan baterai nuklir

Baterai adalah alat untuk menghimpun dan membangkitkan aliran listrik [4]. Baterai adalah perangkat yang mengandung sel listrik yang dapat menyimpan energi yang dapat dikonversi menjadi daya. Baterai menghasilkan energi listrik melalui proses elektrokimia yang bersifat *reversible* yaitu reaksi dimana di dalam baterai dapat berlangsung proses perubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan) dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia (proses pengisian) dengan cara proses regenerasi dari elektroda-elektroda yang dipakai. Baterai dibedakan menjadi 2 jenis yaitu baterai primer dan baterai sekunder. Baterai primer merupakan baterai yang hanya dapat dipergunakan sekali pemakaian saja dan tidak dapat diisi ulang. Sedangkan baterai sekunder adalah baterai yang dapat diisi ulang, karena material aktifnya di dalam dapat diputar kembali [5][6].

Perkembangan baterai konvensional dimulai dengan ditemukannya berbagai macam variasi dari anoda (elektroda negatif), katoda (elektroda positif), dan larutan elektrolit yang merupakan komponen penyusun dalam baterai. Beberapa

perkembangan yang telah ada baik untuk jenis baterai primer ataupun baterai sekunder seperti baterai alkaline, baterai nikel-kadmium (Ni-Cd), baterai Ni-MH, baterai litium dll [6][7]. Parameter yang berpengaruh terhadap baterai seperti kerapatan energi, profil potensial terhadap waktu, laju pengosongan diri, temperatur operasi, dan siklus hidup [7].

Seiring dengan perkembangan baterai konvensional dengan berbagai variasi dari anoda, katoda, dan larutan elektrolit tersebut, penggunaan teknologi nuklir untuk baterai nuklir juga telah dikembangkan. Baterai nuklir mulai diselidiki dan dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan dalam pemenuhan sumber energi. Istilah baterai atom, baterai nuklir, baterai tritium dan generator radioisotop (RTG/*Radioisotope Thermoelectric Generators*) digunakan untuk menggambarkan perangkat yang menggunakan energi dari peluruhan sebuah isotop untuk menghasilkan listrik. Baterai nuklir memiliki umur yang sangat panjang dan kepadatan energi yang tinggi, sehingga digunakan sebagai sumber energi listrik untuk peralatan yang harus dioperasikan tanpa pengawasan dalam jangka waktu pengoperasian yang lama, seperti pesawat ruang angkasa, alat pacu jantung dll.

RTG adalah generator listrik sederhana yang didukung oleh peluruhan radioaktif. Dalam sebuah RTG, panas dilepaskan oleh peluruhan zat radioaktif dan diubah menjadi listrik. Penggunaan RTG sebagai salah satu jenis baterai dan telah digunakan sebagai sumber daya di satelit, pesawat ruang angkasa, dan mercusuar. RTG menggunakan proses pembangkitan panas yang berbeda dari yang digunakan oleh pembangkit listrik tenaga nuklir. Pembangkit listrik tenaga nuklir menghasilkan tenaga dengan reaksi berantai di mana fisi nuklir melepaskan neutron yang menyebabkan atom lain mengalami fisi. Meskipun demikian, RTG memiliki potensi kontaminasi radioaktif, jika wadah yang menahan bahan bakar mengalami kebocoran maka zat radioaktif akan mencemari lingkungan. Untuk meminimalkan terjadinya resiko zat radioaktif lepas ke lingkungan, bahan bakar di simpan dalam unit modular terpisah dan dilengkapi dengan perisai radiasi [8].

Perkembangan dari baterai nuklir sangatlah beragam. Berdasarkan pengalaman dari penggunaan RTG, terdapat beberapa hal yang menyebabkan RTG kurang sesuai yaitu efisiensi yang kecil dan ukuran yang besar. Tujuan yang ingin dicapai dalam pengembangan baterai nuklir sendiri diantaranya adalah peningkatan efisiensi dan ukuran yang lebih kecil pada proses perancangan. Kriteria dari teknologi baterai nuklir ditentukan oleh radioisotop yang digunakan, jenis radiasi, dan transduser konversi energi. Kerapatan energi berbanding terbalik

dengan waktu paruh isotop, semakin pendek umur paruh, semakin tinggi rapat dayanya. Prinsip dasar ini akan menentukan dua sifat yang diinginkan dari baterai nuklir yaitu umur simpan yang panjang dan rapat daya tinggi [9].

Pemilihan radioisotop yang digunakan dalam baterai nuklir dengan mempertimbangkan diantaranya [9] [10]:

- a. sumber radioisotop yang digunakan seperti berasal dari alam, produksi fisi, atau akselerator;
- b. jenis radiasi yang dipancarkan oleh radioisotop serta ada atau tidak adanya radiasi lain yang dipancarkan oleh radioisotop;
- c. waktu paruh dari radioisotop yang menentukan aktivitas sumber dan masa pakai baterai nuklir; dan
- d. energi peluruhan radiasi yang menentukan aktivitas dan rapat daya.

Prinsip dalam baterai nuklir dalam mengubah energi dari peluruhan radioaktif menjadi energi listrik dilakukan dengan menggunakan teknik konversi tertentu. Teknik konversi dapat dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu thermal dan non-thermal. Konverter termal merupakan salah satu jenis teknik konversi dimana daya yang dikeluarkan merupakan fungsi dari perbedaan suhu. Konversi termal memiliki keluaran energi yang secara langsung bergantung pada perbedaan suhu komponen tertentu yang merupakan mekanisme transfer energi. Sedangkan, konverter non-termal menggunakan mekanisme daya yang keluaran bukan merupakan fungsi dari perbedaan suhu. Konverter non-termal mengekstrak energi pada saat terjadi peluruhan radioaktif dan tidak bergantung pada perbedaan suhu seperti konverter thermal [11][12][13]. Berikut merupakan contoh beberapa jenis konverter thermal dan konverter non thermal yaitu:

- a. Konverter Thermal yaitu:
 1. *Thermionic Converters*;
 2. *Radioisotope Thermoelectric Generator (RTG)*;
 3. *Thermophotovoltaic Cells*;
 4. *Alkali-Metal Thermal to Electric Converter (AMTEC)*; dan
 5. *Advanced Stirling Radioisotope Generator (ASRG)*.
- b. Konverter Non-Thermal yaitu:
 - *Direct Charging Generators*;
 - *Optoelectric*;
 - *Alphavoltaics*; dan
 - *Betavoltaic*.

Beberapa jenis teknik konversi telah dilakukan penelitian dan pengembangan untuk

mendapatkan berbagai macam variasi baterai nuklir sesuai dengan tujuan yang akan dicapai salah satunya adalah peningkatan efisiensi baterai nuklir. Hasil penelitian dan pengembangan dapat dilihat dengan adanya beberapa paten terkait dengan baterai nuklir. Sebagai contoh adalah paten dengan nomor 3706893 (*US Patent 3706893*) dan paten dengan nomor 7867639 B2 (*US Patent 7867639 B2*).

Paten dengan nomor 3706893 (*US Patent 3706893*) yang berjudul “baterai nuklir”, secara garis besar menggunakan semikonduktor sambungan P-N (*P-N Junction*) dan menggunakan jenis konverter non-thermal *betavoltaic*. Paten nomor 3706893 menjelaskan bahwa baterai nuklir yang terdiri dari satu atau lebih, dimana masing-masing terdiri dari elemen bahan bakar atau sumber radioaktif dan elemen semikonduktor yang ditempatkan bersebelahan dengan sumber radiasi. Sumber radioaktif yang digunakan adalah logam promethium-147 atau oksida, prometia, dan elemen semikonduktor termasuk elemen semikonduktor N⁺/P atau N⁺/P/P⁺. Wafer semikonduktor memiliki ambang batas yang kompatibel dengan energi maksimum radiasi yang dipancarkan oleh sumber radioaktif, untuk menyediakan sel yang berumur panjang dari output daya optimal [14].

Paten dengan nomor 7867639 B2 (*US Patent 7867639 B2*) yang berjudul “baterai *alphavoltaic* dan metodenya“, secara garis besar menggunakan semikonduktor sambungan P-N (*P-N Junction*) dan menggunakan jenis konverter non-thermal *alphavoltaic*. Paten nomor 7867639 B2 menjelaskan bahwa paling sedikit terdiri dari satu lapisan bahan semikonduktor yang terdiri sekurangnya 1 (satu) sambungan P-N, menempatkan sekurangnya 1 (satu) lapisan penyerap dan konversi pada lapisan semikonduktor, dan menyediakan paling sedikit 1 (satu) pemancar alpha. Lapisan penyerap dan konversi mencegah sebagian partikel alpha yang dipancarkan oleh pemancar alpha dari kerusakan sambungan P-N bahan semikonduktor. Lapisan penyerap dan konversi juga mengubah sebagian energi dari partikel alpha menjadi pasangan lubang-elektron untuk dikumpulkan oleh sambungan P-N pada bahan semikonduktor [15].

b. Identifikasi peraturan ketenaganukliran

Pemanfaatan adalah kegiatan yang berkaitan dengan tenaga nuklir yang meliputi penelitian, pengembangan, penambangan, pembuatan, produksi, pengangkutan, penyimpanan, pengalihan, ekspor, impor, penggunaan, dekomisioning, dan pengolahan limbah radioaktif untuk meningkatkan kesejahteraan

rakyat. Pemanfaatan nuklir dilaksanakan dengan memperhatikan aspek keselamatan dan keamanan dalam rangka untuk melindungi pekerja, masyarakat, dan lingkungan hidup [1]. Oleh karena itu, setiap orang atau badan yang akan memanfaatkan tenaga nuklir wajib memiliki izin pemanfaatan tenaga nuklir dan memenuhi persyaratan keselamatan radiasi [2]. Ketentuan tentang izin diatur dalam PP Nomor 29 Tahun 2008 dan ketentuan terkait dengan persyaratan keselamatan radiasi diatur dalam PP Nomor 33 Tahun 2007.

Dalam melakukan pemanfaatan tenaga nuklir, persyaratan keselamatan radiasi harus terpenuhi. Keselamatan radiasi adalah tindakan yang dilakukan untuk melindungi pekerja, anggota masyarakat, dan lingkungan hidup dari bahaya radiasi. Sehingga setiap orang atau badan harus memenuhi ketentuan persyaratan keselamatan radiasi yang terdiri dari persyaratan manajemen, persyaratan proteksi radiasi, persyaratan teknik, dan verifikasi keselamatan [2].

PP Nomor 29 Tahun 2008 mengelompokkan pemanfaatan menjadi 3 (tiga) kelompok yaitu: kelompok A, kelompok B, dan Kelompok C. Pengelompokan didasarkan pada resiko yang terkait dengan keselamatan radiasi dan keamanan sumber radioaktif dan bahan nuklir dengan mempertimbangkan potensi bahaya radiasi, tingkat kerumitan fasilitas, jumlah dan kompetensi personil yang bekerja, potensi dampak kecelakaan radiasi dan potensi ancaman terhadap sumber radioaktif [3].

Berdasarkan dari 3 kelompok pemanfaatan sebagaimana tercantum dalam PP Nomor 29 Tahun 2008 tersebut, untuk saat ini kegiatan terkait dengan pemanfaatan baterai nuklir memang tidak terlingkupi di dalam salah satu kelompok pemanfaatan baik kelompok A, kelompok B atau kelompok C. Dengan tidak terlingkupinya kegiatan pemanfaatan baterai nuklir, bukan berarti menjadi terlepas dari pengawasan terhadap pemanfaatan tenaga nuklir. Sesuai dengan amanah dalam UU Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, bahwa badan pengawas bertugas untuk melaksanakan pengawasan terhadap segala kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir melalui peraturan, perizinan, dan inspeksi [1].

Penggunaan baterai nuklir saat ini memang masih terus dalam tahap pengembangan. Akan tetapi, bukan tidak mungkin dimasa yang akan datang baterai nuklir dapat menjadi barang yang dapat dipakai oleh masyarakat secara bebas. Hal ini dilatarbelakangi oleh tujuan yang ingin dicapai dalam pengembangan baterai nuklir sendiri diantaranya peningkatan efisiensi dan ukuran yang lebih kecil pada proses perancangannya.

Barang konsumen adalah setiap peralatan atau barang yang mengandung zat radioaktif yang

sengaja dimasukkan atau sebagai hasil aktivasi, atau peralatan atau barang yang menghasilkan radiasi pengion, dan penggunaannya di masyarakat tidak memerlukan pengawasan [16][17][18]. Kewajiban untuk memiliki izin berlaku untuk orang atau badan yang akan melakukan kegiatan:

- a. impor, ekspor, dan/ atau pengalihan barang konsumen [17]; atau
- b. produksi barang konsumen [18].

Sedangkan pengguna atau konsumen akhir barang konsumen yang mengandung zat radioaktif tidak diberlakukan kewajiban untuk memiliki izin [3].

Peraturan Kepala BAPETEN yang mengatur mengenai produk barang konsumen, juga tidak terdapat ketentuan terkait dengan baterai nuklir. Di dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 5 Tahun 2016, produksi barang konsumen meliputi produksi [18]:

- a. detektor asap;
- b. peralatan yang mengandung gas tritium;
- c. jam berpendar;
- d. starter lampu flourosensi;
- e. lampu yang mengandung zat radioaktif;
- f. peralatan anti-statis (*anti-static devices*) yang mengandung Polonium; dan
- g. batu mulia (*gemstone*) teriradiasi.

Sedangkan di dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 17 Tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi dalam Kegiatan Impor, Ekspor, dan Pengalihan Barang Konsumen, pengaturan jenis barang konsumen yang masuk dalam lingkup impor, ekspor, dan pengalihan adalah [17]:

- a. detektor asap;
- b. barang-barang yang berlapis zat radioaktif;
- c. barang-barang yang mengandung sumber cahaya gas tritium (*Gaseous tritium light sources/GTLS*);
- d. peralatan elektronik memanfaatkan zat radioaktif;
- e. barang-barang berlapis uranium atau thorium; dan
- f. peralatan anti-statis (*anti-static devices*) mengandung Polonium.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tinjauan pengaturan dalam pengawasan pemanfaatan baterai nuklir mungkin perlu dipertimbangkan dalam isu pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir. Baterai nuklir memang masih dalam tahap pengembangan dan ketentuan terkait pengawasannya masih belum ada, akan tetapi seiring dengan berlangsungnya proses amandemen PP Nomor 29 Tahun 2008,

menurut opini dari penulis terdapat beberapa pertimbangan yang digunakan untuk mengidentifikasi persyaratan-persyaratan sebagai pengaturan yang mungkin diperlukan dalam mengawasi perkembangan pemanfaatan baterai nuklir, diantaranya adalah:

a. Pengelompokan Pemanfaatan

Pengelompokan pemanfaatan perlu disesuaikan dengan perkembangan dan implementasi dari pelaksanaan PP Nomor 29 Tahun 2008. Sesuai dengan rekomendasi standar internasional, terkait dengan perizinan dapat dibedakan menjadi 2 yaitu notifikasi dan otorisasi (registrasi dan izin) [19][20]. Hanya saja penggunaan istilah notifikasi dan otorisasi tidak ditemukan dalam sistem pengaturan yang ada saat ini, dikarenakan nomenklatur yang digunakan dalam UU Nomor 10 Tahun 1997 hanya mengenal 1 (satu) nomenklatur yaitu izin[1].

Perlu dilakukan peninjauan terhadap pengelompokan pemanfaatan sebagai salah satu pertimbangan dalam menentukan baterai nuklir masuk ke dalam kelompok pemanfaatan tertentu. Dalam melakukan peninjauan kembali harus mempertimbangkan beberapa hal diantaranya adalah [21]:

1. tingkat resiko yang terkait dengan kegiatan pemanfaatan dan sumber radioaktif yang digunakan;
2. tingkat kerumitan dan kompleksitas peralatan dan fasilitas atau instalasi dalam kegiatan pemanfaatan dan sumber radioaktif yang digukan;
3. besarnya tenaga kerja langsung atau tidak langsung berhubungan dengan paparan kerja; dan
4. potensi dampak sebagai konsekuensi dari kecelakaan radiasi dan potensi terhadap sumber radioaktif yang digunakan.

Di dalam ketentuan pengaturan PP No. 29 Tahun 2008, kegiatan pemanfaatan yang terbagi dalam 3 (tiga) kelompok pemanfaatan sudah tertuliskan sangat detail. Peninjauan kembali obyek kegiatan pemanfaatan tersebut untuk memastikan bahwa kegiatan pemanfaatan tersebut sesuai dengan penempatan kelompok pemanfaatannya. Tinjauan terhadap pengelompokan pemanfaatan bisa dilakukan dengan melihat kendala atau kelemahan dalam proses implementasi pelaksanaan PP No. 29 Tahun 2008. Beberapa hal yang dimungkinkan terkait dengan tersebut tersebut akan menghasilkan:

1. Pengelompokan pemanfaatan masih sesuai dan dapat dipertimbangkan tetap menjadi 3 (tiga) kelompok besar serta sesuai dengan kondisi

saat ini dan yang dimungkinkan dimasa yang akan datang; dan/atau

2. Pengelompokan pemanfaatan perlu di reposisi dan disesuaikan dengan kondisi saat ini dan yang dimungkinkan dimasa yang akan datang.

Sebagaimana yang ditelah diketahui bersama bahwa ketentuan pengaturan PP No. 29 Tahun 2008 resiko terkait dengan keselamatan radiasi dan keamanan sumber radioaktif. Berdasarkan rekomendasi IAEA dalam RS-G-1.5 terkait dengan kategorisasi sumber radioaktif dijelaskan bagaimana cara menentukan kategori dari suatu sumber radioaktif. Penentuan kategori sumber radioaktif didasarkan pada perhitungan rasio A/D. A adalah aktivitas sumber, sedangkan nilai D adalah nilai yang menggambarkan tingkat bahaya dari suatu sumber radioaktif. Salah satu contoh dari sumber radioaktif yang dijelaskan dalam rekomendasi IAEA RS-G-1.9 adalah RTG. RTG masuk ke dalam kategori 1 sumber radioaktif [16][22]. Kategorisasi sumber radioaktif didasarkan pada nilai A/D sebagaimana ditampilkan di dalam tabel 1. Pendekatan terhadap kategori sumber radioaktifnya merupakan salah satu cara dalam melakukan pendekatan terhadap pengelompokan pemanfaatan terutama dalam hal ini adalah pengawasan terhadap muncul dan berkembangnya berbagai macam jenis baterai nuklir.

Tabel 1. Hubungan antara Kategori Sumber Radioaktif dengan nilai A/D [22]

Kategori Sumber Radioaktif	Rasio A/D
1	$A/D \geq 1000$
2	$1000 > A/D \geq 10$
3	$10 > A/D \geq 1$
4	$1 > A/D \geq 0,01$
5	$0,01 > A/D$ dan $A >$ tingkat pengecualian

b. Dokumen Kajian Justifikasi

Di dalam ketentuan pengaturan dalam PP No. 29 Tahun 2008 juga tidak memberikan informasi dan mekanisme jika terdapat pemohon ingin mengajukan kegiatan di luar pengelompokan pemanfaatan. Sehingga untuk memenuhi asas kepastian hukum, selain dengan menggunakan opsi meninjau kembali aspek pengelompokan pemanfaatan, maka perlu

menetapkan opsi lainnya. Opsi yang diusulkan juga harus sejalan dengan proses amendemen PP Nomor 29 Tahun 2008 yang masih berlangsung saat ini.

Opsi yang bisa ditawarkan misalnya terdapat kegiatan pemanfaatan di luar dari kelompok pemanfaatan, maka pemohon dapat mengajukan permohonan izin pemanfaatan tenaga nuklir dengan memenuhi ketentuan tertentu. Ketentuan tertentu tersebut dapat berupa dokumen kajian justifikasi baterai nuklir yang menyatakan bahwa kegiatan pemanfaatan baterai nuklir memenuhi ketentuan proteksi dan keselamatan radiasi. Dokumen kajian justifikasi dapat dianalogikan seperti yang ada di Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 5 Tahun 2016 tentang Keselamatan Radiasi dalam Produksi Barang Konsumen. Di dalam pengaturan produksi barang konsumen, apabila pemohon ingin memproduksi barang konsumen di luar dari jenis barang konsumen yang telah terjustifikasi dalam lingkup peraturan, maka pemohon harus mengajukan permohonan dan menyampaikan dokumen kajian justifikasi produksi barang konsumen.

Dokumen kajian justifikasi yang dianalogikan seperti pada produksi barang konsumen inilah yang dapat digunakan sebagai opsi misalnya terdapat kegiatan pemanfaatan di luar dari kelompok pemanfaatan. Dokumen kajian justifikasi harus dibuat oleh pemohon dan disampaikan kepada Kepala BAPETEN. Kepala BAPETEN melakukan penilaian terhadap dokumen kajian justifikasi untuk menentukan permohonan yang tertuang dalam dokumen kajian justifikasi tersebut sudah memenuhi prinsip justifikasi atau belum memenuhi prinsip justifikasi.

Tujuan dari penggunaan baterai nuklir harus tertuang jelas dalam dokumen kajian justifikasi ini. Hal ini untuk mengetahui bahwa memang penggunaan baterai nuklir tetap memenuhi asas manfaat yang diperoleh lebih besar daripada resiko yang ditimbulkan. Dokumen kajian justifikasi dalam kegiatan pemanfaatan baterai nuklir dapat berisi diantaranya:

1. deskripsi baterai nuklir dan tujuan penggunaan zat radioaktif pada baterai nuklir tersebut;
2. justifikasi penggunaan zat radioaktif pada baterai nuklir dengan membuat perbandingan dengan baterai yang tidak menggunakan zat radioaktif;
3. pemilihan radioisotop yang digunakan pada baterai nuklir seperti aktivitas, konsentrasi aktivitas, bentuk fisika, bentuk kimia, waktu paruh, energi peluruhan radiasi, ada tidaknya

- radiasi yang dipancarkan oleh isotop, dan asal radioisotop (alam, produk fisi, atau akselerator);
4. kajian resiko yang menunjukkan bahwa dosis terhadap masyarakat dari penggunaan baterai nuklir, pembuangan, dan insiden-insiden yang dapat diperkirakan tidak akan melewati pembatas dosis yang telah ditetapkan;
 5. gambar konstruksi baterai nuklir;
 6. detail dan hasil uji prototipe baterai nuklir;
 7. prosedur penggunaan, pemasangan, dan perawatan baterai nuklir;
 8. informasi kemungkinan adanya konsekuensi dari kesalahan penggunaan, kerusakan, atau kegagalan; dan
 9. prosedur penyimpanan sementara dan pembuangan akhir baterai nuklir.

KESIMPULAN

Tinjauan pengaturan dalam pengawasan pemanfaatan baterai nuklir untuk mengetahui dan mengidentifikasi infrastruktur pengawasan dalam mengawasi kemungkinan muncul dan berkembangnya pemanfaatan tenaga nuklir berupa baterai nuklir. Hal yang mungkin terjadi adalah terdapat kegiatan pemanfaatan baru yang belum terlingkupi dalam 3 (tiga) kelompok pemanfaatan tersebut. Sehingga perlu dilakukan pendekatan tertentu agar suatu kegiatan pemanfaatan yang mungkin tidak masuk kedalam lingkup kelompok pemanfaatan PP Nomor 29 Tahun 2008 dapat tetap terawasi kegiatan pemanfaatannya. Pendekatan yang diambil harus sejalan dengan sedang berlangsungnya proses amandemen PP Nomor 29 Tahun 2008, pendekatan tersebut dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa hal diantaranya

1. peninjauan kembali pengelompokan pemanfaatan; dan Pendekatan dalam isu pengelompokan pemanfaatan harus mempertimbangkan potensi bahaya radiasi, tingkat kerumitan fasilitas, kompleksitas peralatan atau fasilitas, jumlah dan kompetensi personil yang bekerja, potensi dampak kecelakaan radiasi dan potensi terhadap sumber radioaktif yang digunakan.
2. perlunya ketentuan/ persyaratan tambahan melalui dokumen kajian justifikasi dalam hal terdapat pemanfaatan tenaga nuklir di luar pengelompokan pemanfaatan.

Dokumen kajian justifikasi yang berisikan diantaranya terkait deskripsi, tujuan

penggunaan, perbandingan baterai konvensional dan baterai nuklir, kajian dosis terhadap masyarakat, pengujian, prosedur penggunaan, prosedur pemasangan, prosedur perawatan, prosedur penyimpanan sementara, atau prosedur pembuangan akhir.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Republik Indonesia (1997) Undang-undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran. Setneg, Jakarta.
- [2] Republik Indonesia (2007) Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif. Setneg, Jakarta.
- [3] Republik Indonesia (2008) Peraturan Pemerintah Nomor 29 Tahun 2008 Tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion Dan Bahan Nuklir. Setneg, Jakarta.
- [4] "Kamus Besar Bahasa Indonesia." [Online]. Available: <http://kbbi.web.id/>.
- [5] Rumianto Manurung (2014) Analisis Daya Pada Baterai Dengan Metode Charge Dan Discharge. Universitas Sumatera Utara.
- [6] Arsandi Widitya (2007) Pengaruh Variasi Elektrolit Jembatan Garam Terhadap Impedansi Sel Galvanik Cu/Zn. Institut Teknologi Bandung.
- [7] L. W. Atissalam (2004) Gama Powerbatik: Inovasi Power Bank Murah Berbasis Baterai Isi Ulang Ni-Mh (Nikel Metal Hidrida). Universitas Gajah Mada.
- [8] M. K. Sneve (2006) Remote Control. IAEA Buletin vol. 48/I:42-47.
- [9] Pratik Patil (2012) "A Seminar On Nuclear Battery". AITM, India.
- [10] M. A. Prelas, C. L. Weaver, M. L. Watermann, E. D. Lukosi, R. J. Schott, and D. A. Wisniewski (2014) A Review of Nuclear Batteries. Prog. Nucl. Energy vol. 75: 117-148.
- [11] J. Blanchard (2005) Radioisotope Batteries for MEMS.
- [12] F. N. Huffman, J. J. Migliore, W. J. Robinson, and J. C. Norman (1974) Radioisotope Powered Cardiac Pacemakers. IEEE Trans. Nucl. Sci. vol. 21:707-713.
- [13] R. Lao (2011) A Modular Design for Nuclear Battery Technology. pp. 1-21.
- [14] W. Olsen, Larry C. (Richland, WA), Seeman, Stephen E. (Kennewick, WA), Griffin, Bobby I. (Richland, WA), Ambrose, Charles J. (Richland) (1972) Nuclear Battery. US Patent 3706893.
- [15] U. Raffaele, Ryne P. (Honeoye Falls, NY), U. Jenkins, Phillip (Cleveland Heights, OH), U. Wilt, David (Bay Village, OH), U. Scheiman, David (Cleveland, OH), U. Chubb, Donald (Olmsted Falls, OH), and U. Castro,

Stephanie (Westlake, OH) (2011) Alpha Voltaic Batteries and Methods Thereof. US Patent 7867639 B2.

[16] IAEA (2014) Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards (GSR Part 3). IAEA, Vienna.

[17] Republik Indonesia (2013), Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 17 Tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi dalam Kegiatan Impor, Ekspor, dan Pengalihan Barang Konsumen. Setneg, Jakarta.

[18] Republik Indonesia (2016) Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 5 Tahun 2016 tentang Keselamatan Radiasi dalam Produksi Barang Konsumen. Setneg, Jakarta.

[19] IAEA (2004) Regulatory Control of radiation Sources (GS-G-1.5). IAEA, Vienna.

[20] IAEA (2007) Notification and Authorization for the Use of Radiation Sources (TECDOC-1525). IAEA, Vienna.

[21] IAEA (1999) Organization and Implementation of a National Regulatory Infrastructure Governing Protection Against Ionizing Radiation and the Safety of Radiation Sources (TECDOC-1067). IAEA, Vienna.

[22] IAEA (2005) Categorization of Radioactive Sources (RS-G-1.9). IAEA, Vienna.

NO	Nama penanya	Kode Makalah	Nama Penyaji	Pertanyaan dan Jawaban
1.	Satria P (BAPETEN)	OA09	Hermawan PY (BAPETEN)	<p>1. Apa keunggulan dan kelemahan baterai nuklir?</p> <p>2. Baterai nuklir didekati dengan regulasi barang konsumen, apakah baterai nuklir tidak memiliki resiko kepada masyarakat?</p> <p>3. Baterai nuklir vs PLTN, kenapa baterai nuklir masih jarang yang dikembangkan di Indonesia, sedangkan PLTN banyak yang ingin mengembangkan?</p> <p>Jawab:</p> <p>1. Keunggulan dari baterai nuklir diantaranya adalah masa pakai dari baterai yang lama dibandingkan dengan baterai konvensional. Kekurangannya adalah sampai saat ini masih dilakukan berbagai macam penelitian dan pengembangan terkait dengan baterai nuklir. Membutuhkan perisai radiasi/ shielding yang cukup untuk menahan aktivitas tertentu.</p> <p>2. Barang konsumen adalah setiap peralatan atau barang yang mengandung zat radioaktif yang sengaja dimasukkan atau sebagai hasil aktivasi, atau peralatan atau barang yang menghasilkan radiasi pengion, dan penggunaannya di masyarakat tidak memerlukan pengawasan. Penulis mencoba melakukan pendekatan dari segi barang konsumen, karena bukan tidak mungkin suatu saat bahwa baterai nuklir dapat digunakan secara bebas tanpa. Hanya saja memang ini masih sebatas asumsi dari untuk melakukan pendekatan bahwa saat ini regulasi yang dimiliki dan agak berdekatan dengan topik yang dibahas (baterai nuklir) adalah barang konsumen.</p> <p>3. Perkembangan baterai nuklir masih terus berlangsung saat ini dengan berbagai macam aspek yang diteliti termasuk aspek keselamatan.</p>

2.	M. Alfian (BAPETEN)	OA09	Hermawan PY (BAPETEN)	<p>1. Apakah reaksi baterai nuklir dihasilkan dari reaksi inti?</p> <p>2. Jika dianggap sebagai barang konsumen, apakah persyaratan dosis efektif 10 mikrosievert/tahun tercakup dalam dokumen justifikasi?</p> <p>Jawab:</p> <p>1. Prinsip dalam baterai nuklir dalam mengubah energi dari peluruhan radioaktif menjadi energi listrik dilakukan dengan menggunakan teknik konversi tertentu. Teknik konversi dapat dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu thermal dan non-thermal.</p> <p>Konverter Thermal yaitu:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Thermionic Converters;</i> • <i>Radioisotope Thermoelectric Generator (RTG);</i> • <i>Thermophotovoltaic Cells;</i> • <i>Alkali-Metal Thermal to Electric Converter (AMTEC);</i> dan • <i>Advanced Stirling Radioisotope Generator (ASRG).</i> <p>Konverter Non-Thermal yaitu:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Direct Charging Generators;</i> • <i>Optoelectric;</i> • <i>Alphavoltaics;</i> dan • <i>Betavoltaic.</i> <p>2. Barang konsumen adalah setiap peralatan atau barang yang mengandung zat radioaktif yang sengaja dimasukkan atau sebagai hasil aktivasi, atau peralatan atau barang yang menghasilkan radiasi pengion, dan penggunaannya di masyarakat tidak memerlukan pengawasan. Penulis mencoba melakukan pendekatan dari segi barang konsumen, karena bukan tidak mungkin suatu saat bahwa baterai nuklir dapat digunakan secara bebas tanpa pengawasan. Hanya saja memang ini masih sebatas asumsi dari untuk melakukan pendekatan bahwa saat ini regulasi yang dimiliki dan agak berdekatan dengan topik yang dibahas (baterai nuklir) adalah barang konsumen. Dalam dokumen justifikasi memang harus memperhitungkan dosis yang akan diterima.</p>
----	------------------------	------	--------------------------	--

OA10

VERIFIKASI PAPARAN RADIASI TERHADAP DESAIN PERISAI RADIASI GAMMA KNIFE RADIOSURGERY

Mukhlisin

Direktorat Perizinan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif, Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jakarta
e-mail: r.mukhlisin@bapeten.go.id

ABSTRAK

VERIFIKASI PAPARAN RADIASI TERHADAP DESAIN PERISAI RADIASI GAMMA KNIFE RADIOSURGERY. Gamma Knife merupakan modalitas pengobatan *radiosurgery* untuk mendestruksi tumor di dalam otak tanpa harus melakukan tindakan pembedahan. Gamma Knife menghadirkan tantangan baru terhadap proteksi radiasi terutama desain perisai radiasi, hal ini terkait karakteristik sumber radiasi yang sangat *anisotropic* sehingga evaluasi terhadap perisai radiasi Gamma Knife bersifat cukup rumit dan unik. Bunker Gamma Knife harus didesain dan dibangun mengikuti ketentuan proteksi radiasi serta perlu dilakukan verifikasi pengukuran paparan radiasi di sekitar bunker untuk memastikan kecukupan pemenuhan persyaratan perisai radiasi. Makalah ini membahas verifikasi pengukuran paparan radiasi di sekitar ruang bunker Gamma Knife dikaitkan dengan hasil evaluasi perhitungan perisai radiasi bunker yang telah dilakukan oleh Evaluator BAPETEN. Verifikasi pengukuran paparan radiasi dilakukan terhadap Gamma Knife Perfexion™ dengan jumlah sumber radiasi Cobalt 60 sebanyak 192, aktivitas sumber pada saat pengukuran sebesar 5.092 Currie (Ci), ukuran kolimator maksimal 16 mm, jarak pengukuran setiap titik 30 cm dari dinding terluar bunker, dan pengukuran dilakukan dengan 4 mode penyinaran yaitu kondisi 1 (*idle-K_L*) tanpa fantom, kondisi 2 (*couch out-K_o*) tanpa fantom, kondisi 3 atau kondisi operasional penyinaran (*couch in-K_{in}*) tanpa fantom, dan kondisi 3 (*couch in-K_{in}*) dengan fantom. Hasil verifikasi paparan radiasi mode penyinaran kondisi 1 (*idle-K_L*), kondisi 2 (*couch out-K_o*), dan kondisi 3 (*couch in-K_{in}*) tanpa fantom menunjukkan bahwa nilai laju paparan terbesar adalah pada daerah pintu sebesar $0,116 \pm 0,04 \mu\text{Sv/jam}$. Adapun untuk mode penyinaran kondisi 3 (*couch in-K_{in}*) dengan fantom diperoleh hasil bahwa nilai laju paparan terbesar berada pada daerah pintu dan bangunan *existing* yaitu masing-masing sebesar $0,153 \pm 0,040 \mu\text{Sv/jam}$ dan $0,151 \pm 0,01 \mu\text{Sv/jam}$. Nilai deviasi antara hasil kalkulasi dan hasil verifikasi paparan radiasi terhadap desain perisai radiasi tidak signifikan yaitu berkisar antara $0,03 - 0,99 \mu\text{Sv/jam}$, hal ini terjadi karena pada saat evaluasi perhitungan perisai radiasi diasumsikan bahwa aktivitas sumber sebesar 6.500 Ci, sedangkan pada saat dilakukan pengukuran paparan radiasi aktivitas sumbernya sebesar 5.092 Ci. Hasil verifikasi menunjukkan bahwa terdapat kesesuaian antara hasil evaluasi perhitungan perisai radiasi dan hasil pengukuran paparan radiasi bunker dan bunker yang terbangun telah memenuhi persyaratan proteksi radiasi sebab nilai laju paparan di sekitar bunker berada di bawah *shielding design goal* dan nilai pembatas dosis (*dose constraint*).

Kata kunci: Gamma Knife Perfexion™, perisai radiasi, verifikasi paparan radiasi.

ABSTRACT

RADIATION SURVEY OF RADIATION SHIELDING DESIGN FOR GAMMA KNIFE RADIOSURGERY. Gamma Knife is radiosurgery treatment modality to destruct tumours in the brain without having surgery. Gamma Knife presents new challenges to radiation protection, especially the design of radiation shielding. It is related to the characteristics of the anisotropic radiation sources which caused the evaluation of Gamma Knife radiation shielding is quite complex and unique. The Gamma Knife bunker should be designed and built following the provisions of radiation protection, and it is necessary to verify the measurement of radiation exposure around bunker to ensure adequate compliance with radiation shielding requirements. This paper discusses the verification of radiation exposure measurements around Gamma Knife bunker room in relation with the evaluation result of bunker radiation shielding calculation done by BAPETEN Evaluator. Verification of radiation exposure measurements was performed on Gamma Knife Perfexion™ with a total of 192 Cobalt 60 radiation sources, source activity of 5.092 Ci at measurement time, maximum collimator size 16 mm, measurement distance of each point 30 cm from outer bunker wall. The measurement was performed with four modes of irradiation in which condition 1 (*idle-K_L*) without fantom, condition 2 (*couch out-K_o*) without fantom, condition 3 or operating exposure condition (*couch in-K_{in}*) without fantom, and condition 3 (*couch in-K_{in}*) with fantom. The verification results of radiation exposure modes of condition 1 (*idle-K_L*), condition 2 (*couch out-K_o*), and condition 3 (*couch in-K_{in}*) without fantom indicated that the largest exposure rate value was on the door area of $0.116 \pm 0.04 \mu\text{Sv/h}$. As for condition 3 (*couch in-K_{in}*) with fantom obtained that the highest rate of exposure was on the door and existing building area, which was $0.153 \pm 0.040 \mu\text{Sv/h}$ and $0.151 \pm 0.01 \mu\text{Sv/h}$ respectively. The deviation value between calculation and verification results of irradiation exposure on radiation shielding design is not significant, ranging from $0.03 - 0.99 \mu\text{Sv/h}$, this caused by radiation shield evaluation assumed the source activity was 6,500 Ci when actual measured radiation exposure of activity source was 5.092 Ci. Based on the verification result, it can be concluded that there is an agreement between evaluation result of radiation shield calculation and measurement result of bunker radiation

exposure and the built bunker has fulfilled the radiation protection requirement since the exposure rate value around bunker is below shielding design goal and dose constraint value.

Keywords: Gamma Knife RadiosurgeryTM, radiation shielding, radiation survey.

I. PENDAHULUAN

Gamma Knife merupakan salah satu modalitas pengobatan *radiosurgery* untuk mendestruksi tumor di dalam otak tanpa harus melakukan tindakan pembedahan. Pesawat Gamma Knife melakukan rekayasa radiasi gamma dengan menghasilkan pisau gamma berupa pisau bedah sinar gamma untuk merusak jaringan tumor yang mengakibatkan rusaknya sel tumor kemudian disusul dengan kematian sel tumor. Gamma Knife dipandang sebagai salah satu pengobatan terbaik tanpa efek samping untuk sejumlah kasus tumor di otak yang tidak mungkin diatasi dengan operasi. Disamping itu, Gamma Knife juga memberikan pilihan pengobatan untuk sejumlah kelainan di otak dengan risiko jauh lebih rendah dibandingkan dengan operasi. Oleh karena itu, teknologi pengobatan radiasi ini banyak digunakan di beberapa negara maju untuk mengobati beberapa tumor otak.^[1]

Gamma Knife memanfaatkan radiasi gamma yang berjumlah 192 berkas radiasi gamma yang akan meradiasi seluruh titik yang terdeteksi tumor dengan tujuan untuk merusak jaringan tumor tanpa menyebabkan kerusakan pada sel-sel sehat di sekitarnya. Penentuan area otak yang diperlukan untuk operasi Gamma Knife dilakukan melalui sejumlah pemeriksaan diagnostik, seperti *Magnetic Resonance Imaging (MRI)*, *CT-Scan* dan *Digital Substraction Angiography (DSA)*.

Modalitas Gamma Knife telah mengalami evolusi perkembangan teknologi dari model U, B, C, 4C sampai model terbaru yaitu *PerfexionTM*. Meskipun penampilan fisik desain eksternal setiap modelnya sangat berbeda akan tetapi desain internal profil dosisnya sedikit berbeda. Setiap unit Gamma Knife terdiri dari 6 (enam) komponen utama yaitu: sumber radiasi Cobalt 60, teknologi pemfokusan berkas radiasi, meja pemeriksaan (*couch*), sistem elektrik, panel kendali, dan *Treatment Planning System (TPS)*.^[2] Modifikasi distribusi dosis radiasi target dapat dicapai dengan menggunakan beberapa titik target (*isocenter*) dengan pengaturan ukuran kolimator yang berbeda, pembatasan berkas radiasi, atau sudut berkas radiasi yang berbeda. Akurasi pemberian dosis menggunakan Gamma Knife dihasilkan sekitar 0,25 milimeter, sedangkan akurasi mekanik kurang dari 0,3 mm.^[1]

Gamma Knife menghadirkan tantangan baru terhadap dunia proteksi radiasi yang berkaitan dengan pertimbangan desain perisai radiasi. Berdasarkan fakta bahwa perhitungan perisai radiasi Gamma Knife cukup rumit dan kompleks terkait karakteristik sumber radiasi yang sangat *anisotropic*. Evaluasi perisai radiasi untuk perangkat Gamma Knife ini bersifat unik, meskipun pabrikan memberikan data berupa kurva isodosis *Air Kerma Rate (AKR)* sebagai salah satu data AKR dalam

perhitungan perisai radiasi. Namun pihak pabrikan tidak melakukan perhitungan perisai radiasi untuk fasilitas Gamma Knife. Selain itu publikasi internasional NCRP No. 151 dan *Safety Reports Series IAEA No. 47* belum memuat perhitungan perisai radiasi Gamma Knife secara spesifik.^[2-4]

Permasalahan yang berhubungan dengan perisai radiasi Gamma Knife telah dilakukan investigasi dan dilaporkan oleh beberapa penulis, termasuk metode perhitungan perisai radiasinya.^[2-5] Saat ini modalitas *Leksell Gamma Knife PerfexionTM* (Elekta Instruments AB, Stockholm, Sweden) telah terpasang lebih dari 237 unit diseluruh dunia. Adapun di Indonesia telah terpasang 2 unit *Leksell Gamma Knife PerfexionTM*.

Penulis telah melakukan evaluasi dan analisis perhitungan perisai radiasi terhadap salah satu bunker Gamma Knife *PerfexionTM*. Setelah izin konstruksi bunker radioterapi Gamma Knife diterbitkan maka pesawat Gamma Knife dapat dipasang dalam bunker tersebut, selanjutnya BAPETEN akan melakukan verifikasi melalui survei paparan radiasi guna memastikan kecukupan perisai radiasi Gamma Knife yang terbangun dan mengevaluasi hasil perhitungan perisai radiasi sehingga dapat memastikan pemenuhan persyaratan proteksi radiasi sebelum izin operasi radioterapi Gamma Knife diberikan ke pemohon izin.

Makalah ini membahas verifikasi pengukuran paparan radiasi di sekitar bunker Gamma Knife dikaitkan dengan hasil evaluasi perhitungan perisai radiasi bunker Gamma Knife yang telah terbit izin konstruksinya, sehingga dapat diketahui kecukupan perisai radiasi Gamma Knife yang terbangun dalam memberikan proteksi radiasi terhadap pekerja radiasi dan anggota masyarakat.

Karya ini diharapkan dapat memberikan pedoman bagi pemohon izin, evaluator perizinan, dan inspektur BAPETEN mengenai pemenuhan persyaratan proteksi radiasi dalam desain bunker Gamma Knife ditinjau dari aspek perhitungan perisai radiasi dan verifikasi terhadap paparan radiasi bunker Gamma Knife.

II. METODOLOGI

II.1 Gamma Knife dan Aktivitas Sumber Radiasi

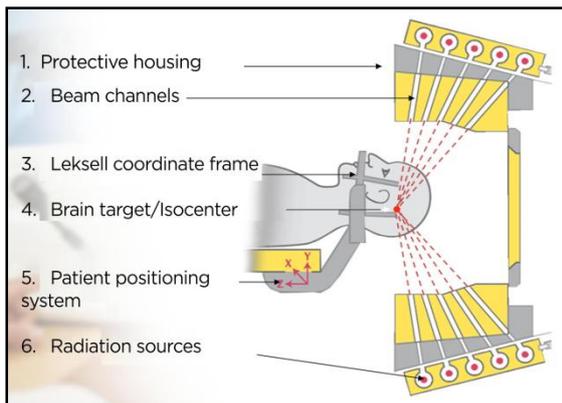
Modalitas Gamma Knife yang telah dilakukan evaluasi perhitungan perisai radiasinya yaitu Gamma Knife model *PerfexionTM* yang merupakan model terbaru dengan spesifikasi memiliki jumlah sumber Cobalt 60 sebanyak 192 dan menggunakan sistem kolimasi internal dengan *isocenter* ukuran 4 mm, 8 mm, dan 16 mm. Sumber radiasi Cobalt 60 sejumlah 192 terdistribusi merata dalam cangkang bulat (*spherical shell*) disekitar pusat unit Gamma

Knife dengan ketinggian di atas permukaan lantai 1 meter.

Dalam hal perhitungan perisai radiasi Gamma Knife aktivitas sumber Co-60 diasumsikan sebesar 6.500 Currie. Hal ini sesuai dengan rekomendasi dari negara asal Gamma Knife (*Registry of Radioactive Sealed Sources and Devices. Safety evaluation of device no. GA-269-D-102-S. March 26,2001*) bahwa aktivitas maksimum yang diizinkan sebesar 6.600 Currie.^[5]



Gambar 1. Unit Gamma Knife PerfexionTM[6]



Gambar 2. Komponen Gamma Knife PerfexionTM[6]

Seiring peristiwa peluruhan sumber radioaktif Cobalt 60 maka tingkat laju paparan radiasi di sekitar bunker Gamma Knife akan menurun. Unit dan komponen Gamma Knife Perfexion dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.^[6]

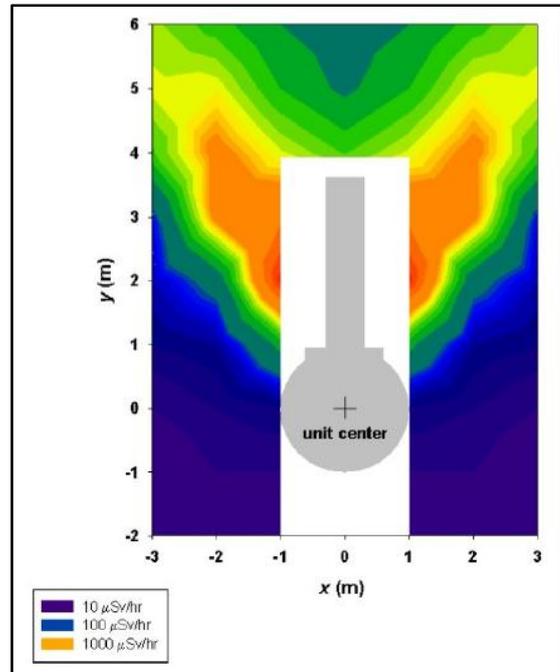
II.2 Perhitungan Kerma Udara (AKR)

Gamma Knife memiliki 3 (tiga) kondisi operasional: (i) **kondisi 1** yaitu jendela perisai radiasi tertutup, kondisi *idle* (K_L), (ii) **kondisi 2** yaitu jendela perisai radiasi terbuka saat meja pemeriksaan pasien bergerak masuk atau keluar (K_o), dan (iii) **kondisi 3** yaitu meja pemeriksaan dalam mode penyinaran pasien (K_{in}). Nilai AKR berada pada kondisi maksimum ketika jendela perisai radiasi dalam kondisi terbuka dan meja pemeriksaan keluar dari gantry Gamma Knife (K_o).

Nilai laju AKR ($\mu\text{Sv/jam}$) setiap grid spasi 1 meter pada kondisi 2 sekeliling unit Gamma Knife yaitu berada pada sumbu $y = -2$ m sampai $y = +6$ m, sumbu $x = -3$ m sampai $x = +3$ m, dan sumbu z

$= -1$ m sampai $z = +1,5$ m mengacu pada data hasil pengukuran yang diberikan oleh pabrikan Elekta Swedense seperti diilustrasikan dalam Gambar 3.^[5]

Dalam hal mencari nilai laju AKR untuk kondisi K_{in} menggunakan Persamaan (1). Nilai AKR K_{in} memegang peranan penting dalam perhitungan perisai radiasi Gamma Knife meskipun AKR K_{in} nilainya lebih kecil dibandingkan nilai AKR K_o .



Gambar 3. Diagram laju AKR ($\mu\text{Sv/jam}$) bidang horizontal ($z=0$) sekeliling unit Gamma Knife dalam kondisi K_o dengan aktivitas sumber 6.500 Ci.^[5]

$$K_{in} = K_o x f(\theta) \tag{1}$$

f merupakan faktor transmisi untuk meja pemeriksaan (*couch*) dan komponen yang melekat pada *couch*, sedangkan (θ) merupakan sudut antara sumbu axis y dan garis radial ke titik proteksi radiasi ($\text{Cos } \theta = \frac{y}{r}$, r merupakan jarak dari titik isocenter). Nilai $f(\theta)$ untuk setiap sudut dapat dilihat pada Tabel 1.

Saat jendela perisai radiasi tertutup dan unit dalam keadaan *idle*, satu-satunya radiasi yang keluar adalah radiasi bocor melalui perisai radiasi. Kondisi seperti ini dinotasikan dalam K_L ($\mu\text{Sv/jam}$). Nilai konservatif untuk K_L adalah $10 \mu\text{Sv/jam}$ dengan asumsi nilai kebocoran berada pada jarak $0,9 \text{ m} + 0,6 \text{ m} = 1,5 \text{ m}$ dari pusat unit Gamma Knife. Formulasi untuk mencari nilai K_L mengacu pada Persamaan (2).

Tabel 1. Nilai faktor f

θ (derajat)	f
0	0,83
5	0,80
10	0,74
15	0,68
20	0,61
30	0,46
40	0,37
45	0,35
50	0,34
55	0,34
60	0,37
70	0,47
75	0,50
70	0,50

$$K_L = 10 \left(\frac{1,5 m^2}{r^2} \right) \mu Sv/jam \quad (2)$$

r merupakan jarak (m) dari pusat isocenter ke titik proteksi radiasi.

II.3 Shielding Design Goal dan Beban Kerja

Shielding design goal (P) untuk pekerja radiasi (daerah pengendalian) menggunakan nilai 0,2 mSv/minggu dan untuk anggota masyarakat (daerah supervisi) menggunakan nilai 0,01 mSv/minggu. Nilai P tersebut mengacu pada NCRP 151 dan menerapkan 2 (dua) kali margin keselamatan.^[4] Bangunan fasilitas radioterapi harus didesain sesuai dengan persyaratan proteksi radiasi sehingga paparan radiasi yang diterima oleh pekerja radiasi dan anggota masyarakat memenuhi ketentuan pembatas dosis sebagaimana tertuang dalam Pasal 41 Peraturan Kepala BAPETEN No. 3 Tahun 2013.^[7] Faktor T (*Occupancy Factor*) ditentukan berdasarkan tingkat hunian suatu daerah yang akan diproteksi. Nilai T mengacu pada Tabel B.1 NCRP 151.^[4]

Beban kerja (*Workload*) mengikuti rekomendasi pabrikan Gamma Knife Elekta, meja pemeriksaan (*couch*) diasumsikan bergerak masuk (*in*) dan keluar (*out*) gantry rata-rata 4 (empat) kali untuk setiap penyinaran pasien. Setiap gerakan membutuhkan waktu 40 - 60 detik dan setiap penyinaran diasumsikan memakan waktu 30 menit. Output dosis pada pusat *polystyrene* diameter 16 cm kira-kira sebesar 3,5 Gy/menit untuk aktivitas sumber 6.500 Ci. Oleh karena itu, skenario dosis preskripsi yang digunakan dalam perhitungan perisai radiasi adalah 25 Gy.

Diasumsikan hanya 1 pasien yang dilakukan pengobatan selama 1 jam tertentu, jendela perisai radiasi akan terbuka dan meja pemeriksaan (*couch*) keluar gantry (kondisi 2) untuk periode maksimal $4 \times 2 = 8$ menit. Jika 4 pasien diasumsikan diberikan penyinaran setiap hari, 5 hari per minggu, maka jendela perisai radiasi akan terbuka dan meja pemeriksaan (*couch*) keluar gantry untuk total waktu 2,7 jam per minggu. Tingkat radiasi akan menurun

karena aktivitas sumbernya meluruh; namun, waktu untuk memindahkan meja pemeriksaan (*couch*) masuk dan keluar gantry tetap konstan, dan oleh karena itu kontribusi tingkat radiasi dari status operasional 2 akan menurun seiring waktu.

Berdasarkan asumsi bahwa 4 pasien dilakukan penyinaran setiap hari selama 30 menit per pasien, maka beban kerja untuk kondisi operasional 3 sebesar 10 jam per minggu. Ketika aktivitas sumber meluruh maka nilai AKR akan menurun; namun, waktu penyinaran akan meningkat secara proporsional, dan oleh karena itu kontribusi dosis mingguan pada operasional kondisi 3 akan tetap konstan seiring waktu. Nilai acuan beban kerja Gamma Knife tertera dalam Tabel 2.^[5]

Nilai laju dosis ekivalen mingguan dalam satuan $\mu Sv/minggu$ dihitung dengan menggunakan Persamaan (3).^[5]

$$K = 40K_L + 2,7K_o + 10K_{in} \quad (3)$$

Tabel 2. Beban kerja Gamma Knife^[5]

Kondisi Operasi	Beban Kerja (jam/minggu)
Kondisi 1 (<i>idle</i>)	40
Kondisi 2 (<i>couch out</i>)	2,7
Kondisi 3 (<i>couch in</i>)	10

Tabel 3. Nilai TVL dan HVL untuk Cobalt 60^[4]

	Beton (Concrete)	Baja (Steel)	Pb (Lead)
HVL (cm)	6,2	2,1	1,2
TVL (cm)	21	7	4

II.4 Perhitungan Perisai Radiasi Gamma Knife

Perhitungan perisai radiasi Gamma Knife didasarkan pada dokumen gambar desain bunker Gamma Knife yang telah diajukan oleh pemohon izin.^[8] Berdasarkan Pasal 5 huruf e Peraturan Kepala BAPETEN No. 3 Tahun 2013 bahwa gambar desain bunker Radioterapi adalah gambar dalam bentuk cetak biru skala paling kurang 1:50 (satu berbanding lima puluh) dengan 3 (tiga) penampang lintang (tampak depan, samping, dan atas), dan penggunaan ruang sekitarnya^[7] seperti ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.^[9]

Metode untuk melakukan perhitungan perisai radiasi menggunakan formulasi seperti tertera dalam Persamaan (4).^[3-5]

$$B = \frac{P}{KT} \quad (4)$$

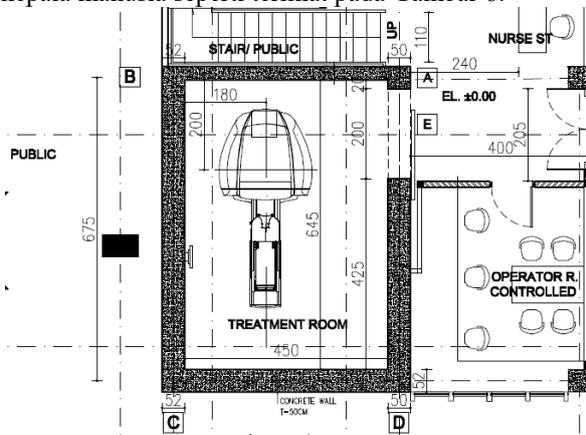
P merupakan tingkat radiasi yang diizinkan selama periode tertentu (*shielding design goal*), B adalah faktor transmisi perisai radiasi, K adalah Kerma udara pada titik proteksi radiasi, dan T merupakan faktor okupansi. Selanjutnya tebal perisai radiasi (t) dihitung menggunakan Persamaan (5).^[3-5]

$$t = -TVL \times \log(B) \tag{5}$$

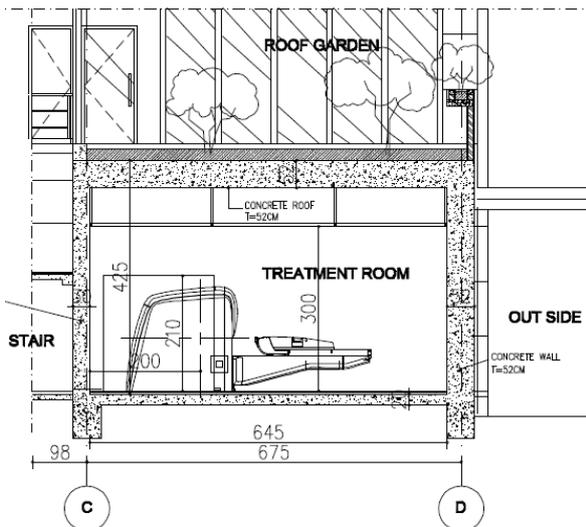
TVL adalah tebal sepersepuluh perisai radiasi untuk bahan perisai yang digunakan. Nilai TVL material beton, baja, dan Pb untuk sumber radiasi Co-60 tertera dalam Tabel 3.^[4]

II.5 Pengukuran Paparan Radiasi di Sekitar Bunker Gamma Knife

Pengukuran paparan radiasi terhadap bunker Gamma Knife dilakukan menggunakan surveymeter merk RadEye™ PRD ER nomor seri 30881 dan 30885 (ThermoScientific™) yang telah terkalibrasi oleh Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR) BATAN. Fantom kepala (Leksell Gamma Knife™) diletakkan di isocenter berkas utama sebagai media penghambur yang merepresentasikan kepala manusia seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 4. Blueprint bunker Gamma Knife (as built drawing) skala 1:50 penampang lintang tampak atas.^[9]

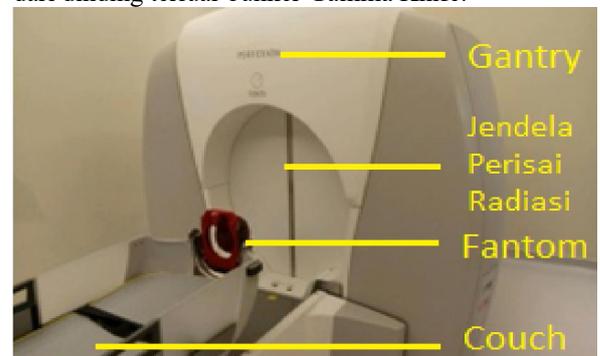


Gambar 5. Blueprint bunker Gamma Knife (as built drawing) skala 1:50 penampang lintang tampak samping.^[9]

Survei paparan radiasi diukur pada kondisi aktivitas sumber Cobalt 60 sebesar 5.799 Ci (per tanggal 1 April 2017; 192 sumber) dan ukuran

kolimator dibuka maksimal yaitu 16 mm. Pengukuran paparan radiasi dilakukan pada kondisi operasional Gamma Knife kondisi 1 (K_L) tanpa fantom, kondisi 2 (K_o) tanpa fantom, kondisi 3 (K_{in}) dengan fantom dan tanpa fantom.

Pengukuran paparan radiasi pada kondisi 1 (K_L), kondisi 2 (K_o), dan kondisi 3 (K_{in}) tanpa fantom dilakukan di ruang operator (titik D-E), tangga (titik A-B), dan pintu (titik A-E), sedangkan untuk pengukuran paparan radiasi pada kondisi 3 (K_{in}) dengan fantom dilakukan di ruang operator (titik D-E), tangga (titik A-B), pintu (titik A-E), taman (titik C-D), atap, lorong (ruang antara bunker – bangunan existing (B-C)), dan kantin. Pengukuran paparan radiasi diukur disetiap titik pengukuran dengan metode 3 (tiga) kali pengukuran di titik yang berdekatan, adapun jarak pengukuran adalah 30 cm dari dinding terluar bunker Gamma Knife.



Gambar 6. Setting Gamma Knife dan fantom pada saat pengukuran paparan radiasi.

Hasil pengukuran paparan radiasi (survei radiasi) yang diperoleh dari berbagai titik pengukuran dan beberapa kondisi penyinaran akan dilakukan perbandingan dengan hasil perhitungan akan dilakukan evaluasi desain bunker Gamma Knife, selanjutnya dilakukan evaluasi dan analisis mengenai bunker Gamma Knife sehingga dapat diambil kesimpulan mengenai kecukupan bunker Gamma Knife dalam pemenuhan persyaratan proteksi radiasi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Makalah ini mendiskusikan tentang hasil verifikasi pengukuran paparan radiasi di sekitar bunker Gamma Knife Perfexion™ untuk menguji perisai radiasi (shielding) Gamma Knife dalam pemenuhan persyaratan proteksi radiasi. Disamping itu, survei radiasi dilakukan untuk menguji kebenaran hasil kalkulasi evaluasi perisai radiasi yang telah dilaksanakan dalam rangka proses perizinan konstruksi bunker radioterapi Gamma Knife. BAPETEN sebagai Badan Pengawas Tenaga Nuklir di Indonesia, memiliki tugas untuk melakukan verifikasi terhadap permohonan izin operasi radioterapi sebelum izin operasi diterbitkan, salah satu parameter verifikasi adalah pengukuran paparan radiasi (survei radiasi) untuk memastikan kecukupan desain bunker Gamma Knife dalam pemenuhan

persyaratan proteksi radiasi bagi pekerja radiasi dan publik serta lingkungan.

Pesawat Gamma Knife Perfexion™ didesain memiliki penahan radiasi primer (*self Shielded*) dari sumber radiasi Cob-60 dan kolimator penyinaran didesain sedemikian rupa sehingga diharapkan saat penyinaran pasien tidak ada radiasi primer yang mengarah keluar gantry Gamma Knife. Dalam prakteknya terdapat 3 kondisi operasional yaitu kondisi (1) jendela perisai radiasi tertutup (*idle/beam Off*), suatu keadaan jendela gantry tertutup dan semua sumber Co-60 pada posisi terkunci di penahan radiasi, kondisi (2) jendela perisai radiasi terbuka dengan meja pemeriksaan (*couch*) bergerak masuk dan keluar gantry (*beam On*), suatu keadaan jendela perisai radiasi terbuka penuh dan *couch* bergerak keluar dan ke dalam gantry, dan kondisi (3) meja pemeriksaan dalam kondisi penyinaran pasien, suatu keadaan jendela perisai radiasi terbuka penuh, *couch* dalam posisi penyinaran dan posisi sumber Co-60 selaras dengan kolimator.

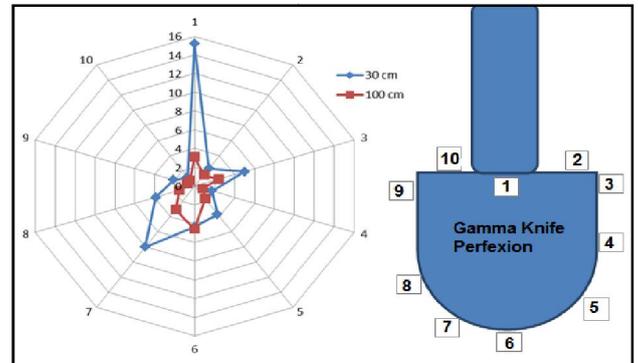
Pertimbangan dalam perhitungan perisai radiasi Gamma Knife melibatkan 3 (tiga) kondisi operasional yaitu (i) jendela perisai radiasi tertutup atau kondisi *idle* (K_L), (ii) jendela perisai radiasi terbuka saat meja pemeriksaan pasien bergerak masuk atau keluar gantry (K_o), dan (iii) meja pemeriksaan dalam mode penyinaran pasien (K_{in}). Nilai laju AKR untuk kondisi K_{in} memegang peranan penting dalam perhitungan perisai radiasimeskipun AKR K_{in} nilainya lebih kecil dibandingkan nilai AKR K_o .

Nilai AKR hasil pengukuran pada jarak 30 cm dan 1 m pada kondisi 1 (K_L) ditunjukkan dalam Tabel 4 dan Gambar 7. Hasil pengukuran AKR K_L menunjukkan bahwa nilai terbesar diperoleh pada daerah jendela perisai radiasi yaitu sebesar 15,2 $\mu\text{Sv/jam}$ (jarak 30 cm). Hal ini terjadi karena jendela perisai radiasi merupakan daerah yang dapat dibuka dan ditutup untuk keluar masuknya *couch*. Nilai AKR hasil pengukuran lebih rendah apabila dibandingkan dengan data nilai AKR dari pabrikan Elektayaitu sebesar 15,6 $\mu\text{Sv/jam}$ karena aktivitas sumber Co-60 yang digunakan adalah 6.500 Ci sedangkan aktivitas sumber pada saat dilakukan pengukuran adalah 5.092 Ci (per 28 Maret 2018).

Perhitungan perisai radiasi menggunakan asumsi jumlah pasien per hari 4 pasien, lama penyinaran setiap hari selama 30 menit per pasien sehingga nilai beban kerja untuk K_{in} sebesar 10 jam per minggu, K_o sebesar 2,7 jam per minggu dan K_L sebesar 40 jam per minggu. Beban kerja untuk *acceptance test* dan *commissioning test* tidak lebih besar dari yang diasumsikan untuk penyinaran terhadap 20 pasien per minggu. Adapun untuk kegiatan jaminan mutu (QC) mingguan diperkirakan memerlukan beban kerja yang setara dengan 1 pasien, atau sekitar 1/80 dari beban pasien bulanan, oleh karena itu beban kerjanya dapat diabaikan.

Tabel 4. Nilai AKR pada kondisi kondisi 1 (K_L)

Jarak (cm)	Laju Paparan ($\mu\text{Sv/jam}$)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
30	15,2	2,3	5,0	1,7	3,7	4,4	8,0	3,9	2,13	1,17
100	3,1	1,5	2,7	0,8	1,7	4,6	3,0	1,5	0,76	0,8

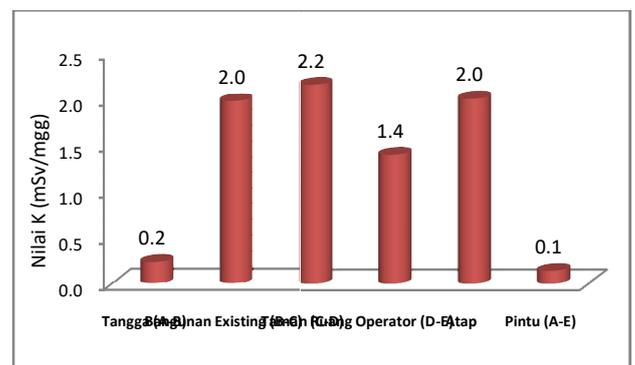


Gambar 7. Grafik nilai AKR pada kondisi 1 (K_L).

Nilai laju dosis ekivalen mingguan yang dihitung dengan menggunakan Persamaan (3) tertera dalam Tabel 5 dan Gambar 8. Selanjutnya, hasil perhitungan tebal perisai radiasi beton (*concrete*) dengan menggunakan Persamaan (5) dan Persamaan (5) dapat dilihat pada Tabel 6 dan Gambar 9.

Tabel 5. Nilai dosis ekivalen K (mSv/minggu)

Area	K_L	K_o	K_{in}	K
	$\mu\text{Sv/jam}$			(mSv/mgg)
Tangga (A-B)	4,3	5,0	2,5	0,2
Bangunan Existing (B-C)	4,3	122,0	74,4	2,0
Taman (C-D)	0,9	110,0	91,3	2,2
Ruang Operator (D-E)	2,2	75,0	55,5	1,4
Atap	2,1	110,0	81,4	2,0
Pintu (A-E)	2,2	4,0	2,0	0,1

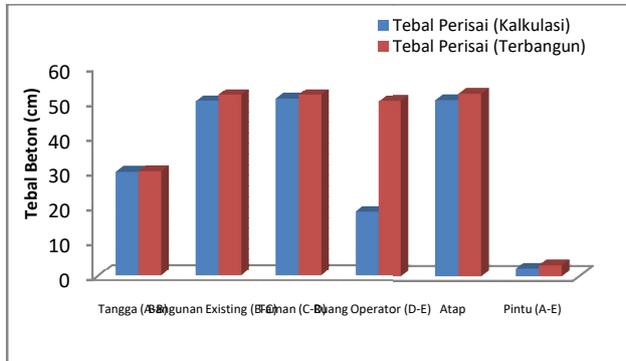


Gambar 8. Grafik nilai dosis ekivalen K (mSv/mgg)

Tabel 6. Tebal perisai radiasi bunker Gamma Knife

Area	P	r	Perhitungan Perisai (cm)	Perisai Terbangun (cm)
	(mSv/mgg)	(cm)		
Tangga	0,01	230	29,8	30
Bangunan Existing	0,01	230	50,1	52

Taman	0,01	495	50,9	52
Ruang Operator	0,2	320	18,4	50
Atap	0,01	325	50,2	52
Pintu (<i>Steel</i>)	0,2	320	2,14	3,15



Gambar 9. Grafik tebal perisai hasil perhitungan dan tebal perisai terbangun.

Grafik tebal perisai Gamma Knife menunjukkan bahwa tebal perisai antara hasil kalkulasi dan perisai radiasi yang terbangun pada daerah tangga, bangunan *existing*, taman, dan atap tebalnya hampir sama, akan tetapi untuk daerah ruang operator dan pintu tebal perisai yang terbangun lebih tebal dibandingkan dengan hasil kalkulasi, yaitu hasil perhitungan tebal perisai radiasi untuk ruang operator adalah 18,4 cm akan tetapi perisai radiasi yang terbangun adalah 50 cm. Demikian juga untuk pintu, tebal perisai radiasi dengan bahan baja (*steel*) hasil perhitungan adalah 2,14 cm akan tetapi yang terbangun tebalnya 3,15 cm.

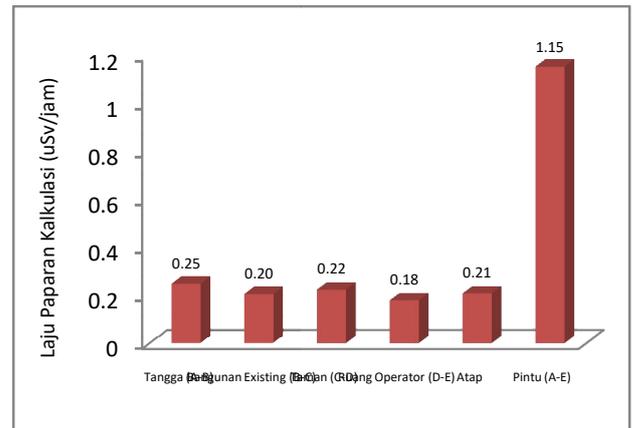
Hasil perhitungan laju paparan didasarkan pada perisai radiasi yang terbangun didapatkan nilai laju paparan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 7 dan Gambar 10. Grafik nilai laju paparan tersebut menunjukkan bahwa nilai laju paparan terkecil berada pada daerah ruang operator yaitu sebesar 0,177 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ dan nilai laju paparan terbesar berada pada daerah pintu yaitu sebesar 1,149 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$.

Hasil pengukuran paparan radiasi pada kondisi 1 (K_L), kondisi 2 (K_o), dan kondisi 3 (K_{in}) tanpa fantom yang dilakukan di ruang operator, tangga, dan pintu tertera dalam Tabel 8 dan Gambar 11. Adapun hasil pengukuran paparan radiasi pada kondisi 3 (K_{in}) dengan fantom di ruang operator, tangga, pintu, atap, lorong (ruang antara bunker – bangunan *existing* dan kantin tertera dalam Tabel 9 dan Gambar 12.

Tabel 7. Laju paparan radiasi hasil perhitungan berdasar tebal perisai terbangun

Area	Kalkulasi Laju Paparan ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)
Tangga (A-B)	0,245
Bangunan <i>Existing</i> (B-C)	0,204
Taman (C-D)	0,222
Ruang Operator (D-E)	0,177

Atap	0,206
Pintu (A-E)	1,149



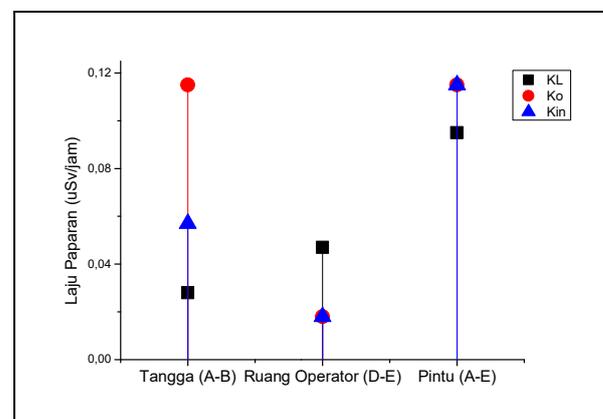
Gambar 10. Grafik nilai laju paparan hasil perhitungan berdasar tebal perisai terbangun

Tabel 8. Hasil pengukuran laju paparan radiasi kondisi 1 (K_L), kondisi 2 (K_o), dan kondisi 3 (K_{in}) tanpa fantom.

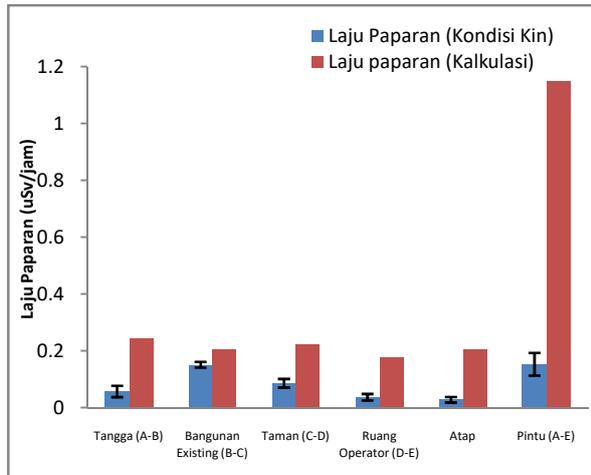
Area	K_L ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)	K_o ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)	K_{in} ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)
Tangga (A-B)	0,028 \pm 0,02	0,115 \pm 0,03	0,057 \pm 0,01
R. Operator (D-E)	0,047 \pm 0,03	0,018 \pm 0,03	0,018 \pm 0,04
Pintu (A-E)	0,095 \pm 0,02	0,116 \pm 0,04	0,115 \pm 0,04

Tabel 9. Hasil pengukuran laju paparan radiasi kondisi kondisi 3 (K_{in}) dengan fantom

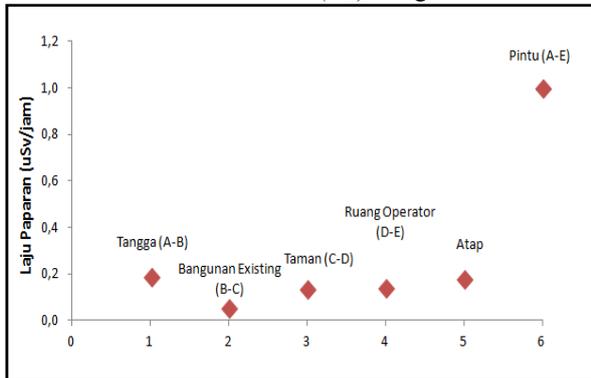
Area	Laju Paparan (Kondisi K_{in}) $\mu\text{Sv}/\text{jam}$	Laju paparan (Kalkulasi) $\mu\text{Sv}/\text{jam}$
Tangga (A-B)	0,057 \pm 0,02	0,245
Bangunan <i>Existing</i> (B-C)	0,151 \pm 0,01	0,204
Taman (C-D)	0,086 \pm 0,015	0,222
Ruang Operator (D-E)	0,037 \pm 0,012	0,177
Atap	0,028 \pm 0,010	0,206
Pintu (A-E)	0,153 \pm 0,040	1,149



Gambar 11. Grafik hasil pengukuran laju paparan radiasi kondisi 1 (K_L), kondisi 2 (K_o), dan kondisi 3 (K_{in}) tanpa fantom.



Gambar 12. Grafik Hasil pengukuran laju paparan radiasi kondisi kondisi 3 (K_{in}) dengan fantom



Gambar 13. Grafik nilai deviasi antara hasil kalkulasi dan hasil verifikasi paparan radiasi

Berdasarkan nilai laju paparan sebagaimana disebutkan dalam Tabel 8 dan Gambar 11 menunjukkan bahwa nilai AKR K_0 untuk daerah tangga, ruang operator, dan pintu masing-masing sebesar $0,115 \pm 0,03 \mu\text{Sv/jam}$, $0,018 \pm 0,03 \mu\text{Sv/jam}$, dan $0,116 \pm 0,04 \mu\text{Sv/jam}$, sedangkan nilai AKR K_{in} masing-masing adalah $0,057 \pm 0,01 \mu\text{Sv/jam}$, $0,018 \pm 0,04 \mu\text{Sv/jam}$, dan $0,115 \pm 0,04 \mu\text{Sv/jam}$. Hasil verifikasi paparan radiasi mode penyinaran kondisi 1 (*idle-K_L*), kondisi 2 (*couch out-K_o*), dan kondisi 3 (*couch in-K_{in}*) tanpa fantom menunjukkan bahwa nilai laju paparan terbesar adalah daerah pintu sebesar $0,116 \pm 0,04 \mu\text{Sv/jam}$. Nilai laju paparan radiasi kondisi 2 (*couch out-K_o*) paling besar dibandingkan dengan kondisi 3 (*couch in-K_{in}*) hal ini sesuai dengan teori bahwa nilai AKR K_{in} lebih kecil dibandingkan nilai AKR K_0 dengan formulasi $K_{in} = K_0 \cdot f(\theta)$.

Nilai laju paparan sebagaimana disebutkan dalam Tabel 9 dan Gambar 12 menunjukkan bahwa untuk mode penyinaran kondisi 3 (*couch in-K_{in}*) dengan fantom diperoleh hasil bahwa nilai laju paparan terbesar berada pada daerah pintu dan

bangunan *existing* yaitu masing-masing sebesar $0,153 \pm 0,040 \mu\text{Sv/jam}$ dan $0,151 \pm 0,01 \mu\text{Sv/jam}$, seperti terlihat pada Tabel 9 dan Gambar 12.

Nilai deviasi antara hasil kalkulasi dan hasil verifikasi paparan radiasi terhadap desain perisai radiasi tidak signifikan yaitu berkisar antara $0,03 - 0,99 \mu\text{Sv/jam}$ seperti ditunjukkan pada Gambar 13, hal ini terjadi karena pada saat evaluasi perhitungan perisai radiasi diasumsikan bahwa aktivitas sumber sebesar 6.500 Ci sedangkan pada saat dilakukan pengukuran aktivitas sumbernya sebesar 5.092 Currie. Dapat disimpulkan bahwa terdapat kesesuaian antara hasil evaluasi perhitungan perisai radiasi dan hasil verifikasi paparan radiasi bunker Gamma Knife telah memenuhi persyaratan proteksi radiasi yaitu nilai laju paparan di sekitar bunker berada di bawah *shielding design goal* yang telah ditetapkan oleh pemohon izin dan nilai pembatas dosis (*dose constraint*) yang telah ditetapkan oleh BAPETEN serta nilai *instantaneous dose rate* (IDR) yaitu $7,5 \mu\text{Sv/jam}$ untuk pekerja radiasi dan dibawah $7,5 \mu\text{Sv/jam}$ untuk anggota masyarakat.^[2]

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil verifikasi di fasilitas Gamma Knife *radiosurgery* dapat disimpulkan bahwa:

- Perhitungan perisai radiasi bunker Gamma Knife harus memperhatikan *as built drawing*, model Gamma Knife, aktivitas sumber radiasi Co-60, AKR (K_L , K_o , dan K_{in}), beban kerja, *shielding design goal*, dan jenis material yang digunakan.
- Nilai AKR K_{in} memegang peranan penting dalam perhitungan perisai radiasi meskipun AKR K_{in} nilainya lebih kecil dibandingkan nilai AKR K_0 ;
- Pengukuran paparan radiasi diukur pada kondisi ukuran kolimator terbuka maksimal dan dilakukan pada kondisi operasional Gamma Knife kondisi 1 (K_L) tanpa fantom, kondisi 2 (K_o) tanpa fantom, kondisi 3 (K_{in}) dengan fantom dan tanpa fantom;
- Hasil verifikasi menunjukkan bahwa terdapat kesesuaian antara hasil evaluasi perhitungan perisai radiasi dan hasil pengukuran paparan radiasi; dan
- Bunker Gamma Knife yang terbangun telah memenuhi persyaratan proteksi radiasi sebab nilai laju paparan di sekitar bunker berada di bawah *shielding design goal* dan *dose constraint* yang telah ditetapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Ganz, *Gamma knife neurosurgery*: Springer Science & Business Media, 2010.
- [2] IAEA, "Radiation Protection in the Design of Radiotherapy Facilities," *Safety Reports Series No. 47*, 2006.

- [3] P. H. McGinley, *Shielding techniques for radiation oncology facilities*: Medical Physics Madison, 2002.
- [4] NCRP, "Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X-and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities," *National Council on Radiation Protection and Measurements No. 151*, 2005.
- [5] P. N. McDermott, "Radiation shielding for gamma stereotactic radiosurgery units," *Journal of applied clinical medical physics*, vol. 8, pp. 147-157, 2007.
- [6] <https://www.elekta.com/radiosurgery/leksell-gamma-knife-perfection.html>.
- [7] BAPETEN, "Peraturan Kepala BAPETEN No. 3 Tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Radioterapi," *JDIH BAPETEN*, 2013.
- [8] G. K. R. C. RSCM, "Perhitungan Perisai Radiasi Gamma Knife," *Izin Konstruksi Radioterapi Gamma Knife*, 2016.
- [9] G. K. R. C. RSCM, "Blueprint Bunker Gamma Knife," *Izin Konstruksi Radioterapi Gamma Knife*, 2016.

OA11

KALIBRASI LUARAN BERKAS FOTON 6 MV TANPA *FLATTENING FILTER* DUA BUAH PESAWAT PEMERCEPAT LINIER VARIAN TRILOGY

Assef Firnando Firmansyah¹ dan Sri Inang Sunaryati²

^{1,2}Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – Badan Tenaga Nuklir Nasional
e-mail: firnando3154@gmail.com

ABSTRAK

KALIBRASI BERKAS FOTON 6 MV TANPA *FLATTENING FILTER* DUA BUAH PESAWAT PEMERCEPAT LINIER VARIAN TRILOGY. Makalah ini menguraikan penentuan laju dosis serap air berkas foton 6 MV tanpa *flattening filter* yang dipancarkan dari dua buah pesawat pemercepat linier medik Varian Trilogi. Pengukuran persentase dosis di kedalaman dilakukan di dalam Blue Phantom² (IBA Dosimetry GmbH) yang dilengkapi dengan perangkat lunak MyQC Accept, 2016-001 (8.0.4.0) untuk memindai berkas radiasi, sedangkan kalibrasi dilakukan menggunakan detektor ionisasi volume 0,6 cc tipe TW 30013 yang dihubungkan dengan elektrometer PTW Unidos Weblin tipe T 10022. Pengukuran kalibrasi dilakukan di dalam fantom 1 D Scanner padajarak sumber radiasi ke permukaan air 100 cm, lapangan radiasi 10 cm x 10 cm dengan kedalaman detektor 10 cm. Diuraikan juga kalibrasi berkas 6 MV menggunakan *flattening filter* sebagai perbandingan. Perhitungan hasil pengukuran dilakukan menggunakan protokol dosimetri IAEA yang terdapat dalam Technical Report Series No. 398 dan 483. Hasil yang diperoleh menunjukkan laju dosis serap berkas foton 6 MV FFF pada kedalaman 10 cm sebesar 2,14 kali lipat dan 2,67 kali lipat masing-masing Linac Trilogi no. seri 6258 dan Trilogi no. seri 6377 daripada berkas foton 6 MV FF. Hasil ini sangat dekat dari hasil studi yang dilakukan oleh Geoff Budgell yang mendapatkan nilai 2,3 kalinya. Laju dosis serap air mendapatkan nilai 200 cGy/200 MU \pm 2,0 %. Sebagai kesimpulan, kalibrasi mendapatkan hasil yang cukup baik.

Kata kunci: Varian Trilogi, tanpa *flattening filter*, TRS No. 398 dan TRS No. 483

ABSTRACT

OUTPUT CALIBRATION FOR 6 MV FLATTENING FILTER FREE BEAMS FROM TWO VARIAN TRILOGY LINEAR ACCELERATOR MACHINES. This paper deals with the determination of the absorbed dose to water for flattening filter free photon beams produced from two Varian Trilogi medical linear accelerator machines. Measurement of the percentage depth dose has been carried out inside the Blue Phantom² water tank (IBA Dosimetry GmbH) equipped with MYQA Accept software to scan the beam, while calibration measurement using a 0.6 cc ionization chamber type of TW 30013 connected to a PTW Unidos Weblin electrometer type of T 10022 inside a 1D Scanner water phantom at depth of 10 cm with the source to the surface distance of 100 cm and a field size of 10 cm x 10 cm. Calculation of the measurement was based on the International Atomic Energy Agency publication in the Technical Report Series No. 398 and 483. The result obtained show that the absorbed dose rates to water for 6 MV photon in 10 cm depth is 2.14 times and 2.67 times for Linac Trilogi 6258 and Trilogi 6377. There is so close if comparative between Geoff Budgell study about 2.3 times. Absorbed dose rates to water were 200 cGy /200 MU \pm 2.0 %. In conclusion, the calibration measurement showed good result and ready for the treatment of patients. The measurement result can also be used as reference values for quality control program of the machines.

Key words: Varian Trilogi, flattening filter free, TRS No. 398 and TRS No. 483.

PENDAHULUAN

Penggunaan berkas foton tanpa *flattening filter* yang dikenal dengan akronim **FFF** yang merupakan singkatan dari *flattening filter free* ini pertama kali diteliti oleh O' Brien dan kawan-kawan [1] pada pesawat pemercepat linier medik Therac-6. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan laju dosis yang tinggi untuk mengurangi waktu penyinaran khususnya pada teknik *Stereotactic Intracranial Surgery*.

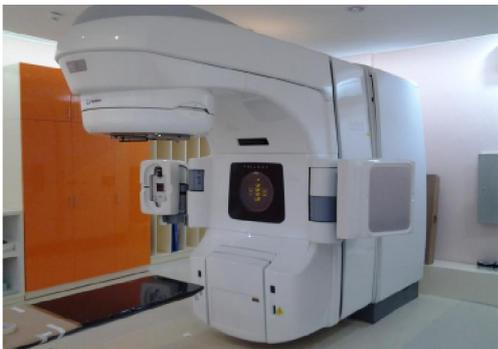
Beberapa penelitian mengenai karakteristik dosimetri berkas foton tanpa *flattening filter* terhadap berkas foton menggunakan *flattening filter* ini telah dilakukan [2,3]. Karakteristik dosimetri tersebut antara lain persentase dosis di kedalaman, profil, faktor keluaran, laju dosis dan lain-lain.

Salah satu bahasan dari beberapa referensi tersebut di atas adalah rasio laju dosis berkas foton FFF terhadap FF pada suatu kedalaman setelah dilakukan kalibrasi. Nilai rasio tersebut berbeda dari satu pesawat dengan pesawat yang lain bergantung pada merek dan model.

Saat ini pesawat pemercepat linier medik moderen dilengkapi juga dengan berkas foton tanpa *flattening filter*. Pesawat pemercepat linier medik Varian Trilogy dilengkapi dengan berkas foton 6 MV FFF, sementara itu Pesawat Elekta Versa HD dilengkapi dengan berkas foton 6 MV FFF dan 10 MV FFF.

Untuk menentukan laju dosis serap berkas foton tanpa *flattening filter* protokol dosimetri IAEA yang terdapat dalam Technical Report Serie no. 398 tidak dapat digunakan karena protokol tersebut hanya untuk berkas foton menggunakan *flattening filter* [4]. Pada akhir tahun 2017 IAEA memublikasi Technical Report Series No. 483 dengan judul: *Dosimetry of Small Static Fields Used in External Beam Radiotherapy, An International Code of Practice for Reference and Relative Dose Determination*. Salah satu aspek yang dibahas dalam publikasi ini adalah berkas foton **tanpa *flattening filter*** [5].

Makalah ini menguraikan penentuan laju dosis serap air berkas foton 6 MV dengan dan tanpa *flattening filter* yang dipancarkan dari dua buah pesawat pemercepat linier medik Varian Trilogy yang dilakukan di Rumah Sakit Umum Daerah Pasar Minggu dan Rumah Sakit Kanker Dharmas.



Gambar 1. Pesawat pemercepat linier medik Varian Trilogy

METODA

Penentuan Kualitas Radiasi Berkas Foton Dengan *Flattening Filter* (FF)

Penentuan kualitas radiasi berkas foton menggunakan *flattening filter* sudah banyak diuraikan oleh beberapa referensi dan masih digunakan untuk publikasi terakhir IAEA dalam Technical Report Series No. 483. Metoda ini didasarkan pada rasio dosis pada kedalaman 20 cm dan 10 cm. Selanjutnya dengan menggunakan suatu persamaan akan diperoleh kualitas radiasi berkas foton yang dinyatakan dalam $TPR_{20/10}$.

Penentuan Kualitas Radiasi Berkas Foton Tanpa *Flattening Filter*

Disamping menggunakan metoda yang diuraikan di atas, kualitas radiasi berkas foton tanpa *flattening filter* dapat juga diperoleh berdasarkan $\% dd(10,10) x$ yang ditentukan dengan menempatkan 1 mm Pb (timbangan) pada berkas radiasi untuk mengeliminasi kontaminasi elektron yang terjadi pada *head* pesawat. Hal ini direkomendasikan untuk semua energi berkas radiasi foton tanpa *flattening filter*.

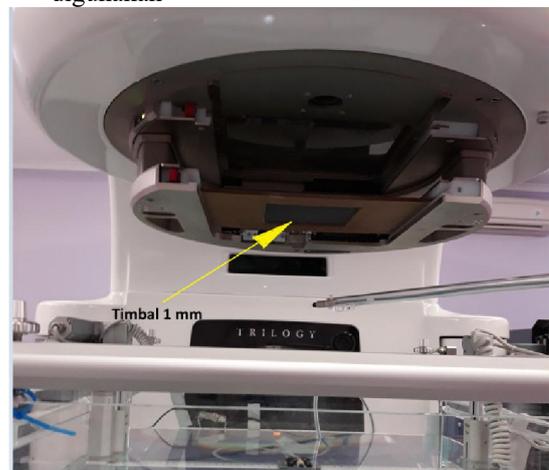
Penentuan Dosis Serap Air Berkas Foton Dengan *Flattening Filter*

Dosis serap air berkas foton menggunakan *flattening filter* dari sebuah pesawat pemercepat linier medik pada titik acuan pengukuran dapat ditentukan dengan persamaan berikut [9] :

$$D_{w,Q} = M_Q \times N_{D,w} \times k_Q \dots\dots\dots (1)$$

dengan :

- $D_{w,Q}$: dosis serap pada titik pengukuran acuan
- M_Q : bacaan dosimeter terkoreksi temperatur dan tekanan
- $N_{D,w}$: faktor kalibrasi dosimeter dalam besaran dosis serap dalam air
- k_Q : faktor koreksi kualitas radiasi dari detektor yang digunakan



Gambar 2. Penentuan kualitas radiasi berkas foton menggunakan 1 mm Pb yang diletakkan pada *head* pesawat linac

Penentuan Dosis Serap di Air Berkas Foton Tanpa *Flattening Filter* (FFF)

Dosis serap air berkas foton tanpa *flattening filter* dari sebuah pesawat pemercepat linier medik pada titik acuan pengukuran dapat ditentukan dengan persamaan berikut [9]:

$$D_{W,Q} = M_Q \times N_{D,W} \times k_{Q,msr}^{fmsr,fmsr} \dots\dots\dots (2)$$

dengan :

$D_{W,Q}$: dosis serap pada titik pengukuran acuan

M_Q : bacaan dosimeter terkoreksi temperatur dan tekanan

$N_{D,W}$: faktor kalibrasi dosimeter dalam besaran dosis serap dalam air

$k_{Q,msr}^{fmsr,fmsr}$: faktor koreksi kualitas radiasi dari detektor yang digunakan

PERALATAN

Sumber radiasi

Sebagai sumber radiasi digunakan dua buah pesawat pemercepat linier medik Varian Trilogy no. seri 6258 dan 6377 masing-masing milik Rumah Sakit Umum Daerah Pasar Minggu dan Rumah Sakit Kanker Dharmais. Pesawat ini dapat memancarkan berkas elektron dengan energi nominal 4, 6, 9, 12, 15, 18 MeV dan berkas elektron 6 MeV dengan laju dosis tinggi serta berkas foton 6 dan 10 MV menggunakan *flattening filter* (FF) dan 6 MV tanpa *flattening filter* (FFF).

Alat Ukur Radiasi

Sebagai alat ukur radiasi untuk pengukuran persentase dosis di kedalaman berkas foton digunakan detektor ionisasi volume 0,13 cc tipe CC 13 dan detektor semi konduktor *Razor*. Pengukuran dilakukan di dalam fantom air Blue Phantom² water tank buatan IBA Dosimetry GmbH berukuran 48 cm x 48 cm x 48 cm yang dilengkapi perangkat lunak OmniPro Accept MyQC Accept, 2016-001 (8.0.4.0) untuk pemindaian data.

Untuk pengukuran kualitas radiasi dan keluaran berkas foton digunakan detektor volume 0,6 cc tipe TW 30013 yang dirangkaikan dengan elektrometer PTW Weblin tipe T 10022. Pengukuran dilakukan di dalam fantom air 1 D Scanner berukuran 30 cm x 30 cm x 30 cm buatan Sun Nuclear.

TATA KERJA

Pengukuran Persentase Dosis di Kedalaman Berkas Foton

Mula-mula dilakukan pengukuran persentase dosis di kedalaman berkas foton 6 MV menggunakan *flattening filter* dan tanpa *flattening filter*. Pengukuran dilakukan di dalam fantom air Blue Phantom² IBA pada kondisi acuan dengan jarak sumber radiasi ke permukaan 100 cm dan lapangan radiasi 10 cm x 10 cm menggunakan detektor ionisasi volume 0,13 cc tipe CC 13.

Pengukuran Kualitas Radiasi Berkas Foton

Setelah itu dilakukan pengukuran ionisasi berkas radiasi foton 6 MV dengan dan tanpa *flattening filter* pada kedalaman 10 cm dan 20 cm pada kondisi acuan menggunakan detektor volume 0,6 cc tipe TW 30013 yang dirangkaikan dengan elektrometer PTW Weblin tipe T 10022. Dari pengukuran ini akan diperoleh kualitas radiasi berkas foton yang dinyatakan dalam nilai $TPR_{20/10}$. Dengan diperoleh nilai $TPR_{20/10}$ akan diperoleh faktor koreksi kualitas radiasi untuk faktor kalibrasi detektor yang digunakan dalam pengukuran.

Disamping menggunakan metoda tersebut di atas, faktor koreksi kualitas radiasi detektor dapat juga diperoleh dengan menempatkan sebilah Pb dengan ketebalan 1 mm pada pengukuran persentase dosis di kedalaman berkas foton untuk mendapatkan nilai % $dd(10,10)$ seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

Pengukuran Keluaran Berkas Foton

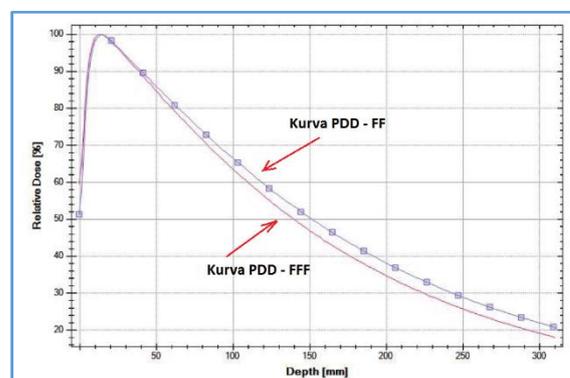
Mula-mula dilakukan pengukuran untuk memperoleh faktor-faktor koreksi yang diperlukan untuk perhitungan laju dosis serap air berkas foton 6 MV dengan dan tanpa *flattening filter* seperti faktor koreksi rekombinasi dan polaritas. Pengukuran dilakukan menggunakan detektor ionisasi volume 0,6 cc tipe PTW TW 30013 no. seri 6367 yang dirangkaikan dengan elektrometer elektrometer PTW Weblin tipe T 10022. Detektor diletakkan pada kondisi acuan dengan kedalaman 10 cm, jarak sumber radiasi ke permukaan fantom 100 cm dan lapangan radiasi pada permukaan fantom 10 cm x 10 cm.

Setelah itu dilakukan pengukuran keluaran berkas foton yang dilakukan pada kondisi acuan seperti diuraikan di atas, Temperatur dan tekanan udara selama pengukuran diamati.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pesawat Varian Trilogy no. seri 6258 milik RSUD Pasar Minggu

Hasil pengukuran persentase dosis di kedalaman berkas foton 6 MV dengan *flattening filter* (6 MV FF) dan tanpa *flattening filter* (6 MV FFF) dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



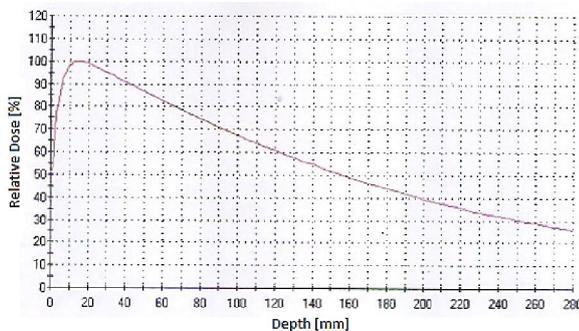
Gambar 3. Persentase dosis di kedalaman berkas foton 6 FF dan FFF

Dari Gambar 3 diperoleh PDD pada kedalaman 10 cm untuk berkas foton 6 MV FF dan FFF masing-masing 66,54 % dan 63,48. Hasil penentuan kualitas radiasi berkas foton 6 MV FF dan 6 MV FFF dalam parameter $TPR_{20/10}$ dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel. 1 Kualitas radiasi berkas foton 6MV FF pesawat permercepat linier medik Varian Trilogy no. seri 6258 setelah kalibrasi

Berkas Foton	D_{20}	D_{10}	$D_{20/10}$	$TPR_{20/10}$	k_Q
6 MV (FF)	25,57	14,68	0,574	0,667	0,9917
6 MV (FFF)	63,48	34,70	0,547	0,633	0,9949

Hasil pengukuran persentase dosis di kedalaman berkas foton 6 MV FFF pada jarak sumber radiasi ke permukaan 100 cm dan lapangan radiasi 10 cm x 10 cm menggunakan 1 mm Pb dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Persentase dosis di kedalaman berkas foton 6 FFF menggunakan 1 mm Pb.

Dari gambar tersebut di atas dapat dilihat bahwa PDD pada kedalaman 10 cm mendapatkan $\%dd(10,10)_x = 64.06\%$. Selanjutnya dengan menggunakan Tabel 5 akan diperoleh nilai $k_{Q_{msr}}^{f_{msr}} = 0,9949$.

Hasil penentuan dosis serap air berkas foton 6 MV FF pesawat permercepat linier medik Varian Trilogy no. seri 6258 pada jarak sumber radiasi ke permukaan air 100 cm, lapangan radiasi 10 cm x 10 cm dan kedalaman detektor 10 cm sebelum dan sesudah kalibrasi dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel. 2 Luaran berkas foton 6MV FF pesawat permercepat linier medik Varian Trilogy no. seri 6258 sebelum dan sesudah kalibrasi.

Varian Trilogy 6258	Dose Rate (pA)	M_Q (nC/200 MU)	D_{10} (mGy/200 MU)	D_{Maks} (mGy/200 MU)*
Sebelum kalibrasi	841,9	25,57	1374,4	2065
Sesudah Kalibrasi	817,4	24,88	1337,1	2009

*Ketidakpastian $\pm 2,17\%$ untuk tingkat kepercayaan 95% , $N_{D,w}$: 54,04 mGy/nC, PDD_{10} : 66,54 %, k_Q : 0,9917

Dari Tabel 2 di dapat dilihat bahwa sebelum kalibrasi, keluaran berkas foton 6 MV FF mendapatkan

nilai 2065,5 mGy/200 MU yang berarti 3,2% lebih besar dari 1 cGy = 1 MU. Setelah dilakukan kalibrasi maka diperoleh keluaran dengan nilai 2009,5 mGy/200 MU yang mendapatkan 0,4 % terhadap 1 cGy = 1 MU.

Hasil penentuan dosis serap air berkas foton 6 MV FFF pesawat permercepat linier medik Varian Trilogy no. seri 6258 pada jarak sumber radiasi ke permukaan air 100 cm, lapangan radiasi 10 cm x 10 cm dan kedalaman detektor 10 cm sebelum dan sesudah kalibrasi dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Luaran berkas foton 6MV FFF pesawat permercepat linier medik Varian Trilogy no. seri 6258 sebelum dan sesudah kalibrasi

Varian Trilogy 6258	Dose Rate (nA)	M_Q (nC/200 MU)	D_{10} (mGy/200 MU)	D_{Maks} (mGy/200 MU)*
Sebelum kalibrasi	1,519	16,56	890,5	1403
Sesudah Kalibrasi	1,753	23,69	1274	2007

*Ketidakpastian $\pm 2,17\%$ untuk tingkat kepercayaan 95% , $N_{D,w}$: 54,04 mGy/nC, PDD_{10} : 63,48 %, k_Q : 0,9949

Dari Tabel 3 di atas dapat dilihat bahwa untuk berkas 6 MV FFF sebelum kalibrasi, keluaran berkas foton 6 MV FFF mendapatkan nilai 1403 mGy/200 MU yang berarti terlalu rendah sebesar 28.9%. Setelah dilakukan kalibrasi maka diperoleh nilai 2007 mGy/200 MU yang berarti 0,35 % terhadap 1 cGy=1 MU.

Dari Tabel 2 dan 3 kolom 2 dapat dilihat bahwa laju dosis serap air pada kedalaman 10 cm menunjukkan bahwa berkas foton 6 MV FFF sebesar 2,14 kali dari pada berkas foton 6 MV FF. Hasil ini sedikit lebih kecil dari studi yang dilakukan oleh Geoff Budgell yang mendapatkan nilai 2,3 kalinya.

Pesawat Varian Trilogy no. seri 6377 milik Rumah Sakit Kanker Dharmais.

Hasil penentuan kualitas radiasi berkas foton 6 MV FF dan 6 MV FFF dalam parameter $TPR_{20/10}$ dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel. 4 Kualitas radiasi berkas foton 6MV FF pesawat permercepat linier medik Varian Trilogy no. seri 6377 sebelum kalibrasi

Berkas Foton	D_{10} (nC)	D_{10} (nC)	$D_{20/10}$	$TPR_{20/10}$	K_Q
6 MV FF	12,58	7,21	0,573	0,667	0,9918
6 MV FFF	12,43	6,74	0,542	0,627	0,9951

Hasil pengukuran persentase dosis di kedalaman berkas foton 6 MV FFF pada jarak sumber radiasi ke permukaan 100 cm dan lapangan radiasi 10 cm x 10 cm PDD pada kedalaman 10 cm mendapatkan $\%dd(10,10)_x = 63,80\%$. Selanjutnya dengan menggunakan Tabel 5 akan diperoleh nilai $k_{Q_{msr}}^{f_{msr}} = 0,9951$

Tabel 5. $k_{Q_{msr}}^{f_{msr} \cdot f_{msr}}$ pada kondisi lapangan radiasi 10cm x 10 cm

Ion chamber ↓	TPR _{30,0} (10)=	0.63	0.65	0.69	0.72	0.75	CyberKnife	Tomotherapy
	%dd(10,10) _A =	63.8	65.6	68.2	71.7	76.1		
PTW 23331 rigid	0.955	0.953	0.990	0.985	0.980	0.998	0.994	
PTW 23332 rigid	0.955	0.953	0.988	0.983	0.976	0.995	0.994	
PTW 23333 (3 mm cap)	0.955	0.953	0.990	0.985	0.978	0.998	0.995	
PTW 30001 Farmer	0.955	0.994	0.990	0.986	0.979	0.999	0.995	
PTW 30010 Farmer	0.955	0.994	0.990	0.986	0.979	0.999	0.995	
PTW 30002/30011 Farmer	0.955	0.994	0.992	0.988	0.982	1.001	0.995	
PTW 30004/30012 Farmer	0.997	0.996	0.994	0.990	0.994	1.003	0.997	
PTW 30006/30013 Farmer	0.955	0.994	0.990	0.985	0.978	0.999	0.995	
PTW 31003/31013 Semaflex	0.955	0.993	0.990	0.985	0.978	0.996	0.994	
SNC 100700-0 Farmer	0.996	0.995	0.992	0.987	0.979	1.002	0.996	

Tabel 6. Luaran berkas foton 6MV FF pesawat permercepat linier medik Varian Trilogy no. seri 6377 Sebelum dan sesudah kalibrasi.

Varian Trilogy 6377	Dose Rate (pA)	M_Q (nC/100 MU)	D_{10} (mGy/100 MU)	D_{Maks} (mGy/100 MU)*
Sebelum kalibrasi	833	12,61	676,0	1018
Sesudah Kalibrasi	823	12,42	667,6	1005

*Ketidakpastian $\pm 2,17$ % untuk tingkat kepercayaan 95%, $N_{D,w}$: 54,04 mGy/nC, PDD_{10} : 66,40%, k_Q : 0,9918

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa sebelum kalibrasi, keluaran berkas foton 6 MV FF mendapatkan nilai 1018 mGy/100 MU yang berarti 1,8 % lebih besar dari 1 cGy = 1 MU. Setelah dilakukan kalibrasi maka diperoleh keluaran dengan nilai 1005 mGy/100 MU yang mendapatkan 0,5 % terhadap 1 cGy = 1 MU.

Tabel 7. Luaran berkas foton 6MV FFF pesawat permercepat linier medik Varian Trilogy no. seri 6377 sebelum dan setelah kalibrasi

Varian Trilogy 6377	Dose Rate (pA)	M_Q (nC/100 MU)	D_{10} (mGy/100 MU)	D_{Maks} (mGy/100 MU)*
Sebelum kalibrasi	2,300	12,49	671,7	1053
Sesudah Kalibrasi	2,197	11,90	640,1	1003

*Ketidakpastian $\pm 2,17$ % untuk tingkat kepercayaan 95%, $N_{D,w}$: 54,04 mGy/nC, PDD_{10} : 63,80 %, k_Q : 0,9951

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa untuk berkas 6 MV FFF sebelum kalibrasi, keluaran berkas foton 6 MV FFF mendapatkan nilai 1053 mGy/100 MU yang berarti terlalu rendah sebesar 5,3 %. Setelah dilakukan kalibrasi maka diperoleh nilai 1003 mGy/100 MU yang berarti 0,3 % terhadap 1 cGy = 1 MU.

Dari Tabel 6 dan 7 dapat dilihat bahwa laju dosis serap air pada kedalaman 10 cm menunjukkan bahwa berkas foton 6 MV FFF sebesar 2,67 kali dari pada berkas foton 6 MV FF. Hasil ini sedikit lebih besar dari studi yang dilakukan oleh Geoff Budgell yang mendapatkan nilai 2,3 kalinya.

KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa: penentuan kualitas radiasi berkas foton menggunakan dua metoda mendapatkan kesesuaian yang baik, kualitas radiasi berkas foton 6 MV FF dan 6 MV FFF tidak berbeda secara signifikan dan laju dosis serap berkas foton 6 MV FFF pada kedalaman 10 cm 2,14 kali lipat dan 2,67 kali lipat masing-masing Linac Trilogy no. seri 6258 dan Trilogy no. seri 6377 daripada berkas foton 6 MV FF.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada staf Unit Radioterapi Rumah Sakit Umum Daerah Pasar Minggu dan Rumah Sakit Kanker Dharmas atas bantuannya untuk menggunakan fasilitas pesawat permercepat linier medik Varian Trilogy sehingga penulisan ini dapat terlaksana.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Budgell G., Brown K., Cashmore J., Duane S., Frame J., Hardy M., Paynter D. and Thomas R., IPEM topical Report 1: guidance on implementing flattening filter free (FFF) radiotherapy, Phys. Med. Biol. 61, IOP Publishing, United Kingdom, 2016.
- [2] Madelaine K. Tyler, Paul Z.Y. Liu, Christopher Lee, David R, McKenzie, Natalka Suchowerska, Small field detector correction factors: Effects of the Flattening Filter for Elekta and Varian linear accelerators, Journal of Applied Clinical Medical Physics Volume 17, American Association of Physicists in Medicine, 2016.
- [3] Muralidhar K. R., Rout B. K., Ramesh K. K. D., Ali M. A., Madhusudhan N., Komanduri K., Babaiah M., Small field dosimetry and analysis of flattening filter free beams in true beam system, Journal of Cancer and Therapeutics Volume 11, 2015.
- [4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy; An International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of

Absorbed Dose to Water, Technical Report Series No. 398, IAEA, Vienna, 05June 2006 (V.12).

- [5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Dosimetry of Small Static Fields Used in External Beam Radiotherapy, An International Code of Practice for Reference and Relative Dose Determination, Technical Report Series No.483, IAEA, Vienna, 2017.
- [6] ALMOND P. R., BIGGS P. J., B.M. COURSEY, HANSOM W. F., HUG M. S., NATH R., ROGER D. W. O., AAPM's TG-51 Protocol for Clinical Reference Dosimetry of High-Energy Photon and Electron Beams, Med. Phys. 26, AAPM, 1999.
- [7] INTERNATIONAL ORGANIZATION OF STANDARDIZATION, *Guide to The Expression of Uncertainty in Measurement, ISO TAG/WG 3/June 1992.*
- [8] Kragt G., Welterstdt S., Knäusl B., Lind M., Cavana P. M., Knöös T., Clean B. M., Georg D, Radiotherapy and Oncology, Volume 93, 2009.
- [9] Johnson J. (<https://www.mdbuyline.com/analyst/julie-johson/>) Versa HD: The Technical Breakdown of Elekta's New Radiotherapy Linear Accelerator, March 5, 2013.
- [10] Narayanasamy G., Saensz D., Cruz W., Ha C. S., Papanikolaou N. and Stathakis S., Commissioning an Elekta HD linear accelerator, Journal of Applied Clinical Medical Physisc, Volume 17, number 1, 2016.

OA12

PEMBUATAN SUMBER STANDAR ^{57}Co BENTUK ROD UNTUK KEDOKTERAN NUKLIR

Hermawan Candra¹, Gatot Wurdianto¹, Holnisar¹
¹Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, BATAN
hermawan@batan.go.id

ABSTRAK

Telah dilakukan pembuatan sumber standar ^{57}Co bentuk rod. Sumber standar ^{57}Co bentuk rod untuk mengkalibrasi Gamma counter. Gamma counter merupakan peralatan yang mempunyai sensitivitas tinggi untuk mengukur tingkat kontaminasi bahan radioaktif. Sumber standar ^{57}Co bentuk Rod terbuat dari bahan lucite berukuran 127 mm x 12,7 mm diameter. Radionuklida ^{57}Co mempunyai waktu paro ($T_{1/2}$): 271,8 hari dan mempunyai 2 energi gamma yang berintensitas tinggi yaitu : 122,060(12) keV (85,51%) dan 136,47(29)keV(10,71%).Pembuatan cuplikan ^{57}Co dalam bentuk cair dalam ampul dan padat dalam bentuk point source dan rod. Pencacahan cuplikan ^{57}Co dilakukan menggunakan sistem pencacah spektrometer gamma detektor semikonduktor High Purity Germanium (HPGe) dengan sumber standar multi gamma ^{152}Eu pada rentang energi 100 keV sampai 1408 keV dan kamar pengion $4\pi\gamma$. Hasil pengukuran aktivitas ^{57}Co menggunakan metode relatif dengan sistem pencacah kamar pengion $4\pi\gamma$ tanpa pengenceran: (5434,12 \pm 3,11%)Bq/mg, dengan pengenceran (5460,07 \pm 3,13%)Bq/mg dan sistem pencacah spektrometer- γ detektor HPGe bentuk sumber titik : (5431,64 \pm 2,15%)Bq/mg dan bentuk rod adalah (5414,46 \pm 2,97%) Bq/mg dengan waktu acuan 1 April 2017

Kata kunci: Sumber Standar ^{57}Co , Bentuk Rod, Kalibrasi, Gamma Counter, Spektrometer Gamma

ABSTRACT

Making of ^{57}Co standard source for rod form were done. ^{57}Co Standard source of rod form used to calibrate of Gamma Counter. Gamma Counter with well type NaI(Tl) scintillation detector is nuclear instrumentation have high sensitivity for radioactive contamination level. ^{57}Co standard source of rod form consists of a lucite rod measuring 127 mm x 12,7 mm diameter. ^{57}Co radionuclide has half live ($T_{1/2}$) of 271.8 days and with 2 gamma energies of 122.06(12)keV (85.51%) and 136.47(29)keV (10.71%). ^{57}Co preparation in the forms of liquid in ampoule, solid in point source and rod. ^{57}Co sample was counted with gamma spectrometer counting system with High Purity Germanium (HPGe) semiconductor detector using ^{152}Eu multi gamma standard source with a wide energy range of gamma energies 100keV to 1408keV and ionization chamber $4\pi\gamma$ counting system. The result of ^{57}Co radioactivity measurement using relative method were as follow with ionization chamber $4\pi\gamma$ counting system without dilution was (5434.12 \pm 3.11%)Bq/mg, and with dilution was (5460.07 \pm 3.13%)Bq/mg, and gamma spectrometer with HPGe detector counting system point source form was (5431.64 \pm 2,15%)Bq/mg and rod form was (5414.46 \pm 2.97%) Bq/mg at reference time 1 April 2017.

Key words: ^{57}Co standard source, rod form, calibration, Gamma Counter, gamma spectrometer

PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam bidang nuklir telah berkembang dan menyebar ke berbagai bidang kegiatan. Agar pemanfaatan radiasi pengion dapat memberikan manfaat sebesar-besarnya dengan risiko bahaya radiasi sekecil-kecilnya maka pengukuran radiasi secara tepat dan akurat merupakan suatu hal yang harus benar-benar menjadi prioritas utama. Metrologi radiasi merupakan ilmu pengetahuan dalam bidang pengukuran radiasi, yang meliputi: radioaktivitas, dosis, intensitas radiasi, waktu paro dan sifat-sifat lain dari radionuklida pada penggunaan radiasi pengion [1]

Salah satu kegiatan dari bidang metrologi radiasi adalah standarisasi radionuklida [2,3]. Standarisasi radionuklida adalah kegiatan menyiapkan dan membuat sumber standar radionuklida yang digunakan dalam pemanfaatan teknologi nuklir dan berfungsi sebagai acuan dalam pengukuran radioaktivitas pada bidang

keselamatan radiasi dan keselamatan lingkungan. Beberapa langkah dalam pembuatan sumber standar adalah:

- Penyiapan penyangga sumber standar radionuklida
- Penyiapan pelarut (larutan pengemban) untuk sumber standar radionuklida
- Pemilihan metode penentuan aktivitas sumber standar radionuklida
- Pengukuran dan perhitungan radioaktivitas

Pada kegiatan metrologi radioaktivitas, diperlukan sumber standar radionuklida untuk kalibrasi alat ukur radiasi. Pada saat ini sumber standar radionuklida yang digunakan sebagian besar masih impor dari negara lain.

Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan sumber standar ^{57}Co bentuk Rod. Pemilihan radionuklida ^{57}Co ini berdasarkan banyaknya kebutuhan radionuklida tersebut pada kedokteran nuklir untuk kalibrasi alat ukur aktivitas. Radionuklida ^{57}Co ini dapat digunakan sebagai simulator radionuklida ^{99m}Tc yang mempunyai waktu

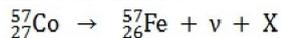
paro pendek (6,02 jam). Radionuklida ^{57}Co dan $^{99\text{m}}\text{Tc}$ mempunyai energi gamma yang berdekatan.

Beberapa penelitian mengenai standarisasi radionuklida ^{57}Co pernah dilakukan oleh *MEC Troughton*[4], *Garfinkel*[5], *D.Novkovic*[6]. Penelitian dan pengembangan mengenai metode standarisasi radionuklida berbagai radionuklida secara terus menerus dikembangkan untuk menjamin tersedianya sumber standar buatan dalam negeri, sehingga dapat mengurangi ketergantungan dari luar negeri. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan standarisasi radionuklida ^{57}Co menggunakan metode absolut dengan sistem pencacah koinsidensi $4\pi\beta(\text{LS})-\gamma$ dengan variasi diskriminator pada 2 saluran gamma E_γ 122,06(12) keV dan saluran gamma E_γ 136,47(29) keV[7] dan menggunakan metode relatif dengan sistem pencacah kamar pengion $4\pi\gamma$ dan spektrometer- γ .

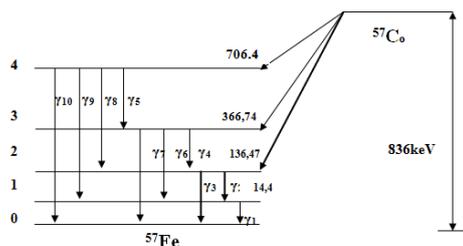
Salah satu instrumentasi nuklir pada bidang kedokteran nuklir yaitu Gammal counters yang menggunakan detektor sintilasi NaI(Tl). Gamma counters merupakan peralatan pada kedokteran nuklir yang mempunyai sensitivitas tinggi untuk mengukur tingkat kontaminasi bahan radioaktif. Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan sumber standar ^{57}Co bentuk Rod untuk mengkalibrasi Gamma counters menggunakan detektor sintilasi NaI(Tl) pada kedokteran nuklir.

LANDASAN TEORI / POKOK BAHASAN

Radionuklida ^{57}Co meluruh melalui tangkapan elektron (*elektron capture EC*). Pada mode peristiwa tangkapan elektron ini proton berubah menjadi neutron dengan cara menangkap elektron (e^-) dari orbital K atau L dan diikuti dengan pancaran neutrino dan sinar-X.



Skema peluruhan ^{57}Co dengan mode peluruhan tangkapan elektron disajikan pada gambar 1. Pada skema tersebut dapat dijelaskan bahwa pada kulit K atau L yang kosong diisi oleh elektron dengan tingkat energi yang lebih tinggi dan kekosongan yang baru akibat pengisian pada orbital K atau L akan diisi oleh elektron dari tingkat energi yang lebih tinggi lagi sampai susunan elektron pada konfigurasi yang stabil.



Gambar 1. Skema Peluruhan ^{57}Co [8]

Radionuklida ^{57}Co mempunyai waktu paro 271,80 (5) hari dan Energi transisi tangkapan elektron adalah $\epsilon_{0,4}$:129,6(4) keV, $\epsilon_{0,3}$:469,2(4) keV, $\epsilon_{0,2}$:699,5(4) keV, $\epsilon_{0,1}$:821,6(4) keV dan $\epsilon_{0,0}$:836,0(4) keV[8,9]. Dari transisi tangkapan elektron tersebut, inti atom tereksitasi pada akhirnya menuju ke tingkat *ground state* dengan memancarkan radiasi elektromagnetik berupa pancaran foton sinar gamma dan besarnya energi gamma pada tiap tiap transisi tingkat energi adalah

$E_{\gamma_{1,0}}$:14,41(31)keV, $E_{\gamma_{2,1}}$:122,06(12)keV, $E_{\gamma_{2,0}}$:136,47(29)keV, $E_{\gamma_{3,2}}$:230,27(3)keV, $E_{\gamma_{4,3}}$:339,67(3)keV, $E_{\gamma_{3,1}}$:352,34(2)keV, $E_{\gamma_{3,0}}$:366,74(3)keV, $E_{\gamma_{4,2}}$:569,94(4)keV, $E_{\gamma_{2,1}}$:692,01(2)keV, $E_{\gamma_{4,0}}$:706,42(2)keV sesuai dengan tabel peluruhan ^{57}Co [8,9].

Metode Pengukuran Relatif Sistem Pencacah Spektrometer Gamma

Pada metode pengukuran aktivitas secara relatif dilakukan dengan cara membandingkan hasil cacahan cuplikan dengan hasil cacahan sumber standar. Ketepatan dan ketelitian pada metode ini sangat tergantung pada kondisi pencacahan peralatan yaitu efisiensi peralatan dan kesesuaian bentuk geometri antara cuplikan dan sumber standar yang meliputi ukuran, bentuk, jenis radiasi dan jenis radionuklida. Sistem pencacah untuk pengukuran aktivitas secara relatif adalah kamar pengion $4\pi\gamma$ dan spektrometer gamma.

Pada sistem pencacah spektrometer gamma dengan detektor HPGe dapat digunakan untuk analisa kualitatif dan kuantitatif. Analisa kualitatif (kalibrasi energi) yang benar akan menghasilkan ketelitian yang tinggi sehingga pengukuran cuplikan dapat dilakukan. Kondisi pengukuran cuplikan harus sama dengan saat kondisi kalibrasi. Penentuan puncak-puncak spektrum- γ dicatat pada nomor channel pada sumbu X. Dari persamaan garis linier untuk kalibrasi energi $Y=aX+b$ maka puncak energi γ pada sumbu Y dapat bersesuaian. [19,20,21]

Pada analisa kuantitatif (kalibrasi efisiensi) menentukan luas puncak serapan total yang merupakan jumlah cacah yang terkandung dalam suatu puncak. Sumber radioaktif memancarkan sinar ke segala arah (4π). Efek geometri jarak antara sumber dan detektor menyebabkan hanya sebagian saja dari sinar- γ yang dipancarkan cuplikan akan terdeteksi. Hal ini berkaitan dengan efisiensi deteksi sinar- γ .

Efisiensi pada spektrometri gamma merupakan efisiensi mutlak dari puncak serapan total. Efisiensi deteksi merupakan fungsi energi $\epsilon(E)$. Apabila dilakukan pengukuran efisiensi dari E_γ rendah ($<100\text{keV}$) sampai E_γ tinggi (1500keV) maka dapat dibuat kurva kalibrasi efisiensi yaitu plot antara efisiensi dan energi- γ . Nilai efisiensi deteksi pengukuran ditentukan berbagai faktor, yaitu yaitu jarak antara cuplikan dengan detektor, bentuk

geometri sumber radioaktif, volume detektor, daya pisah elektronik.

Sumber standar yang sering dipakai pada analisa kualitatif dan kuantitatif ini adalah sumber standar multigamma ^{152}Eu . Sumber standar ini mempunyai rentang energi- γ dari terendah sampai tertinggi yaitu dari E_{γ} 121-1408keV dan mempunyai waktu paro panjang, 13,522 tahun.

METODE PENELITIAN/EKSPERIMEN

Bahan dan Peralatan

1. Sumber standar multi gamma ^{152}Eu buatan LMRI bentuk padat (*point source*)
2. Sumber standar multi gamma ^{152}Eu buatan LMRI bentuk rod buatan PTKMR BATAN
3. Sumber ^{57}Co bentuk Cair buatan POLATOM Polandia
4. Larutan Carrier 0,05g/l $\text{CoCl}_2+6\text{H}_2\text{O}$ dalam 1 M HCl
5. Sistem pencacah spektrometer gamma detektor germanium kemurnian tinggi (*High Purity Germanium*) GC 1018 buatan Canberra
6. Sistem pencacah Kamar Pengion $4\pi\gamma$ Capintec CRC 7 BT
7. High Voltage Supply Type TC 950 buatan Tennelec
8. Amplifier Type 2022 buatan Canberra,
9. Multiport II buatan Canberra,
10. Osiloskop,
11. Software Genie 2000 buatan Canberra

Tata Kerja

Pembuatan Cuplikan Bentuk Rod

Pada penelitian ini sampel ^{57}Co dibuat dalam bentuk geometri cair dalam ampul dan padat dalam bentuk geometri *point source* dan Rod. Pembuatan bentuk geometri sumber radioaktif disesuaikan dengan rentang ukur kemampuan peralatan atau detektor yang akan digunakan untuk pengukuran. Sumber radioaktif ^{57}Co dalam bentuk cair diukur menggunakan sistem pencacah kamar pengion $4\pi\gamma$ Capintec CRC 7 BT dan sumber radioaktif ^{57}Co dalam bentuk padat diukur menggunakan sistem pencacah spektrometer gamma detektor HPGe. Pada tahap awal sumber radioaktif master ^{57}Co cair dalam ampul yang diperoleh dari Polatom Polandia diukur menggunakan sistem pencacah kamar pengion $4\pi\gamma$ Capintec CRC 7BT dengan tujuan untuk memperkirakan aktivitas jenis (kBq/gram) dan besarnya faktor pengenceran. Aktivitas Jenis sumber radioaktif master ^{57}Co cair adalah 30,95 MBq/gram. Aktivitas sumber radioaktif master ^{57}Co yang masih terlalu tinggi tersebut perlu diencerkan menggunakan larutan pengemban (larutan carrier) : $0,05\text{g/l CoCl}_2+6\text{H}_2\text{O}$ dalam 1 M HCl[1]

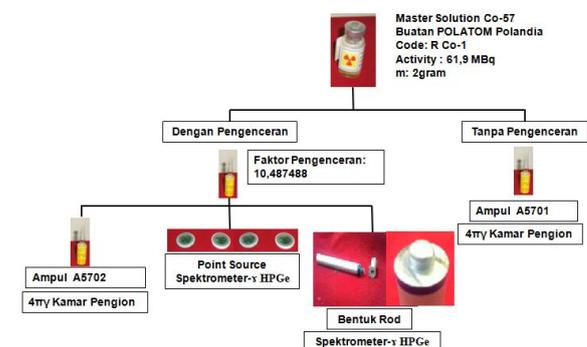
Sumber radioaktif master ^{57}Co cair dipreparasi dalam bentuk cair dengan perlakuan tanpa pengenceran dan dengan pengenceran. Besar kecilnya pengenceran disesuaikan dengan peralatan atau detektor yang akan digunakan untuk pengukuran. Larutan master ^{57}Co sebanyak 0,3296

gram diambil dari ampul dan dimasukkan dalam vial, kemudian ditambah larutan pengemban sebanyak 3,127 gram sehingga jumlah total menjadi 3,4569 gram. Faktor Pengenceran (*dilution factor*) adalah berat total dibagi berat larutan master yaitu 10,487 kali.

Sumber radioaktif master ^{57}Co cair yang sudah diencerkan ditetaskan pada penyangga sumber mylar untuk pembuatan sumber bentuk geometri padat, pada ampul untuk bentuk geometri cair dan bentuk geometri Rod yang terbuat bahan lucite berukuran 127 mm x 12,7 mm diameter. Penimbangan cuplikan menggunakan metode gravimetri dengan cara variasi berat, menggunakan timbangan semi mikro Type ABT 220-5 DMT 7037. Sumber radioaktif ^{57}Co sebelum dan sesudah ditetaskan ditimbang pada penyangga bentuk rod sefokus mungkin di tangan penyanggah rod sehingga diharapkan homogen, sehingga berat masing masing tetesan diketahui. Setelah dilakukan penimbangan sampel dikeringkan dan setelah kering dilakukan penutupan menggunakan penutup rod tersebut untuk mencegah terjadinya kontaminasi. Sampel bentuk rod disajikan pada Gambar 2,



Gambar 2. Sumber Standar ^{57}Co Bentuk Rod



Gambar 3. Diagram alir pembuatan cuplikan

Pencacahan cuplikan

Pengukuran aktivitas sampel ^{57}Co bentuk padat (*point source*) dilakukan menggunakan sistem pencacah spektrometer gamma detektor semikonduktor *High Purity Germanium* (HPGe) menggunakan sumber standar ^{152}Eu LMRI 100-1500 keV dan bentuk

geometri Rod berukuran 127 mm x 12,7mm diameter menggunakan sumber standar ¹⁵²Eu 100-1500 keV bentuk rod buatan PTKMR Sedangkan sampel ⁵⁷Co bentuk cair menggunakan dalam ampul sistem pencacah kamar pengion 4π Capintec CRC 7 BT. Sebelum dilakukan pengukuran dilakukan analisa kualitatif menggunakan kurva kalibrasi energi sedangkan analisa kuantitatif menggunakan kurva kalibrasi efisiensi. Sumber standar yang digunakan adalah sumber standar ¹⁵²Eu buatan LMRI. yang mempunyai rentang energi rendah sampai tinggi (121keV sampai 1408 keV). Sumber standar ¹⁵²Eu dipilih sebagai sumber standar karena mempunyai waktu paro panjang (13,1 tahun) dan mempunyai rentang energi gamma yang lebar yaitu antara (121keV sampai 1408keV). Nilai efisiensi yang sering dipakai adalah efisiensi mutlak. Nilai efisiensi tersebut dihitung dengan persamaan :

$$\epsilon(E) = \frac{cps}{dps \times Y(E)} \quad (1)$$

Dimana :

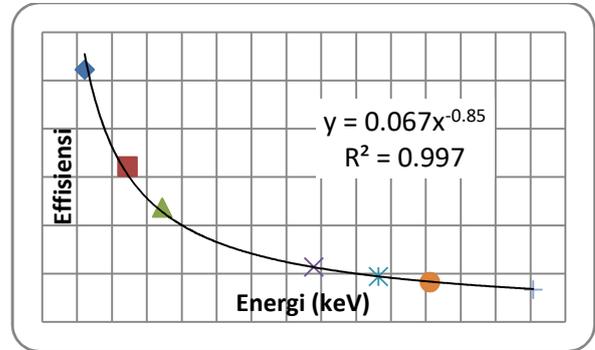
$\epsilon(E)$ adalah efisiensi mutlak pada energi Energi gamma
 cps adalah laju pencacahan yang dihasilkan pada pengukuran
 dps adalah aktivitas standard pada saat pengukuran
 $Y(E)$ adalah yield sebagai fungsi energi gamma

Kualitas kalibrasi efisiensi sangat mempengaruhi hasil pengukuran aktivitas radionuklida sehingga ketelitian dan keakuratan pada pembuatan kurva kalibrasi efisiensi sangat penting. Ketelitian dan keakuratan pada pembuatan kurva kalibrasi ini sangat bergantung pada penentuan luas puncak serapan total setiap spektrum energi sinar gamma. Penentuan luas puncak spektrum ini akan menentukan harga laju cacah (*cps*). Selain itu perhitungan pada penentuan cacah latar juga sangat berpengaruh pada harga laju cacah sebenarnya. Kalibrasi efisiensi sistem pencacah spektrometer gamma detektor HPGe dilakukan dengan menggunakan sumber standar multigamma ¹⁵²Eu buatan LMRI Perancis bentuk padat Pada perhitungan nilai efisiensi, beberapa hal yang mempengaruhi adalah faktor geometri pencacahan yaitu jarak antara sumber radioaktif dan detektor.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran sumber standar ¹⁵²Eu LMRI digunakan sebagai data analisa kuantitatif menggunakan spektrometer gamma untuk mendapatkan nilai efisiensi setiap energi gamma secara perhitungan. Nilai efisiensi digunakan untuk membuat kurva kalibrasi efisiensi sebagai fungsi energi gamma. Kurva kalibrasi efisiensi detektor HPGe menggunakan sumber standar ¹⁵²Eu LMRI untuk penentuan luas puncak serapan total pada rentang energi 100 keV sampai 1500keV disajikan pada Gambar 4.

Pada kurva kalibrasi efisiensi energi antara 100 keV sampai 1500 keV menggunakan ¹⁵²Eu LMRI diperoleh nilai korelasi R² sebesar 0.9977 dan persamaan kurva kalibrasi efisiensi $Y = 0,0675 X^{-0,856}$. Sedangkan perbedaan nilai efisiensi terukur dan perhitungan tanpa koreksi disajikan pada Tabel 1.



Gambar 4. Kurva kalibrasi efisiensi menggunakan ¹⁵²Eu LMRI 100-1500 keV

Tabel 1. Perbedaan nilai efisiensi terukur dan perhitungan

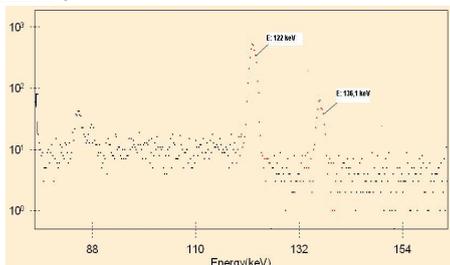
E (keV)	Yield	Effisiensi terukur (ε)	Effisiensi perhitungan (εo)	Δε	ε / εo
121,7817	0,284	0,001045	0,001107	0,000062	0,94
244,6974	0,0755	0,000644	0,000609	-0,000035	1,06
344,2785	0,2659	0,000474	0,000455	-0,000019	1,04
778,9045	0,1297	0,000228	0,000226	-0,000002	1,01
964,079	0,145	0,000188	0,000188	0,000000	1,00
1112,076	0,1341	0,000165	0,000167	0,000001	0,99
1408,013	0,2085	0,000134	0,000136	0,000002	0,98

Nilai efisiensi pada masing-masing energi gamma yang diperoleh dari hasil pengukuran dibandingkan dengan hasil perhitungan pada energi memberikan perbedaan Δε relatif kecil berkisar antara 0 – 0,000062. Menurut Debertin(1985) pada energi di bawah 300keV kemungkinan adanya *summing effects*. [5] Perbandingan nilai efisiensi hasil pengukuran dibandingkan dengan hasil perhitungan cukup baik yaitu antara 0,9– 1,1. Pada kurva kalibrasi efisiensi pada daerah energi gamma diatas 100keV telah diperoleh nilai efisiensi yang semakin turun seiring dengan kenaikan energi gamma. Hal ini disebabkan karena pada daerah energi rendah kemampuan sinar gamma untuk berinteraksi dengan detektor sangat rendah. Sehingga kemampuan untuk menembus jendela aktif detektor juga semakin rendah. Sebaliknya dengan semakin meningkatnya energi gamma maka foton gamma meloloskan diri dari detektor tanpa berinteraksi menjadi cukup besar sehingga nilai efisiensi deteksinya juga akan turun. Hasil pengukuran dan perhitungan aktivitas Sumber Standar ⁵⁷Co Bentuk Rod menggunakan sistem pencacah spektrometer gamma. disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengukuran aktivitas Sumber Standar ⁵⁷Co Bentuk Rod

Bentuk Sumber		Aktivitas (kBq/g) Ref Time: 1-4-2017		
		Kamar Pengion	Spektrometer Gamma	Perbedaan (%)
Cair	Tanpa Pengenceran A5701/17	5434,121		
Cair Padat (Point Source)	Pengenceran Faktor Pengenceran : 10,487488 A5702/17		518,01	0,03
	M5701/17		514,16	0,77
	M5702/17		519,46	0,25
	M5703/17		517,02	0,22
	M5704/17		518,61	0,09
Padat (Rod)	M5705/17		516,67	0,29
	R5701/17		507,47	2,06
	R5702/17		506,01	2,34

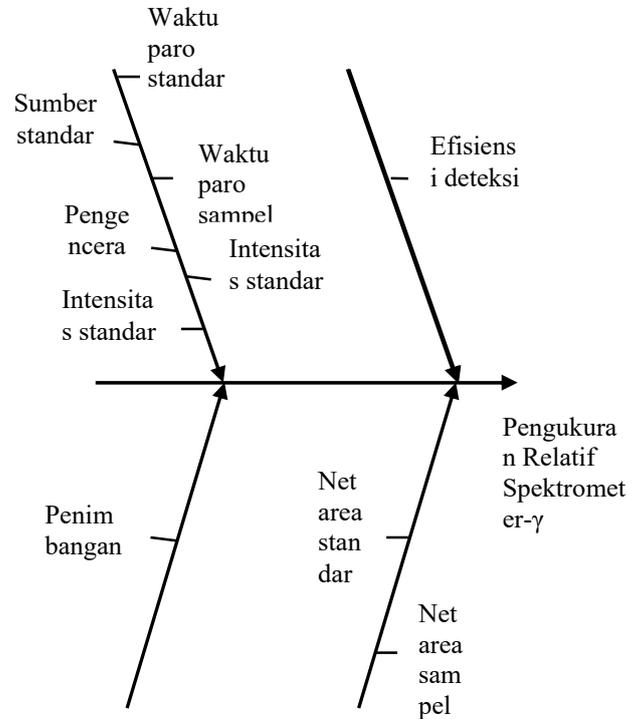
Dari tabel di atas terlihat bahwa hasil pengukuran aktivitas rata-rata Sumber Standar ⁵⁷Co Bentuk Rod setelah dikalikan dengan Faktor Pengenceran 10,487488 pada kedua sampel adalah (5414,46 ± 2,97%) Bq/mg. Sedangkan hasil pengukuran aktivitas rata-rata ⁵⁷Co bentuk titik (point source) adalah (5431,64 ± 2,15%) Bq/mg, bentuk cair tanpa pengenceran: (5434,12 ± 3,11%) Bq/mg, bentuk cair dengan pengenceran (5460,07 ± 3,13%) Bq/mg. Perbedaan aktivitas jenis Bentuk Rod dan bentuk cair tanpa pengenceran sebesar 2,1% dan perbedaan aktivitas untuk 2 (dua) sampel bentuk Rod sebesar 0,29%. Spektrum Sumber Standar ⁵⁷Co Bentuk Rod. 122,06065 (12) keV dan 136,47356 (29) keV [6] menggunakan spektrometer gamma disajikan pada Gambar 5



Gambar 5. Spektrum Sumber Standar ⁵⁷Co Bentuk Rod

Komponen-komponen ketidakpastian pengukuran ⁵⁷Co menggunakan sistem pencacah spektrometer gamma detektor HPGe terdiri dari komponen-komponen : sumber standar, umur paro sumber standar, intensitas standar, net area standar, efisiensi

deteksi, umur paro sampel, net area sampel, penimbangan dan Faktor Pengenceran. Komponen-komponen tersebut dapat digambarkan dalam diagram alir sebab akibat penentuan ketidakpastian pengukuran ⁵⁷Co seperti disajikan pada Gambar di bawah



Gambar 6. diagram alir sebab akibat penentuan ketidakpastian pengukuran ⁵⁷Co bentuk rod

Tabel 3. Komponen ketidakpastian pengukuran aktivitas. ⁵⁷Co bentuk rod

Komponen	Ketidakpastian (%)
Sertifikat sumber standar ¹⁵² Eu	2,5
Umur paro sumber standar ¹⁵² Eu	0,118
Efisiensi Deteksi sumber standar ¹⁵² Eu	1,1
Net area sumber standar ¹⁵² Eu	0,27
Intensitas sumber standar ¹⁵² Eu	0,71
Net area sampel ⁵⁷ Co	0,85
Umur paro sampel ⁵⁷ Co	0,0184
Intensitas sampel ⁵⁷ Co	0,07
Penimbangan	0,25
Faktor pengenceran	0,05
Ketidakpastian gabungan	2,97
Tingkat kepercayaan 95%	

Pada tabel tersebut dapat dilihat ketidakpastian gabungandari beberapa komponen ketidakpastian pengukuran Aktivitas ⁵⁷Co Bentuk Rod menggunakan spektrometer gamma HPGe sebesar 2,97%

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan ada beberapa hal yang dapat diambil kesimpulan: PTKMR Batan telah mampu membuat Sumber Standar ^{57}Co Bentuk Rod untuk memenuhi kebutuhan kedokteran nuklir dengan ketidakpastian pengukuran sebesar 2,97%

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Group Penelitian Standardisasi Radionuklida, Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi BATAN pada atas kerjasamanya pada penelitian ini dalam pengembangan dibidang Metrologi Radiasi

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jika Nicholas Tsoufanidis, *Measurements and Detection of Radiation*, University of Missouri-Rolla, 1983
- [2] NCRP Report No.58, *A Handbook of Radioactivity Measurements Procedures*, National Council on Radiation Protection and Measurements, November 1978
- [3] Lowenthal. Oakley, *Standardization of Radioactivity*, General Nuclonics Division, Australia Atomic Energy Commission, 1966
- [4] M.E.C Troughton, *The Absolute Standardization of Cobalt-57*, Journal Applied Radiation and Isotopes, Vol: 17 (1966) pp 145-150
- [5] S.B.Garfinkel, J.M.R Hutchinson, *The Standardization of Cobalt-57*, Journal Applied Radiation and Isotopes, Vol: 17 (1966) pp 587-593
- [6] D. Novkovic, A.Kandic, I. Vukanac, M.Durasevic, Z. Milosevic, *The direct measurement of ^{57}Co activity by the sum-peak method*, Journal Applied Radiation and Isotopes, Vol: 70 (2012) pp 2154-2156
- [7] Hermawan Candra, Pujadi, Gatot Wurdianto, *Standardisasi Radionuklida ^{57}Co* , Prosiding Annual Meeting on Testing and Quality 2014 Pusat Penelitian Sistem Mutu dan Teknologi Pengujian Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, (2014)
- [8] TdeR, 2005 Laboratoire National Henry Becquerel LNE-LNHB/CEA, Table de Radionuclides, Recommended Data/table, Atomic and Nuclear Data, 2005, http://www.nucleide.org/D/DEP_WG/DDEPdata.htm
- [9] Han-Yull Hwang, Ki Suk Sung, K.B. Lee, Jong Man Lee, Tae Soon Park, *Standardization of radionuclide by $\beta(\text{LS})$ - γ coincidence counting using the geometry-efficiency variation method*, Journal Applied Radiation and Isotopes, Vol: 64 (2006) pp 1119-1123
- [10] K.B. Lee, Jong Man Lee, Tae Soon Park, Pil Jei Oh, Sang Han Lee, Min Kie Lee, *Application of digital sampling techniques for $4\pi\beta(\text{LS})$ - γ coincidence counting*, Journal Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 626-627(2011)72
- [11] D.B. Kulkarni, R.Anuradha, Leena Joseph, BS. Tomar, *Development of liquid scintillation based $4\pi\beta(\text{LS})$ - γ coincidence counting system and demonstration of its performance by standardization of ^{60}Co* , Journal Applied Radiation and Isotopes, Vol: 72 (2013) pp 68-72
- [12] P.J. Campion, *The Standardization of Radioisotopes by the Beta-Gamma Coincidence Method Using High Efficiency Detectors*, International Journal of Applied Radiation and Isotopes, Vol.4 (1959) pp. 232-248
- [13] ICRU Report 52, *Particle Counting in Radioactivity Measurements*, International Commission on Radiation Units and Measurements, (1994)
- [14] Schrader, H. 1997, *Activity Measurements with ionization Chambers*, Monographie BIPM-4, Bureau International des poids et Mesures, sevres, France
- [15] Capintec, Inc, *CRC-7BT Radioisotope Calibrator*, Owner Manual
- [16] Hermawan Candra, *Performance Evaluation of Commercial Radionuclide Calibrators in Indonesians Hospitals*, Proceedings of the 18th International Conference on Radionuclide Metrology and its Applications, Proceedings of the 18th International Conference, Applied Radiation and Isotopes, Volume 70, Issue 9, September 2012, ISSN 0969-8043
- [17] K. Debertin And RG. Helmer, *Gamma and X-Ray Spectrometry With Semiconductor Detector*, 1988
- [18] Hermawan Candra, Pujadi, Gatot Wurdianto, *Pengaruh efek geometri padakalibrasi efisiensi detector semikonduktor HPGe menggunakan spectrometer gamma* Seminar Nasional Fisika 2010 –Himpunan Fisikawan Indonesia (HFI) di Universitas Diponegoro, 10 APRIL 2010
- [19] WISNU SUSETYO, *Instrumentasi Nuklir II*, BATAN
- [20] ISO/IEC Guide 98-3:2008 *Uncertainty of measurement -- Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement* (GUM:1995)
- [21] BIPM, *Procedures for Accurately Diluting and Dispensing Radioactive Solutions*
- [22] Hermawan Candra, *Kalibrasi Efisiensi Sistem Pencacah Kamar Pengionan 4π - γ Merlin Gerin Sebagai Alat Standar Sekunder Pengukuran Aktivitas Menggunakan Sumber Standar Cair*, Prosiding Seminar Nasional Sains MIPA dan Aplikasinya, 2010
- [23] Hermawan Candra, Pujadi, Gatot Wurdianto, *Metode Statistik Untuk Penentuan Luas Puncak Serapan Total Pada Kalibrasi*

Efisiensi Menggunakan Spektrometer Gamma, Prosiding Pertemuan Dan Presentasi Ilmiah Fungsional Pengembangan Teknologi Nuklir II, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta 29 Juli 2008

[24] Hermawan Candra, *Pembuatan Sumber Standar ⁵⁷Co Sebagai Simulator Tc-99m Dengan Spektrometer Gamma*, Seminar Nasional Keselamatan Kesehatan dan Lingkungan V, 2009

NO	Nama penanya	Kode Makalah	Nama Penyaji	Pertanyaan dan Jawaban
1.	Hendry Arka Ramadan (STTN-BATAN)	OA12	Hermawan Candra (BATAN)	<p>Apakah Co-57 sebagai standar bias digunakan dalam dunia industry? Jika tidak bias, apakah dalam menggunakan sebuah standar di dunia industry dan medis memiliki persyaratan yg berbeda sesuaikandg alat yg digunakan?</p> <p>Jawab:</p> <p>Sumber standar Co-57 bisa digunakan dalam berbagai bidang industry dengan syarat. Sumber standar menyesuaikan dg alat yg digunakan dlm bidang industry tsb. Selain itu bentuk geometri harus sama/mendekati sampel yg digunakan untuk percobaan.</p>

OA13

TINJAUAN PENGATURAN PENGAWASAN TERHADAP PROTEKSI DAN KESELAMATAN RADIASI KEGIATAN PERTAMBANGAN YANG MENGHASILKAN TENORM

Hermawan Puji Yuwana

Direktorat Pengaturan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif - BAPETEN

e-mail: h.puji@bapeten.go.id

ABSTRAK

TINJAUAN PENGATURAN PENGAWASAN TERHADAP PROTEKSI DAN KESELAMATAN RADIASI KEGIATAN PERTAMBANGAN YANG MENGHASILKAN TENORM. Sebagaimana diatur dalam Undang-undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran bahwa setiap pemanfaatan tenaga nuklir wajib memiliki izin. Ketentuan intervensi dijelaskan dalam PP Nomor 33 Tahun 2007 dan diperjelas dengan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 9 Tahun 2009 tentang Intervensi Terhadap Paparan yang Berasal dari *Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Material* (TENORM). PP Nomor 29 Tahun 2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir membagi kegiatan pemanfaatan menjadi 3 kelompok yaitu kelompok A, B dan C, salah satunya adalah izin penyimpanan zat radioaktif. Izin penyimpanan zat radioaktif wajib dilakukan oleh penghasil TENORM ketika tidak berhasil melakukan intervensi melalui tindakan remedial hingga mencapai nilai di bawah tingkat intervensi. Tinjauan pengaturan pengawasan ini bertujuan untuk mengidentifikasi persyaratan pengaturan yang diperlukan untuk mencapai keselamatan radiasi berdasarkan peraturan terkait TENORM yang masih berlaku dengan konsep perubahan yang akan diatur dalam amandemen PP No. 33 Tahun 2007. Rekomendasi IAEA GSR Part 3 tentang *Radiation Protection and Safety of Radiation Sources* menggunakan pendekatan situasi paparan yang terbagi dalam situasi paparan terencana, situasi paparan darurat, dan situasi paparan yang sudah ada. Berbeda dengan PP No. 33 Tahun 2007 yang menggunakan pendekatan terhadap pemanfaatan (*practice*) dan intervensi (*intervention*). Konsep pendekatan situasi paparan terencana sebagaimana disebutkan dalam GSR Part 3, maka kegiatan penambangan atau pemrosesan bahan baku yang menimbulkan paparan yang berasal dari zat radioaktif (TENORM) dapat direncanakan sebelum memulai kegiatan serta paparan dan kemungkinan terjadinya dapat dibatasi sejak awal. Beberapa pertimbangan dalam proteksi dan keselamatan radiasi terhadap paparan kerja harus mempertimbangkan beberapa hal diantaranya tanggung jawab pemegang izin, tanggung jawab pekerja radiasi, pemantauan dan rekaman terhadap paparan kerja, program proteksi dan keselamatan radiasi, pelatihan, dan pengaturan terhadap pekerja wanita hamil dan orang di bawah usia 18 tahun.

Kata kunci: proteksi, keselamatan, intervensi, situasi paparan terencana.

ABSTRACT

REVIEW OF REGULATORY CONTROLS OF RADIATION PROTECTION AND SAFETY IN MINING ACTIVITIES THAT PRODUCE TENORM. As stipulated in the Act Nr. 10 Year 1997 on Nuclear Energy that any utilization of nuclear energy shall be subjected for licensing. The provisions of the intervention are described in Government Regulation Nr. 33 Year 2007 and further regulate in BAPETEN Chairman Regulation Nr. 9 Year 2009 on Intervention Exposure from Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Materials. Government Regulation Nr. 29 Year 2008 on Licensing of the Utilization of Ionizing Radiation Sources and Nuclear Materials is dividing the utilization activities into 3 groups: group A, B and C, one of which is license for radioactive material storage. A license for radioactive material storage is required by the TENORM producer when the TENORM producers failed to intervene through remedial action until it reaches certain value below the intervention level. This review aims to identify the regulatory requirements necessary to achieve radiation safety under relevant regulation of TENORM with the concept of amendments of Government Regulation Nr. 33 Year 2007. The recommendation of IAEA GSR Part 3 on Radiation Protection and Safety of Radiation Sources uses an exposure situation approach that is divided into planned exposure situations, emergency exposure situations, and existing exposure situations. Different with the Government Regulation Nr. 33 Year 2007 that use approach of practices and intervention. The concept of a planned exposure situation approach as mentioned in GSR Part 3, the mining activities or processing of raw materials that cause exposure derived from radioactive substances (TENORM) may be planned prior to commencement of activities as well as exposure and the likelihood of occurrence may be restricted from the beginning. Some considerations in radiation protection and safety against occupational exposure should consider several issues such as the responsibilities of the license holder, the responsibilities of radiation workers, monitoring and recording of occupational exposure, radiation protection and safety programs, training, and regulation of pregnant women workers and persons below 18 years of age.

Keywords: protection, safety, intervention, planned exposure situation.

PENDAHULUAN

Pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir yang dilakukan oleh badan pengawas dilakukan melalui tiga pilar pengawasan, yaitu peraturan, perizinan, dan inspeksi [1]. Kegiatan pemanfaatan sumber radiasi pengion dikelompokkan menjadi 3 (tiga) yaitu kelompok A, kelompok B, dan kelompok C. Salah satu yang masuk ke dalam kelompok B adalah kegiatan penyimpanan zat radioaktif. Penyimpanan zat radioaktif yang masuk dimaksud adalah bahan lain yang mengandung radioaktif, yang merupakan hasil samping antara lain dari kegiatan produksi, penambangan, atau rekayasa industri [2].

Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Material yang selanjutnya disebut sebagai TENORM merupakan zat radioaktif alam yang dikarenakan kegiatan manusia atau proses teknologi terjadi peningkatan paparan potensial jika dibandingkan dengan keadaan awal [3][4]. Kegiatan yang dimungkinkan menghasilkan mineral ikutan berupa TENORM dapat ditemui dalam di bidang industri dan energi sumber daya mineral seperti eksploitasi minyak dan gas bumi, PLTU (batubara), proses *sandblasting*, peleburan logam, serta penambangan, pengolahan, dan pemurnian logam.

Pengawasan terhadap TENORM sebagaimana yang telah dijelaskan dalam PP No. 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif, muncul pada bagian intervensi. Pengaturan yang lebih spesifik terkait TENORM diamanahkan dalam 2 Peraturan Kepala BAPETEN yaitu Peraturan Kepala BAPETEN No. 9 Tahun 2009 tentang Intervensi Terhadap Paparan yang Berasal dari *Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Material* dan Peraturan Kepala BAPETEN No. 16 Tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penyimpanan *Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Material*.

Pada tahun 2017 BAPETEN bekerjasama dengan IAEA menyelenggarakan rapat koordinasi terkait dengan manajemen pengawasan TENORM di Indonesia. Tujuan dari kegiatan koordinasi ini adalah diskusi terkait manajemen pengawasan TENORM sesuai dengan tugas dan tanggung jawab dari masing-masing pemangku kepentingan terkait. Rapat koordinasi ini dilaksanakan dengan melibatkan berbagai macam pemangku kepentingan seperti BATAN, Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Bangka Belitung, Badan Lingkungan Hidup Provinsi Bangka Belitung, dan penghasil TENORM. Rapat koordinasi dilaksanakan dengan agenda diantaranya adalah presentasi, diskusi, dan *site visit* ke salah satu penghasil TENORM di Provinsi Bangka Belitung. *Site visit* dilaksanakan untuk mengetahui kondisi manajemen pengawasan TENORM di lapangan khususnya di salah satu penghasil TENORM.

Berdasarkan ketentuan dalam PP No. 33 Tahun 2007 dan Peraturan Kepala BAPETEN No. 9 Tahun 2009, telah dijelaskan bahwa bahwa intervensi terhadap paparan yang berasal dari TENORM harus dilakukan

oleh penghasil TENORM berdasarkan pada tingkat intervensi. Pelaksanaan dari intervensi terhadap paparan yang berasal dari TENORM dilakukan melalui tindakan remedial. Dalam hal tindakan remedial yang telah dilakukan oleh penghasil TENORM tidak mencapai suatu nilai di bawah tingkat intervensi maka penghasil TENORM tersebut wajib mengajukan izin penyimpanan zat radioaktif [4].

Seiring dengan berlangsungnya proses amandemen perubahan PP No. 33 Tahun 2007 identifikasi pengaturan diantaranya adalah terkait dengan pengawasan TENORM sangatlah penting. Tinjauan pengaturan pengawasan ini secara tidak langsung berdasarkan pengalaman yang didapatkan pada saat *site visit* ke salah satu penghasil TENORM di Provinsi Bangka Belitung. Tujuan makalah ini bertujuan untuk mengidentifikasi persyaratan pengaturan yang diperlukan untuk mencapai keselamatan radiasi berdasarkan peraturan terkait TENORM yang masih berlaku dengan konsep perubahan yang akan diatur dalam amandemen PP No. 33 Tahun 2007.

POKOK BAHASAN

Kajian dalam tinjauan pengaturan pengawasan TENORM ini menggunakan metodologi kajian literatur melalui peraturan perundang-undangan terkait dengan pengawasan TENORM seperti PP No. 33 Tahun 2007, Peraturan Kepala BAPETEN No. 9 Tahun 2009, Peraturan Kepala BAPETEN No. 16 Tahun 2013, dan rekomendasi standar IAEA *GSR Part 3* tentang *Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards* (2014)

a. Identifikasi Peraturan Kepala BAPETEN terkait pengawasan TENORM

Terdapat beberapa Peraturan terkait dengan TENORM yaitu:

Peraturan Kepala BAPETEN No. 9 Tahun 2009 merupakan peraturan pelaksana dari ketentuan intervensi dalam PP No. 33 Tahun 2007. Pada Bab IV PP No. 33 Tahun 2007 menjelaskan tentang kewajiban dalam melakukan intervensi terhadap paparan yang berasal dari TENORM. Intervensi harus dilaksanakan oleh orang atau badan yang karena kegiatannya menghasilkan mineral ikutan berupa TENORM berdasarkan pada tingkat intervensi. Tingkat intervensi adalah tingkat dosis yang dapat dihindari dengan melakukan tindakan protektif atau remedial untuk situasi paparan kronik atau paparan darurat. Sebelum pelaksanaan intervensi, penghasil TENORM harus melakukan analisis keselamatan radiasi terhadap TENORM yang meliputi:

- jenis dan proses kegiatan yang dilaksanakan;
- jumlah atau kuantitas TENORM;
- jenis dan tingkat konsentrasi radionuklida; dan
- paparan radiasi dan/atau kontaminasi tertinggi di permukaan TENORM.

Hasil analisis keselamatan radiasi yang telah dilakukan oleh penghasil TENORM disampaikan kepada BAPETEN untuk dilakukan proses penilaian

terhadap hasil analisis keselamatan radiasi yang didasarkan pada tingkat intervensi. Tingkat intervensi dinyatakan dalam [4]:

1. jumlah atau kuantitas TENORM paling sedikit 2 (dua) ton; dan
2. tingkat kontaminasi sama dengan atau lebih besar dari 1 Bq/cm² (satu becquerel persentimeter persegi) dan/atau konsentrasi aktivitas sebesar:
 - 1 Bq/gr (satu becquerel pergram) untuk tiap radionuklida anggota deret uranium dan thorium; atau
 - 10 Bq/gr (sepuluh becquerel per gram) untuk kalium.

Berdasarkan dari hasil penilaian terhadap hasil analisis keselamatan radiasi, BAPETEN akan mengeluarkan ketetapan (i) penghasil TENORM harus melakukan intervensi terhadap paparan yang berasal dari TENORM atau (ii) penghasil TENORM tidak perlu melakukan intervensi terhadap paparan yang berasal dari TENORM. Pelaksanaan Intervensi terhadap paparan TENORM dilakukan melalui tindakan remedial yang terdiri dari tindakan remedial awal dan tindakan remedial lanjutan. Dalam hal tindakan remedial yang dilakukan tidak mencapai nilai di bawah tingkat intervensi maka penghasil TENORM wajib mengajukan izin penyimpanan zat radioaktif.

Pengajuan izin penyimpanan zat radioaktif mengikuti ketentuan dalam Peraturan Kepala BAPETEN No. 16 Tahun 2013 yang merupakan peraturan pelaksana dari PP No. 29 Tahun 2008 yaitu "setiap orang atau badan yang akan melaksanakan pemanfaatan sumber radiasi pengion dan bahan nuklir wajib memiliki izin dari Kepala BAPETEN". Peraturan Kepala BAPETEN No. 16 Tahun 2013 menjelaskan dua ketentuan yaitu tatacara dalam mendapatkan izin penyimpanan zat radioaktif dan ketentuan keselamatan radiasi yang harus dilakukan selama proses penyimpanan zat radioaktif. Ketentuan untuk memperoleh izin penyimpanan zat radioaktif, maka penghasil TENORM harus mengajukan permohonan secara tertulis, melengkapi dokumen persyaratan izin, dan menyampaikan kepada Kepala BAPETEN. Izin penyimpanan zat radioaktif masuk ke dalam pemanfaatan sumber radiasi pengion kelompok B dan masa berlaku untuk izin penyimpanan zat radioaktif adalah 5 tahun [2][5]. Sedangkan ketentuan mengenai keselamatan radiasi dalam penyimpanan zat radioaktif, maka penghasil TENORM harus mengikuti persyaratan mulai dari persyaratan manajemen, proteksi radiasi, teknik, dan verifikasi keselamatan.

Kandungan radioaktivitas dalam TENORM harus dianalisis oleh laboratorium analisis yang terakreditasi. Dalam hal laboratorium analisis yang terakreditasi belum ada, maka kandungan radioaktivitas dalam TENORM dapat diukur berdasarkan hasil analisis laboratorium yang telah ditunjuk oleh Kepala BAPETEN. Ketentuan pengaturan yang lebih spesifik terkait dengan mekanisme penunjukan laboratorium analisis TENORM belum ada sampai saat ini. Akan

tetapi pengaturan terhadap mekanisme penunjukan laboratorium analisis TENORM perlu disusun dengan mempertimbangkan peraturan-peraturan terkait dengan laboratorium dan ketentuan dalam mendapatkan akreditasi sebagaimana diatur dalam UU No. 20 Tahun 2014 tentang Standardisasi dan Penilaian Kesesuaian. Beberapa tantangan kedepan terkait dengan laboratorium analisis diantaranya:

1. perbandingan antara jumlah penghasil TENORM yang akan mengujikan sampel berbanding dengan jumlah laboratorium analisis yang telah ada;
2. laboratorium analisis kandungan radioaktivitas dalam TENORM yang telah terakreditasi masih sedikit; atau
3. persebaran lokasi laboratorium analisis yang tidak merata.

b. Identifikasi PP No. 33 Tahun 2007 dan rekomendasi IAEA *GSR Part 3 (2014)*

Di dalam PP No. 33 Tahun 2007 pendekatan konsep proteksi dan keselamatan radiasi yang dilakukan berdasarkan pemanfaatan (*practices*) dan intervensi (*intervention*) sebagaimana mengacu pada rekomendasi IAEA BSS 115:1996. Pemanfaatan adalah kegiatan yang berkaitan dengan tenaga nuklir yang meliputi penelitian, pengembangan, penambangan, pembuatan, produksi, pengangkutan, penyimpanan, pengalihan, ekspor, impor, penggunaan, dekomisioning, dan pengolahan limbah radioaktif untuk meningkatkan kesejahteraan rakyat [1][2][3]. Intervensi adalah setiap tindakan untuk mengurangi atau menghindari paparan atau kemungkinan terjadinya paparan kronik dan paparan darurat. Paparan yang berasal dari TENORM merupakan salah satu bagian dari situasi paparan kronik dimana pelaksanaan intervensi dilakukan dengan tindakan remedial.

Pada tahun 2014, IAEA telah menerbitkan rekomendasi baru sebagai pengganti dari BSS 115:1996 yaitu *GSR Part 3* tentang *Radiation Protection and Safety of Radiation Sources*. Berbeda dengan pendekatan konsep yang ada di BSS 115:1996, berdasarkan *GSR Part 3* pendekatan yang digunakan adalah [6]

1. Situasi paparan terencana (*planned exposure situation*);

Paparan yang timbul dari pengoperasian terencana dari suatu sumber radiasi atau aktivitas terencana yang dapat mengakibatkan paparan radiasi. Beberapa kegiatan yang masuk dalam situasi paparan terencana yaitu:

- produksi, penyediaan (*supply*), pengadaan (*provision*), dan pengangkutan zat radioaktif dan perangkat yang mengandung zat radioaktif, sumber radioaktif terbungkus, sumber radioaktif terbuka dan produk barang konsumen;
- produksi, penyediaan (*supply*) perangkat yang menghasilkan radiasi, termasuk

LINAC, siklotron, radiografi terpasang tetap dan mobile;

- PLTN termasuk serangkaian kegiatan siklus bahan bakar nuklir yg menimbulkan atau dapat menimbulkan paparan radiasi atau paparan yang berasal dari zat radioaktif;
- penggunaan radiasi atau zat radioaktif untuk tujuan medik, industri, hewan, pertanian, hukum atau keamanan, termasuk penggunaan peralatan, perangkat lunak, atau perangkat dimana penggunaannya dapat mengakibatkan paparan radiasi;
- penggunaan radiasi atau zat radioaktif untuk pendidikan, pelatihan, penelitian, termasuk serangkaian kegiatan yang berkaitan dengan penggunaan radiasi atau zat radioaktif yang menimbulkan atau dapat menimbulkan paparan radiasi atau paparan yg berasal dari zat radioaktif;
- penambangan atau pemrosesan bahan baku yang menimbulkan paparan yang berasal dari zat radioaktif;
- kegiatan lain yang dikhususkan oleh Badan Pengawas.

2. Situasi paparan darurat (*emergency exposure situation*); dan

Paparan yang timbul sebagai akibat kecelakaan, tindak kejahatan atau kejadian lain yang tidak diperkirakan, yang memerlukan aksi segera untuk mencegah atau mengurangi kerusakan yang ditimbulkan.

3. Situasi paparan yang sudah ada (*existing exposure situation*).

Paparan yang sebelumnya sudah ada ketika tindakan proteksi dan keselamatan radiasi dilakukan, termasuk paparan yang berasal dari alam.

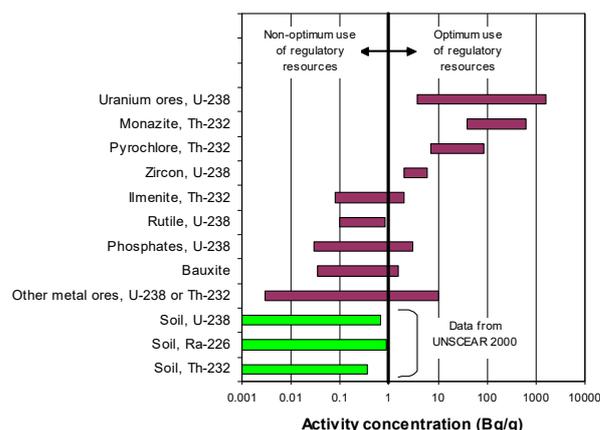
- paparan yg berasal dari sisa zat radioaktif pada kejadian masa lampau;
- Paparan yg berasal dari komoditas (barang dagangan) termasuk makanan, pakan hewan, air minum, dan bahan bangunan yang menggabungkan radionuklida yang berasal dari sisa zat radioaktif pada kejadian masa lampau;
- Paparan yang berasal dari radiasi alam termasuk radon dan turunannya, radionuklida alam dalam komoditas, dan paparan radiasi terhadap kru pesawat terbang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Provinsi Bangka Belitung merupakan salah satu daerah penghasil timah terbesar di Indonesia dengan adanya salah satu perusahaan yang bergerak di bidang pertambangan timah yaitu PT Timah Tbk. Dalam penambangan timah, akan menghasilkan beberapa mineral ikutan (TENORM). Besaran nilai yang digunakan sebagai dasar dalam manajemen TENORM adalah besaran nilai konsentrasi aktivitas. Batasan nilai konsentrasi aktivitas tersebut adalah [4], [6]

1. 1 Bq/gram untuk tiap radionuklida anggota deret uranium dan thorium;
2. 10 Bq/gram untuk ^{40}K .

Dalam proses pengolahan timah akan menghasilkan hasil samping seperti monasit, ilmenit, zircon, dll. Hasil samping inilah yang menjadi objek pengawasan dalam manajemen pengawasan TENORM. Pada gambar 1 dijelaskan terkait tipikal konsentrasi aktivitas untuk masing-masing dari radionuklida.



Gambar 1. Konsentrasi Aktivitas(Bq/g) untuk radionuklida tertentu

Berdasarkan dari hasil rapat koordinasi yang pernah diselenggarakan pada tahun 2017 tersebut di dapatkan informasi bahwa BATAN telah melakukan pemetaan radioaktivitas lingkungan di Provinsi Bangka Belitung [7]. Dari hasil pemetaan yang telah dilakukan oleh BATAN tersebut didapatkan hasil terkait dengan laju radioaktivitas lingkungan dan konsentrasi radionuklida pada permukaan tanah, termasuk konsentrasi aktivitas untuk TENORM dari aktivitas penambangan timah yang meliputi monasit, ilmenit, zircon, dan tin slag. Analisis terhadap radioaktivitas lingkungan bertujuan antara lain untuk [8]:

- a. mengetahui dan menetapkan data-data radioaktivitas alam, yaitu cacah latar atau *background radiation*. Cacah latar ini bervariasi dari satu tempat ke tempat lain dan dari waktu ke waktu.
- b. mengetahui besar dan jenis radioaktivitas yang dibebaskan oleh suatu fasilitas atau instalasi nuklir.
- c. mempelajari penyebaran dan pengambilan (*uptake*) radionuklida di lingkungan serta kemungkinan bahayanya bagi manusia.

Pada saat *site visit* ke salah satu penghasil TENORM sebagai bagian dari rangkaian agenda rapat koordinasi terkait dengan manajemen pengawasan TENORM, secara garis besar proses penambangan timah sampai didapatkan hasil samping mineral ikutan adalah sebagai berikut:

1. penambangan bijih timah dengan menggunakan salah satu metode yaitu metode pompa semprot (*gravel pump*);

2. pencucian bijih timah dengan menggunakan mekanisme gravitasi (perbedaan ketinggian);
3. hasil dari pencucian bijih timah dilakukan proses pemisahan dengan menggunakan meja getar (*shaker table*). Prinsip pemisahan berdasarkan pada densitas atau berat jenis dari mineral yang didapatkan. Pada umumnya dengan adanya meja getar (*shaker table*) akan didapatkan 3 jenis yaitu mineral berat, mineral ringan, dan mineral *middling* (berat jenis pada rentang antara ringan dan berat); dan
4. hasil akhir dari proses pemisahan dengan meja getar (*shaker table*) ini diharapkan bijih timah dengan kandungan yang cukup tinggi.

Salah satu hal yang menarik untuk dibahas terkait dengan proteksi dan keselamatan radiasi bagi pekerja yang bekerja pada kegiatan pertambangan yang menghasilkan TENORM. Pengaturan terhadap proteksi dan keselamatan radiasi diatur dalam PP No. 33 Tahun 2008. Terkait dengan TENORM tindakan yang harus dilakukan adalah dengan melakukan intervensi sebagaimana yang telah dijelaskan lebih detail dalam Peraturan Kepala BAPETEN No. 9 Tahun 2009, mekanisme bagaimana melakukan intervensi terhadap paparan yang berasal dari TENORM. Jika tindakan intervensi yang dilakukan melalui tindakan remedial tidak berhasil, maka penghasil TENORM harus mengikuti langkah selanjutnya dengan mengajukan izin penyimpanan zat radioaktif (penyimpanan TENORM) berdasarkan PP No. 29 Tahun 2008 dan Peraturan Kepala BAPETEN No. 16 Tahun 2013. Tindakan remedial yang bertujuan sebagai intervensi terhadap paparan yang berasal dari TENORM agar mencapai nilai di bawah tingkat intervensi.

Salah satu langkah dalam proses penambangan timah adalah hasil dari proses pencucian bijih timah dilakukan proses pemisahan dengan menggunakan meja getar (*shaker table*). Pada Gambar 2 merupakan kumpulan karung yang berisi bijih timah (kalsiterit) dengan kadar tertentu (%) sebagai hasil akhir dari proses meja getar (*shaker table*) yang telah ditetapkan oleh pemegang izin usaha pertambangan (IUP) operasi produksi timah. Kumpulan karung tersebut dikumpulkan dalam lokasi yang tidak jauh dari meja getar (*shaker table*).



Gambar 2. Bijih timah (kalsiterit) dengan kadar tertentu (%)

Potensi penerimaan paparan radiasi pada daerah pertambangan kemungkinan besar hanya akan pada posisi-posisi tertentu, seperti daerah di meja getar (*shaker table*). Berdasarkan dari hasil pengukuran laju paparan radiasi pada area di sekitar kumpulan karung sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2, didapatkan nilai yang berkisar antara 3-4 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$. Dengan asumsi pendekatan konservatif bahwa pekerja yang berada pada area tersebut 6 jam/ hari, 6 hari/ minggu, dan 50 minggu/ tahun, maka didapatkan nilai dosis tahunan sebesar 5,4 – 7,2 mSv/ tahun.

Jika melihat ketentuan yang ada di dalam peraturan yang ada saat ini bahwa pekerja radiasi adalah setiap orang yang bekerja di instalasinuklir atau instalasi radiasi pengion yang diperkirakan menerima dosis tahunan melebihi dosis untuk masyarakat umum. Nilai batas dosis untuk anggota masyarakat adalah 1 mSv/ tahun. Sehingga diperlukan upaya proteksi dan keselamatan radiasi untuk mengatasi permasalahan tersebut. Berdasarkan definisi yang tertuang dalam PP No. 33 Tahun 2007, Proteksi Radiasi adalah tindakan yang dilakukan untuk mengurangi pengaruh radiasi yang merusak akibat paparan radiasi. Sedangkan, keselamatan Radiasi merupakan tindakan yang dilakukan untuk melindungi pekerja, anggota masyarakat, dan lingkungan hidup dari bahaya radiasi[3]. Dengan data laju paparan radiasi pada kumpulan karung sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2, menunjukkan bahwa pekerja yang bekerja di area tersebut memiliki potensi untuk menerima nilai dosis tahunan sebesar 5,4 – 7,2 mSv/tahun. Dengan nilai dosis sebesar itu maka pekerja yang bekerja di area tersebut dapat diklasifikasikan sebagai pekerja radiasi. Sehingga pekerja tersebut harus mendapatkan proteksi dan keselamatan radiasi yang ditimbulkan oleh paparan radiasi dari kumpulan karung tersebut.

Kerangka pengaturan pengawasan terhadap proteksi dan keselamatan radiasi yang masih berdasarkan pada PP No. 33 tahun 2007, memberikan tantangan terhadap pengaturan pengawasan TENORM. Konsep intervensi yang dilakukan ketika nilai konsentrasi aktivitas melebihi dari nilai tingkat intervensi sebagaimana tertuang dalam Peraturan Kepala BAPETEN No. 9 Tahun 2009. Penghasil TENORM memiliki kewajiban melakukan intervensi berdasarkan hasil analisis keselamatan radiasi. Pelaksanaan intervensi sampai pelaksanaan penyimpanan zat radioaktif (TENORM) sudah dijelaskan secara detail langkah-langkah yang harus dilakukan mengacu pada Peraturan Kepala BAPETEN. Hanya saja terkait dengan proteksi dan keselamatan radiasi pada saat proses penambangan sampai dengan didapatkan mineral timah kalsiterit dengan kadar tertentu (%) masih belum dijelaskan.

Dalam menjalankan fungsinya memberikan fasilitasi dan pembinaan terhadap kegiatan instansi pemerintah di bidang pengawasan tenaga nuklir, BAPETEN mempunyai kewenangan diantaranya untuk melakukan penjaminan keselamatan dan kesehatan pekerja dan anggota masyarakat serta perlindungan

lingkunganhidup dari bahaya nuklir[9]. BAPETEN perlu bekerjasama dan berkoordinasi dengan instansi lain seperti Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral dan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan yang bersinggungan dengan kegiatan yang dimungkinkan akan menghasilkan mineral ikutan (TENORM).

Proses amandemen perubahan PP No. 33 Tahun 2007 yang masih berlangsung saat ini dengan mengikuti rekomendasi IAEA terbaru terkait proteksi dan keselamatan radiasi yaitu *GSR Part 3 (2014)*. Dengan pendekatan dari *GSR Part 3(2014)* yaitu pada situasi paparan yang ditimbulkan, maka “kegiatan penambangan atau pemrosesan bahan baku yang menimbulkan paparan yang berasal dari zat radioaktif” masuk kedalam situasi paparan terencana. Situasi paparan terencana timbul dari suatu operasi yang telah direncanakan terhadap sumber radiasi atau dari suatu kegiatan yang direncanakan yang menghasilkan paparan radiasi. Karena ketentuan untuk proteksi dan keselamatan radiasi dapat dilakukan sebelum memulai kegiatan terkait serta paparan dan kemungkinan terjadinya dapat dibatasi sejak awal. Sarana utama untuk mengendalikan paparan terencana adalah dengan merancang:

1. fasilitas;
2. peralatan;
3. prosedur operasi yang baik; dan
4. pelatihan.

Situasi paparan terencana terbagi dalam 3 jenis paparan, yaitu paparan kerja, paparan masyarakat, dan paparan medik. Dengan melihat contoh pada penjelasan Gambar 2 tadi, maka proteksi dan keselamatan radiasi ditujukan terhadap paparan yang diterima oleh pekerja sebagai akibat dari pekerjaannya sehingga dapat disebut sebagai paparan kerja. Prinsip dan proteksi keselamatan radiasi meliputi justifikasi, optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi, dan limitasi dosis.

Beberapa pertimbangan yang bertujuan dalam poteksi dan keselamatan radiasi terhadap paparan kerja harus mempertimbangkan beberapa hal diantaranya:

1. tanggung jawab dari badan pengawas;
2. tanggung jawab pemegang izin terhadap proteksi pekerja;
3. tanggung jawab pekerja radiasi;
4. pemantauan dan rekaman terhadap paparan kerja;
5. program proteksi dan keselamatan radiasi;
6. kajian terhadap paparan kerja dan pemantauan kesehatan pekerja;
7. kondisi layanan;
8. pelatihan; dan
9. pengaturan terhadap pekerja wanita dan orang di bawah usia 18 tahun.

Dengan kondisi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2 tadi, maka dengan mengikuti ketentuan dari rekomendasi IAEA *GSR Part 3 (2014)*, maka pengawasan terhadap proteksi dan keselamatan radiasi sebagai akibat dari paparan kerja untuk pekerja radiasi yang terlibat dalam situasi paparan terencana dalam hal

ini kegiatan pertambangan yang menghasilkan TENORM dapat terlindungi dan terawasi dari awal sebelum memulai kegiatan pertambangan. Hanya saja dengan masih berlangsungnya proses amandemen perubahan PP No. 33 Tahun 2007, maka BAPETEN harus melakukan pembinaan dan meningkatkan kesadaran (*awareness*) dari penghasil TENORM, pentingnya proteksi dan keselamatan radiasi terhadap pekerja di area pertambangan yang menghasilkan mineral ikutan (TENORM).

KESIMPULAN

Perlunya identifikasi persyaratan pengaturan yang diperlukan untuk mencapai keselamatan radiasi berdasarkan peraturan terkait TENORM yang masih berlaku dengan konsep perubahan yang akan diatur dalam amandemen PP No. 33 Tahun 2007. Konsep pengawasan peraturan terhadap pengawasan TENORM berdasarkan PP No. 33 Tahun 2007 dan peraturan pelaksanaannya menjelaskan bahwa penghasil TENORM harus melakukan tindakan intervensi terhadap paparan yang berasal dari TENORM melalui tindakan remedial berdasarkan tingkat intervensi. Ketika tindakan remedial tidak berhasil maka penghasil TENORM harus mengajukan izin penyimpanan zat radioaktif (penyimpanan TENORM).

Proteksi dan keselamatan radiasi bagi pekerja yang bekerja di area pertambangan perlu mendapatkan perhatian lebih. Dengan sedang berlangsungnya proses amandemen PP No. 33 Tahun 2007 diharapkan pengaturan proteksi dan keselamatan pekerja yang bekerja di area pertambangan dapat terlindungi dan terawasi. Proses amandemen yang mengikuti rekomendasi *IAEA GSR Part 3 (2014)* tentang *Radiation Protection and Safety of Radiation Sources* menggunakan pendekatan situasi paparan yang terbagi dalam situasi paparan terencana, situasi paparan darurat, dan situasi paparan yang sudah ada. Oleh karena itu, dengan konsep pendekatan situasi paparan terencana sebagaimana disebutkan dalam *GSR Part 3 (2014)*, maka kegiatan penambangan atau pemrosesan bahan baku yang menimbulkan paparan yang berasal dari zat radioaktif (TENORM) dapat direncanakan sebelum memulai kegiatan serta paparan dan kemungkinan terjadinya dapat dibatasi sejak awal. Beberapa pertimbangan dalam proteksi dan keselamatan radiasi terhadap paparan kerja harus mempertimbangkan beberapa hal diantaranya tanggung jawab pemegang izin, tanggung jawab pekerja radiasi, pemantauan dan rekaman terhadap paparan kerja, program proteksi dan keselamatan radiasi, pelatihan, dan pengaturan terhadap pekerja wanita hamil dan orang di bawah usia 18 tahun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Republik Indonesia (1997) Undang-undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran. Setneg, Jakarta.
- [2] Republik Indonesia (2008) Peraturan Pemerintah Nomor 29 Tahun 2008 Tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion

- [3] Dan Bahan Nuklir. Setneg, Jakarta.
Republik Indonesia (2007) Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif. Setneg, Jakarta.
- [4] Republik Indonesia (2009) Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 9 Tahun 2009 tentang Intervensi Terhadap Paparan yang Berasal dari Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material. Setneg, Jakarta.
- [5] Republik Indonesia (2013) Peraturan Kepala BAPETEN nomor 16 Tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penyimpanan Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material. Setneg, Jakarta.
- [6] IAEA (2014) Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards (GSR Part 3). IAEA, Vienna.
- [7] S. Eko Pujadi, Dadong Iskandar (2017) Presentation on Radiological Assessment of NORM in Indonesia: Bangka Belitung Province.
- [8] Wisnu Arya Wardhana (1994) Teknik Analisis Radioaktivitas Lingkungan. Andi Offset, Yogyakarta.
- [9] Republik Indonesia (2001) Keputusan Presiden Nomor 103 tahun 2001 tentang Kedudukan, Tugas, Fungsi, Kewenangan, Susunan Organisasi, dan Tata Kerja Lembaga Pemerintah Non Departemen.

NO	Nama penanya	Kode Makalah	Nama Penyaji	Pertanyaan dan Jawaban
1.	Hermawan Candra (BATAN)	OA13	Hermawan PY (BAPETEN)	<p>Apakah sudah ada Perka BAPETEN yang mengatur TENORM yang berkaitan dengan batasan aktivitas radionuklir TENORM?</p> <p>Jawab:</p> <p>Terkait dengan Pengawasan TENORM terdapat 2 peraturan Kepala BAPETEN terkait yaitu Peraturan Kepala BAPETEN No. 9 Tahun 2009 tentang Intervensi Terhadap Paparan yang Berasal dari <i>Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Material</i> dan Peraturan Kepala BAPETEN No. 16 Tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penyimpanan <i>Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Material</i>.</p> <p>Besaran nilai yang digunakan sebagai dasar dalam manajemen TENORM adalah besaran nilai konsentrasi aktivitas. Batasan nilai konsentrasi aktivitas tersebut adalah</p> <ol style="list-style-type: none"> 3. 1 Bq/gram untuk tiap radionuklida anggota deret uranium dan thorium; 4. 10 Bq/gram untuk ⁴⁰K.

OA14

KAJIAN TEKNOLOGI BORON NEUTRON CAPTURE THERAPY (BNCT) DAN ASPEK REGULASINYA

I Made Ardana¹, Adi Drajat Noerwasana¹, Yohannes Sardjono²

¹DP2FRZR - BAPETEN

²PSTA - BATAN

e-mail: i.madeardana@bapeten.go.id

ABSTRAK

Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) merupakan metode terapi kanker yang memanfaatkan reaksi tangkapan neutron thermal oleh atom ^{10}B dan telah lama diharapkan dapat menjadi salah satu bentuk radioterapi inovatif yang berpotensi untuk menangani berbagai macam jenis kanker. Keberhasilan metode BNCT tergantung pada kemampuan dalam mendepositkan senyawa ^{10}B secara selektif hanya berada pada sel kanker dan kemampuan dalam meiradiasikan neutron thermal ke area sel kanker. Uji klinis metode BNCT telah dilakukan untuk beberapa jenis kanker seperti kanker otak, kanker paru-paru, kanker leher dan kepala dan kanker kulit. Di Indonesia, riset dasar BNCT dilakukan melalui suatu konsorsium riset yang beranggotakan lembaga riset, pendidikan tinggi, BUMN dan pihak swasta. Uji pre klinis metode BNCT di Indonesia direncanakan akan dilakukan pada tahun 2019. Uji klinis metode BNCT berbasis siklotron 30 MeV di Indonesia, akan dilakukan di Rumah Sakit Murni Teguh Medan dan Rumah Sakit Akademis UGM. Mengingat pesatnya kemajuan riset dan pengembangan metode BNCT di Indonesia, diperlukan suatu regulasi yang dapat secara eksplisit mengatur tentang perizinan dan keselamatan radiasi dalam pemanfaatan metode BNCT.

Kata kunci: BNCT, Kanker, Neutron, Uji Pre Klinis, Uji Klinis.

ABSTRACT

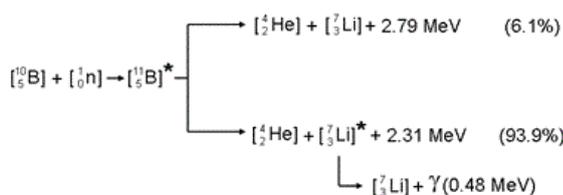
Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) is a cancer treatment method that utilizes a neutron capture reaction by ^{10}B atoms and has long been expected to be one form of innovative radiotherapy that potentially to handle various types of cancer. The success of the BNCT method depends on the ability to deposit ^{10}B compounds to be selectively only in cancer cells and the ability to irradiate the thermal neutrons to cancer cell areas. The clinical trials of BNCT method has been done for several types of cancer such as brain cancer, lung cancer, head and neck cancer and skin cancer. In Indonesia, BNCT's basic research is conducted through a research consortium consisting of Research Institutions, Universities, State Enterprises and Private Parties. The pre-clinical trial of BNCT method in Indonesia is planned to be conducted in 2019. For clinical trial of BNCT method based on cyclotron 30 MeV in Indonesia, will be done at Murni Teguh Hospital, Medan and UGM Academic Hospital. Based on the rapid advances in research and development of BNCT methods in Indonesia, a regulation that explicitly regulates licensing and radiation safety of BNCT methods is required.

Keywords: BNCT, Cancer, Neutron, Pre-Clinical trial, Clinical Trial

PENDAHULUAN

Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) merupakan metode terapi kanker yang telah lama diharapkan dapat menjadi salah satu bentuk radioterapi inovatif yang berpotensi untuk menangani berbagai macam jenis kanker. Keberhasilan terapi dengan metode ini bergantung pada dua hal yaitu kemampuan untuk mengkonsentrasikan boron-10 (^{10}B) pada sel-sel kanker target dalam jumlah yang cukup dan kemampuan untuk mengantarkan neutron thermal untuk mencapai sel-sel kanker tersebut [1].

Prinsip BNCT berdasarkan pada reaksi $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ yang terjadi ketika isotop stabil ^{10}B menangkap neutron thermal. Persamaan reaksinya dapat dituliskan seperti Gambar 1 [2]. Metode terapi BNCT dapat membunuh sel-sel kanker secara selektif melalui partikel alpha dan inti litium yang merupakan hasil reaksi antara ^{10}B dengan neutron thermal. Adapun karakteristik masing-masing partikel dari hasil reaksi $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ disajikan dalam Tabel 1 [3]. Jangkauan dari partikel ini berada pada jarak 4,5 μm hingga 12 μm , sehingga energi terdeplesi terbatas hanya dalam ukuran diameter sel yaitu $\pm 18 \mu\text{m}$ [4].



Gambar 1. Persamaan reaksi ^{10}B dengan neutron thermal [2].

Tabel 1. Karakteristik partikel hasil reaksi $^{10}\text{B}(n,\alpha)\text{Li}$ [3]

Partikel	Energy (MeV)	Probabilitas (%)	Jangkauan (μm)
A	1.47	93.9	9.8
Li	0.84	93.9	4.8
A	1.78	6.1	11.8
Li	1.02	6.1	5.8

Saat ini, BNCT dikembangkan di beberapa negara di dunia. Untuk sumber neutron, BNCT berbasis akselerator (*AB-BNCT*) telah dikembangkan di Rusia, Jepang, Inggris, Italia, Israel, dan Argentina [5]. Iran, Finlandia, China dan Italia mengembangkan riset dasar BNCT berbasis reaktor [6,7]. Sumber neutron berbasis siklotron 30 MeV dikembangkan di Jepang [8, 9], sedangkan Argentina mengembangkan *Tandem Electrostatic Quadrupole (TESQ)* sebagai sumber neutron untuk sistem BNCT [10]. Tabel 2 menyajikan statistik fasilitas BNCT di Dunia [11,12,13]. Beberapa negara telah melakukan tahapan uji klinis, sementara beberapa negara sedang melakukan riset dasar BNCT berbasis reaktor maupun akselerator. Untuk obat senyawa boron, di Jepang telah dirilis 2 (dua) jenis obat senyawa boron berupa *sodium borocaptate* (BSH) dan

(*L-para Boronophenylalanine*)BPA untuk kanker bertipe melanoma maligna [14].

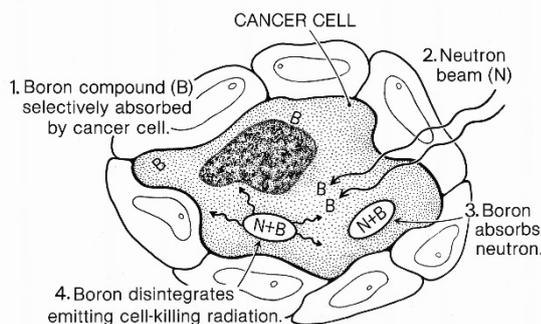
Tabel 2. Statistik fasilitas BNCT di Dunia [11,12,13]

No	Negara	Fasilitas	Jumlah	Status
1	Belanda	Reaktor	1	Uji Klinis
2	Amerika	Reaktor	6	Uji Klinis
3	Argentina	Reaktor	1	Uji Klinis
4	Finlandia	Reaktor	1	Uji Klinis
5	Ceko	Reaktor	1	Uji Klinis
6	Swedia	Reaktor	1	Uji Klinis
7	Italia	Reaktor	1	Uji Klinis
8	Jepang	Reaktor	7	Uji Klinis
9	Taiwan	Reaktor	1	Uji Klinis
10	China	Reaktor	1	Uji Klinis
11	Jerman	Reaktor	5	Uji Klinis
12	Brasil	Reaktor	1	Riset Dasar
13	Polandia	Reaktor	1	Riset Dasar
14	Ukraina	Reaktor	1	Riset Dasar
15	Portugal	Reaktor	1	Riset Dasar
16	Suriyah	Reaktor	1	Riset Dasar
17	Kazakstan	Reaktor	1	Riset Dasar
18	Turki	Reaktor	1	Riset Dasar
19	Slovenia	Reaktor	1	Riset Dasar
20	Korea	Reaktor	1	Riset Dasar
21	Indonesia	Reaktor	1	Riset Dasar
22	Bulgaria	Reaktor	1	Riset Dasar
23	Jepang	Akselerator	5	Uji Klinis
24	Argentina	Akselerator	2	Konstruksi
25	UK	Akselerator	1	Komisioning
26	Israel	Akselerator	1	Komisioning
27	Rusia	Akselerator	2	Komisioning
28	Italia	Akselerator	1	Konstruksi

Penelitian seputar BNCT juga telah dilakukan di Indonesia, ditandai dengan dibentuknya konsorsium riset insentif Sistem Inovasi nasional Kemenristek Dikti dengan judul Penelitian dan Pengembangan Teknologi dan Aplikasi BNCT dengan Compact Neutron Generator (CNG), yang melibatkan sejumlah institusi antara lain BATAN, Kemenkes, PT Kimia Farma, sejumlah Perguruan Tinggi dan Rumah Sakit [15]. Diharapkan penelitian tersebut akan memasuki tahap uji pre-klinis pada tahun 2019. Untuk itu, diperlukan adanya kajian terkait kemajuan teknologi BNCT di Indonesia serta penyiapan regulasi untuk izin operasionalnya.

LANDASAN TEORI

Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) adalah salah satu bentuk terapi radiasi yang memanfaatkan serapan neutron thermal oleh atom ^{10}B yang dimanfaatkan untuk menangani penyakit kanker [4]. ^{10}B memiliki tampang lintang reaksi yang tinggi untuk menangkap neutron thermal (3840 b), keduanya dapat membentuk interaksi $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ yang akan menghasilkan partikel alpha dan inti lithium seperti Gambar 2 [4]. Partikel- α dan inti ^7Li yang dihasilkan memiliki energi sebesar 1.47 MeV dan 0.83 MeV [16].



Gambar 2. Reaksi $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ di dalam sel [4]

Reaksi $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ akan terjadi ketika neutron thermal berinteraksi dengan ^{10}B membentuk isotop ^{11}B . Isotop ^{10}B bersifat tidak stabil dan meluruh dalam waktu yang sangat singkat (10^{-12} s). Peluruhan isotop ^{11}B dapat terjadi dalam dua bentuk. Pertama, dihasilkan inti lithium dalam keadaan dasar dan partikel alpha. Kedua, dihasilkan partikel alpha dan inti lithium dalam keadaan tereksitasi dan menjadi inti stabil dengan melepaskan radiasi gamma [16].

Kedua partikel hasil reaksi $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ memiliki sifat karakteristik LET (Linear Energy Transfer) tinggi dan dapat merusak jaringan hingga susunan komponen sel kanker. LET adalah energi rerata yang didistribusikan oleh suatu radiasi pengion kedalam jaringan, satuannya adalah kiloelektronvolt per micrometer, keV/ μm . Energi partikel- α yang terdepositasi memiliki nilai LET sebesar 150 keV/ μm , sementara inti ^7Li memiliki LET sebesar 175 keV/ μm . Panjang lintasan kedua partikel tersebut memiliki rentang 4 μm sampai dengan 10 μm , sementara ukuran sel berada pada rentang \pm 18 μm sehingga reaksi tersebut hanya akan terjadi didalam sel-sel yang mengandung ^{10}B saja (sel kanker) [4, 17].

Radiasi yang ditimbulkan oleh partikel alpha dan inti lithium dapat merusak DNA di dalam sel. LET yang tinggi mengakibatkan DNA mengalami *Double Strands Break* (DSB) [18]. Akibat mengalami DSB, DNA tidak dapat memperbaiki diri dan tidak dapat melanjutkan proses tumbuh serta membelah. Dalam waktu tertentu, sel akan mati. Oleh karena itu, radiasi disebut dikatakan dapat membunuh sel [19]. Apabila radiasi tersebut hanya muncul di dalam sel kanker, maka hanya sel kanker saja yang akan dibunuh tanpa merusak sel sehat lainnya.

Seperti yang telah dijelaskan di awal, terapi BNCT memanfaatkan interaksi antara neutron thermal dengan ^{10}B . Untuk menghantarkan neutron thermal ke sel target, tubuh pasien akan diradiasi dengan neutron epithermal. Neutron epithermal tersebut kemudian akan mengalami moderasi oleh jaringan sehat dan menjadi neutron thermal di area sel kanker [19]. Saat meradiasi tubuh pasien, neutron akan berinteraksi dengan jaringan yang dilewatinya. Interaksi neutron tersebut dapat mengionisasi jaringan secara tidak langsung. Saat mengionisasi, energi radiasi akan terserap oleh jaringan tubuh sebagai dosis serap. Besarnya dosis serap bergantung pada masing-masing radiasi pengion.

Dalam BNCT, dosis serap bergantung pada beberapa komponen dosis radiasi, yaitu [20]:

1. Dosis gamma (D_γ), dosis gamma dalam jaringan terbentuk saat radiasi gamma mengionisasi jaringan tubuh. Dosis radiasi gamma dalam BNCT timbul saat neutron thermal berinteraksi dengan hidrogen $\text{H}(n,\gamma)\text{H}$. Besar energi gamma yang diradiasikan adalah 2.2 MeV.
2. Dosis neutron (D_n), dosis neutron dalam BNCT muncul akibat adanya reaksi hamburan neutron oleh hidrogen dalam jaringan tubuh. Interaksi hamburan tersebut dapat menghasilkan proton melalui reaksi $\text{H}(n,n')\text{p}$.
3. Dosis proton (D_p), dosis proton dalam BNCT timbul akibat adanya reaksi tangkapan neutron thermal oleh Nitrogen, reaksi ini menghasilkan proton dengan reaksi $\text{N}(n,p)\text{C}$. Proton hasil reaksi inilah yang akan mengionisasi jaringan tubuh pasien sehingga perlu dihitung sebagai komponen dosis radiasi.
4. Dosis $^{10}\text{B}(\text{D}_b)$, dosis boron timbul akibat adanya reaksi antara neutron thermal dan ^{10}B . Hasil reaksi ini adalah partikel alpha, inti lithium dan radiasi gamma yang akan mengionisasi sel kanker.

Kemampuan masing-masing radiasi pengion untuk mengionisasi jaringan tidaklah sama. Efek ionisasi pada jaringan tersebut bergantung pada masing-masing radiasi pengionnya. Dalam penghitungan dosis radiasi, kemampuan/kualitas masing-masing radiasi pengion memiliki bobotnya masing-masing. Bobot/ukuran nilai kemampuan radiasi pengion untuk mengionisasi jaringan disebut sebagai faktor kualitas. Untuk menghitung dosis radiasi total, keempat komponen dosis radiasi tersebut harus dikalikan dengan faktor kualitas tersebut [21]. Adapun besar nilai faktor kualitas untuk masing-masing radiasi pengion dalam BNCT disajikan dalam Tabel 3. Dengan demikian maka dosis radiasi total yang diterima jaringan tubuh adalah

$$D_t = D_\gamma \cdot W_\gamma + D_n \cdot W_n + D_p \cdot W_p + D_b \cdot W_b$$

Dosis boron (D_b) merupakan dosis yang paling penting dalam BNCT. Dosis boron (D_b) inilah yang akan menghancurkan sel-sel kanker [22].

Tabel 3. Faktor kualitas radiasi [22].

Sumber radiasi	Faktor kualitas radiasi	Simbol
Boron	3,8 (tumor) 1,3 (jaringan sehat)	W_b
Proton	3,2	W_p
Neutron hamburan	3,2	W_n
Gamma	1	W_γ

HASIL DAN PEMBAHASAN

Status Terkini BNCT di Dunia

Inovasi terapi kanker berbasis *Boron Neutron Captured Therapy* (BNCT) telah banyak dikembangkan oleh berbagai negara, seperti Amerika

Serikat, Taiwan, Jepang, Korea Selatan, Jerman, Swedia, Republik Ceko, Finlandia, dan China. Hal ini dikarenakan BNCT memiliki keunggulan dibanding terapi konvensional menggunakan kemoterapi maupun terapi radiasi lainnya. Keunggulan BNCT dibandingkan dengan terapi lainnya antara lain: senyawa BNCT memiliki target yang selektif pada sel kanker, memiliki toksisitas yang rendah terhadap jaringan normal, terlokalisasi cukup lama pada sel kanker selama aplikasi BNCT, dan hasil uji klinik menunjukkan respon klinik yang lebih baik dibandingkan dengan pasien kanker dengan terapi konvensional. Terapi dengan BNCT juga mampu menurunkan frekuensi treatment dan akhirnya berdampak pada pengurangan biaya yang harus dikeluarkan oleh pasien. Oleh karena itu pengembangan BNCT banyak dikembangkan oleh peneliti dari seluruh dunia hingga saat ini.

Uji klinik BNCT pertama kali dikembangkan di Amerika Serikat pada tahun 1950 hingga awal 1960-an. Senyawa yang digunakan untuk aplikasi BNCT pada saat itu adalah asam borat dan derivatifnya. Namun, senyawa tersebut bersifat toksik, tidak selektif dan hanya terserap dalam jumlah sedikit ke dalam sel kanker. Selanjutnya dikembangkan senyawa generasi kedua yang memiliki toksisitas lebih rendah dan dapat terlokalisasi dalam sel kanker lebih lama. Senyawa BNCT generasi kedua antara lain *p-boronophenylalanine* (BPA) dan *sulphydryl borane* (BSH). Uji klinik dengan BPA dan BSH ini kemudian diadopsi oleh Jepang, Finlandia, Swedia, untuk pasien kanker stadium lanjut. Senyawa BNCT generasi ketiga merupakan senyawa yang lebih stabil dan lebih spesifik dibandingkan dengan generasi sebelumnya. Senyawa ini dikembangkan dari biomolekul berukuran kecil ataupun antibodi monoklonal dengan target antara lain *Epidermal Growth Factor Receptor* (EGFR) yang terekspressi berlebihan pada sel kanker.

Di Jepang, riset dan pengembangan metode BNCT dilakukan dengan melakukan peningkatan kemampuan selektivitas senyawa ^{10}B untuk hanya terkonsentrasi pada sel kanker dan kemampuan untuk mengantarkan neutron thermal tepat ke area sel kanker. Senyawa ^{10}B yang dikembangkan berupa BPA dan BSH. BPA memiliki kelebihan yaitu dapat disisipi isotop pelabel ^{18}F , sehingga distribusi senyawa boron didalam tubuh pasien dapat dideteksi dengan *Positron Emission Tomography* (PET). Metode ini pertama kali diterapkan pada tahun 1994 dengan memanfaatkan sumber neutron yang berasal dari beamport reaktor riset di Kyoto University dengan hasil yang sesuai dengan harapan.

Beberapa uji klinis metode BNCT yang dilakukan di Jepang telah memberikan hasil yang memuaskan. Uji klinis dilakukan terhadap kanker otak, kanker leher dan kepala, kanker paru-paru dan kanker kulit. Untuk kanker otak, melalui pendeposisian dosis BNCT yang terkonsentrasi pada jaringan kanker, menyebabkan penyusutan ukuran kanker dengan sangat cepat (dalam 2 hari). Hasil ini

diamati menggunakan magnetic resonance imaging (MRI). Penyusutan ini terjadi lebih cepat jika dibandingkan dengan penyusutan akibat efek terapi dengan sinar-X. Pada terapi kanker paru-paru, metode BNCT memberikan hasil yang lebih memuaskan. Rasa sakit pasien yang sebelumnya merasakan sesak di bagian dada dan harus diatasi dengan pemberian morfin menghilang beberapa hari setelah ditreatment dengan metode BNCT. Pasien dapat bertahan hidup hingga sepuluh (10) bulan dari diagnose dokter yang memperkirakan usia pasien hanya tersisa paling lama dalam tiga (3) bulan. Pada terapi kanker Leher dan Kepala, BNCT berhasil menyusutkan ukuran kanker dengan signifikan. Selain itu, metode terapi kanker dengan BNCT untuk kanker Leher dan Kepala tidak menimbulkan efek berarti pada kulit pasien. Hal ini berbeda dengan metode terapi kanker dengan metode sinar-X yang dapat menimbulkan efek memar pada kulit pasien. Pada kanker kulit, dimana treatment tidak dapat dilakukan melalui mekanisme pembedahan (pengangkatan) maka BNCT menjadi salah satu pilihan alternative karena dapat menyembuhkan kanker kulit tanpa melalui operasi. Mengingat pesatnya kesuksesan tentang pengembangan metode terapi kanker berbasis BNCT, memicu peneliti-peneliti di Indonesia untuk ikut serta mengembangkan metode terapi kanker terbaru ini.

Status Terkini BNCT di Indonesia

Inisiasi pengembangan BNCT di Indonesia berawal dari keprihatinan yang mendalam dari para peneliti terkait insidensi dan prevalensi penyakit kanker. Pada awalnya, secara terpisah PSTA-BATAN dan UGM mengembangkan penelitian kanker sesuai bidangnya masing-masing. PSTA-BATAN mengembangkan teknologi nuklir, sedangkan UGM melalui Fakultas Farmasi mengembangkan obat kanker. Kolaborasi lembaga riset dan Perguruan tinggi ini berkomitmen untuk melakukan kerjasama pengembangan BNCT untuk terapi kanker yang selektif dan modern.

Pada tahun 2014 PSTA-BATAN mendapat kepercayaan untuk menjadi koordinator konsorsium riset insentif sistem inovasi nasional Kemenristek dengan judul Penelitian dan Pengembangan Teknologi dan Aplikasi *Boron Neutron Capture Therapy* (BNCT) dengan *Compact Neutron Generator*, yang melibatkan berbagai komponen antara lain dari Balitbangkes, RSUP DR Sarjito, RSUD Prof. Dr. Margono Prov Jateng, RSUD. Dr. Soedarso Pontianak Kalbar, PT. Kimia Farma, Fakultas Farmasi UGM dan UII, Fakultas Kedokteran UGM, UNTAN, Fakultas Teknik UGM, UNY, Fakultas MIPA UGM, UNY, UNS, UNNES, RS Antamedika Jakarta, RSUD Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga, Fakultas Sains dan Teknik UNSOED, serta Badan POM. Saat ini anggota konsorsium semakin bertambah dengan bergabungnya Fakultas Hukum UNSOED, Fakultas Ekonomi dan Bisnis UNSOED,

Universitas Udayana, dan pihak swasta seperti PT. Semesta Eltrindo Pura.

Pengembangan BNCT oleh tim Konsorsium BATAN dan UGM dimulai dari Program Insentif Riset SINas dengan judul topik Pengembangan Teknologi dan Aplikasi *Boron Neutron Capture Therapy* dengan *Compact Neutron Generator* pada bidang prioritas Iptek: Teknologi Kesehatan dan Obat dan Riset Pengembangan Alat Kesehatan pada tahun 2014. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mensinergikan dan mengintegrasikan kegiatan pengembangan teknologi dan aplikasi BNCT dengan CNG yang dimulai dari penyiapan eksperimen sistem BNCT berbasis beamport tembus radial reaktor riset Kartini. Untuk keperluan klinis, siklotron 30 MeV yang dapat menghasilkan neutron thermal sesuai dengan ketentuan IAEA untuk terapi BNCT akan diinstal di rumah sakit melalui program Teaching Factory. Sebagai insiasi, 2 (dua) rumah sakit yang dipilih untuk dijadikan sebagai tempat klinis BNCT adalah Rumah Sakit Murni Teguh Medan (melalui skema B to B) dan Rumah Sakit Akademik UGM (melalui skema G to G).

Berdasarkan hasil analisis rencana bisnis pada aspek keuangan, rencana bisnis pelayanan BNCT layak untuk dijalankan. Hal ini karena kebutuhan modal BNCT dapat diupayakan, selain itu rencana bisnis BNCT juga memiliki *payback period* lebih pendek dibanding dengan umur ekonomisnya, serta memiliki *Net Present Value (NPV)* yang bernilai positif. Sedangkan profitabilitas indeks rencana bisnis BNCT ini lebih tinggi dari 1 dan memiliki *Internal Rate of Return (IRR)* yang lebih tinggi dari tingkat bunga bank, sehingga secara keseluruhan metode-metode analisis keuangan pada rencana bisnis metode BNCT ini dapat dilanjutkan untuk menjadi sebuah bisnis yang berjalan. Tantangan selanjutnya untuk pengembangan metode BNCT di Indonesia terletak pada ketersediaan regulasi yang mengatur persyaratan perizinan dan keselamatan radiasi pemanfaatan metode BNCT.

Aspek Regulasi BNCT di Indonesia

Dari sisi regulasi, metode BNCT belum secara eksplisit disebutkan dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 29 Tahun 2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion Dan Bahan Nuklir atau dalam Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 3 Tahun 2013 Tentang Keselamatan Radiasi Dalam Penggunaan Radioterapi maupun dalam Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 17 Tahun 2012 Tentang Keselamatan Radiasi Dalam Kedokteran Nuklir. Metode BNCT merupakan kombinasi antara metode radioterapi dengan kedokteran nuklir terapi. Radioterapi adalah modalitas pengobatan dengan menggunakan Zat Radioaktif Terbungkus dan/atau Pembangkit Radiasi Pengion sedangkan Kedokteran Nuklir Terapi adalah metoda kedokteran yang dalam kegiatannya menggunakan radionuklida dan/atau Radiofarmaka

yang dimasukkan ke dalam tubuh pasien untuk tujuan terapi.

Pada metode BNCT, terapi yang dilakukan memanfaatkan radiofarmaka berupa senyawa ^{10}B dan juga pembangkit radiasi pengion khususnya partikel neutron. Oleh karena itu, metode BNCT dapat dikatakan sebagai metode kombinasi antara metode radioterapi dengan metode kedokteran nuklir terapi. Meskipun belum disebutkan secara eksplisit didalam peraturan perundang-undangan yang ada, persyaratan izin operasional metode BNCT sebenarnya sudah terwadahi oleh Perka BAPETEN nomor 3 tahun 2013 jika metode BNCT dimasukkan sebagai bagian dari salah satu metode radioterapi atau Perka BAPETEN nomor 17 tahun 2012 apabila BNCT dimasukkan kedalam bagian Kedokteran Nuklir. Mengingat pesatnya pengembangan metode terapi kanker berbasis BNCT ini, maka BAPETEN sebagai lembaga pengawas ketenaganukliran di Indonesia berupaya untuk menyediakan peraturan yang dapat secara spesifik mengatur tentang perizinan dan keselamatan radiasi dalam pemanfaatan metode BNCT di Indonesia.

KESIMPULAN

Metode BNCT merupakan metode terapi kanker yang sangat menjanjikan untuk dikembangkan sebagai salah satu metode untuk mengatasi penyakit kanker di Indonesia. Sebagai salah satu metode terapi yang baru, pengoperasiannya membutuhkan perizinan dari lembaga yang berwenang. BAPETEN sebagai lembaga pengawas ketenaganukliran di Indonesia berupaya menyediakan peraturan yang dapat secara spesifik mengatur tentang perizinan dan keselamatan radiasi dalam pemanfaatan metode BNCT di Indonesia. Saat ini, Perka BAPETEN nomor 3 tahun 2013 dan Perka BAPETEN nomor 17 tahun 2012 masih dianggap mampu mewartakan perkembangan metode BNCT di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Moss, R.L., 2014, Critical review, with an optimistic outlook on Boron Neutron Capture Therapy (BNCT). *Applied Radiation and Isotopes* vol. 88, hal. 2–11
- [2] Saurwein, W.A.G., Wittig, A., Moss, R.L., dan Nakagawa, Y., 2012, *Neutron Capture Therapy*, London: Springer VBH.
- [3] Wang, Z., Morris, C.L., Bacon J.D., Brockwell, M.I., dan Ramsey, J.C., 2014, A double helix neutron detector using micron-size ^{10}B powder, *LANL*.
- [4] Saurwein, W.A.G., dan Moss, R.L., 2009, Requirements for Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) at a Nuclear Research Reactor. Luxemburgo: Office for Official Publications of the European Communities.
- [5] Kreiner, A.J., Baldo, M., Begueiro, J.R., Cartelli,

- D., Castell, W., Vento, V.T., Asoia, J.G., Mercuri, D., Padulo, J., Sandin, C.S., Erhardt, J., Kesque, J.M., Valda, A.A., Debray, M.E., dan Carranza, O., 2014, Accelerator-based BNCT, *Applied Radiation and Isotopes*, vol. 88, hal. 185–189.
- [6] Kasezas, Y., Khala, H., dan Rahmani, F., 2013, Optimization of the Beam Shaping Assembly in the D – D Neutron Generators-based BNCT using the Response Matrix Method, *Applied Radiation and Isotopes*, vol. 82, hal. 55–59.
- [7] Yu, H.T., Liu, H., Lin, T.L., dan Wang, L.W., 2011, BNCT treatment planning of recurrent head-and-neck cancer using THORplan, *Applied Radiation and Isotopes*, vol. 69, no. 12, hal. 1907–1910.
- [8] Suzuki, M., Tanaka, H., Sakurai, Y., Kashino, G., Yong, L., Masunaga, S., Kinashi, Y., Mitsumoto, T., Yajima, S., dan Ono, K., 2009, Impact of accelerator-based boron neutron capture therapy (AB-BNCT) on the treatment of multiple liver tumors and malignant pleural mesothelioma,” *Radiotherapy and Oncology*, vol. 92, no. 1, hal. 89–95.
- [9] Tanaka, H., Sakurai, Y., Suzuki, M., Takata, T., Masunaga, S., Kinashi, Y., Kashino, G., Mitsumoto, T., Yajima, S., Tsutsui, H., Takada, M., dan Ono, K., 2009, Improvement of dose distribution in phantom by using epithermal neutron source based on the Be(p,n) reaction using a 30 MeV proton cyclotron accelerator, *Applied Radiation and Isotopes*, vol. 67, hal. 258–261.
- [10] Capoulat, M.E., Herrera, M.S., Minsky, D.M., Gonzales, S.J. dan Kreiner A.J., 2014, Be (d,n) 10 B-based neutron sources for BNCT, *Applied Radiation and Isotopes*, vol. 88, hal. 190–194.
- [11] Sakurai, Y., Tanaka, H., Takata, T., Watanabe, T., Kondo, N., Kinashi, Y., Masunaga, S., Suzuki, M., Ono, K., and Maruhashi, A., 2017, Current Status of BNCT based on Research Reactor R&D in Japan, *The 3rd International Symposium On The Application Of Nuclear Technology As A Key To Promote Competitive National Product : Energy, Healty, Agriculture, Industry, and Environment*, UNDIKSHA, Bali: 9-14 Agustus 2018.
- [12] Bavarnegin, E., Kasesaz, Y., Wagner, F. M., 2017, Neutron beams implemented at nuclear research reactorsfor BNCT, *Journal of Instrumentation*, vol. 12, JINST 12 P05005.
- [13] Kreiner, A. J., Bergueiroa, J., Cartelli, D., et al., 2016, Present status of Accelerator-Based BNCT, *Reports OfPractical Oncology And Radiotherapy*, vol. 21, no. 2, hal. 95–101.
- [14] Yokoyama, K., Miyatake, SI., Kajimoto, Y. et al. J Neurooncol (2006) 78: 227.
- [15] Anonim, 2014, PSTA-Batan Kembangkan Teknologi BNCT untuk sembuhkan Kanker, Biro Humas dan Protokol Provinsi Kalbar.
- [16] Martin, J.E., 2006, *Physics for Radiation Protection*, 2nd ed. Weinheim: Willey-Vch Verlag GmbH & Co.
- [17] Podgorsak, E.B., 2010, Biological and Medical Physics, *Biomedical Engineering*, 2nd ed. London: Springer VBH.
- [18] Beyzadeoglu, M., Ebruli, C., dan Gokhan, O., 2010, *Basic Radiation Oncology*, London: Springer VBH.
- [19] American Cancer Society, 2014, The Science Behind Radiation Therapy. www.cancer.org, diakses tanggal 26 Februari 2015.
- [20] Deng, L., Chen, C., Ye, T., dan Li, G., 2001, The Dosimetry Calculation for Boron Neutron Capture Therapy. Shanghai-China: INTECH
- [21] Faghihi, F., dan Khalili, S., 2013, Beam Shaping Assembly of a D – T Neutron Source for BNCT and its Dosimetry Simulation in Deeply-seated Tumor, *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 89, hal. 1–13.
- [22] Rasouli, F.S. dan Masoudi, S.F., 2012, Design and Optimization of a Beam Shaping Assembly for BNCT based on D-T Neutron Generator and Dose Evaluation using a Simulated Head Phantom, *Applied Radiation and Isotopes*, vol. 70, no. 12, hal. 2755-2762.

NO	Nama penanya	Kode Makalah	Nama Penyaji	Pertanyaan dan Jawaban
1.	Mukhlisin (BAPETEN)	OA14	I Made Ardana (BAPETEN)	<p>1. Bagaimana konstruksi shielding BNCT?</p> <p>2. Regulasi yg cocok utk BNCT mengacu pada perka 3 atau Perka 17 ?</p> <p>3. Personil BNCT yg Sp.OnkRad atau Sp. KN?</p> <p>Jawab:</p> <p>1. Utk shielding system BNCT berbasis siklotron 30 MeV telah digunakan shielding berbahan beton barite dg ketebalan 3 meter.</p> <p>2. Regulasi yg sesuai utk BNCT adalah kombinasi antara kedua perka 3 dan perka 17. Karena metode BNCT memanfaatkan partikel radiasi + radiofarmaka.</p> <p>3. Karena memanfaatkan partikel radiasi</p>

				(radioterapi) dan radiofarmaka, maka keduanya terlibat.
2.	Sudradjat (BAPETEN)	OA14	I Made Ardana (BAPET EN)	<p>1. BNCT dihasilkan dari 3 cara, yaitu dari reactor nuklir, linier akselerator, dan linier CNG. Bagaimana produksi BNCT dari sisi cost?</p> <p>Jawab:</p> <p>1. Lebih murah/efisien jika diproduksi dari CNG (Compact Neutron Generator) apabila digunakan di RS. Namun akan lebih efektif jika dengan Siklotron 30 MeV, lebih singkat waktu terapinya. (30 menit/terapi)</p>

OA15

ANALISIS PENGGUNAAN METODE T-TEST DALAM PENGECEKAN ANTARA PADA ALAT UKUR X-RAY MULTIMETER UNTUK UJI KESESUAIAN

Haendra Subekti¹, Endang Kunarsih²

¹Direktorat Keteknikan dan Kesiapsiagaan Nuklir – BAPETEN

²Pusat Pengkajian Sistem Teknologi dan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif – BAPETEN

e-mail: h.subekti@bapeten.go.id

ABSTRAK

ANALISIS PENGGUNAAN METODE T-TEST DALAM PENGECEKAN ANTARA PADA ALAT UKUR X-RAY MULTIMETER UNTUK UJI KESESUAIAN. Pengecekan antara terhadap alat ukur merupakan suatu proses untuk menjamin unjuk kerja dari alat ukur tersebut. Dalam makalah ini dilakukan eksperimen untuk mengetahui kemampuserapan metode *t-test* dalam proses pengecekan antara. Analisis dilakukan berdasarkan *benchmark* antara metode *t-test* dengan metode *control chart*. Sampel data ukur berupa besaran tegangan dan kerma udara, yang diambil pada periode 2016-2017 dengan kondisi suhu 18,9 – 21,0 °C, kelembaban 57 - 65%, SDD 100 cm dan luas lapangan penyinaran 25 x 25 cm². Hasil analisis menunjukkan bahwa metode *t-test* mampu terap untuk digunakan dalam evaluasi pengecekan antara.

Kata kunci: pengecekan antara, *t-test*, *X-ray multimeter*

ABSTRACT

ANALYSIS OF T-TEST METHOD USED FOR INTERMEDIATE CHECK OF X-RAY MULTIMETER FOR COMPLIANCE TEST MEASURING DEVICE. *Intermediate check is a process to ensure the performance of the measuring instrument. In this paper an experiment was conducted to find out whether the t-test method was capable of being applied to the intermediate check. The analysis is based on benchmark between t-test method and control chart method. The data sample is the quantity of voltage and air kerma, taken in the period 2016-2017 with condition are: temperature 18,9 – 21,0 °C, humidity 57 - 65%, SDD 100 cm and field area 25 x 25 cm². The analysis results showed that t-test method is capable of being used for evaluating intermediate check of X-ray multimeter.*

Keywords: *intermediate check, t-test, X-ray multimeter*

PENDAHULUAN

Seiring dengan implementasi regulasi tentang uji kesesuaian pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional, penggunaan alat ukur *non-invasive* untuk pengujian pesawat sinar-X, yang biasa disebut *X-ray multimeter*, meningkat dengan cukup signifikan. *X-ray multimeter* merupakan peralatan utama dalam pengujian pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional karena digunakan untuk mengukur besaran utama yang dihasilkan pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional, yaitu tegangan puncak, waktu eksposi, kerma, kualitas berkas (HVL) dan kuat arus.

Segmen pengguna *X-ray multimeter* cukup luas sesuai dengan kepentingannya masing-masing, antara lain produsen untuk melakukan uji produk, instalatir untuk melakukan uji fungsi, laboratorium penguji untuk melakukan uji kesesuaian, badan pengawas untuk kepentingan inspeksi, fasilitas kesehatan untuk melakukan kendali mutu, perguruan tinggi untuk kepentingan pendidikan, lembaga penelitian untuk kepentingan riset, dan lembaga pelatihan untuk kepentingan pelatihan. Mengingat beragamnya tujuan penggunaan *X-ray multimeter*, makalah ini membatasi pembahasan pada penggunaan *X-ray multimeter* untuk tujuan pengujian

pesawat sinar-X oleh laboratorium penguji atau Lembaga Uji Kesesuaian (LUK).

Saat ini jumlah LUK yang ditunjuk oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) per Mei 2018 sebanyak 44 (empat puluh empat) instansi. Jumlah *X-ray multimeter* yang telah dimiliki oleh LUK sekitar 83 set dengan berbagai merk/model.

Berdasarkan Peraturan BAPETEN Nomor 2 Tahun 2018 tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensial [1], Pasal 33 dan 34 menyatakan bahwa kalibrasi peralatan uji kesesuaian pesawat sinar-X dilakukan secara berkala paling sedikit 1 (satu) kali dalam 2 (dua) tahun. Namun demikian, dalam kurun waktu 2 (dua) tahun tersebut *X-ray multimeter* berpotensi mengalami *drift*, yaitu perubahan mutu metrologis alat ukur, misalnya perubahan nilai koreksi (atau nilai penyimpangan) dari waktu ke waktu. *Drift* yang dialami *X-ray multimeter* dapat terjadi karena kondisi lingkungan, penuaan komponen atau kualitas material/komponen. Oleh karena itu, pengecekan antara (*intermediate check*) dalam masa kalibrasi perlu dilakukan untuk mengetahui perubahan kondisi pada parameter *X-ray multimeter*. Semakin sering pengecekan antara dilakukan semakin baik karena dapat diketahui karakteristik dan unjuk kerja alat

terkini. Namun, jadwal pengecekan antara tetap mempertimbangkan beban kerja laboratorium.

Untuk menjamin kepercayaan terhadap unjuk kerja alat ukur melalui proses pengecekan antara, metode yang saat ini banyak digunakan adalah *control chart*. *Control chart* dapat memberikan gambaran unjuk kerja alat ukur secara historis selama alat ukur tersebut digunakan. Data ukur hasil pengecekan antara yang dimasukkan dalam *control chart* akan dapat dievaluasi unjuk kerjanya apakah masih dalam rentang *baseline* ataukah telah menyimpang.

Untuk membuat *control chart* bagi *X-ray multimeter*, diperlukan sumber radiasi berupa pesawat sinar-X dengan spesifikasi yang sesuai dengan rentang pengukuran alat ukur. Metode *control chart* juga mensyaratkan pembuatan baseline selama 10 (sepuluh) hari berturut-turut. Kondisi lingkungan dan kondisi pesawat sinar-X untuk pengecekan antara harus dipertahankan sama karena akan signifikan mempengaruhi hasil pengukuran. Hal inilah yang menjadi kendala dalam melakukan pengecekan antara secara berkala, yaitu ketersediaan pesawat sinar-X yang tetap dari waktu ke waktu. Saat ini, hanya 3 (tiga) LUK yang memiliki pesawat sinar-X sehingga 41 (empat puluh satu) LUK lainnya tidak memiliki sehingga akan terkendala dalam mengimplementasikan pengecekan antara dengan metode *control chart*.

Metode alternatif perlu dipertimbangkan untuk mengatasi kendala di atas. Makalah ini mengusulkan penggunaan metode *t-test* untuk evaluasi pengecekan antara *X-ray multimeter* secara efisien. Meskipun tetap membutuhkan pesawat sinar-X sebagai sumber radiasi, namun pesawat sinar-X yang digunakan untuk pengecekan antara dapat berbeda-beda. Besaran yang akan dianalisis juga perlu ditetapkan agar pemantauan dapat efektif. Diharapkan, metode *t-test* ini dapat diterapkan sebagai salah satu implementasi penjaminan mutu hasil pengukuran/pengujian.

LANDASAN TEORI

a) Pengecekan antara (*intermediate check*)

Informasi unjuk alat ukur (nilai deviasi/koreksi dan ketidakpastian) dapat diketahui dari sertifikat kalibrasi, namun perlu diingat bahwa sesungguhnya informasi tersebut hanya relevan apabila kondisi pengukuran sesuai dengan kondisi pada saat kalibrasi. Sesuai dengan ISO/IEC 17025:2017 [2], dijelaskan bahwa:

- setiap laboratorium harus membuat program kalibrasi peralatan, yang mana harus direview dan diambil tindakan untuk menjaga keyakinan terhadap status kalibrasi. Apabila diperlukan, pengecekan antara terhadap peralatan di antara periode kalibrasi harus dilakukan.
- untuk menjamin kepercayaan terhadap unjuk kerja peralatan dan menjamin keabsahan hasil pengukuran perlu dilakukan pengecekan antara.

Pengecekan antara merupakan suatu pengujian untuk mengkonfirmasi apakah penyimpangan antara nilai yang ditampilkan oleh alat ukur dan nilai yang telah diketahui dari besaran yang diukur selalu lebih kecil dari kesalahan maksimum yang diperbolehkan oleh standar, peraturan atau spesifikasi khusus dalam mengelola peralatan ukur. Sebagai contoh, sertifikat kalibrasi salah satu *X-ray multimeter* menyatakan limit deviasi yang ditetapkan oleh pabrikan sebagai spesifikasi sebagaimana dalam Tabel 1.

Tabel 1. Contoh informasi teknis dalam sertifikat kalibrasi

Standard kV	Deviation from standard	Deviation limit	Uncertainty
49.91	0.0%	1.5%	0.5%
69.91	0.1%	1.5%	0.5%
99.82	0.6%	1.4%	0.6%
149.6	0.3%	1.3%	0.7%
79.90	0.9%	1.2%	0.8%

Sumber: sertifikat kalibrasi alat ukur milik BAPETEN

Pengecekan antara diperlukan untuk memelihara kepercayaan status kalibrasi dan harus dilaksanakan sesuai dengan prosedur dan jadwal yang ditetapkan. Dengan demikian, program dan jadwal kalibrasi hendaknya mencakup juga jadwal pengecekan antara. Dalam Peraturan BAPETEN Nomor 2 Tahun 2018 [1] Pasal 32, dinyatakan bahwa pengecekan antara terhadap peralatan uji kesesuaian harus dilakukan paling sedikit 1 (satu) kali dalam masa kalibrasi untuk memberikan keyakinan pada unjuk kerja peralatan.

Hasil pengecekan antara akan dipakai sebagai bahan pertimbangan dalam menetapkan apakah peralatan ukur tetap dapat dipakai, perlu dilakukan penyetelan, diperbaiki, diturunkan tingkatnya, atau bahkan tidak dapat dipakai lagi.

b) *Control chart*

Kendali mutu merupakan bagian dari sistem mutu dan harus direview secara berkala. Alat ukur yang memengaruhi hasil pengujian harus diberikan pengendalian untuk memastikan bahwa unsur kedapatulangan, reproduksibilitas, dan bias dapat dipenuhi. Salah satu sarana untuk mengendalikan mutu alat ukur adalah penggunaan *control chart*. Salah satu tipenya adalah *X-chart* yang berbasis pada distribusi nilai ukur yang mendekati nilai sesungguhnya. *Chart* ini dapat digunakan untuk memantau kombinasi efek acak dan sistematis terhadap nilai ukur pada hasil tunggal atau rerata dari analisis jamak. [3]

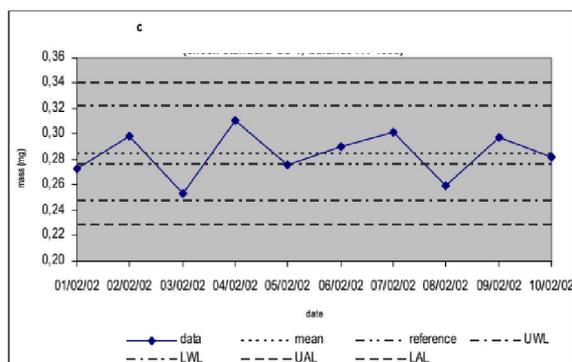
KAN-G-06 [4] menyebutkan bahwa *control chart* dalam konteks pengukuran adalah sarana grafis yang digunakan untuk memvisualisasikan data guna keperluan pemantauan, evaluasi, dan peningkatan proses pengukuran mengingat:

- 1) pemantauan dan evaluasi merupakan bagian dari pengendalian proses melalui tindakan korektif dan peningkatan proses; dan

- 2) proses pengukuran mencakup evaluasi beberapa faktor yang berkontribusi antara lain standar, kegiatan pengambilan data, variabilitas, ketidakpastian, kondisi lingkungan dan kinerja staf.

Tipe chart yang biasanya digunakan disebut *Variable Control Chart*. Tipe chart ini dicirikan dengan adanya nilai/hasil pengukuran yang diplot, nilai X (variabel), nilai rerata atau nilai acuan berdasarkan kalibrasi, dan batas peringatan/kontrol atas/bawah. Tipe chart ini sesuai untuk mendeteksi perubahan besar tetapi tidak sesuai untuk mendeteksi perubahan kecil ($\frac{1}{2}$ hingga 1 kali standar deviasi) dengan cepat dalam proses.

Sesuai KAN-G-06, *control chart* untuk alat ukur dimulai dengan membuat baseline data pengukuran sebanyak 10 (sepuluh) hari berturut-turut. Berdasarkan data pengukuran tersebut, dibuat *control chart* dengan membuat plot nilai pengukuran, nilai rerata, batas peringatan atas/bawah (UWL = *upper warning level* dan LWL = *lower warning level*) yang bernilai $\mu \pm 2\sigma$, dan batas tindakan atas/bawah (UAL = *upper action level* dan LAL = *lower action level*) yang bernilai $\mu \pm 3\sigma$, dengan catatan sebagai sumbu X adalah tanggal pengukuran.



Gambar 1. Contoh *control chart* sesuai KAN-G-06

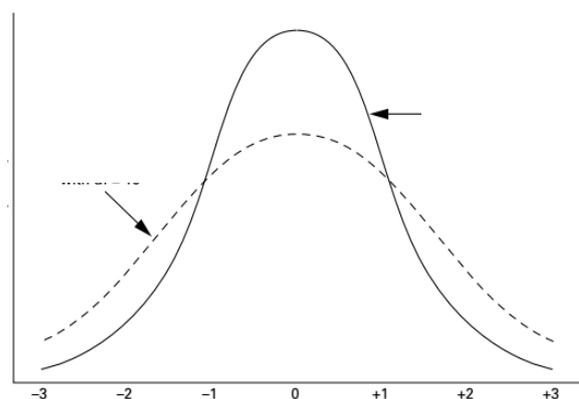
Pengukuran berikutnya dilakukan secara berkala sesuai jadwal yang ditetapkan, misalnya 3 atau 6 bulan sekali. Pengukuran berikutnya itu disebut juga pengecekan antara. Data pengukuran berikutnya diplot dalam *control chart* dengan sumbu X adalah tanggal pengukuran berikutnya. Apabila data pengukuran atau plot berada di antara UWL dan LWL, alat ukur dinyatakan masih dalam kondisi baik. Apabila data pengukuran atau plot berada di antara UWL dan UAL atau di antara LWL dan LAL, alat ukur perlu dipantau lebih sering karena ada indikasi penyimpangan. Apabila data pengukuran atau plot berada di atas UAL atau di bawah LAL, alat ukur perlu dihentikan penggunaannya dan dicek lebih lanjut karena terjadi penyimpangan dari data *baseline*.

c) *T-test* (uji-t)

Salah satu kegiatan statistik induktif adalah menguji sebuah hipotesis (dugaan sementara). Dalam melakukan uji hipotesis, ada banyak faktor yang

menentukan, seperti apakah sampel yang diambil berjumlah banyak atau hanya sedikit; apakah standar deviasi populasi diketahui; apakah varians populasi diketahui; metode parametrik apakah yang dipakai, dan seterusnya. [5]

Jika ukuran sampel kurang dari 100, efek variasi dalam kelompok menjadi lebih besar. Dalam kasus ini, distribusi normal digantikan dengan distribusi *t*. Tidak seperti distribusi normal, bentuk distribusi *t* tergantung ukuran sampel sebagaimana disajikan dalam Gambar 2. Bentuknya selalu simetris. Dengan ukuran sampel yang kecil kurva menjadi lebih rata dan memiliki “ekor” lebih panjang. Namun dengan meningkatnya ukuran sampel, kurva akan terdistribusi secara normal. [6]



Gambar 2. Kurva distribusi *t* dibandingkan distribusi normal

Penggunaan distribusi *t* dalam *t-test* berfungsi untuk mendapatkan nilai frekuensi dari distribusi *t* sesuai tingkat kepercayaannya, yang selanjutnya disebut dengan nilai t_{tabel} .

Untuk melakukan *t-test*, dalam konteks pengecekan antara alat ukur, harus dibuat hipotesis H_0 yaitu kondisi alat ukur saat ini tetap sama atau tidak berbeda dengan kondisi alat ukur saat masih baru atau setelah dilakukan kalibrasi yang terakhir.

T-test (disebut juga *Student's T-Test*) umumnya digunakan untuk mengetahui perbedaan yang signifikan antara dua sampel. Dua sampel ini dapat berukuran sama atau berbeda. Jenis *t-test* terdiri dari:

- 1) Dua sampel berhubungan (*corelated*)
 - *paired t-test* (*before after*)
- 2) Dua sampel bebas (*uncorelated*)
 - varian homogen; atau
 - varian heterogen.

Oleh karena itu dalam konteks pengecekan antara alat ukur digunakan model *t-test* dua sampel dengan pertimbangan jumlah sampel tidak besardan varians populasi tidak diketahui.

Sebelum melakukan *t-test*, dilakukan uji homogenitas varian untuk mengetahui apakah varians sama atau berbeda dengan persamaan:

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} \quad (\text{persm 1.})$$

$$df_1 = n_1 - 1 \quad (\text{persm 2.})$$

$$df_2 = n_2 - 1 \quad (\text{persm 3.})$$

dengan

F = nilai F hitung

s_1^2 = nilai varian terbesar

s_2^2 = nilai varian terkecil

n_1 = jumlah sampel pada kelompok varian terbesar

n_2 = jumlah sampel pada kelompok varian terkecil

df_1 = derajat kebebasan pada kelompok varian terbesar

df_2 = derajat kebebasan pada kelompok varian terkecil

Setelah diperoleh nilai F_{hitung} , tentukan nilai F_{tabel} pada probabilitas = 0,05 dengan df_1 sebagai pembilang dan df_2 sebagai penyebut. Apabila $F_{hitung} < F_{tabel}$, varians dianggap homogen atau sama, dan sebaliknya apabila $F_{hitung} > F_{tabel}$, varians dianggap heterogen atau berbeda.

Untuk varians homogen atau sama, nilai t diperoleh dengan persamaan:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{n_1+n_2-2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} \quad (\text{persm 4.})$$

$$df = n_1 + n_2 - 2 \quad (\text{persm 5.})$$

Sedangkan untuk varians heterogen atau berbeda, nilai t diperoleh dengan persamaan:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \quad (\text{persm 6.})$$

$$df = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{1}{n_1-1} \left(\frac{S_1^2}{n_1}\right)^2 + \frac{1}{n_2-1} \left(\frac{S_2^2}{n_2}\right)^2} \quad (\text{persm 7.})$$

dengan:

t = nilai t hitung

\bar{X}_1 = rata-rata sampel kelompok 1

\bar{X}_2 = rata-rata sampel kelompok 2

n_1 = jumlah sampel kelompok 1

n_2 = jumlah sampel kelompok 2

df = derajat kebebasan

Setelah diperoleh nilai t_{hitung} , tentukan nilai t_{tabel} pada $\alpha = 0,05$ dan df . Apabila $t_{hitung} < t_{tabel}$, hipotesis H_0 diterima, dan sebaliknya apabila $t_{hitung} > t_{tabel}$, hipotesis H_0 ditolak.

METODOLOGI

Dalam makalah ini, digunakan metode eksperimen, dengan tahapan: pengambilan data ukur, analisis data, *benchmarking*, dan perumusan hasil. Pengambilan data dilakukan di laboratorium uji kesesuaian BAPETEN periode 2016 - 2017.

- Besaran yang akan menjadi obyek analisis adalah tegangan dan kerma.
- Spesifikasi *X-ray multimeter* yang digunakan sebagai obyek uji adalah:

Komponen	Merk/ Tipe	S/N	Firm-ware	Kalibrasi
Sensor R/F	Raysafe X2	214160	X2 R/F 4.18	18-06-2015
Base Unit	Raysafe X2	212751	X2 Base Unit 3.8	NA

- Pesawat sinar-X yang digunakan sebagai sumber radiasi adalah:

Jenis	Pesawat sinar-X mobile
Merk	Siemen Polymobil Plus
Model	101878100
Spesifikasi	- Rentang tegangan: 40 – 125 kV - Rentang kuat arus waktu: 0,32 – 250 mAs - Rentang SID: 42 – 189,5 cm - Filter: 3 mm Al

- Kondisi lingkungan pada saat pengujian yaitu suhu 18,9 – 21,0 °C dan kelembaban 57 - 65%.
- Seting peralatan yang digunakan dalam pengujian yaitu *source to detector distance* (SDD) 100 cm dan luas lapangan penyinaran 25 x 25 cm².

Selanjutnya dilakukan pembuatan *control chart* sesuai Instruksi Kerja No. IK/DK2N.2/NN.11 Revisi 1 [7] dan analisis *t-test* terhadap 2 sampel independen. Untuk pembuatan *control chart, baseline* menggunakan data pada Maret 2016 dan pengecekan antara menggunakan data pada April 2017. Untuk *t-test*, sampel 1 adalah data *baseline* pada Maret 2016 dan sampel 2 adalah data pengecekan antara pada April 2017. Hasil *t-test* dibandingkan terhadap *control chart* sebagai *benchmarking*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

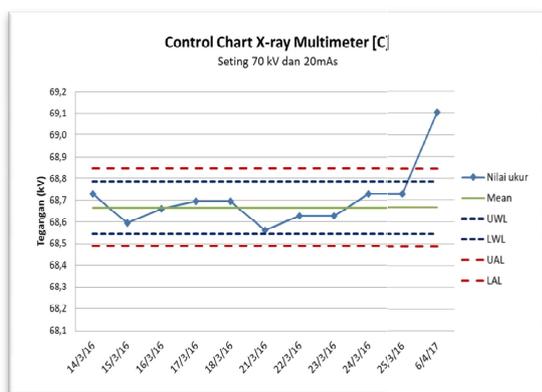
1. Analisis data untuk masing-masing besaran.

a) Tegangan puncak

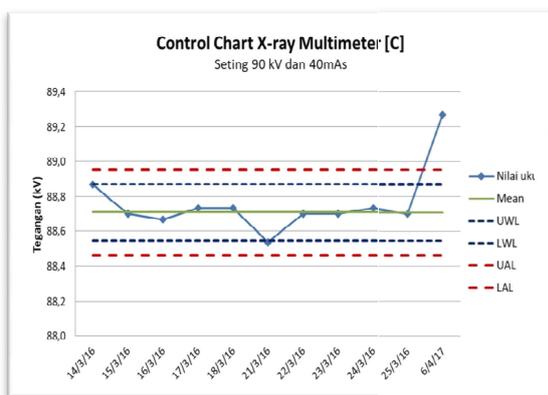
Sampel data untuk besaran tegangan puncak dilakukan analisis pada kondisi 70 kV; 20 mAs dan 90 kV; 20 mAs, dengan data ukur disajikan pada Tabel 2. Berdasarkan data pada Tabel 2, disusun *control chart* untuk tegangan pada kondisi 70 kV; 20 mAs dan 90 kV; 20 mAs, yang disajikan pada Gambar 3 dan Gambar 4.

Tabel 2. Sampel data ukur tegangan pesawat sinar-X (satuan kV)

No.	70 kV ; 20 mAs		90 kV ; 20 mAs	
	Baseline	Cek antara	Baseline	Cek antara
1.	68,7	69,1	88,9	89,3
2.	68,6	69,1	88,7	89,2
3.	68,7	69,0	88,7	89,4
4.	68,7		88,7	
5.	68,7		88,7	
6.	68,6		88,5	
7.	68,6		88,7	
8.	68,6		88,7	
9.	68,7		88,7	
10.	68,7		88,7	
n	10	3	10	3
\bar{X}	68,67	69,11	88,71	89,27
s	0,0596	0,0579	0,0811	0,1003



Gambar 3. Control chart tegangan pada 70 kV



Gambar 4. Control chart tegangan pada 90 kV

Pada Gambar 3 dan Gambar 4, nampak bahwa hasil pengecekan antara (April 2017) untuk besaran tegangan pada *X-ray multimeter* memberikan plot yang berada di luar kontrol (tepatnya di atas UAL). Pada Gambar 3, data pengecekan antara 69,10 kV dan nilai UAL 68,49 kV. Pada Gambar 4, data

pengecekan antara 89,27 kV dan nilai UAL 88,95 kV. Hasil ini merekomendasikan agar *X-ray multimeter* tersebut dihentikan penggunaannya dan dicek lebih lanjut. Apabila *X-ray multimeter* tetap digunakan, hasil pengukuran tegangan puncak berpotensi tidak akurat karena unjuk kerja *X-ray multimeter* telah menyimpang di luar kontrol. Inilah manfaat dari pengecekan antara, yaitu dapat mencegah hasil pengukuran yang tidak akurat dikarenakan unjuk kerja alat ukur.

Selanjutnya, menggunakan data pada Tabel 2, dilakukan *t-test* untuk tegangan 70 kV dan 90 kV dengan sampel 1 adalah data baseline, dan sampel 2 adalah data pengecekan antara. Dalam hal ini hipotesis H_0 adalah hasil ukur pada saat pengecekan antara sama dengan hasil ukur pada *baseline*. Hasil *t-test* disajikan pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Pada Tabel 4, uji homogenitas memberikan hasil bahwa kedua sampel memiliki varians homogen atau sama, dan *t-test* memberikan hasil $t_{hitung} = -11,244$ dan $t_{tabel} = 2,201$ sehingga H_0 diterima. Hasil ini bisa diinterpretasikan bahwa kondisi kinerja alat ukur sama atau tetap stabil. Namun demikian, hasil *t-test* dan *control chart* menunjukkan kesimpulan yang berlawanan, *t-test* menyatakan kondisi alat ukur tetap sama, sedangkan *control chart* menyatakan kondisi alat di luar rentang kontrol.

Tabel 4. *T-test* untuk tegangan 70 kV

	Sampel 1 (baseline)	Sampel 2 (cek antara)
Parameter sampel	$n = 10$ $\bar{X} = 68,67$ kV $s = 0,0596$	$n = 3$ $\bar{X} = 69,11$ kV $s = 0,0579$
Uji homogenitas	$F_{hitung} = 1,13$ $F_{tabel} = 19,38$ ($p = 0,05$) $F_{hitung} < F_{tabel} \rightarrow$ varians homogen	
<i>t-test</i> untuk varians homogen	$t_{hitung} = -11,244$ $t_{tabel} = 2,201$ ($df = 11$ dan $\alpha = 0,05$) $t_{hitung} < t_{tabel} \rightarrow H_0$ diterima	

Pada Tabel 5, uji homogenitas memberikan hasil bahwa 2 sampel memiliki varians homogen atau sama, dan *t-test* memberikan hasil $t_{hitung} = 9,984$ dan $t_{tabel} = 2,201$ sehingga H_0 ditolak. Apabila H_0 ditolak, artinya hasil ukur pada saat pengecekan antara tidak sama dengan hasil ukur pada *baseline*, dan hasil ini bisa diinterpretasikan bahwa terdapat perubahan kondisi kinerja alat ukur saat ini dibandingkan dengan *baseline*. Dengan demikian hasil *t-test* dan *control chart* menunjukkan kesimpulan yang sama yaitu terjadi perbedaan hasil ukur antara 2 sampel, yang dapat ditafsirkan terdapat perubahan kondisi unjuk kerja alat ukur.

Tabel 5. *T-test* untuk tegangan 90 kV

	Sampel 1 (baseline)	Sampel 2 (cek antara)
Parameter sampel	$n = 10$ $\bar{X} = 88,71$ kV $s = 0,0811$	$n = 3$ $\bar{X} = 89,27$ kV $s = 0,1003$
Uji homogenitas	$F_{hitung} = 2,34$ $F_{tabel} = 4,26$ ($p = 0,05$)	

	$F_{hitung} < F_{tabel} \rightarrow$ varians homogen
<i>t</i> -test untuk varians homogen	$t_{hitung} = 9,984$ $t_{tabel} = 2,201$ ($df = 11$ dan $\alpha = 0,025$) $t_{hitung} > t_{tabel} \rightarrow H_0$ ditolak

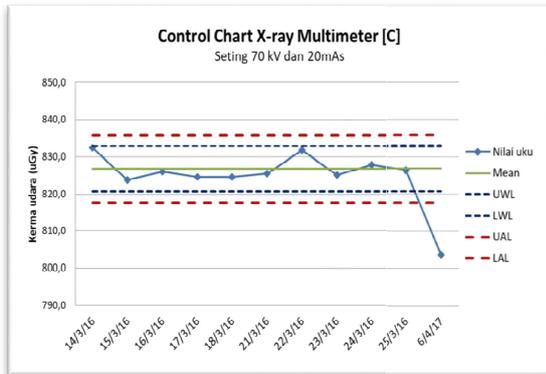
b) Kerma udara

Sampel data untuk besaran kerma udara, dilakukan analisis pada kondisi 10 mAs ; 50 kV dan 20 mAs ; 70 kV dengan data ukur disajikan pada Tabel 6.

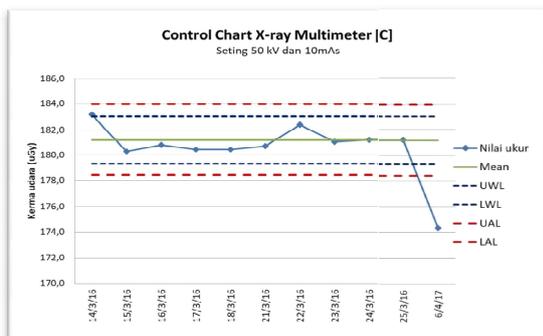
Tabel 6. Sampel data ukur kerma udara pesawat sinar-X (satuan μ Gy)

No.	10 mAs ; 50 kV		20 mAs ; 70 kV	
	Baseline	Cek antara	Baseline	Cek antara
1.	183,2	176,7	832,5	803,5
2.	180,3	177,0	823,8	804,3
3.	180,8	176,8	826,1	803,3
4.	180,5		824,5	
5.	180,5		824,5	
6.	180,7		825,5	
7.	182,4		831,7	
8.	181,1		825,1	
9.	181,2		827,9	
10.	181,2		826,4	
<i>n</i>	10	3	10	3
\bar{X}	181,18	174,36	826,80	803,69
<i>s</i>	0,9213	0,1506	3,0274	0,5217

Berdasarkan data pada Tabel 6, disusun *control chart* untuk besaran kerma udara pada kondisi 10 mAs ; 50 kV dan 20 mAs ; 70 kV yang disajikan pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. *Control chart* kerma udara pada 10 mAs



Gambar 6. *Control chart* kerma udara pada 20 mAs

Pada Gambar 5 dan Gambar 6, nampak bahwa hasil pengecekan antara (April 2017) untuk besaran kerma udara pada *X-ray multimeter* memberikan plot yang berada di luar rentang (tepatnya di bawah LAL). Pada Gambar 5, data pengecekan antara 174,36 μ Gy dan nilai UAL 183,95 μ Gy. Pada Gambar 6, data pengecekan antara 803,69 μ Gy dan nilai UAL 817,72 μ Gy. Hasil ini merekomendasikan agar *X-ray multimeter* tersebut dihentikan penggunaannya dan dicek lebih lanjut. Apabila *X-ray multimeter* tetap digunakan, hasil pengukuran kerma udara berpotensi tidak akurat karena unjuk kerja *X-ray multimeter* telah menyimpang di luar kontrol.

Selanjutnya menggunakan data pada Tabel 6, dilakukan *t*-test untuk kerma udara pada kondisi 10 mAs ; 50 kV dan 20 mAs ; 70 kV sebagai berikut. Sampel 1 adalah data *baseline*, dan sampel 2 adalah data cek antara. Dalam hal ini hipotesis H_0 adalah hasil ukur pada saat pengecekan antara sama dengan hasil ukur pada *baseline*. Hasil *t*-test disajikan pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7. *t*-test untuk kerma pada 10 mAs

	Sampel 1	Sampel 2
Parameter sampel	$n = 10$ $\bar{X} = 181,18 \mu$ Gy $s = 0,92128$	$n = 3$ $\bar{X} = 174,36 \mu$ Gy $s = 0,15061$
Uji homogenitas	$F_{hitung} = 1399,93$ $F_{tabel} = 19,38$ ($p = 0,05$) $F_{hitung} > F_{tabel} \rightarrow$ varians heterogen	
<i>t</i> -test untuk varians heterogen	$t_{hitung} = 22,444$ $t_{tabel} = 2,228$ ($df = 10$ dan $\alpha = 0,025$) $t_{hitung} > t_{tabel} \rightarrow H_0$ ditolak	

Pada Tabel 7, uji homogenitas memberikan hasil bahwa kedua sampel memiliki varians heterogen atau berbeda, dan *t*-test memberikan hasil $t_{hitung} = 22,444$ dan $t_{tabel} = 2,228$ sehingga H_0 ditolak. Apabila H_0 ditolak, artinya hasil ukur pada saat pengecekan antara tidak sama dengan hasil ukur pada *baseline*, dan hasil ini bisa diinterpretasikan bahwa terdapat perubahan kondisi kinerja alat ukur saat ini dibandingkan dengan *baseline*. Dengan demikian, hasil *t*-test dan *control chart* menunjukkan kesimpulan yang sama yaitu terjadi perbedaan hasil ukur antara 2 sampel, yang dapat ditafsirkan terdapat perubahan kondisi unjuk kerja alat ukur

Tabel 8. *T*-test untuk kerma pada 20 mAs

	Sampel 1	Sampel 2
Parameter sampel	$n = 10$ $\bar{X} = 826,80 \mu$ Gy $s = 3,0274$	$n = 3$ $\bar{X} = 803,69 \mu$ Gy $s = 0,5217$
Uji homogenitas	$F_{hitung} = 1133,52$ $F_{tabel} = 19,38$ ($p = 0,05$) $F_{hitung} > F_{tabel} \rightarrow$ varians heterogen	
<i>t</i> -test untuk varians heterogen	$t_{hitung} = 23,0321$ $t_{tabel} = 2,228$ ($df = 10$ dan $\alpha = 0,025$) $t_{hitung} > t_{tabel} \rightarrow H_0$ ditolak	

Pada Tabel 8, uji homogenitas memberikan hasil bahwa kedua sampel memiliki varians heterogen atau berbeda, dan *t-test* memberikan hasil $t_{hitung} = 23,0321$ dan $t_{tabel} = 2,228$ sehingga H_0 ditolak. Apabila H_0 ditolak, artinya hasil ukur pada saat pengecekan antara tidak sama dengan hasil ukur pada baseline, dan hasil ini bisa diinterpretasikan bahwa terdapat perubahan kondisi kinerja alat ukur saat ini dibandingkan dengan *baseline*. Dengan demikian, hasil *t-test* dan *control chart* menunjukkan kesimpulan yang sama yaitu terjadi perbedaan hasil ukur antara 2 sampel, yang dapat ditafsirkan terdapat perubahan kondisi unjuk kerja alat ukur.

2. Review terhadap hasil *benchmark* antara penggunaan *t-test* terhadap *control chart*

Berdasarkan 4 (empat) sampel kasus di atas, telah dilakukan *benchmarking* metode *t-test* terhadap *control chart* dalam konteks pengecekan antara *X-ray multimeter*. Diperoleh bahwa 3 dari 4 kasus memberikan kesimpulan yang sama, sedangkan 1 dari 4 kasus (yaitu besaran tegangan pada 70 kV) memberikan hasil yang berbeda. Meskipun tidak 100% memberikan kesimpulan yang sama, metode *t-test* merupakan sebuah opsi yang patut dipertimbangkan mengingat *t-test* memang ditujukan untuk mengetahui adanya perbedaan yang signifikan antara 2 (dua) sampel. Dengan mengetahui bahwa 2 sampel tidak memiliki perbedaan signifikan, maka dapat diyakini bahwa kondisi unjuk kerja alat ukur masih stabil sesuai kondisi sebelumnya atau *baseline*.

Dalam hal pengambilan data, metode *t-test* tidak perlu melakukan pembuatan *baseline* dengan data pengukuran 10 hari berturut-turut, namun cukup melakukan pengukuran dengan pengulangan 10 kali untuk membuat *baseline*. Hal ini sebaiknya dilakukan pada kondisi alat baru. Apabila belum dilakukan pada kondisi alat baru, pembuatan *baseline* dapat dilakukan setelah kalibrasi ulang. Selanjutnya dilakukan pengukuran dengan pengulangan 5 – 10 kali untuk pengecekan antara.

Metode ini juga relatif murah karena Lembaga Uji Kesesuaian dapat melakukan pengambilan data ukur bersamaan dengan melakukan uji kesesuaian di fasilitas kesehatan. Uji reproduksibilitas pesawat sinar-X, yang biasanya hanya 5 pengulangan, dapat dilakukan menjadi 10 pengulangan untuk pembuatan *baseline*. Untuk pengecekan antara, hal yang sama juga dapat dilakukan. Pastikan kondisi seting dan besaran yang digunakan sama.

Mengingat metode *t-test* dapat menggunakan pesawat sinar-X yang berbeda pada saat pembuatan *baseline* maupun pengecekan antara, dimana hal ini juga berkontribusi pada hasil pengukuran yang berdampak akan perbedaan yang signifikan antar sampel, maka kondisi akurasi tegangan dan reproduksibilitas pesawat (berdasarkan sertifikat uji kesesuaian) sebaiknya diidentifikasi untuk melakukan koreksi hasil pengukuran. Apabila diketahui akurasi tegangan, misalnya 7%, maka hasil

pengukuran tegangan sebaiknya dikoreksi dengan nilai akurasinya. Misalnya diperoleh pengukuran 75 kV pada seting 70 kV dan diketahui akurasi tegangan 7%, maka nilai pengukuran tegangan yang dicatat sebesar $(75 - 7\% \times 75)$ kV = 69,75 kV.

Besaran ukur yang menjadi obyek analisis disarankan untuk menggunakan besaran tegangan dan kerma udara. Besaran tegangan dipilih karena umumnya seting tegangan ada pada semua pesawat sinar-X dan hal ini memudahkan untuk mengetahui akurasi tegangan dari pesawat sinar-X. Besaran kerma udara dipilih karena penting dalam konteks keselamatan radiasi.

Metode *control chart* dan metode *t-test* juga telah dilakukan *benchmarking* dalam riset pemasaran atau promosi produk [8]. Hasilnya menunjukkan bahwa 2 (dua) metode tersebut memberikan hasil yang setara.

3. Panduan metode *t-test* untuk pengecekan antara

Pada saat melakukan pengambilan data, pastikan kondisi pesawat sinar-X telah diketahui berdasarkan Laporan Uji Kesesuaian yang terakhir. Informasi yang penting adalah akurasi tegangan, reproduksibilitas tegangan dan keluaran radiasi. Rekam kondisi lingkungan, akurasi tegangan, dan reproduksibilitas, identitas pesawat sinar-X, seting ekposi, SDD dan luas lapangan kolimasi. Pastikan bahwa seting ekposi, SDD, dan luas lapangan kolimasi tetap sama untuk tiap pengambilan data.

Lakukan ekposi dengan pengulangan 10 kali dan rekam tegangan dan kerma udara. Apabila kegiatan ini merupakan pengambilan data pertama kali untuk *baseline*, maka data harus disimpan. Bila nilai akurasi tegangan lebih dari 5%, lakukan koreksi terhadap data yang disimpan. Koreksi tersebut diharapkan dapat meminimalkan perbedaan hasil ukur yang disebabkan kondisi pesawat sinar-X.

Lakukan hal yang sama pada saat pengambilan data untuk pengecekan antara, dan simpan datanya.

Masing-masing sampel (*baseline* dan cek antara) dihitung rerata, standar deviasi, varians dan jumlah sampel. Lakukan analisis *F-test* menggunakan persamaan (1) sampai (3) dan *t-test* menggunakan persamaan (4) dan (5) atau (6) dan (7). Siapkan tabel *F* dengan $p = 0,05$ dan tabel *t* dengan nilai kepercayaan 95% atau $\alpha = 0,025$ pada dua sisi.

Diharapkan metode alternatif ini dapat digunakan oleh Lembaga Uji Kesesuaian dalam pengecekan antara alat ukur *X-ray multimeter* untuk menjamin validitas hasil pengujian pesawat sinar-X.

KESIMPULAN

- a) Pengecekan antara merupakan salah satu upaya untuk memberikan jaminan kepercayaan terhadap unjuk kerja peralatan dan menjamin keabsahan hasil pengukuran

- b) Metode pengecekan antara untuk *X-ray multimeter* menggunakan *t-test* merupakan metode alternatif yang mampu terap dan memberikan hasil yang relatif sama dengan metode *control chart*.
- c) Kelebihan menggunakan *t-test* adalah pesawat sinar-X yang digunakan tidak harus sama dan dapat dilakukan bersama dengan kegiatan pengambilan data uji kesesuaian di fasilitas kesehatan,
- d) Kondisi yang perlu dipertimbangkan dalam pengecekan antara menggunakan *t-test* adalah kontributor yang menyebabkan perbedaan signifikan yaitu akurasi tegangan, reproduksibilitas tegangan dan keluaran radiasi dari pesawat sinar-X yang digunakan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Tim Uji Profisiensi Laboratorium Penguji Pesawat Sinar-X BAPETEN atas penyediaan data teknis yang dibutuhkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BAPETEN, 2018, *Peraturan BAPETEN Nomor 2 Tahun 2018 tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional*, BAPETEN.
- [2] ISO/IEC, 2017, *ISO/IEC 17025:2017 General Requirements fFor the Competence of Testing and Calibration Laboratories*, ISO/IEC.
- [3] Hovind H., Magnusson B., et al., 2011, *Internal Quality Control (Nordtest Report TR 569)*, Nordic Innovation.
- [4] KAN, 2008, *KAN-G-06 KAN Guide on Measurement Assurance*, KAN.
- [5] Spiegel, MR, Stephens, LJ, 1999, *Schaum's Outlines of Theory and Problems of Statistics*, McGraw-Hill Book Companies.
- [6] Driscoll, P, Lecky, F, 2001, *Article 7: An introduction to hypothesis testing, Emergency Medicine Journal*, Number 18, hal 214-221.
- [7] Kunarsih, E., 2018, *Instruksi Kerja Pengecekan Antara X-ray Multimeter (No. IK/DK2N.2/NN.11)*, Revisi 1, BAPETEN.
- [8] Burk, Scott, 2006, *A Better Statistical Method for A/B Testing in Marketing Campaigns, Marketing Bulletin*, Number 17, Technical Note 3.

OA16

TINJAUAN ASPEK ETIKA DALAM PROTEKSI RADIASI UNTUK PENGGUNAAN PENCITRAAN MANUSIA NON-MEDIS DI INDONESIA

Werdi Putra Daeng Beta¹

¹*Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif - BAPETEN*
e-mail: putradaeng2@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan tinjauan terhadap etika proteksi radiasi dalam penggunaan pencitraan manusia non-medis atau *body scanner*. Pencitraan manusia non-medis adalah pemindai tubuh manusia menggunakan radiasi sinar-X untuk mendeteksi benda asing di permukaan atau dalam tubuh manusia untuk tujuan keamanan fasilitas. Tujuan penelitian ini adalah untuk menelaah etika proteksi radiasi dalam pemanfaatan *body scanner* di Indonesia. Adapun metodologinya adalah dengan menelaah 2 (dua) paper, yaitu paper dari Shrader-Frechette dan paper dari Hansson. Dari tujuh isu terkait etika proteksi radiasi yang diungkapkan oleh Shrader-Frechette, terdapat 4 (empat) isu penting terkait etika proteksi radiasi yang benar benar relevan dengan pemanfaatan pencitraan manusia non-medis, yaitu (1) keadilan versus efisiensi (prinsip justifikasi), (2) kesehatan versus ekonomi (prinsip optimisasi), (3) hak individu versus manfaat sosial (prinsip pembatasan dosis), dan (4) persetujuan pemangku kepentingan versus keputusan manajemen. Sedangkan Hansson mengungkapkan masalah moral yang terkait dengan hasil proteksi radiasi dalam hal tingkat paparan dan dosis radiasi. Hal yang sama pentingnya untuk mempertimbangkan masalah prosedural seperti bagaimana dan oleh siapa berbagai keputusan yang mempengaruhi eksposur harus dilakukan, dan informasi apa orang-orang yang terkena dampak keputusan ini harus menerimanya. Hal yang sama juga berlaku untuk pemanfaatan pemindaian tubuh manusia non medis (*body scanner*). Maka secara moral harus dipertimbangkan pula tingkat paparan dan dosis radiasi yang diterima oleh orang yang diperiksa dengan pemindai manusia non medis tersebut, termasuk etika kesopanan dari operator dengan manusia yang dipindai. Etika proteksi radiasi memiliki tantangannya sendirisehingga perlu dikembangkan, baik dari segi teoritis maupun praktis. Sebagai kesimpulan bahwa asas etika dalam proteksi radiasi dalam penggunaan *body scanner* perlu dipertimbangkan dan dicermati sebagai alat untuk justifikasi, mengingat seseorang yang akan melewati pencitraan manusia non-medis akan terkena radiasi yang tidak bermanfaat untuk dirinya secara individual. Akan tetapi jika demi kepentingan sosial dan keamanan nasional maka penggunaan *body scanner* menjadi lebih penting dengan catatan sudah dijustifikasi selamat dari segi besaran dosis radiasi yang diterima masyarakat dan etika proteksi radiasinya. Untuk Indonesia, justifikasi pemanfaatan *body scanner* telah ditunjukkan dengan payung peraturan yaitu Peraturan Pemerintah Nomor 56 tahun 2014.

Kata kunci: etika proteksi radiasi, pencitraan manusia non-medis

ABSTRACT

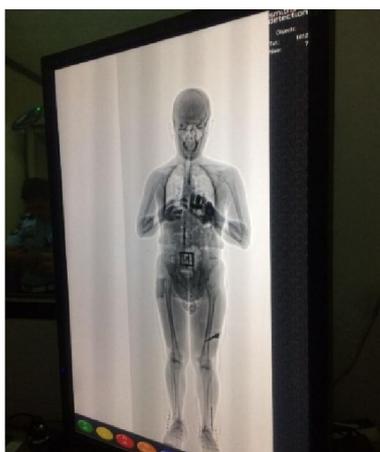
A review of the ethics of radiation protection in the use of non-medical human imaging or body scanner has been carried out. Non-medical human imaging is a human body scanner using X-ray radiation to detect foreign objects on the surface or in the human body for the purpose of security. Objective of this research is to review the ethics of radiation protection in the use of body scanner in Indonesia. The method is to study and discuss 2 (two) papers, there are Shrader-Frechette's paper and Hansson's paper. Of the seven issues related to the ethics of radiation protection disclosed by Shrader-Frechette, there are 4 (four) important issues related to the ethics of radiation protection that are truly relevant to the utilization of non-medical human imaging, namely (1) justice versus efficiency (justification principle); (2) health versus economics (the principle of optimization), (3) individual rights versus social benefits (the principle of dose limitations), and (4) stakeholders consent versus management decisions. While Hansson discloses the moral issues associated with the outcome of radiation protection in terms of exposure levels and radiation doses. It is equally important to consider procedural issues such as how and by whom various decisions affecting the exposure should be made, and what information the people affected by this decision should accept. The same is true for the use of non-medical human imaging (body scanner). It must morally be considered also the level of exposure and radiation dose received by the person examined with the non-medical human imaging, including the courtesy ethics of the operator with the scanned human. The ethics of radiation protection have their own challenges that need to be developed both in theoretical and practical terms. In conclusion, the ethical principle in radiation protection in the use of body scanners needs to be considered and examined as a means of justification, since a person who will pass non-medical human imaging will be exposed to radiation that is not beneficial to him individually. However, for the sake of social interest and national security then the use of body scanner becomes more important with noting that it has been justified safe in terms of magnitude of radiation dose received by society and the ethics of radiation protection. For Indonesia, the justification of the use of body scanners has been shown by the regulatory perspective, ie. Government Regulation No. 56 of 2014.

Keywords: *ethics in radiation protection, non-medical human imaging*

PENDAHULUAN

Pencitraan manusia non-medis adalah pemindai tubuh manusia menggunakan radiasi sinar-X untuk mendeteksi benda asing di permukaan atau dalam tubuh manusia untuk tujuan keamanan fasilitas misalnya digunakan di bandar udara, pelabuhan, LAPAS (Lembaga Pemasyarakatan), penjara, dan daerah perbatasan. Pencitraan manusia non-medis atau dikenal dengan *body scanner* adalah salah satu ruang lingkup pengawasan fasilitas radiasi dan zat radioaktif di Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN). Dalam Peraturan Pemerintah Nomor 56 Tahun 2014 [1] tentang Penerimaan Negara Bukan Pajak (PNBP) yang berlaku pada BAPETEN, termaktub bahwa *body scanner* termasuk dalam kategori perizinan untuk keperluan selain medis dalam lingkup jenis fluoroskopi bagasi untuk memindai tubuh manusia, dan wajib memiliki izin. Peraturan Internasional juga mewajibkan Pemerintah atau Negara, melalui BAPETEN untuk menjamin pemanfaatan *body scanner* ini melalui sistem proteksi radiasi yang handal. Dalam GSR Part 3 Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards [2] disebutkan bahwa: “*The government shall ensure that the use of ionizing radiation for human imaging for purposes other than medical diagnosis, medical treatment or biomedical research is subject to the system of protection and safety*”. Salah satu asas yang harus diperhatikan dalam proteksi radiasi tersebut adalah aspek etika.

Aspek etika dalam proteksi radiasi untuk penggunaan pencitraan manusia non-medis harus diperhatikan. Karena mengingat dalam proses pemindaian tubuh manusia tersebut akan terlihat lekuk-lekuk tubuh manusia/orang yang dipindai, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1 salah satu hasil foto dari pencitraan manusia non medis; selain juga dosis radiasi yang diterimanya tidak bisa dianggap remeh.



Gambar 1. Salah satu hasil foto dari pemindaian manusia non medis (*body scanner*)

Penulis akan meninjau dan menelaah bahwa etika proteksi radiasi menjadi suatu hal yang sangat penting untuk dipertimbangkan dan diterapkan dalam penggunaan peralatan pencitraan manusia non medis,

sebagai tujuan dari penelitian ini. Adapun metodologi penelitian ini adalah dengan menelaah 2 (dua) paper atau makalah, yaitu paper dari Shrader-Frechette dan paper dari Hansson.

LANDASAN TEORI / POKOK BAHASAN

Dalam GSR Part 3 [2], disebutkan bahwa pencitraan manusia non-medis dikategorikan sebagai “*Human imaging using radiation for purposes other than medical diagnosis, medical treatment or biomedical research.*” Artinya pencitraan manusia non medis adalah pencitraan manusia menggunakan radiasi selain untuk diagnosa medis, perawatan medis dan riset biomedis. Pada awalnya, pencitraan manusia non-medis dianggap tidak terjustifikasi. Akan tetapi, apabila Pemerintah Indonesia menetapkan bahwa pemanfaatannya untuk kepentingan nasional dan wajib memiliki izin sebagaimana tercantum dalam Peraturan Pemerintah Nomor 56 Tahun 2014, maka selanjutnya Pemerintah wajib menjamin bahwa pemanfaatan pencitraan manusia non-medis mematuhi sistem keselamatan dan proteksi radiasi.

Terkait dengan etika proteksi radiasi, makalah yang ditelaah oleh penulis adalah sebagai berikut.

1. Kristin Shrader-Frechette and Lars Persson (2001); *Ethical Problems in Radiation Protection*, ISSN 0282-4434. [3]

Dalam paper ini secara singkat menguraikan mengenai etika perlindungan radiasi, etika profesional, dan etika eksperimen radiasi manusia, penulis meninjau pemikiran etis mengenai tujuh isu utama yang terkait dengan etika proteksi radiasi, yaitu (1) keadilan versus efisiensi, (2) kesehatan versus ekonomi, (3) hak individu versus manfaat sosial, (4) proses yang sesuai dengan pengorbanan yang diperlukan, (5) standar seragam versus standar ganda, (6) persetujuan pemangku kepentingan versus keputusan manajemen, dan (7) pengelolaan lingkungan versus standar antroposentris.

Seiring pembahasan tujuh isu ini, isu etika dalam proteksi radiasi tidak sederhana dan tidak sepihak, tetapi memerlukan analisis faktual dan normatif yang rinci. Meskipun demikian, wawasan teori etika juga menyediakan sejumlah cara di mana rekomendasi dan standar proteksi radiasi saat ini dapat meningkat. Rekomendasi dan standar proteksi radiasi bisa lebih adil, lebih protektif terhadap kesehatan manusia dan hak asasi manusia, termasuk proses dan konsen, lebih berhati-hati dalam merekomendasikan standar paparan pekerja yang lebih lunak daripada standar paparan publik, dan lebih melindungi kesejahteraan lingkungan.

2. *Ethics and radiation protection*, Sven Ove Hansson (2007), *Journal of Radiological Protection*, J. Radiol. Prot. 27 (2007) 147–156, IOP Publishing. [4]

Beberapa masalah utama dalam perlindungan radiasi terkait erat dengan isu-isu yang memiliki tradisi independen dan panjang dalam filsafat moral. Kontribusi ini berfokus pada dua masalah ini. Salah satunya adalah hubungan antara perlindungan individu dan optimalisasi pada tingkat kolektif, dan yang lainnya adalah penilaian relatif dampak di masa depan versus dampak segera. Beberapa alat intelektual yang telah dikembangkan oleh para filsuf bisa bermanfaat dalam proteksi radiasi. Di sisi lain, para filsuf banyak belajar dari pelindung radiasi, paling tidak ketika menemukan solusi pragmatis untuk masalah yang mungkin tidak dapat diatasi secara prinsip.

Penulis ini telah berkontribusi terhadap beberapa masalah dalam proteksi radiasi yang sebagian besar belum dianalisa, yaitu proteksi radiasi yang berhubungan dengan filsafat moral. Tentu saja, ada banyak masalah moral lainnya yang harus diperhatikan oleh para ahli bidang proteksi radiasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Telaah Makalah Kristin Shrader-Frechette and Lars Persson (2001); *Ethical Problems in Radiation Protection*

Dari tujuh isu terkait etika proteksi radiasi, penulis membatasi 4 (empat) isu penting terkait etika proteksi radiasi yang benar-benar relevan dengan pemanfaatan pencitraan manusia non-medis, yaitu (1) keadilan versus efisiensi, (2) kesehatan versus ekonomi, (3) hak individu versus manfaat sosial, dan (4) persetujuan pemangku kepentingan versus keputusan manajemen.

(1) Keadilan dan efisiensi: prinsip justifikasi

Menurut Shrader-Frechette dan Persson [3] sikap etika proteksi radiasi yang pertama adalah keadilan dibandingkan dengan efisiensi. Keadilan dan efisiensi termasuk dalam prinsip justifikasi. Dalam literatur tersebut disampaikan ada 2 (dua) golongan yang disoroti, yaitu utilitarian dan egalitarian dalam etikaproteksi radiasi. Utilitarian adalah golongan yang menganut prinsip bahwa setiap penggunaan fasilitas radiasi harus bermanfaat untuk meningkatkan kualitas hidup. Sedangkan egalitarian berpendapat bahwa semua orang memiliki hak dan kesempatan yang sama dalam kaitannya dengan penggunaan fasilitas radiasi. Sebagian besar utilitarian sepakat dengan prinsip justifikasi dalam meningkatkan efisiensi untuk kebaikan bersama dan bahwa kesetaraan mutlak dalam proteksi radiasi tidak akan dapat dicapai. Sedangkan egalitarian menganut bahwa semua orang di seluruh dunia dan semua generasi memiliki hak yang sama untuk hidup dan keamanan fisik sebagai hak asasi mendasar, kemudian sekelompok orang berusaha untuk menempatkan pada risiko lebih besar -- tanpa kompensasi yang tepat dan tanpa alasan secara moral dapat diterima -- akan mengancam hak hidup dan keamanan fisik mereka. Golongan egalitarian mungkin akan merespon bahwa karena masyarakat menerima prinsip dasar kesetaraan di bidang politik, maka beban pembuktian ada pada

seseorang yang ingin melakukan diskriminasi, seseorang yang memperlakukan komunitas, masyarakat atau generasi secara tidak adil.

Sedangkan menurut pendapat penulis; dalam etika proteksi radiasi, keadilan adalah perlakuan yang sama bagi setiap orang atau individu dalam penerapan justifikasi proteksi radiasi. Maknanya, bahwa keadilan berarti bahwa setiap orang yang ada di fasilitas radiasi menggunakan pencitraan manusia non-medis tersebut (misalnya bandar udara, pelabuhan laut, LAPAS, penjara, dan lain-lain) harus diperiksa dengan alat pencitraan manusia non medis, tanpa pengecualian. Prinsip keadilan ini berlaku untuk semua pekerja atau pegawai dan pengunjung atau masyarakat.

Sedangkan efisiensi adalah keberdayaan dari suatu pemanfaatan radiasi baik terhadap manusia maupun masyarakat, Pemerintah dan Negara. Dalam konteks penggunaan *body scanner* maka keberdayaan bagi masyarakat, Pemerintah maupun Negara lebih diutamakan daripada individu. Pemanfaatan *body scanner* bagi individu dipandang tidak bermanfaat karena ia menerima faktor risiko radiasi tanpa ada manfaat yang dirasakan. Tentu saja pertimbangan faktor risiko radiasi harus memenuhi syarat keselamatan dan proteksi radiasi, baik dari sisi peralatan, fasilitas ruangan, SDM kompeten, dan prosedur.

(2) Kesehatan dan ekonomi: prinsip optimisasi

Faktor etika proteksi radiasi yang perlu dipertimbangkan adalah kesehatan dan ekonomi.

Egalitarian dan lain-lain yang memperdebatkan keunggulan kesehatan dalam menentukan eksposur radiasi berpendapat bahwa orang harus bertanggung jawab terhadap hal-hal yang mereka anggap berisiko, terlepas dari apakah pertanggungjawaban semacam itu menguntungkan. Selain itu, mereka berpendapat bahwa jika pertimbangan ekonomi harus diutamakan daripada pertimbangan kesehatan, maka pembukuan ekonomi harus lengkap dan konsisten: Penerima risiko harus mendapatkan kompensasi sebagai biaya untuk melakukan bisnis.

Mereka seharusnya tidak hanya mempertimbangkan manfaat dari standar radiasi yang tidak memaksa dan ketat.

Egalitarian juga berpendapat bahwa risk imposers sering gagal untuk "membayar dengan cara mereka sendiri." Di AS, misalnya, biaya penyimpanan limbah nuklir (dan subsidi pemerintah lainnya) mencapai \$ 20 miliar per tahun (Kendall 1991) [5], namun pajak (untuk pembuangan limbah) yang dibayar oleh utilitas nuklir hanya menghasilkan sekitar \$ 600 juta per tahun (NEA / OECD 1994a, hal 46) [6]. Egalitarian mengatakan bahwa, setelah orang-orang yang berisiko membuat biaya penuh (misalnya pembuangan limbah, kompensasi) untuk melakukan bisnis secara ekonomi, dengan mengkompensasi orang-orang yang memiliki risiko radiasi lebih tinggi, maka akan lebih mudah untuk mengoptimalkan keselamatan dan efisiensi (lihat Thomson 1986 [7] dan Gewirth 1982

[8]). Saat ini, bagaimanapun, asalkan batasan dosis terpenuhi, prinsip pengoptimalan ICRP memungkinkan pengorbanan kesehatan dan keselamatan yang tidak terkompensasi atas nama pertimbangan ekonomi.

Tunjangan ini konsisten dengan Bernard Cohen's (1990, hal 51) [9] yang mengklaim bahwa "sikap yang masuk akal tidak perlu khawatir tentang sedikit radiasi tambahan. "Filosofi etika semacam itu mengundang setidaknya dua tanggapan: masuk akal untuk siapa? Masuk akal karena menghemat uang untuk siapa dengan biaya siapa?

(3) Manfaat individu versus manfaat sosial: prinsip pembatasan dosis

Sama seperti egalitarian tidak setuju dengan penganut utilitarian mengenai apakah akan memberikan prioritas pada keadilan daripada efisiensi, dan apakah akan memberikan prioritas antara kesehatan dengan ekonomi, perbedaan pendapat serupa terjadi mengenai apakah akan memberi prioritas perlindungan radiasi kepada individu atau mengutamakan manfaat sosial dalam menentukan pembatasan dosis atau paparan radiasi.

Egalitarian cenderung menjadi pendukung hak individu untuk perlindungan terhadap paparan radiasi. Terlepas dari alasan bahwa hak egalitarian membela hak, bagi sebagian besar dari mereka, hak semacam itu memberlakukan yang kuat

Dugaan terhadap pelanggaran potensial apapun. Gewirth berpendapat, misalnya, bahwa setiap manusia memiliki hak asasi manusia yang mendasar dan mutlak untuk tidak terkena kanker yang ditimbulkannya oleh tindakan orang lain.

Serta hak asasi manusia dasar untuk kontrol informasi atas kondisi yang relevan dengan kemungkinan timbulnya kanker. Dia berpendapat bahwa manusia memiliki hak ini karena mereka penting untuk kesejahteraan dan karena kontrol informasi sangat penting bagi kebebasan yang diperlukan untuk tindakan manusia.

(4) Persetujuan pemangku kepentingan versus keputusan manajemen.

Persetujuan pemangku kepentingan (*stakeholders*) dan keputusan manajemen harus dikomunikasikan secara harmoni dan seimbang, agar semua pihak mengetahuinya dengan baik dan merasa telah diperlakukan secara beradab dan adil. Demikian pula hal ini seharusnya berlaku pula untuk pemanfaatan pemindai tubuh manusia non-medis di Indonesia

B. Hasil Telaah Makalah Sven Ove Hansson (2007), Ethics and Radiation Protection, Journal of Radiological Protection, J. Radiol. Prot. 27 (2007) 147–156, IOP Publishing

Hansson [4] secara khusus menyoroti masalah moral yang terkait dengan hasil proteksi radiasi dalam hal tingkat paparan dan dosis radiasi. Hal yang sama pentingnya untuk mempertimbangkan masalah prosedural seperti bagaimana dan oleh siapa berbagai

keputusan yang mempengaruhi eksposur harus dilakukan, dan informasi apa orang-orang yang terkena dampak keputusan ini harus menerimanya.

Menurut pendapat penulis, hal yang sama juga berlaku untuk pemanfaatan pencitraan manusia non medis (*body scanner*). Maka secara moral harus dipertimbangkan pula tingkat paparan dan dosis radiasi yang diterima oleh orang yang diperiksa dengan pemindai manusia non medis tersebut, termasuk etika kesopanan dari operator dengan manusia yang dipindai.. Etika proteksi radiasi memiliki tantangannya sendirisehingga perlu dikembangkan, baik dari segi teoritis maupun praktis.

Hal ini sejalan juga dengan rekomendasi IAEA dalam acuan [10], bahwa jika pencitraan manusia untuk kepentingan keamanan akan dipertimbangkan untuk digunakan, maka Pemerintah harus menjamin adanya proses konsultasi dengan ahli terkait dengan keamanan nasional, ahli tentang hak-hak sipil dan ahli etika atau pakar etika.

KESIMPULAN

Asas etika dalam proteksi radiasi dalam penggunaan *body scanner* perlu dipertimbangkan dan dicermati sebagai alat untuk justifikasi, mengingat seseorang yang akan melewati *body scanner* akan terkena radiasi yang tidak bermanfaat untuk dirinya secara individual. Akan tetapi jika demi kepentingan sosial dan keamanan nasional maka penggunaan *body scanner* menjadi lebih penting dengan catatan sudah dijustifikasi selamat dari segi besaran dosis radiasi yang diterima masyarakat dan etika proteksi radiasinya. Untuk Indonesia, justifikasi pemanfaatan *body scanner* telah ditunjukkan dengan payung peraturan yaitu Peraturan Pemerintah Nomor 56 tahun 2014.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Peraturan Pemerintah Nomor 56 Tahun 2014 (2014) tentang Jenis dan Tarif atas Jenis Penerimaan Negara Bukan Pajak yang Berlaku pada Badan Pengawas Tenaga Nuklir, BAPETEN, Jakarta.
- [2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (2014), Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, General Safety Requirements Part 3, IAEA - GSR Part 3, Vienna;
- [3] Kristin Shrader-Frechette and Lars Persson (2001); Ethical Problems in Radiation Protection, ISSN 0282-4434;
- [4] Sven Ove Hansson (2007), Ethics and radiation protection, Journal of Radiological Protection, J. Radiol. Prot. 27 (2007) 147–156, IOP Publishing;
- [5] Kendall, H. (1991), Calling nuclear power to account. Calypso Log 18:8-9.
- [6] Nuclear Energy Agency, OECD (1994). Nuclear waste bulletin: update on waste management policies and programmes No. 9.

- [7] Thomson, J.J. Rights (1986), Restitution, and Risk: Essays in moral theory, Harvard University Press, Cambridge.
- [8] Gewirth (1982), A. Human Rights: Essays on justification and applications, University of Chicago Press, Chicago.
- [9] Cohen, B.L. (1990), The nuclear energy option: An alternative for the 90s, Plenum Press, New York.
- [10] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (2014), Justification of Practices, Including Non-Medical Human Imaging, General Safety Guide-5, GSG-5, IAEA, Vienna.

NO	Nama penanya	Kode Makalah	Nama Penyaji	Pertanyaan dan Jawaban
1.	Sudradjat (BAPETEN)	OA16	W.P. Daeng Beta (BAPETEN)	<p>1. Aspek unjustified body scanner → Bagaimana apakah diperbolehkan atau penggunaannya seperti apa?</p> <p>Jawab:</p> <p>1. Aspek unjustified body scanner telah menjadi terjustifikasi sebagaimana tercantum dalam PP No. 56 Tahun 2014. Sehingga diwajibkan izin pemanfaatan dan masuk dalam pengawasan BAPETEN.</p>

OB01

KAJIAN KESELAMATAN DAN KEAMANAN PLTN TERAPUNG DI INDONESIA

Agus Waluyo¹, Bintoro Aji², Alexander Agung³^{1,2}P2STPIBN-BAPETEN³Universitas Gadjah Mada

e-mail:a.waluyo@bapeten.go.id

ABSTRAK

PLTN Terapung mempunyai potensi besar untuk dikembangkan karena mempunyai banyak manfaat dan kegunaan. Salah satu manfaat PLTN Terapung adalah dapat digunakan untuk mensuplai kebutuhan energi listrik serta desalinasi air laut. PLTN Terapung selain untuk desalinasi juga dapat digunakan sebagai sumber energi untuk eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas yang ada di perairan lepas. PLTN terapung selain memberikan beberapa keuntungan tetapi juga banyak masalah-masalah yang perlu dikaji atau dipelajari. PLTN terapung memiliki karakteristik yang berbeda dengan PLTN yang berbasis di daratan, maka perlu dilakukan kajian terkait dengan keselamatan dan keamanan PLTN terapung. Dari hasil kajian di dapat hasil bahwa dalam pembangunan PLTN Terapung harus mempertimbangkan bahaya internal maupun bahaya eksternal. Penentuan bahaya eksternal maupun internal ini dapat menggunakan metode HAZOP. Bahaya eksternal yang harus dipertimbangkan adalah angin, arus, gelombang, level air, operasional dermaga, hal ini terkait dengan pemilihan tapak dimana PLTN Terapung itu akan dibangun. Sedangkan bahaya internal hampir mirip dengan kecelakaan pada PLTN di daratan tetapi di dalam perhitungan analisis keselamatan harus memperhatikan gerakan kapal karena pengaruh gelombang laut. Sedangkan untuk keamanan PLTN Terapung harus memiliki sistem keamanan yang lebih dibanding dengan PLTN yang ada di darat. Ancaman dapat berasal dari serangan dari udara, dari laut atau dari bawah permukaan laut, baik di tempat operasi PLTN atau saat penyeretan (transportasi PLTN terapung tepi pantai).

Kata kunci: PLTN Terapung, analisis keselamatan, analisis keamanan

ABSTRACT

Floating NPP have great potential to be developed because it has many benefits and advantages. One of the benefits of Floating NPP is that it can be used to supply electrical energy and seawater desalination. Besides for desalinization Floating NPP also can be used as a source of energy for the exploration and exploitation of oil and gas in the sea. Floating NPP in addition to providing several advantages but also have many problems that need to be research or studied. Floating NPP has different characteristics with nuclear power plant on land based, it is necessary to conduct a study related to the safety and security of floating nuclear power plant. The study concludes that in the floating NPP must consider the internal hazards as well as external hazards. External hazards to consider are winds, currents, waves, water levels, dock operations, this is related to the selection of sites where the Floating Plant will be built. While the internal hazard is almost similar to an accident on the nuclear power plant in the landbased but in the calculation of the safety analysis should consider the movement of the ship due to the influence of ocean waves. As for the security NPP must have a security system more than the existing nuclear power plant on landbased. Threats can come from attacks from the air, from the sea or from beneath the surface of the ocean, either in place of nuclear power operations or while towing (floating power plant transportation in the coastal).

Keywords: Floating NPP, Safety analysis security analysis

PENDAHULUAN

Dalam forum ATOMEXPO (Moscow, 2015), Indonesia menunjukkan ketertarikan serius terhadap PLTN Terapung. Hal ini dikarenakan PLTN Terapung ini merupakan salah satu solusi untuk mengatasi kesulitan pasokan listrik di daerah atau pulau yang terpencil dan juga dapat meningkatkan perekonomian di bidang kemaritiman.

PLTN Terapung mempunyai potensi besar untuk dikembangkan karena mempunyai banyak manfaat dan kegunaan. Salah satu manfaat PLTN Terapung adalah dapat digunakan untuk mensuplai kebutuhan energi listrik serta desalinasi air laut. Penggunaan PLTN Terapung untuk desalinasi air laut menjadi sangat menarik untuk diterapkan karena menurut IAEA, penggunaan PLTN Terapung sebagai fasilitas desalinasi air laut memiliki beberapa keuntungan di antaranya [1]

1. PLTN terapung dapat dibangun dan diuji di fasilitas bangunan kapal untuk mengurangi biaya.
2. Desain PLTN terapung memenuhi persyaratan non proliferasi karena perbaikan, pengisian ulang bahan bakar reaktor dan pengolahan limbah radioaktif dilakukan di fasilitas khusus yang disediakan oleh pembuat PLTN.
3. PLTN terapung dapat diganti dengan PLTN terapung yang baru dengan tetap menggunakan bangunan dan fasilitas yang telah ada di darat

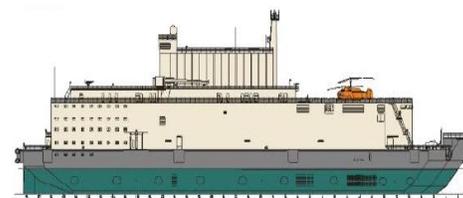
PLTN Terapung selain untuk desalinasi juga dapat digunakan sebagai sumber energi untuk eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas yang ada di perairan lepas.

PLTN terapung selain memberikan beberapa keuntungan tetapi juga banyak masalah-masalah yang perlu dikaji atau dipelajari. PLTN terapung memiliki karakteristik yang berbeda dengan PLTN yang berbasis di daratan, maka perlu dilakukan kajian terkait dengan keselamatan dan keamanan PLTN terapung. Aspek-aspek mengenai desain teknis PLTN terapung, pertimbangan pemilihan tapak, analisis keselamatan dari PLTN terapung serta safeguard dari PLTN terapung perlu dikaji sebagaimana pertimbangan pembangunan PLTN terapung di Indonesia. Makalah ini bertujuan untuk membahas mengenai desain teknis dan juga kajian keselamatan

dan juga keamanan dalam rangka memberikan justifikasi atau pertimbangan terkait dengan pembangunan PLTN Terapung di Indonesia.

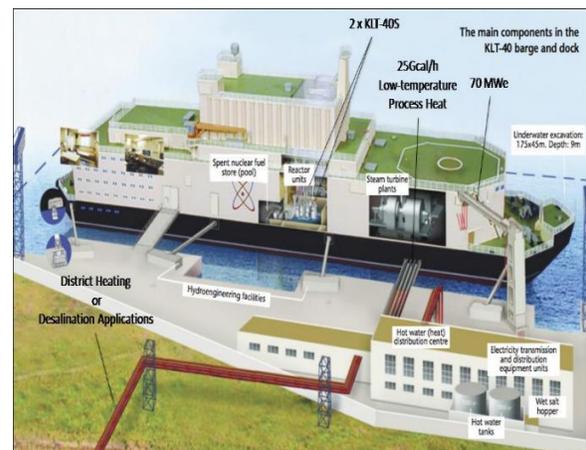
DESAIN TEKNIS PLTN TERAPUNG

Kajian desain teknis PLTN terapung bertujuan memberikan penjelasan teknis tentang prinsip kerja PLTN terapung serta komponen-komponen penting yang terkait. Kajian desain teknis PLTN terapung mengacu kepada PLTN terapung yang dikembangkan oleh Rusia yang menggunakan reaktor nuklir KLT-40s PWR. Gambar 1. Berikut ini menunjukkan ukuran geometris wahana (tongkang) PLTN terapung berbasis reaktor KLT-40s. Sedangkan penempatan PLTN Terapung di galangan kapal dapat dilihat pada Gambar 2.



Tipe Smooth-Deck Non-Self-Propelled Ship	
Panjang, m	140,0
Lebar, m	30,0
Tinggi, m	10,0
draught, m	5,6
Berat kapal dan muatan, ton	21.000
Waktu Beroperasi, tahun	40

Gambar 1 Ukuran dari KLT- 40s PWR [2]



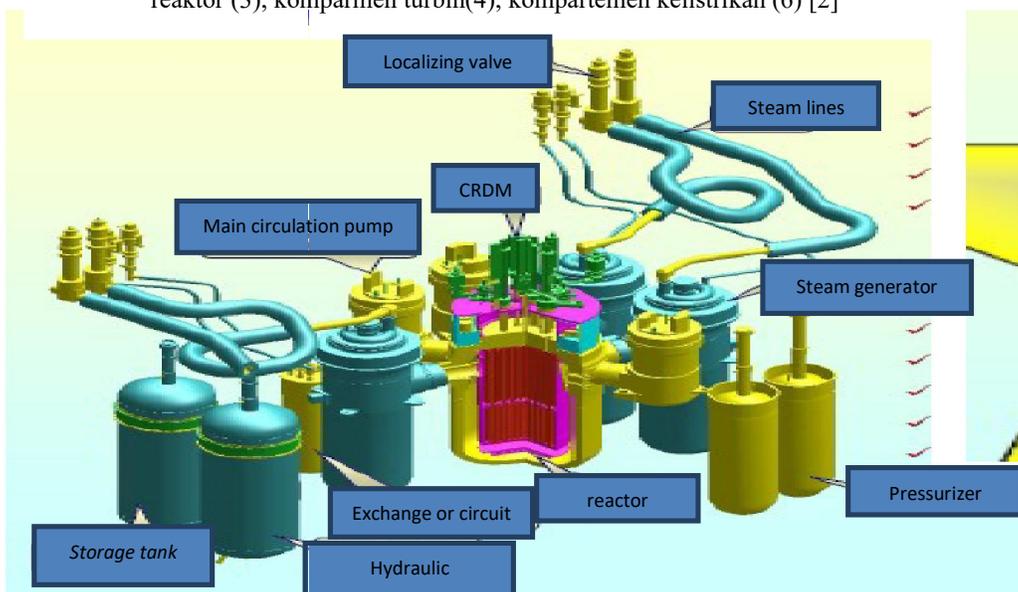
Gambar 2. Penempatan PLTN Terapung dalam galangan kapal

Desain PLTN terapung berbasis KLT-40s pada dasarnya mirip dengan jenis PWR untuk reaktor yang berada di darat. PLTN terapung mempunyai beberapa kompartemen, antara lain kompartemen hunian, ruang kendali utama, kompartemen reaktor, kompartemen turbin, kompartemen kelistrikan. Gambar 3 berikut ini menunjukkan tata letak kompartemen di dalam tongkang PLTN. Untuk sistem primer berada di dalam kompartemen reaktor. Sistem primer terdiri dari bejana reaktor, pembangkit uap (*steam generator*), pompa pendingin primer dan pengatur tekanan (*pressurizer*). Reaktor tipe ini menggunakan pendingin air sebanyak dua siklus.

Pada KLT-40s, pendingin primer dijaga untuk tidak mendidih sekalipun suhu reratanya mencapai 290°C dengan cara diberi tekanan hingga mencapai 127 bar. Air pendingin primer setelah mengambil kalor dari teras reaktor selanjutnya mengalir menuju pembangkit uap (*steam generator*). Gambar 4 berikut ini menunjukkan sistem primer pada KLT-40



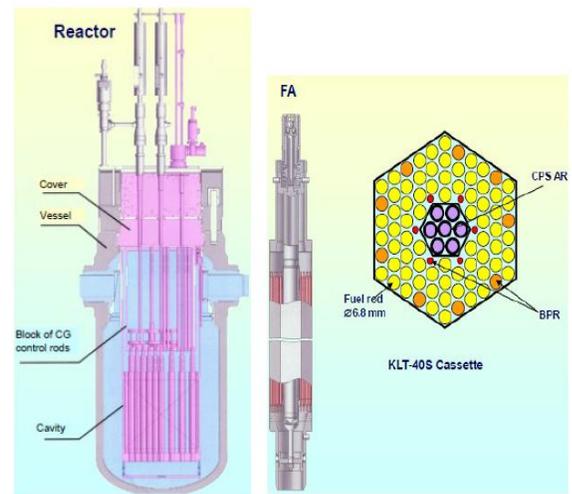
Gambar 4 Tata letak (Layout) kompartemen di dalam tongkang PLTN terapung berbasis KLT-40s yang terdiri dari kompartemen hunian (1), ruang kendali utama (2), kompartemen reaktor (3), kompartemen turbin (4), kompartemen kelistrikan (6) [2]



Gambar 3 Sistem Pendingin PLTN Terapung [3]

Pada pembangkit uap yang berupa alat penukar kalor tipe cangkang tabung (*shell and tube*), air pendingin primer memindahkan panas yang dibawanya ke air siklus kedua yang sering disebut sebagai pendingin sekunder. Pada KLT-40s, pendingin sekunder bertekanan 38,2 bar, yaitu lebih rendah daripada tekanan pendingin primer. Dengan demikian setelah menerima kalor dari air primer, air pendingin sekunder berubah menjadi uap yang suhunya mencapai 240⁰C. Uap ini selanjutnya digunakan untuk memutar turbin yang selanjutnya turbin memutar generator sehingga dihasilkan energi listrik.

Untuk komponen teras reaktor, PLTN Terapung yang berbasis KLT-40s memiliki susunan kisi heksagonal. Sisi luar perangkat bahan bakar dilengkapi dengan selubung (*channel shroud*) yang berfungsi untuk mengeliminasi aliran silang (*cross flow*) antar perangkat bahan bakar. Bagian bawah perangkat bahan bakar dilengkapi dengan nosel masukan (*inlet nozzle*) yang berfungsi untuk mengarahkan aliran pendingin sekaligus juga berfungsi sebagaiudukan perangkat bahan bakar pada pelat penyangga teras bagian bawah. Bagian atas perangkat bahan bakar dilengkapi nosel outlet yang sekaligus juga berfungsi sebagaiudukan perangkat bahan bakar pada pelat penyangga teras bagian atas. Bagian atas perangkat bahan bakar juga dilengkapi dengan perpanjangan (*extension*) yang berhubungan dengan sistem pengarah batang kendali. Gambar 4 menunjukkan bejana reaktor untuk KLT-40S dan bagian dalamnya dan Gambar 5. menunjukkan susunan perangkat bahan bakar di dalam teras reaktor KLT-40S.



Gambar 5 Bejana reaktor KLT 40s [3]

Reaktor KLT-40 S mempunyai daya 150 MW. Jumlah perangkat bahan bakar yang berada di teras reaktor adalah 121. Untuk parameter parameter penting reaktor KLT-40s ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Parameter penting reaktor KLT-40s [4, 5]

Parameter	Nilai
Daya (<i>Rated Power</i>) (MW)	150
Jumlah <i>fuel assemblies</i>	121
Diameter (mm)	1.219
Tinggi (mm)	1.300
Kapasitas energi (MWh)	3,3*10 ⁶
Durasi operasi (hari efisien)	22.000
Diameter batang bakar (mm)	6,2
<i>Rod pitch</i> (mm)	8,35
Area <i>surface</i> transfer kalor (cm ²)	312,5
Jumlah batang bakar pada teras	12.342
Densitas uranium pada kernel bahan bakar (g/cm ³)	4,5
Laju produksi rata-rata produk fisi pada kernel bahan bakar (g/cm ²)	0,42
Laju produksi maksimal produk fisi pada kernel bahan bakar (g/cm ²)	0,65
Densitas daya spesifik pada teras (MW/M ³)	110
<i>Heat flux</i> rata-rata pada <i>surface</i> batang bakar (MW/m ²)	0,47
Laju generasi kalor spesifik (w/cm)	90,7

KAJIAN KESELAMATAN UNTUK PLTN TERAPUNG.

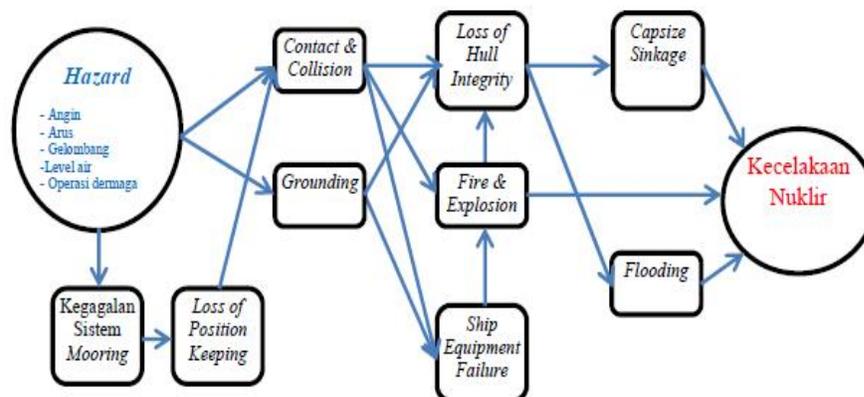
Dalam pengoperasian PLTN terapung banyak hal yang harus diperhatikan terkait keselamatan. Dalam analisis keselamatan PLTN terapung harus mempertimbangkan bahaya internal maupun bahaya external. Penentuan bahaya dalam PLTN Terapung dapat menggunakan metode HAZOP. Tujuan metode HAZOP ini adalah

mengidentifikasi semua bahaya yang dapat mengganggu atau menyebabkan kecelakaan pada PLTN Terapung. Dari HAZOP ini akan didapat bahaya eksternal dan internal apa saja yang dapat mengganggu atau menyebabkan kecelakaan pada PLTN Terapung. Bahaya external yang terkait dengan PLTN terapung antara lain berasal dari angin, arus, gelombang, level air, operasional dermaga. Identifikasi bahaya eksternal tersebut berdasarkan pada tapak dimana PLTN Terapung tersebut dibangun, yang pada umumnya di dermaga atau pelabuhan. Dari bahaya-bahaya eksternal tersebut dapat menyebabkan beberapa kejadian kecelakaan yang biasa terjadi di laut seperti:

- *Collision*
- *Contact*
- *Grounding*
- *Loss of hull integrity*
- *Fire/explosion*
- *Equipment Failure*

Kecelakaan-kecelakaan diatas mengikuti *Formal Safety Assessment (FSA)* yang sudah ditetapkan dalam kategori kejadian kelautan yang relevan dengan *assessment* di pelabuhan[5].

Skenario risiko dan kecelakaan yang dapat terjadi pada kapal PLTN terapung yang ditambah bisa digambarkan seperti pada Gambar6.



Gambar.6 Skenario kecelakaan akibat bahaya eksternal

Dari Gambar. 6 dapat dilihat bahwa bahaya eksternal (angin, arus, gelombang, level air

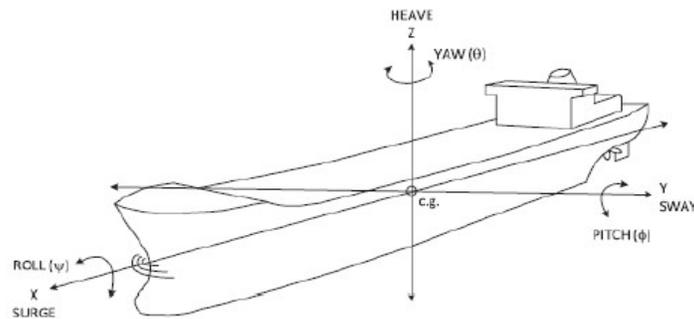
dan operasi dermaga) dapat menyebabkan kegagalan PLTN terapung pada sistem *mooring*,serta terjadinya *contact*, *collision* dan atau *grounding* pada kapal. Kegagalan sistem *mooring* dapat menyebabkan kapal lepas dari dermaga (*loss of position keeping*) selanjutnya akan menyebabkan kapal menumbuk struktur dermaga (*contact*) atau dengan kapal lain (*collision*).*Contact* dan *Collision* akan memungkinkan terjadinya kerusakan lambung kapal (*loss of hull integrity*), kebakaran dan atau ledakan (*fire and/or explosion*) serta kegagalan pada kelengkapan kapal (*ship equipment failure*). Kegagalan kelengkapan kapal ini dapat pula menyebabkan kebakaran yang selanjutnyamemungkinkan lambung kapal mengalami kerusakan. Selanjutnya, kerusakan lambung kapal yang cukup parah dapat menyebabkan kapal terendam (*flooding*) dan juga terbalik serta tenggelam (*capsize sinkage*). Lebih jauh kecelakaan pada PLTN terapung dapat berujung pada kecelakaan nuklir. Kecelakaan ini dapat berupa pemanasan bahan bakar yang berlebih hingga lelehnya teras reaktor. Kemudian tentunya juga akan diikuti terlepasnya zat radioaktif ke lingkungan, baik berupa gas, cairan atau padatan.

Dalam analisis keselamatan PLTN terapung selain memperhatikan bahaya eksterna juga harus

memperhatikan bahaya internal. Bahaya internal di PLTN terapung pada dasarnya sama dengan PLTN PWR yang ada di daratan. Kecelakaan-kecelakaan akibat bahaya internal pada PLTN Terapung antara lain kecelakaan yang diakibatkan karena gangguan reaktivitas, gangguan pengambilan kalor dengan kegagalan pada sistem pengambilan kalor darurat, LOCA di dalam pengungkung, *Anticipated Transient without scram* dll. Dalam melakukan analisis kecelakaan pada PLTN terapung harus mempertimbangkan gerakan kapal karena efek gelombang air laut maupun angin. Hal ini berbeda dengan analisis yang dilakukan pada PLTN yang dibangun di daratan, karena PLTN yang dibangun

Terkait aspek keamanan nuklir, sangat nyata adanya risiko bahwa bahan nuklir atau limbah radioaktif di kapal juga dapat dibajak saat proses pengangkutan. Analisis menunjukkan bahwa operasi PLTN terapung di perairan lepas pantai negara kepulauan seperti Indonesia berisiko bagi Indonesia dan negara tetangga terdekat, tetapi juga dapat menimbulkan risiko global. Ketika teroris berhasil melakukan serangan, sehingga bahan nuklir dan/atau limbah radioaktif di PLTN terapung jatuh ke tangan yang salah, bahan-bahan ini kemudian dapat digunakan untuk melakukan tindak pidana di tempat lain.

PLTN terapung pada umumnya ada dua tipe,



Gambar 7 Gerakan Kapal akibat pengaruh gelombang [5, 6]

didaratan posisi tetap dan tidak bergerak. Gerakan kapal tempat PLTN dibangun akan memberikan dampak terhadap level pendingin (air) dalam sistem primer dan pada akhirnya akan mempengaruhi hasil perhitungan. Pengaruh gelombang laut terhadap gerakan kapal ada tiga jenis gerakan rotasi (*pitch*, *yaw* dan *roll*) serta tiga jenis gerakan translasi (*surge*, *sway* dan *heave*). Pergerakan dalam arah *fore* dan *aft* sepanjang garis longitudinal kapal dinamakan “surge”, dalam arah *side-to-side* lateral disebut “sway”, dan secara vertical disebut “heave”. Rotasi pada arah sumbu z vertikal melalui pusat gravitasi kapal, dinamakan “yaw”, pada arah sumbu y longitudinal disebut “roll” dan pada arah sumbu y lateral disebut “pitch”. Tiga jenis gerakan rotasi dan translasi tersebut harus dimasukkan ke dalam perhitungan analisis keselamatan. Gambar. 7 menunjukkan gerakan kapal akibat gelombang.

KAJIAN KEAMANAN PLTN TERAPUNG

yaitu tepi pantai (*onshore*) dan lepas pantai (*offshore*). Secara umum skenario serangan pada keduanya sama, yaitu:

1. Pencurian atau tindakan ilegal lain suatu bahan fisil untuk pengayaan lebih lanjut dan penggunaan senjata nuklir dari PLTN terapung yang menggunakan uranium diperkaya tingkat rendah (kurang dari 20%). Skenario ini sangat tergantung pada kemampuan teknologi yang dimiliki teroris dan kerentanan dari PLTN tersebut.
2. Penggunaan bahan radioaktif untuk menghasilkan perangkat penyebar material radiologis (*radiological disperse device*).
3. Serangan terhadap reaktor atau fasilitas nuklir lainnya dengan tujuan menyebabkan jatuhnya radioaktif dan kontaminasi suatu daerah. Penyerang dapat menargetkan sistem pendukung PLTN terapung agar terjadi pelelehan teras (*reactor core meltdown*) yaitu pelelehan bahan

nuklir di teras reaktor yang diikuti pelepasan bahan radioaktif ke luar sungkup.

Penyerang dapat memilih untuk melakukan serangan dari udara, dari laut atau dari bawah permukaan laut, baik di tempat operasi PLTN atau saat penyeretan (transportasi PLTN terapung tepi pantai). PLTN terapung tidak seperti PLTN darat yang memiliki fondasi yang kokoh dan dengan demikian kurang terlindung terhadap dampak yang kuat, sehingga jika pesawat penumpang atau kargo diarahkan oleh teroris untuk jatuh dan menabrak akan menyebabkan kerusakan dan kehancuran dahsyat masih mungkin terjadi pada tempat penyimpanan bahan bakar nuklir bekas di PLTN yang memiliki konsekuensi setara dengan ledakan reaktor.

Diperlukan beberapa rencana untuk menanggulangi ancaman ancaman diatas. Rencana keamanan untuk mengatasi ancaman-ancaman tersebut harus berdasarkan kombinasi antara desain pembangkit, pertahanan berlapis dan peletakan pembangkit, yang antara lain sebagai berikut:

1. Desain pembangkit:

Acces point ke pembangkit terletak di dek utama, jauh di atas *waterline*, sehingga menghambat akses yang mudah oleh pasukan penyerang. Semua komponen nuklir yang penting berada di dalam beberapa lapis lambung kapal yang terbuat dari baja di bawah permukaan air. Perimeter melingkar (*circular*) dari *platform* mudah dipertahankan oleh tim keamanan operator karena tidak adanya garis hambatan penglihatan.

2. Pertahanan berlapis:

a. *Monitored area*:

Seluruh lalu lintas dimonitor/dideteksi secara elektronis dalam area 8 mil laut (1 mil laut =1,85 km) dari pembangkit.

b. *Exclusion area* untuk kapal besar:

Zona ini radiusnya 6 mil laut dengan perhitungan bahwa kapal tangker besar yang mendekati pembangkit dengan kecepatan 12 knots membutuhkan waktu 30 menit untuk mencapai pembangkit. Kapal besar yang melanggar zona ini akan diintervensi secara cepat oleh penjaga pantai negara atau kekuatan militer.

c. *Controlled access area*

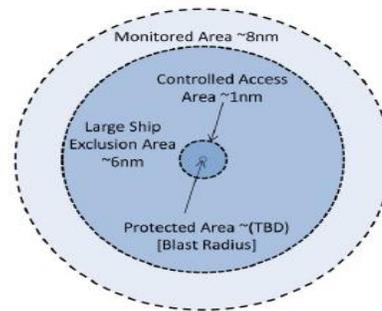
Tidak ada akses yang diijinkan untuk perahu atau kendaraan bawah laut yang tidak

memeiliki wewenang dalam radius 1 mil laut dari pembangkit. Area ini dimonitor dengan sonar

d. *Potected area*:

Batas zona ini dilengkapi dengan penghambat fisik seperti ledakan permukaan danjaring bawah air untuk menghentikan atau menunda penyerang di permukaan atau bawah permukaan laut. Zona ini berukuran sesuai dengan radius ledakan dari ledakan sebuah perahu yang menyerang dengan sejumlah besar peledak.

Pertahanan berlapis untuk keamanan PLTN Terapung dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Pertahanan berlapis untuk keamanan PLTN Terapung [6]

Hal khusus yang harus diperhatikan dalam pemanfaatan PLTN terapung tepi pantai (misalnya KLT-40s) adalah keamanan pengangkutannya. Pengawasan dan perlindungan oleh angkatan laut Rusia sebelum memasuki perairan Indonesia (perjalanan dan transit) diyakini akan mengeliminir terjadinya ancaman. Untuk itu, diperlukan perjanjian khusus tidak hanya antara operator PLTN dengan KLT-40S, namun juga harus melibatkan pemerintah Indonesia, Rusia dan negara-negara yang dilalui dan menjadi tempat transit PLTN tersebut.

KESIMPULAN

Dari hasil kajian didapat kesimpulan bahwa untuk pembangunan PLTN Terapung di Indonesia harus mempertimbangkan:

1. Bahaya eksternal maupun bahaya internal. Bahaya eksternal yang dipertimbangkan terkait dengan PLTN Terapung adalah angin, arus,

gelombang, level air, operasional dermaga, hal ini terkait dengan pemilihan tapak dimana PLTN Terapung itu akan dibangun. Sedangkan bahaya internal mirip dengan PLTN yang ada di darat yaitu antara lain gangguan reaktivitas, gangguan pengambilan kalor dengan kegagalan pada sistem pengambilan kalor darurat, LOCA di dalam pengungkung, *Anticipated Transient without scram dll*. Perbedaan PLTN Terapung dengan PLTN yang ada di darat dalam melakukan analisis keselamatan untuk bahaya internal adalah harus mempertimbangkan gerakan kapal karena pengaruh gelombang.

2. Untuk analisis keamanan PLTN terapung lebih memerlukan perhatian khusus dibandingkan dengan PLTN yang ada di darat karena ancaman keamanan untuk PLTN Terapung lebih banyak arahnya, antara lain penyerang dapat memilih untuk melakukan serangan dari udara, dari laut atau dari bawah permukaan laut, baik di tempat operasi PLTN atau saat penyeretan (transportasi PLTN terapung tepi pantai).

UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada jajaran Manajemen beserta staf P2STPIB yang telah mendukung dan memberikan kesempatan seluas-luasnya kepada para penulis untuk melaksanakan kajian ini. Dan tidak lupa penulis juga mengucapkan terima kepada Departemen Teknik Nuklir dan Fisika UGM yang telah membantu untuk penyusunan kajian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Nama Penanya : Sihana
Instansi : UGM
Nama Penyaji : Agus W
Judul Makalah : **KAJIAN KESELAMATAN DAN KEAMANAN PLTN TERAPUNG DI INDONESIA**
Kode Makalah : OB01

Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar

Atas dasar daftar hazard yang diperoleh, apakah sudah dibuat daftar kecelakaan yang berpotensi terjadi? Dari makalah sudah disebutkan terkait dengan bahaya internal dan eksternal serta ancaman terhadap keamanan. Apakah ada skenario terhadap bahaya-bahaya tersebut?

Jawaban/Komentar dari Penyaji

Dalam makalah belum menyebutkan secara detil terkait skenario terhadap bahaya-bahaya tersebut, karena membutuhkan data desain rinci dari PLTN terapung. Sedangkan untuk bahaya keamanan tergantung pada site specific.

- [1] M[7]. D. d. W. J.F, "Floating Nuclear Power Plants and Associated Technologies in Northern Areas," 2008.
- [2] OKBM AFrikantof, "KLT-40S Reactor Plants for the Floating CNPP FPU," [Online]. Available: <http://www.uxc.com/smr/Library%5CDesign%20Specific/KLT-40S%20Reactor%20Plant%20for%20the%20Floating%20CNPP%20FPU.pdf>.
- [3] Y. P. Fadeev, "KLT-40S Reactor Plant for the Floating CNPP FPU," OKBM Afrikantof.
- [4] A. N. d. L. Andeyev, "Floating Nuclear Power Plant," Bellona Report, 2011.
- [5] The Mooring Analysis Committee of the Technical Committee on Port and Harbors of the Coast, Oceans, Ports and River Institute of the American Society of Civil Engineer, "Mooring of Ships to Piers and Wharves," in *American Society of Civil Engineers*, 2014.
- [6] J. J. M. G. d. N. T. J. Buongiorno, "The Offshore Floating Nuclear Plant Concept," *Nuclear Technology*, vol. 194:, 2016.

OB02

PENERAPAN PENDEKATAN BERTINGKAT DALAM PERATURAN KEPALA BAPETEN TENTANG KESELAMATAN OPERASI REAKTOR NONDAYA

Angga Kautsar

*¹Direktorat Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, Badan Pengawas Tenaga Nuklir
e-mail: a.kautsar@bapeten.go.id*

ABSTRAK

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 12 Tahun 2011 salah satu asas dalam pembentukan peraturan perundang-undangan yang baik adalah asas dapat dilaksanakan. Pendekatan bertingkat merupakan salah satu pendekatan yang bertujuan untuk membuat peraturan ketenaganukliran dapat dilaksanakan. Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 2 Tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Operasi Reaktor Nondaya mengatur keselamatan operasi di reaktor nondaya tanpa membedakan jenis dan kompleksitas reaktor nondaya. Pada makalah ini telah dilakukan evaluasi terhadap penerapan pendekatan bertingkat di dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 2 Tahun 2011 menggunakan dokumen IAEA *Specific Safety Guide* Nomor 22. Evaluasi dilakukan terhadap aspek-aspek operasi reaktor, mulai dari aspek manajemen dan verifikasi keselamatan hingga proteksi dan keselamatan radiasi. Berdasarkan hasil evaluasi, penerapan pendekatan bertingkat di dalam pengoperasian reaktor nondaya melibatkan banyak aspek operasi reaktor, sehingga pengaturan ketentuan pendekatan bertingkat hanya dalam satu pasal di Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 2 Tahun 2011 kurang memadai dan tidak dapat diterapkan secara efektif. Untuk itu ketentuan pendekatan bertingkat sebaiknya dimasukkan ke revisi Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 2 Tahun 2011 atau dimasukkan ke dalam prosedur perizinan.

Kata kunci: pendekatan bertingkat, operasi, reaktor nondaya

ABSTRACT

Based on Law Number 12 Year 2011 one of the principles in the establishment of good legislation is can be implemented. Graded approach is one of the approaches to make nuclear regulation implementable. BAPETEN Chairman Regulation Number 2 Year 2011 on Safety Provisions of Research Reactor regulates the safety of operation in research reactors without distinguishing the type and complexity of the reactors. In this paper, evaluation of the application of the graded approach of the BAPETEN Chairman Regulation Number 2 Year 2011 has been implemented using the IAEA Specific Safety Guide No. 22. The evaluation is carried out on aspects of reactor operation, ranging from management and verification of safety to protection and radiation safety. Based on the results of the the evaluation, the application of graded approach in the operation of research reactors involves many aspects of reactor operation so that stipulating the graded approach provisions only in one article in BAPETEN Chairman Regulation Number 2 Year 2011 is insufficient and will not effectively applicable. Therefore, the provision of a graded approach should be incorporated into the revision of BAPETEN Chairman Regulation Number 2 Year 2011 or incorporated into the licensing procedure.

Keywords: *graded approach, operation, research reactor.*

PENDAHULUAN

Berdasarkan Pasal 5 Undang-Undang Nomor 12 Tahun 2011 tentang pembentukan peraturan Perundang-undangan dalam menyusun suatu peraturan perundang-undangan harus dilakukan berdasarkan pada asas pembentukan peraturan perundang-undangan yang baik. Salah satu asas dalam pembentukan peraturan perundang-undangan yang baik adalah asas dapat dilaksanakan. Agar memenuhi asas dapat dilaksanakan, setiap pembentukan peraturan perundang-undangan harus memperhitungkan efektivitas peraturan perundang-undangan tersebut di dalam masyarakat, baik secara filosofis, sosiologis, maupun yuridis [1].

Di dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 2 Tahun 2011 (PKB 2/2011) tentang Keselamatan Operasi Reaktor Nondaya diatur persyaratan keselamatan pada berbagai aspek

operasi sebagaimana tercantum dalam tabel 1. Dalam Pasal 3 PKB 2/2011 dinyatakan “Ketentuan di dalam Peraturan Kepala BAPETEN ini dilaksanakan dengan pendekatan pemeringkatan, bergantung pada tingkat kerumitan suatu reaktor nondaya”[2]. Namun tidak ada penjelasan lebih lanjut mengenai pendekatan bertingkat pelaksanaan operasi reaktor nondaya.

Setiap reaktor nondaya mempunyai tujuan penggunaan tertentu dan bervariasi seperti untuk penelitian, pelatihan, pendidikan, produksi radioisotop, radiografi dan pengujian material. Tujuan tersebut membutuhkan fitur desain yang berbeda dan ketentuan pengoperasian yang berbeda. Karakteristik desain dan operasi reaktor nondaya dapat bervariasi secara signifikan, karena penggunaan perangkat eksperimen dapat mempengaruhi kinerja reaktor. Selain itu, kebutuhan akan fleksibilitas dalam penggunaannya

membutuhkan hal pendekatan yang berbeda dalam mencapai dan mengelola keselamatan[3].

Sementara itu pada saat ini di Indonesia terdapat 3 (tiga) reaktor nondaya yang semuanya dioperasikan oleh Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). Ketiga reaktor tersebut adalah Reaktor Kartini yang memiliki daya 100 W, Reaktor Triga 2000 dengan daya 2 MW, dan Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy yang memiliki daya 30 MW. Ketiga reaktor memiliki tingkat daya, jenis reaktor, jenis bahan bakar dan kompleksitas yang berbeda sehingga memerlukan pendekatan bertingkat dalam pengawasannya.

Dalam makalah ini, diambil hipotesis bahwa ketentuan yang terdapat dalam PKB 2/2011 tidak dapat dilaksanakan dengan efektif tanpa adanya pedoman lebih lanjut dalam penerapan pendekatan bertingkat. Makalah ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi pedoman mengenai penerapan pendekatan bertingkat yang dapat digunakan oleh para evaluator dalam mengevaluasi dokumen perizinan Reaktor Nondaya.

Tabel 1. Muatan PKB 2/2011

BAB	PKB 2/2011
II.	Manajemen dan verifikasi keselamatan
III.	BKO dan prosedur operasi
IV.	Uji fungsi dan kinerja
V.	Perawatan
VI.	Manajemen teras dan penanganan bahan bakar nuklir
VII.	Pelaporan dan rekaman
VIII.	Utilisasi, modifikasi dan peralatan eksperimen
IX.	Proteksi dan keselamatan radiasi

POKOK BAHASAN

Pada makalah ini akan dilakukan analisis kualitatif dengan tinjauan pustaka. Penerapan terhadap pendekatan bertingkat dalam menerapkan PKB 2/2011 tentang Keselamatan Reaktor Nondaya dievaluasi dengan menggunakan rekomendasi IAEA SSG-22 *Use of a Graded Approach in the Application of the Safety Requirements for Research Reactors*. Aspek yang dievaluasi meliputi manajemen dan verifikasi keselamatan sampai aspek proteksi dan keselamatan radiasi sebagaimana ditunjukkan dalam tabel 1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Evaluasi

Telah dilakukan evaluasi terhadap pendekatan bertingkat dalam menerapkan muatan PKB 2/2011 sebagaimana terdapat dalam tabel 1

menggunakan dokumen IAEA SSG-22 dengan hasil sebagai berikut:

1. Manajemen dan verifikasi keselamatan

PKB 2/2011 mengatur tanggung jawab organisasi pemegang izin, manajer reaktor, dan petugas IBN tanpa penjelasan lebih lanjut mengenai penerapannya dengan pendekatan bertingkat. Berdasarkan SSG-22 tanggung jawab tersebut tidak dapat diperingkat. Tanggung jawab pemegang izin, manajer reaktor, dan petugas IBN untuk reaktor nondaya dengan daya rendah sama dengan reaktor dengan daya tinggi. Contohnya, tanggung jawab langsung dan wewenang dalam pengoperasian reaktor yang selamat harus ditugaskan ke manajer reaktor. Tanggung jawab ini tidak bisa diperingkat dan dibedakan. Namun, bagaimana penyerahan tanggung jawab dan wewenang tersebut dilakukan, dapat diperingkat sesuai dengan signifikansi keselamatan, kemampuan organisasi, dan kompleksitas reaktor[4].

Berkenaan dengan panitia keselamatan, PKB 2/2011 mengatur mengenai pembentukan dan tugas dari panitia penilai keselamatan tetapi tidak mengatur ukuran, jumlah, komposisi maupun frekuensi pertemuan berdasarkan daya atau kompleksitas reaktor. Berdasarkan SSG-22 keberadaan panitia penilai keselamatan dan tugasnya berlaku sama untuk semua reaktor. Independensi panitia penilai keselamatan juga diperlakukan sama. Yang dapat diperingkat adalah jumlah, ukuran, serta komposisi dari panitia penilai keselamatan. Untuk reaktor nondaya yang lebih kompleks jumlah dan komposisinya lebih besar. Selain itu pemeringkatan bisa dilakukan terhadap frekuensi pertemuan panitia penilaian keselamatan[4].

Berdasarkan PKB 2/2011 penilaian keselamatan berkala dilakukan setiap 5 tahun yang berlaku sama untuk semua tingkat daya maupun kompleksitas reaktor. Sedangkan dalam SSG-22 dinyatakan frekuensi penilaian keselamatan berkala bervariasi antara 5 sampai 10 tahun. Frekuensi diperbaruinya penilaian keselamatan dan tingkat rincian penilaian keselamatan dapat diperingkat berdasarkan jumlah dan tingkat modifikasi pada sistem reaktor dan fasilitas eksperimen, perubahan prosedur, hasil pemantauan kesesuaian terhadap batasan dan kondisi operasi, modifikasi yang signifikan terhadap keselamatan, bukti penuaan komponen, umpan balik dari pengalaman dan kejadian operasi, perubahan dalam kondisi tapak, dan peraturan perundang-undangan terbaru. Selain itu, penilaian bergantung pula pada pengalaman yang didapat di reaktor serupa[4].

Pada bagian pelatihan, pelatihan penyegaran, dan kualifikasi, PKB 2/2011 mengharuskan pemegang izin untuk menyusun, melaksanakan, dan memutakhirkan program pelatihan dan pelatihan penyegaran tanpa membedakan jenis reaktor nondaya dan kompleksitasnya. Sedangkan menurut SSG 22,

pemeringkatan dalam penyusunan, pelaksanaan, dan pemutakhiran program pelatihan dan pelatihan penyegaran dapat dilakukan berdasarkan kompleksitas, potensi bahaya, utilisasi yang direncanakan, infrastruktur yang tersedia dan fungsi lain yang mungkin ditugaskan ke petugas reaktor nondaya dan staf lainnya. Disamping itu tingkat pendidikan dan pengalaman operasional yang diperlukan (misalnya jumlah jam kerja minimum per tahun) untuk berbagai petugas di reaktor dan isi beserta durasi pelatihannya dapat diperingkat sesuai dengan kriteria di atas[4].

2. BKO dan prosedur operasi

Pada bagian BKO di PKB 2/2011, pemegang izin harus menetapkan Batasan dan Kondisi Operasi (BKO) yang meliputi batas keselamatan, pengesetan sistem keselamatan, kondisi batas untuk operasi normal, persyaratan surveilan, dan persyaratan administratif. Tidak ada ketentuan lebih lanjut mengenai penerapan pendekatan bertingkat dalam penetapan BKO sesuai dengan desain dan pelaksanaan operasi reaktor. Berdasarkan SSG-22 penetapan batas keselamatan, pengesetan sistem keselamatan, dan kondisi batas untuk operasi normal dapat dilakukan pemeringkatan[4].

Persyaratan untuk menetapkan batas keselamatan dan batas operasional yang sesuai untuk melindungi integritas penghalang fisik tidak dapat diperingkat. Akan tetapi pemeringkatan dapat diterapkan pada kedalaman analisis yang digunakan sebagai dasar untuk menetapkan batas keselamatan. Dalam penetapan pengesetan sistem keselamatan analisis yang dilakukan untuk menetapkan margin keselamatan juga dapat diperingkat. Pemeringkatan lainnya untuk pengesetan sistem keselamatan terletak pada pemilihan tipe dan variasi pengesetan sistem keselamatan terkait dengan batas keselamatannya. Pada reaktor dengan daya rendah, pengesetan sistem keselamatan untuk suatu batas keselamatan cukup satu parameter saja, sedangkan pada reaktor dengan daya lebih tinggi, untuk satu batas keselamatan yang sama, pengesetan sistem keselamatan mungkin perlu ditetapkan pada beberapa parameter. Demikian juga dalam penentuan kondisi batas untuk operasi normal, pendekatan bertingkat dapat diterapkan dalam penentuan jumlah dan jenis parameter yang ditetapkan serta tingkat kedalaman analisis yang menjadi dasar penetapannya [4].

Untuk persyaratan surveilan, pemeringkatan dapat dilakukan terhadap frekuensi dan lingkup surveilan serta kriteria keberterimaan suatu struktur, sistem dan komponen berdasarkan signifikansi keselamatan dan keandalan yang diperlukan. Sementara untuk persyaratan administratif pemeringkatan dapat dilakukan terhadap tanggung jawab organisasi, jumlah petugas yang diperlukan, serta pelatihan dan pelatihan penyegaran[4].

PKB 2/2011 menyatakan pemegang izin harus menetapkan dan melaksanakan prosedur operasi. Prosedur operasi di reaktor nondaya harus meliputi

semua kondisi operasi. Berdasarkan SSG-22 pemeringkatan dapat dilakukan terhadap jumlah prosedur operasi yang dikembangkan beserta format dan pembentukannya[4].

3. Uji Fungsi dan Kinerja

SSG-22 tidak memberikan petunjuk mengenai pendekatan bertingkat untuk aspek uji fungsi dan kinerja sebagaimana dimaksud dalam PKB 2/2011.

4. Perawatan

Pada PKB 2/2011, pemegang izin harus menyusun program perawatan beserta prosedurnya tanpa melihat tingkat daya dan kompleksitas reaktor nondaya. Berdasarkan SSG-22, pemeringkatan dapat dilakukan terhadap frekuensi perawatan, pengujian, dan inspeksi struktur, sistem dan komponen, penyusunan prosedur dan tindakan proteksi radiasi selama perawatan dengan mempertimbangkan pengalaman sebelumnya dan signifikansi SSK terhadap keselamatan[4].

Frekuensi pengujian berkala dapat diperingkat berdasarkan pengaruhnya terhadap keselamatan dan kemudahan tindakan untuk kompensasi. Pada umumnya, penambahan frekuensi pengujian dapat meningkatkan kemampuan deteksi kegagalan. Akan tetapi terlalu seringnya pengujian bisa juga menyebabkan makin seringnya kegagalan SSK. Di samping itu perlu dipertimbangkan risiko pengujian yang tidak dilaksanakan dengan benar sehingga menyebabkan SSK terdegradasi. Oleh karena itu, harus dicari nilai frekuensi pengujian yang optimum. Hal ini berlaku sama juga dengan frekuensi perawatan. Untuk frekuensi penggantian SSK yang mengalami degradasi penuaan, misalnya karena adanya radiasi tinggi, dapat diperingkat berdasarkan umpan balik pengalaman operasi, termasuk dari reaktor lain, serta berdasar dari hasil penelitian dan pengembangan[4].

Pemeringkatan prosedur perawatan dapat dilakukan dalam penyusunannya. Penyusunan prosedur perawatan bergantung pada kompleksitas perawatan, pengujian, dan inspeksi, serta pengalaman staf dan pengenalannya terhadap sistem. Makin kompleks sistem yang harus dirawat, makin rumit pula perawatannya dan prosedur perawatannya[4].

Tindakan proteksi radiasi dalam pelaksanaan perlu mendapat perhatian khusus. Prosedur perawatan, pengujian berkala dan inspeksi perlu disusun dengan penerapan pendekatan bertingkat pada tindakan proteksi radiasi berdasarkan potensi paparan kerja. Pengendalian harus dilakukan untuk memastikan bahwa pekerja yang melaksanakan perawatan, pengujian berkala dan inspeksi di daerah pengendalian atau terhadap komponen yang bersifat radioaktif tidak menerima paparan radiasi melebihi batas yang diizinkan[4].

Pemeringkatan lainnya adalah lama outage yang diperbolehkan. Lamanya struktur, sistem, dan komponen (SSK) diperbolehkan *outage* sementara reaktor terus beroperasi dinyatakan dalam BKO reaktor nondaya. Lama waktu outage tersebut dapat

diperingkat berdasarkan sejauh mana memengaruhi keselamatan dan kemudahan tindakan untuk kompensasi. Misalnya untuk sistem shutdown otomatis tidak diperkenankan outage ketika operasi sementara outage sampai beberapa hari mungkin diperbolehkan seperti pemantauan pH air di sistem pemurnian[4].

Apabila perawatan, pengujian, atau inspeksi dari suatu SSK tidak rumit dan pengalaman operasi menunjukkan SSK tersebut mengalami keandalan yang tinggi, dimungkinkan untuk direviu dan diperingkat ulang. Dari hasil pemeringkatan ulang maka prosedur perawatan, pengujian, atau inspeksi dapat diubah dengan mengikuti proses penyusunan prosedur yang telah ditetapkan[4].

Untuk kegiatan perawatan, pengujian, dan inspeksi yang menggunakan teknik yang kompleks dan canggih serta dikerjakan oleh pihak ketiga, harus dipastikan pemeringkatan yang dilakukan tetap menjamin keselamatan pihak ketiga[4].

5. Manajemen teras dan penanganan bahan bakar

Agar reaktor beroperasi dengan selamat sesuai dengan kebutuhan operasi rutin dan program utilisasi, PKB 2/2011 mengharuskan pemegang izin untuk menetapkan manajemen teras tanpa membedakan jenis bahan bakar dan tingkat dayanya. Berdasarkan SSG-22 pemeringkatan dapat dilakukan terhadap kedalaman manajemen teras dan program pengisian ulang bahan bakar[4].

Perangkat kritis dan reaktor nondaya dengan risiko bahaya radiologik yang rendah, dengan tingkat daya sampai puluhan kilowatt tidak sering memerlukan penyesuaian teras untuk mengkompensasi nilai fraksi bakar. Oleh karena itu tidak diperlukan manajemen teras dan program pengisian bahan bakar nuklir yang komprehensif[4].

6. Pelaporan dan rekaman

Berdasarkan PKB 2/2011, pemegang izin harus membuat rekaman dan menyusun laporan yang berkaitan dengan pengoperasian reaktor. Selain itu disebutkan juga laporan dan rekaman harus tersedia selama operasi tanpa membedakan jenis dokumennya. Di dalam dokumen SSG-22 dinyatakan bahwa pendekatan dapat diterapkan untuk pelaporan dan pemeliharaan rekaman diantaranya terhadap proses penyusunan dokumen dan penyiapan rekaman, kebutuhan serta tingkat validasi laporan atau rekaman, tingkat kedalaman reviu dan jumlah yang terlibat dalam proses reviu, pihak yang diperlukan untuk distribusi, jenis dokumen yang dapat digantikan sementara dengan dokumen lain, kebutuhan untuk pengarsipan dokumen yang telah diganti, kebutuhan untuk mengkategorikan, mendaftarkan, mengindeks, mengambil dan menyimpan catatan dokumen, waktu retensi dokumen, tanggung jawab untuk penghapusan rekaman, serta jenis media penyimpanan yang disesuaikan dengan lama penyimpanan yang ditentukan[4].

7. Utilisasi, modifikasi, dan peralatan eksperimen

Pengaturan utilisasi, modifikasi, dan peralatan eksperimen dalam PKB 2/2011 menyebutkan pemegang izin bertanggung jawab atas semua aspek keselamatan dalam persiapan dan pelaksanaan modifikasi dan utilisasi tanpa melihat jenis dan tingkat modifikasinya. SSG-22 merekomendasikan agar sebelum melakukan eksperimen dan modifikasi, pemegang izin menetapkan kriteria untuk mengkategorikan setiap usulan eksperimen atau modifikasi sesuai dengan pengaruhnya terhadap keselamatan. Kategorisasi yang dihasilkan kemudian digunakan untuk menentukan jenis dan tingkat analisis dan persetujuan yang diperlukan. Kategorisasi dapat dilakukan berdasarkan signifikansi keselamatannya yaitu:

- a. Perubahan yang berdampak major terhadap keselamatan
- b. Perubahan yang berdampak signifikan terhadap keselamatan
- c. Perubahan yang berdampak minor terhadap keselamatan
- d. Perubahan yang tidak berdampak terhadap keselamatan[4].

8. Proteksi dan keselamatan radiasi

Pemegang izin sebagaimana dalam PKB 2/2011 harus menetapkan dan melaksanakan program proteksi dan keselamatan radiasi tanpa membedakan jenis reaktor dan risikonya. Dalam SSG-22 dinyatakan bahwa banyak aspek dari program proteksi radiasi yang serupa untuk semua reaktor nondaya meskipun isinya tergantung kepada desain, level daya, dan utilisasi dari suatu reaktor nondaya. Penerapan pendekatan bertingkat untuk program proteksi radiasi harus konsisten dengan desain reaktor dan utilitasinya.

Pendekatan bertingkat dapat diterapkandalam penetapan daerah pengendalian. Untuk reaktor nondaya dengan daya tinggi, diperlukan untuk membagi daerah pengendalian menjadi beberapa tingkatan, misalnya tingkat I, II, dan III. Prosedur untuk proteksi radiasi di daerah pengendalian II lebih ketat dari yang ditetapkan untuk daerah pengendalian I, misalnya memerlukan pakaian, perlengkapan, dan peralatan protektif radiasi. Daerah pengendalian III merupakan daerah yang paling tinggi prosedur proteksi radiasinya. Dalam keadaan normal daerah pengendalian III tertutup oleh penghalang fisik (misalnya pintu *airlock*). Selanjutnya, pembukaan pintu ke daerah pengendalian III pada saat reaktor operasi akan mengakibatkan reaktor shutdown otomatis. Sementara untuk reaktor dengan daya rendah, pembagian daerah pengendalian tidak diperlukan[4].

B. Pembahasan

Berdasarkan hasil evaluasi di atas, penerapan pendekatan bertingkat di dalam pengoperasian reaktor nondaya dapat melibatkan banyak aspek sehingga pengaturan pendekatan bertingkat hanya dalam satu pasal dari PKB 2/2011 masih kurang memadai. Oleh karena itu, pedoman pendekatan

bertingkat sebaiknya diakomodasi di dalam prosedur yang digunakan dalam proses perizinan. Dengan demikian, para evaluator dalam melakukan evaluasi dokumen perizinan reaktor nondaya akan mampu menilai pemenuhan terhadap ketentuan PKB 2/2011 dengan menerapkan pendekatan bertingkat berdasarkan tingkat daya, kerumitan dan risiko.

Apabila akan dilakukan revisi terhadap PKB 2/2011 maka dalam peraturan yang baru dapat dimasukkan ketentuan yang diperingkat. Dalam BAB II Manajemen dan Verifikasi Keselamatan misalnya untuk komposisi panitia penilai keselamatan reaktor yang besar terdiri dari lebih banyak keahlian daripada reaktor yang kecil. Begitu pula dengan ketentuan lainnya.

KESIMPULAN

Telah dilakukan evaluasi terhadap pendekatan bertingkat dalam menerapkan PKB 2/2011 tentang keselamatan operasi reaktor nondaya dengan menggunakan dokumen IAEA SSG-22. Evaluasi dilakukan terhadap aspek manajemen dan verifikasi keselamatan, BKO dan prosedur operasi, uji fungsi dan kinerja, perawatan, manajemen teras dan penanganan bahan bakar nuklir, pelaporan dan rekaman, utilisasi, modifikasi, dan peralatan eksperimen serta proteksi dan keselamatan radiasi. Dari hasil evaluasi diperoleh banyak aspek dalam PKB 2/2011 yang memerlukan pedoman lebih lanjut mengenai penerapan pendekatan bertingkat. Dengan demikian, ketentuan dalam PKB 2/2011 tidak akan dapat dilaksanakan secara efektif tanpa adanya pedoman lebih lanjut terkait penerapan pendekatan bertingkat.

Pelaksanaan pendekatan bertingkat di dalam pengawasan ketenaganukliran bisa melalui peraturan maupun perizinan. Akan tetapi apabila ketentuan pendekatan bertingkat diatur melalui peraturan maka akan banyak pasal yang spesifik dan tidak berlaku umum. Oleh karena itu disarankan agar pedoman penerapan pendekatan bertingkat diakomodasi di dalam prosedur evaluasi dokumen perizinan reaktor nondaya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada Bapak Direktur Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, Dr Yudi Pramono, M.Eng, atas kesempatannya dan kepada Bapak Ir. Yanuar Wahyu Wibowo, M.SE atas bimbingannya dalam penyusunan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Republik Indonesia (2011) Undang-Undang Nomor 12 tahun 2011 tentang Pembentukan Peraturan Perundang-Undangan
- [2] Republik Indonesia (2011) Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 2 tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Operasi Reaktor Nondaya

- [3] IAEA, Safety of Research Reactor (SSR-3), 2016
- [4] IAEA, Specific Safety Guide Nomor 22 (SSG-22) Use of a Graded Approach in the Application of the Safety Requirements for Research Reactors, 2012

Nama Penanya : Bintoro Aji
Instansi : BAPETEN
Nama Penyaji : Angga K
Judul Makalah : **PENERAPAN PENDEKATAN BERTINGKAT DALAM PERATURAN KEPALA BAPETEN TENTANG KESELAMATAN OPERASI REAKTOR NONDAYA**
Kode Makalah : OB02

Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar

Dasar 'kerumitan' dalam graded approach siapa yang menilai? Apakah perlu pedoman atau Perka?

Jawaban/Komentar dari Penyaji

Dalam beberapa Perka terbaru telah tersirat lebih detail.

Apabila ingin dicantumkan dalam Perka bisa juga namun apabila terlalu detil maka diusulkan masuk pedoman dalam evaluasi perizinan.

Nama Penanya : Djoko Hari
Instansi : BAPETEN
Nama Penyaji : Angga K
Judul Makalah : **PENERAPAN PENDEKATAN BERTINGKAT DALAM PERATURAN KEPALA BAPETEN TENTANG KESELAMATAN OPERASI REAKTOR NONDAYA**
Kode Makalah : OB02

Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar

1. Diperlukan perbaikan istilah 'kerumitan' pada Perka No. 2 / 2011 dan digantikan dengan istilah yang lebih tepat berdasarkan definisi IAEA
2. Mohon dipertimbangkan graded approach terhadap BKO karena terdapat variable terkait batas keselamatan, setting panel, dll. Variable tersebut spesifik untuk setiap jenis reactor serta sebutannya, sehingga tidak dibuat graded approach.
3. Agar dipertimbangkan
 - a. Jumlah dan kualifikasi keahlian personil operator dan perawatan
 - b. Prosedur emergency preparedness

Jawaban/Komentar dari Penyaji

1. Pada Perka yang lebih baru, definisi 'kerumitan' lebih jelas.
2. Di SSG 22: graded approach diberikan kepada kedalaman analisis penerapan batas keselamatan dan kondisi batas operasional normal, serta pada jumlah parameter yang digunakan.
3. a. dalam SSG 22 disebutkan juga graded approach dalam hal jumlah personil termasuk pendidikannya.
b. setuju, tetapi dalam kajian ini menitikberatkan pada Perka Operasi Reaktor Non Daya.

OB03

KAJIAN IDENTIFIKASI KETENTUAN KESELAMATAN DALAM DESAIN TERAS REAKTOR DAYA

Arifin M. Susanto¹, Zulfiandri², Bambang Eko Aryadi²¹Pusat Pengkajian Sistem Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir - P2STPIBN BAPETEN²Direktorat Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir - DP2IBN BAPETEN

e-mail: a.msusanto@bapeten.go.id

ABSTRAK**KAJIAN IDENTIFIKASI KETENTUAN KESELAMATAN DALAM DESAIN TERAS REAKTOR DAYA**

Kajian identifikasi ketentuan keselamatan dalam desain teras reaktor daya merupakan hal yang penting dilakukan guna mendukung penyusunan peraturan Kepala BAPETEN tentang Desain Teras Reaktor Daya. Teras reaktor daya merupakan tempat yang digunakan untuk proses reaksi inti berantai yang terkendali. Teras reaktor menjadi sumber potensi bahaya utama reaktor karena pembangkitan panas dan radiasi bersumber dari komponen ini. Hal teknis yang perlu untuk dikaji lebih lanjut terkait dengan teras reaktor daya adalah persyaratan keselamatan umum desain teras, persyaratan keselamatan khusus desain teras, kualifikasi struktur, sistem, dan komponen teras serta pengujian dan perawatan teras. Kajian ini juga memasukkan ketentuan agar pemegang izin tetap menerapkan jaminan kualitas dalam mendesain teras reaktor daya dan melaksanakan persyaratan keselamatan umum dan persyaratan keselamatan khusus desain teras, mempertimbangkan pengujian dan perawatan teras, serta memberlakukan jaminan kualitas yang ketat dan komprehensif agar keselamatan reaktor tetap terjaga. Sasaran yang ingin dicapai dalam kajian ini adalah tersedianya ketentuan keselamatan yang akan berguna dalam penyusunan peraturan Kepala BAPETEN tentang ketentuan keselamatan desain teras reaktor daya. Ketentuan keselamatan yang berhasil diidentifikasi diharapkan dapat diimplementasikan terhadap desain teras reaktor dengan tipe *Light Water Reactor (LWR)*, *High Temperature Gas Cooled Reactor (HTGR)* tipe *pebble bed*, dan *Molten Salt Reactor (MSR)*.

Kata Kunci: desain teras, persyaratan keselamatan umum, persyaratan keselamatan khusus

ABSTRACT

IDENTIFICATION ASSESSMENT OF THE SAFETY PROVISIONS IN THE DESIGN OF POWER REACTOR CORE. *The assessment of identification of the safety provisions in the design of the power reactor core is essential to support the drafting of the BAPETEN Chairman Regulation on the Design of the Power Reactor Core. The power reactor core is the component used for a controlled chain reaction process. The reactor core becomes the main potential source of reactor hazard due to heat generation and radiation in this component. Technical aspects that need to be further studied in relation to reactor core are the general safety requirements and specific safety requirements of core design, qualification of core structure, system, and component as well as testing and maintenance of core. This assessment also includes provisions for licensee to implement quality assurance in designing the reactor core as well as specific and general safety requirements, considering core test and maintenance and apply quality management clearly to ensure reactor core safety. The objective to be achieved in this assessment is to identify safety provisions that will be useful in drafting the BAPETEN Chairman Regulations on the safety requirements of core reactor designs. The identified safety provisions are expected can be implemented on the Light Water Reactor (LWR), High Temperature Gas Cooled Reactor (HTGR) with pebble bed fuel type, and Molten Salt Reactor (MSR).*

Key words: core design, general safety requirement, specific safety requirement

I. PENDAHULUAN

BAPETEN dalam upaya meningkatkan efektivitas pengawasan di bidang instalasi nuklir perlu melakukan evaluasi terhadap input, proses, dan hasil pengawasan yang dilakukan oleh unit-unit yang terkait dengan instalasi nuklir dan pemanfaatan bahan nuklir. Evaluasi tersebut perlu dilakukan sehubungan dengan potensi pemanfaatan tenaga nuklir untuk pembangkitan daya listrik di masa datang.

Evaluasi terhadap efektivitas pengawasan dilakukan secara komprehensif terkait keselamatan (safety), keamanan (security), dan safeguards. Telah

banyak peraturan perundangan yang diterbitkan oleh BAPETEN, dari level Peraturan Pemerintah sampai Peraturan Kepala BAPETEN. Peraturan Pemerintah No. 2 Tahun 2014 merupakan peraturan yang berlaku untuk perizinan instalasi nuklir. PP tersebut menyebutkan ketentuan tentang desain yaitu pada pasal 20 dalam mendapatkan izin konstruksi pemohon izin harus menyerahkan persetujuan desain berupa dokumen desain rinci reaktor nuklir.

Dalam penerapannya, PP No. 2 Tahun 2014 ini memerlukan Peraturan Kepala BAPETEN untuk melaksanakan amanah pada beberapa pasal-pasalnya. Beberapa Perka sudah diterbitkan terkait dengan desain antara lain Perka No. 3 tahun 2011 tentang Keselamatan Desain Reaktor Daya namun

sedang dalam proses revisi dan draft Perka desain yang baru menunggu pengesahan. Peraturan tentang ketentuan desain tersebut memerlukan rincian lebih lanjut khususnya untuk persyaratan teknis desain sistem-sistem pada reaktor daya.

Kajian ini merupakan kajian desain teras reaktor daya secara rinci dengan parameter-parameter utama untuk mendukung keselamatan, proteksi radiasi dan keselamatan teknis. Kajian ini mencakup reaktor daya dengan jenis LWR, HTGR tipe pebble bed reactor, dan MSR.

Kajian ini dilakukan untuk mendukung penyusunan peraturan Kepala BAPETEN tentang Peraturan desain teras reaktor daya. Pokok bahasan dalam kajian ini adalah:

1. Pertimbangan Keselamatan Umum, yang meliputi:
 - a. Tujuan desain
 - b. Desain neutronik
 - c. Desain termohidrolik
 - d. Desain Mekanik (a.l. integritas kelongsong, mekanisme vibrasi, mekanisme *cladding wear*)
 - e. Aspek klasifikasi keselamatan desain teras (a.l. analisis kecelakaan dan transien)
2. Pertimbangan Keselamatan Khusus, yang meliputi:
 - a. Elemen dan perangkat bahan bakar
 - b. Pendingin
 - c. Moderator
 - d. Karakteristik reaktivitas teras dan cara pengendaliannya
 - e. Sistem *shutdown*
 - f. Teras reaktor dan struktur terkait
 - g. Manajemen teras
 - h. Sistem pemantauan teras
 - i. Analisis keselamatan teras
3. Kualifikasi, Pengujian dan Perawatan, yang meliputi:
 - a. Kualifikasi peralatan
 - b. Ketentuan untuk pengujian dan perawatan.
4. Jaminan Kualitas dalam desain

Kajian dilakukan dengan didasarkan pada IAEA Safety Guide NS-G-1.12, SSR 2.1 dan SSR 2.2 serta implikasinya untuk reaktor tipe LWR, HTGR *pebble bed* dan MSR.

Makalah ini hanya membahas desain teras HTGR dan MSR.

II. POKOK BAHASAN

II.1 Aspek Pertimbangan Desain Teras

Aspek-Aspek dalam Pertimbangan Keselamatan Umum Desain Teras Reaktor

Berdasarkan IAEA Safety Guide NS-G-1.12 [40] pertimbangan keselamatan umum desain teras reaktor meliputi beberapa aspek, yaitu:

1. Tujuan desain
2. Desain neutronik
3. Desain Termohidrolik
4. Desain Mekanik (a.l integritas kelongsong, mekanisme vibrasi, mekanisme *cladding wear*)

5. Aspek klasifikasi keselamatan desain teras (a.l. analisis kecelakaan dan transien)

Pertimbangan Tujuan Desain Keselamatan Umum Teras Reaktor

Dalam IAEA Safety Guide NS-G-1.12 [40] pertimbangan tujuan desain keselamatan umum teras reaktor meliputi beberapa aspek, yaitu:

1. Tujuan dan konsep keselamatan
2. Kejadian yang harus dicegah dan konsep pertahanan berlapis (*defence in-depth*)
3. Fungsi keselamatan dasar yang harus dipertimbangkan dalam desain teras
4. minimalisasi efek dari berbagai kejadian awal terpostulasi
5. Fitur-fitur keselamatan umum
6. Kesesuaian dengan *engineering code* nasional atau internasional berkaitan dengan struktur, sistem dan komponen teras dalam hal perancangan, fabrikasi, instalasi, pengujian dan pemeriksaan
7. Kemampuan desain teras untuk di-*review* dan dimodifikasi bilamana diperlukan
8. Desain teras harus tetap terjaga integrasinya untuk kondisi operasi normal, kondisi operasi transien terantisipasi dan kecelakaan dasar desain dengan tingkat kerusakan minimum yang dapat ditoleransi
9. Dosis radiasi yang diterima oleh pekerja radiasi dan masyarakat umum pada saat semua kondisi operasi termasuk perawatan, pengujian, inspeksi dan *decommissioning* tidak melebihi batas yang diizinkan dan sesuai dengan konsep ALARA (*as low as reasonably achievable*) berdasarkan ketentuan atau peraturan yang berlaku
10. Persyaratan-persyaratan tambahan bilamana diperlukan

Pertimbangan Desain Neutronik

Dalam IAEA Safety Guide NS-G-1.12 [40] pertimbangan desain neutronik teras reaktor meliputi beberapa aspek, yaitu:

1. Desain teras harus memiliki umpan-balik daya yang dapat mengimbangi peningkatan reaktivitas (berdasarkan aspek neutronik, termalhidraulik dan sistem kendali) untuk seluruh kondisi operasi reaktor, kondisi transien terantisipasi dan kecelakaan [40]
2. Penyisipan-maksimum reaktivitas positif dalam kondisi operasional, transien terantisipasi, dan kecelakaan dasar desain harus dibatasi sehingga sarana-sarana pengurangan daya reaktor dapat berfungsi secara efektif untuk mencegah kecelakaan [41]
3. Desain teras harus secara minimal memiliki dua sistem *shutdown* yang independen [41]
4. Perhitungan distribusi daya teras harus dilakukan dalam desain untuk kondisi operasi yang sesuai guna memberikan informasi yang bisa dimanfaatkan untuk menentukan:

- (a) batas-batas dan kondisi-kondisi operasi; (b) nilai-nilai *set-point* tindakan untuk sistem proteksi keselamatan; (c) prosedur pengoperasian yang akan memastikan kepatuhan pada batas-batas desain, termasuk parameter desain teras, sepanjang umur teras reaktor.
5. Perangkat kendali reaktivitas harus digunakan untuk mempertahankan reaktor dalam kondisi subkritis, dengan juga mempertimbangkan kemungkinan kecelakaan dasar desain beserta segala konsekuensinya. Desain juga harus dilengkapi dengan kemampuan untuk mempertahankan keadaan subkritis pembangkit manakala *shutdown* normal, pendinginan bahan bakar, atau integritas sistem pendingin primer dinonaktifkan untuk sementara waktu, misalnya ketika bejana reaktor dibuka untuk perawatan atau pengisian ulang bahan bakar.
 6. Sejauh bisa dipraktikkan, sistem *shutdown* harus bisa diuji selama operasi guna memberi jaminan bahwa sistem tersebut senantiasa siaga saat dibutuhkan.

Pertimbangan Desain Termohidrolik

Dalam IAEA Safety Guide NS-G-1.12 [40] pertimbangan desain termalhidraulik teras reaktor meliputi beberapa aspek, yaitu:

1. Batas-batas desain termohidrolik pada parameter-parameter harus ditetapkan sedemikian rupa agar tersedia cukup *margin* dalam kondisi operasi untuk menjaga laju kegagalan elemen bahan bakar dalam kondisi kecelakaan dasar desain pada tingkat rendah yang dapat diterima.
2. Sarana instrumentasi dan kendali yang memadai harus disediakan agar parameter-parameter kondisi teras dapat dipantau dan dikontrol secara aman.
3. Instrumentasi yang memadai untuk pemantauan harus disediakan untuk menilai keadaan teras dan fitur-fitur terkait pada kondisi-kondisi kecelakaan.

Pertimbangan Desain Mekanik

Dalam IAEA Safety Guide NS-G-1.12 [40] pertimbangan desain mekanik teras reaktor meliputi beberapa aspek, yaitu:

1. Desain sistem atau elemen atau perangkat bahan bakar dan pendukungnya harus mampu mengungkung material nuklir dan material radioaktif pada semua kondisi operasi sepanjang umur hidupnya.
2. Dalam desain bahan bakar nuklir, perangkat kendali, racun dapat bakar dan perangkat/bundel bahan bakar, harus memasukkan aspek pengaruh suhu, tekanan, iradiasi, produk-produk fisi, beban mekanik statis dan dinamis, beban gempa, aliran yang disebabkan getaran dan perubahan sifat kimiawi dari bahan penyusunnya.

3. Sarana untuk penanganan secara selamat dari komponen teras harus tersedia untuk menjamin integritas selama transportasi, penyimpanan, instalasi dan pengisian bahan bakar
4. Integritas struktur teras harus terjamin sehingga teras dapat dikendalikan secara selamat, baik dalam keadaan operasi normal, transien maupun dalam keadaan kecelakaan dasar desain. Dalam hal ini, beban mekanik, statis, dinamis, termasuk stres termal harus dipertimbangkan.
5. Perangkat bahan bakar, struktur bagian dalam bejana reaktor dan sistem pendingin reaktor harus dirancang untuk meminimalkan peluang penyumbatan aliran pendingin karena pelepasan bagian yang longgar, sehingga mencegah kerusakan teras saat sedang beroperasi dan saat keadaan kecelakaan dasar desain.
6. Teras dan komponen terkait harus dirancang agar kompatibel terhadap pengaruh iradiasi dan proses kimia dan fisika.
7. Pergerakan tak terkendali dari piranti kendali reaktivitas harus dicegah.

Pertimbangan Aspek Klasifikasi keselamatan Desain Teras

Dalam IAEA Safety Guide NS-G-1.12 [40] pertimbangan klasifikasi keselamatan desain teras reaktor meliputi beberapa aspek, yaitu:

1. Seluruh komponen dan struktur teras reaktor harus diklasifikasikan secara tepat sesuai kepentingannya terhadap keselamatan.[41]
2. Klasifikasi keselamatan yang tepat, analisis konsekuensi yang memadai, penilaian dan verifikasi, harus dilakukan untuk memastikan integritas teras dan mempertahankan kinerja fungsi keselamatan, kendali reaktivitas dan pendinginan teras.
3. Konsekuensi kegagalan setiap sistem dan komponen, termasuk konsekuensi yang mungkin pada sistem dan komponen lain, harus dianalisis secara hati-hati untuk menentukan klasifikasi yang tepat.

Code dan standar yang IAEA terbitkan merupakan pedoman untuk tipe atau jenis reaktor berpendingin air ringan (LWR) sedangkan untuk reaktor berjenis lain umumnya diterbitkan IAEA dalam bentuk pedoman khusus.

II.2 Kajian Teknis Aspek-Aspek Pertimbangan Keselamatan Umum Desain Teras Reaktor Jenis HTGR dan MSR

Menurut IAEA Safety Guide NS-G-1.12 [40] pertimbangan tujuan dan konsep keselamatan meliputi tiga aspek, yaitu:

1. Tujuan keselamatan nuklir umum
2. Tujuan proteksi radiasi
3. Tujuan keselamatan teknis

Tujuan keselamatan nuklir umum adalah melindungi individu, masyarakat dan lingkungan

dari kerusakan atau akibat buruk lainnya dengan menyiapkan dan menjaga sistem pertahanan yang efektif di dalam instalasi nuklir terhadap bahaya radiologis.

Tujuan proteksi radiasi adalah menjamin bahwa pada semua keadaan operasi, semua paparan radiasi di dalam instalasi atau akibat pelepasan material radioaktif dari instalasi yang telah direncanakan tetap dijaga di bawah batas yang telah ditetapkan dan serendah mungkin yang dapat dicapai secara masuk akal, dan untuk menjamin mitigasi konsekuensi radiologis akibat kecelakaan apa pun.

Tujuan keselamatan teknis adalah mampu mengambil semua tindakan praktis dan terukur untuk:

1. mencegah kecelakaan di dalam instalasi nuklir,
2. memitigasi konsekuensi seandainya kecelakaan terjadi
3. menjamin dengan tingkat keyakinan tinggi bahwa untuk semua kemungkinan kecelakaan yang diperhitungkan dalam desain instalasi, termasuk kecelakaan yang berkemungkinan sangat kecil, menimbulkan konsekuensi radiologis yang kecil dan di bawah batas yang ditetapkan
4. menjamin bahwa kemungkinan terjadinya kecelakaan dengan konsekuensi radiologis serius sangat rendah.

Semua tujuan keselamatan tersebut mensyaratkan bahwa instalasi nuklir dirancang dan dioperasikan sedemikian rupa sehingga semua sumber paparan radiasi tetap berada di bawah kendali teknis dan administrasi yang ketat. Namun, tujuan proteksi radiasi tidak menutup kemungkinan adanya paparan terbatas ke masyarakat atau pelepasan sejumlah bahan radioaktif dari instalasi ke lingkungan yang diizinkan sesuai aturan selama kondisi operasi normal. Paparan dan pelepasan seperti itu harus dikendalikan secara ketat dan harus sesuai dengan batas operasional dan standar proteksi radiasi.

Secara umum untuk semua desain reaktor nuklir, dari sisi penyebabnya, kecelakaan reaktor nuklir dikelompokkan menjadi dua macam, yaitu :

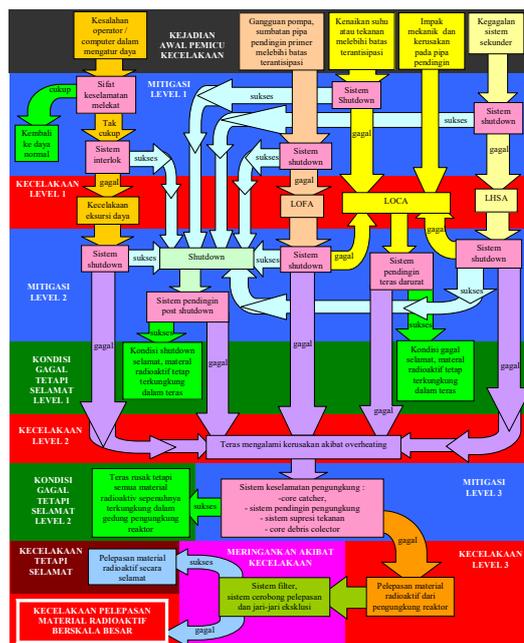
1. Kecelakaan kenaikan daya tak terkendali (*Power Excursion Accident*)
2. Kecelakaan kehilangan kemampuan pengambilan kalor

Kecelakaan kehilangan kemampuan pengambilan kalor dibedakan menjadi :

1. Kecelakaan kehilangan aliran pendingin (*Loss of Flow Accident / LOFA*)
2. Kecelakaan kehilangan pendingin (*Loss of Coolant Accident / LOCA*)
3. Kecelakaan kehilangan pelepasan kalor (*Loss of Heat Sink Accident / LHSA*)

Kecelakaan kenaikan daya tak terkendali (*power excursion*) adalah kecelakaan kriticalitas tak dikehendaki yang terjadi dalam reaktor nuklir. Kecelakaan ini membuat reaktor menjadi super

kritis dan mengalami kenaikan daya tanpa dikehendaki.



Gambar 1. Skema Diagram Propagasi Kecelakaan pada Desain Reaktor Nuklir dan Langkah Mitigasi

Pertimbangan Desain HTGR

HTGR (*High Temperature Gas Cooled Reactor*) adalah reaktor yang menggunakan moderator grafit dan pendingin helium. Bahan bakar HTGR adalah berupa *fuel kernel* yaitu berupa oksida, karbida atau nitrida dari uranium, plutonium atau torium yang dibuat berbentuk bola kecil dengan diameter sekitar 1 mm.

Terdapat dua desain HTGR yaitu adalah HTGR *pebble bed* yang menggunakan elemen bahan bakar berbentuk bola dan HTGR prismatik yang menggunakan perangkat bahan bakar berbentuk blok prisma segi enam.

Kecelakaan yang mungkin terjadi pada HTGR adalah:

1. Kecelakaan reaktivitas yang disebabkan oleh penyisipan reaktivitas positif melebihi batas yang diizinkan.
2. Kecelakaan pendingin, yaitu:
 - a) Kecelakaan kehilangan aliran pendingin (*Loss of Flow Accident = LOFA*) yang disebabkan oleh kegagalan pompa pendingin atau sumbatan pada saluran pendingin.
 - b) Kecelakaan kehilangan tekanan pendingin (*Coolant Depressurization Accident*) yang disebabkan oleh lepasnya pendingin dari sistem primer akibat pecahnya pipa saluran pendingin.
 - c) Kecelakaan kehilangan pelepasan kalor (*Loss of Heat Sink Accident = LHSA*)

Desain teras reaktor HTGR pada umumnya juga memiliki sifat umpan balik daya negatif, yaitu jika daya reaktor mengalami kenaikan (sehingga

suhu reaktor meningkat) maka akan menimbulkan reaktivitas negatif sehingga mengurangi reaktivitas reaktor semula. Sifat umpan balik daya negatif pada HTGR terutama disebabkan oleh efek doppler, yaitu peningkatan serapan resonansi neutron akibat kenaikan suhu bahan bakar.

Pada desain HTGR, jika terjadi kecelakaan DBA maka sistem *shutdown* harus mampu *shutdown* reaktor. Jika setelah kecelakaan DBA sistem pendingin pasca *shutdown* tidak bekerja, maka suhu teras reaktor akan naik. Sifat *inherent safety* pada HTGR juga akan menimbulkan reaktivitas negatif akibat kenaikan suhu pasca kecelakaan DBA.

Pertimbangan Desain MSR

Molten Salt Reactor (MSR) merupakan salah satu dari 6 jenis desain reaktor yang oleh GIF (*Generation Four International Forum*) dimasukkan dalam kategori reaktor maju (*Advanced Reactor*) atau reaktor generasi 4. *Molten Salt Reactor* adalah reaktor yang menggunakan bahan bakar berbentuk garam cair. Jenis garam yang digunakan pada umumnya adalah garam fluorida. MSR dioptimalkan untuk menggunakan torium sebagai bahan bakar fertil. Torium setelah menyerap neutron akan terkonversi menjadi ^{233}U . Karena ^{233}U tidak terdapat di alam, maka MSR generasi pertama memerlukan material fisil selain ^{235}U .

MSR memiliki sifat keselamatan yang sangat bagus. Karakteristik MSR yang berkaitan dengan keselamatan adalah:

1. Reaktivitas lebih reaktor sangat rendah
2. Koefisien umpan balik daya negatif
3. Frekuensi kerusakan parah teras (*core damage frequency*) sangat rendah
4. Mampu menerapkan sistem keselamatan yang secara total bersifat pasif, yang terdiri dari:
 - a) Sistem *shutdown* pasif
 - b) Sistem pendingin pasca *shutdown* pasif
 - c) Sistem pendingin pasif untuk sistem penanganan limbah radioaktif.

Penggunaan bahan bakar cair memungkinkan MSR mengaplikasikan metode on power refueling dan sekaligus on power fuel reprocessing. Dengan aplikasi kedua metode ini, reaktivitas lebih bahan bakar aktual pada saat reaktor beroperasi dapat dibuat sangat kecil tanpa menggunakan racun dapat bakar.

Dalam kondisi teras setimbang, MSR memiliki koefisien reaktivitas suhu yang bernilai negatif. Efek doppler pada bahan bakar akan memberikan koefisien reaktivitas suhu yang negatif.

Moderator grafit dapat memberikan efek reaktivitas umpan-balik daya positif akibat pergeseran spektrum neutron akibat suhu. MSR harus didesain supaya koefisien umpan-balik daya negatif akibat efek doppler lebih dominan dibandingkan dengan koefisien umpan-balik daya positif moderator grafit. Dengan demikian secara

keseluruhan desain MSR memiliki koefisien reaktivitas umpan-balik daya yang negatif.

Hal ini menunjukkan bahwa MSR memiliki sifat keselamatan melekat (*inherent safety*), yaitu koefisien umpan balik daya yang bernilai negatif. Ditambah dengan reaktivitas lebih bahan bakar aktual yang sangat kecil, maka kecelakaan ekskursi daya tidak mungkin terjadi.

Tabel 1. Koefisien Umpan Balik pada Tipe Reaktor

Parameter	Koefisien Reaktivitas Umpan-Balik					
	PWR	BWR	HWR		HTGR	MSR
			Menggunakan <i>pressure tube</i>	Menggunakan bejana reaktor		
Suhu pendingin	-	-	+	+	-0	Tidak ada pendingin
Densitas pendingin	+	+	-	-	-0	Tidak ada pendingin
Suhu moderator	-	-	-0	-	+	+
Densitas moderator	Moderator sekaligus pendingin		Nilai tidak signifikan	Nilai tidak signifikan	-	-
Suhu bahan bakar	-	-	-	-	-	-
Densitas bahan bakar	Nilai tidak signifikan	Nilai tidak signifikan	Nilai tidak signifikan	Nilai tidak signifikan	Nilai tidak signifikan	- (untuk pengurangan densitas kecil), + (untuk pengurangan densitas besar)
Daya	-	-	-0	-0	-	-

Keterangan:

Tanda + berarti jika nilai parameter meningkat, reaktivitas reaktor akan bertambah

Tanda - berarti jika nilai parameter meningkat, reaktivitas reaktor akan berkurang

II.3 Dosis Radiasi Pekerja dan ALARA

Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2013 Tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir Pasal 15 huruf a menyebutkan bahwa batas dosis keselamatan untuk pekerja radiasi adalah 20 mSv per tahun yang setara dengan 0,4 mSv per minggu. Pasal 23 huruf a pada Perka BAPETEN No.4 tahun 2013 menyebutkan bahwa batas dosis keselamatan untuk masyarakat umum adalah 1 mSv per tahun yang setara dengan 0,02 mSv per minggu.

Pertimbangan Desain HTGR

Barrier pelepasan zat radioaktif ke lingkungan pada desain HTGR secara berurutan adalah:

1. Kernel bahan bakar dengan lapisan TRISO
2. Matriks grafit pada elemen atau perangkat bahan bakar
3. Dinding sistem primer
4. *Reactor cavity* atau gedung reaktor (*containment*)
5. Jari-jari eksklusi

Pertimbangan Desain MSR

Barrier pelepasan zat radioaktif ke lingkungan pada desain MSR secara berurutan adalah:

1. Dinding sistem primer reaktor yang meliputi bejana reaktor, pipa bahan bakar, pompa bahan bakar, alat penukar kalor primer
2. *Reactor cavity*
3. Gedung reaktor (*containment*)
4. Jari-jari eksklusi

III. KAJIAN PERTIMBANGAN KESELAMATAN KHUSUS DESAIN TERAS REAKTOR

Berdasarkan IAEA Safety Guide NS-G-1.12 [40] pertimbangan keselamatan umum desain teras reaktor meliputi beberapa aspek, yaitu:

1. Elemen dan perangkat bahan bakar
2. Pendingin
3. Moderator
4. Karakteristik reaktivitas teras dan cara pengendaliannya
5. Sistem *shutdown*
6. Teras reaktor dan struktur terkait
7. Manajemen teras
8. Sistem pemantauan teras
9. Analisis keselamatan teras

Berdasarkan IAEA Safety Guide NS-G-1.12 [40] aspek-aspek yang perlu dipertimbangkan pada desain elemen dan perangkat bahan bakar meliputi:

1. Ketentuan umum
2. Desain dan perangkat elemen bahan bakar
3. Pengaruh termal dan derajat bakar
4. Pengaruh iradiasi
5. Pengaruh variasi level daya
6. Efek mekanis pada elemen bahan bakar
7. Pengaruh racun dapat bakar pada bahan bakar
8. Korosi dan hidridisasi elemen bahan bakar
9. Pertimbangan keselamatan mekanik dalam desain

Berdasarkan IAEA Safety Guide NS-G-1.12 [40] aspek-aspek yang perlu dipertimbangkan pada desain pendingin meliputi kestabilan sifat-sifat pendingin yang berkaitan dengan kemampuan untuk memindahkan kalor.

Berdasarkan IAEA Safety Guide NS-G-1.12 [40] aspek-aspek yang perlu dipertimbangkan pada desain moderator meliputi:

1. Kemampuan moderasi yang sesuai
2. Kestabilan material moderator terhadap pengaruh iradiasi
3. Kompatibilitas moderator terhadap material yang lainnya (pendingin atau bahan bakar)

Berdasarkan IAEA Safety Guide NS-G-1.12 [40] aspek-aspek yang perlu dipertimbangkan pada karakteristik reaktivitas teras dan cara pengendaliannya meliputi:

1. Karakteristik reaktivitas teras
2. Jenis dan efisiensi dari sarana pengendalian reaktivitas

3. Nilai maksimum reaktivitas dan laju penyisipan reaktivitas
4. Kendali daya global dan lokal
5. Pengaruh racun dapat bakar
6. Pengaruh iradiasi

Berdasarkan IAEA Safety Guide NS-G-1.12 [40] aspek-aspek yang perlu dipertimbangkan pada sistem *shutdown* meliputi:

1. Berbagai cara *shutdown*
2. Keandalan
3. Efektivitas *shutdown* dan *reactivity holddown*
4. Laju *shutdown*

Berdasarkan IAEA Safety Guide NS-G-1.12 [40] aspek-aspek yang perlu dipertimbangkan pada struktur teras reaktor dan struktur terkait meliputi:

1. Batas sistem primer
2. Struktur pendukung teras reaktor
3. Struktur pendukung perangkat bahan bakar
4. Struktur pendukung untuk *shutdown* dan kendali reaktivitas
5. Struktur pendukung untuk instrumentasi dalam teras
6. Struktur internal bejana reaktor lainnya, misalnya *sparger* air umpan, pemisah uap, penering uap, *baffle* teras, reflektor dan perisai termal.

Berdasarkan IAEA Safety Guide NS-G-1.12 [40] aspek-aspek yang perlu dipertimbangkan pada manajemen teras antara lain:

1. batas desain;
2. informasi desain untuk operasi reaktor;
3. perhitungan teras reaktor; dan
4. pengisian ulang bahan bakar nuklir

Berdasarkan IAEA Safety Guide NS-G-1.12 [40] aspek-aspek yang perlu dipertimbangkan pada sistem pemantauan teras meliputi:

1. parameter yang mengindikasikan kondisi teras, serta untuk menilai status teras dan fitur terkait pada kondisi kecelakaan
2. memiliki akurasi, kecepatan respons, rentang dan keandalan yang memadai untuk menjalankan fungsi pemantauan; dan
3. memudahkan dilakukan pengujian kontinyu atau periodik

Berdasarkan IAEA Safety Guide NS-G-1.12 [40] aspek-aspek yang perlu dipertimbangkan pada Analisis Keselamatan meliputi kejadian awal terpostulasi dan metode analisis keselamatan yang digunakan.

IV. KUALIFIKASI, PENGUJIAN DAN PERAWATAN

Berdasarkan IAEA Safety Guide NS-G-1.12 [40], kualifikasi, pengujian dan perawatan pada teras reaktor meliputi:

1. Kualifikasi peralatan, yakni Perlu ditetapkan kualifikasi yang mengonfirmasikan kemampuan peralatan teras reaktor dalam melakukan fungsi keselamatannya, untuk periode waktu yang

relevan, dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan yang diberikan (seperti tekanan, suhu, tingkat radiasi, beban mekanis dan getaran).

2. Ketentuan untuk pengujian dan perawatan, yaitu

Ketentuan pengujian untuk memastikan bahwa teras dan struktur terkait serta kendali reaktivitas dan sistem *shutdown* akan melakukan fungsi mereka sepanjang umur hidup. Ketentuan juga harus dibuat untuk menjamin pemeriksaan setiap perangkat bahan bakar sebelum dan setelah iradiasi guna mendeteksi kerusakan yang mungkin.

V. JAMINAN KUALITAS DALAM DESAIN

Berdasarkan IAEA Safety Guide NS-G-1.12 [40], Desain dan fabrikasi dengan mutu tinggi harus dipastikan untuk bahan bakar dan komponen teras dengan cara penetapan dan penerapan yang memenuhi prosedur jaminan mutu. Tingkat jaminan mutu tinggi harus diterapkan dalam pengembangan dan penilaian program komputer dan metode analisis keselamatan terkait. Mengingat sangat vitalnya fungsi struktur, sistem, dan komponen teras reaktor, maka teras reaktor daya wajib menggunakan komponen dengan standar keselamatan tertinggi yang mana hal ini juga telah diterapkan pada reaktor serba guna GA-Siwabessy. Ketentuan mengenai klasifikasi keselamatan struktur, sistem, dan komponen instalasi nuklir sedang dibahas oleh unit pengaturan instalasi dan bahan nuklir untuk dijadikan peraturan kepala BAPETEN. Akan tetapi hal yang tidak kalah penting adalah bahwa harus ada kesesuaian standar yang diberlakukan untuk komponen-komponen teras ini, misalnya jika standar Jerman menggunakan DIN, maka harus ada kesesuaian dengan standar yang berlaku di Jepang (JIS) atau Amerika (ASME) atau negara lainnya, bila akan menggunakan standar dari negara yang berbeda. Begitu pula dengan standar yang diberlakukan untuk sistem instrumentasi dan kendali harus mengikuti standar IEEE.

VI. KESIMPULAN

Dalam mendesain teras reaktor, pemegang izin harus melaksanakan persyaratan keselamatan umum dan persyaratan keselamatan khusus desain teras, mempertimbangkan pengujian dan perawatan teras, serta memberlakukan jaminan kualitas yang ketat.

Kajian desain teras reaktor daya perlu dilakukan dengan menyeluruh dan komprehensif mengingat sumber bahaya utama reaktor berasal dari teras.

Sasaran yang ingin dicapai dalam kajian ini adalah tersedianya ketentuan keselamatan yang akan berguna dalam penyusunan peraturan Kepala BAPETEN tentang ketentuan keselamatan desain teras reaktor daya. Ketentuan keselamatan yang berhasil diidentifikasi diharapkan dapat

diimplementasikan terhadap desain teras reaktor dengan tipe Light Water Reactor (LWR), High Temperature Gas Cooled Reactor (HTGR) tipe pebble bed, dan Molten Salt Reactor (MSR).

ACKNOWLEDGEMENT

Kajian ini merupakan kegiatan kajian kerjasama swakelola antara P2STPIBN BAPETEN dan Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika UGM tahun 2017. Makalah hanya mengangkat sebagian topik dari kajian. Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak terkait atas kerjasama yang terjalin begitu juga kerja keras dan efektif hingga terselesaikannya kajian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Steve Hucik. *ABWR and ESBWR: Safety and Reliability in Construction and Operation*. Dokumen teknis, GE-Hitachi Nuclear Energy International, Wilmington, 2011.
- [2] W. E. Cummins, M. M. Corleti, T. L. Schulz. *Westinghouse AP-1000 Advance Passive Plant*. Dokumen teknis, Westinghouse Electric Company LLC, Cranberry Township, 2003.
- [3] *Status Report – APWR (Mitsubishi, Japan)*. Dokumen teknis, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2012.
- [4] Kim, Han Gon. *Gen III/Gen III+ : Korean Perspective APR 1400 Advanced Power Reactor 1400*. Dokumen teknis, Korea Hydro and Nuclear Power Co.
- [5] *The EPR Reactor: from Paper to Concrete, The Path to Greatest Certainty*. Dokumen teknis, Areva, Paris, 2008.
- [6] Jacopo Buongiorno. “PWR Description”. Kuliah *Engineering of Nuclear Systems*. Center for Advanced Nuclear Energi System MIT, Cambridge, 22 Juni 2010.
- [7] Khurram Mehboob, Mohammad S. Aljohani. “Modelling and Simulation of Radio-iodine Released Inside the Containment as Result of an Accident”. *Progress in Nuclear Energy*, 88:75-87, 2016.
- [8] Andang Widi Harto. *PWR (Pressurized Water Reactor) dan Perkembangannya: Deskripsi Umum*. Diklat, Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2013.
- [9] World Nuclear Association. *Nuclear Fuel Fabrication*. Diakses dari <http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/conversion-enrichment-and-fabrication/fuel-fabrication.aspx>, 26 April 2017.
- [10] Committee on the Safety and Security of Commercial Spent Nuclear Fuel Storage. *Safety and Security of Commercial Spent Nuclear Fuel Storage: Public Report*. Laporan Penelitian, The National Academies, Washington, D.C., 2006.
- [11] *Boiling Water Reactor (BWR) Systems*. Dokumen teknis, USNRC Technical Training Center, Rockville, 2003.

- [12] *The ESBWR Plant General Description*. Dokumen teknis, General Electric, Boston, 2007.
- [13] *The ABWR Plant General Description*. Dokumen teknis, General Electric, Boston, 2006.
- [14] *General Electric Systems Technology Manual Chapter 2.1: Reactor Vessel System*. Dokumen teknis, General Electric, Boston, 2011.
- [15] *US-ABWR and EU-ABWR Design, Safety Technology, Operability Features and Their Current Deployment*. Dokumen teknis, Toshiba Corporation, Tokyo, 2011.
- [16] Nuclear Street. *BWR Reactor Vessel Assembly*. Diakses dari https://nuclearstreet.com/nuclear-power-plants/w/nuclear_power_plants/bwr-reactor-vessel-assembly, 26 April 2017.
- [17] LE Fennern. "ABWR Seminar". *Kuliah Reactor, Core, & Neutronics*. GE Energy/Nuclear, Boston, April 2007.
- [18] John David Lambert dan Robert Strain. *Materials Science and Technology*. John Wiley and Sons, Inc, Hoboken, 2006.
- [19] Prof. Kostadin Ivanov. *NUCE 512 - Nuclear Reactor Statics and Fuel Management*. Dokumen teknis, College of Engineering Penn State University, State Collage, 2005.
- [20] Andang Widi Harto. *BWR (Boiling Water Reactor) dan Pengembangannya: Deskripsi Umum*. Diktat, Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2013.
- [21] Frederik Reitsma. *Pebble-bed Reactor Core Neutronics Design and Fuel Cycle*. Dokumen teknis, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2012.
- [22] Andrew C. Kadak, Ph.D.. "High Temperature Gas Reactors". *Kuliah Briefing to Digital Power Capital*, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 2004.
- [23] Yuliang Sun. "HTR-PM Project Status and Test Program". *Kuliah IAEA TWG-GCR-22, INET/Tsinghua University, internateijing Shi*, 2011.
- [24] Xioming Fu, Masashi Takahashi, Shouhei Ueta, Kazuhiro Sawa. *Comparison of HTGR Fuel Design, Manufacture and Quality Control Methods Between Japan and China*. Dokumen teknis, JAERI-Tech 2002-049, Japan Atomic Energy Research Institute, Naka, 2002.
- [25] *Status report 96 – High Temperature Gas Cooled Reactor – Pebble-Bed Module (HTR-PM)*. Dokumen teknis, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2011.
- [26] "System Research Plant for Very High Temperature Reactor". *Generation IV International Forum*, 2006.
- [27] Malcom P. LaBar. "The Gas Turbine – Modular Helium Reactor: A Promising Option for Near Term Deployment". *GA-A23952*, 2002.
- [28] L. J. Lommers, F. Shahrokhi, J. A. Mayer III, F. H. Southworth. "AREVA HTR Concept for Near-Term Deployment". *Proceedings of HTR 2010*, Praha, 18-20 Oktober 2010.
- [29] Grimes, W. R.. "Molten Salt Reactor Chemistry". *Nuclear Applications and Technology*, 8:137-155, 1970.
- [30] Andang Widi Harto. "Penggunaan Thorium Untuk Pembangkitan Listrik". Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2016.
- [31] M. W. Rosenthal, P. R. Kasten, R. B. Briggs. "Molten-Salt Reactors – History, Status, and Potential". *Nuclear Applications and Technology*, 8:107-117, 1970.
- [32] *Safety and Regulatory Issues of the Thorium Fuel Cycle*. Dokumen teknis, NUREG/CR-7176 ORNL/TM/2013/543, U.S.NRC, Washington, 2014.
- [33] L. Mathieu et al. "Possible Configurations for the TMSR and Advantages of the Fast-Non-Moderated Version". *Nuclear Science and Engineering*, 161:78-79, 2009.
- [34] D. E. Holcomb et al. "Fast Spectrum Molten Salt Reactor Options". Dokumen teknis, ORNL/TM-2011/105, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, 2011.
- [35] Robert Hill, C. G. Hodge, T. Gibbs. "The Potential of the Molten Salt Reactor for Warship Propulsion". Dokumen teknis, BMT Defence Services Ltd, Bath, 2012
- [36] Eduardo D. Greaves. "Thorium as Nuclear Fuel in the Molten Salt Reactor". *Attaining Freedom Through Necessity, the Last Chance for Humanity: Energy Security for the 21st Century*, Frankfurt. 13-14 April 2013.
- [37] David LeBlanc. "Molten Salt Reactors and the Oil Sands: Odd Couple or Key to North American Energy Independence?". Presentasi kepada *Canadian Nuclear Society*, Toronto, 12 Juni 2012.
- [38] Ralph W. Moir dan Edward Teller. "Thorium-Fueled Underground Power Plant Based on Molten Salt Technology". *Fission Reactor Technical Note*, 151, 2004.
- [39] A.W. Harto, Sustainable criticality analysis of PCMSR fuel using thorium as sustainable fuel and low enriched uranium as starting fuel, *Int. J. Nuclear Energy Science and Technology*, Vol. 9, No. 3, 2015
- [40] *Design of the Reactor Core for Nuclear Power Plants*. Dokumen teknis, Safety Guide No. NS-G-1.12, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2005.
- [41] *Safety of Nuclear Power Plants: Design*. Dokumen teknis, Specific Safety Requirements No. SSR-2/1, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2012.
- [42] Andang Widi Harto. *Teknologi Reaktor Maju*. Diktat, Departemen Teknik Nuklir dan Teknik

- Fisika Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2015.
- [43] *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 3 Tahun 2011 tentang Keselamatan Desain Reaktor Daya*. Dokumen teknis, Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jakarta, 2011.
- [44] *The Operating Organization for Nuclear Power Plants*. Dokumen Teknis, Safety Guide No. NS-G-2.4, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2001.
- [45] *Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants*. Dokumen Teknis, 75-INSAG-3, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1988.
- [46] *Defence in Depth in Nuclear Safety*. Dokumen Teknis, INSAG-10, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1996.
- [47] *Design of Fuel Handling and Storage Systems for Nuclear Power Plants*. Dokumen teknis, Safety Guide No. NS-G-1.4, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2003.
- [48] *Design of the Reactor Coolant System and Associated Systems in Nuclear Power Plants*. Dokumen teknis, Safety Guide No. NS-G-1.9, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2004.
- [49] *Instrumentation and Control Systems Important to Safety in Nuclear Power Plants*. Dokumen teknis, Safety Guide No. NS-G-1.3, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2002.
- [50] Manohar S. Sohal, Matthias A. Ebner, Piyush Sabharwall, Phil Sharpe. *Engineering Database of Liquid Salt Thermophysical and Thermochemical Properties*. Dokumen teknis, INL/EXT-10-18297, Idaho National Laboratory, Idaho Falls, 2010.
- [51] *Westinghouse Technology Manual*. Dokumen teknis, United States Nuclear Regulatory Commission Technical Training Center.
- [52] Dan Gabriel Cacuci. *Handbook of Nuclear Engineering*. Springer Science+Business Media, New York, 2010.
- [53] Robert Katz, Gilbert B. Melese. *Thermal and Flow Design of Helium-Cooled Reactors*. Dokumen teknis, American Nuclear Society, La Grange Park, 1984.
- [54] *Core Management and Fuel Handling for Nuclear Power Plants*. Dokumen teknis, Safety Standards Series No. NS-G-2.5, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2002.
- [55] Andang Widi Harto. "Study on the Ability of PCMSR to Produce Valuable Isotopes as by Produce of Energy Generation". *Proceeding of 2nd International Symposium on BNCT, the Application of Nuclear Technology to Support National Sustainable Development, Health, Agriculture, Energy and Environment*, Surakarta, 10–11 Agustus 2016.
- [56] *Safety Assessment and Verification for Nuclear Power Plants*. Dokumen teknis, Safety Standards Series No. NS-G-1.2, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2001.
- [57] *Design of Reactor Containment Systems for Nuclear Power Plants*. Dokumen teknis, Safety Standards Series No. NS-G-1.10, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2004.
- [58] *Maintenance, Surveillance and In-Service Inspection in Nuclear Power Plants*. Dokumen teknis, Safety Standards Series No. NS-G-2.6, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2002.
- [59] *Leadership and Management for Safety*. Dokumen teknis, General Safety Requirements No. GSR Part 2, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2016.
- [60] *Application of the Management System for Facilities and Activities*. Dokumen teknis, Safety Guide No. GS-G-3.1, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2006.
- [61] *The Management System for Nuclear Installations*. Dokumen teknis, Safety Guide No. GS-G-3.5, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2009.

Nama Penanya : Sihana
Instansi : UGM
Nama Penyaji : MA Susanto
Judul Makalah : **KAJIAN IDENTIFIKASI KETENTUAN KESELAMATAN DALAM DESAIN TERAS REAKTOR DAYA**
Kode Makalah : OB03

Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar

Pada ketentuan integritas teras apakah berlaku untuk HTGR dan MSR, apakah dapat diberlakukan untuk kedua jenis reaktor.

Apakah makalah ini menyatukan berbagai macam tipe reaktor dalam pembuatan ketentuan keselamatan RD?

Jawaban/Komentar dari Penyaji

Kajian telah mengidentifikasi untuk berbagai macam tipe reaktor, karena masing-masing tipe memiliki karakteristik yang berbeda.

Namun telah dilakukan metode kajian untuk mengidentifikasi sesuai lingkup, yang dimulai dari desain umum dan desain khusus. Untuk desain khusus telah mengakomodir berbagai macam tipe reaktor.

OB04
TINJAUAN PRE-LICENSING
DALAM TAHAPAN PERIZINAN REAKTOR DAYA – STUDI KASUS KANADA

Zulfiandri, Bambang Eko Aryadi

Direktorat Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, Badan Pengawas Tenaga Nuklir

e-mail: z.zulfiandri@bapeten.go.id

ABSTRAK

TINJAUAN PRE-LICENSING DALAM TAHAPAN PERIZINAN REAKTOR DAYA – STUDI KASUS KANADA. Dalam pembangunan reaktor daya dengan desain baru, vendor reaktor daya berpotensi menghadapi ketidakpastian dalam proses perizinannya yang dapat mengakibatkan gagal dibangunnya reaktor yang direncanakan. Untuk mengatasi ketidakpastian perizinan bagi reaktor dengan desain baru dapat dipertimbangkan untuk mengimplementasikan *pre-licensing* dalam sistem perizinan reaktor daya. Telah dilakukan tinjauan *pre-licensing* dalam tahapan perizinan reaktor daya dengan melakukan studi literatur dari dokumen-dokumen perizinan negara-negara yang telah mengimplementasikan *pre-licensing*. Tujuan tinjauan *pre-licensing* dalam tahapan perizinan reaktor daya adalah untuk menggali lebih dalam mengenai apa dan bagaimana penerapan *pre-licensing* dalam mengatasi ketidakpastian perizinan reaktor dengan desain baru. Dari tinjauan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa *pre-licensing* merupakan proses perizinan yang dapat mengatasi ketidakpastian perizinan reaktor dengan desain baru dengan meminimalkan duplikasi pelaksanaan evaluasi dalam berbagai tahap perizinan dan merupakan proses yang memungkinkan beberapa tahap perizinan dilakukan secara paralel. Diharapkan hasil tinjauan ini secara umum dapat bermanfaat dalam pengembangan infrastruktur peraturan yang terkait dengan tahapan perizinan reaktor daya di Indonesia dan secara khusus terkait dengan perizinan untuk reaktor daya dengan desain baru.

Kata Kunci: *pre-licensing*, desain, reaktor daya

ABSTRACT

REVIEW OF PRE-LICENSING IN THE POWER REACTOR LICENSING STAGES- CASE STUDY CANADA. In the construction of reactors with new design, the applicant and reactor vendors have the potential to encounter uncertainty in the licensing process that could lead to the failure to build planned reactors. To overcome this uncertainty can be considered to implement *pre-licensing* in the system of power reactor licensing. A *pre-licensing* review was conducted by conducting literature studies of licensing documents from countries that have implemented *pre-licensing*. The purpose of the *pre-licensing* review in the reactor licensing stage is to explore more deeply what and how to apply *pre-licensing* in overcoming the uncertainty of the reactor licensing with the new design. From the review, it can be concluded that *pre-licensing* is a licensing process that can overcome the uncertainty of reactor licensing with new design by minimizing duplication of evaluation implementation in various licensing stages and is a process that enables several licensing stages to be done in parallel. It is expected that the results of this review can generally be useful in developing regulatory infrastructure related to the licensing stages of the power reactor in Indonesia and in particular related to licensing for new design reactors.

Key words: pre-licensing, design, power reactor

I. PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Untuk perizinan reaktor nuklir telah diterbitkan Peraturan Pemerintah No.2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir yang menyediakan aturan tentang perizinan instalasi nuklir yang menerapkan multi stage licensing, mulai dari izin tapak sampai dengan izin dekomisioning. PP ini telah menerapkan prinsip-prinsip dasar perizinan yang diuraikan dalam dokumen panduan IAEA SSG No.12 *Licensing Process for Nuclear Installations* yaitu bahwa proses perizinan harus dapat dipahami oleh pihak yang berkepentingan dan harus dapat diprediksi (terdefinisi dengan baik, jelas, transparan, dan dapat

ditelusuri). Tahap-tahap perizinan juga harus diskrit dan mengikuti urutan logis.

Seiring dengan perkembangan teknologi reaktor nuklir dan peningkatan kebutuhan daya listrik yang terus meningkat di dunia, pengaturan perizinan reaktor nuklir yang terdapat dalam PP No.2 Tahun 2014 perlu ditinjau kembali kemampuannya. Beberapa perkembangan pemanfaatan teknologi reaktor nuklir telah muncul, yaitu dengan telah dikembangkannya PLTN terapung, telah dikembangkannya desain reaktor nuklir berbahan bakar garam cair (*molten salt reactor*), rencana pembangunan reaktor daya yang berpendingin selain air, pengembangan reaktor SMART (reaktor daya berpendingin air ringan yang juga didesain untuk desalinasi), kemungkinan pengembangan reaktor baru oleh BATAN (*Small Modular Reactor/SMR*), dan lain-lain. Dalam kaitan

ini tinjauan kemampuserapan yang bisa diujikan terhadap PP No.2 Tahun 2014 antara lain terkait definisi tapak, urutan tahapan perizinan, pengaturan *proven technology*, dan lain-lain.

Dari laporan kajian tentang perizinan dan pengembangan proyek PLTN baru yang diterbitkan oleh World Nuclear Association pada tahun 2013, saat ini pemohon izin maupun vendor reaktor daya menghadapi beberapa kendala bila ingin membangun PLTN menggunakan desain reaktor yang baru. Dalam proses perizinannya mereka dapat berhadapan dengan proses perizinan yang sulit diprediksi kepastiannya. Ketidakpastian dalam proses perizinan desain reaktor yang baru akan memperpanjang proses perizinan yang harus dilalui dan akan menimbulkan adanya resiko kegagalan untuk membangun reaktor yang direncanakan.

Untuk mengantisipasi ketidakpastian dalam perizinan untuk desain reaktor yang baru, penulis mengusulkan agar sistem perizinan reaktor di Indonesia dapat mengadopsi *pre-licensing* dalam sistem perizinan reaktor daya.

I.2. Tujuan

Kajian ini dimaksudkan untuk menggali lebih dalam apa dan bagaimana penerapan *pre-licensing* serta manfaatnya dan diharapkan bisa menjadi masukan substantif jika suatu saat akan dilakukan perubahan terhadap Peraturan Pemerintah tentang Perizinan Instalasi Nuklir. Hal ini terutama dikaitkan dengan upaya untuk mengurangi ketidakpastian dalam perizinan untuk reaktor dengan desain baru.

I.3. Metodologi

Penulisan makalah ini dilakukan dengan metode kajian literatur. Bahan yang digunakan adalah Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 Tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir, publikasi dari World Nuclear Association (WNA), publikasi dari Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC), publikasi IAEA, dan lainnya.

II. HASIL DAN PEMBAHASAN

Umumnya, *pre-licensing* desain dilihat oleh industri nuklir sebagai cara yang efektif untuk meningkatkan prediktabilitas. *Pre-licensing* memungkinkan bagian penting dari perizinan untuk diselesaikan pada saat proses perizinan untuk pembangkit listrik tenaga nuklir tertentu dimulai. Pernyataan konfirmasi desain oleh otoritas yang kompeten dapat memberi calon pengembang proyek PLTN keyakinan bahwa mereka dapat mengimplementasikan proyek.

Contoh yang paling jelas dan terkenal dari *pre-licensing* umum desain dan tapak adalah sertifikasi desain NRC AS dan izin lokasi awal/

early site permit. Kedua dokumen ini memiliki kekuatan hukum dan mengikat yang tetap berlaku selama beberapa tahun.

Di Kanada, badan pengawas dapat diminta untuk melakukan tinjauan desain pra-proyek dari desain reaktor baru untuk menilai kesesuaian dengan persyaratan peraturan Kanada dan identifikasi setiap hambatan mendasar terhadap lisensinya.

Di Inggris, *Generic Design Assessment* (GDA) dibuat oleh badan pengawas tanpa undang-undang. Tujuannya adalah untuk meningkatkan prediktabilitas dengan meninjau desain potensial dan menilai apakah mereka akan dapat diberi lisensi setelah faktor-faktor spesifik tapak telah diperhitungkan. Badan pengawas nuklir dan lingkungan "tidak meninjau kembali hal-hal yang dipertimbangkan dalam proses GDA selama tidak ada perubahan desain keselamatan yang signifikan," yang kurang mengikat dibandingkan dengan sertifikasi desain AS.

Di Prancis, "review atas opsi keselamatan" yang dilakukan oleh badan pengawas Perancis *Autorite De Surete Nucliaire* (ASN) secara tegas dinyatakan oleh ASN bahwa *pre-licensing* tidak mengikat. Namun demikian, dalam prakteknya ASN dalam proses perizinan berikutnya, tidak akan bertentangan dengan pernyataan "peninjauan atas opsi keselamatan" sendiri kecuali ada alasan kuat untuk melakukannya.

Dengan mempertimbangkan ketersediaan infrastruktur regulasi dari tiap-tiap Negara yang telah mengimplementasikan *pre-licensing* dan kemudahan untuk mengaksesnya, penulis memilih untuk mengangkat *prelicensing* yang diimplementasikan di Kanada oleh CNSC.

Review *pre-licensing* dimintakan oleh vendor reaktor sebelum pengajuan permohonan izin kepada CNSC dengan mempertimbangkan desain yang terkait dengan keselamatan, keamanan, dan safeguards.

II.1. Tujuan

Tujuan dari review *pre-licensing* adalah untuk meningkatkan kepastian pengaturan serta memastikan keselamatan publik dengan menginformasikan kepada vendor mengenai semua hal keberterimaan yang harus diimplementasikan dalam mendesain reaktor. Review ini memberikan identifikasi awal dan resolusi potensi masalah regulasi atau teknis dalam proses desain, khususnya yang dapat menghasilkan perubahan signifikan pada desain atau analisis keselamatan.

Dokumen panduan GD-385, *Pre-licensing Review of a Vendor's Reactor Design* menjelaskan proses review pra-lisensi yang diberikan oleh Komisi Keselamatan Nuklir Kanada (CNSC) untuk menilai desain vendor pembangkit listrik tenaga nuklir baru atau reaktor dengan daya kecil.

Secara ringkas dapat dijelaskan, *pre-licensing vendor design review* adalah penilaian terhadap desain pembangkit listrik tenaga nuklir berdasarkan teknologi reaktor dari *vendor*. Penilaian tersebut dilaksanakan oleh CNSC, atas permintaan *vendor*. Kata-kata "*pre-licensing*" menandakan bahwa tinjauan desain dilakukan sebelum mengajukan permohonan izin ke CNSC oleh pemohon yang ingin membangun dan mengoperasikan pembangkit listrik tenaga nuklir baru.

Adapun persyaratan *vendor* yang akan melaksanakan review *pre-licensing*:

- a. *vendor* memahami peraturan Kanada;
- b. desain *vendor* sesuai peraturan CNSC, RD-337, *Design of New Nuclear Power Plants* atau RD-367, *Design of Small Reactors* dan dokumen peraturan terkait dan standar nasional; dan
- c. *vendor* memiliki rencana solusi untuk setiap masalah desain yang teridentifikasi pada saat evaluasi.

19 (sembilan belas) area fokus yang tercakup dalam *pre-licensing vendor design review* adalah:

1. Deskripsi instalasi secara umum, pertahanan berlapis, tujuan dan sasaran keselamatan, kriteria penerimaan dosis;
2. Klasifikasi sistem struktur, dan komponen (SSK);
3. Desain teras reaktor nuklir;
4. Desain dan kualifikasi bahan bakar;
5. Sistem dan fasilitas kendali
 - a. sistem kendali utama;
 - b. instrumentasi dan kendali;
 - c. fasilitas kendali;
 - d. catu daya darurat;
6. Sarana *shutdown* reaktor;
7. Pendinginan teras darurat (ECCS) dan sistem pembuangan panas darurat;
8. Pengungkung/penyungkup dan struktur sipil yang penting;
9. Pencegahan dan mitigasi terhadap kecelakaan yang melampaui dasar desain (BDBA) dan kecelakaan parah (SA);
10. Analisis keselamatan (analisa keselamatan deterministik, analisis keselamatan probabilistik) serta bahaya internal dan eksternal;
11. Desain batas tekanan (*pressure boundary*);
12. Proteksi kebakaran;
13. Proteksi radiasi;
14. Kritikalitas di luar teras (*out-of-core*);
15. Ketahanan/ *robustness*, *safeguard* dan keamanan;
16. Program penelitian dan pengembangan *vendor*;
17. Sistem manajemen proses desain dan jaminan mutu dalam analisis desain dan keselamatan;
18. Faktor manusia;
19. Terkait dengan dekomisioning dalam pertimbangan desain;

Vendor design review dapat dimulai begitu *vendor* memiliki, paling tidak, membuat kemajuan yang wajar dalam fase rekayasa dasar desain. Hal ini berarti bahwa arsitektur dasar sistem yang penting untuk keselamatan telah ditata mengikuti panduan desain reaktor *vendor* dan persyaratan desain. Dokumen-dokumen berikut harus mendekati keadaan penyelesaian, sehingga *vendor* siap untuk melanjutkan ke tahap desain rinci dalam persiapan untuk pengajuan izin konstruksi, yaitu:

- panduan desain yang mengandung filosofi desain, filosofi keselamatan, dan aturan yang harus diikuti oleh desainer ketika melakukan pekerjaan desain mereka, termasuk persyaratan keselamatan seperti kode dan standar yang berlaku;
- persyaratan desain untuk sistem yang penting untuk keselamatan yang menetapkan aspek-aspek seperti:
 - persyaratan kinerja minimum dan target keandalan;
 - mencerminkan kemajuan signifikan yang dibuat dalam penelitian dan pengembangan terkait keselamatan;
- sistem manajemen keseluruhan *vendor* karena berlaku untuk desain struktur, sistem dan komponen reaktor yang diusulkan (atau reaktor kecil);
- desain dan analisis keselamatan mewakili laporan analisis keselamatan awal;

II.2. Tahapan dalam *Vendor Design Review*

Urutan tahapan yang dilakukan dalam *pre-licensing vendor design review* dibagi dalam tiga tahap, yang masing-masing dilakukan terhadap dokumen peraturan CNSC terkait:

- Tahap 1: Review *pre-licensing* terkait Kepatuhan terhadap Persyaratan Regulasi
 - Tahap ini melibatkan penilaian menyeluruh atas desain pembangkit tenaga nuklir milik *vendor* terhadap persyaratan desain CNSC yang paling baru untuk pembangkit listrik tenaga nuklir baru di Kanada seperti yang diuraikan dalam REGDOC-2.5.2, *Design Of Reactor Facilities: Nuclear Power Plants or Design of Small Reactor Facilities* (RD-367), serta semua dokumen peraturan CNSC dan peraturan & standar Kanada lainnya.
- Tahap 2: Penilaian *pre-licensing* untuk Setiap Hambatan mendasar yang Potensial terhadap Perizinan
 - Fase ini berlanjut ke rincian lebih lanjut dengan fokus untuk mengidentifikasi hambatan mendasar yang potensial untuk memberi izin pada desain pembangkit tenaga nuklir *vendor* di Kanada.

- Tahap 3: Tahap ini memungkinkan *vendor* untuk menindaklanjuti aspek-aspek tertentu dari temuan Tahap 2
 - mencari lebih banyak informasi dari CNSC tentang topik Tahap 2; dan / atau
 - meminta CNSC untuk meninjau kembali kegiatan yang dilakukan oleh *vendor* terhadap kesiapan desain reaktor, setelah selesainya Tahap 2.

Vendor	Nama desain & tipe pendingin	Daya (MW)
Terrestrial Energy Inc	IMSR Integral - Molten Salt Reactor	200
Ultra Safe Nuclear Corporation / Global First Power	MMR-5 and MMR-10 - High Temperature Gas	5–10
LeadCold Nuclear Inc.	SEALER - Molten Lead	3
Advanced Reactor Concepts Ltd.	ARC-100 - Liquid Sodium	100
URENCO	U-Battery - High-Temperature Gas	4
Moltex Energy	Moltex Energy Stable Salt Reactor - Molten Salt	300
SMR, LLC. (A Holtec International Company)	SMR-160 Pressurized - Light Water	160
StarCore Nuclear	StarCore Module - High-Temperature Gas	10

Tabel 1. Pre-Licensing Vendor Design Reviews Saat Ini

II.3 Manfaat dari *Vendor Design Review*

Laporan yang disiapkan selama *vendor design review* memberikan sejumlah besar informasi yang bermanfaat bagi *vendor*, pemohon dan masyarakat umum.

II.3.1 Manfaat bagi *vendor*

Vendor design review ini memberikan *vendor* informasi yang dapat digunakan ketika berdiskusi dengan pemohon izin dalam mempertimbangkan teknologi *vendor*.

Vendor design review dapat memberikan jaminan lebih lanjut bahwa, bersama dengan informasi yang terdapat dalam RD / GD-369, Licence Application Guide, Licence to Construct a Nuclear Power Plant, *vendor* memiliki data yang diperlukan guna mendukung pemohon dalam aplikasi perizinan untuk membangun PLTN. Untuk fasilitas reaktor kecil, sebagian besar

informasi yang terdapat dalam RD/GD-369 dapat diterapkan, tetapi diterapkan dengan cara bergradasi. Kedalaman dan luasnya informasi yang diperlukan untuk mendukung suatu aplikasi akan bergantung pada risiko dan kompleksitas fasilitas.

Ketika pemohon mengajukan permohonan izin ke CNSC, pemohon akan diminta untuk menunjukkan kecukupan desain dan kasus keselamatan terkait terhadap persyaratan peraturan CNSC. Penyiapan penyampaian untuk setiap fase *vendor design review* memungkinkan *vendor* untuk merencanakan dan mempersiapkan diskusi yang efektif dengan pemohon izin dalam mempertimbangkan penggunaan teknologi reaktor *vendor*.

Vendor design review memberikan umpan balik awal kepada *vendor* tentang penggunaan fitur dan pendekatan desain baru. Dalam hal ini mungkin bisa berupa bahan baru untuk SSK, atau standar dan metodologi rekayasa yang belum pernah digunakan di Kanada.

Review tersebut juga akan memberikan pemberitahuan awal kepada *vendor* tentang **potensihambatan yang fundamental** terhadap perizinan. Dalam proses review, *vendor* dapat mengidentifikasi penyelesaian untuk setiap masalah sebelum pemohon berusaha mendapatkan izin konstruksi atau operasi.

Berdasarkan penyelesaian/resolusi, baik *vendor* maupun pemohon memiliki keyakinan bahwa masalah dapat diselesaikan dalam jangka waktu yang tepat, agar tetap sesuai dengan jadwal lisensi yang ditetapkan.

Vendor design review berkontribusi pada kepastian peraturan dengan:

1. memberikan umpan balik yang jelas kepada *vendor* tentang ketentuan peraturan Kanada dan seberapa baik desain dalam memenuhi ketentuan ini.
2. mengidentifikasi isu perizinan dan teknis keselamatan sejak dini, sehingga memberikan waktu kepada *vendor* dalam menyelesaikan masalah sebelum mereka menjadi penghambat perizinan; Hal ini sangat penting untuk masalah yang dapat mengakibatkan perubahan signifikan pada analisis desain atau keselamatan.
3. memungkinkan staf CNSC untuk menjadi *familiar* dengan desain sebelum penerimaan permohonan izin, sehingga **mengurangi jumlah waktu** yang diperlukan dalam menilai desain selama review permohonan izin untuk konstruksi dan operasi.

II.3.2 Manfaat bagi pemohon izin

1. pemohon izin dapat mengetahui kemungkinan masalah pengawasan sejak dini beserta solusinya dengan melakukan komunikasi dengan *vendor* sejak dini;

2. *Vendor design review* memungkinkan badan pengawas mendapatkan informasi tentang desain, sehingga memudahkan review perizinan di masa mendatang. Hasil informasi review yang diperoleh selama fase review dapat menambah pemahaman teknologi secara signifikan dan setiap isu terkait yang perlu diselesaikan sebelum, dan selama proses perizinan.
3. Pemohon izin menjadi *familiar* dengan teknologi yang akan dibeli untuk reaktor nuklir, sehingga pemohon izin akan menjadi "pembeli yang cerdas". Pemohon pada akhirnya bertanggung jawab atas kegiatan berlisensi, dan akan diminta untuk menunjukkan kecukupan desain dan kasus keselamatan terkait terhadap ketentuan peraturan Kanada dan CNSC. Pemohon didorong untuk berbicara dengan *vendor* sejak awal dalam proses perizinan untuk membahas dan menyelesaikan isu regulasi yang potensial.

II.3.3 Manfaat bagi publik

Vendor design review menyediakan jaminan awal kepada masyarakat bahwa teknologi reaktor baru yang diusulkan untuk dibangun dan dioperasikan di Kanada akan memenuhi persyaratan peraturan Kanada.

Dengan melakukan tinjauan awal aspek-aspek penting dari desain reaktor dan organisasi *vendor*, masyarakat dapat diyakinkan bahwa:

- *vendor* memahami ketentuan peraturan Kanada dan CNSC;
- desain akan memenuhi ketentuan yang tercantum dalam dokumen pengaturan CNSC RD-337 atau RD-367 (sebagaimana berlaku untuk proposal) dan dokumen serta standar peraturan terkait;
- *vendor* secara aktif mencari penyelesaian dari setiap masalah desain yang teridentifikasi dalam review;

Ketiga jaminan ini meningkatkan tingkat kepastian regulasi dan berkontribusi terhadap keselamatan publik.

II.4. CNSC menggunakan informasi dari yurisdiksi pengaturan nuklir lainnya

Jika *vendor* memiliki desain reaktor yang direview atau disertifikasi oleh badan penawas tenaga nuklir dari negara lain dan telah mengumpulkan sejumlah umpan balik peraturan, CNSC akan mempertimbangkan materi tersebut dalam *vendor design review*, dengan ketentuan berikut :

- *vendor* akan bertanggung jawab untuk memperoleh dan menyediakan informasi yang direview atau disertifikasi kepada CNSC, sebagai bagian dari pengajuan review desain.

- *vendor* akan menjelaskan bagaimana informasi tersebut mendemonstrasikan desain telah memenuhi ketentuan Kanada.
- CNSC akan melakukan penilaian sendiri sesuai kerangka peraturannya.
- CNSC akan menggunakan informasi yang disampaikan sejauh informasi tersebut kompatibel dengan proses review CNSC.

III.5. Hambatan mendasar terhadap perizinan

Hambatan mendasar adalah kekurangan dalam desain atau proses desain yang, jika tidak dikoreksi, dapat memiliki potensi risiko yang signifikan bagi publik, pekerja atau lingkungan.

Hambatan dianggap mendasar ketika tidak ada solusi yang jelas dan memadai untuk menyelesaikan masalah keselamatan yang signifikan. Sebuah hambatan juga akan dianggap mendasar jika ada ketidakpastian yang signifikan yang terkait dengan rencana resolusi yang diusulkan, atau jika waktu yang disediakan tidak terpenuhi untuk dapat menyelesaikan masalah pada saat permohonan izin diserahkan ke CNSC.

Berikut ini hambatan dalam izin pembangkit listrik tenaga nuklir atau desain reaktor kecil di Kanada:

- ketidakpatuhan terhadap ketentuan peraturan Kanada;
- ketidaksesuaian yang tidak dapat dibenarkan terhadap ketentuan peraturan Kanada, termasuk yang ada dalam dokumen peraturan RD-337 atau RD-367, dan dokumen peraturan lain yang berlaku serta standar nasional untuk desain dan analisis;
- ketidaksesuaian yang tidak dapat dibenarkan dengan standar dan prosedur jaminan kualitas desain dan analisis keselamatan;
- desain yang tidak menunjukkan isu keselamatan yang diketahui (misal, desain belum memperhitungkan penyelesaian isu keamanan dari review peraturan sebelumnya);
- desain yang tidak memenuhi prinsip "serendah mungkin yang dapat dicapai" (ALARA);
- praktek rekayasa yang belum terbukti untuk fitur desain baru atau inovatif (misalnya, tidak didukung secara memadai oleh analisis penelitian dan pengembangan, atau keduanya);

III.6. Penerapan pre-licensing dalam sistem perizinan reaktor daya di Indonesia

PP No. 2 Tahun 2014 tentang perizinan instalasi nuklir dan pemanfaatan bahan nuklir menyediakan aturan tentang sistem perizinan reaktor daya. Proses perizinan di dalam PP ini menganut proses perizinan bertahap (multi step licensing), dimana proses perizinan dari tahap persetujuan tapak hingga mulai operasi dapat memakan waktu selama 19 tahun (maksimal).

Sementara berdasarkan PP ini reaktor yang diizinkan untuk dibangun adalah reaktor daya yang bukan merupakan desain baru. Maka bila dalam masa yang akan datang perizinan reaktor di Indonesia akan membuka diri terhadap pembangunan reaktor daya yang menggunakan desain baru melalui revisi PP No.2 Tahun 2014 maka dapat dibayangkan waktu perizinan tahap persetujuan tapak hingga mulai operasi tentu akan memakan waktu yang lebih panjang lagi.

Oleh karena itu untuk mengurangi lama perizinan tersebut, perlu diterapkan pre-licensing dalam sistem perizinan reaktor di Indonesia. Ketentuan yang mengatur tentang pre-licensing dapat ditempatkan pada bagian awal dari proses perizinan bertahap (multi step licensing), sebelum persetujuan tapak dalam tahap izin tapak. Penempatan ketentuan di awal sistem perizinan reaktor akan memberikan kepastian perizinan yang lebih baik bagi vendor reaktor daya. Sebab bila desain reaktor telah melalui tahapan evaluasi desain dalam pre-licensing maka pada saat telah mendapatkan izin tapak dan ingin mendapatkan izin konstruksi, pemohon izin bisa mendapatkan persetujuan desain dengan relatif lebih lancar.

III. KESIMPULAN

Dari tinjauan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa *pre-licensing* merupakan proses perizinan yang dapat membantu meminimalkan duplikasi pelaksanaan evaluasi dalam berbagai tahap perizinan dan merupakan proses yang memungkinkan beberapa tahap perizinan dilakukan secara paralel. *pre-licensing* juga akan membuat pembagian tanggungjawab yang jelas antara badan pengawas, *vendor*, dan *operator*, memberikan kesempatan kepada masyarakat untuk berpartisipasi sejak awal, dan memastikan bahwa masalah keselamatan yang paling utama telah ditangani secara tepat dalam tahap prelicensing.

Penerapan *pre-licensing* dalam perizinan reaktor daya memberikan beberapa informasi penting, yaitu: keuntungan bagi *vendor*, pemegang izin dan publik, serta bagi Badan Pengawas tenaga nuklir dalam rangka mempercepat proses perizinan nantinya dengan dikarenakan *vendor*, pemohon, masyarakat serta badan pengawas telah '*familiar*' dengan teknologi reaktor baru yang akan dibangun. Begitu pula akan menambah kepercayaan publik dengan telah dipublikasikannya di situs badan pengawas bahwa desain reaktor baru telah di review oleh badan pengawas dan telah lulus dalam 3 tahapan *Pre-Licensing Vendor Design Review*, maka masyarakat akan merasa lebih terjamin keselamatannya dan dapat menerima desain reaktor baru. Dari keuntungan-keuntungan yang bisa diperoleh dalam mengimplementasikannya, maka *pre-licensing* dapat menjadi solusi yang baik untuk mengurangi ketidakpastian dalam proses perizinan terhadap reaktor dengan desain baru.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Dr. Yudi Pramono, M.Eng selaku pimpinan di DP2IBN atas waktu dan bimbingan yang telah diberikan sehingga dimungkinkannya penulisan makalah ini.

IV. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Republik Indonesia, 2014, Peraturan Pemerintah No.2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir
- [2] Republik Indonesia, 2012, Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 54 Tahun 2012 Tentang Ketentuan Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir.
- [3] CNSC, 2014, GD-385: *Pre-licensing Review of a Vendor's Reactor Design, Canada.*
- [4] CNSC, 2007, RD-337, *Design of New Nuclear Power Plants, Canada.*
- [5] CNSC, 2011, RD-367, *Design of Small Reactors, Canada.*
- [6] CNSC, 2014, REGDOC-2.5.2, *Design Of Reactor Facilities: Nuclear Power Plants or Design of Small Reactor Facilities, Canada.*
- [7] CNSC, 2011, GD-369, *Licence Application Guide, Licence to Construct a Nuclear Power Plant, Canada.*
- [8] World Nuclear Association, 2013, *Licensing and Project Development of New Nuclear Plants*, Report No. 2015/005, England.
- [9] IAEA, 2010, IAEA Safety Standards Series No. SSG-12, *Licensing Process for Nuclear Installations*, Vienna.
- [10] Dr Kefah Naom, *How pre-licensing processes are helping deliver Nuclear New Build*, Amec Foster Wheeler.

Nama Penanya : Wiryono
Instansi : BAPETEN
Nama Penyaji : Zulfiandri
Judul Makalah : **TINJAUAN PRE-LICENSING DALAM TAHAPAN PERIZINAN REAKTOR
DAYA – STUDI KASUS KANADA**
Kode Makalah : OB04

Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar

Bagaimana pembelajaran hasil revidi pre-licensing yang dapat digunakan BAPETEN dalam mempersiapkan revidi dan penilaian terhadap dokumen desain rinci reaktor nuklir.

Jawaban/Komentar dari Penyaji

Staf BAPETEN (perizinan) akan familiar dengan desain reaktor bari yang diusulkan. Akan mempercepat proses perizinan LAK (khususnya LAK pada saat pengajuan izin konstruksi) dikarenakan obyek yang juga ada LAK sudah direkomendasikan keselamatannya oleh vendor pada saat izin tapak.

OB05
**KAJIAN TERHADAP KEMUNGKINAN RATIFIKASI KONVENSI PERTANGGUNGJAWABAN
 KERUGIAN NUKLIR**

Midiana Ariethia

Direktorat Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, Badan Pengawas Tenaga Nuklir
 e-mail: m.ariethia@bapeten.go.id

ABSTRAK

Kecelakaan nuklir memiliki potensi dampak kerugian nuklir yang sangat besar, yang mungkin tidak terbatas hanya pada negara tempat Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) tersebut berada. Negara-negara tetangga yang berbatasan secara langsung maupun tidak langsung dapat juga menerima dampak, bahkan ketika mereka tidak memiliki PLTN. Pemerintah Indonesia telah mengatur mengenai pertanggungjawaban kerugian nuklir saat terjadi kecelakaan nuklir dalam Bab VII Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran (UUK). Selain itu, pemerintah Indonesia juga mengatur mengenai Batas Pertanggungjawaban Kerugian Nuklir dalam Peraturan Pemerintah No. 46 Tahun 2009 dan pengaturan mengenai Besar Batas Pertanggungjawaban Kerugian Nuklir dalam Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 74 Tahun 2012. Meskipun demikian, sebagai antisipasi dibangunnya PLTN suatu hari di Indonesia dan belajar dari kecelakaan Fukushima Daiichi di Jepang pada tahun 2011 yang mengakibatkan kerugian yang sangat besar (terutama dalam hal kerusakan lingkungan), maka tulisan ini bertujuan melakukan kajian terhadap kemungkinan ratifikasi terhadap salah satu konvensi dari berbagai rezim pertanggungjawaban kerugian nuklir yang ada di dunia perlu dilakukan. Terdapat 3 (tiga) rezim konvensi pertanggungjawaban kerugian nuklir di dunia yang dirancang baik oleh *The Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD), maupun oleh *International Atomic Energy Agency* (IAEA). Metodologi yang digunakan dalam makalah ini adalah dengan mengkaji konvensi-konvensi internasional dan sumber literatur internasional yang membahas mengenai lingkungan dan pertanggungjawaban kerugian nuklir. Hasil kajian ini diharapkan dapat menjadi dasar pertimbangan pemilihan konvensi yang tepat untuk Indonesia, dengan tetap mempertimbangkan peraturan perundang-undangan yang berlaku di Indonesia. Kajian ini penting mengingat Pemerintah Indonesia telah menandatangani salah satu konvensi tersebut, yaitu *The Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage* (CSC) atau Konvensi CSC, namun sampai saat ini belum juga meratifikasinya. Kesimpulan dari kajian ini adalah bahwa dari sekian banyak konvensi dalam rezim pertanggungjawaban nuklir, tidak semuanya telah berlaku, namun Konvensi CSC yang telah ditandatangani Indonesia telah berlaku. Selain itu, Konvensi CSC merupakan konvensi tambahan yang karenanya memerlukan suatu negara untuk terlebih dahulu memiliki sistem pertanggungjawaban kerugian nuklir. Indonesia juga telah mengadopsi prinsip-prinsip yang dianut oleh rezim pertanggungjawaban kerugian nuklir dalam peraturan perundang-undangannya nasionalnya, sehingga untuk meratifikasi Konvensi CSC tidak perlu meratifikasi Konvensi Wina maupun Konvensi Paris terlebih dahulu. Dengan demikian, Konvensi yang paling tepat untuk diratifikasi oleh Pemerintah Indonesia jika suatu hari memutuskan untuk memiliki PLTN adalah Konvensi CSC.

Kata kunci: kecelakaan nuklir, kerugian nuklir, ratifikasi konvensi.

ABSTRACT

Nuclear accident has devastating effects in terms of nuclear damage, which may not be limited to the country where the Nuclear Power Plant (NPP) is located. Neighboring countries that border directly or indirectly can also receive impact, even when they do not have their own NPP. The Indonesian government has stipulated nuclear liability on Chapter VII Act Number 10 of 1997 on Nuclear Energy. In addition to that, the Indonesian government has also stipulated Limit of Nuclear Damage Liability on Government Regulation Number 46 of 2009 and the Limit of Amount of Nuclear Damage Liability on Presidential Regulation Number 74 of 2012. Nevertheless, as an anticipation of a possibility of a future NPP in Indonesia and as a lesson learned from the Fukushima Daiichi accident in Japan in 2011 that results in massive damage (especially in terms of environmental damage), this paper aims to examine the possibility of ratification of one of the existing nuclear liability regimes that needs to be done. There are 3 (three) regimes of nuclear liability convention in the world that are published under the auspices of *The Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD) and *International Atomic Energy Agency* (IAEA). The methodology used in this paper is by examining international conventions and international literature sources addressing the environment and accountability of nuclear losses. The results of

this study are expected to be the basis for the selection of appropriate conventions for Indonesia, while taking into account the prevailing laws and regulations in Indonesia. This assessment is especially important considering the fact that the Indonesian government has signed one of the aforementioned conventions, which is *The Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage* (CSC), but still has not ratified it. To conclude, not all of the existing conventions in the nuclear liability regimes have already entered into force, however the CSC which has been signed by Indonesia, has entered into force. CSC is a supplementary convention and thus requires a State to adopt a system of nuclear liability. Furthermore, Indonesia has also adopted the principles of the nuclear liability regimes in its national regulations. Hence, there is no need to ratify either the Vienna Convention or the Paris Convention before ratifying the CSC. Therefore, the most advisable convention to be ratified by Indonesia, especially if Indonesia decides to build an NPP is the CSC.

Keywords: nuclear accident, nuclear damage, compensation.

PENDAHULUAN

Sebagaimana diatur dalam Prinsip 21 dari Deklarasi Stockholm dan Prinsip 2 dari Deklarasi Rio, setiap negara memiliki kedaulatan berkenaan dengan Sumber Daya Alam (SDA) mereka[1]. Namun, kedaulatan tersebut bukanlah tanpa tanggung jawab. Negara-negara tersebut juga memiliki tanggung jawab untuk tidak mengakibatkan kerusakan lingkungan yang melampaui batas negaranya. Lebih lanjut lagi, *the International Court of Justice* (ICJ) dalam pernyataannya terkait kasus Corfu Channel [2], mengharuskan setiap negara untuk mempertimbangkan negara-negara lain berdasarkan prinsip *sic utere tuo*, yaitu prinsip yang menekankan pentingnya penggunaan properti tanpa merugikan orang lain[3].

Adapun tenaga nuklir, meskipun memiliki banyak manfaat bagi umat manusia, lepasan zat radioaktif akibat suatu kecelakaan nuklir memiliki resiko mengakibatkan kerusakan lingkungan.

Sebagai contoh, kecelakaan Chernobyl yang terjadi pada tahun 1986, maupun kecelakaan Fukushima Daiichi pada tahun 2011. Kecelakaan-kecelakaan tersebut ternyata mengakibatkan kerusakan lingkungan berskala besar yang dampaknya masih dapat dilihat dan dirasakan hingga hari ini, bahkan oleh negara-negara tetangganya.

Sampai saat ini, Indonesia belum juga memiliki instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), sehingga kecil kemungkinan terjadinya kecelakaan nuklir berskala besar seperti Chernobyl maupun Fukushima Daiichi di Indonesia.

Meskipun demikian, Indonesia telah mengatur mengenai pertanggungjawaban kerugian nuklir saat terjadi kecelakaan nuklir pada Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran (UUK). Tanggung jawab tersebut

dimiliki oleh Pengusaha Instalasi Nuklir dalam hal terjadi kerugian nuklir. Definisi Kerugian Nuklir menurut undang-undang tersebut adalah "...kerugian yang dapat berupa kematian, cacat, cedera, atau sakit, kerusakan harta benda, pencemaran dan kerusakan lingkungan hidup yang ditimbulkan oleh radiasi atau gabungan radiasi dengan sifat racun, sifat mudah meledak, atau sifat bahaya lainnya sebagai akibat kekritisitas bahan bakar nuklir dalam instalasi nuklir atau selama pengangkutan, termasuk kerugian sebagai akibat atau tindakan untuk pemulihan lingkungan hidup." Pertanggungjawaban kerugian nuklir tersebut diatur dalam bab tersendiri dalam UUK, yaitu Bab VII tentang Pertanggungjawaban Kerugian Nuklir. Selain mengatur mengenai pertanggungjawaban kerugian nuklir dalam UUK, pemerintah Indonesia juga mengatur mengenai Batas Pertanggungjawaban Kerugian Nuklir dalam Peraturan Pemerintah No. 46 Tahun 2009 dan pengaturan mengenai besar batas pertanggungjawaban kerugian nuklir dalam Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 74 Tahun 2012.

Melihat peraturan perundang-undangan yang ada, mudah untuk menyimpulkan bahwa perangkat hukum terkait pertanggungjawaban kerugian nuklir di Indonesia telah komprehensif dan telah sesuai dengan asas yang dikenal di dunia internasional dengan juga mempertimbangkan segi teknisnya [4].

Akan tetapi tidak bisa dipungkiri bahwa jika suatu hari Indonesia berencana mendirikan PLTN, maka akan merupakan tanggung jawab pemerintah Indonesia untuk mempersiapkan suatu sistem pertanggungjawaban kerugian nuklir yang mampu terap dalam hal terjadinya kecelakaan nuklir di Indonesia, terutama jika kecelakaan tersebut ternyata berdampak terhadap negara lain. Salah satu cara untuk memastikan bahwa Indonesia memiliki sistem pertanggungjawaban nuklir yang baik adalah

dengan menjadi pihak salah satu Konvensi pertanggungjawaban nuklir yang ada di dunia.

Oleh karena itu, makalah ini akan membahas beberapa hal yang perlu menjadi pertimbangan pemerintah Indonesia terkait ratifikasi konvensi pertanggungjawaban kerugian nuklir. Pertama, dengan melihat sistem pertanggungjawaban kerugian nuklir yang dianut pemerintah Jepang sebelum dan sesudah kecelakaan Fukushima Daiichi sebagai *lesson learned* yang juga dapat diambil pemerintah Indonesia. Kedua, dengan melihat kelebihan dan kekurangan setiap rezim Konvensi Pertanggungjawaban Kerugian Nuklir sebagai pertimbangan Indonesia jika akan meratifikasi salah satu konvensi tersebut. Terakhir mengingat bahwa sampai saat ini, pemerintah Indonesia belum juga meratifikasi satu pun konvensi pertanggungjawaban kerugian nuklir, makalah ini akan menyarankan satu konvensi yang penulis anggap paling sesuai untuk diratifikasi oleh pemerintah Indonesia berdasarkan kedua pertimbangan tersebut. Khususnya jika suatu hari pemerintah Indonesia memutuskan untuk membangun suatu Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) di Indonesia.

METODE

Makalah ini adalah makalah tinjauan dengan melakukan tinjauan terhadap konvensi-konvensi Pertanggungjawaban Kerugian Nuklir yang ada di dunia, juga makalah-makalah internasional dan buku-buku internasional yang membahas mengenai lingkungan dan pertanggungjawaban kerugian nuklir.

POKOK BAHASAN

Makalah ini akan membahas tentang konvensi pertanggungjawaban kerugian nuklir yang paling memungkinkan untuk diratifikasi oleh Pemerintah Indonesia, terutama jika suatu hari Indonesia memiliki Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) dengan melihat *lesson learned* yang bisa diambil dari kecelakaan Fukushima Daiichidan rezim Konvensi Pertanggungjawaban Kerugian Nuklir yang ada di dunia.

HASIL DAN PEMBAHASAN

- a. Sistem Pertanggungjawaban Kerugian Nuklir di Jepang

Kecelakaan Fukushima Daiichi terjadi pada tanggal 11 Maret 2011. Kecelakaan ini awalnya terjadi karena gempa berskala 9.0 Skala Richter yang kemudian diikuti dengan Tsunami [5].

Kecelakaan Fukushima Daiichi ini menjadi kecelakaan nuklir yang terbesar dan paling parah sejak kecelakaan instalasi Chernobyl di Uni Soviet pada tahun 1986 [6]. *International Nuclear Event Scale (INES)* menggolongkan kecelakaan Chernobyl sebagai satu-satunya kejadian Level Tujuh. Namun kemudian terjadilah kecelakaan Fukushima Daiichiyang ternyata memiliki level yang sama, yang menjadikannya sebagai “...the second largest nuclear accident in human history” [6]. Alasan kenapa kecelakaan Fukushima Daiichi menempati urutan kedua akan dipaparkan pada paragraf selanjutnya.

Kerugian yang dialami Jepang terbilangmasif karena selain dilanda bencana gempa bumi yang segera disusul oleh bencana tsunami, Jepang masih harus menderita akibat *meltdown* nuklir [7]. Hal inilah yang mengakibatkan lebih dari satu juta rumah hancur, dan lebih dari 100.000 orang terpaksa meninggalkan tempat tinggal mereka, yang kesemuanya menjadikan upaya pemulihan bagi masyarakat yang terdampak menjadi sulit [7]. Tidak tercatat adanya korban jiwa terkait paparan radiasi secara langsung dari kecelakaan nuklir Fukushima, namun korban jiwa akibat evakuasi tercatat mencapai di atas 1000 kematian, yang umumnya terjadi pada korban di atas usia 66 tahun [8]. Tidak adanya korban jiwa secara langsung inilah yang menempatkan kecelakaan Fukushima di bawah kecelakaan Chernobyl yang mencatatkan 31 kematian akibat paparan radiasi langsung saat kecelakaan [8].

Sebelum kecelakaan Fukushima Daiichi pada tahun 2011, Jepang belum menjadi pihak pada konvensi pertanggungjawaban kerugian nuklir manapun. Jepang baru menjadi pihak salah satu konvensi, yaitu *The Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage (Convention on Supplementary Compensation)* atau Konvensi CSC pada tahun 2015, yaitu 4 (empat) tahun setelah terjadinya kecelakaan Fukushima Daiichi [9].

Akan tetapi, peraturan perundang-undangan di Jepang telah mengadopsi prinsip-prinsip pertanggungjawaban kerugian nuklir sebagaimana dianut oleh konvensi-konvensi pertanggungjawaban kerugian nuklir sebelum kecelakaan tersebut terjadi [10]. Prinsip-prinsip tersebut adalah *strict liability*, *exclusive liability* dan *liability limited in time*. Batas waktu untuk mengajukan ganti rugi berdasar peraturan perundang-undangan Jepang adalah 20

(dua puluh) tahun berdasar peraturan perundang-undangan Jepang, yang harus diajukan dalam jangka waktu 3 (tiga) tahun sejak orang tersebut mengetahui kerugian yang terjadi dan pihak yang bertanggungjawab [10].

Adapun terkait besar pertanggungjawaban kerugian nuklir, Peraturan perundang-undangan Jepang mengharuskan operator instalasi nuklir di Jepang untuk menyediakan jaminan keuangan sebesar JPY 120 Miliar [1]. Lebih dari jumlah tersebut, pemerintah dapat (namun tidak berkewajiban) untuk menambahkan biaya ganti rugi [7]. Ketentuan ini diatur dalam 1961 *Nuclear Damage Compensation Act (NDCA)* [7]. Dalam NDCA tersebut dinyatakan bahwa operator memiliki *strict, unlimited liability* untuk kecelakaan nuklir, kecuali jika kecelakaan tersebut disebabkan oleh "grave natural disaster" [7]. Tokyo Electric Power Company (TEPCO) sebagai operator Fukushima Daiichi menyatakan bahwa kecelakaan Fukushima termasuk dalam pengertian tersebut, namun pemerintah Jepang tetap beranggapan bahwa tanggung jawab ada pada TEPCO dan bukan pemerintah [7]. NDCA juga mengatur agar uang untuk ganti rugi dalam hal kecelakaan nuklir dikumpulkan melalui 2 (dua) cara, yaitu *mandatory insurance* atau melalui *indemnity contract* [7]. Dengan demikian, meskipun saat kecelakaan Fukushima terjadi Jepang belum menjadi pihak konvensi kerugian nuklir manapun, Jepang memiliki peraturan perundang-undangan mengenai tanggung jawab terhadap pihak ketiga yang baik [11]. Jepang juga membentuk suatu komite yang bernama *The Reconciliation Committee*. Korban kecelakaan Fukushima dapat menyampaikan klaim mereka langsung kepada operator instalasi nuklir, ke pengadilan lokal atau kepada komite tersebut [11].

Jepang menyerahkan instrumen *acceptance* untuk menjadi pihak Konvensi CSC pada tahun 2015 dan sejak saat itu Jepang resmi menjadi negara pihak konvensi CSC. Perubahan pandangan Jepang tersebut, menurut laporan *House of Councilors*, adalah karena evaluasi ulang resiko ketenaganukliran dan keinginan untuk memberikan prediksi hukum di industri nuklir [12].

Konvensi CSC tersebut adalah salah satu dari banyak konvensi pertanggungjawaban kerugian nuklir yang ada di dunia. Konvensi ini telah ada sejak tahun 1997, namun baru mulai berlaku pada tanggal 15 April 2015 yaitu pada hari ke-90 setelah 5 (lima) negara dengan minimal 400,000 unit kapasitas nuklir mendepositkan instrumen ratifikasi/penerimaan/penyetujuan [13].

Selain Konvensi CSC, telah ada beberapa konvensi pertanggungjawaban kerugian nuklir di dunia. Untuk mengetahui konvensi mana yang paling sesuai untuk Indonesia, diperlukan kajian terhadap kelebihan dan kekurangan masing-masing rezim konvensi.

b. Konvensi Internasional Pertanggungjawaban Kerugian Nuklir

Terdapat 3 (tiga) rezim pertanggungjawaban kerugian nuklir di dunia. Secara ringkas, kelebihan dan kekurangan masing-masing pertanggungjawaban kerugian nuklir di dunia adalah:

1. *The Paris Convention on Third Party Liability in the Field of Nuclear Energy* (Konvensi Paris)

Konvensi ini didesain untuk negara-negara peserta *The Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)* [12]. Konvensi ini lahir pada tahun 1960 dan terakhir kali diamandemen dengan protokol amandemen pada tahun 2004.

Konvensi Paris 1960 merupakan perjanjian internasional yang pertama kali mengatur mengenai pertanggung jawaban kerugian nuklir terhadap pihak ketiga [14]. Amandemen terakhir, yaitu pada tahun 2004, dilakukan dengan menambah jumlah pertanggungjawaban dari 15 juta SDR menjadi 700 juta Euro. Protokol amandemen Konvensi Paris 2004 juga mengatur batas waktu untuk mengajukan atau klaim ganti rugi terkait kehilangan nyawa ataupun luka personal adalah 30 (tiga puluh) tahun.

Protokol amandemen Konvensi Paris 2004 juga berlaku dalam hal kerugian nuklir diderita negara bukan peserta Konvensi Paris (termasuk teritori dan zona maritimnya) jika negara tersebut merupakan negara pihak pada Konvensi Wina dan *Joint Protocol 1988*, atau jika negara tersebut tidak memiliki instalasi nuklir, atau jika legislasi negara tersebut memiliki keuntungan timbal balik berdasarkan prinsip-prinsip yang dianut oleh Konvensi Paris [15]. Konvensi ini tidak mengatur kerugian nuklir yang terjadi di wilayah di luar yurisdiksi nasional [1]. Akan tetapi sampai sekarang protokol amandemen Konvensi Paris 2004 belum juga berlaku karena protokol tersebut membutuhkan instrumen ratifikasi dari dua pertiga negara pihak Konvensi Paris agar protokol tersebut dapat berlaku [15] dan jumlah tersebut belum juga tercapai.

Selain Konvensi Paris, negara-negara OECD juga mengadopsi *The Brussels Convention Supplementary to the Paris Convention* (Konvensi

Brussels). Konvensi ini diadopsi dengan harapan agar jumlah pertanggungjawaban operator proporsional dengan skala konsekuensi insiden nuklir [14]. Dalam konvensi ini jelas terlihat *State Liability* yang dimasukkan secara implisit dan menjadi tambahan dalam rezim pertanggungjawaban Paris Convention dikarenakan negara penandatangan Konvensi menyadari bahwa batas waktu dan besar ganti rugi dalam Paris Convention tidak mencukupi [14].

Oleh karena itu, Konvensi Brussels menyediakan *two additional tiers* dana pemerintah, melebihi *first tier* yang dipersyaratkan oleh Paris Convention dalam hal terjadi kecelakaan nuklir [12]. Konvensi ini menyediakan pendanaan oleh negara instalasi yang berfungsi sebagai *second tier* Konvensi Paris. Konvensi ini juga mengenalkan *third tier* berupa pendanaan oleh seluruh negara anggota pihak konvensi berdasarkan rumus yang telah ditentukan [12].

Amandemen konvensi ini, yaitu pada tahun 2004, menaikkan *second tier* dari 175 juta SDR menjadi 500 juta Euro dan menaikkan *third tier* dari 125 juta SDR menjadi 300 juta Euro.

Dalam hal lingkup geografis, Konvensi Paris membatasi hingga Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE) [16], dan kompensasi terkait lingkungan hanya dalam hal pemulihan lingkungan yang rusak dan kehilangan pendapatan dalam hal menggunakan atau memanfaatkan lingkungan tersebut [16].

Konvensi Brussels juga meliputi kerugian di ZEE atau pada *continental shelf* negara pihak, namun hanya dalam hal eksploitasi atau eksplorasi Sumber Daya Alam (SDA) pada ZEE atau *continental shelf* tersebut [16].

Akan tetapi, sebagaimana halnya Konvensi Paris, amandemen tersebut belum juga berlaku karena berdasarkan Pasal 21 Protokol amandemen Konvensi Tambahan Brussels, amandemen baru akan berlaku pada tanggal seluruh negara pihak meratifikasi, menerima atau menyetujui protokol tersebut.

2. *The Vienna Convention on Civil Liability for Nuclear Damage* (Konvensi Wina)

Konvensi ini lahir dengan dukungan dari *International Atomic Energy Agency* (IAEA). Besar pertanggungjawaban kerugian nuklir adalah sebesar 300 juta SDR (kurang lebih 400 juta US Dollar) setelah sebelumnya, yaitu dalam Konvensi Wina 1963 hanya mengatur sebesar 5 juta dollar. Protokol amandemen Konvensi Wina 1997 memperluas

lingkup geografis Konvensi Wina sehingga meliputi “damage wherever suffered” [17].

Dengan menggunakan istilah “damage wherever suffered”, tidak hanya korban di negara yang merupakan pihak konvensi yang berhak mendapat ganti kerugian, tapi juga korban dimanapun kerugian tersebut terjadi. Meskipun demikian, yurisdiksi diserahkan pada negara tempat instalasi nuklir tersebut berada. Sehingga definisi “damage” atau kerugian diserahkan pada pengadilan di negara tempat instalasi nuklir, dengan melihat hukum nasional negara tersebut.

Konvensi ini mengatur rezim Konvensi secara menyeluruh dan memiliki banyak kemiripan dengan Konvensi Paris [18]. Konvensi Wina tidak hanya membatasi pemberian kompensasi terkait kerugian lingkungan dalam hal pemulihan lingkungan yang rusak dan kehilangan pendapatan dalam hal menggunakan atau memanfaatkan lingkungan tersebut, namun ditambah juga upaya pencegahan dan kerugian lingkungan yang ditimbulkan oleh pemulihan lingkungan, jika diperbolehkan oleh hukum perdata nasional Negara tersebut [17].

3. *The Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage* (Konvensi CSC)

Konvensi ini menyediakan tambahan dana ganti rugi dari dana publik dalam hal kerugian melebihi jumlah pertanggungjawaban operator. Konvensi ini didesain untuk menarik negara-negara yang memiliki Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), maupun negara-negara tanpa PLTN [19]. Meskipun konvensi ini terbuka untuk negara yang bukan pihak Konvensi Paris maupun Konvensi Wina, namun negara-negara tersebut diharapkan memiliki hukum nasional yang memenuhi kriteria dasar Konvensi CSC.

Nilai ganti rugi menurut konvensi ini sangat penting karena menyediakan dana ganti rugi sebanyak *three-tier* dengan dana publik dan dana internasional sebagai bagian dari sistemnya [19]. *Second tier* dianggap menarik karena sebagian besar kontribusi dana adalah dari negara-negara yang memiliki PLTN sedangkan tiap negara non-PLTN hanya perlu berkontribusi tidak lebih dari 3% [19].

Konvensi CSC ini mengatur kompensasi tambahan berdasarkan Konvensi Paris, Konvensi Wina, atau peraturan perundang-undangan nasional yang sesuai dengan Lampiran Konvensi

Kompensasi Tambahan [18]. Dengan kata lain, Konvensi CSC ini berfungsi memberikan jaminan tambahan sebagaimana halnya Konvensi Brussels terhadap Konvensi Paris.

Kemudian sebagaimana halnya konvensi Paris dan Brussels, lingkup kompensasi berdasar Konvensi CSC pun hanya mencakup kerugian di ZEE atau pada *continental shelf* negara pihak, namun hanya dalam hal eksploitasi atau eksplorasi Sumber Daya Alam (SDA) pada ZEE atau *continental shelf* tersebut [20].

4. Konvensi Pertanggungjawaban Kerugian Nuklir lainnya

Konvensi lainnya yang terkait adalah *The 1988 Joint Protocol Relating to the Application of the Vienna Convention and the Paris Convention* (Protokol Penghubung). Protokol ini menghubungkan antara Konvensi Paris dengan Konvensi Wina sehingga keuntungan yang diperoleh satu konvensi menjadi keuntungan para pihak konvensi lainnya [18].

Dengan demikian, adanya 3 (tiga) rezim pertanggungjawaban di dunia, kemungkinan konvensi yang dapat diratifikasi suatu negara adalah [18]:

- a) Konvensi Wina dan Protokol Penghubung dan/atau Konvensi CSC;
- b) Konvensi Paris dan Protokol Penghubung dan/atau Konvensi CSC dan/atau Konvensi Brussels;
- c) Peraturan Perundang-undangan Kerugian Nuklir Nasional dan Konvensi CSC.

Dari berbagai konvensi diatas, Indonesia telah menandatangani konvensi CSC pada 6 Oktober 1997 namun belum juga meratifikasinya hingga saat ini [9]. Terkait penandatanganan ini, meskipun Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2000 tentang Perjanjian Internasional mengatur bahwa penandatanganan suatu perjanjian multilateral tidak serta merta dapat diartikan sebagai pengikatan diri suatu negara terhadap suatu perjanjian internasional, namun penandatanganan tersebut merupakan pernyataan untuk mengikatkan diri secara definitif sesuai kesepakatan para pihak [21].

KESIMPULAN

Dari 3 (tiga) rezim pertanggungjawaban kerugian nuklir yang ada di dunia, terdapat beberapa konvensi yang dapat diratifikasi oleh Indonesia.

Berdasarkan kajian diatas, beberapa kesimpulan dapat diambil:

1. Rezim pertanggungjawaban kerugian nuklir di dunia memiliki banyak persamaan dan konvensi yang ada sudah beberapa kali direvisi. Akan tetapi tidak semua konvensi yang ada telah berlaku;
2. Konvensi CSC merupakan konvensi yang memberikan jaminan tambahan, sehingga suatu negara perlu terlebih dahulu menganut suatu sistem pertanggungjawaban kerugian nuklir;
3. Pemerintah Indonesiatelah memiliki peraturan perundang-undangan nasional yang cukup komprehensif, yang sejalan dengan prinsip-prinsip yang dianut oleh rezim pertanggungjawaban kerugian nuklir yang ada di dunia, sehingga untuk meratifikasi CSC suatu Negara tidak harus terlebih dahulu bergabung dengan Konvensi Wina maupun Konvensi Paris;
4. Dengan demikian, Konvensi yang paling tepat untuk diratifikasi oleh Pemerintah Indonesia jika suatu hari memutuskan untuk memiliki PLTN adalah Konvensi CSC.

DAFTAR PUSTAKA

- [5] Philippe Sands, Jacqueline Peel, 2012, *Principles of International Environmental Law*, 3rd ed, Cambridge University Press.
- [6] Corfu Channel (United Kingdom v Albania) (judgment) [1949] I.C.J. Rep No. 4, 36.
- [7] Michael A. Heller, 1987, Chernobyl Fallout: Recent IAEA Conventions Expand Transboundary Nuclear Pollution Law, *Stanford Journal of International Law*, 653.
- [8] Bambang Riyono, dkk., 2012, Pembelajaran Kecelakaan Reaktor Fukushima Daiichi terhadap Kesiapan Regulasi Ketenaganukliran di Bidang Pertanggungjawaban Kerugian Nuklir, *Seminar Keselamatan Nuklir*, 33.
- [9] Stephen G. Burns, 2012, The Fukushima Daiichi Accident: The International Community Responds. *Washington University Global Studies Law Review*, 741.
- [10] Mathew J. Wilson, Hiroshi Fukurai, Takashi Maruta, 2015, Japan and Civil Jury Trials: The Convergence of Force. *Monograph Book*, Bab 10, 155.
- [11] Eric A. Feldman, 2013, Fukushima: Catastrophe, Compensation, and Justice in Japan, *DePaul Law Review*, 335-341.
- [12] Hannah Ritchie, 2017, What was the death toll from Chernobyl and Fukushima? <<https://ourworldindata.org/what-was-the-death-toll-from-chernobyl-and-fukushima>>
- [13] International Atomic Energy Agency (26 July 2017) Japan Joins The Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage,

- <<https://www.iaea.org/newscenter/news/japan-joins-convention-supplementary-compensation-nuclear-damage>>.
- [14] Ximena Vasquez-Maignan, 2011, Fukushima: Liability and Compensation, *Nuclear Law Bulletin*.
- [15] Ximena Vasquez-Maignan, 2012, The Japanese Nuclear Liability Regime in The Context of The International Nuclear Liability Principles. *OECD Legal Affairs: Japan's Compensation System for Nuclear Damage*, 11.
- [16] Nathan Swartz, 2016, The Impact of the Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage, *University of Pennsylvania Asian Law Review*, 328.
- [17] International Atomic Energy Agency, Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage <https://www.iaea.org/Publications/Documents/Conventions/supcomp_status.pdf>.
- [18] Vanda Lamm, 2011, Paris Regime as Legal Instruments Based upon the Convention on Third Party Liability in the Field of Nuclear Energy, *Law Review of Kyiv University of Law*, 324.
- [19] The Protocol to amend the Convention on Third Party Liability in the Field of Nuclear Energy, opened for signature 12 February 2004 (not yet entered into force).
- [20] The Protocol to Amend The Convention of 31 January 1963 Supplementary To The Paris Convention of 29 July 1960 on Third Party Liability in The Field of Nuclear Energy, as amended by The Additional Protocol of 28 January 1964 and by The Protocol of 16 November 1982, 12 Februari 2004 (not yet entered into force).
- [21] The Protocol to amend the Vienna Convention on Civil Liability for Nuclear Damage, opened for signature 29 September 1997, 2241 UNTS (entered into force 13 May 1999).
- [22] Carlton Stoiber, dkk, 2003, *Handbook on Nuclear Law*, International Atomic Energy Agency.
- [23] Ben McRae, 2007, The Convention on Supplementary Compensation for Nuclear Damage: Catalyst for a Global Nuclear Liability Regime, *Nuclear Law Bulletin*.
- [24] *Convention on Supplementary Compensation* opened for signature 22 July 1998 (entered into force 15 April 2015).
- [25] Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2000 tentang Perjanjian Internasional, Diundangkan pada tanggal 23 Oktober 2000, Lembaran Negara Tahun 2000 Nomor 185, Tambahan Lembaran Negara Nomor 4012.

Nama Penanya : Ade A
Instansi : BAPETEN
Nama Penyaji : Midiana A
Judul Makalah : **KAJIAN TERHADAP KEMUNGKINAN RATIFIKASI KONVENSI
PERTANGGUNGJAWABAN KERUGIAN NUKLIR**
Kode Makalah : OB05

Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar

Konfirmasi bahwa untuk skala INES fukushima accident sudah menjadi skala 7
Apakah pertanggungjawaban nuklir berlaku untuk masyarakat di luar PLTN itu berada (batas negara?)

Jawaban/Komentar dari Penyaji

Fukushima accident memang sudah menjadi skala 7, namun apabila dibandingkan dengan kecelakaan chernobyl jumlah korban jiwa akibat paparan radiasi tidak ada.
Pertanggungjawaban kerugian nuklir berlaku lintas batas negara berdasar beberapa konvensi, misalnya konvensi tambahan Brussels, konvensi CSC dan konvensi Wina 1997.

Nama Penanya : Wiryono
Instansi : BAPETEN
Nama Penyaji : Midiana A
Judul Makalah : **KAJIAN TERHADAP KEMUNGKINAN RATIFIKASI KONVENSI
PERTANGGUNGJAWABAN KERUGIAN NUKLIR**
Kode Makalah : OB05

Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar

Apakah ada pengalaman dari negara anggota, jika fasilitas/PI mampu mempertahankan tingkat keselamatan pada level tertentu yang ditetapkan oleh badan pengawas di negara tersebut, akan mendapatkan kompensasi/pemotongan pembayaran kerugian nuklirnya dan jika memungkinkan ditanggung oleh pemerintah?

Jawaban/Komentar dari Penyaji

Besar batas pertanggungjawaban kerugian nuklir yang ada di konvensi-konvensi tersebut harus ditaati negara-negara pihak konvensi tersebut. Dalam kenyataannya Fukushima Daichi menimbulkan korban yang banyak sehingga uang yang dibutuhkan lebih dari yang telah ditetapkan.

Nama Penanya : Agus W
Instansi : BAPETEN
Nama Penyaji : Midiana A
Judul Makalah : **KAJIAN TERHADAP KEMUNGKINAN RATIFIKASI KONVENSI
PERTANGGUNGJAWABAN KERUGIAN NUKLIR**
Kode Makalah : OB05

Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar

Apakah sudah ada kajian untung rugi terkait apabila kita meratifikasi konvensi pertanggungjawaban kerugian terhadap keselamatan nuklir?

Jawaban/Komentar dari Penyaji

Keuntungannya: yaitu adanya bantuan dari negara-negara lain ketika kecelakaan nuklir terjadi lintas negara (ganti rugi melebihi batas pertanggungjawaban kerugian nuklir yang telah ditetapkan)
Kerugiannya: karena konvensi-konvensi tersebut (terutama yang berfungsi sebagai tambahan) mensyaratkan adanya jumlah tertentu yang harus dibayarkan tiap negara anggota dalam hal terjadi kecelakaan nuklir, sebaiknya Indonesia tidak meratifikasinya sebelum ada PLTN.

OB06

KAJIAN IDENTIFIKASI UNTUK PEMBENTUKAN PERATURAN PEMERINTAH TENTANG KETENTUAN KESELAMATAN PERTAMBANGAN BAHAN GALIAN NUKLIR

Farid Noor Jusuf¹, Bambang Eko Aryadi²

^{1,2}Direktorat Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN

ABSTRAK

Peningkatan pembangkitan listrik berbasis energi nuklir dapat menyebabkan terjadi kenaikan permintaan Uranium sebagai bahan bakar nuklir. Pertambangan bahan galian nuklir dapat berperan penting dalam upaya untuk meningkatkan kesejahteraan rakyat Indonesia. Negara akan membuka peluang dilakukannya kegiatan pertambangan bahan galian nuklir di Indonesia melalui peraturan pemerintah tentang perusahaan dan perizinan Bahan Galian Nuklir yang akan segera diundangkan. Kegiatan pertambangan bahan galian nuklir memiliki risiko bahaya radiologi terhadap pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup. Ketentuan keselamatan pertambangan bahan galian nuklir dalam bentuk peraturan pemerintah belum tersedia. Tanpa ketersediaan hirarki peraturan setingkat ini, menimbulkan hambatan dalam upaya penegakan hukum. Tinjauan bertujuan untuk menguraikan materi muatan pengaturan dari peraturan pemerintah yang dapat mengisi kekosongan hukum terkait keselamatan pertambangan bahan galian nuklir sebagai upaya proteksi terhadap risiko bahaya tersebut. Kajian dilakukan secara komprehensif terhadap peraturan perundang-undangan dalam bidang ketenaganukliran dan bidang mineral dan batubara termasuk praktik legislasi internasional. Muatan untuk pengaturan keselamatan pertambangan bahan galian nuklir yang diuraikan meliputi: tanggung jawab manajemen, kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir, dan teknis. Ketentuan teknis untuk keselamatan pertambangan bahan galian nuklir disusun dengan mempertimbangkan siklus kegiatan tahapan pertambangan bahan galian nuklir. Tahapan tersebut antara lain: evaluasi tapak, desain, konstruksi, produksi, penutupan termasuk rehabilitasi. Dengan mempertimbangkan cakupan muatan yang diatur, maka muatan pengaturan ini perlu dituangkan dalam bentuk peraturan pemerintah untuk menjadi rujukan bagi penyusunan dan pelaksanaan kebijakan keselamatan pertambangan bahan galian nuklir.

Kata kunci: keselamatan, pertambangan, nuklir

ABSTRACT

An increase in nuclear-based power generation could lead to an increase in demand for Uranium as a nuclear fuel. Mining of nuclear minerals can play an important role in efforts to improve the welfare of the Indonesian people. The State will open opportunities for mining activities of nuclear minerals in Indonesia through government regulations concerning the enterprise and licensing of the Nuclear Minerals Mining which will soon be enacted. Mining activities of nuclear minerals have a radiological risk to workers, communities and the environment. The provisions of nuclear mining safety mining in the form of government regulations are not yet available. Without the availability of this level of regulatory hierarchy, it creates obstacles in law enforcement efforts. The review aims to describe regulatory content material from government regulations that can fill a legal void with regard to the safety of mining of nuclear minerals as an effort to protect against such hazards. The study was conducted comprehensively to the laws and regulations in the field of nuclear and mineral and coal including international legislation practices. The contents for the safety regulation of nuclear minerals mining are described as follows: management responsibilities, emergency preparedness and responses, and technical. Technical provisions for the safety of mining of nuclear minerals are prepared taking into account the cycle of mining activities of nuclear minerals. These stages include: site evaluation, design, construction, production, closure including rehabilitation. Considering the scope of the regulated content, this regulatory charge should be set forth in the form of government regulations to serve as a reference for the drafting and implementation of nuclear safety mining policies.

Keywords: safety, mining, nuclear

PENDAHULUAN

Sesuai dengan Pasal 33 ayat (3) Undang-Undang Dasar Negara RI, bumi dan air dan kekayaan alam yang terkandung di dalamnya dikuasai oleh negara dan dipergunakan untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat. Salah satu diantaranya adalah bahan galian nuklir, antara lain: Uranium. Potensi

cadangan Uranium diperkirakan mencapai 74.200 ton dengan sebaran antara lain sekitar 26.700 ton di Kalimantan Barat, 17.800 ton di Kalimantan Timur dan 29.700 ton di Bangka Belitung [1]. Kekayaan alam tersebut dapat berperan penting untuk meningkatkan kesejahteraan rakyat Indonesia melalui upaya pertambangan dan menjadi pemasok Uranium di pasar dunia.

Negara membuka peluang dilakukannya kegiatan pertambangan bahan galian nuklir di Indonesia, melalui peraturan pemerintah tentang perusahaan dan perizinan Bahan Galian Nuklir yang akan segera diundangkan [2]. Tapi, kegiatan pertambangan bahan galian nuklir menimbulkan risiko bahaya terhadap pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup. Pengatur keselamatan pertambangan bahan galian nuklir dalam bentuk peraturan pemerintah belum tersedia. Tanpa ketersediaan hirarki peraturan setingkat ini, menimbulkan hambatan dalam upaya penegakan hukum.

Tulisan ini bertujuan untuk menguraikan materi muatan pengaturan dari peraturan pemerintah yang akan mengisi kekosongan hukum terkait keselamatan pertambangan bahan galian nuklir sebagai upaya proteksi terhadap risiko bahaya tersebut.

METODOLOGI

Tulisan ini dibuat dengan melakukan tinjauan terhadap peraturan perundang-undangan yang berkaitan dengan pertambangan bahan galian nuklir, termasuk praktik legislasi dari internasional, antara lain: Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran [3], Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara [4], Peraturan Pemerintah Nomor 23 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Usaha Pertambangan Mineral dan Batubara [5], Rancangan Peraturan Pemerintah tentang Perusahaan dan Perizinan Bahan Galian Nuklir [2], Keputusan Kepala BAPETEN Nomor: 12/Ka-BAPETEN/VI-99 tentang Ketentuan Keselamatan Kerja Penambangan dan Pengolahan Bahan Galian Radioaktif [6], *Handbook on Nuclear Law* [7], dan *Handbook on Nuclear Law: Implementing Legislation* [8].

Tinjauan dilakukan melalui harmonisasi peraturan perundang-undangan dalam bidang ketenaganukliran dan bidang mineral dan batubara sehingga dapat terbentuk peraturan pemerintah tentang ketentuan keselamatan pertambangan bahan galian nuklir yang bersifat komprehensif dan harmonis.

POTENSI PERDAGANGAN URANIUM

Uranium telah menjadi komoditas energi terpercaya dalam memenuhi kebutuhan permintaan energi dari negara-negara maju. Sebagai suatu komoditas, harga uranium mengalami siklus naik dan turun secara bergantian selama bertahun-tahun. Setelah kejadian Fukushima, pada tahun 2011, industri nuklir pada negara nuklir utama (Prancis, Jerman, Jepang, dan Korea Selatan) mengalami pukulan berat, antara lain: terjadi pemadaman pada reaktor nuklir yang ada di Jepang [9]; Korea Selatan menurunkan target jumlah reaktor [10]; pembangkit listrik bertenaga nuklir di Jerman ditargetkan berhenti operasi pada tahun 2022 [11]; dan Prancis

merencanakan untuk mengurangi kontribusi energi nuklir [12].

Tapi sampai dengan tahun 2016, sesuai publikasi dari IAEA ditunjukkan data pembangkitan listrik yang berbasis energi nuklir mengalami tren peningkatan dan melampaui sebelum tahun 2011. Pada tahun 2010 dengan 441 unit reaktor yang beroperasi dihasilkan energi listrik sekitar 375.277 MW(e) dan pada tahun 2016, jumlah pembangkitan listrik telah mencapai 391.116 MW(e) [13]. Kenaikan yang tinggi tersebut disebabkan oleh pengoperasian reaktor nuklir di Cina dengan peningkatan yang sangat tajam yaitu: dari sebelumnya 13 unit reaktor nuklir pada tahun 2010 menjadi 36 unit pada tahun 2016 [12]. Selanjutnya Cina menetapkan target untuk mengoperasikan reaktor nuklir sampai dengan 170 unit pada tahun 2030 [14]. Ekspansi secara besar-besaran tersebut berkaitan upaya pemenuhan tuntutan pertumbuhan ekonomi dan jumlah penduduk yang besar, serta tekanan untuk pengurangan emisi gas [14]. Selain Cina terdapat banyak negara juga yang melakukan ekspansi penggunaan energi nuklir secara besar-besaran seperti ditunjukkan dalam publikasi IAEA: *Nuclear Power Reactors in The World* [13].

Peningkatan jumlah unit reaktor nuklir secara besar-besaran menyebabkan lonjakan permintaan bahan bakar primer yaitu: Uranium. Uranium menjadi penting karena sebagian besar reaktor nuklir menggunakannya sebagai bahan bakar sampai dengan masa yang mendatang. Potensi permintaan yang besar tersebut menyebabkan pertambangan bahan galian nuklir dapat berperan penting dalam upaya untuk meningkatkan kesejahteraan rakyat Indonesia melalui pemasok Uranium di pasar dunia.

PERTAMBANGAN MINERAL RADIOAKTIF

Pertambangan Uranium dipengaruhi oleh faktor-faktor, antara lain: karakteristik geologi dan geoteknik deposit Uranium, ukuran badan bijih (*ore body size*), lokasi, orientasi, kualitas batuan dan distribusi mineral [15] termasuk pertimbangan kelayakan ekonomis. Metode pertambangan antara lain: permukaan atau *open-pit*, bawah tanah, dan *in-situ leaching/recovery* (ISL/R) [7].

Metode *open-pit* digunakan untuk bijih yang berada pada lapisan tanah yang dekat dengan permukaan, berjumlah besar, dan mudah untuk ditambang [15]. Pertambangan bawah tanah untuk deposit Uranium yang berada pada kedalaman tertentu dalam lapisan bawah tanah melalui pengeboran. Pertambangan bawah tanah membutuhkan biaya yang besar, sehingga dilakukan untuk kandungan yang memiliki kadar Uranium tinggi [15]. Metode ISL/R mulai banyak digunakan pada saat sekarang. Metode ISL/R menggunakan cairan *leaching* yang dialirkan ke lapisan batuan di bawah tanah melalui lubang untuk melarutkan mineral Uranium dan selanjutnya dialirkan kembali

ke atas permukaan untuk mengekstraksi Uranium [16].

POTENSI BAHAYA DARI KEGIATAN PERTAMBANGAN URANIUM

Kegiatan pertambangan bahan galian nuklir, misalnya Uranium, dapat menimbulkan ancaman bahaya terhadap pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup. Bahaya tersebut antara lain [6]: udara yang mengandung zat radioaktif, limbah cair yang terkontaminasi zat radioaktif, limbah mineral ikutan, dan kontaminasi aliran air bawah tanah.

Kegiatan pemrosesan bijih uranium yang merupakan hasil tambang sehingga dihasilkan konsentrat uranium oksida (*Uranium Oxide Concentration*, UOC) atau *yellow cake* akan menimbulkan volume limbah cair dalam jumlah banyak. Limbah cair tersebut bersifat radioaktif dan terdapat kandungan logam berat, dengan tingkat toksitas tinggi [15].

Kandungan zat radioaktif di udara disebabkan adanya Radon yang merupakan hasil peluruhan dari U^{238} . Radon merupakan gas mulia yang bersifat inert, tidak berwarna dan tidak berbau sehingga menyulitkan upaya deteksi [7]. Keberadaan gas Radon menimbulkan potensi paparan internal yang dapat menyebabkan kanker paru-paru. Jalur masuk ke dalam tubuh melalui pernapasan, pencernaan, dan penyerapan pada daerah terbuka atau luka [7,15].

Limbah mineral ikutan (*tailing*) merupakan hasil samping dari kegiatan ekstraksi uranium dari bijih yang ditambang [16]. Limbah mineral ikutan menjadi sumber bahaya utama karena sebagian besar kandungan radioaktivitas yang merupakan hasil peluruhan Uranium dalam bijih hasil ditambang akan berada pada limbah mineral ikutan [15,17]. Selain hasil peluruhan Uranium, limbah mineral ikutan juga mengandung unsur berbahaya seperti logam berat, arsenik dan nikel termasuk bahan kimia yang digunakan dalam proses ekstraksi [16,17]. Kandungan asam dari limbah mineral ikutan meningkatkan potensi pelepasan zat radioaktif dan logam berat ke lingkungan [17]. Limbah mineral ikutan juga menimbulkan bahaya debu [7]. Debu tersebut mengandung zat radioaktif dan menyebarkan kontaminasi. Debu yang terhirup masuk ke dalam tubuh manusia menimbulkan paparan internal. Limbah mineral ikutan perlu dikelola untuk tidak menimbulkan dampak kontaminasi pada tanah, air permukaan dan air tanah di sekitar [17].

EVALUASI DAN ANALISIS PERATURAN PERUNDANG-UNDANGAN

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara [4], Pasal 34 ayat (2) dinyatakan pertambangan mineral digolongkan menjadi pertambangan mineral radioaktif, pertambangan mineral logam, pertambangan mineral bukan logam, dan pertambangan batuan. Uraian mineral radioaktif

dinyatakan dalam Pasal 2 ayat (2) huruf a dari Peraturan Pemerintah Nomor 23 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Usaha Pertambangan Mineral dan Batubara, mineral radioaktif yang meliputi: radium, thorium, uranium, monasit, dan bahan galian radioaktif lainnya, serta penjelasan dinyatakan mineral radioaktif termasuk bahan galian nuklir. Selanjutnya, penjelasan Pasal 34 ayat (2) dinyatakan pertambangan mineral radioaktif adalah pertambangan sebagaimana diatur dalam peraturan perundang-undangan di bidang ketenaganukliran.

Pengaturan perundang-undangan di bidang ketenaganukliran melalui Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran. Dalam Pasal 16 ayat (1) dinyatakan setiap kegiatan yang berkaitan dengan pemanfaatan tenaga nuklir wajib memperhatikan keselamatan, keamanan, dan ketenteraman, kesehatan pekerja dan anggota masyarakat, serta perlindungan terhadap lingkungan hidup. Penjelasan Pasal 16 ayat (1) dinyatakan ketentuan keselamatan yang perlu diatur lebih lanjut antara lain ketentuan keselamatan kerja terhadap radiasi, ketentuan keselamatan pengangkutan zat radioaktif, ketentuan keselamatan terhadap pertambangan bahan galian nuklir dan ketentuan keselamatan reaktor. Bahan galian nuklir didefinisikan sebagai bahan dasar untuk pembuatan bahan bakar nuklir [1]. Contoh bahan dasar yang dapat digunakan untuk pembuatan bahan bakar nuklir antara lain Uranium dan Thorium. Ketentuan untuk pengaturan lebih lanjut dinyatakan dalam Pasal 16 ayat (2) dalam bentuk Peraturan Pemerintah.

Selain untuk digunakan sebagai bahan bakar nuklir, memiliki potensi untuk dapat disalahgunakan pada kegiatan yang dapat mengancam keamanan. Dalam mengantisipasi hal tersebut maka disusun peraturan pemerintah terkait tata cara pengusahaan dan perizinan pertambangan bahan galian nuklir dengan BAPETEN sebagai pemrakarsa. Rancangan Peraturan Pemerintah tentang Pengusahaan dan Perizinan Bahan Galian Nuklir [2] yang merupakan pelaksanaan amanat dari Pasal 9, Pasal 10, dan Pasal 17 ayat (3). Ruang lingkup dari Rancangan Peraturan Pemerintah tersebut antara lain pengusahaan bahan galian nuklir dan perizinan penambangan bahan galian nuklir [2].

Pengusahaan bahan galian nuklir meliputi: bahan galian nuklir sebagai produk utama dan bahan galian nuklir sebagai produk ikutan. Kegiatan pengusahaan yang diatur antara lain: penyelidikan umum, eksplorasi, dan eksploitasi; penambangan; dan penyimpanan. Penyelidikan umum, eksplorasi, dan eksploitasi bahan galian nuklir sebagai produk utama dilaksanakan di wilayah kerjasama pengusahaan bahan galian nuklir pada wilayah usaha pertambangan mineral radioaktif yang telah ditetapkan oleh menteri yang menyelenggarakan urusan pemerintahan bidang energi dan sumber daya mineral. Persyaratan perizinan penambangan bahan galian nuklir meliputi administratif, teknis, dan finansial. Persyaratan teknis antara lain: dokumen

spesifikasi teknis bahan galian nuklir, dokumen sistem manajemen penambangan bahan galian nuklir; dokumen rencana penanganan limbah radioaktif; dokumen program proteksi dan keselamatan radiasi; dokumen sistem kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan; dokumen rencana penutupan fasilitas paska kegiatan berakhir; pernyataan kesanggupan untuk mematuhi ketentuan peraturan perundang-undangan di bidang perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup; dan persetujuan dokumen lingkungan hidup sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan. Persyaratan finansial meliputi: deposito berjangka pada bank pemerintah; surat jaminan bank garansi pada bank pemerintah atau bank swasta nasional; dan/atau cadangan akuntansi [2].

Dalam Keputusan Kepala BAPETEN Nomor: 12/Ka-BAPETEN/VI-99 tentang Ketentuan Keselamatan Kerja Penambangan dan Pengolahan Bahan Galian Radioaktif diatur mengenai pengendalian radiasi akibat kerja dan pengendalian radioaktivitas dalam tambang dan instalasi pengolahan, dan tidak mengatur kegiatan eksplorasi permukaan, dekomisioning tambang dan instalasi pengolahan, dan masalah yang berhubungan dengan proteksi lingkungan [6].

Ketentuan mengenai keselamatan dalam kegiatan pertambangan bahan galian nuklir dalam bentuk peraturan yang lebih tinggi setingkat peraturan pemerintah belum tersedia. Tanpa ada pengaturan mengenai keselamatan pertambangan bahan galian nuklir dalam hirarki peraturan setingkat ini, sanksi tidak dapat diterapkan untuk pelanggaran yang dilakukan dalam rangka penegakan hukum. Disamping itu, pembentukan peraturan pemerintah ini memberikan peluang bagi para pemangku kepentingan untuk terus mengembangkan perusahaan yang berkaitan dengan pertambangan bahan galian nuklir dengan memenuhi ketentuan keselamatan yang transparan, efisien dan efektif.

Dalam *Handbook on Nuclear Law: Implementing Legislation* [8] dinyatakan ketentuan mengenai keselamatan terhadap aspek radiologi perlu disusun dalam kerangka peraturan perundang-undangan. Tujuan pengaturan adalah untuk memastikan pekerja, masyarakat, dan lingkungan hidup mendapat upaya proteksi yang memadai terhadap bahaya radiasi pengion yang dapat timbul selama pelaksanaan kegiatan pertambangan bahan galian nuklir. Dalam *Handbook on Nuclear Law* [7] dinyatakan upaya proteksi mencakup perlindungan terhadap wilayah sekitar tapak yang menjadi lokasi tambang.

Substansi materi muatan yang harus dipastikan termuat dalam peraturan perundang-undangan tersebut antara lain [6]: personil yang terqualifikasi, program proteksi radiasi; program proteksi fisik; analisis keselamatan dengan mempertimbangkan karakteristik bahaya yang dapat timbul; pemantauan terhadap udara dan air yang dilakukan selama pengoperasian dan setelah

dekomisioning; analisis dampak lingkungan; memiliki kemampuan keuangan yang memadai untuk kegiatan produksi dan penutupan termasuk rehabilitasi; cakupan asuransi untuk pihak ketiga; dan akses untuk inspektur BAPETEN.

Setelah penutupan, kondisi yang selamat dan stabil di tapak termasuk kontaminasi dan lepasan yang lebih kecil dari ambang batas wajib disyaratkan dalam peraturan perundang-undangan tentang keselamatan pertambangan bahan galian nuklir. Pelaksanaan penutupan harus dipastikan untuk memastikan keselamatan generasi mendatang telah dipenuhi secara memadai. Setelah penutupan dinyatakan selesai, perlu dipastikan pemegang izin tetap bertanggung jawab terhadap adanya lepasan zat radioaktif atau kontaminasi yang terjadi dari tapak tempat lokasi tambang [7].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bahan galian nuklir merupakan komoditas tambang mineral dengan karakteristik yang berbeda dibandingkan golongan mineral lain, yaitu: bersifat radioaktif. Sifat radioaktif tersebut menimbulkan risiko bahaya radiologi terhadap pekerja dan masyarakat dan lingkungan hidup. Upaya proteksi terhadap risiko bahaya tersebut ingin dipecahkan oleh peraturan pemerintah tentang ketentuan keselamatan pertambangan bahan galian nuklir diuraikan di bawah ini.

Berdasarkan Pasal 16 termasuk penjelasan pada Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran [3] dinyatakan ketentuan keselamatan terhadap pertambangan bahan galian nuklir perlu diatur lebih lanjut dalam bentuk Peraturan Pemerintah. Dalam penjelasan Pasal 34 ayat (2) dari Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara [4] dinyatakan pertambangan mineral radioaktif adalah pertambangan sebagaimana diatur dalam peraturan perundang-undangan di bidang ketenaganukliran. Pasal 2 ayat (2) huruf a mineral radioaktif dinyatakan meliputi [5]: radium, thorium, uranium, monasit, dan bahan galian radioaktif lainnya, dan dalam penjelasan dinyatakan mineral radioaktif termasuk bahan galian nuklir. Hal ini menjadi fundamental dalam upaya pembentukan peraturan pemerintah tentang ketentuan keselamatan pertambangan bahan galian nuklir.

Negara harus memastikan ada upaya proteksi secara memadai mengingat risiko bahaya radiologi dari pertambangan bahan galian nuklir terhadap pekerja, masyarakat, dan lingkungan hidup. Sebagai upaya tersebut, sasaran pembentukan peraturan pemerintah tentang ketentuan keselamatan pertambangan bahan galian nuklir adalah:

1. terwujudnya perlindungan terhadap pekerja, masyarakat, dan lingkungan hidup terhadap bahaya radiologi yang dapat timbul pada kegiatan pertambangan bahan galian nuklir; dan
2. terwujudnya peraturan keselamatan pertambangan bahan galian nuklir yang

komprehensif dan harmonis dengan peraturan perundang-undangan lainnya sehingga pertambangan bahan galian nuklir dapat dilakukan secara selamat.

Pengaturan akan menjangkau antara lain: BAPETEN, BATAN, dan pemangku kepentingan dalam kegiatan pertambangan bahan galian nuklir. Ketentuan keselamatan pertambangan bahan galian nuklir disusun dengan kesadaran bahwa keselamatan harus dijadikan prioritas utama dari setiap pemangku kepentingan.

Substansi pengaturan disusun meliputi: tanggung jawab manajemen, kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir, dan teknis keselamatan pertambangan bahan galian nuklir. Ketentuan pengaturan diterapkan pada seluruh kegiatan pertambangan dengan tujuan keselamatan yaitu: melindungi pekerja, masyarakat, dan lingkungan hidup terhadap bahaya radiologi pengion yang ditimbulkan oleh kegiatan pertambangan bahan galian nuklir. Untuk mewujudkan tujuan keselamatan, selama kegiatan pertambangan galian nuklir wajib dipastikan antara lain: upaya untuk mengendalikan paparan radiasi yang diterima pekerja dan masyarakat termasuk lepasan zat radioaktif ke lingkungan hidup, upaya meminimalkan kebolehdan kejadian kecelakaan yang dapat timbul dalam kegiatan pertambangan galian nuklir; dan upaya memitigasi dampak kejadian tersebut apabila terjadi.

Kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir wajib disusun dan ditetapkan secara memadai untuk melindungi masyarakat dan lingkungan hidup sebagai bagian upaya memitigasi apabila terjadi kecelakaan pada kegiatan pertambangan bahan galian nuklir. Penyusunan program kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir berdasarkan kajian keselamatan yang mempertimbangkan seluruh potensi bahaya yang dapat timbul secara komprehensif. Selama kegiatan pertambangan bahan galian nuklir perlu diadakan pelatihan dan uji coba untuk menunjukkan kemampuan dalam penanggulangan kedaruratan nuklir.

Manajemen dalam kegiatan pertambangan bahan galian nuklir bertanggung jawab secara penuh dan menyeluruh terhadap keselamatan pertambangan bahan galian nuklir selama siklus kegiatan pertambangan sampai dengan pemantauan terhadap wilayah setelah rehabilitasi paska tambang. Untuk itu manajemen wajib antara lain: menetapkan dan melaksanakan kebijakan keselamatan; menentukan kriteria keselamatan; menjamin bahwa desain, konstruksi, komisioning, produksi dan penutupan termasuk rehabilitasi memenuhi ketentuan keselamatan berdasarkan peraturan perundang-undangan; menetapkan, melaksanakan dan mengembangkan prosedur dan aturan internal untuk memastikan terkendalinya keselamatan dalam segala kondisi; memiliki organisasi dengan pembagian tugas, kewenangan dan tanggung jawab serta hirarki

dan jalur yang jelas; menetapkan dan memastikan petugas atau personil yang memiliki tingkat kompetensi dan keahlian yang sesuai dengan bidang tugasnya; dan melakukan pemantauan dan audit, serta melakukan evaluasi terhadap segala hal yang berkaitan dengan keselamatan secara berkala.

Manajemen dapat mendelegasikan kepada organisasi lain untuk melaksanakan sebagian fungsi atau kegiatan pertambangan bahan galian nuklir. Namun demikian, pendelegasian tersebut tidak membebaskan manajemen dari pertanggungjawaban hukum dalam hal keselamatan. Organisasi lain tersebut harus memprioritaskan keselamatan dalam pelaksanaan kegiatan yang dilimpahkan. Organisasi lain seperti pendesain, pemasok, fabrikasi dan kontraktor dalam melaksanakan kegiatannya harus memenuhi standar kualitas dan spesifikasi yang ditetapkan.

Kegiatan pertambangan Uranium pada suatu wilayah dapat berlangsung selama puluhan tahun, dalam skala yang besar, melibatkan teknologi dengan kompleksitas tinggi. Untuk melakukan pengawasan secara memadai dan komprehensif, ketentuan teknis disusun dengan mempertimbangkan tahap dalam siklus kegiatan pertambangan bahan galian nuklir. Tahapan tersebut meliputi: evaluasi tapak, desain, konstruksi, produksi, penutupan termasuk rehabilitasi.

Evaluasi tapak

Tahap evaluasi tapak untuk calon lokasi tambang bahan galian nuklir mencakup investigasi terhadap wilayah tapak dengan beberapa aspek, yang meliputi: kegempaan, kegunungapian, geoteknik, ulah manusia, dispersi zat radioaktif, meteorologi, dan hidrologi. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi sistem keselamatan selama kegiatan pertambangan bahan galian nuklir dan penyebaran zat radioaktif ke lingkungan, dianalisis dengan mempertimbangkan setiap aspek tersebut, termasuk kombinasi kejadian yang dapat terjadi antar aspek selama kegiatan pertambangan bahan galian nuklir dan setelah paska tambang. Risiko yang perlu dipertimbangkan dalam evaluasi tapak antara lain: kegagalan tempat penampungan limbah mineral ikutan, runtuh, dan jalur lepasan zat radioaktif ke lingkungan hidup.

Desain

Tambang untuk bahan galian nuklir harus didesain dengan mempertimbangkan kondisi dan kejadian yang dapat menimbulkan bahaya terhadap keselamatan selama produksi dan paska tambang. Analisis keselamatan berdasarkan kejadian awal terpostulasi wajib dilakukan untuk menjamin desain tambang bahan galian nuklir memenuhi tujuan keselamatan dan fungsi keselamatan utama tambang bahan galian nuklir. Fungsi keselamatan utama tambang bahan galian nuklir meliputi: proteksi

terhadap pekerja dan masyarakat dari radiasi pengion; pencegahan dispersi zat radioaktif dan kontaminasi; pengelolaan limbah radioaktif yang ditimbulkan selama kegiatan pertambangan bahan galian nuklir; dan kendali terhadap dampak yang ditimbulkan pada lingkungan selama pengoperasian dan paska tambang. Desain tambang wajib menerapkan pertahanan berlapis yang efektif melalui kombinasi sejumlah tingkat perlindungan yang independen dan berurutan yang disyaratkan untuk gagal sebelum dampak berbahaya mencapai orang atau lingkungan. Hasil analisis keselamatan disusun dalam bentuk laporan analisis keselamatan dan wajib disampaikan ke BAPETEN untuk dinilai. Struktur, sistem dan komponen (SSK) dari tambang wajib diklasifikasi berdasarkan keselamatan, seismik, dan mutu, serta wajib menentukan kualifikasi SSK terhadap lingkungan kegiatan pertambangan bahan galian nuklir. Persyaratan desain umum pertambangan bahan galian nuklir meliputi: keandalan SSK; kemudahan produksi; kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir; kemudahan penutupan; proteksi radiasi; faktor manusia; dan penuaan. Persyaratan desain khusus untuk pertambangan galian nuklir antara lain: sistem penanganan dan penyimpanan bahan galian nuklir; sistem proses; sistem proteksi; sistem catu daya listrik; sistem pemasok udara; sistem proteksi kebakaran dan ledakan; dan sistem pengelolaan limbah radioaktif.

Konstruksi

Konstruksi merupakan kegiatan yang dilakukan dalam lokasi tambang meliputi pekerjaan arsitektural, sipil, mekanikal, elektrikal, tata lingkungan, pemasangan, dan uji fungsi. Konstruksi merupakan bagian yang penting dan mempengaruhi keselamatan pada saat pengoperasian dan penutupan termasuk paska tambang. Pelaksanaan konstruksi wajib berdasarkan program konstruksi, sistem manajemen, desain rinci, spesifikasi teknis, dan kode dan standar yang ditetapkan. Program proteksi radiasi dan keselamatan radiasi dan rencana pengelolaan limbah radioaktif wajib disusun dan diimplementasikan dalam kegiatan konstruksi. Verifikasi keselamatan termasuk identifikasi bahaya yang dapat timbul wajib dilakukan untuk memastikan wilayah di sekitar tambang tidak menerima dampak dari pekerjaan konstruksi. Selama kegiatan konstruksi wajib dilakukan pemantauan untuk memastikan wilayah di sekitar tapak tidak menerima dampak.

Komisioning

Setelah konstruksi selesai, uji fungsi dilakukan untuk memastikan dan mendemonstrasikan pemenuhan persyaratan. Sebagai panduan dalam pelaksanaan komisioning, program komisioning wajib disusun dan ditetapkan dengan melibatkan organisasi desain, konstruksi dan produksi. Program komisioning disusun dengan tujuan untuk memastikan bahwa SSK pada tambang bahan galian

nuklir yang telah terpasang dapat berfungsi sesuai dengan desain dan ketentuan keselamatan. Program komisioning tersebut memuat semua pengujian SSK, secara individual juga termasuk pengujian secara terintegrasi untuk semua sistem. Dalam kegiatan komisioning, setiap pengujian yang dilakukan wajib dapat menunjukkan bahwa SSK berfungsi sesuai dengan ketentuan dalam memenuhi tujuan keselamatan dan fungsi keselamatan utama tambang bahan galian nuklir pada kondisi operasi normal, abnormal dan kecelakaan dasar desain. Dalam pengujian SSK, dilakukan verifikasi terhadap pemenuhan batasan dan kondisi operasi (BKO) sesuai dengan persyaratan desain yang diajukan, yang termuat dalam laporan analisis keselamatan. Sebelum pelaksanaan kegiatan komisioning, rencana deteksi penuaan SSK wajib disusun dan ditetapkan, serta dilaksanakan dalam kegiatan komisioning tambang bahan galian nuklir. Personil yang melaksanakan pengujian dalam kegiatan komisioning wajib telah terqualifikasi.

Produksi

Untuk memastikan keselamatan selama produksi termasuk penutupan, wajib dibentuk panitia keselamatan yang bertugas melakukan penilaian dan memberikan rekomendasi dalam hal keselamatan selama kegiatan produksi sampai dengan penutupan. Sebelum tahap produksi dimulai BKO wajib ditetapkan dengan mempertimbangkan hasil analisis keselamatan, pengujian dalam komisioning yang telah dilakukan, dan pengalaman pengoperasian dari tambang dengan metode yang sama. Prosedur produksi wajib ditetapkan sebagai pedoman dalam pelaksanaan produksi untuk semua kondisi kegiatan pertambangan bahan galian nuklir, antara lain: kondisi normal, abnormal dan kecelakaan. Pelaksanaan produksi termasuk perawatan wajib dilaksanakan oleh personil yang terqualifikasi. Untuk mempertahankan kondisi SSK dapat selalu berfungsi sesuai dengan persyaratan, perlu ditetapkan program perawatan. Secara berkala, laporan tentang produksi kegiatan pertambangan bahan galian nuklir, dan pelaksanaan rencana pengelolaan lingkungan hidup dan rencana pemantauan lingkungan hidup wajib disampaikan ke BAPETEN. Laporan produksi mencakup kejadian signifikan terhadap keselamatan yang terjadi selama kegiatan produksi. Program manajemen penuaan wajib ditetapkan untuk SSK yang rentan terhadap penuaan, termasuk secara berkala dilakukan evaluasi terhadap pelaksanaan program manajemen penuaan.

Selama kegiatan produksi pertambangan bahan galian nuklir, dimungkinkan dilakukan modifikasi SSK. Dalam melakukan modifikasi tersebut, wajib disusun dan ditetapkan program modifikasi dan melakukan analisis keselamatan apabila dilakukan modifikasi terhadap SSK yang penting untuk keselamatan dan wajib memperoleh persetujuan dari BAPETEN. Kegiatan modifikasi

tidak boleh mengurangi tingkat keselamatan selama kegiatan pertambangan bahan nuklir.

Penilaian keselamatan melalui analisis, survailen, pengujian, dan inspeksi wajib dilakukan secara berkala untuk memastikan kondisi fisik dan kegiatan produksi selalu dalam BKO, ketentuan keselamatan dan tercakup dalam analisis keselamatan. Penilaian keselamatan berkala tersebut wajib dilakukan selama kegiatan produksi dengan mempertimbangkan pengalaman operasi dan informasi keselamatan yang termutakhir termasuk *best practices*. Selama kegiatan penilaian keselamatan berkala, kejadian yang signifikan memberikan dampak keselamatan direview secara rinci, SSK yang terkait keselamatan dimodifikasi, prosedur direvisi, kualifikasi personil dikaji ulang dan pelatihan dimutakhirkan untuk mencegah kondisi yang mengancam keselamatan dapat timbul.

Penutupan

Pelaksanaan penutupan yang mencakup rehabilitasi wajib didasarkan program penutupan. Program penutupan tersebut wajib disusun sebelum konstruksi dilakukan, dimutakhirkan selama kegiatan produksi, dan ditetapkan sebelum kegiatan penutupan dilaksanakan. Program penutupan disusun berdasarkan analisis keselamatan dengan mempertimbangkan potensibahaya baik radiologi maupun nonradiologi yang dapat mengancam pekerja, masyarakat, dan lingkungan hidup, termasuk mempertimbangkan kompleksitas kegiatan pertambangan bahan galian nuklir. Program penutupan yang disusun antara lain memuat: uraian tentang tambang termasuk kondisi tapak, opsi penutupan yang akan dilakukan, tujuan akhir dari penutupan, karakterisasi kontaminasi, perkiraan biaya dekomisioning, proteksi radiasi, proteksi fisik, rencana penanganan limbah radioaktif, tahapan pelaksanaan penutupan rehabilitasi termasuk jadwal, dan pemantauan setelah penutupan. Biaya untuk pelaksanaan penutupan termasuk upaya rehabilitasi dan pemantauan setelah pelaksanaan dekomisioning wajib tersedia secara memadai melalui jaminan finansial. Pemantauan terhadap wilayah setelah reabilitasi harus dilakukan untuk memastikan keselamatan terpenuhi dan sesuai dengan tujuan akhir rehabilitasi.

Melalui pengaturan dalam peraturan pemerintah, pemangku kepentingan yang terkait dengan kegiatan pertambangan galian nuklir dapat melaksanakan kinerjanya dalam menjamin proteksi pekerja, masyarakat, dan lingkungan hidup terhadap bahaya dan risiko yang ditimbulkan dalam pertambangan bahan galian nuklir. Peraturan pemerintah ini akan memberikan akses pada masyarakat untuk mengetahui dan berpartisipasi dalam pemenuhan ketentuan keselamatan pertambangan bahan galian nuklir. Dengan demikian kebijakan keselamatan pertambangan galian nuklir dapat lebih diterima oleh masyarakat luas.

KESIMPULAN

Pertambangan bahan galian nuklir dapat berperan penting dalam upaya untuk meningkatkan kesejahteraan rakyat Indonesia. Tapi, kegiatan pertambangan bahan galian nuklir memiliki risiko bahaya radiologi terhadap pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup. Untuk mewujudkan proteksi yang memadai terhadap risiko bahaya radiologi bagi pekerja, masyarakat, dan lingkungan hidup, telah dilakukankajian identifikasi untuk pembentukan peraturan pemerintah tentang ketentuan keselamatan pertambangan bahan galian nuklir. Kajian dilakukan secara komprehensif dan harmonis dengan peraturan perundang-undangan bidang ketenaganukliran dan mineral dan batu bara, termasuk praktik legislasi internasional. Muatan pengaturan yang diuraikan meliputi: tanggung jawab manajemen, kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir, dan teknis. Ketentuan teknis untuk keselamatan pertambangan bahan galian nuklir disusun secara bertahap dengan mempertimbangkan siklus kegiatan tahapan pertambangan bahan galian nuklir. Tahapan tersebut antara lain: evaluasi tapak, desain, konstruksi, produksi, penutupan termasuk rehabilitasi.

Dengan mempertimbangkan luas cakupan muatan yang diatur, maka muatan pengaturan ini sebaiknya dituangkan dalam bentuk peraturan pemerintah. Dengan demikian, peraturan pemerintah ini dapat menjadi rujukan bagi penyusunan dan pelaksanaan kebijakan keselamatan pertambangan bahan galian nuklir, dasar yang mengikat bagi pemegang izin agar dapat melaksanakan ketentuan keselamatan pertambangan bahan galian nuklir untuk menjamin perlindungan masyarakat, pekerja dan lingkungan hidup, dan dasar bagi para pemangku kepentingan yang terkait kegiatan pertambangan bahan galian nuklir untuk mewujudkan keselamatan pertambangan bahan galian nuklir. Pengaturan lebih rinci untuk keselamatan pertambangan bahan galian nuklir diperlukan dalam bentuk peraturan dan pedoman BAPETEN yang merupakan ketentuan pelaksanaan dari peraturan pemerintah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Dr. Ir. Yudi Pramono, M.Eng selaku pimpinan di DP2IBN atas waktu dan bimbingan yang telah diberikan sehingga dimungkinkannya penulisan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bachtiar, A., 2015, *Kebijakan Energi Nasional dan Pengelolaan Mineral Radioaktif, disampaikan dalam "One Day Workshop: Pengelolaan Mineral Radioaktif dalam Rangka Mendukung Kedaulatan Energi Nasional"*, Pranaya Suites Hotel, Tangerang Selatan, 11 November 2015

- [2] BAPETEN, 2015, Rancangan Peraturan Pemerintah tentang Pengusahaan dan Perizinan Bahan Galian Nuklir, BAPETEN.
- [3] Republik Indonesia, 1997, Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran.
- [4] Republik Indonesia, 2009, Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara.
- [5] Republik Indonesia, 2010, Peraturan Pemerintah Nomor 23 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Usaha Pertambangan Mineral dan Batubara.
- [6] BAPETEN, 1999, Keputusan Kepala BAPETEN Nomor: 12/Ka-BAPETEN/VI-99 tentang Ketentuan Keselamatan Kerja Penambangan dan Pengolahan Bahan Galian Radioaktif
- [7] Stoiber, C., dkk, 2003, *Handbook on Nuclear Law*, International Atomic Energy Agency, Viena, 2003.
- [8] Stoiber, C., dkk, 2010, *Handbook on Nuclear Law: Implementing Legislation*, International Atomic Energy Agency, Viena, 2010
- [9] Hayashi, M. Dan Hughes, L, 2012, *The Policy Response to the Fukushima Nuclear Accident and their effect on Japanese Energy Security, energy Policy*, Elsevier.
- [10] Young, W. C., 2017, *South Korea to cut Number of Nuclear Reactors to 14 by 2038*, Asia Today, <http://en.asiatoday.co.kr/view.php?key=20171024002047469>, 25 Oktober 2017, 08:50 AM
- [11] Konpf, B., dkk, 2011, *Scenarios for Phasing Out Nuclear Energy in Germany*, Fredrich Eberth Stiftung, Jerman.
- [12] Clerecq, G.D, 2017, *France to reduce Share of Nuclear in Power Mix 'asap': minister*, <https://www.reuters.com/article/us-france-electricity/france-to-reduce-share-of-nuclear-in-power-mix-asap-minister-idUSKBN1DZ17Y>, 5 Desember 2017, 10:25 AM
- [13] IAEA, 2017, *Nuclear Power Reactors in The World*, 2017 Edition, Austria, Wina.
- [14] Massot, P, dan Chen, Z.M, 2013, *China and the Global Uranium Market: Prosepects for Peaceful Coexistence*, the Scientific World Journal
- [15] Committe on Uranium Mining in Virginia, 2012, *Uranium Mining In Virginia: Scientific, Technical, Environmental, Human Health and Safety, and Regulatory Aspects of Uranium Mining and Processing in Virginia*, Committe on Uranium Mining in Virginia, The National Academic Press.
- [16] IAEA, 2014, *Perceptions and Realities in Modern Uranium Mining: Extended Summary*, Nuclear Energy Agency
- [17] Abdelouas, A., 2006, *Uranium Mill Tailings: Geochemistry, Mineralogy and Environmental Impact*, Elements, edisi 1 Desember 2006 Vol.2 hal 335-341.

Nama Penanya : Ade A
Instansi : BAPETEN
Nama Penyaji : Farid NY
Judul Makalah : **KAJIAN IDENTIFIKASI UNTUK PEMBENTUKAN PERATURAN
PEMERINTAH TENTANG KETENTUAN KESELAMATAN
PERTAMBANGAN BAHAN GALIAN NUKLIR**
Kode Makalah : OB06

Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar

Hubungan AMDAL dan inspektur tambang apakah diatur dalam RPP

Jawaban/Komentar dari Penyaji

AMDAL terkait persyaratan izin lingkungan yang telah diatur dalam RPP pengusahaan dan perijinan pertambangan bangunan.

Inspektur tambang dalam rezim UU no. 41 tahun 2009 tetap dapat melakukan kegiatan sesuai kewenangannya.

Nama Penanya : Sri Budi Utami
Instansi : BAPETEN
Nama Penyaji : Farid NY
Judul Makalah : **KAJIAN IDENTIFIKASI UNTUK PEMBENTUKAN PERATURAN
PEMERINTAH TENTANG KETENTUAN KESELAMATAN
PERTAMBANGAN BAHAN GALIAN NUKLIR**
Kode Makalah : OB06

Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar

Terkait dengan program penanggulangan kedaruratan nuklir pasca fasilitas pertambangan bahan galian nuklir, sampai sejauh mana untuk menentukan batasan-batasan dalam penanggulangan KN

Jawaban/Komentar dari Penyaji

Dalam upaya untuk menentukan batasan-batasan dalam penanggulangan KN adalah melalui kajian keselamatan yang mempertimbangkan seluruh potensi bahaya yang dapat timbul selamakomprehensif

OB07

STUDI PENGGUNAAN PENDEKATAN BERBASIS KINERJA PADA ANALISIS KERENTANAN SISTEM PROTEKSI FISIK (SPF) INSTALASI NUKLIR

Dwi Cahyadi¹, Agus Yudhi Pristanto¹

¹*Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir - BAPETEN, Jakarta*
e-mail: d.cahyadi@bapeten.go.id, a.pristanto@bapeten.go.id

ABSTRAK

STUDI PENGGUNAAN PENDEKATAN BERBASIS PERFORMA PADA SISTEM PROTEKSI FISIK INSTALASI NUKLIR. Metode evaluasi efektivitas Sistem Proteksi Fisik (SPF) dengan menggunakan pendekatan berbasis kepatuhan perlu ditinjau ulang, penggunaan evaluasi SPF dengan pendekatan berbasis kinerja dapat segera digunakan untuk evaluasi efektivitas SPF dalam rangka melindungi fasilitas nuklir dari kemungkinan mencegah pemindahan bahan nuklir secara tidak sah, sabotase dan pencurian yang merupakan tujuan dari SPF. Metodologi yang digunakan dalam tulisan ini adalah menggunakan studi pustaka dengan pendekatan yang digunakan adalah pendekatan studi literatur yang mengacu pada requirement dan rekomendasi dari Badan Pengawas Atom Internasional (IAEA), literatur ilmiah terkait dengan sistem proteksi fisik instalasi nuklir dan *best practice* yang berlaku di fasilitas nuklir serta regulasi negara lain. Dokumen standar dan literatur terbaru banyak merekomendasikan penggunaan metode evaluasi SPF dengan berbasis kinerja, sehingga layak dipertimbangkan untuk digunakan dalam evaluasi efektivitas SPF pada fasilitas nuklir di Indonesia. Dalam perka BAPETEN terbaru tentang Ketentuan Sistem Proteksi Fisik Instalasi dan Bahan Nuklir dapat mulai memasukan metode berbasis kinerja ini sebagai pedoman atau *guidance* dalam revisi dari Perka 1/2009 dengan mengacu dokumen IAEA, *best practice* dan contoh dokumen negara lain.

Kata kunci: Evaluasi efektivitas Sistem Proteksi Fisik, Pendekatan berbasis Kinerja.

ABSTRACT

STUDY OF THE USE OF PERFORMANCE-BASED APPROACH TO THE NUCLEAR INSTALLATION PHYSICAL PROTECTION SYSTEM. The method of evaluating the effectiveness of Physical Protection System (SPF) using a compliance-based approach needs to be reviewed, the use of SPF evaluation with a performance-based approach can be immediately used to evaluate the effectiveness of the Physical Protection System in order to protect nuclear facilities from unauthorized removal of nuclear material, sabotage and theft which is the purpose of SPF. The methodology used in this paper is using literature study with the approach used is a literature study approach that refers to the requirements and recommendations of the International Atomic Energy Agency (IAEA), the scientific literature associated with the physical protection system of nuclear installations and best practices applicable in nuclear facilities as well as regulation of other countries. In the latest BAPETEN regulation on Physical Protection System Requirements of Nuclear Installation and Materials may begin to incorporate performance-based methods as guidance in revisions of the BCR 1/2009 with reference to IAEA documents, best practices and examples of other country documents.

Keywords: Physical Protection System Evaluation, Performance Based approach

I. PENDAHULUAN

Melindungi fasilitas nuklir dari kemungkinan pemindahan bahan nuklir secara tidak sah, sabotase dan pencurian harus dilakukan pada Instalasi nuklir. Fungsi dari sistem proteksi fisik Instalasi nuklir harus memenuhi tiga elemen dasar yaitu deteksi, delay dan respon. Sistem Proteksi Fisik (SPF) Instalasi Nuklir harus memiliki kinerja yang cepat untuk mencapai waktu yang memadai agar tibanya pasukan perespon serta mampu melengkapi pertahanan dalam fasilitas pada waktu yang memadai untuk menggagalkan musuh dan menetralsasinya.

Kinerja dari SPF harus didesain untuk melawan dan membatasi kemampuan dan siasat dari musuh terhadap fasilitas nuklir. Ada dua pendekatan analisis dasar yang digunakan dalam Analisa Kerentanan Sistem Proteksi Fisik yaitu berbasis kepatuhan atau berbasis kinerja. [1]

Tujuan penulisan makalah ini adalah untuk menekankan pentingnya penggunaan pendekatan berbasis kinerja dalam melakukan evaluasi efektivitas SPF lewat kajian standar keamanan yang diterbitkan oleh IAEA, literatur ilmiah lain dan panduan dari member state IAEA.

Pendekatan berbasis kepatuhan yang digunakan dalam Peraturan Kepala BAPETEN No. 1 Tahun 2009 tentang Ketentuan Sistem Proteksi Fisik Instalasi dan

Bahan Nuklir bergantung pada kesesuaian dengan kebijakan atau peraturan yang ditentukan; Ukuran keberhasilan untuk analisis ini adalah tersedianya peralatan dan prosedur yang dipersyaratkan, sedangkan pada pendekatan berbasis kinerja, di sisi lain, mengevaluasi bagaimana setiap elemen SPF beroperasi dan pengaruhnya terhadap efisiensi sistem secara keseluruhan .

Penggunaan pendekatan berbasis kepatuhan dinilai hanya efektif terhadap ancaman rendah, pada aset yang memiliki konsekuensi kerugian yang rendah, atau jika analisis biaya telah dilakukan dan menunjukkan bahwa tindakan proteksi fisik bukanlah alternatif pengelolaan risiko yang paling efektif. Namun analisis ini lebih cepat dan lebih mudah dilakukan karena ukuran efektivitas sistem adalah adanya peralatan, prosedur, dan personel PPS yang ditentukan. Analisis ini terdiri dari tinjauan kesesuaian fasilitas dengan persyaratan kepatuhan, penggunaan daftar periksa untuk mendokumentasikan adanya atau tidak adanya komponen, dan laporan temuan yang mencatat bahwa fasilitas tersebut tidak sesuai. [2]

Metode evaluasi efektivitas Sistem Proteksi Fisik (SPF) dengan menggunakan pendekatan berbasis kepatuhan perlu ditinjau ulang, penggunaan evaluasi SPF dengan pendekatan berbasis kinerja dapat segera digunakan untuk evaluasi efektivitas SPF kajian studi literatur yaitu pada Standar IAEA INFCIRC 225/Revision 5 tahun 2011; Dokumen *IAEA Nuclear Security Series Handbook On The Design Of Physical Protection Systems for Nuclear Material and Nuclear Facilities (NST055 DRAFT, August 2017)* menekankan penggunaan pendekatan berbasis kinerja dalam melakukan evaluasi efektivitas SPF. Demikian pula dengan dokumen Badan Pengawas Hongaria HAEA Guideline PP-9, September 2015 dan Dokumen standar BATAN SB 009.1 2016, sehingga pendekatan berbasis kinerja ini dapat segera dimasukkan dalam regulasi BAPETEN sebagai revisi Peraturan Kepala BAPETEN No. 1 Tahun 2009 sebagai metode evaluasi dalam sistem proteksi fisik instalasi nuklir di Indonesia.

II. METODE / METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam tulisan ini adalah menggunakan studi pustaka dengan pendekatan yang digunakan adalah pendekatan *studi literatur dengan mengacu pada requirement dan rekomendasi dari Badan Pengawas Atom Internasional (IAEA), literatur ilmiah terkait dengan sistem proteksi fisik instalasi nuklir dan best practice* yang berlaku di fasilitas nuklir di negara lain yang terkait.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Ukuran efektivitas SPF keseluruhan digambarkan sebagai efektifitas sistem dan dinyatakan sebagai nilai probabilitas P_E . P_E ditentukan dengan menggunakan dua istilah: probabilitas interupsi (P_I) dan probabilitas netralisasi (P_N).

Pendekatan berbasis kinerja menggunakan teknik jalur musuh, yang berasumsi bahwa urutan tindakan musuh yang diperlukan untuk menyelesaikan serangan terhadap aset penting fasilitas nuklir. Jalur tersebut mungkin dimulai dan berakhir di luar fasilitas (ancaman orang luar, tujuan pencurian), mungkin akan dimulai di luar dan berakhir di dalam fasilitas (orang luar, sabotase), atau mungkin mulai di dalam dan diakhiri di dalam atau di luar (kasus orang dalam, sabotase, atau pencurian).

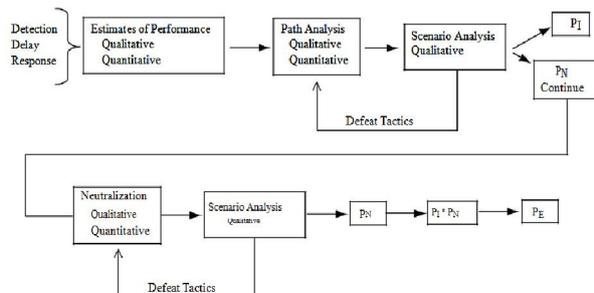
Penting untuk dicatat bahwa P_E bervariasi dengan ancaman. Seiring meningkatnya tingkat ancaman, kinerja elemen keamanan individu atau secara keseluruhan pada sistem proteksi fisik bisa menurunkan nilai P_E . P_I adalah probabilitas kumulatif deteksi pada titik deteksi kritis (CDP) di sepanjang jalur tertentu. CDP didefinisikan sebagai titik di jalur musuh di mana penundaan jalur hanya sedikit melampaui waktu kedatangan kekuatan pasukan perespon. CDP didapat dengan memulai dari akhir jalur musuh, dan menambahkan penundaan jalur sampai nilai ini melampaui waktu kekuatan respon. P_N adalah ukuran kemungkinan bahwa kekuatan respons akan berhasil dalam mengalahkan atau mengalahkan musuh yang diberikan gangguan

Laporan analisis kerentanan merangkum temuan / kelemahan pada SPF dan selanjutnya fasilitas tersebut melakukan perbaikan sesuai kebijakan fasilitas. Penilaian keseluruhan keefektifan SPF merupakan tujuan Analisis Kerentanan, dan mengetahui biaya yang dikeluarkan agar elemen PPS dapat menghasilkan proteksi yang lebih baik serta dalam rangka mematuhi persyaratan.

Pada pendekatan berdasarkan kepatuhan tergantung pada kesesuaian dengan kebijakan atau peraturan tertentu; ukuran untuk analisis ini adalah keberadaan peralatan dan prosedur yang ditentukan sedangkan pendekatan berbasis kinerja, mengevaluasi bagaimana setiap elemen SPF beroperasi dan hal-hal yang berkontribusi terhadap efektivitas sistem secara keseluruhan.

Salah satu kelebihan pada pendekatan berbasis kinerja adalah teknik analisisnya dapat berupa kualitatif dan kuantitatif; aspek penting dalam analisis kuantitatif adalah penggunaan ukuran numerik untuk komponen PPS. Walaupun ada aspek kualitatif bahkan untuk analisis kuantitatif, tetapi dengan menggunakan ukuran kuantitatif untuk kinerja elemen PPS, terutama perangkat keras, banyak subjektivitas pendekatan analisis berbasis-kepatuhan dan kualitatif dapat dihilangkan.

Pendekatan kuantitatif tidak berlaku untuk setiap fasilitas, tetapi untuk aset yang vital/penting mencakup instalasi nuklir terutama sejak peristiwa serangan teroris 11 September 2001, ada dorongan yang lebih besar dalam menerapkan pendekatan ini terhadap infrastruktur penting, aset keamanan nasional, dan keamanan dalam negeri. Proses dan teknik analisis dirangkum dalam Gambar 1.



Gambar 1 Teknis Analisis berbasis kinerja

Dalam berbagai literatur dan standar yang membahas sistem proteksi fisik banyak menekankan tentang pentingnya evaluasi berbasis kinerja pada sistem proteksi fisik. Adapun dokumen yang dibahas dalam makalah ini adalah dokumen **Standar IAEA INFCIRC 225/Revision 5, IAEA Nuclear Security Series Handbook On The Design Of Physical Protection Systems for Nuclear Material and Nuclear Facilities, NST055 DRAFT, August 2017**, Peraturan Kepala BAPETEN No. 1 Tahun 2009 dan SB 009.1 BATAN:2016 tentang Penilaian risiko keamanan nuklir.

Ketentuan yang berlaku secara internasional yang mengatur secara spesifik terkait dengan evaluasi sistem proteksi fisik yaitu standar *IAEA INFCIRC 225/Revision 5 Nuclear Security Recommendations on Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities* memuat *requirement* yang harus dipatuhi oleh negara member state IAEA, dokumen teknis *IAEA Nuclear Security Series Handbook On The Design Of Physical Protection Systems for Nuclear Material and Nuclear Facilities NSS 055*.

Standar IAEA INFCIRC 225/Revision 5

Dokumen INFCIRC 225/Revision 5 yang diterbitkan oleh IAEA merupakan rekomendasi yang memuat persyaratan dalam sistem proteksi fisik. Beberapa Rekomendasi dari INFCIRC 225/Revision 5 secara spesifik menyebutkan ketentuan tentang evaluasi kinerja sistem proteksi fisik fasilitas nuklir [3]

Untuk memastikan bahwa tindakan proteksi fisik dapat dipertahankan pada kondisi mampu memenuhi persyaratan regulasi suatu Negara dan secara efektif dapat memenuhi persyaratan suatu Negara dalam proteksi fisik, otoritas Negara yang kompeten harus

memastikan bahwa *evaluasi dilakukan berdasarkan pengujian kinerja yang dilakukan oleh operator di fasilitas nuklir* serta yang dilakukan oleh pengirim dan/atau pengangkut untuk kegiatan transportasi bahan nuklir. Evaluasi harus ditinjau oleh otoritas yang kompeten di suatu Negara, dan *harus mencakup tindakan administratif dan teknis, seperti pengujian deteksi, penilaian, penundaan dan sistem komunikasi, dan ulasan tentang pelaksanaan prosedur proteksi fisik*. Ketika kekurangan telah diidentifikasi, pihak yang berwenang harus memastikan bahwa tindakan korektif diambil baik oleh operator, pengirim dan/atau pengangkut.

Operator harus *mengembangkan dan menerapkan peralatan dan prosedur untuk evaluasi, termasuk pengujian kinerja, dan pemeliharaan sistem proteksi fisik*. Kebijakan dan program jaminan kualitas untuk proteksi fisik harus memastikan bahwa sistem proteksi fisik dirancang, diterapkan, dioperasikan, dan dipelihara dalam kondisi yang mampu merespons secara efektif penilaian ancaman atau ancaman dasar desain dan memenuhi peraturan Negara, termasuk preskriptifnya dan/atau persyaratan berdasarkan kinerja.

Evaluasi, termasuk pengujian kinerja dari tindakan proteksi fisik dan sistem proteksi fisik, termasuk respon yang tepat waktu dari penjaga dan kekuatan respon harus dilakukan secara berkala untuk menentukan keandalan dan efektivitas terhadap ancaman. Hal tersebut harus dilakukan dengan kerja sama penuh antara operator dan kekuatan respons. Kekurangan yang signifikan dan tindakan yang diambil harus dilaporkan sesuai ketentuan otoritas yang kompeten.

Pengujian kinerja dari sistem proteksi fisik harus mencakup latihan yang sesuai, misalnya latihan force-on-force, untuk menentukan apakah kekuatan respon dapat memberikan respons yang efektif dan tepat waktu untuk mencegah terjadinya sabotase. Kekurangan signifikan dan tindakan yang diambil harus dilaporkan sesuai ketentuan yang ditetapkan oleh otoritas yang kompeten.

IAEA Nuclear Security Series Handbook On The Design Of Physical Protection Systems for Nuclear Material and Nuclear Facilities, NST055 DRAFT, August 2017 [4]

Evaluasi dari PPS berdasarkan pengujian kinerja dijelaskan secara lengkap dalam panduan teknis IAEA ini, pengujian dibagi ke dalam pengujian peralatan dan pengujian kinerja berkala. Pengujian peralatan berkala digunakan untuk memenuhi rekomendasi keberlanjutan sistem PPS, sementara *pengujian kinerja digunakan dalam evaluasi PPS untuk memastikannya sesuai dengan persyaratan kinerja yang ditetapkan*.

Pengujian peralatan secara berkala termasuk uji penerimaan dan keberlanjutan. Uji penerimaan melibatkan pengujian peralatan / sistem yang baru dipasang, dimodifikasi, atau baru saja diperbaiki sebelum dipakai. Uji penerimaan menentukan apakah peralatan / sistem telah dipasang dan beroperasi dengan benar sebelum digunakan. Pengujian keberlanjutan meliputi pemeliharaan, kalibrasi, pengoperasian, dan pengujian fungsional peralatan secara berkelanjutan saat PPS beroperasi. Pengujian kinerja dilakukan baik pada lingkup terbatas maupun pada skala besar sebagai bagian dari proses evaluasi untuk menentukan kinerja PPS terhadap pemenuhan persyaratan DBT.

Peraturan Kepala BAPETEN [5]

Dalam Peraturan Kepala BAPETEN No. 01 Tahun 2009 tentang Ketentuan Sistem Proteksi Fisik Instalasi dan Bahan Nuklir yang terdiri dari 9 Bab dan 85 Pasal serta 3 lampiran merupakan ketentuan sistem proteksi fisik yang berbasis kepatuhan. Peraturan tersebut memuat persyaratan yang harus dipenuhi oleh pemegang izin dalam pelaksanaan SPF nya, seperti dalam Ps 8. Pembentukan Organisasi Proteksi Fisik; Ps. 10 Program Jaminan Mutu; Ps. 11 Prosedur Instruksi Kerja dan Perawatan ; Ps. 12 Perlindungan Informasi Rahasia SPF ; Ps. 13 Pembagian Daerah ; Ps. 14 Penyediaan Peralatan dan Sistem yang diperlukan ; Ps. 15 Pengujian sistem deteksi penyusupan dan Ps. 16. Evaluasi berkala SPF apabila ada perubahan DBT dan Insiden. Dalam melakukan evaluasi terhadap sistem proteksi fisik instalasi nuklir tertera dalam pasal 16, namun terkait sejauh mana bentuk dan metode evaluasi yang dilakukan belum dijelaskan dalam perka tersebut.

Perka 01 / 2009 merupakan suatu peraturan yang menggunakan pendekatan berbasis *kepatuhan* kepada pemegang izin untuk memenuhi semua ketentuan dalam perka tersebut. Pendekatan ini semestinya segera dilengkapi dengan pendekatan berbasis kinerja, sebagaimana rekomendasi IAEA **INFCIRC 225/Revision 5** yaitu *Evaluasi, termasuk pengujian kinerja dari tindakan proteksi fisik dan sistem proteksi fisik, termasuk respon yang tepat waktu dari penjaga dan kekuatan respon ; dan rekomendasi terkait Pengujian kinerja dari sistem proteksi fisik mencakup latihan force-on-force, untuk menentukan apakah kekuatan pasukan respon dapat memberikan respons yang efektif dan tepat waktu, rekomendasi IAEA tersebut* belum secara tegas dimasukkan dalam Perka BAPETEN 01/2009.

Pendekatan berbasis kepatuhan bergantung pada kesesuaian dengan kebijakan atau peraturan yang ditentukan. Penilaian ukuran keberhasilannya adalah tersedianya peralatan dan prosedur yang dipersyaratkan, sedangkan di sisi lain dalam pendekatan berbasis kinerja, dilakukan evaluasi

setiap operasi elemen SPF dan pengaruhnya terhadap efisiensi sistem secara keseluruhan. Ukuran efektivitas SPF keseluruhan digambarkan sebagai efektifitas sistem dan dinyatakan sebagai nilai probabilitas P_E , yang terdiri dari probabilitas interupsi (P_I) dan probabilitas netralisasi (P_N). Pendekatan berbasis kinerja menggunakan teknik jalur musuh, yang menggunakan asumsi mengikuti urutan tindakan musuh yang diperlukan untuk menyerang asset penting fasilitas nuklir.

Standar BATAN 2016[6]

SB 009.1 BATAN:2016 tentang Penilaian risiko keamanan nuklir, merupakan dokumen standar yang dikeluarkan oleh BATAN dalam hal melakukan evaluasi / penilaian risiko keamanan nuklir. Standar ini digunakan sebagai acuan bagi organisasi untuk menilai risiko keamanan secara sistematis di lingkup kerjanya dengan melakukan identifikasi, analisis dan evaluasi risiko keamanan dengan tetap mempertimbangkan persyaratan badan pengawas dan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Analisis risiko dilakukan untuk mengetahui secara rinci unsur-unsur yang berpengaruh pada tingkat risiko pada suatu organisasi sehingga dapat ditentukan pengendalian risiko dengan tepat. Perhitungan risiko mempertimbangkan skala ancaman, skala kerentanan, dan skala konsekuensi sebagai berikut :

$$R = C \times T \times V$$

Keterangan :

R = Risk (tingkat risiko);

C = Consequence (skala konsekuensi);

T = Threat (skala ancaman);

V = Vulnerability (skala kerentanan).

Skala konsekuensi diperoleh dari hasil identifikasi target dan konsekuensi Tabel 1 yang menunjukkan skala konsekuensi yang ditetapkan berdasarkan akibat atau efek yang ditimbulkan apabila musuh berhasil melaksanakan niatnya terhadap target. Tabel 1 berikut merupakan panduan untuk menentukan skala konsekuensi dengan melihat akibat atau efek yang terjadi.

Tabel 1. Skala Konsekuensi

No	Skala Konsekuensi	Keterangan
1	Sangat Rendah (1)	Tidak ada kontaminasi
2	Rendah (2)	Daerah kecil atau kontaminasi rendah
3	Utama (3)	Kontaminasi tinggi didalam tapak; ancaman bagi personil tapak; hilangnya produktivitas; denda berat atau peringatan hukum
4	Tinggi (4)	Pelepasan radioaktivitas keluar perimeter ; ancaman bagi kehidupan ; ancaman

		serius terhadap kegiatan ; implikasi serius terhadap hubungan masyarakat
5	Parah (5)	Korban massal; Tingkat pelepasan radioaktivitas sangat tinggi Gagalnya program / kegiatan; berdampak besar terhadap hubungan masyarakat

Skala ancaman diperoleh dari hasil identifikasi ancaman. Dalam tabel 2 menggambarkan identifikasi ancaman dengan metode kuantitatif, sehingga menghasilkan tingkat ancaman dan disetarakan ke dalam skala ancaman sesuai Tabel 2.

Tabel 2. Tingkat dan Skala Ancaman

Tingkat Ancaman	Skala Ancaman
Sangat Rendah (SR)	1
Rendah (R)	2
Sedang (S)	3
Tinggi (T)	4
Sangat Tinggi (ST)	5

Skala kerentanan diperoleh dari Tabel 3 yang merupakan hasil identifikasi kerentanan. Tingkat kerentanan (V) adalah nilai yang ditentukan berdasarkan perhitungan efektivitas sistem keamanan.

Tabel 3. Skala Kerentanan

Efektivitas sistem keamanan (P_E)	Skala Kerentanan (V)
>0.8	1
>0.6 s/d 0.8	2
>0.4 s/d 0.6	3
>0.2 s/d 0.4	4
0 s/d 0.2	5

Tabel 4. Tingkat Risiko

Konsekuensi (C)		1					2					3				
Kerentanan (V)	Ancaman (T)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
		1	1	1	2	3	4	5	2	4	6	8	10	3	6	9
2	2	2	4	6	8	10	4	8	12	16	20	6	12	18	24	30
3	3	3	6	9	12	15	6	12	18	24	30	9	18	27	36	45
4	4	4	8	12	16	20	8	16	24	32	40	12	24	36	48	60
5	5	5	10	15	20	25	10	20	30	40	50	15	30	45	60	75

Konsekuensi (C)		4					5				
Kerentanan (V)	Ancaman (T)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
		1	1	4	8	12	16	20	5	10	15
2	2	8	16	24	32	40	10	20	30	40	50
3	3	12	24	36	48	60	15	30	45	60	75
4	4	16	32	48	64	80	20	40	60	80	100
5	5	20	40	60	80	100	25	50	75	100	125

Standar yang dibuat oleh BATAN ini memberikan cara evaluasi kerentanan sistem proteksi fisik dengan menggunakan pendekatan secara kinerja. Pendekatan ini merupakan cara lain yang digunakan dalam evaluasi sistem proteksi fisik, selain dari pendekatan menggunakan kepatuhan seperti yang diatur dalam Perka 1/2009.

Guideline PP-9 Hongaria [7]

Dokumen Guideline PP-9 yang diterbitkan oleh Badan Pengawas Nuklir di Hongaria (HAEA) memberikan gambaran bagaimana fasilitas nuklir di Hongaria melakukan evaluasi kinerja sistem proteksi fisik secara kuantitatif yang dimulai dari Penentuan response time (TRF); Identifikasi *Critical Detection Point* (CDP); Penentuan waktu *cumulative delay* terpendek (T_{min}); Penentuan probabilitas *cumulative detection* (P_D); Penentuan probabilitas *denial/intervention* (P_I); probabilitas netralisasi (P_N).

Tabel 5. Nilai kejadian sabotase dapat diterima

Target		Perkalian $P_I * P_N$
Kategori Bahan Nuklir	I	0.99
	II	0.95
Kategori Bahan Radioaktif	I	0.95

HAEA menetapkan nilai efektif yang ketat terhadap nilai kejadian sabotase dapat diterima apabila nilai $P_I * P_N$ untuk material kategori 1 senilai 0.99 dan untuk bahan nuklir kategori 2 senilai 0.95 sedangkan untuk bahan radioaktif kategori 1 senilai 0.95.

Dokumen panduan SB 009.1 BATAN:2016 dan Guideline PP-9 HAEA adalah contoh bagaimana suatu pendekatan berbasis kinerja dilakukan. Dalam SB 009.1 BATAN:2016 dan dokumen Guideline PP-9 HAEA, dapat dijadikan salah satu panduan bagi BAPETEN dalam menyusun Revisi Perka 01/2009 dan melengkapi regulasi proteksi fisik dengan menggunakan pendekatan berbasis kinerja sebagaimana yang direkomendasikan dalam rekomendasi IAEA dan dokumen lainnya. Adapun bila dibandingkan antara **Guideline PP-9** dengan **Standar BATAN 2016** terdapat perbedaan nilai yang cukup signifikan dari nilai P_E dalam kedua dokumen panduan tersebut (0,99 vs 0,80). Nilai P_E yang ditentukan Guideline PP-9 sangat ketat bagi keamanan fasilitas nuklir sehingga dalam hal ini perlu kajian lebih jauh bagi BAPETEN terkait penentuan nilai P_E tersebut.

IV. KESIMPULAN & REKOMENDASI

Berdasarkan kajian yang dilakukan dalam makalah ini maka dapat disimpulkan bahwa :

- Penggunaan metode berbasis kinerja dinilai lebih direkomendasikan dibanding dengan metode berbasis kesesuaian.
- Standar IAEA merekomendasikan penggunaan metode ini, sehingga layak dipertimbangkan untuk penggunaannya dalam regulasi SPF di Indonesia.
- Metode ini dapat dijadikan suatu metoda perhitungan efektifitas SPF untuk menentukan dan mengevaluasi efektivitas sistem proteksi fisik di fasilitas nuklir. Walaupun penggunaan metode berbasis kesesuaian dalam evaluasi sistem proteksi

fisik Instalasi Nuklir di Indonesia yang dilakukan selama ini oleh BAPETEN sesuai peraturan dalam perka BAPETEN No.1/2009 masih dinilai efektif dengan indikator tidak adanya kejadian Nuclear security event.

- Regulasi BAPETEN dapat memulai memasukan metode berbasis kinerja sebagai pedoman atau guidance dalam revisi Perka 01 Tahun 2009; dengan mengacu dokumen IAEA dan Negara lain misal hongaria, bahkan BATAN sendiri telah mengeluarkan panduan untuk penilaian secara kuantitatif & kualitatif untuk evaluasi efektivitas SPF. Namun kajian lebih lanjut diperlukan BAPETEN dalam penetapan nilai P_E . Sehingga akan makin memperkuat keamanan Instalasi nuklir di Indonesia dan melindungi Instalasi nuklir dari kemungkinan pemindahan bahan nuklir secara tidak sah, sabotase dan pencurian.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Physical protection evaluation process for nuclear facility via sabotage scenarios A.A. Wadoud, A.S. Adail, A.A. Saleh; 2017
- [2] The Design and Evaluation of Physical Protection Systems, Mary Lynn Garcia, Sandia National Laboratories, 2008
- [3] Standar IAEA INFCIRC 225/Revision 5, 2011
- [4] *IAEA Nuclear Security Series Handbook On The Design Of Physical Protection Systems for Nuclear Material and Nuclear Facilities, NST055 DRAFT, August 2017,*
- [5] Peraturan Kepala BAPETEN No. 1 Tahun 2009
- [6] SB 009.1 BATAN:2016 tentang Penilaian risiko keamanan nuklir
- [7] Guideline PP-9 Hongaria, September 2015

Nama Penanya : Yudi Pramono
Instansi : BAPETEN
Nama Penyaji : Dwi Cahyadi
Judul Makalah : **STUDI PENGGUNAAN PENDEKATAN BERBASIS PERFORMA PADA SISTEM PROTEKSI FISIK INSTALASI NUKLIR**
Kode Makalah : OB07

Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar

- Mohon ditambahkan sisi positif dari analisis kualitatif, karena yang dipresentasikan hanya sisi positif dari kuantitatifnya
- Untuk kajian selanjutnya agar diperkaya dengan data lapangan (misal benchmarking di IN BATAN)
- Mohon penjelasan metode kualitatif?

Jawaban/Komentar dari Penyaji

- Akan ditambhkan
- Saran diterima
- Metode kualitatif secara sederhana mengelompokkan berdasarkan kemungkinan/dampaknya: high dan low

Nama Penanya : Zulfiandri
Instansi : BAPETEN
Nama Penyaji : Dwi Cahyadi
Judul Makalah : **STUDI PENGGUNAAN PENDEKATAN BERBASIS PERFORMA PADA SISTEM PROTEKSI FISIK INSTALASI NUKLIR**
Kode Makalah : OB07

Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar

Apakah dalam kajian ini mengusulkan formulasi karena akan berdampak pada perizinan dan kita harus memberi nilai pasti dalam formulasi.

Jawaban/Komentar dari Penyaji

Formulasi untuk perizinan belum secara lengkap diberikan karena prlu diskusi lebih lanjut. Nilai dosis PE juga harus ditetapkan bersama dengan fasilitas nuklir.

OB08
SIMULASI NUMERIK-3D PENDINGINAN TERAS SAMOP

Diah Hidayanti Sukarno

Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir - Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jakarta

e-mail: d.hidayanti@bapeten.go.id

ABSTRAK

Aspek keselamatan termohidrolik suatu fasilitas SAMOP penting untuk diteliti akibat potensi bahaya nuklir yang dimiliki oleh fasilitas tersebut. Makalah ini menyajikan hasil simulasi numerik-3D pendinginan teras SAMOP yang dilakukan dengan menggunakan kode komputer ANSYS FLUENT. Tujuan simulasi adalah menganalisis kemampuan pendinginan teras SAMOP berdasarkan parameter temperatur sistem. Fluida pendingin yang digunakan berupa air dengan laju alir masuk 0,1 m/s. Fluks panas yang dibangkitkan pada dinding-dinding tabung pusat, tabung anular bagian dalam dan tabung anular bagian luar, masing-masing sebesar 251 W/m², 816 W/m², dan 816 W/m². Hasil simulasi menunjukkan bahwa temperatur maksimum air mencapai 304,4°C, sedangkan temperatur rata-rata air di dalam tangki SAMOP sekitar 301,5°C. Adapun temperatur maksimum dinding tabung yang mengandung bahan fisil sebesar 305,0°C. Berdasarkan hasil ini dapat disimpulkan bahwa perpindahan panas konveksi alamiah yang didesain dapat memberikan kapabilitas pendinginan teras SAMOP yang cukup memadai. Desain SAMOP yang dianalisis juga telah memenuhi kriteria keselamatan dari aspek termohidrolik.

Kata kunci: simulasi numerik-3D, pendinginan, SAMOP, temperatur, keselamatan termohidrolik.

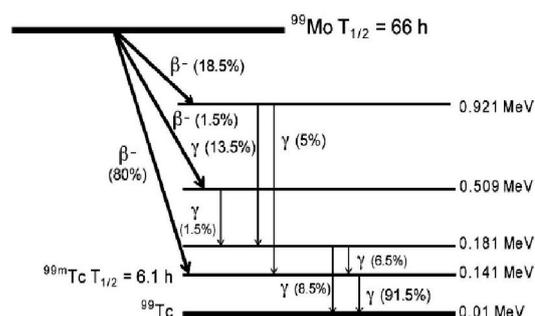
ABSTRACT

Thermal hydraulics safety aspect of a SAMOP facility is important to be investigated due to its potential nuclear hazard. This paper presents the 3D-numerical simulation of SAMOP core cooling that has been performed using ANSYS FLUENT computer code. The purpose of simulation is to analyse the cooling capability of SAMOP core based on the system temperature parameter. The coolant fluid used is water which has the inlet flow rate of 0.1 m/s. The generated heat fluxes on the center tube, inner annular tube, and outer annular tube walls are 251 W/m², 816 W/m², and 816 W/m², respectively. The simulation results showed that the maximum temperature of water was 304.4°C and the average temperature of water in the SAMOP tank was 301.5°C. The maximum temperature of tube walls containing the fissile material was 305°C. Based on these results, it can be concluded that the designed natural convective heat transfer has sufficient cooling capability for SAMOP core. The analysed SAMOP design has been also fulfilled the safety criteria of thermal hydraulics aspect.

Keywords: 3D-numerical simulation, cooling, SAMOP, temperatur, thermal hydraulics safety.

PENDAHULUAN

Aplikasi radioisotop di berbagai bidang terus mengalami perkembangan dari waktu ke waktu, terutama di bidang kesehatan atau medis. Tujuan penggunaan radioisotop di bidang medis adalah sekitar 90% untuk keperluan diagnosis dan 10% untuk keperluan terapi atau pengobatan [1]. Penggunaan radioisotop di bidang medis tersebut mencapai lebih dari 40 juta praktek setiap tahun dan kebutuhan terhadap radioisotop medis meningkat hingga 5% setiap tahunnya [1]. Salah satu radioisotop yang cukup banyak digunakan untuk keperluan medis adalah Technetium-99m (Tc-99m). Diagnosis medis yang menggunakan Tc-99m mencapai sekitar 80% dari seluruh prosedur kedokteran nuklir, yaitu sekitar 30-40 juta praktek di seluruh dunia setiap tahunnya [2]. Radioisotop Tc-99m adalah produk peluruhan dari radioisotop Mo-99 yang dihasilkan dari reaksi fisi U-235 dengan skema peluruhan yang tertera pada Gambar 1. Tc-99m digunakan antara lain untuk mendiagnosis fungsi jantung dan mendeteksi penyakit kanker atau tumor.

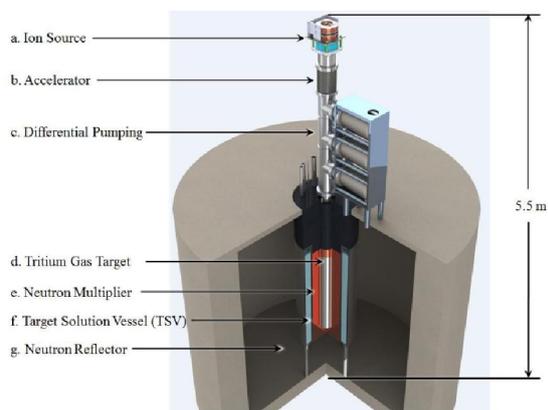


Gambar 1. Skema peluruhan radioisotop Mo-99 [3]

Sejauh ini, Mo-99 dalam skala besar masih diproduksi di reaktor-reaktor penelitian, antara lain HFR (Belanda), BR-2 (Belgia), Safari-1 (Afrika Selatan), Maria (Polandia), dan OPAL (Australia) [2,3]. Namun seiring dengan kemajuan teknologi serta pertimbangan faktor resiko, metode produksi selain yang berbasis reaktor konvensional semakin marak diteliti, seperti misalnya reaktor tipe AHR (*Aqueous Homogeneous Reactor*) dan perangkat subkritis. Berdasarkan sumber pasokan neutronnya,

perangkat subkritis untuk memproduksi Mo-99 terdiri dari dua jenis, yaitu yang neutronnya berasal dari reaktor dan yang berasal dari akselerator. Perangkat subkritis yang mendapat pasokan neutron dari akselerator biasa dikenal sebagai *Accelerator-Driven System* (ADS).

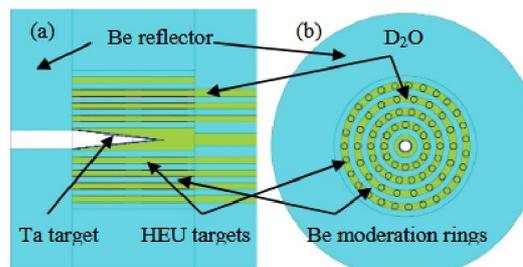
Pada umumnya, ADS dirancang untuk keperluan transmudasi produk fisi dan produksi energi. ADS yang dikembangkan untuk memproduksi Mo-99 dan hampir memasuki tahap komersialisasi, yaitu SHINE (*Subcritical Hybrid Intense Neutron Emitter*). Teknologi SHINE dikembangkan oleh *SHINE Medical Technologies* dan telah memperoleh izin konstruksi dari NRC (*Nuclear Regulatory Commission*). Pada SHINE, bahan fisil untuk memproduksi Mo-99 berada di dalam suatu tabung anular yang di bagian luarnya dikelilingi oleh air sebagai reflektor, pendingin, sekaligus perisai radiasi. Di bagian tengah tabung anular terdapat *neutron multiplier* dan gas tritium sebagai target akselerator (lihat Gambar 2).



Gambar 2. Desain SHINE [4]

Karena daya operasinya yang rendah, SHINE tidak menghadapi persoalan keselamatan termohidrolik yang berarti yang dapat mengancam integritas dan stabilitas sistem. Setelah masa operasi selama tujuh hari, panas peluruhan yang dihasilkan SHINE mengakibatkan kenaikan temperatur air hanya sekitar kurang dari 20°C ketika *shutdown* [4].

Desain perangkat subkritis untuk produksi Mo-99 lainnya juga diusulkan oleh Stichelbaut dan Jongen [5]. Perangkat tersebut mendapat pasokan neutron dari sebuah akselerator partikel bermuatan. Bahan bakar yang digunakan berupa 150 target HEU berbentuk silinder yang tersusun dalam empat lapisan radial. Air berat (D_2O) memenuhi setiap lapisan bahan bakar untuk mendinginkan panas hasil reaksi fisi. Di antara lapisan bahan bakar terdapat Berilium sebagai moderator. Berilium sebagai reflektor mengelilingi bagian luar teras. Konfigurasi teras perangkat subkritis tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Konfigurasi teras perangkat subkritis [5]: (a) tampak samping; (b) tampak depan

Saat ini BATAN sedang meneliti dan mengembangkan suatu desain perangkat subkritis untuk memproduksi Mo-99 yang memperoleh pasokan neutron dari Reaktor Kartini melalui salah satu tabung berkas (*beam tube*) reaktor. Perangkat subkritis tersebut dinamakan sebagai *Subcritical Assembly for Molybdenum-99 Production* (SAMOP). Syarip dan Nugroho [6] telah melakukan analisis termohidrolik fasilitas eksperimen SAMOP menggunakan CFD FLUENT. Dengan asumsi daya pembangkitan 1 kW dan dengan menambahkan 12 bahan bakar TRIGA di teras SAMOP, diperoleh temperatur tertinggi air sebesar 37,14°C. Syarip dkk. [7] juga melakukan perhitungan analitis aspek termohidrolik sistem SAMOP. Pada daya pembangkitan total rata-rata 1 kW, diperoleh temperatur maksimum pendingin sebesar 33°C.

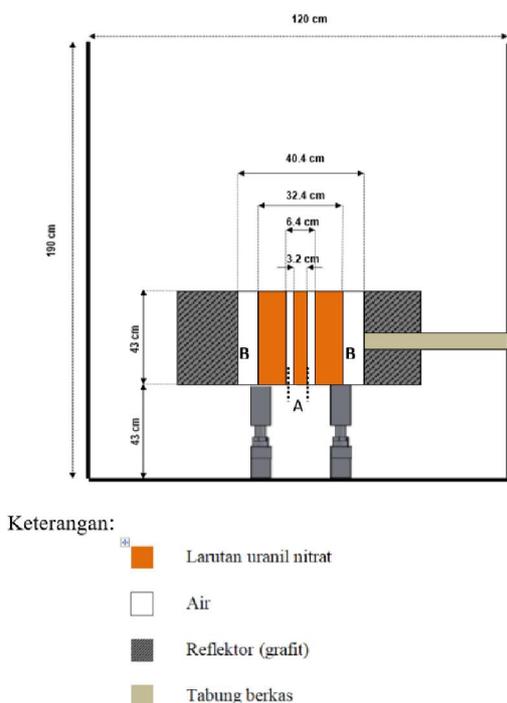
Karena melibatkan reaksi fisi dalam prosesnya, faktor keselamatan pengoperasian suatu fasilitas SAMOP mutlak perlu untuk dikaji dan direview. Salah satu aspek penilaian keselamatan yang penting adalah aspek termohidrolik. Desain fluida pendingin pada sistem SAMOP harus menjamin agar perpindahan panas yang berlangsung dapat mempertahankan integritas tabung atau *container* yang mengandung bahan fisil dari kerusakan akibat panas berlebih (*over heating*).

Dalam makalah ini, akan dilakukan simulasi numerik tiga dimensi (3D) pendinginan teras SAMOP menggunakan *computer code* ANSYS FLUENT. Desain SAMOP yang dianalisis disajikan di bagian Metode Penelitian. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis kemampuan pendinginan pada suatu sistem SAMOP yang ditinjau berdasarkan temperatur pendingin. Dari hasil tersebut, selanjutnya dapat dilakukan penilaian terhadap aspek keselamatan termohidrolik dari desain SAMOP yang diteliti.

METODE PENELITIAN

Desain SAMOP yang dianalisis dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4. Teras SAMOP terdiri dari dua tabung yang berisi bahan fisil berupa larutan uranyl nitrat ($UO_2(NO_3)_2$)_{aq} dan sebuah reflektor berbentuk anular. Kedua tabung yang berisi bahan fisil adalah tabung berbentuk silinder yang terletak di bagian pusat yang selanjutnya disebut sebagai tabung pusat dan tabung

berbentuk anular yang selanjutnya disebut sebagai tabung anular. Fluida pendingin mengambil panas di teras reaktor melalui dua kanal, yaitu kanal A dan kanal B (lihat Gambar 4). Kanal A adalah kanal yang terbentuk antara dinding tabung pusat dan dinding tabung anular bagian dalam, sedangkan kanal B adalah kanal yang terbentuk antara dinding tabung anular bagian luar dan dinding reflektor. Konsentrasi larutan uranil nitrat yang digunakan adalah 300 g U/l. Bahan fisil tersebut membangkitkan fluks panas pada dinding tabung pusat, dinding tabung anular bagian dalam dan dinding tabung anular bagian luar, berturut-turut sebesar 251 W/m², 816 W/m², and 816 W/m². Air sebagai fluida pendingin memasuki tangki SAMOP dengan laju alir 0,1 m/s dan temperatur 300 K (27°C).

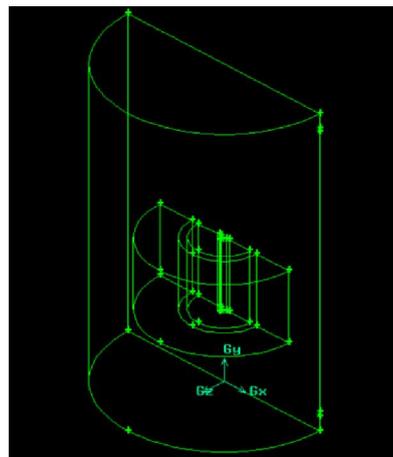


Gambar 4. Desain SAMOP yang dianalisis [4]

Model 3D geometri SAMOP dibuat dengan menggunakan program GAMBIT. Dalam rangka efisiensi perhitungan komputasi, model 3D tersebut menggunakan kondisi batas simetri sehingga dapat mengurangi jumlah *mesh* pada *domain* perhitungan. Model 3D SAMOP yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5.

Kondisi batas di bagian *inlet* dan *outlet* aliran fluida pendingin, masing-masing adalah *velocity inlet* dan *outflow*. Adapun kondisi batas pada dinding-dinding tabung yang mengandung bahan fisil adalah *wall* dengan fluks panas konstan. Permukaan air di bagian atas tangki dimodelkan sebagai *adiabatic wall*. Asumsi ini dilakukan agar hasil perhitungan yang diperoleh bersifat konservatif. Bentuk *mesh* yang digunakan pada model 3D SAMOP adalah *hex/wedge* dengan *grid* yang memiliki *equisize skew* terburuk sebesar 0,567105.

Batas toleransi kriteria *equisize skew* yang dibolehkan adalah 0,97.



Gambar 5. Model 3D SAMOP dengan kondisi batas simetri

Ada tiga persamaan matematika utama yang harus diselesaikan di setiap *grid domain* perhitungan, yaitu kekekalan massa (Persamaan (1)), kekekalan momentum (Persamaan (2)), dan kekekalan energi (Persamaan (3))

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = g \left(\frac{\rho_{\infty} - \rho}{\rho} \right) + \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (2)$$

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (3)$$

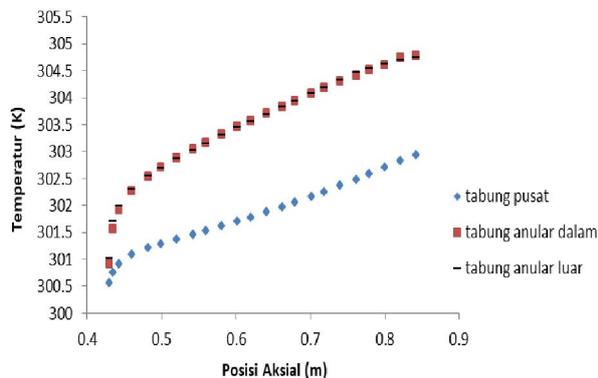
dengan u dan v adalah komponen kecepatan pada arah x dan y , ν adalah viskositas kinematik, g adalah percepatan gravitasi, ρ adalah densitas, T adalah temperatur dan α adalah difusivitas termal.

Sifat-sifat fisis air yang digunakan, yaitu densitas, kalor jenis, viskositas dinamik dan konduktivitas termal. Keempat sifat tersebut dimodelkan sebagai fungsi temperatur dengan mengacu pada Incropera dkk. [8]. Simulasi numerik dijalankan dalam kondisi tunak (*steady state*). Rezim aliran diasumsikan bersifat laminar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi numerik menunjukkan bahwa temperatur maksimum air sebesar 304,4°C, yaitu pada kanal A. Air pendingin yang melalui kanal tersebut memperoleh panas dari dua permukaan, yaitu permukaan dinding tabung pusat dan permukaan dinding tabung anular bagian dalam. Adapun air yang melewati kanal B hanya memperoleh panas dari dinding tabung anular bagian luar.

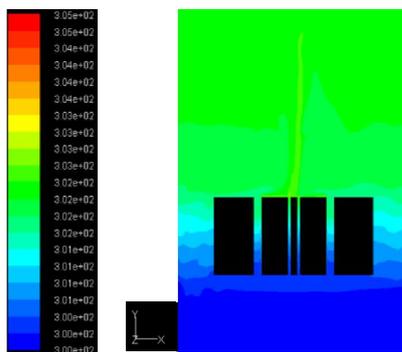
Distribusi temperatur dinding pada tabung pusat, tabung anular bagian dalam, dan tabung anular bagian luar disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Distribusi temperatur dinding tabung bahan bakar

Temperatur maksimum dinding tabung pusat, dinding tabung anular bagian dalam dan dinding tabung anular bagian luar, berturut-turut sebesar 303,1°C, 305,0°C dan 304,8°C. Dinding tabung anular bagian dalam memiliki temperatur yang tertinggi karena tabung anular mengandung bahan fisil yang lebih banyak daripada tabung pusat dan karena dinding tabung anular bagian dalam juga memperoleh energi panas dari dinding tabung pusat. Temperatur dinding tabung pusat bernilai paling rendah karena meskipun dinding tersebut memperoleh panas dari dinding tabung anular bagian dalam, namun jumlah bahan fisil dalam tabung pusat jauh lebih sedikit daripada jumlah bahan fisil dalam tabung anular.

Temperatur rata-rata air di dalam tangki sekitar 301,5°C. Distribusi temperatur air dalam tangki SAMOP secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 7.

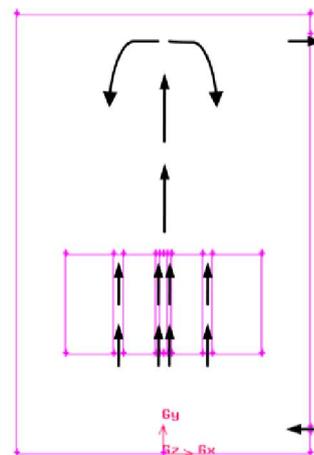


Gambar 7. Kontur temperatur air dalam tangki SAMOP

Temperatur maksimum air pendingin yang dicapai masih sangat jauh dari titik didih air, yaitu sekitar 95°C di bawah titik didih. Dengan demikian, proses perpindahan panas pada teras SAMOP berlangsung pada kondisi *subcooled*. Hasil ini

menunjukkan bahwa desain SAMOP tersebut memiliki margin keselamatan yang cukup besar karena masih sangat jauh dari kondisi yang memungkinkan terjadinya *dry out* akibat pemanasan yang berlebih (*overheating*). Salah satu kriteria keselamatan di reaktor riset adalah tidak dibolehkan adanya perpindahan panas pendidihan (*boiling heat transfer*) karena gelembung-gelembung uap (*bubbles*) yang terbentuk dapat membawa zat-zat radioaktif hasil aktivasi neutron ke permukaan air sehingga akan meningkatkan paparan radiasi di permukaan tangki reaktor. Pada Selain itu, temperatur dinding tabung bahan bakar juga masih sangat jauh dari titik lebur material penyusun dinding tersebut, yaitu sekitar 1400°C untuk stainless steel tipe 304. Dengan demikian, integritas tabung bahan bakar terjaga dengan baik dari kemungkinan lepasnya bahan fisil ke dalam air pendingin.

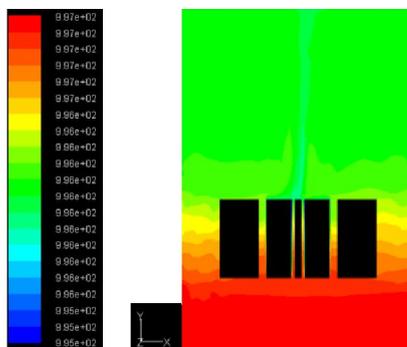
Profil arah aliran air dalam tangki SAMOP, khususnya di teras SAMOP, dapat dilihat pada Gambar 8. Kecepatan rata-rata aliran fluida di dekat dinding tabung pusat, di dekat dinding tabung anular bagian dalam dan di dekat dinding tabung anular bagian luar berturut-turut sebesar 0,0012747 m/s, 0,0050063 m/s dan 0,0024925 m/s. Data ini menunjukkan bahwa besarnya fluks panas pada dinding sebanding dengan kecepatan alir fluida di dekat dinding tersebut.



Gambar 8. Profil arah aliran fluida pendingin dalam tangki SAMOP

Dengan nilai laju alir pendingin yang sangat kecil di kanal-kanal teras SAMOP maka dapat diperkirakan bahwa perpindahan panas konveksi yang terjadi berupa konveksi alamiah. Jenis perpindahan panas konveksi yang berlangsung di teras SAMOP dapat ditentukan berdasarkan bilangan Richardson (Ri). Bilangan Ri merupakan bilangan tuna dimensi hasil perbandingan antara bilangan Grashof (Gr) dan kuadrat bilangan Reynolds (Re). Bilangan Ri untuk perpindahan panas yang terjadi pada kedua kanal di teras SAMOP berkisar pada rentang $15 < Ri < 82.890$. Berdasarkan nilai bilangan Ri yang diperoleh, dapat dipastikan bahwa

perpindahan panas yang terjadi pada teras SAMOP bersifat alamiah (*natural convection*). Distribusi densitas air dalam tangki SAMOP sebagaimana yang ditampilkan pada Gambar 9 dapat menunjukkan bahwa aliran fluida di kanal-kanal teras SAMOP terjadi akibat faktor perbedaan densitas air.



Gambar 9. Kontur densitas air dalam tangki SAMOP

Fluks panas yang didesain pada fasilitas SAMOP ini bernilai sangat kecil sehingga dengan laju alir masuk fluida pendingin ke dalam tangki sebesar 0,1 m/s hanya mengakibatkan kenaikan maksimum temperatur air pendingin sekitar 4°C dan kenaikan maksimum temperatur dinding tabung bahan bakar sekitar 5°C. Nilai parameter temperatur tersebut masih jauh di bawah batas keselamatan desain. Dengan margin keselamatan yang cukup besar tersebut, terdapat dua alternatif terkait desain yang dapat dilakukan. Alternatif pertama adalah menurunkan laju alir masuknya pendingin ke dalam tangki dengan tidak mengubah kandungan bahan fisil dalam larutan bahan bakar. Langkah ini dapat meningkatkan efisiensi biaya operasional. Alternatif kedua adalah dengan laju alir masukan pendingin 0,1 m/s, jumlah bahan fisil dalam larutan bahan bakar dapat ditingkatkan yang berarti meningkatkan fluks panas pada dinding-dinding tabung bahan bakar. Penambahan jumlah bahan fisil berarti menambah jumlah produksi radioisotop Mo-99.

Penilaian terhadap aspek keselamatan termohidrolik desain SAMOP dilakukan berdasarkan pada kriteria penerimaan yang berlaku. Meski SAMOP merupakan jenis reaktor subkritis, namun karena perangkat tersebut juga menggunakan bahan nuklir maka kriteria penerimaan desain SAMOP dapat mengacu pada kriteria penerimaan reaktor konvensional (reaktor kritis) secara umum. Dasar penetapan kriteria penerimaan suatu desain reaktor subkritis sama halnya dengan dasar penetapan kriteria penerimaan desain reaktor secara umum, yaitu kriteria yang menjamin terlaksananya fungsi dasar keselamatan reaktor. Fungsi dasar keselamatan reaktor yang terkait dengan aspek termohidrolik adalah pemindahan panas dari teras reaktor serta pengungkungan zat radioaktif dan penahan radiasi [9,10]. Sistem pendinginan SAMOP yang didesain harus mampu memindahkan panas dari teras SAMOP dan mampu menjaga keutuhan integritas kelongsong

bahan bakar dalam rangka mengungkung material fisil. Kriteria ini dapat dikuantifikasi, antara lain dengan nilai parameter temperatur pendingin maupun temperatur dinding tabung/kelongsong bahan bakar. Hasil simulasi numerik menunjukkan bahwa temperatur maksimum air pendingin maupun dinding tabung bahan bakar masih berada jauh di bawah batas keselamatan desain. Selain itu, dengan tidak terjadinya pendidihan pada teras SAMOP, maka dapat menjamin terpenuhinya fungsi penahan radiasi. Jika terjadi pendidihan di teras reaktor, gelembung-gelembung uap air yang terbentuk dapat membawa zat-zat radioaktif hasil aktivasi neutron menuju permukaan air tangki. Hal itu akan meningkatkan paparan radiasi di sekitar permukaan tangki mengingat bahwa tangki SAMOP adalah tangki yang terbuka (tipe *open pool*).

Dengan demikian, desain SAMOP yang diteliti ini telah memenuhi kriteria keselamatan dari aspek termohidrolik. Namun demikian, masih perlu dilakukan perhitungan dan analisis tekanan yang ditimbulkan oleh gas-gas hasil reaksi fisi dalam tabung bahan bakar. Selain itu perlu dilakukan pula perhitungan gas H₂ hasil radiolisis mengingat bahwa bahan bakar SAMOP berupa larutan yang mengandung air. Tekanan gas hasil fisi dan tekanan gas H₂ hasil radiolisis menjadi kontributor tekanan internal terhadap dinding tabung bahan bakar, sedangkan tekanan internal tersebut merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap integritas dinding tabung bahan bakar SAMOP.

KESIMPULAN

Dari hasil simulasi numerik-3D pendinginan teras SAMOP menggunakan kode komputer ANSYS FLUENT diketahui bahwa temperatur maksimum air pendingin mencapai 304,4°C, temperatur rata-rata air di dalam tangki SAMOP sekitar 301,5°C dan temperatur maksimum dinding tabung bahan bakar sebesar 305,0°C. Temperatur maksimum pendingin berada jauh di bawah titik didihnya ($\pm 100^\circ\text{C}$) sehingga probabilitas terjadinya kondisi *dryout* sangat kecil, sedangkan temperatur maksimum dinding tabung bahan bakar juga berada cukup jauh di bawah titik lebur material tabung. Hal ini menunjukkan bahwa perpindahan panas konveksi alamiah pada desain SAMOP yang dianalisis memiliki kapabilitas pendinginan yang cukup memadai dalam memindahkan panas hasil reaksi fisi di teras SAMOP. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa desain SAMOP yang dianalisis dalam penelitian ini telah memenuhi kriteria keselamatan dari aspek termohidrolik, yaitu terpenuhinya fungsi pemindahan panas dari teras SAMOP, fungsi pengungkungan zat radioaktif dalam tabung bahan bakar serta fungsi penahan radiasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Azizul Khakim yang telah memberikan

bimbingan dan dukungan dalam pelaksanaan kajian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] <http://www.world-nuclear.org/information-library/non-power-nuclear-applications/radioisotopes-research/radioisotopes-in-medicine.aspx> ht
- [2] NEA (2017) *The supply of medical radioisotopes*. NEA, Paris.
- [3] Pillai MRA, Dash A, Knapp FF Jr (2013) Sustained availability of ^{99m}Tc : possible paths forward. *J Nucl Med* 54:313–323.
- [4] Piefer GR dkk. (2011) *Mo-99 Production Using a Subcritical Assembly*. 1st Annual Molybdenum-99 Topical Meeting.
- [5] Stichelbaut F, Jongen Y (2011) Design of accelerator-based solutions to produce ^{99}Mo using lowly-enriched uranium. *Progress in Nuclear Science and Technology* 2:284- 288.
- [6] Syarip, Nugroho HS T (2017) *Analisis Termohidrolik Fasilitas Eksperimen SAMOP (Reaktor Subkritik Produksi Isotop ^{99}Mo)*. *J Pengembangan Energi Nuklir* 19: 25-31.
- [7] Syarip dkk. (2018) Design and Development of Subcritical Reactor by Using Aqueous Fuel for ^{99}Mo Production. *Prosiding Pakistan Academy of Sciences: A. Physical and Computational Sciences* 55 (1): 21–26.
- [8] Incropera FP dkk. (2007) *Fundamentals of Heat and Mass Transfer Sixth Edition*. John Wiley & Sons Inc., New York.
- [9] BAPETEN (2011) *Peraturan Kepala BAPETEN No. 1 Tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Desain Reaktor NonDaya*, BAPETEN, Jakarta.
- [10] BAPETEN (2011) *Peraturan Kepala BAPETEN No. 3 Tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Desain Reaktor Daya*, BAPETEN, Jakarta

OB09

KAJIAN TEKNIS PENGAWASAN PENGELOLAAN BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS

Sri Budi Utami

Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir (P2STPIBN)

e-mail: s.utami@bapeten.go.id

ABSTRAK

Telah dilakukan kajian teknis pengawasan pengelolaan bahan bakar nuklir bekas jangka panjang. Kajian teknis yang berhubungan dengan pengelolaan bahan bakar nuklir bekas yang dikeluarkan dari reaktor adalah daur ujung belakang. Daur bahan bakar nuklir terdiri: Daur ujung belakang terdiri dari: daur terbuka, daur tertutup, dan kebijakan "wait and see" (penundaan keputusan). Strategi apapun yang dipilih pada daur ujung belakang, maka fasilitas penyimpanan di luar reaktor harus dibangun, di Indonesia telah dibangun fasilitas penyimpanan sementara IPSB3 (Instalasi penyimpanan sementara bahan bakar bekas). Indonesia kemungkinan akan menerapkan strategi jangka panjang terhadap bahan bakar bekas yang dihasilkan dari reaktor riset. Kapasitas IPSB3 yang ada hampir pasti dapat menampung semua bahan bakar bekas yang dihasilkan RSG GAS Serpong. Pemerintah dalam hal ini BAPETEN harus menetapkan ketentuan, dalam kerangka hukum, yang mengatur pengelolaan bahan bakar bekas jangka panjang, termasuk di dalamnya adalah pendanaan untuk kegiatan tersebut. Saat ini, belum ada fasilitas penyimpanan lestari bahan bakar nuklir bekas

Kata kunci: pengelolaan, daur ujung belakang, daur terbuka, daur tertutup, penundaan keputusan, bahan bakar nuklir bekas.

ABSTRACT

TECHNICAL REGULATORY ASSESSMENT OF SPENT NUCLEAR FUEL MANAGEMENT. Assessment of the technical regulatory assessment of spent nuclear fuel management. Has been carry out. Technical operations related to the management of spent fuel discharged from reactors are called the back-end fuel cycle. The back-end fuel cycle consist of: open through cycle, closed cycle, "wait and see" policy. Whatever strategy is selected for the back-end fuel cycle, interim storage facility away from reactor must be constructed, Indonesia has been constructed ISFSF (interim storage for spent fuel). Indonesia is likely to apply the strategy of long terms storage for spent fuel generated from the research reactors. The capacity of existing ISSF almost certainly able to accommodate all the spent fuel generated RSG GAS Serpong. The Government should establish provisions, in the legal framework, governing long-term spent fuel management and decommissioning, including funding of such activities. Currently, there is no disposal facility for spent fuel.

Keywords: management, back end fuel cycle, open through cycle, closed cycle, "wait and see" policy, spent nuclear fuel. interim storage for spent fuel

PENDAHULUAN

Mengacu pada UU Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran Pasal 2 ayat (1) dijelaskan bahwa Bahan bakar nuklir bekas adalah bahan bakar nuklir digunakan sebagai bahan bakar dalam reaktor nuklir. Bahan bakar nuklir bekas tersebut merupakan limbah radioaktif tingkat tinggi. Penghasil limbah radioaktif tingkat tinggi wajib menyimpan sementara limbah tersebut dalam waktu sekurang-kurangnya selama masa operasi reaktor nuklir [1].

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 61 tahun 2013 Tentang Pengelolaan limbah radioaktif, limbah radioaktif diklasifikasikan dalam 3 (tiga) jenis limbah, yaitu: limbah radioaktif tingkat rendah; limbah radioaktif tingkat sedang; dan limbah radioaktif tingkat tinggi. Limbah radioaktif tingkat tinggi berupa Bahan Bakar Nuklir Bekas yang dihasilkan oleh reaktor nuklir. Dan dengan makin meningkatnya pemanfaatan tenaga nuklir di Indonesia maka meningkat pula jumlah limbah

radioaktif yang telah dan akan ditimbulkan. Pada tanggal 5 September 1997 di Wina, Austria, Pemerintah Republik Indonesia telah menandatangani *Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management* (Konvensi Gabungan tentang Keselamatan Pengelolaan Bahan Bakar Nuklir Bekas dan tentang Keselamatan Pengelolaan Limbah Radioaktif), sebagai hasil Konferensi Diplomatik yang diselenggarakan oleh Badan Tenaga Atom Internasional (*International Atomic Energy Agency/IAEA*) pada tanggal 1 sampai dengan 5 September 1997 dan Konvensi Gabungan tersebut telah disahkan dalam lembaran Negara Republik Indonesia yang dituangkan dalam Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 84 tahun 2010.

Bahan Bakar Nuklir Bekas adalah bahan bakar nuklir teriradiasi yang dikeluarkan dari teras reaktor secara permanen dan tidak digunakan lagi dalam kondisinya saat ini karena penyusutan bahan fisil, peningkatan racun, atau kerusakan akibat radiasi. Penghasil Limbah Radioaktif wajib

melaksanakan penyimpanan sementara Bahan Bakar Nuklir Bekas dalam waktu sekurang-kurangnya selama masa operasi reaktor nuklir. Mengacu pada PP Nomor 61 Tahun 2013 Tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif, dijelaskan bahwa Penghasil Limbah Radioaktif wajib melaksanakan penyimpanan sementara Bahan Bakar Nuklir Bekas dalam waktu sekurang-kurangnya selama masa operasi reaktor nuklir [2],

Indonesia belum memiliki PLTN (Pusat Listrik Tenaga Nuklir). Saat ini, beroperasi 3 (tiga) reaktor penelitian, yaitu: Reaktor TRIGA 2000 Bandung, RSG GAS 30 MW Serpong, dan Reaktor Kartini Yogyakarta. Kapasitas Instalasi Penyimpanan Bahan Bakar Bekas (IPSB3) yang ada hampir pasti dapat menampung semua bahan bakar nuklir bekas yang dihasilkan reaktor riset Serpong.

Dari hasil IRRS Mission, diketahui bahwa sampai dengan saat ini, tidak ada ketentuan dalam Undang-undang dan Peraturan terkait yang mengatur pengelolaan limbah radioaktif dan bahan bakar bekas jangka panjang. Rekomendasi dari IRRS mission, pemerintah harus menetapkan ketentuan, dalam kerangka hukum, yang mengatur pengelolaan limbah radioaktif jangkadan pengelolaan bahan bakar bekas jangka panjang, termasuk di dalamnya adalah pendanaan untuk kegiatan tersebut. Untuk itu diperlukan pengembangan dan pemberlakuan kebijakan dan strategi nasional yang sesuai untuk pengelolaan limbah radioaktif dan bahan bakar nuklir bekas. Oleh sebab itu, guna memperoleh suatu konsep pengawasan pengelolaan limbah radioaktif dan bahan bakar nuklir bekas secara menyeluruh maka perlu dilakukan suatukajian secara konprehensif terkait dengan pengelolaan bahan bakar nuklir bekas. Dalam makalah ini diuraikan daur bahan bakar nuklir, metode pengelolaan bahan bakar nuklir bekas, opsi pengelolaan bahan bakar nuklir bekas jangka panjang. Kajian ini merupakan kajian awal. Ruang lingkup kajian meliputi kebijakan daur bahan bakar nuklir, strategi pengelolaan bahan bakar nuklir bekas,

METODOLOGI

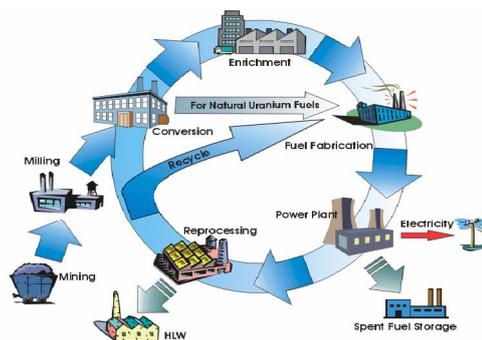
Metode yang digunakan dalam penulisan makalah ini adalah dengan cara studi literatur terhadap berbagai dokumen yang terkait pengelolaan bahan bakar nuklir bekas dan diskusi dengan pakar terkait.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Daur bahan bakar Nuklir

Daur bahan bakar nuklir (*nuclear fuel cycle*) mencakup semua proses produksi, penggunaan, dan pembuangan bahan-bahan nuklir. Dalam banyak tahapan dari Daur bahan bakar, proses dan teknologi untuk menghasilkan bahan fisi untuk tujuan sipil dan militer secara esensi adalah sama. Oleh karena ada beberapa tahap dalam Daur bahan bakar dimana

bahan nuklir dapat dialihkan dari maksud damai ke pembuatan senjata nuklir. Daur bahan bakar nuklir secara skematik diberikan dalam Gambar 1 [4].



Gambar 1. Daur bahan bakar nuklir [4]

Daur bahan bakar nuklir bisa dibagi menjadi 2 (dua) bagian:

1. *Front-end fuel cycle* mencakup proses-proses mulai dari eksplorasi, mining hingga fuel loading ke dalam reaktor nuklir. Daur ini bisa dipandang sebagai proses sudah sangat mapan.
2. *Back-end fuel cycle* (daur ujung belakang) mencakup seluruh proses setelah bahan bakar nuklir bekas (*spent fuel*) dikeluarkan dari reaktor. Daur ini merupakan tantangan tersendiri bagi para *nuclear scientists & engineers*.

Metode Pengelolaan Bahan Bakar Bekas

Metode pengelolaan bahan bakar nuklir dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Metode yang digunakan dengan cara basah, karena metode ini relatif mudah diterapkan dan terbukti cukup handal.
2. Selama belum ada keputusan terhadap bahan bakar bekas tersebut, maka tetap tersimpan di kolam penyimpanan (sementara).
3. Bahan bakar bekas yang dapat dikembalikan ke negara asal, akan direxport sesuai dengan perjanjian yang ada.
4. Segala aspek keselamatan dan keamanan mengikuti peraturan yang ditetapkan badan pengawas tenaga nuklir dan rekomendasi IAEA.
5. Apabila penyimpanan sementara bahan bakar bekas dilakukan untuk lebih dari dua puluh tahun maka evaluasi menyeluruh terhadap faktor berikut harus dilakukan:
 - Kimia air, atau kualitas air yang digunakan,
 - Radiokimia: produk aktivasi, produk fisi, dan lain-lain,
 - Sifat dari komponen dan material pada kolam penyimpanan, termasuk observasi korosi

Kebijaksanaan yang dianut oleh BATAN tentang pengelolaan bahan bakar nuklir bekas

adalah tidak akan mendaur ulang bahan bakar dan bahan kendali bekas [5].

Indonesia kemungkinan akan menerapkan strategi jangka panjang terhadap bahan bakar bekas yang dihasilkan dari reaktor riset. Kapasitas ISSF yang ada hampir pasti dapat menampung semua bahan bakar bekas yang dihasilkan reaktor riset Serpong, tetapi harus mempertimbangkan kondisi jangka panjang dari bahan bakar bekas dan fasilitas penyimpanan basah. Strategi jangka panjang ini membutuhkan perhatian khusus terhadap beberapa parameter yang berhubungan dengan kimia air dan degradasi bahan. Selain itu perlu dibangun ruang cadangan untuk menghadapi keadaan darurat. Setelah reaktor dihentikan, disarankan untuk membangun penyimpanan kering baru untuk menampung semua bahan bakar bekas di lokasi lain karena daerah Serpong akan menjadi pemukiman yang sangat padat dalam beberapa dekade mendatang. Skenario back-end yang paling realistis adalah jika Indonesia memiliki PLTN, maka pembuangan bahan bakar bekas di masa depan dapat dilakukan di satu lokasi dengan bahan bakar bekas komersial dari PLTN [6].

Penyimpanan Sementara bahan bakar nuklir bekas.

Terdapat dua jenis penyimpanan sementara yaitu di lokasi reaktor (*at the reactor* /AR) atau jauh dari reaktor (*away from reactor* /AFR). Banyak negara menggunakan strategi: awalnya disimpan di AR (biasanya kolam air), kemudian dikirim ke AFR yang tersentralisasi dan kapasitasnya besar

Metode Penyimpanan/pembuangan Bahan bakar nuklir bekas (*Spent fuel (High Level Waste (HLW))*) dengan metode:

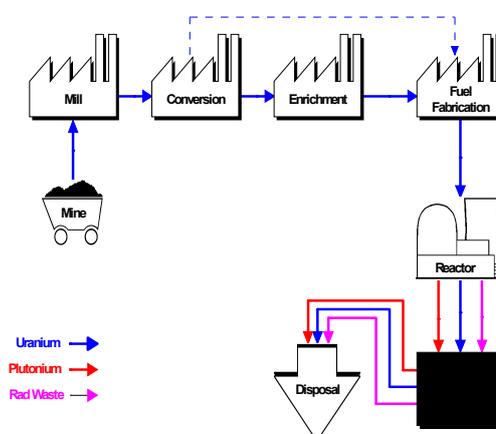
1. *Deep geological disposal* (buang ke tempat penyimpanan bawah tanah)
2. *Sub-seabed disposal* (buang ke dasar laut)
3. *Ice-sheet disposal* (buang ke bawah gunung es)
4. *Outer-space disposal* (buang ke angkasa luar)

Opsi pengelolaan bahan bakar nuklir bekas[7]:

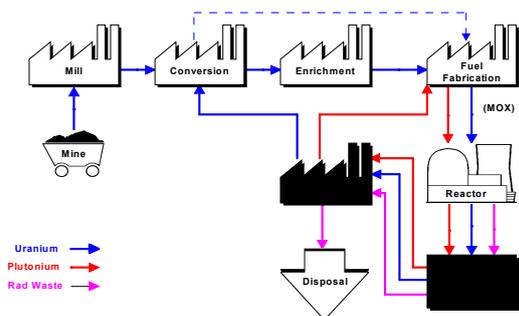
- (a) Daur terbuka (*once-through cycle*), yaitu bahan bakar bekas dipertimbangkan sebagai limbah dan ditujukan untuk dibuang dalam suatu penyimpanan lestari.
- (b) Daur tertutup (*Classical "closed" cycledan Advanced "closed" cycle*), yaitu uranium dan plutonium diambil kembali dari bahan bakar bekas dengan olah ulang dan selanjutnya dilakukan daur ulang untuk pembuatan bahan bakar MOX (*Mixed/Uranium dan Pltonium Oxide*).
- (c) Daur "*wait and see*", yaitu merupakan penundaan keputusan. Dalam kebijakan ini belum memutuskan apakah bahan bakar bekas akan diolah ulang atau tidak.

Saat ini, ada kapasitas penyimpanan bahan bakar yang cukup untuk digunakan di seluruh dunia. Namun, secara nasional atau berdasarkan lokasi tertentu, situasinya berbeda dan perlu perhatian mendesak [7];

- Penyimpanan bahan bakar basah saat ini adalah teknologi yang matang dan memainkan peran utama dalam penyimpanan bahan bakar bekas;
- Di bawah kondisi batas saat ini, penyimpanan kering juga dapat dianggap sebagai teknologi industri yang mapan;
- Repositori geologis pertama untuk pembuangan akhir bahan bakar bekas tidak diharapkan akan beroperasi sebelum tahun 2010. Banyak Negara Anggota belum memulai penyelidikan lokasi tertentu. Sebagai akibatnya, penggunaan penyimpanan sementara akan menjadi solusi manajemen bahan bakar utama yang dihabiskan selama beberapa dekade ke depan di banyak negara;
- Bahkan kapasitas penyimpanan bahan bakar yang lebih banyak dibutuhkan jika negara menunda keputusan mereka untuk membuka repositori geologi;
- Durasi penyimpanan menjadi lebih lama dari yang diantisipasi sebelumnya, karena pemilihan kebijakan "tunggu dan lihat" yang dipilih oleh banyak negara tenaga nuklir. Penggunaan bahan bakar yang diperkaya lebih tinggi dengan hasil pembakaran yang lebih tinggi dalam panas pembusukan yang lebih tinggi dan periode penyimpanan yang lebih lama;
- Dengan periode penyimpanan jangka, penyimpanan kering menjadi semakin penting.



Gambar 2. *Once-through "open" cycle*[8]



Gambar 3. closed cycle : *Reprocessing & Recycling Fuel Cycle* [8]

Pengawasan Pengelolaan Bahan Bakar Nuklir Bekas.

Pasal 19 ayat (2) Joint Convention, dinyatakan bahwa kerangka legislatif dan peraturan perundang-undangan tersebut mengatur tentang [9]:

- persyaratan dan peraturan keselamatan yang berlaku nasional mengenai keselamatan radiasi;
- sistem perizinan kegiatan pengelolaan bahan bakar nuklir bekas dan limbah radioaktif;
- sistem pelarangan pengoperasian fasilitas pengelolaan bahan bakar nuklir bekas dan limbah radioaktif;
- sistem kendali insititusional, inspeksi dan dokumentasi, dan pelaporan yang tepat;
- penegakan terhadap peraturan perundang-undangan dan persyaratan izin;
- penetapan tanggung jawab yang jelas terhadap lembaga – lembaga yang saling terkait dalam pengelolaan bahan bakar nuklir bekas dan limbah radioaktif.

Limbah radioaktif tingkat tinggi (HLW) terdiri dari dua kelompok, yaitu trans-uranium (TRU), yaitu unsur-unsur dengan nomor atom lebih besar dari nomor atom uranium (92)) dan produk fisi berumur panjang (*long-lived fission products*, LLFP). TRU terdiri dari Plutonium dan minor actinides (MA). Plutonium dan MA disamping merupakan bahan radioaktif tingkat tinggi, pada dasarnya juga merupakan sumber bahan bakar baru bagi reaktor nuklir (sama seperti U-235).

Menyadari bahwa definisi kebijakan daur bahan bakar nuklir ditetapkan oleh Negara, dimana menurut beberapa Negara bahan bakar nuklir bekas merupakan salah satu sumber daya yang sangat berharga yang dapat diolah ulang, sedangkan bagi beberapa negara lain memilih untuk menyimpannya. Bahan bakar nuklir bekas adalah bahan bakar nuklir yang telah diiradiasi dan dipindahkan secara permanen dari teras reaktor. Pengelolaan bahan bakar nuklir bekas adalah seluruh kegiatan yang berhubungan dengan penanganan atau penyimpanan akhir bahan bakar nuklir bekas, tidak termasuk pengangkutan keluar tapak. Dalam hal ini, sampai

saat ini Indonesia mengambil kebijakan daur bahan bakar nuklir terbuka.

Saat ini, Indonesia masih menganut daur bahan bakar nuklir terbuka (*Once-through "open" cycle; OTC*), artinya bahwa bahan bakar nuklir bekas tersebut setelah keluar dari reaktor tidak akan didaur ulang untuk diambil Uranium dan plutoniumnya, tetapi akan dikirim kembali ke negara asal bahan bakar (re-export) atau disimpan sementara sambil menunggu proses penyimpanan lestari. Kelebihan dari OTC ini antara lain tidak perlu reprocessing sehingga LLW (*Low Level Waste*) dan MLW (*Medium Level Waste*) menjadi sangat sedikit, kelongsong bahan bakar tidak perlu dilepas sehingga MLW berkurang, dan tidak ada Pu (Plutonium) dalam transportasi bahan bakar nuklir bekas sehingga terlepas dari percurian yang akan digunakan untuk tujuan non-damai. Kekurangan dari OTC adalah, tidak bisa mengambil U-235, Plutonium dan U-238, yang dapat digunakan kembali sebagai sumber bahan bakar baru., volume HLW menjadi besar sekali 5 sampai dengan 10 kali dibandingkan *reprocessing cycle*, diperlukan pengawasan limbah untuk jangka waktu sangat lama. Saat ini di Indonesia memiliki fasilitas penyimpanan sementara bahan bakar nuklir bekas KHIPSB3 (Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas) dengan kapasitas 1448 bahan bakar bekas dan masih dapat bertahan hingga 30 sampai dengan 40 tahun, apabila hanya ada PRSG (Reaktor penelitian BATAN Serpong). Akan tetapi apabila akan dibangun PLTN, maka perlu untuk dikaji lagi terkait fasilitas penyimpanan sementara bahan bakar bekas. Sampai saat ini, kebijaksanaan Pemerintah Indonesia dalam aplikasi teknologi nuklir sampai saat ini masih menganut siklus bahan bakar nuklir secara terbuka [10]. Kebijaksanaan ini kemungkinan akan dianut dalam jangka panjang mengingat dari segi teknis penanganan instalasi olah ulang bahan bakar bekas serta pengelolaan limbah aktivitas tinggi sebagai hasil sampingnya sangat kompleks. Di samping itu faktor ekonomi dan politik saat ini dan kemungkinan beberapa dekade ke depan akan memberatkan Indonesia kalau yang dianut adalah siklus bahan bakar tertutup.

Opsi daur tertutup (*closed Cycle : CC*) dikenal juga sebagai opsi daur ulang (*recycling*) atau pemisan dan transmudasi (*partitioning & transmutation*). Untuk opsi ini, bahan bakar nuklir bekas diproses terlebih dahulu dalam beberapa tahapan, yaitu pendinginan, decladding (dilepas dari pembungkus bahan bakar), dan dipartisi. Kelebihan dari opsi ini adalah HLW (*High Level Waste*) terminimalisasi sehingga masalah penyimpanan/atau pembuangandapat diminimalisasi, dapat memanfaatkan kembali dengan mengambil uranium dan plutonium. Kekurangan daur ini adalah volume LLW dan MLW menjadi meningkat dan emisi radiasi yang timbul dari pabrik reprocessing lebih tinggi dibandingkan dengan fasilitas penyimpanan

sementara limbah OTC. Selain itu, dari sudut pandang non proliferasi nuklir, daur ulang Pu memiliki resiko untuk dicuri ketika sudah dipisahkan di instalasi pengolahan bahan bakar bekas sehingga dengan mudah akan dikonversi menjadi senjata nuklir. Apabila akan dipilih opsi ini maka perlu dilakukan kajian dan penelitian lebih dalam. Limbah radioaktif aktivitas tinggi yang dihasilkan dari proses olah ulang bahan bakar bekas dipadatkan (solidifikasi) dalam bentuk blok gelas, disimpan selama 30-50 tahun untuk pendinginan, kemudian disimpan pada fasilitas penyimpanan tanah dalam. Setelah penyimpanan selama 1000 tahun radioaktivitas limbah dalam blok gelas akan menjadi 1/1000 dari radioaktivitas awal. Sementara radioaktivitas pada limbah radioaktif berumur paro panjang akan tetap. Setelah beberapa puluh ribu tahun radioaktivitas limbah dalam blok gelas yang dihasilkan dari 1 MTU (*Metric Ton Unit*) bahan bakar nuklir akan kembali pada tingkat yang sama dengan radioaktivitas tambang U (sekitar 750 ton). Mengacu pada peraturan perundangan yang berlaku di Indonesia, maka opsi ini tidak memungkinkan untuk dipilih. Sesuai PP No. 61 Tahun 2013 dinyatakan bahwa, setelah melakukan penyimpanan sementara, Penghasil Limbah Radioaktif wajib: mengirim kembali Bahan Bakar Nuklir Bekas ke negara asal, atau menyerahkan Bahan Bakar Nuklir Bekas kepada BATAN.

Opsi yang lain adalah "wait and see", opsi ini merupakan penundaan keputusan. Dalam hal ini, pemerintah/negara belum mengambil keputusan apakah bahan bakar nuklir bekas akan diolah ulang atau tidak. Daur ini merupakan daur yang paling flexibel, akan tetapi opsi ini akan berdampak pada penyimpanan sementara bahan bakar. Dengan demikian perlu dipertimbangkan terkait dengan kemampuan fasilitas penyimpanan sementara bahan bakar nuklir bekas.

Penentuan strategi pengelolaan bahan bakar nuklir bekas akan sangat tergantung kepada: type reaktor yang digunakan, ketersediaan uranium dan sumber daya, dan keputusan yang diambil terkait dengan penanganan bahan bakar nuklir bekas. Untuk menentukan strategi yang dipilih maka perlu dikaji lebih lanjut sehingga pemerintah dapat menetapkan ketentuan, dalam kerangka hukum, yang mengatur pengelolaan limbah radioaktif dan pengelolaan bahan bakar nuklir bekas jangka panjang, termasuk pendanaan untuk kegiatan tersebut. Untuk itu diperlukan pengembangan dan pemberlakuan kebijakan dan strategi nasional yang sesuai untuk pengelolaan limbah radioaktif dan bahan bakar nuklir bekas.

Pengawasan terhadap kegiatan pengelolaan bahan bakar nuklir bekas dilakukan BAPETEN melalui perijinan dan inspeksi dengan mengacu pada peraturan perundangan yang berlaku. Sesuai dengan Joint Convention On The Safety Of Spent Fuel Management And On The Safety Of Radioactive Waste Management yang telah

diratifikasi dan disyahkan dengan Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 84 tahun 2010 Tentang Pengesahan Konvensi Gabungan tentang Keselamatan Pengelolaan Bahan Bakar Nuklir Bekas dan tentang Keselamatan Pengelolaan Limbah Radioaktif, maka harus pemerintah menetapkan ketentuan, dalam kerangka hukum, yang mengatur pengelolaan limbah radioaktif jangkadan pengelolaan bahan bakar bekas jangka panjang, termasuk di dalamnya adalah pendanaan untuk kegiatan tersebut dengan mengacu pada pasal 19 Joint Convention. Saat ini, BAPETEN akan terus mengembangkan sistem pengawasannya, yaitu peraturan, inspeksi dan perizinan yang diperlukan untuk melaksanakan kewajiban berdasarkan Konvensi. Selanjutnya, peningkatan dan pengembangan fasilitas untuk pembuangan dan / atau penyimpanan bahan bakar nuklir bekas jangka panjang untuk mematuhi Konvensi akan dilakukan secara berkelanjutan.

KESIMPULAN

Sesuai dengan peraturan perundangan yang berlaku, maka sampai dengan saat ini kebijakan terkait dengan daur bahan bakar nuklir adalah daur terbuka.

Pemerintah dalam hal ini BAPETEN harus menetapkan ketentuan, dalam kerangka hukum, yang mengatur pengelolaan limbah radioaktif jangkadan pengelolaan bahan bakar bekas jangka panjang, termasuk di dalamnya adalah pendanaan untuk kegiatan tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Profesor Abdul Waris, Ph.D (ITB) dan Ir. Husen Zamroni (PTLR BATAN).

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 Tentang Ketenaganukliran
- [2]. Peraturan Pemerintah Nomor 61 Tahun 2013 Tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif
- [3]. INFCIRC/546 24 December 1997, Joint Convention On The Safety Of Spent Fuel Management And On The Safety Of Radioactive Waste Management, IAEA, 1997
- [4]. P.D.Wilson, "The Nuclear Fuel Cycle: From Ore to Waste", Oxford, 2001
- [5]. Dyah Sulistyani R, Arie Budiyanti, Pemindahan Bahan Bakar Nuklir Bekas Dari Kolam Reaktor Ke Cask Transnuclear Material Testing Reactor, Prosiding SEMINAR NASIONAL VI SDM TEKNOLOGI NUKLIR YOGYAKARTA, 18 NOVEMBER 2010 ISSN 1978-0176
- [6]. Djarot S. Wisnubroto, Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah (Journal of Waste Management Technology), ISSN 1410-9565 (Volume 16, Number 2, December, 2013)

- Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (Radioactive Waste Technology Center)
- [7]. Fukuda, K., et al., *IAEA Overview of Global Spent Fuel Storage*, Proceeding International Conference on Storage of Spent Fuel from Power Reactor, Vienna, 2003
- [8]. Abdul Waris, Prof. Ph.D, Pengelolaan Bahan Bakar dan Limbah Nuklir: Menuju Zero Release Nuclear Waste, Orasi Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung, 24 Maret 2017, Forum Guru Besar ITB, Bandung
- [9]. IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-1.24, Options for Management of Spent Fuel and Radioactive Waste for Countries Developing New Nuclear Power Programmes, IAEA, Vienna, 2013
- [10]. Djarot S. Wisnubroto, Pengelolaan Bahan Bakar Bekas Reaktor Nuklir, Buletin BATAN, 2006.

Nama Penanya : Yudi Pramono
Instansi : BAPETEN
Nama Penyaji : Sri Budi U
Judul Makalah : **KAJIAN TEKNIS PENGAWASAN PENGELOLAAN BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS**
Kode Makalah : OB09

Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar

- Belum ada Regulasi terkait dengan pelarangan pengkayaan bahan bakar nuklir dan daur ulang bahan bakar nuklir bekas, hal ini perlu rekomendasi kebijakan/pengaturan di level apa.
- Perpres bukan mengenai konvensi gabungan akan tetapi ratifikasi atau pengesahan konvensi gabungan,
- Pengelolaan bahan bakar nuklir bekas (BBB) jangka panjang secara komprehensif sangat bergantung pada kebijakan nasional BATAN terkait pengelolaan limbah Radioaktif dan BBB.

Jawaban/Komentar dari Penyaji

- Akan ditambahkan dalam pembahasan.
- Makalah akan diperbaiki.
- Akan ditambahkan substansi ini dalam pembahasan.

Nama Penanya : Dewi PM
Instansi : BAPETEN
Nama Penyaji : Sri Budi U
Judul Makalah : **KAJIAN TEKNIS PENGAWASAN PENGELOLAAN BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS**
Kode Makalah : OB09

Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar

- Dalam joint convention, disebutkan pengelolaan bahan bakar nuklir harus dengan tujuan damai. Salah satu syaratnya bahan bakar nuklir bekas dikembalikan ke negara asal. Apakah perjanjian tersebut harus menyebutkan pengelolaan dalam maksud damai atau menjamin dalam maksud damai? Karena dalam UU atau PP terkait hal tersebut belum diatur.

Jawaban/Komentar dari Penyaji

- Dalam dokumen repatriasi bahan bakar nuklir bekas yang dilakukan BATAN sudah mempertimbangkan perjanjian NPT

OC01
**TANTANGAN DAN PELUANG INDONESIA PADA PERTEMUAN TINJAUAN KE-DELAPAN
 KONVENSI KESELAMATAN NUKLIR 2020**

Reno Alamsyah¹

¹*Pusat Pengkajian Sistem Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir – P2STPIBN BAPETEN.*
 Correspondent Author: r.alamsyah@bapeten.go.id

ABSTRAK

TANTANGAN DAN PELUANG INDONESIA PADA PERTEMUAN TINJAUAN KE-DELAPAN KONVENSI KESELAMATAN NUKLIR. Telah dilakukan suatu kajian mengenai tantangan dan peluang bagi Indonesia dalam mengikuti Pertemuan Tinjauan ke-8 Konvensi Keselamatan Nuklir. Hal ini sangat penting untuk dilakukan karena tanpa persiapan yang baik, maka Pertemuan Tinjauan tidak cukup efektif dalam meningkatkan infrastruktur keselamatan nuklir di Indonesia. Dengan demikian, tujuan dari penulisan makalah ini adalah untuk mengidentifikasi tantangan dan peluang tersebut secara sistematis dan menyeluruh guna meningkatkan keselamatan nuklir di Indonesia. Pokok-pokok yang akan dibahas adalah mengenai berbagai temuan dari Pertemuan Tinjauan ke-7 Konvensi ini dan misi-misi tinjauan IAEA yaitu IRRS 2015, EPREV 2016 dan SEED 2017; peluang untuk mengusulkan Bidang Kinerja yang Baik atau jika memungkinkan Praktik yang Baik; dan, mengenai pemanfaatan sesi diskusi terbuka. Setiap pokok bahasan diuraikan secara deskriptif dengan analisa yang bersifat kualitatif dan analitik. Kajian ini menyimpulkan bahwa dalam menyiapkan Laporan Negara pada Pertemuan Tinjauan Ke-8 Konvensi tahun 2020 nanti ada banyak tantangan bagi Indonesia. Tantangan tersebut dapat diubah sebagai peluang untuk mendemonstrasikan komitmen Indonesia pada keselamatan nuklir. Indonesia juga berpeluang besar untuk mendapatkan apresiasi dari berbagai bidang kinerja yang baik yang telah dilakukan, atau jika dipersiapkan. Lebih jauh, forum diskusi terbuka juga merupakan peluang bagi Indonesia untuk memberikan kontribusi peningkatan keefektifan Konvensi atau keselamatan nuklir secara umum.

Kata kunci: konvensi keselamatan nuklir, deklarasi Wina, infrastruktur keselamatan.

ABSTRACT

CHALLENGES AND OPPORTUNITIES FOR INDONESIA IN THE EIGHT REVIEW MEETING OF THE CONVENTION ON NUCLEAR SAFETY. An assessment on challenges and opportunities for Indonesia in participating the 8th Review Meeting of the Convention on Nuclear Safety has been carried out. This is very important to be done because without good preparation, the Review Meeting is not effective enough in improving the nuclear safety infrastructure in Indonesia. Therefore, the objective of this paper is to systematically and comprehensively identify these challenges and opportunities in order to enhance nuclear safety in the Country. The topics to be covered are on the findings of the 7th Review Meeting of the Convention and the IAEA review missions of IRRS 2015, EPREV 2016 and SEED 2017; the opportunity to propose Areas of Good Performance or where possible Good Practices; and, regarding the use of open-ended working group discussion. Each subject is descriptively explained with qualitative and analytical analysis. This study concludes that in preparing the Country Reports for the 8th Review Meeting of the Convention in 2020 there will be many challenges for Indonesia. The challenges can be transformed as opportunities to demonstrate Indonesia's commitment to nuclear safety. Indonesia also has a great opportunity to gain an appreciation of the various Areas of Good Performance that have been done, or if prepared. Furthermore, open-ended discussion forum is also an opportunity for Indonesia to contribute in increasing the effectiveness of the Convention or nuclear safety in general.

Keywords: nuclear safety convention, Vienna declaration, safety infrastructure.

I. PENDAHULUAN

Konvensi Keselamatan Nuklir [1], yang untuk selanjutnya disebut sebagai Konvensi, diadopsi di Wina pada tanggal 17 Juni 1994. Inilah Konvensi yang menjadi salah satu tindak lanjut terpenting atas kecelakaan Chernobly [2]. Tujuan dari Konvensi adalah: mencapai dan mempertahankan keselamatan nuklir pada tingkat tinggi di seluruh dunia; membangun dan memelihara pertahanan yang efektif di instalasi nuklir terhadap potensi bahaya radiologis dari instalasi tersebut; dan, mencegah kecelakaan berkonsekuensi radiologis serta mengurangi dampak-nya jika kecelakaan seperti itu tetap terjadi [1].

Indonesia adalah salah satu dari 84 Pihak Konvensi [3]. Paper [4] telah menguraikan kronologi kesertaan Indonesia dalam Konvensi, tata cara dan pedoman pelaksanaan Konvensi, hingga dihasilkannya Deklarasi Wina tentang Keselamatan Nuklir [5].

Sesuai dengan Artikel 21 Konvensi, Para Pihak dituntut untuk menyampaikan laporan nasional tentang pelaksanaan kewajiban mereka, dan menyampaikan presentasi dalam Pertemuan Tinjauan (*Review Meeting*) Para Pihak yang diadakan setiap tiga tahun. Pertemuan Tinjauan (PT) ke-8 akan diselenggarakan pada awal bulan April 2020. Untuk itu, Indonesia perlu melakukan persiapan dengan mengidentifikasi peluang dan tantangan yang ada agar dapat meningkatkan efektivitas kesertaan dalam Konvensi sekaligus mempertinggi kinerja keselamatan nuklir nasional.

Efektivitas dalam kesertaan Konvensi dapat dilihat dari beberapa hal berikut: Tindak lanjut atas Saran (*Recommendation*) atau Tantangan dan Anjuran (*Suggestion*) dari PT maupun dari berbagai misi tinjauan (*Review Mission*) IAEA sebelumnya yang telah diselesaikan; kelengkapan pelaporan yang sesuai Pedoman; dan apresiasi masyarakat internasional atas kinerja yang baik dalam bidang keselamatan, serta pemanfaatan sesi khusus diskusi terbuka (*open-ended working group*, OEWG).

Terkait misi tinjauan IAEA di Indonesia, beberapa yang telah dilaksanakan terkait rencana pembangunan Reaktor Daya Eksperimental (RDE) BATAN adalah: *International Regulatory Review Service* (IRRS) tahun 2015, *Emergency Preparedness Review* (EPREV) tahun 2016, serta *Site and External Events Design Review Service* (SEED) tahun 2017. Banyaknya misi tinjauan IAEA tersebut di satu sisi menunjukkan iktikad yang baik sehingga mendapat apresiasi sebagai salah satu dari tiga Bidang Kinerja yang Baik (*Area of Good Performance*) yang diperoleh Indonesia pada PT ke-7 tahun 2017 lalu. Namun di sisi lain, banyaknya Saran dan Anjuran yang dihasilkan misi-misi tersebut merupakan isu yang harus ditanggapi secara serius.

Dari uraian di atas, maka masalah utama yang akan dibahas pada paper ini adalah mengenai tantangan dan peluang yang dihadapi Indonesia pada PT ke-8 tahun 2020 guna meningkatkan infrastruktur keselamatan nuklir nasional. Hal ini sangat perlu untuk dilakukan karena tanpa persiapan yang baik, maka PT tidak cukup efektif dalam meningkatkan infrastruktur keselamatan nuklir di Indonesia. Pendekatan yang digunakan dalam tulisan ini diharapkan dapat digunakan untuk mempersiapkan laporan nasional pada pertemuan-pertemuan tinjauan selanjutnya.

II. POKOK BAHASAN

II.1 Umum

Pokok-pokok yang akan dibahas adalah mengenai berbagai temuan dari PT ke-7 Konvensi dan misi-misi tinjauan IAEA yaitu IRRS 2015, EPREV 2016 dan SEED 2017; peluang untuk mengusulkan Bidang Kinerja yang Baik atau jika memungkinkan Praktik yang Baik; dan, mengenai pemanfaatan sesi diskusi terbuka. Untuk masalah kelengkapan laporan nasional yang akan disusun cukup mengikuti Pedoman yang telah diterbitkan [6] dan arahan Presiden Konvensi berikutnya.

II.2 Tantangan, Saran dan Anjuran

Bagian ini akan mendiskusikan temuan-temuan dari Pertemuan Tinjauan ke-7 Konvensi, dan misi-misi tinjauan IAEA, yaitu: Misi IRRS yang bertujuan untuk meninjau infrastruktur regulasi pengawasan ketenaganukliran. Cakupan tinjauan misi ini di Indonesia bersifat menyeluruh, untuk keselamatan nuklir maupun radiologis [7]; Misi EPREV dengan tujuan untuk meninjau infrastruktur kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir di Indonesia [8]; dan, misi SEED yang bertujuan untuk meninjau proses evaluasi tapak PLTN yang dilakukan oleh pemohon izin tapak maupun reviu yang dilakukan oleh badan pengawas. Dalam hal ini, tapak yang menjadi subjek evaluasi adalah kawasan Serpong yang akan digunakan untuk RDE [9].

Dari berbagai temuan PT ke-7 dan misi-misi tinjauan IAEA tersebut dibuat pengelompokan tipe tindak lanjut yang diperlukan, yaitu: Penetapan atau revisi Kebijakan; Penyusunan atau amandemen Peraturan Perundang-Undangan (PUU); Penerbitan atau revisi Pedoman/Prosedur; dan, Pelaksanaan kegiatan dan penyediaan rekaman. Kategorisasi ini diharapkan memudahkan proses perencanaan kegiatan BAPETEN.

II.3 Praktik dan Bidang Kinerja yang Baik

Praktik dan Bidang Kinerja yang Baik yang mungkin dapat diusulkan Indonesia pada Pertemuan Tinjauan ke-8 Konvensi dapat dipelajari dari yang telah diterima oleh Indonesia pada Pertemuan Tinjauan ke-7 Konvensi dan misi-misi IAEA di atas;

dan, oleh negara-negara Pihak pada Pertemuan Tinjauan ke-7 Konvensi.

II.4 Sesi Diskusi Terbuka

Sesi diskusi terbuka diselenggarakan berdasarkan kesepakatan bersama dan bertujuan untuk mereview, merevisi dan lebih meningkatkan efektivitas PT. Sebelum PT dimulai, para Pihak dapat mengusulkan topik yang akan dibahas. Pada PT ke-7, tiga Pihak menyampaikan usulan bahan pembicaraan: Jerman mengusulkan agar dokumen pedoman Konvensi direvisi guna mengadopsi Deklarasi Wina tentang Keselamatan Nuklir (VDNS); Amerika Serikat menyarankan peningkatan partisipasi, keefektifan and transparansi dalam Konvensi; dan, Kanada mengusulkan agar sesi Pleno disiarkan langsung melalui jaringan dan presentasi nasional juga disiarkan secara tunda [10, 11].

Sesuai prosedur, masing-masing usulan dipresentasikan, dibahas bersama, serta dibuatkan teks bahasan dan rekomendasi untuk masing-masing usulan tersebut. Hasil-hasil diskusi terbuka ini dibahas pada Bab III.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

III.1 Tantangan, Saran dan Anjuran

Pada Pertemuan ke-7 Konvensi, Tantangan yang diberikan kepada Indonesia adalah mengenai penetapan kerangka rujukan pengawasan untuk reaktor daya eksperimental berukuran kecil dan kerangka kerja peraturan perundang-undangan (PUU) untuk meningkatkan pengembangan kapasitas dan pelatihan bagi Badan Pengawas; serta pengembangan program pengelolaan penuaan untuk reaktor-reaktor penelitian yang ada. Indonesia juga mendapat satu Anjuran agar melaporkan secara lebih rinci hasil-hasil dari misi-misi IAEA, dan tindak lanjut atas temuan-temuannya [12].

Saran dan Anjuran lain diberikan dari beberapa misi IAEA. Misi IRRS 2015 menghasilkan 24 butir Saran dan 37 Anjuran [7]; Misi EPREV 2016 menyampaikan 21 Saran dan lima Anjuran [8]; dan, Misi SEED memberikan 27 anjuran teknis [9].

Setelah dianalisis menggunakan tabel sebagaimana contoh pada Lampiran A, maka tipe-tipe tindak lanjut dari semua Tantangan, Saran dan Anjuran yang diterima dari PT ke-7 dan misi-misi IAEA tersebut adalah sbb:

Tabel 1. Tipe tindak lanjut atas Tantangan, Saran dan Anjuran

	Tantangan /Saran	Anjuran	Tipe Tindak Lanjut			
			1	2	3	4
PT-7	3	1	1	1	1	2
IRRS	24	37	17	21	20	23
EPREV	21	5	8	5	14	12
SEED	0	23	0	0	0	23
	Jumlah		26	27	34	60

Tipe tindak lanjut adalah sesuai dengan definisi pada Pasal II.2. Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa ada sejumlah tantangan yang dihadapi Indonesia dalam penyusunan laporan nasional untuk mengikuti PT ke-8 Konvensi. Terdapat 26 butir temuan yang perlu ditindak-lanjuti dengan penerbitan atau revisi kebijakan di tingkat nasional maupun pada level BAPETEN. Sejumlah 27 temuan terkait dengan penyusunan atau amandemen PUU; 34 butir berhu-bungan dengan pembuatan atau revisi Pedoman atau Prosedur; dan, 60 item terkait dengan hal-hal yang perlu ditindaklanjuti dan disajikan rekamannya.

Analisis menggunakan tabel sebagaimana Lampiran A juga menunjukkan bahwa ada banyak kebijakan yang dapat dijadikan satu, yang artinya tidak perlu menyusun 26 kebijakan. Demikian juga halnya dengan PUU dan pedoman, terutama yang terkait dengan perizinan dan persyaratan reaktor nuklir.

Khusus unuk hasil dari misi SEED, seluruhnya memang berisi anjuran karena instrumen PUU maupun kepakaran yang diperlukan telah tersedia. Lagi pula, misi ini dilaksanakan ketika izin untuk tapak RDE telah diterbitkan. Dengan demikian, tindak lanjut atas anjuran-anjuran tersebut lebih rele-van digunakan untuk mengevaluasi ulang tapak tsb.

III.2 Praktik dan Bidang Kinerja yang Baik

Pada PT ke-7 Konvensi, Indonesia mendapat tiga Bidang Kinerja yang Baik, yaitu untuk: mengun-dang beberapa misi IAEA seperti IRRS, EPREV dan SEED untuk melaksanakan peer review internasional; menetapkan Indonesia Centre of excellence for Nuclear Security and Emergency Preparedness (I-CoNSEP) sebagai upaya untuk meningkatkan komunikasi dan koordinasi pada level nasional; dan, untuk menerapkan sistem database berbasis jaringan untuk berbagai fungsi pengawasan [12].

Misi IRRS 2015 juga mengidentifikasi tiga Praktik yang Baik yang dilakukan Indonesia, yaitu bahwa: Pemerintah dan BAPETEN memanfaatkan secara luas kerja sama bilateral dan multilateral untuk pelatihan dan pengembangan kompetensi; BAPETEN telah mengembangkan manajemen basis data yang komprehensif untuk otorisasi, review dan penilaian, inspeksi, persetujuan transportasi dan dosis pekerja radiasi. Sistem ini sepenuhnya diimplementasikan untuk proses reuiv dan penilaian dan pemeriksa dapat dengan mudah memantau kemajuan proses dan mengakses rekaman pemegang izin; dan, informasi publik tentang data pemantauan lingkungan meningkatkan kepercayaan publik terhadap BAPETEN dan mendukung kerja sama dengan pihak-pihak berkepentingan [7].

Misi EPREV 2016 menemukan juga tiga Praktik yang Baik, yaitu bahwa: RS Siloam telah menerapkan sistem inovatif untuk klasifikasi dan

pemberitahuan keadaan darurat, termasuk keadaan darurat radiologis; BPBD telah menerapkan strategi komunikasi inovatif dengan para relawan yang akan mendukung penanggulangan terkoordinasi selama keadaan darurat nuklir atau radiologis; dan, Indonesia menunjukkan komitmen terhadap kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir dan radiologis dengan melakukan latihan lapangan skala besar secara rutin [8].

Misi SEED mengapresiasi Praktik yang Baik atas "sikap profesional dan baik telah ditunjukkan oleh staf BAPETEN; *Technical Supporting Organization* (TSO) BAPETEN, yaitu ITB; dan BATAN. Hal ini berkontribusi pada proses tinjauan yang efektif atas masalah yang diidentifikasi dan pada perbaikan laporan evaluasi tapak". [9]

Berbagai Bidang Kinerja yang Baik dan Praktik yang Baik yang teridentifikasi pada PT ke-7 dan misi-misi di atas menunjukkan bahwa Indonesia telah melakukan cukup banyak hal guna meningkatkan infrastruktur keselamatan nuklir nasional. Hal ini juga membuka peluang bagi Indonesia untuk mendapatkan Bidang Kinerja yang Baik dan Praktik yang Baik pada PT ke-8 nanti. Untuk itu, perlu juga dilihat berbagai Praktik yang Baik dan Bidang Kinerja yang Baik yang teridentifikasi pada PT ke-7 lalu. Dengan definisi yang baru, hanya ada empat Praktik yang Baik yang disepakati pada PT-7 lalu, yang diberikan kepada Kanada, Euratom dan Hungaria [10]:

Badan pengawas Kanada, CNSC, dinilai telah melakukan praktik yang baik karena berhasil menumbuhkembangkan keterbukaan dan transparansi dalam proses peraturan. CNSC secara khusus meluncurkan program pendanaan peserta, yang memberi kesempatan kepada publik, kelompok Aborigin dan pemangku kepentingan lainnya untuk meminta dana dari CNSC untuk berpartisipasi dalam proses tersebut. Para peserta mempresentasikan hasilnya langsung ke anggota Komisi. Pemberian dana peserta dilakukan oleh Dewan independen dari bagian pemberian izin dan dukungan teknis dari regulator. Pendanaan peserta ini dianggap berkontribusi terhadap peningkatan keselamatan dengan memberikan informasi tambahan kepada Komisi.

Euratom diakui telah melakukan dua praktik yang baik, yaitu untuk: Peer Review Topikal pertama yang diluncurkan secara proaktif, bahkan sebelum tanggal untuk transposisi Nuclear Safety Directive oleh negara anggota Uni Eropa (UE); dan untuk Implementasi Instrumen untuk Program Kerja Sama Keselamatan Nuklir dalam membantu negara-negara non-UE.

Hungaria juga dianggap telah melakukan praktik yang baik untuk kegiatan penjangkauan (*outreach*) yang ekstensif kepada masyarakat dan negara tetangga serta negara lainnya, dan melakukan dengar pendapat publik mengenai perizinan fasilitas

nuklir, serta konferensi pendidikan. Tingkat penjangkauan ini dinilai jauh melampaui yang umumnya dilakukan oleh Pihak lainnya. Persiapan menyeluruh untuk kegiatan penjangkauan ini memperkuat tinjauan perizinan.

Sedikitnya Praktik yang Baik yang diberikan saat itu adalah karena negara Pihak Konvensi menggunakan definisi baru, yang cukup sulit untuk diraih, yang disepakati pada pertemuan *CNS Officer* pada 3-4 Oktober 2016 di Wina. Definisi tersebut adalah: "Praktik, kebijakan atau program baru atau yang direvisi yang memberikan kontribusi signifikan terhadap keselamatan nuklir. Praktik yang Baik adalah salah satu yang telah dicoba dan dibuktikan oleh setidaknya satu Pihak namun belum banyak dilaksanakan oleh Para Pihak lainnya; dan berlaku untuk Pihak Peserta lainnya dengan program serupa" [13]. Dengan demikian, jika Indonesia akan mengusulkan Praktik yang Baik pada PT ke-8 nanti, maka definisi tersebut harus benar-benar dipertimbangkan.

Dari 196 Bidang Kinerja yang Baik teridentifikasi pada PT ke-7 [12, 14-19] ada beberapa yang cukup relevan dengan keadaan Indonesia saat ini. Dalam hal ini, teladan yang dilakukan oleh badan pengawas, antara lain: Implementasi Sistem Mutu ISO 17020 untuk kegiatan inspeksi dan sertifikat ISO 9001; Tinjauan dan tindak lanjut atas dosis kolektif yang didapat staf PLTN; Penerapan proses pengambilan keputusan pengawasan yang transparan, termasuk penyebarluasan proses tersebut melalui jejaring internet; Pengembangan program pelatihan dan kualifikasi inspektur; Menggabungkan staf teknis badan pengawas dengan kelompok operasi PLTN untuk belajar tentang operasi PLTN, sambil mengambil tindakan untuk memastikan independensi pengawasan; dan, Program pemantauan lingkungan yang independen oleh badan pengawas untuk memverifikasi hasil yang diajukan oleh organisasi pengoperasi; Penetapan kebijakan Budaya Keselamatan oleh badan pengawas, dan untuk pelaksanaan pengawasan Budaya Keselamatan; Penggunaan jejaring dan piranti lunak media sosial secara meluas oleh badan pengawas dalam pekerjaannya sehari-hari; serta untuk upaya yang signifikan dalam mengembangkan peraturan dan pedoman.

Teladan Bidang Kinerja yang Baik yang tidak secara langsung berhubungan dengan badan pengawas diberikan untuk pengembangan *roadmap* introduksi PLTN telah disusun berbasis pendekatan *milestone* IAEA; dan untuk kerja sama dan keterlibatan yang aktif pada ASEM, ASEANTOM, dan ASEAN.

Dengan memerhatikan teladan-teladan di atas, maka Indonesia dapat mempersiapkan hal-hal yang dapat diusulkan sebagai Bidang Kinerja yang Baik pada laporan nasional untuk PT ke-8 nantinya.

Contohnya, salah satu Unit Kerja di BAPETEN telah mendapat sertifikasi ISO 9001.

III.1 Sesi Diskusi Terbuka

Dari tiga proposal yang diajukan pada Sesi Terbuka PT ke-7 Konvensi, dan dengan perkembangan selama sesi tersebut, OEWG menghasilkan enam rekomendasi sebagai berikut [10]: Penambahan pada teks mengenai VDNS pada Pembukaan INFCIRC/572/Rev.5 [6] sedemikian sehingga lebih merekatkan hubungan antara Konvensi dengan VDNS; Mulai PT ke-8, disepakati agar Presiden Konvensi mengembangkan survey keefektifan proses Tinjauan, yang harus diisi oleh semua Pihak dan dikumpulkan ke Sekretariat sebelum PT selesai, guna melihat perbaikan potensial; Diselenggarakannya Sesi Topikal, paling banyak dua topik secara serial dan tidak mengganggu jalannya proses Tinjauan, guna berbagi mengenai hal-hal yang terkait langsung dengan tujuan Konvensi. Usulan topik yang akan dibicarakan diajukan melalui jalur aman komunikasi Konvensi.

Selanjutnya, Pihak-pihak meminta kepada Sekretariat untuk mengadakan pelatihan regional bagi negara-negara yang tidak memiliki PLTN. Topik pelatihan dapat mengenai aspek hukum dan kepatuhan, tantangan dalam partisipasi, dan kualifikasi teknis dalam mendukung proses tinjauan. Umpan balik dari pelatihan diharapkan dipertimbangkan pada PT ke-8 Konvensi; Permintaan Pihak-pihak kepada Sekretariat untuk melakukan studi dan tinjauan teknis mengenai kemungkinan konferensi video Kelompok Negara tertentu melalui jalur aman sebagai tambahan untuk memperluas partisipasi. Pihak-pihak juga meminta IAEA menyampaikan informasi mengenai temuan-temuan mereka, termasuk biaya yang terkait dan potensi implikasi mengenai kerahasiaan informasi agar dipertimbangkan pada pertemuan pengorganisasian PT ke-8 Konvensi. Akhirnya, dimulai pada PT ke-8, pihak-pihak meminta Presiden Konvensi untuk menyiarkan pleno pembukaan dan pleno penutupan ketika mengadopsi Laporan Ringkas versi terakhir serta konferensi pers secara langsung melalui jaringan (*web-streaming*).

Dari hasil-hasil di atas dapat dilihat bahwa sesi diskusi terbuka (OEWG) merupakan peluang bagi Indonesia apabila hendak menampilkan dirinya untuk turut meningkatkan keselamatan nuklir secara internasional, tanpa mengurangi atau bahkan guna memperjuangkan kepentingan atau prioritas nasional. Untuk itu maka diperlukan persiapan yang matang.

IV. KESIMPULAN

Dari kajian di atas dapat disimpulkan bahwa dalam menyiapkan Laporan Negara pada PT Ke-8 Konvensi tahun 2020 nanti ada banyak tantangan bagi Indonesia, yaitu menjawab tiga Tantangan dan satu Anjuran yang berasal dari PT

Ke-7 lalu, dan 45 Saran serta 66 Anjuran yang berasal dari misi-misi IAEA seperti IRRS, EPREV dan SEED. Tantangan lainnya adalah menyusun Laporan yang sistematis, menyeluruh, sesuai dengan Panduan, dan mudah dibaca.

Tantangan tersebut dapat diubah sebagai peluang untuk mendemonstrasikan komitmen Indonesia pada keselamatan nuklir. Indonesia juga berpeluang besar untuk mendapatkan apresiasi dari berbagai bidang kinerja yang baik yang telah dilakukan, atau jika dipersiapkan. Forum diskusi terbuka juga merupakan peluang bagi Indonesia untuk memberikan kontribusi peningkatan keefektifan Konvensi atau keselamatan nuklir secara umum.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IAEA (1994), INFCIRC/449 Convention on Nuclear Safety, Vienna.
- [2] OECD (2006), International Nuclear Law in the Post-Chernobyl Period ISBN 92-64-02293-7, Paris.
- [3] IAEA (2017), Registration No. 1676 Convention on Nuclear Safety. Last change of status: 18 December 2017. Vienna.
- [4] Reno Alamsyah, *et. all.* (2017), Peningkatan Infrastruktur Keselamatan Nuklir di Indonesia Melalui Kesertaan Sebagai Negara Pihak Konvensi Keselamatan Nuklir, ISSN 1412-3258, Jakarta.
- [5] IAEA (2015), CNS/DC/2015/2/Rev.1 Vienna Declaration on Nuclear Safety, Vienna.
- [6] IAEA (2015), INFCIRC/572/Rev.5 Guidelines regarding National Reports under Convention on Nuclear Safety, Vienna.
- [7] IAEA (2015), IAEA-NS-IRRS 2015/10 Integrated Regulatory Review Service (IRRS) Mission to Indonesia, Vienna.
- [8] IAEA (2016), Final EPREV Report: Peer Appraisal of the Arrangements in Indonesia Regarding the Preparedness for Responding to a Nuclear and Radiological Emergency, Vienna.
- [9] IAEA (2017), Summary and Conclusions: SEED mission to assist BAPETEN review of the Site License Application Documents for an Experimental Power Reactor, Vienna.
- [10] Ramzi Jammal (2017), CNS/7RM/2017/09/Final, Report of the President of the Review Meeting: 7th Review Meeting of the Contracting Parties to the Convention on Nuclear Safety, Vienna.
- [11] Ramzi Jammal, Georg Schwarz, and Geoffrey Emi-Reynolds (2017), CNS/7RM/2017/08/Final, Summary Report: 7th Review Meeting of the Contracting Parties to the Convention on Nuclear Safety, Vienna.
- [12] Ginevra Delfini (2017), Rapporteur's Report Group 6, 7th Review Meeting of the

- Contracting Parties to the Convention on Nuclear Safety, Vienna.
- [13] IAEA (2015), INFCIRC/571/Rev.7 Guidelines regarding the Review Process under Convention on Nuclear Safety, Vienna.
- [14] Virva Nilsson (2017), Rapporteur's Report Country Group 1, 7th Review Meeting of the Contracting Parties to the Convention on Nuclear Safety, Vienna.
- [15] John Froats (2017), Rapporteur's Report Country Group 2, 7th Review Meeting of the Contracting Parties to the Convention on Nuclear Safety, Vienna.
- [16] John Pule (2017), Rapporteur's Report Country Group 3, 7th Review Meeting of the Contracting Parties to the Convention on Nuclear Safety, Vienna.
- [17] Jose Balmisa (2017), Rapporteur's Report Country Group 4, 7th Review Meeting of the Contracting Parties to the Convention on Nuclear Safety, Vienna.
- [18] Reno Alamsyah (2017), Rapporteur's Report Country Group 5, 7th Review Meeting of the Contracting Parties to the Convention on Nuclear Safety, Vienna.
- [19] Simon Coenen (2017), Rapporteur's Report Country Group 7, 7th Review Meeting of the Contracting Parties to the Convention on Nuclear Safety, Vienna.

Lampiran A. Contoh Analisis Tindak Lanjut Misi IRRS 2015

Saran/Anjuran	Tipe Tindak Lanjut				Keterangan
	1	2	3	4	
Saran					
1 The Government should develop and document a national policy and strategy for safety, supported by a national coordinated plan, to ensure the appropriate national infrastructure is implemented.	✓				Dapat dijadikan satu Kebijakan Nasional dengan Saran No. 7.
2 The Government should ensure that the fundamental safety principles of the IAEA SF-1 are fully incorporated into the legal and regulatory framework for safety.		✓			UU Pengganti UU No. 10/1997.
3 The Government and BAPETEN should ensure that the legal and regulatory framework is kept up to date and corresponds to the current IAEA standards		✓			Adopsi GSR Part 1 s/d Part 7 ke dalam PP.
4 The Government should provide BAPETEN with human and financial resources to ensure adequate discharge of its statutory regulatory obligation	✓			✓	Koordinasi Pimpinan antar lembaga terkait.
5 The Government, through legal framework, should ensure that prime responsibility of safety is assigned to the person or organization responsible for a facility or an activity.		✓			UU Pengganti UU No. 10/1997. Saran No. 2.
6 The Government should ensure there is appropriate coordination and liaison between BAPETEN and other relevant authorities in the areas of medical application of radiation and transport of radioactive material.	✓				Koordinasi Pimpinan antar lembaga terkait.
7 The Government should establish and promulgate national policy and strategy for radioactive waste management and decommissioning.	✓				Lihat Saran No. 1.
8 The Government should establish provisions, in the legal framework, governing long-term radioactive waste management, spent fuel management and decommissioning, including funding of such activities.		✓			UU Pengganti UU No. 10/1997 dan PP Limbah.
9 The Government should authorise BAPETEN to develop and implement the organizational structure that would be best suited to allow it to carry out its obligatory function effectively.		✓			Koordinasi Pimpinan antar lembaga terkait.
10 BAPETEN should review its management system to ensure that the vision, mission, safety culture and the application of a graded approach reflect the Governmental assignment of tasks and that those are communicated to and understood by all layers of the organization.			✓	✓	Review internal, eksternal & penyusunan pedoman pelaksanaan SMB; sosialisasi.
11 s/d 24 (<i>recorded</i>)					
Jumlah tindak lanjut Saran	5	1 1	8	8	
Anjuran					
1 The Government and BAPETEN should consider ensuring that all regulatory functions are implemented in a graded approach			✓	✓	Pedoman penerapan graded approach dan review prosedur.
2 BAPETEN should consider requiring the appropriate individual monitoring periods commensurate with the exposure condition.		✓			Perka proteksi dan keselamatan radiasi.
3 BAPETEN should consider adjusting the allocation of resources, within the	✓				Koordinasi

Saran/Anjuran	Tipe Tindak Lanjut				Keterangan
	1	2	3	4	
existing or revised organizational structure, to ensure proper regulation of nuclear facilities and radiation activities, using risk-informed graded approach.					Pimpinan antar lembaga terkait.
4 BAPETEN should consider establishing regional offices to allow it to discharge its regulatory responsibility, in particular inspections, more effectively and in a timely manner.	✓				Kajian tertulis dan keputusan Pimpinan.
5 BAPETEN should consider revising its licensing structure to allow for a more reasonable and manageable number of licenses, thereby reducing the administrative burden for the organization as well as license holders.		✓			PP dan Perka Perizinan.
6 BAPETEN should consider, as part of the human resources plan, making preliminary and generic analyses of future staffing needs that may be elicited by the introduction of large-scale technologies such as a nuclear power programme.	✓				Kajian tertulis dan keputusan Pimpinan.
7 BAPETEN should consider clarifying the responsibility of the individual reporting on the performance of the management system to senior management.	✓		✓		SMB dan pedoman pelaksanaan.
8 BAPETEN should consider establishing procedures for assessing the safety and appropriateness of the working environment.			✓		Prosedur internal.
9 BAPETEN should consider enhancing the implementation of self-assessment and to include safety culture aspects. (p. 44)				✓	Pelaksanaan penilaian diri SMB dan BK.
9. BAPETEN should consider developing regulatory requirements, regulations, and guides as applicable to the FCF facility. (FCF, p. 59)		✓	✓		Revisi peraturan dan pedoman INNRR
10 BAPETEN should consider developing appropriate record keeping system for effective follow up. (FCF)				✓	Sistem rekaman pengawasan.
11 s/d 37 (recorded)					
Jumlah tindak lanjut Anjuran	1 2	1 0	1 2	1 5	
Jumlah tindak lanjut Total	1 7	2 1	2 0	2 3	

Pemakalah : Reno Alamsyah
 Kode Makalah : OC01
 Penanya : Bagiono. Pusdiklat BATAN
 Pertanyaan :

1. Jika kita tidak ikut review meeting, dan karena ketidaktahuan kita, kita tidak memenuhi konvensi yang disepakati, apa konsekuensinya?
2. Jika kita tidak melaksanakan saran dan/atau anjuran adakah konsekuensinya? Untuk melaksanakan saran atau anjuran tersebut diberikan waktu berapa lama?

Jawaban :

1. CNS adalah konvensi yang bersifat insentif. Artinya di dalamnya tidak diatur perjanjian tentang sanksi. IAEA sebagai sekretariat konvensi hanya akan mengirimkan surat undangan atau pemberitahuan mengenai jadwal konvensi. Surat pengingat (*reminder*) dari IAEA hanya akan dikirimkan apabila hasil pertemuan tinjauan menyatakan hal tersebut. Semangat CNS adalah *peer review*. Hal ini berarti harus ada tekad dari Negara Pihak untuk meminta masukan rekan sejawat dan juga berbagi atas praktik terbaik yang dilakukan. Untuk *embarking countries*, pada umumnya ada tekanan politis dari masyarakat internasional agar memiliki kinerja keselamatan nuklir yang dianggap memadai. Hal ini bisa juga ditempuh melalui jalur diplomatis. Negara pihak ybs. diminta untuk mau bekerja sama dengan masyarakat internasional dan IAEA guna meningkatkan keselamatan nuklir mereka.
2. Apabila belum dilaksanakan, maka status **Tantangan** atau **Anjuran** sebelumnya akan tetap dinyatakan terbuka, atau belum ditutup. Sehingga akan 'ditagih' kembali pada Pertemuan Tinjauan berikutnya. Tidak ada tenggat waktu, namun Negara Pihak harus melaporkan status terkini keselamatan nuklir mereka, termasuk tindak lanjut atas **Tantangan** atau **Anjuran** sebelumnya, setiap tiga tahun.

OC02
URGENSI PENYIDIK PEGAWAI NEGERI SIPIL
DALAM PENEGAKAN HUKUM PENGAWASAN PEMANFAATAN TENAGA NUKLIR

Donni Taufiq

Direktorat Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir
Badan Pengawas Tenaga Nuklir
d.taufiq@bapeten.go.id

ABSTRAK

Salah satu usulan dalam penyusunan amandemen Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran adalah perlunya penegakan hukum dalam bidang pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) dilengkapi dengan keberadaan Penyidik Pegawai Negeri Sipil (PPNS). PPNS adalah pejabat pegawai negeri sipil tertentu yang berdasarkan peraturan perundang-undangan ditunjuk selaku penyidik dan mempunyai wewenang untuk melakukan penyidikan tindak pidana dalam lingkup undang-undang yang menjadi dasar hukumnya masing-masing untuk membantu fungsi penyidik Kepolisian RI. Permasalahan yang diangkat pada makalah ini terkait dengan urgensi akan eksistensi PPNS dalam melakukan penegakan hukum terhadap pelanggaran dalam pemanfaatan tenaga nuklir. PPNS pada BAPETEN, melalui kekuasaan yang diamanatkan Undang-Undang Ketenaganukliran yang baru, nantinya diharapkan menjadi aparat penegak hukum pertama dalam penegakan hukum pidana dalam pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir.

Kata kunci: pengawasan, penegakan hukum, pidana.

ABSTRACT

One of the recommendations occurred during the amendment process of the Act No 10 Year 1997 on Nuclear Energy is the need for law enforcement in nuclear regulatory activities held by the Nuclear Energy Regulatory Agency (BAPETEN) equipped with the existence of Civil Servant Investigator (PPNS). PPNS is a certain civil servant official who is based on the laws and regulations appointed as the legal investigator and has the authority to conduct criminal investigation within the scope of the specific law assist the function of the police investigator. The issues raised in this paper relate to the urgency of the existence of PPNS in enforcing the law against violations in the utilization of nuclear energy. PPNS in BAPETEN, through the mandated power from the revision of the Nuclear Energy Act, will be expected to become the first criminal law enforcement apparatus in supervising the utilization of nuclear energy.

Keywords: regulatory, law enforcement, criminal

I. PENDAHULUAN

Sejak tahun 2016 Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) bersama dengan Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) melalui Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi sebagai kementerian yang mengoordinasikan BAPETEN dan BATAN sudah mengusulkan amandemen Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran (UU Ketenaganukliran) kepada Dewan Perwakilan Rakyat (DPR). Dan pada tahun 2017 DPR sudah memutuskan untuk memasukkan amandemen UU Ketenaganukliran ini ke dalam *long-list* program legislasi nasional 2015-2019. Hal ini berarti selangkah lagi Indonesia akan memiliki panduan dan “aturan main” yang baru dalam pemanfaatan dan pengawasan tenaga nuklir sebagai pengganti UU Ketenaganukliran yang sudah berumur 21 (dua puluh satu) tahun.

Satu hal yang menjadi masukan dalam proses pembahasan amandemen UU Ketenaganukliran, baik dalam pembahasan internal BAPETEN ataupun pembahasan antar

kementerian/lembaga terkait, adalah tentang perlunya inspektur keselamatan nuklir BAPETEN dilengkapi dengan kewenangan sebagai Penyidik Pegawai Negeri Sipil (PPNS), seperti halnya PPNS Perpajakan, PPNS Bea Cukai, PPNS Pengawas Keselamatan Tenaga Kerja, PPNS Inspektur Keselamatan Tambang, PPNS Lingkungan Hidup, bahkan dalam struktur satuan kerja perangkat daerah pemerintah daerah provinsi dan kabupaten/kota juga terdapat PPNS Pamong Praja.

Dilihat dari sifat kekhususan dalam penanganan bahan nuklir dan zat radioaktif, memang menjadi sebuah kewajaran jika inspektur keselamatan nuklir BAPETEN dibekali juga kewenangan sebagai PPNS. Namun, sifat kekhususan bahan nuklir dan zat radioaktif saja tidak bisa menjadi alasan yang sangat kuat untuk pengaturan kewenangan ini ke dalam amandemen UU Ketenaganukliran. Secara praktek, kekhususan penanganan bahan nuklir dan zat radioaktif dapat diatasi dengan adanya *Memorandum of Understanding* (MoU) antara BAPETEN dengan Kepolisian Negara Republik Indonesia (POLRI)

yang ditindaklanjuti dengan pelatihan khusus terhadap penyidik POLRI. Untuk itu, sebelum dimasukkan ke dalam amandemen UU Ketenaganukliran harus dilakukan kajian terlebih dahulu.

Dalam makalah ini akan dilakukan kajian akan urgensi dilengkapinya kewenangan inspektur keselamatan nuklir BAPETEN dengan kewenangan sebagai PPNS dalam melakukan penegakan hukum pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir.

II. POKOK BAHASAN

Undang-Undang No. 8 Tahun 1981 tentang Hukum Acara Pidana atau yang lebih dikenal dengan Kitab Undang-Undang Hukum Acara Pidana (KUHAP) telah mengatur beberapa variasi hubungan hukum antara penyidik POLRI dengan PPNS. Diberikannya kewenangan khusus untuk melaksanakan tugas penyidikan kepada PPNS, di satu sisi tentunya akan memudahkan dalam pengungkapan suatu tindak pidana mengingat banyaknya kendala yang dihadapi oleh aparat kepolisian dalam melakukan penyidikan, seperti kualitas dan kuantitas sumber daya manusia, sarana-prasarana pendukung, serta anggaran. Di sisi lain banyaknya institusi penyidik berpotensi menimbulkan tarik menarik kewenangan antar institusi, terlebih apabila masing-masing institusi penyidik mengedepankan ego sektoral, yang dapat berujung pada terhambatnya proses penegakan hukum. Permasalahan dalam tulisan ini adalah apa urgensi PPNS pada BAPETEN sebagai penyidik tindak pidana di bidang pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir. Tulisan ini merupakan sebuah kajian hukum (*legal assessment*) yang bersifat normatif, dengan memperhatikan kekosongan hukum (*vacuum norm*) PPNS pada UU Ketenaganukliran, efektivitas dari kewenangan PPNS baik dari segi kedudukan PPNS dalam hukum acara pidana di Indonesia, sistem peradilan pidana di Indonesia, dan pengalaman efektivitas di lapangan dari PPNS yang sudah ada pada instansi pemerintah lain.

III. HASIL PEMBAHASAN

1. Kedudukan PPNS dalam Hukum Acara Pidana

Secara historis ilmu kepolisian, sejak satuan kepolisian modern pertama di dunia dibentuk oleh Raja Louis XIV di Prancis pada tahun 1667, fungsi penyidikan selalu diintegrasikan dengan satuan kepolisian yang merupakan bagian penting dari tugas-tugas penegakan hukum dalam menjaga keamanan, ketertiban, dan ketenteraman masyarakat. Namun, kemajuan peradaban dan teknologi yang berlangsung terus menerus, menyebabkan modus tindak pidana kejahatan dan pelanggaran juga terus mengalami perkembangan. Hal ini menyebabkan penegakan hukum tidak bisa dijalankan institusi kepolisian sendiri, perkembangan dan kemajuan ini

melahirkan penyidik-penyidik khusus yang memiliki keahlian khusus di bidangnya.

Kedudukan PPNS dalam hukum acara pidana di Indonesia adalah berdasarkan pada Pasal 1 ayat (1) dan Pasal 6 ayat (1) KUHAP, yang menyatakan bahwa penyidik adalah pejabat POLRI atau pejabat pegawai negeri sipil tertentu yang diberi wewenang khusus oleh undang-undang untuk melakukan penyidikan.

Pengaturan tentang PPNS juga terdapat dalam Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2002 tentang Kepolisian Negara Republik Indonesia (UU Kepolisian). Dalam UU Kepolisian Pasal 1 angka 11 disebutkan bahwa PPNS adalah pejabat pegawai negeri sipil tertentu yang berdasarkan peraturan perundang-undangan ditunjuk selaku penyidik dan mempunyai wewenang untuk melakukan penyidikan tindak pidana dalam lingkup undang-undang yang menjadi dasar hukumnya masing-masing. Dan berdasarkan Pasal 3 ayat (1) UU Kepolisian ini fungsi dari PPNS adalah untuk membantu fungsi dari POLRI dalam bidang penegakan hukum.

Walaupun PPNS telah diberi kewenangan oleh KUHAP dan UU Kepolisian untuk melakukan penyidikan, namun dalam pelaksanaan tugasnya berdasarkan Pasal 7 ayat (2) KUHAP kedudukannya berada di bawah koordinasi dan pengawasan penyidik POLRI. Ketentuan ini diperkuat dalam UU Kepolisian Pasal 14 ayat (1) huruf f yang menetapkan POLRI untuk melakukan koordinasi, pengawasan, dan pembinaan teknis kepada PPNS yang kemudian diimplementasikan dalam Peraturan Pemerintah Nomor 43 Tahun 2012 tentang Tata Cara Pelaksanaan Koordinasi, Pengawasan, dan Pembinaan Teknis terhadap Kepolisian Khusus, Penyidik Pegawai Negeri Sipil, dan Bentuk-Bentuk Pengamanan Swakarsa.

2. Sistem Peradilan Pidana di Indonesia

Dalam sistem peradilan pidana di Indonesia dikenal konsep Panca Wangsa, yaitu 5 (lima) institusi sub sistem peradilan pidana sebagai yang menjalankan fungsi negara dalam penegakan hukum, yaitu POLRI, Kejaksaan, Peradilan, Lembaga Pemasyarakatan, dan Advokat. keberadaan PPNS di luar subsistem peradilan pidana, tidak boleh mengacaukan jalannya sistem peradilan pidana yang telah ada.

KUHAP telah mengatur bagaimana cara penyidikan yang dilakukan PPNS agar selaras tatanan konsep Panca Wangsa tersebut, yaitu sebagai berikut:

- a. Pasal 107 ayat (1):
Untuk kepentingan penyidikan, penyidik POLRI memberikan petunjuk kepada PPNS dan memberikan bantuan penyidikan yang diperlukan.
- b. Pasal 107 ayat (2):
Jika dari penyidikan oleh PPNS ditemukan bukti yang kuat untuk mengajukan tindak

pidananya kepada penuntut umum, PPNS harus melaporkan kepada penyidik POLRI tentang adanya suatu tindak pidana yang sedang disidik.

c. Pasal 107 ayat (3):

Dalam hal tindak pidana telah selesai disidik, PPNS yang melakukan penyidikan segera menyerahkan hasil penyidikannya kepada jaksa penuntut umum melalui penyidik POLRI.

d. Pasal 109 ayat (3):

Apabila PPNS menghentikan penyidikan yang telah dilaporkan kepada penyidik POLRI, penghentian penyidikan itu harus diberitahukan kepada penyidik POLRI dan jaksa penuntut umum.

Dari ketentuan dalam KUHAP tersebut dapat dilihat bahwa PPNS dalam menjalankan tugasnya sebagai penyidik harus selalu berkoordinasi dengan penyidik POLRI sebelum, selama dan setelah melakukan penyidikan. Bahkan hingga sampai dalam melakukan penghentian penyidikan ketika tidak ditemukan tindak pidana sekalipun harus memberitahukan kepada penyidik POLRI.

3. Pengalaman Efektivitas Penegakan Hukum yang Dilakukan PPNS

Untuk mengetahui efektivitas penegakan hukum yang dilakukan PPNS pada instansi pemerintah lain yang sudah berjalan perlu dilakukan studi lapangan lebih lanjut. Dan tidak bisa disamaratakan efektivitas penegakan hukum dari PPNS di masing-masing instansi pemerintah karena sifat kekhususan dari obyek pengawasan yang berbeda-beda. Misal PPNS Perpajakan mungkin lebih efektif daripada PPNS Perikanan. PPNS Perikanan dalam pelaksanaannya mengalami berbagai kendala sehingga fungsi ini belum dapat dilaksanakan dengan baik disebabkan oleh tumpang tindih kewenangan antara lembaga yang memiliki kewenangan pengawasan dan penyidikan di perairan laut, yaitu POLRI, Tentara Nasional Indonesia-Angkatan Laut, dan Badan Keamanan Laut. Yang kemudian saat ini Kementerian Kelautan dan Perikanan untuk memberantas *illegal fishing* bersama ketiga instansi ini membentuk satuan tugas khusus.

PPNS Perpajakan pada Kementerian Keuangan c.q. Direktorat Jenderal Pajak bisa berjalan efektif karena data dari wajib pajak di Indonesia baik perorangan maupun badan hukum jumlahnya ratusan juta, dan transaksi keuangan yang sedemikian sibuknya. Sehingga keberadaan PPNS Perpajakan menjadi sangat efektif dalam melakukan penegakan hukum di bidang perpajakan mengingat keterbatasan sumber daya POLRI. Bahkan untuk peradilan khusus pajak berdiri sendiri di luar peradilan pidana umum yang diatur dalam Undang-Undang tersendiri yaitu Undang-Undang Nomor 14 Tahun 2002 tentang Pengadilan Pajak.

Melihat tujuan dari pengawasan ketenaganukliran yaitu untuk melindungi masyarakat, pekerja, dan lingkungan hidup dari bahaya radiasi yang timbul dari pemanfaatan tenaga nuklir, maka PPNS Pertambangan pada Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) dan Pemerintahan Daerah (PEMDA) dapat menjadi "*role model*". PPNS Pertambangan terdapat pada dua instansi ini karena Izin Usaha Pertambangan (IUP) diberikan oleh KESDM atau PEMDA tergantung pada luas Wilayah Izin Usaha Pertambangan yang dimiliki oleh pemegang IUP.

Kedudukan PPNS Pertambangan sebagai penyidik diatur dalam Pasal 149 Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara (UU Minerba). Kewenangan PPNS Pertambangan berdasarkan Pasal 149 ayat (2) adalah:

- a. melakukan pemeriksaan atas kebenaran laporan atau keterangan berkenaan dengan tindak pidana dalam kegiatan usaha pertambangan;
- b. melakukan pemeriksaan terhadap orang atau badan yang diduga melakukan tindak pidana dalam kegiatan usaha pertambangan;
- c. memanggil dan/ atau mendatangkan secara paksa orang untuk didengar dan diperiksa sebagai saksi atau tersangka dalam perkara tindak pidana kegiatan usaha pertambangan;
- d. menggeledah tempat dan/ atau sarana yang diduga digunakan untuk melakukan tindak pidana dalam kegiatan usaha pertambangan;
- e. melakukan pemeriksaan sarana dan prasarana kegiatan usaha pertambangan dan menghentikan penggunaan peralatan yang diduga digunakan untuk melakukan tindak pidana;
- f. menyetel dan / atau menyita alat kegiatan usaha pertambangan yang digunakan untuk melakukan tindak pidana sebagai alat bukti;
- g. mendatangkan dan/ atau meminta bantuan tenaga ahli yang diperlukan dalam hubungannya dengan pemeriksaan perkara tindak pidana dalam kegiatan usaha pertambangan; dan/atau
- h. menghentikan penyidikan perkara tindak pidana dalam kegiatan usaha pertambangan.

Tugas dan fungsi BAPETEN dengan tugas dan fungsi KESDM c.q. Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara maupun satuan kerja perangkat daerah di bidang pertambangan pada PEMDA memiliki kesamaan dengan BAPETEN dalam beberapa aspek, yaitu sama-sama sebagai regulator yang bertugas menetapkan peraturan, mengeluarkan izin, dan melaksanakan inspeksi. Kesamaan tugas dan fungsi ditambah dengan kemiripan sifat dari objek pengawasan yang menyebabkan efektivitas PPNS Pertambangan layak menjadi pertimbangan.

Dengan tolak ukur keberhasilan dari nilai frekuensi kecelakaan tambang maka dapat dikatakan bahwa keberadaan PPNS Pertambangan sudah cukup berhasil. Angka kecelakaan kegiatan usaha pertambangan pada tahun 2011 sampai dengan tahun

2016 mengalami penurunan sebagaimana dapat dilihat dalam gambar statistik di bawah ini.



Gambar Statistik Kecelakaan Tambang 2011 s/d 2016

Sumber: <https://kliklegal.com>

Namun demikian, efektivitas PPNS Pertambangan ini hanya dilihat dari satu sisi yaitu untuk mencegah terjadinya kecelakaan tambang, sementara pengawasan di bidang pertambangan meliputi pengelolaan lingkungan hidup, reklamasi dan pasca tambang meliputi pengelolaan dan pemantauan lingkungan sesuai dengan dokumen pengelolaan lingkungan atau izin lingkungan, pemulihan, dan perbaikan lahan sesuai dengan peruntukannya; penetapan dan pencairan jaminan reklamasi; pengelolaan pascatambang; penetapan dan pencairan jaminan pascatambang; dan pemenuhan baku mutu lingkungan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan belum dapat dikatakan berhasil jika kita melihat masih carut-marutnya penegakan hukum pertambangan di beberapa daerah khususnya pemegang IUP pertambangan rakyat.

4. *Ius Constituendum*

Ius Constituendum berarti hukum yang diharapkan ada di masa mendatang. Dalam hal ini terkait dalam penegakan hukum dalam pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir.

Menurut Bagir Manan, keberhasilan suatu peraturan perundang-undangan bergantung pada penerapan dan penegakannya, apabila penegakan hukum tidak berjalan dengan baik, peraturan perundang-undangan bagaimanapun sempurnanya tidak atau kurang memberikan arti sesuai dengan tujuannya, penegakan hukum merupakan dinamisator peraturan perundang-undangan

UU Ketenaganukliran belum mengatur tentang keberadaan PPNS. Penegakan hukum di bidang ketenaganukliran terdiri atas penegakan hukum administratif dan penegakan hukum pidana. Penegakan hukum bertujuan agar perbuatan atau pengabaian yang melanggar hukum tidak memenuhi persyaratan, berhenti dan mengembalikan kepada keadaan semula (sebelum adanya pelanggaran). Penegakan hukum administratif lebih menekankan

pada perbuatan, berbeda dengan penegakan hukum pidana yang lebih menekankan pada subyek hukum. Disamping memberi ganjaran atau ganti kerugian, juga merupakan nestapa bagi pembuat dan untuk memuaskan kepada korban individual maupun kolektif.

Lebih lanjut pelanggaran hukum administratif juga bisa menjadi pelanggaran hukum pidana, jika terjadi kondisi dimana pemegang izin melakukan penyimpangan dari tujuan atau maksud dengan sengaja. Padahal pemegang izin yang "nakal" ini berurusan dengan tenaga nuklir yang memiliki risiko yang sangat nyata berbahaya bagi keselamatan manusia dan lingkungan hidup. Hal inilah yang menyebabkan keberadaan PPNS pada BAPETEN menjadi sangat diperlukan, karena nantinya ketika inspektur BAPETEN dapat dengan segera mengambil tindakan-tindakan penting yang selama ini memerlukan koordinasi terlebih dahulu dengan penyidik POLRI.

Hal ini berarti keberadaan PPNS pada BAPETEN diperlukan dalam rangka penegakan hukum demi tertib penataan pemanfaatan tenaga nuklir yang semakin berkembang luas untuk mendorong setiap upaya pemanfaatan tenaga nuklir adalah untuk kemanfaatan dan kesejahteraan masyarakat Indonesia.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian di atas, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Bahwa kedudukan PPNS dalam hukum acara pidana di Indonesia adalah sebagai penyidik khusus, sesuai dengan undang-undang organiknya, yang membantu fungsi POLRI.
2. Konsep Panca Wangsa peradilan pidana di Indonesia tidak mengenal adanya PPNS. Setiap tindakan yang dijalankan oleh PPNS harus melalui koordinasi, pengawasan, dan pembinaan POLRI.
3. Di samping manfaatnya yang sangat besar, tenaga nuklir memiliki bahaya radiasi yang sangat nyata. Koordinasi dengan penyidik POLRI dalam beberapa aspek memakan waktu yang tidak sebentar, sementara ancaman bahaya radiasi pada penyalahgunaan pemanfaatan tenaga nuklir tidak bisa menunggu lama. Untuk itu PPNS pada BAPETEN yang profesional dengan bekal pendidikan dan pembinaan di bidang ilmu hukum diperlukan dalam rangka mewujudkan keselamatan pekerja, masyarakat, dan lingkungan hidup.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih penulis ucapkan kepada Direktur Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir BAPETEN Bapak Dr. Ir. Yudi Pramono, M.Eng, Bapak Kepala Sub Direktorat Pengaturan Instalasi Nuklir Nonreaktor Direktorat Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir

BAPETEN Bapak Widi Laksmono, ST, MT, dan rekan-rekan kerja penulis di Direktorat Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir BAPETEN atas kerjasama yang baik selama ini. Semoga ke depan kualitas peraturan perundang-undangan yang dihasilkan Direktorat Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir BAPETEN menjadi lebih baik untuk mewujudkan ketenaganukliran yang selamat dan aman.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hadjon, Philipus M., *Pengantar Hukum Perizinan*, Yuridika, Surabaya(1994).
- [2] Hamzah Andi, *Penegakan Hukum Lingkungan*, Sinar Grafika, Jakarta, (2005).
- [3] Bagir Manan, *Pembinaan Hukum Nasional*, disampaikan untuk kuliah umum di Fakultas Hukum Universitas Padjadjaran, Bandung, 18 Agustus 1997.
- [4] Republik Indonesia, (1981); Lembaran Negara RepublikIndonesia Tahun 1981 Nomor 76, Undang-Undang Nomor 8 tahun 1981 tentang Hukum Acara Pidana.
- [5] Republik Indonesia, (1997); Lembaran Negara RepublikIndonesia Tahun 1997 Nomor 23, Undang-Undang Nomor 10tahun 1997 tentang Ketenaganukliran.
- [6] Republik Indonesia, (2002); Lembaran Negara RepublikIndonesia Tahun 2002 Nomor 2, Undang-Undang Nomor 2 tahun 2002 tentang Kepolisian Negara Republik Indonesia.
- [7] Republik Indonesia, (2009); Lembaran Negara RepublikIndonesia Tahun 2009 Nomor 4, Undang-Undang Nomor 4Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara.
- [8] <https://kliklegal.com>

Nama Penanya : Franky BB
Instansi : FH-UNAIR
Nama Penyaji : Doni T
Judul Makalah : **URGENSI PENYIDIK PEGAWAI NEGERI SIPIL DALAM PENEGAKAN HUKUM PENGAWASAN PEMANFAATAN TENAGA NUKLIR**
Kode Makalah : OC02

Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar

1. Apakah diperlukan struktur/lembaga penegakan hukum?
2. Apakah PPNS tersebut seperti inspektur?
3. Perlukah ada sanksi administrasi, pidana, perdata?
4. Apakah dalam makalah ini dilakukan perbandingan dengan kementerian lain dan negara lain?

Jawaban/Komentar dari Penyaji

1. Sudah da di direktorat inspeksi dan dibantu biro hukum
2. Seperti halnya PPNS pada inspektur tambang, LH dll
3. Masih dalam kajian awal
4. Belum ada

Nama Penanya : KBP Benny Iskandar
Instansi : BAKAMLA RI
Nama Penyaji : Doni T
Judul Makalah : **URGENSI PENYIDIK PEGAWAI NEGERI SIPIL DALAM PENEGAKAN HUKUM PENGAWASAN PEMANFAATAN TENAGA NUKLIR**
Kode Makalah : OC02

Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar

UU No. 10 Tahun 1997 lahir apsa 10 tahun kasus chernobyl. Tahun 2013 terjadi kasus kebocoran reaktor nuklir Fukushima Jepang akibat gempa bumi.

Dalam perkembangan situasi, bila di Indonesia terjadi kebocoran /ledakan reaktor nukir, pihak mana di dalam negri selain penyidik Polri yang akan melakukan proses penyidikan kasus nuklir tersebut?

Bakamla mendukung amandemen UU no 10 tahun 1997 untuk mencantumkan PNS ketenaganukliran.

Jawaban/Komentar dari Penyaji

Ketika terjadi kecelakaan nuklir akan dilihat terlebih dahulu kasusnya. Apabila memang karena unsur terorisme maka yang didepan adalah penyidik Polri.

OC03
**KAJIAN SISTEM INFORMASI MANAJEMEN KESELAMATAN RADIASI
 TSA 1 - INFRASTRUKTUR PENGAWASAN**

Eny Erawati, Leily Savitri

Pusat Pengkajian Sistem Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif
 e.erawati@bapeten.go.id

ABSTRAK

Kajian Sistem Informasi Manajemen Keselamatan Radiasi TSA1- Infrastruktur Pengawasan. Indonesia sebagai salah satu Negara anggota IAEA harus selalu melakukan pemutakhiran data secara terus menerus untuk menyampaikan dan memperbaiki status terkini keselamatan radiasi ke IAEA melalui *website* RASIMS. RASIMS (*Radiation Safety Information Management System*) adalah teknologi informasi berbasis web yang disediakan bagi Negara anggota dan sekretariat IAEA, untuk mengumpulkan, menyampaikan, menganalisis dan melihat informasi mengenai infrastruktur nasional keselamatan radiasi dan limbah radioaktif. Informasi RASIMS digunakan untuk mengidentifikasi status terkini, kebutuhan nasional dan regional serta disain program kerjasama teknis. TSA 1- Infrastruktur Pengawasan merupakan salah satu dari kelompok *Thematic Safety Area (TSA)* RASIMS yang bertujuan membangun infrastruktur pengawasan secara independen dan fungsional di negara anggota sehingga memenuhi standar keselamatan IAEA. TSA 1- Infrastruktur Pengawasan Indonesia pada tahun 2015 berada pada urutan ke 9 dari 34 Negara Asia Pasifik. Pada tahun 2017 BAPETEN telah melakukan pemutakhiran dengan menambahkan informasi terkini terhadap semua perubahan terkait elemen TSA1 yang signifikan dengan terbitnya Peraturan Pemerintah, Peraturan Kepala, pedoman, prosedur dan instruksi kerja yang berlaku di unit kerja internal BAPETEN serta pengembangan sistem manajemen di BAPETEN ke *website* RASIMS yang diharapkan dapat meningkatkan hasil penilaian IAEA terhadap profil keselamatan radiasi TSA1.

Kata kunci: RASIMS, Infrastruktur Pengawasan (*Regulatory Infrastructure*), TSA1.

ABSTRACT

Radiation Safety Management Information System Review (RASIMS) TSA1- Regulatory Infrastructure. Indonesia as a member country of the IAEA must constantly update its data continuously to deliver and improve the current status of radiation safety to the IAEA through the RASIMS website. RASIMS is a web-based information technology provided to Member States and the IAEA secretariat, to collect, submit, analyze and view information on national infrastructure for radiation safety and radioactive waste. RASIMS information is used to identify current status, national and regional needs and design of technical cooperation programs. TSA 1- Regulatory Infrastructure is one of RASIMS Thematic Safety Area (TSA) groups that aims to build independent and functional regulatory infrastructure in member countries to meet IAEA safety standards. TSA 1- Regulatory Infrastructure Indonesia in 2015 is ranked 9th out of 34 Asia Pacific Countries. In 2017 BAPETEN has made updates by adding up-to-date information on all significant changes related to TSA1 elements with the issuance of Government Regulations, Head Regulations, guidelines, work procedures and instructions applicable to BAPETEN internal work units and management system development at BAPETEN to the RASIMS website. It is expected to improve the results of the IAEA assessment of TSA1 radiation safety profile

Keywords: RASIMS, *Regulatory Infrastructure*, TSA1

PENDAHULUAN

UU No 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran mengamanatkan BAPETEN selaku Badan Pengawas pada pemanfaatan Tenaga Nuklir di Indonesia bertugasmelaksanakan pengawasan terhadap segala kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir. Sebagai Negara anggota IAEA, BAPETEN ikut berpartisipasi secara aktif dalam kegiatan yang dilakukan oleh IAEA salah satunya dalam kegiatan RASIMS (*Radiation Safety Management System*)

RASIMS merupakan strategi keselamatan radiasi yang dibuat oleh IAEA berupa teknologi informasi berbasis web yang disediakan bagi

Negara anggota dan sekretariat IAEA untuk mengumpulkan, menyampaikan, menganalisis dan melihat informasi mengenai infrastruktur nasional mengenai keselamatan radiasi dan limbah radioaktif yang bisa dipantau dari waktu ke waktu secara rutin. RASIMS bertujuan untuk mengetahui dan mengukur penerapan standar IAEA, mengidentifikasi kebutuhan negara anggota mengenai keselamatan radiasi dan mengukur *gap* situasi negara anggota dengan penerapan standar keselamatan internasional dan publikasi IAEA.

Informasi RASIMS dikelompokkan ke dalam kelompok *Thematic Safety Area (TSA)*, termasuk didalamnya adalah TSA 1 mengenai *Regulatory Infrastructure* yang fokus pada

bagaimana membangun infrastruktur peraturan secara independen dan fungsional di negara anggota sehingga memenuhi standar keselamatan IAEA. Tujuan dari TSA1– *Regulatory Infrastructure* adalah:

- a. Untuk mendukung infrastruktur pengawasan untuk keselamatan dan pengendalian sumber radiasi di Negara-negara Anggota.
- b. Untuk membangun dan mengembangkan mekanisme pengawasan yang memadai dan efektif untuk mengendalikan sumber radiasi di negara-negara anggota baru.
- c. Untuk menyelaraskan dan merampingkan kemampuan nasional untuk kendali pengawasan sesuai dengan persyaratan IAEA SF-1; GSR Part 1; GSR Part3, dan ketentuan Kode Etik (*code of conduct*).

Indonesia sebagai Negara anggota IAEA harus selalu melakukan pemutakhiran terhadap kondisi terkini status keselamatan radiasi terkait TSA 1 *Regulatory Infrastructure* yang kemudian oleh Koordinator Nasional (*National Project Coordinator*) disampaikan kepada IAEA melalui *website* RASIMS untuk dilakukan Penilaian.

Tujuan penulisan makalah ini memberikan gambaran pentingnya melakukan pemutakhiran profil keselamatan radiasi yang diekspresikan pada elemen-elemen infrastruktur khususnya TSA 1. Selanjutnya akan dievaluasi dan dinilai oleh tim Penilai IAEA terhadap kesesuaian atau kepatuhan antara profil yang disampaikan oleh negara anggota dengan persyaratan standar keselamatan IAEA. Disamping itu dapat diketahui peringkat Indonesia terkait TSA1 pada tingkat Regional (Asia Pasifik) dari 34 negara.

Makalah tentang kajian sistem informasi manajemen keselamatan radiasi TSA 1 - *regulatory infrastructure* meninjau dari laporan hasil kajian sistem informasi manajemen keselamatan radiasi Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif (P2STPFRZR), dokumen IAEA mengenai *thematic sistem area* (TSA) dan *Platform* RASIMS.

POKOK BAHASAN

TSA 1 - *Regulatory Infrastructure* terdiri dari 14 (empat belas) elemen dan masing masing elemen terdapat pertanyaan dari IAEA yang harus dijawab oleh Negara anggota.

Tujuh elemen pertama tentang kerangka legislatif yaitu:

1. Perundang-undangan mendeskripsikan status peraturan perundangan utama, dan kesesuaiannya atau kompatibilitasnya dengan, IAEA SF-1; GSR Part 1; GSR Part3; GSR-Part 5; GSG-1; GSG 3.3; *Code of Conduct* dan standar terkait lainnya.
2. Peraturan dan Pedoman

mendeskripsikan peraturan tentang persyaratan administrasi (notifikasi, otorisasi), reviduan kajian, persyaratan teknis mengenai perlindungan pekerja, perlindungan publik, paparan medik, limbah radioaktif, pengangkutan zat radioaktif dan kedaruratan serta menjelaskan status terkini dokumen panduan bagi pengguna

3. Badan Pengawas yang independen Negara anggota diminta memberikan informasi mengenai badan pengawas dan organisasinya (dengan struktur organisasi jika tersedia), mendefinisikan tanggung jawabnya terhadap organisasi lain, dan tingkat kemandirian dari badan pengawas.
4. Penempatan dan pelatihan staf Badan Pengawas mendeskripsikan secara rinci tentang peraturan kepegawaian, kualifikasi dan pelatihan yang diterima oleh staf badan pengawas. Selain itu juga deskripsi secara detil rencana pelatihan dasar dan pelatihan pengembangan profesi, termasuk rencana perekrutan pegawai baru.
5. Pendanaan Badan Pengawas menjelaskan mekanisme pendanaan badan pengawas kecukupan dana yang disediakan untuk staf, kantor, peralatan, kendaraan dan pelatihan. Kemudian jumlah dana mandiri yang tersedia dan dana yang diperoleh dari pelayanan perizinan dan inspeksi.
6. Koordinasi dan Kerjasama tingkat Nasional menjelaskan kerjasama dan koordinasi di tingkat nasional yang telah resmi dilakukan (seperti melalui Memorandum of Understanding) dan yang masih dipelihara dengan otoritas lainnya, organisasi intervensi, bea cukai, penegakan hukum, masyarakat profesi, perguruan tinggi dan layanan teknis yang sesuai. Selain itu juga dijelaskan mengenai tanggung jawab dan fungsi masing-masing.
7. Kerjasama Internasional menjelaskan kerjasama dengan badan pengawas lain terkait dengan keselamatan radiasi yang telah resmi dilakukan dan dikelola. Kemudian kerjasama dengan organisasi internasional yang sesuai terkait keselamatan radiasi.

elemen lainnya tentang aktivitas badan pengawas yaitu:

8. Notifikasi dan register nasional sumber radiasi mendeskripsikan sistem notifikasi, tingkat implementasinya, dan apakah sistem notifikasi tersebut berlaku untuk seluruh praktik dan sumber. Kemudian deskripsi tentang register nasional sumber radiasi yang dikelola oleh badan pengawas, termasuk kelengkapan register nasional, perangkat lunak yang digunakan, dan bagaimana badan pengawas memastikan register itu *up to date*. dan mendeskripsikan jumlah dan penggunaan tiap jenis sumber radiasi (reaktor nuklir,

akselerator, zat radioaktif, pesawat sinar-X, dan lainnya).

9. Otorisasi

Pada elemen ini menjelaskan:

- otorisasi dan penerbitan izin, persetujuan, pengecualian, pembebasan.
- apakah badan pengawas telah menerbitkan pedoman tertulis secara resmi tentang format dan isi dokumen yang harus diserahkan oleh pemohon dalam mendukung permohonan izin.
- prosedur tertulis yang formal yang diterbitkan oleh badan pengawas untuk meriviu permohonan yang diajukan. Hal ini menunjukkan bagaimana prosedur ini memastikan bahwa informasi dalam permohonan dapat mendemonstrasikan keselamatan fasilitas atau kegiatan.
- proses dan prosedur untuk persetujuan, mengubah, atau menolak permohonan izin. Jelaskan masa berlaku dan kondisi izin yang digunakan.
- proses dan prosedur untuk membekukan atau mencabut izin yang ada.
- program untuk perpanjangan izin.
- tingkat implementasi sistem perijinan pada semua tujuan pemanfaatan di negara kita.

10. Keselamatan dan Keamanan Sumber Radiasi

pada elemen ini negara anggotadi minta

- menjelaskan seluruh prosedur yang diterbitkan oleh badan pengawas (dan/atau izin lain yang relevan) tentang tingkat keselamatan yang berbeda berdasarkan kategorisasi sumber.
- menjelaskan prosedur (termasuk rencana darurat) yang telah ditetapkan dan diimplementasikan oleh badan pengawas tentang tindakan yang akan diambil sehubungan dengan sumber yang dicuri, ditemukan atau hilang dari otoritas pengawasan (misalnya dicuri, sengaja dibuang, atau jatuh dari kendaraan).
- menjelaskan prosedur dan kebijakan yang diambil oleh badan pengawas untuk menjamin keselamatan dan keamanan sumber radioaktif ketika pemegang lisensi berhenti operasi
- menjelaskan peralatan dan fasilitas, bahwa badan pengawas memiliki akses untuk penanganan, transportasi dan penyimpanan sementara sumber radioaktif dalam rangka pemulihan (recovery) dari sumber tak bertuan (orphan source) dan rawan (*vulnerable*).
- menjelaskan proses yang terjadi bahwa kewenangan pemerintah yang terkait itu bekerja sama dengan badan pengawas untuk asesmen pengaturan keselamatan dan keamanan pengangkutan sumber yang

diimpor atau diekspor saat transit dari negara ke tempat lainnya.

- menjelaskan apakah ada pengaturan dari pihak yang berwenang di pelabuhan masuk untuk memiliki lokasi yang selamat dan aman yang digunakan untuk penyimpanan sementara zat radioaktif yang tertunda impor atau eksportnya.
- menjelaskan persyaratan bahwa badan pengawas telah menerapkan keselamatan zat radioaktif selama pengangkutan.
- menjelaskan tentang program pemantauan *scrap metal*.
- menjelaskan tentang ketentuan keselamatan dan keamanan sumber *mobile*.
- menjelaskan prosedur yang diterapkan oleh badan pengawas bekerja sama dengan pihak yang berwenang lainnya untuk melacak setiap perpindahan sumber berisiko radiasi tinggi.

11. Inspeksi

- menjelaskan program inspeksi yang direncanakan secara sistematis oleh badan pengawas, termasuk frekuensi pelaksanaan dan tingkat inspeksi (terkait dengan besarnya potensi bahaya radiasi).
- menjelaskan penggunaan prosedur inspeksi.
- menjelaskan fitur standar inspeksi.
- mendeskripsikan tingkat implementasi program inspeksi di semua tujuan pemanfaatan.
- menjelaskan jenis inspeksi dengan pemberitahuan maupun tanpa pemberitahuan dalam program inspeksi.
- menunjukkan apakah inspeksi dalam menindaklanjuti kejadian kecelakaan sebagai bagian dari program inspeksi.
- mendeskripsikan penggunaan prosedur inspeksi yang ditetapkan oleh badan pengawas dan jelaskan fitur-fitur standar inspeksi yang ada.
- mendeskripsikan prosedur pelaporan pada saat inspeksi.
- menjelaskan prosedur yang telah ditetapkan untuk komunikasi formal dari hasil inspeksi dalam rangka izin.
- mendeskripsikan prosedur yang telah ditetapkan oleh badan pengawas untuk menindaklanjuti hasil inspeksi jika diperlukan tindakan korektif oleh pemegang izin.
- mendeskripsikan bagaimana temuan inspeksi menjadi umpan balik ke proses pengawasan untuk perbaikan di masa depan.

12. Penegakan Hukum

- menjelaskan kebijakan penegakan hukum yang telah dilakukan oleh badan pengawas dan jangkauan tindakan penegakan hukum.

- menunjukkan tingkat implementasi dari kebijakan penegakan hukum yang telah dilakukan.
- menjelaskan prosedur yang telah dibuat oleh badan pengawas untuk memastikan bahwa pemegang izin telah menindaklanjuti setiap tindakan perbaikan dalam jangka waktu yang ditentukan.
- menjelaskan sejauh mana inspektur dapat mengambil tindakan penegakan hukum ditempat (*on-the-spot*).

13. Manajemen Informasi

- menjelaskan sistem badan pengawas dalam memelihara dan mengambil informasi yang berkaitan dengan keamanan fasilitas dan kegiatan pada fasilitas.
- memberikan informasi tentang bagaimana sistem badan pengawas menyediakan informasi untuk masyarakat tentang keselamatan radiasi dan keamanan zat radioaktif dari aspek pemanfaatan yang diatur oleh badan pengawas, situasi intervensi, dan proses pengawasan.

14. Manajemen Mutu

menjelaskan status (pembentukan, implementasi dan lain lain) dari sistem manajemen badan pengawas yang selaras dengan tujuan keselamatan

HASIL DAN PEMBAHASAN

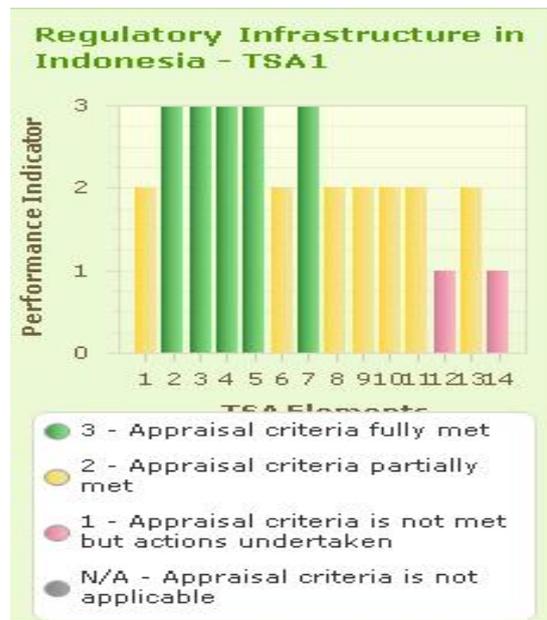
IAEA telah melakukan reviu dan penilaian kesesuaian/kepatuhan terhadap persyaratan standar keselamatan IAEA yang diunggah oleh koordinator TSA1 pada April 2015 menunjukkan peringkat Indonesia pada urutan ke 9 dari 34 negara Asia Pasifik. Pemutakhiran informasi terkini TSA 1 diunggah oleh koordinator nasional melalui website RASIMS pada Januari 2018, namun hasil pengunggahan tersebut belum dinilai oleh Tim Penilai IAEA.

Hasil penilaian IAEA ditampilkan dalam bentuk grafik profil untuk setiap TSA dengan rentang nilai sesuai kategori penilaian mulai dari 0 (nol) sampai 3 (tiga). Kategori penilaian IAEA tersebut dapat dilihat pada tabel 1

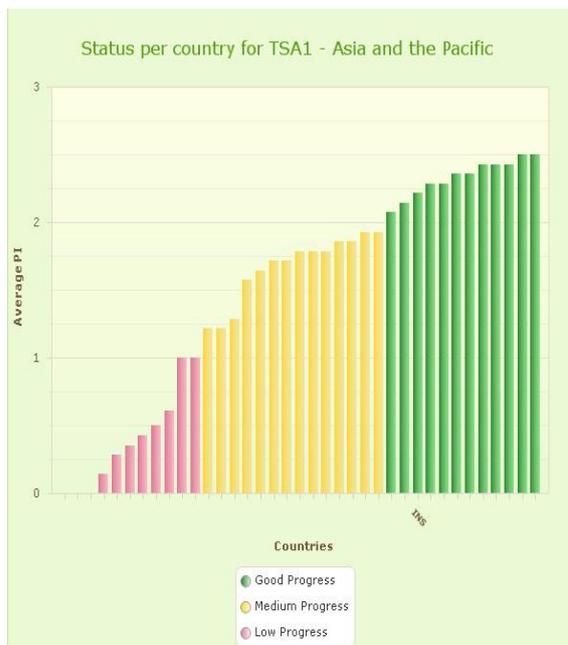
Tabel 1. Kategori penilaian IAEA pada elemen-elemen TSA

Tingkat kategori penilaian	Uraian
3	Kriteria penilaian terpenuhi semua
2	Kriteria penilaian sebagian terpenuhi dan rencana pelaksanaan tindakan untuk memenuhi kriteria sudah

	dilakukan
1	Kriteria penilaian tidak terpenuhi tetapi tindakan perbaikan sedang dilakukan
0	Kriteria penilaian tidak terpenuhi dan tidak ada upaya signifikan dalam melakukan perbaikan



Gambar 1. Profil TSA 1-Infrastruktur pengawasan Kategori Penilaian tiap elemen



Gambar 2. Profil TSA1- Infrastruktur pengawasan Indonesia dalam lingkup regional Asia Pasifik (34 negara) pada urutan ke 10

Gambar 1 memperlihatkan hasil penilaian Tim IAEA untuk TSA1-Infrastruktur pengawasan. Grafik berwarna hijau menunjukkan bahwa kriteria yang diminta oleh IAEA sudah dipenuhi oleh Indonesia dengan kategori penilaian 3. Elemen-elemen tersebut diantaranya:

- Elemen 2 Peraturan dan pedoman;
- Elemen 3 Badan pengawas yang independen;
- Elemen 4 Penempatan dan Pelatihan Staf badan Pengawas;
- Elemen 5 Pendanaan Badan Pengawas;
- Elemen 7 Kerjasama Internasional.

Grafik yang berwarna kuning berarti standar keselamatan IAEA baru sebagian yang bisa dipenuhi oleh Indonesia dengan katagori penilaian 2 diataranya:

- Elemen 1 Perundang-undangan;
- Elemen 6 Koordinasi dan Kerjasama tingkat Nasional;
- Elemen 8 Notifikasi dan register Nasional sumber radiasi;
- Elemen 9 Otorisasi;
- elemen 10 Keselamatan dan keamanan sumber radiasi;
- Elemen 11 Inspeksi;
- Elemen 13 Manajemen Informasi

Grafik yang berwarna merah muda dengan kategori penilaian 1 berarti standar IAEA belum bisa dipenuhi, akan tetapi Indonesia sudah memberlakukan ketentuan tersebut. Elemen yang termasuk dalam kategori ini adalah:

- Elemen 11 Penegakan Hukum
- Elemen 14 Manajemen Mutu

Secara keseluruhan Infrastruktur Pengawasan TSA 1 Indonesia mengalami kemajuan yang bagus, hal tersebut diperlihatkan dari hasil penilaian IAEA pada Gambar 2. Dari Negara-negara anggota Asia Pasifik yang telah menggunggah profil keselamatan radiasi TSA1 melalui *web* RASIMS, Indonesia termasuk negara yang mendapat kategori penilaian 3 dengan grafik berwarna hijau yang artinya *good progress*.

Dalam meningkatkan status profil keselamatan radiasi TSA1 khususnya pada elemen-elemen yang masih belum sepenuhnya memenuhi standar keselamatan IAEA, BAPETEN telah berupaya melakukan pemutakhiran dengan menambahkan informasi terkini diantaranya :

- menambahkan Peraturan Pemerintah baru, Peraturan Kepala baru, pedoman, prosedur dan instruksi kerja yang berlaku di BAPETEN;
- pemutakhiran informasi mengenai bentuk kerjasama dengan lembaga pemerintah lainnya dan perguruan tinggi;
- perbaikan informasi data mengenai penerbitan izin;
- pemutakhiran informasi tentang pelaksanaan inspeksi;

- informasi terkini terkait fungsi regulasi BAPETEN dalam Pengembangan Sistem diantaranya *Radiological data Monitoring System* (RDMS) , *Radiation portal Monitoring* (RPM), Sistem Monitoring Parameter Keselamatan operasi, Jaringan Dokumentasi dan Informasi Hukum (JDIH), Bapeten *Remote visual Oversight*, Sistem Akutansi Limbah Terpadu (SALT), Sistem perijinan dan inspeksi (Balis Online) , Sistem Inspeksi Radiasi dan Zat Radioaktif (Balis INFARA), Sistem Informasi data Dosis Pasien (Si-INTAN), Sertifikasi Uji kesesuaian (Balis sukses), Pelaporan Dosis Pekerja Radiasi (Balis Pendoro)
- pemutakhiran informasi upaya penegakan hukum yang telah dilakukan oleh BAPETEN.
- penjelasan terkait sistem manajemen BAPETEN dan program penilaian kesesuaian mutu internal BAPETEN.

Adapun pemutakhiran informasi tersebut diatas diperoleh dari hasil pembahasan dan diskusi antara koordinator TSA1 dengan unit kerja BAPETEN terkait mengenai elemen-elemen dalam TSA 1 yang difasilitasi oleh P2STPFRZR melalui kegiatan rapat koordinasi. Selanjutnya koordinator TSA1 menyampaikan pemutakhiran informasi tersebut ke koordinator nasional melalui sekretariat P2STPFRZR. Kemudian koordinator nasional akan mengunggah ke *web* RASIMS disertai dengan bukti dokumen (*evidence*) yang berkaitan dengan informasi yang telah diberikan.

KESIMPULAN

1. Pelaporan status terkini penerapan proteksi dan keselamatan radiasi di Indonesia melalui *web* RASIMS IAEA akan memberikan gambaran terhadap kesesuaian atau kepatuhan antara profil yang disampaikan dengan persyaratan standar keselamatan IAEA yang diekspresikan pada elemen-elemen infrastruktur khususnya TSA1-Infrastruktur Pengawasan. Disamping itu dapat mengetahui peringkat Indonesia terkait TSA1 pada tingkat Regional (Asia Pasifik) dari 34 negara.
2. Pada tahun 2015, peringkat Indonesia berada pada urutan ke-9 dari 34 negara Asia Pasifik dan termasuk negara yang mendapat kategori penilaian 3 dengan grafik berwarna hijau yang artinya memiliki kemajuan yang bagus (*good progress*).
3. Untuk meningkatkan profil keselamatan radiasi khususnya peringkat TSA1 (status tahun 2017 *published and under revision*), pada Tahun 2017 BAPETEN telah berupaya melakukan pemutakhiran dengan menambahkan informasi terkini terhadap semua elemen TSA1.
4. Perubahan terkait TSA1 sangat signifikan dengan terbitnya Peraturan Pemerintah,

Peraturan Kepala, pedoman, prosedur dan instruksi kerja yang berlaku di unit kerja internal BAPETEN; peningkatan kerjasama dengan lembaga pemerintah dan perguruan tinggi; pengembangan sistem online perizinan, inspeksi dan penegakan hukum, dan pengembangan sistem manajemen BAPETEN serta program penilaian kesesuaian mutu internal yang berlaku di BAPETEN.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Radiation Safety Management System (RASIMS), www.rasims.iaea.org.
- [2]. RASIMS Training, The RASIMS E-Learning Module, tutorials of Thematic Safety Areas and RASIMS functionality
- [3]. INTRODUCTORY TSAs 2012, Ronald Pacheco, Division of Radiation, Transport and Waste Safety Department of Nuclear Safety and Security, RASIMS coordinators Workshop
- [4]. Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif (P2STPFRZR), Kajian Sistem Informasi Manajemen (RASIMS), Jakarta, 2017.

OC04

**KAJIAN PENERAPAN ANALISIS DAMPAK PERATURAN DALAM PENYUSUNAN PERATURAN
PERUNDANGAN KETENAGANUKLIRAN**

Liliana Yetta Pandi

Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir
Badan Pengawas Tenaga Nuklir
Email:p.liliana@bapeten.go.id

ABSTRAK

KAJIAN PENERAPAN ANALISIS DAMPAK PERATURAN DALAM PENYUSUNAN PERATURAN PERUNDANGAN KETENAGANUKLIRAN. Badan Pengawas Tenaga Nuklir (Bapeten) merupakan lembaga pengawas pemanfaatan tenaga nuklir di Indonesia mempunyai tugas salah satunya adalah menyusun atau merevisi peraturan perundangan sesuai dengan amanah Undang-Undang (UU) NO. 10 tahun 1997 dan Keputusan Presiden Republik Indonesia No. 76 tahun 1998. Dalam menyusun atau merevisi peraturan perundangan ketenaganukliran, Bapeten menyusun naskah akademis sesuai UU No. 12 tahun 2011 tentang pembentukan peraturan perundang-undangan. Di dunia internasional penyusunan atau revisi undang dilakukan analisis dampak peraturan. Analisis dampak peraturan (Regulatory Impact Analysis/RIA) merupakan seperangkat metode yang digunakan untuk menentukan konsekuensi dalam penyusunan peraturan perundangan baru atau merevisi peraturan perundangan. Dalam makalah dilakukan kajian apakah terdapat perbedaan isi naskah akademis dan isi analisis dampak peraturan. Tujuan dari makalah ini menguraikan tentang hubungan antara analisis dampak peraturan dan naskah akademis karena dunia internasional dalam menyusun peraturan perundangan melakukan analisis dampak peraturan. Dari hasil kajian ini diperoleh bahwa terdapat tahapan dalam RIA yang belum dicakup dalam naskah akademis pembentukan UU terutama terkait dengan berbagai opsi aturan yang mungkin dipilih termasuk analisa terhadap masing-masing opsi tersebut dari segi manfaat dan biaya serta mekanisme pemantauan untuk mengevaluasi keberhasilan kebijakan yang dipilih dan memberi masukan informasi untuk respon pengaturan di masa mendatang.

Kata kunci: analisis dampak peraturan, naskah akademis, penyusunan peraturan

ABSTRACT

STUDY OF IMPLEMENTATION OF REGULATORY ANALYSIS IMPACT FOR THE PREPARATION OF NUCLEAR ENERGY REGULATION. Nuclear Energy Regulatory Agency (Bapeten) is a regulatory agency for the nuclear energy utilization in Indonesia which has one of the functions of preparing or revising legislation in accordance with the mandate of Act NO. 10 years 1997 and Presidential Decree of the Republic of Indonesia No. 76 year 1998. In drafting or revising the nuclear energy regulations, Bapeten compiled an academic manuscript in accordance with Act no. 12 year 2011 on the establishment of law making. In the international, to develop or to revise the regulation is performed the regulation impact analysis. Regulatory Impact Analysis (RIA) is a set of methods used to determine the consequences in the preparation of new legislation or revise legislation. In this paper is performed assessment the deference of the content of academic manuscript and the content of regulatory impact analysis. The purpose of this paper is to describe the relationship between academic manuscript and regulation impact analysis used by the international community in the preparation of regulations. From the results of this study is obtained in RIAs that have not been covered in academic manuscript of regulation development particularly about the coverage of all possible alternatives in the regulation including the benefit and cost analysis for each alternative and also monitoring mechanism to evaluate the effectiveness of the policy and recommend improvement for future regulation.

Keywords: regulation impact analysis, academic manuscript, regulation development.

PENDAHULUAN

Badan Pengawas Tenaga Nuklir yang selanjutnya disingkat Bapeten merupakan lembaga pengawas pemanfaatan energi nuklir di Indonesia mempunyai tugas salah satunya adalah menyusun peraturan perundangan ketenaganukliran sesuai yang diamanahkan dalam Undang-Undang No. 10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran Pasal 4 ayat (2) yang menyatakan bahwa badan pengawas

menyelenggarakan peraturan, perizinan dan inspeksi [1] dan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 76 Tahun 1998 tentang Badan Pengawas Tenaga Nuklir Pasal 8 yang menyatakan bahwa BAPETEN melaksanakan pembinaan dan penyusunan peraturan di bidang tenaga nuklir serta dokumentasi dan informasi hukum, bagian hukum, biro hukum dan humas penegakannya[2].

Dalam hal penyusunan peraturan, Bapeten membuat naskah akademis untuk mendukung peraturan sesuai dengan Pasal 19 Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2011 tentang Pembentukan Peraturan Perundang-undangan [3]. Di dunia internasional penyusunan atau revisi undang dilakukan analisis dampak peraturan. Untuk mengetahui apakah ada perbedaan dari isi naskah akademis dan isi analisis dampak peraturan, maka perlu dilakukan kajian apakah terdapat perbedaan isi naskah akademis dan isi analisis dampak peraturan. Karena di Indonesia, penerapan RIA dalam mempersiapkan berbagai peraturan di Indonesia masih sedikit dan RIA tidak digunakan secara optimal dalam persiapan berbagai proses peraturan/kebijakan di Indonesia.

Dalam penyusunan peraturan Kementerian Perdagangan yang masih menggunakan metode RIA, sementara BAPPENAS telah menerapkan RIA sejak 2006 namun berhenti pada tahun 2011. Departemen Dalam Negeri dan Sekretariat Jenderal DPR telah memanfaatkan RIA, tetapi tidak sepenuhnya memanfaatkannya. Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia dan Kementerian Keuangan tidak menggunakan RIA [4]. sedangkan BAPETEN melakukannya dalam bentuk naskah akademis. Tujuan dari makalah ini menguraikan tentang hubungan antara analisis dampak peraturan dan naskah akademis karena dunia internasional dalam menyusun peraturan perundangan melakukan analisis dampak peraturan.

POKOK BAHASAN

Analisis dampak peraturan menjadi bagian yang sangat penting dalam penyusunan kebijakan dan peraturan perundangan di banyak negara. Analisis dampak regulasi (selanjutnya disingkat RIA/*Regulatory Impact Agency*) adalah seperangkat metode yang digunakan untuk menentukan konsekuensi dalam penyusunan peraturan perundangan baru atau merevisi peraturan perundangan di negara Uni Eropa, Kanada, Amerika, Australia dan juga negara berkembang seperti Meksiko, Malaysia dan Filipina[4].

RIA dilakukan setiap kali keputusan yang diambil melibatkan intervensi negara dan dilakukan sebelum rancangan undang-undang ditulis. Hal ini bukan hanya analisis terhadap tindakan normatif yang diusulkan. Bahkan, RIA dapat menunjukkan bahwa tindakan non-legislatif adalah solusi terbaik untuk masalah sosial dan ekonomi tertentu. RIA dapat menjadi faktor penting dalam merancang undang-undang yang berkualitas baik karena membantu memberikan argumen yang valid untuk mendukung peraturan yang direncanakan. Secara khusus, RIA dapat membantu untuk menghindari produksi hukum yang berlebihan dan mengurangi beban birokrasi pada perusahaan.

RIA membutuhkan studi dampak dari undang-undang yang diusulkan pada subyek hukum

(masyarakat atau industri) yang berpusat pada pendekatan kuantitatif dan kualitatif. Pendekatan kuantitatif terutama pada mencari dampak berdasarkan data dan angka sementara metode kualitatif menerapkan pendekatan multi-kriteria. Singkatnya, RIA memiliki persyaratan untuk pembuatan hukum yang baik[5].

Metode RIA mencakup beberapa langkah yang diperlihatkan Gambar 1 sebagai berikut: [6] [7]

1. penetapan konteks dan tujuan kebijakan, khususnya mengidentifikasi sistematis dari masalah sebagai dasar alasan pemerintah menyusun peraturan.

Persiapan yang tepat dari analisis masalah yang merupakan kondisi kajian dampak peraturan yang baik dan pemilihan perilaku optimal lembaga publik yang baik yang terkait dengan masalah atau proses yang diberikan. Langkah ini dilakukan agar semua pihak, khususnya pengambil kebijakan, dapat melihat dengan jelas masalah apa sebenarnya yang dihadapi dan hendak dipecahkan dengan kebijakan tersebut. [8]

Pada tahap ini, sangat penting untuk membedakan antara masalah (*problem*) dengan gejala (*symptom*), karena yang hendak dipecahkan adalah masalah, bukan gejalanya.

2. Mengidentifikasi dan menetapkan semua opsi peraturan dan kebijakan lain untuk mencapai tujuan kebijakan.

Penetapan tujuan peraturan yang sesuai dengan kondisi dari pemilihan metode untuk memverifikasi atau pengukuran kinerjanya setelah masalah teridentifikasi, dan pemilihan metode untuk mencapai tujuan kebijakan yang hendak diputuskan/diambil. Penetapan tujuan regulasi ini menjadi komponen yang penting karena saat dilakukan analisis efektivitas kebijakan yang diputuskan/diambil apakah tercapai atau tidak.

Setelah masalah teridentifikasi, selanjutnya perlu ditetapkan apa sebenarnya tujuan kebijakan yang hendak diambil. Tujuan ini menjadi satu komponen yang sangat penting, karena ketika suatu saat dilakukan penilaian terhadap efektivitas sebuah kebijakan, maka yang dimaksud dengan "efektivitas" adalah apakah tujuan kebijakan tersebut tercapai atau tidak.

3. Mengidentifikasi dan mengkuantifikasi dampak dari opsi yang dipertimbangkan, termasuk efek dan manfaat serta pendistribusiannya.

Setelah masalah yang hendak dipecahkan dan tujuan kebijakan sudah jelas, langkah berikutnya adalah melihat pilihan apa saja yang ada atau bisa diambil untuk memecahkan masalah tersebut. Dalam metode RIA, pilihan atau alternatif pertama adalah "do

nothing” atau tidak melakukan apa-apa, yang pada tahap berikutnya akan dianggap sebagai kondisi awal (baseline) untuk dibandingkan dengan berbagai opsi/pilihan yang ada.

Pada tahap ini, penting untuk melibatkan *stakeholders* dari berbagai latar belakang dan kepentingan guna mendapatkan gambaran seluas-luasnya tentang opsi/pilihan apa saja yang tersedia. Pengembangan strategi penegakan hukum dan kepatuhan untuk setiap opsi, termasuk evaluasi efektivitas dan efisiensi strategi. Tahap analisis dampak peraturan ini diberikan untuk analisis kemungkinan untuk mencapai tujuan yang diidentifikasi selama proses pada peraturan yang diusulkan. RIA kemudian mengidentifikasi solusi yang tersedia dan mengukur potensi keefisienan solusi dalam mencapai tujuan yang direncanakan, melihat pilihan apa saja yang ada atau dapat diambil untuk memecahkan masalah tersebut.

4. Pengembangan strategi

Langkah ini diambil berdasarkan kesadaran bahwa sebuah kebijakan tidak bisa berjalan secara otomatis setelah kebijakan tersebut ditetapkan atau diambil. Dengan demikian, pemerintah dan pihak lain yang terkait tidak hanya tahu mengenai apa yang akan dilakukan, tetapi juga bagaimana akan melakukannya.

Pengembangan mekanisme pemantauan untuk mengevaluasi keberhasilan kebijakan yang diajukan dan memberi masukan informasi tersebut ke dalam pengembangan tanggapan peraturan di masa mendatang.

5. Pengembangan mekanisme pemantauan

Mekanisme pemantauan dikembangkan untuk mengevaluasi keberhasilan mengusulkan kebijakan dan memberi masukan informasi ini ke dalam keputusan pengaturan di masa mendatang (harus dicatat bahwa rancangan langkah-langkah tersebut mungkin sebelumnya diserahkan kepada konsultasi publik)[9].

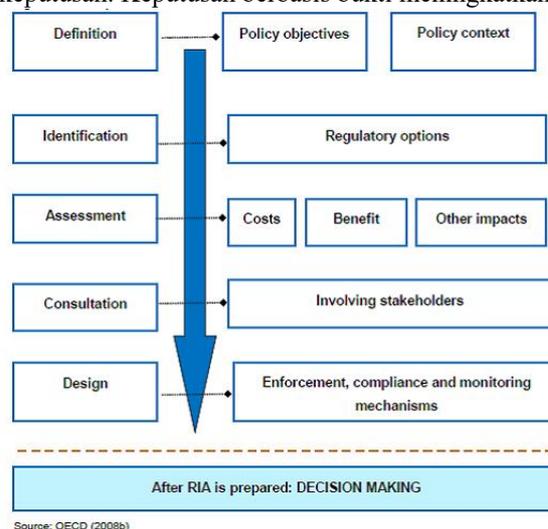
6. Konsultasi publik

Konsultasi publik dimasukkan secara sistematis untuk memberikan kesempatan bagi semua pemangku kepentingan untuk berpartisipasi dalam proses penyusunan peraturan. Hal ini memberikan informasi penting tentang biaya dan manfaat dari semua alternatif, termasuk keefektifannya. Untuk mendapatkan opini, informasi, dan data dari pihak yang terlibat dalam penerapan peraturan yang dapat meningkatkan kualitas secara signifikan dari solusi yang direncanakan, bahkan jika intervensi itu ditinggalkan. Investigasi pendapat dari mitra publik yang menawarkan informasi tentang solusi alternatif yang mana paling disukai oleh komunitas. Konsultasi ini juga membantu memperkuat legitimasi demokratis dari tindakan

administratif dan meningkatkan tanggung jawab bersama untuk tindakan yang dilakukan.

Pada tahap ini, penting untuk melibatkan *stakeholders* dari berbagai latar belakang dan kepentingan guna mendapatkan gambaran seluas-luasnya tentang opsi/pilihan apa saja yang tersedia. Partisipasi masyarakat di semua proses. Semua tahapan harus dilakukan dengan melibatkan berbagai komponen yang terkait, baik secara langsung maupun tidak langsung, dengan kebijakan yang disusun. Komponen masyarakat yang mutlak harus didengar suaranya adalah mereka yang akan menerima dampak adanya kebijakan tersebut (*key stakeholder*).

Proses menghasilkan RIA harus iteratif dan terbuka untuk masukan dari konsultasi publik. Agar menjadi efektif, sistem RIA harus diintegrasikan ke dalam proses kebijakan sehingga alasan dan diskusi mengenai peraturan didukung oleh informasi empiris yang membantu pembuat kebijakan dalam membuat keputusan. Keputusan berbasis bukti meningkatkan



Gambar 1 Langkah/metode RIA [6,7]

Proses menghasilkan RIA harus iteratif dan terbuka untuk masukan dari konsultasi publik. Agar menjadi efektif, sistem RIA harus diintegrasikan ke dalam proses kebijakan sehingga alasan dan diskusi mengenai peraturan didukung oleh informasi empiris yang membantu pembuat kebijakan dalam membuat keputusan. Keputusan berbasis bukti meningkatkan kemungkinan bahwa tanggapan peraturan yang diusulkan akan mencapai tujuan kebijakan dengan cara yang paling efisien tanpa pengenaan biaya ekonomi yang tidak perlu atau tidak diinginkan [7]. Secara garis besar dari Gambar 1 dan uraian di atas, dalam hal pertanyaan untuk langkah penting RIA dapat dilihat pada Tabel 1. Pertanyaan untuk Langkah RIA.

Pada UU No 12 tahun 2011, naskah akademik yang dipersyaratkan dalam menyusun peraturan perundangan adalah naskah hasil

penelitian atau pengkajian hukum dan hasil penelitian lainnya terhadap suatu masalah tertentu yang dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah mengenai pengaturan masalah tersebut dalam suatu Rancangan Undang-Undang, Rancangan Peraturan Daerah Provinsi, atau Rancangan Peraturan Daerah Kabupaten/Kota sebagai solusi terhadap permasalahan dan kebutuhan hukum masyarakat.

Isi proses naskah akademik berdasarkan UU No. 12 tahun 2011 adalah sebagai berikut [3]:

1. Pendahuluan

Pendahuluan memuat latar belakang, sasaran yang akan diwujudkan, identifikasi masalah, tujuan dan kegunaan, serta metode penelitian. Pada dasarnya identifikasi masalah dalam suatu Naskah Akademik mencakup 4 (empat) pokok masalah, yaitu sebagai berikut: 1) Permasalahan apa yang dihadapi dalam kehidupan berbangsa, bernegara, dan bermasyarakat serta bagaimana permasalahan tersebut dapat diatasi. 2) Mengapa Bab ini dapat diuraikan dalam beberapa sub bab berikut: A. Kajian teoretis. B. Kajian terhadap asas/prinsip yang terkait dengan penyusunan norma. Analisis terhadap penentuan asas-asas ini juga memperhatikan berbagai aspek bidang kehidupan terkait dengan Peraturan Perundang-undangan yang akan dibuat, yang berasal dari hasil penelitian. Kajian terhadap praktik penyelenggaraan, kondisi yang ada, serta permasalahan yang dihadapi masyarakat. D. Kajian terhadap implikasi penerapan sistem baru yang akan diatur dalam Undang-Undang atau Peraturan Daerah terhadap aspek kehidupan masyarakat dan dampaknya terhadap aspek beban keuangan negara.

2. Evaluasi dan Analisis Peraturan Perundang-Undang terkait.

Bab ini memuat hasil kajian terhadap Peraturan Perundang-undangan terkait yang memuat kondisi hukum yang ada, keterkaitan Undang-Undang dan Peraturan Daerah baru dengan Peraturan Perundang-undangan lain, harmonisasi secara vertikal dan horizontal, serta status dari Peraturan Perundang-undangan yang ada, termasuk Peraturan Perundang-undangan yang dicabut dan dinyatakan tidak berlaku serta Peraturan Perundang-undangan yang masih tetap berlaku karena tidak bertentangan dengan Undang-Undang atau Peraturan Daerah yang baru

4. Landasan Filosofis, Sosiologis, dan Yuridis.

Landasan filosofis merupakan pertimbangan atau alasan yang menggambarkan bahwa peraturan yang dibentuk mempertimbangkan pandangan hidup, kesadaran, dan cita hukum yang meliputi suasana kebatinan serta falsafah bangsa Indonesia yang bersumber dari Pancasila dan Pembukaan Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945.

Landasan sosiologis merupakan pertimbangan atau alasan yang

menggambarkan bahwa peraturan yang dibentuk untuk memenuhi kebutuhan masyarakat dalam berbagai aspek. Landasan sosiologis sesungguhnya menyangkut fakta empiris mengenai perkembangan masalah dan kebutuhan masyarakat dan negara.

Landasan yuridis merupakan pertimbangan atau alasan yang menggambarkan bahwa peraturan yang dibentuk untuk mengatasi permasalahan hukum atau mengisi kekosongan hukum dengan mempertimbangkan aturan yang telah ada, yang akan diubah, atau yang akan dicabut guna menjamin kepastian hukum dan rasa keadilan masyarakat. Landasan yuridis menyangkut persoalan hukum yang berkaitan dengan substansi atau materi yang diatur sehingga perlu dibentuk Peraturan Perundang-Undang yang baru.

5. Jangkauan, Arah Pengaturan, dan Ruang Lingkup Materi Muatan Undang-Undang, Peraturan Daerah Provinsi, Atau Peraturan Daerah Kabupaten/Kota.

Materi didasarkan pada ulasan yang telah dikemukakan dalam bab sebelumnya. Selanjutnya mengenai ruang lingkup materi pada dasarnya mencakup: A. ketentuan umum memuat rumusan akademik mengenai pengertian istilah, dan frasa; B. materi yang akan diatur; C. ketentuan sanksi; dan D. ketentuan peralihan

6. Penutup.

Bab penutup terdiri atas subbab simpulan dan saran. A. Simpulan memuat rangkuman pokok pikiran yang berkaitan dengan praktik penyelenggaraan, pokok elaborasi teori, dan asas yang telah diuraikan dalam bab sebelumnya B. Saran memuat antara lain: 1. Perlunya pemilahan substansi Naskah Akademik dalam suatu Peraturan Perundang-undangan atau Peraturan

Tabel 1 Pertanyaan untuk langkah RIA

1. Uraian status quo	<ul style="list-style-type: none"> • Jelaskan fitur-fitur utama dari situasi saat ini. • Identifikasi undang-undang atau peraturan yang ada. • Jelaskan intervensi atau program lain yang ada. • Jelaskan setiap keputusan pemerintah terkini yang dibuat. • Jelaskan kondisi pasar yang berlaku.
2. Identifikasi sifat dan skala masalah	<ul style="list-style-type: none"> • Masalahnya dari sudut pandang masyarakat. • Menilai sifat dan ukuran masalah dan hasil jika tidak ada intervensi pemerintah lebih lanjut. • Identifikasi biaya dan manfaat status quo. • memperhitungkan biaya dan manfaat secara mendalam. • Siapa yang terpengaruh oleh hasil buruk dan seberapa luas hasilnya? • Apa penyebab masalah (bukan hanya gejala)? • Mengapa masalah tidak ditangani oleh kebijakan?
3. Tentukan tujuan yang dicapai	<ul style="list-style-type: none"> • Apa hasil dan tujuan yang dicapai dalam kaitannya dengan masalah yang diidentifikasi? • Tentukan tujuan secara luas untuk memungkinkan pertimbangan semua solusi yang relevan. • Apakah tujuan dibatasi (misalnya, waktu atau anggaran)? • Tujuan harus fokus pada hasil yang dicari - bukan cara mencapainya. • Mungkin ada lebih dari satu tujuan kebijakan, atau konflik antara dua tujuan, atau satu tujuan dapat dinilai lebih berat daripada yang lain .
4. Identifikasi opsi yang layak	<ul style="list-style-type: none"> • Identifikasi berbagai opsi atau pendekatan yang tersedia untuk mencapai tujuan dan mengatasi masalah (baik peraturan maupun non-peraturan/kebijakan)
5. Analisis Opsi	<ul style="list-style-type: none"> • Analisis biaya, manfaat, dan risiko dari setiap opsi. • Bagaimana setiap opsi akan mengubah status quo? • Identifikasi berbagai dampak untuk setiap opsi - memberikan uraian kualitatif. Identifikasi ini termasuk potensi dampak ekonomi, kesehatan dan sosial, kepatuhan, lingkungan, budaya, dan peraturan. Terdapat dampak langsung dan tidak langsung (mengalir). • nilai dampaknya. Jika tidak dapat mengukur dampaknya, jelaskan dampaknya secara kualitatif, dan sebutkan bukti apa pun atau asumsi yang dibuat. • Manfaat / biaya netto harus dinyatakan untuk setiap opsi. • Menganalisis insiden dampak - siapa yang menanggung biaya dan manfaat? Apakah ada dampak yang tidak proporsional? • Identifikasi dan analisis risiko untuk setiap opsi. Jelaskan bagaimana peraturan/kebijakan ini membebani risiko yang berbeda. Bagaimana • kemungkinan risiko itu yang bisa terjadi dan apa kemungkinan besarnya risiko?

HASIL DAN PEMBAHASAN

BAPETEN dalam merevisi Undang-undang melakukan penyusunan naskah akademis misal naskah akademis untuk merevisi UU No. 10 tahun 1997 tentang ketenaganukliran yang isinya menerapkan naskah akademis sesuai dengan UU No. 12 tahun 2011.

Pemenuhan RIA dalam naskah akademis revisi UU No. 10 tahun 1997 [12] tertuang pada Tabel 2 di bawah ini.

Berdasarkan tabel 2 di bawah ini terdapat tahapan/langkah RIA yang belum semuanya dicakup dalam naskah akademis RUU ketenaganuklliran. Langkah tersebut adalah:

1. Mengidentifikasi dan menetapkan semua opsi peraturan dan kebijakan lain untuk mencapai tujuan kebijakan yang akan ditetapkan.

Tahapan yang paling mendekati tahap ini dalam penyusunan Undang-Undang adalah dalam penyusunan naskah akademis dimana terdapat tahap Evaluasi dan Analisis Peraturan Perundang-undangan Terkait. Namun tahap ini naskah akademis hanya mengevaluasi peraturan yang ada dalam rangka menggambar tingkat sinkronisasi, harmonisasi Peraturan Perundang-undangan yang ada serta posisi dari Undang-

Tabel 2 Perbedaan RIA dan Naskah Akademis [8]

No	RIA [6,7]	Naskah Akademis Revisi UU No. 1997[3,12]
1.	Penetapan konteks dan tujuan kebijakan, khususnya identifikasi sistematis dari masalah yang memberikan dasar untuk tindakan oleh pemerintah.	Penetapan konteks dan tujuan, khususnya identifikasi masalah diuraikan pada bab pendahuluan. Penyusunan RUU yang meliputi: a. latar belakang dan tujuan penyusunan; b. sasaran yang akan diwujudkan; c. pokok-pokok pikiran, lingkup atau obyek yang akan diatur; dan d. jangkauan dan arah pengaturan.
2.	Penetapan tujuan peraturan	Penetapan tujuan, identifikasi diuraikan pada bab I pendahuluan
3.	Identifikasi dan kuantifikasi dampak, termasuk analisis biaya dan manfaat	Sedangkan kuantifikasi dampak, termasuk analisis biaya dan manfaat serta pengembangan strategi diuraikan dari Bab I sampai dengan bab V Jangkauan, Arah Pengaturan, dan Ruang Lingkup Materi Muatan UU, Peraturan Daerah Provinsi, Atau Peraturan Daerah Kabupaten/Kota serta Bab VI Penutup yang berisi kesimpulan dan saran.
4.	Pengembangan strategi	
5.	Pengembangan mekanisme pemantauan	Pembahasan Rancangan Undang-Undang dilakukan oleh DPR bersama Presiden atau menteri yang ditugasi.
6.	Konsultasi public	penyusunan RUU, pembahasan RUU, hingga Pengundangan UU memberikan informasi dan/atau memperoleh masukan masyarakat serta para pemangku kepentingan. Masyarakat berhak memberikan masukan secara lisan dan/atau tertulis dalam Pembentukan Peraturan Perundang-undangan. Juga dilakukan FGD (<i>Focus group discussion</i>) merupakan salah satu metode riset kualitatif yang paling terkenal selain teknik wawancara. FGD adalah diskusi terfokus dari suatu group untuk membahas suatu masalah tertentu.

- Undang untuk menghindari terjadinya tumpangtindih pengaturan. Sehingga tahap ini tidak mengidentifikasi semua alternatif atau opsi peraturan yang mungkin diterapkan sesuai Konsep RIA [8]
2. Mengidentifikasi dan mengkuantifikasi dampak dari opsi yang dipertimbangkan, termasuk efek biaya, manfaat dan pendistribusian. Yang dikaji dalam naskah akademik RUU revisi UU No. 10 tahun 1997 hanyalah opsi yang sudah ditentukan dalam suatu pengajuan peraturan perundang-undangan, bukan semua opsi yang bisa dipilih. Identifikasi manfaat dan biaya juga tidak dijelaskan karena identifikasi manfaat hanya untuk pemerintah saja (dengan menambah PNBP), belum menganalisis biaya dan manfaat yang menyangkut stakeholder [12].
 3. Membangun strategi penegakan hukum dan kepatuhan dari setiap opsi, termasuk mengevaluasi efektivitas dan efisiensi tiap pilihan. Karena penyusunan peraturan perundang-undangan tidak berdasarkan kepada berbagai opsi, sehingga strategi penegakan hukum yang dibangun berdasarkan kebijakan yang telah ditentukan akan diatur. Pada naskah akademik RUU ketenaganukliran masih belum menguraikan strategi penegakan hukum dan kepatuhan dari setiap opsi.
 4. Membangun mekanisme pemantauan untuk mengevaluasi keberhasilan kebijakan yang dipilih dan memberi masukan informasi untuk respon pengaturan di masa mendatang. Pada naskah akademik RUU ketenaganukliran tidak ada mekanisme monitoring yang jelas. Tidak ada mekanisme monitoring yang jelas yang diatur dalam naskah akademis Rancangan Undang-undang ketenaganukliran, yang ada hanya pembahasan dilakukan oleh DPR dan kementerian/instansi terkait.

KESIMPULAN

Dari pembahasan yang dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. RIA adalah seperangkat metode yang digunakan untuk menentukan konsekuensi dalam penyusunan peraturan perundangan baru atau merevisi peraturan perundangan untuk mendapatkan keputusan penetapan peraturan yang efektif dan efisien.
2. Naskah akademis adalah kajian yang digunakan dalam menyusun atau merevisi peraturan.
3. Naskah akademik RUU ketenaganukliran hanya menerapkan Undang-Undang nomor 12 tahun 2011 tentang Pembentukan Peraturan Perundang-undangan merupakan pedoman dalam penyusunan peraturan perundang-undangan di Indonesia, belum seluruhnya menerapkan RIA.
4. Naskah akademik RUU ketenaganukliran hanya membahas analisis manfaat dan biaya hanya dari

segi keuntungan pembuat peraturan belum mencakup *manfaat dan biaya untuk stakeholder*.

5. Dalam naskah akademik RUU ketenaganukliran belum menguraikan tentang solusi dari identifikasi masalah jua mekanisme pemantauan untuk evaluasi keberhasilan RUU ketenaganukliran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Undang-Undang No. 10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, Jakarta.
- [2] Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 76 Tahun 1998 tentang Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jakarta.
- [3] Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2011 tentang Pembentukan Peraturan Perundang-undangan, Jakarta.
- [4] Kurniawan T., Muslim, M.A., Sakapurnama, E., (2018) Regulatory impact assessment and its challenges: An empirical analysis from Indonesia (Kasetsart Journal of Social Sciences 39 (105e108) © 2017 Kasetsart University. Publishing services by Elsevier B.V. article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).
- [5] Hassan, K.H., (2015) Regulatory Impact Analysis in Legal Research: Way Forward for Malaysian Legislation, Mediterranean Journal of Social Sciences, Vol 6 No 3, Italia
- [6] Ministry Of Economy, (2009) Guidelines for the Regulation Impact Assessment, <http://www.legislationline.org/documents/id/15154>, Polandia
- [7] OECD, (2008) Building an Institutional Framework for Regulatory Impact Analysis (RIA): Guidance for Policy Makers Version 1.1 2008 Regulatory Policy Division Directorate for Public Governance and Territorial Development, p.16-17
- [8] Suska, (2012) Prinsip *Regulatory Impact Assessment* dalam Proses Penyusunan Peraturan Perundang-Undang Sesuai UU Nomor 12 Tahun 2011, Jurnal Konstitusi, Volume 9, Nomor 2, Jakarta.
- [9] ANACOM (2015) ANACOM Regulatory Impact Analysis Objectives, Methodologies and Relevant Case Studies in the Electronic Communications Sector
- [10] www.treasury.govt.nz/publications/guidance/regulatory/impactanalysis Mumford, P. 2011
- [11] <http://ips.ac.nz/publications/files/f34b30a11f9.pdf>[A Quick Guide to Regulation, www.allenandclarke.co.nz
- [12] Naskah akademis rancangan UU revisi UU No. 10 tahun 1997 (2015), Jakarta

Nama Penanya : Franky BB
Instansi : FH-UNAIR
Nama Penyaji : Liliana
Judul Makalah : **KAJIAN PENERAPAN ANALISIS DAMPAK PERATURAN DALAM
PENYUSUNAN PERATURAN PERUNDANGAN KETENAGANUKLIRAN**
Kode Makalah : OC04

Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar

Apakah RIA sifatnya wajib atau pilihan?

Jawaban/Komentar dari Penyaji

Sifatnya pilihan, namun pada tahun 2010 BAPENAS mengahdiri pertemuan internasional tentang ROA dan memperkenalkan SOP tentang RIA di BAPENAS.

Agar naskah akademis lengkap, sebaiknya apa yang ada di RIA dimasukkan ke naskah akademis

OC05

EVALUASI PERATURAN PERUNDANG-UNDANGAN MENGENAI KEMANDIRIAN BAPETEN

Reno Alamsyah

Pusat Pengkajian Sistem Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir – P2STPIBN BAPETEN.

email: r.alamsyah@bapeten.go.id

ABSTRAK

EVALUASI KEMANDIRIAN BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR. Telah dilakukan suatu kajian untuk mengevaluasi kemandirian BAPETEN dalam peraturan penundang-undangan (PUU) sesuai dengan standar IAEA. Metode yang digunakan dalam kajian ini bersifat deskriptif, analitik dan kualitatif. Kajian dimulai dengan konsep kemandirian BAPETEN berdasarkan PUU yang ada dan standar IAEA. Kemudian dilakukan analisis celah antara uraian persyaratan dalam standar IAEA dengan PUU. Diulas juga analisis dampak apabila persyaratan-persyaratan IAEA yang belum terpenuhi akan ditindak-lanjuti. Kajian ini menyimpulkan bahwa PUU yang ada cukup menjamin kemandirian BAPETEN dengan beberapa catatan dari aspek politis dan teknis. Secara politis, BAPETEN berpotensi memiliki keterbatasan kemandirian dalam hal pengawasan atas lembaga pemerintah yang memanfaatkan tenaga nuklir dan berada di bawah koordinasi Kemenristek. Secara teknis, peningkatan kemandirian BAPETEN terkait juga dengan upaya meningkatkan transparansi dan keterbukaan, serta dalam pengembangan SDM.

Kata kunci: kemandirian, badan pengawas, peraturan perundang-undangan.

ABSTRACT

AN EVALUATION ON LEGISLATION AND REGULATION ON THE INDEPENDENCY OF NUCLEAR ENERGY REGULATORY AGENCY OF INDONESIA. A study has been carried out to evaluate the independency of Nuclear Energy Regulatory Agency (BAPETEN) provided in the national legislation and regulations in accordance with IAEA standards. The method used in this study is descriptive, analytical and qualitative in nature. The review begins with the concept of BAPETEN independency based on existing national legislation and regulations and the IAEA standards. Then a gap analysis between the description of requirements in the IAEA standard and the relevant national legislation and regulations was conducted. . An impact analysis were also performed should the unfulfilled IAEA requirements be followed up. This study concludes that the existing national legislation and regulations is sufficient to ensure the independence of BAPETEN with some notes from the political and technical aspects. Politically, BAPETEN has a potential independency problem in terms of oversight of government bodies, which are under the coordination of Ministry of Science, Technology and Higher Education, utilizing nuclear energy. Technically, BAPETEN's enhancement of independence is also linked to the measures to improve transparency and openness, as well as in human resource development.

Keywords: independency, regulatory body, legislation and regulations

I. PENDAHULUAN

Nilai-nilai dasar Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) telah dituangkan dalam Rencana Strategis (Renstra) BAPETEN 2015-2019 [1]. Nilai-nilai tersebut adalah: Mandiri, Integritas, Profesionalisme, Transparan, Pelayanan Prima, dan Gotong Royong. Di sini BAPETEN pertama menyebutkan kemandirian (*independency*), sehingga merupakan aspek yang dianggap paling penting.

Mengenai kemandirian ini, Renstra tersebut menjelaskan tekad jajaran pimpinan dan staf BAPETEN melalui pernyataan bahwa: “Kami menjunjung tinggi kemandirian, baik secara kelembagaan, organisasi, maupun individu. Dalam semua hal yang berkaitan dengan pekerjaan pengawasan pemanfaatan ketenaganukliran, kami bebas dalam sikap mental, dan penampilan dari gangguan pribadi, ekstern, dan/atau organisasi yang dapat mempengaruhi kemandirian” [1].

Uraian tentang kemandirian BAPETEN sebagaimana dimuat dalam Renstra itu tentunya perlu dievaluasi dan dikembangkan. Sebab, visi BAPETEN yang juga dituangkan dalam Renstra ini menyatakan kehendak yang kuat untuk “Menjadi Badan Pengawas Tenaga Nuklir Kelas Dunia”, dan salah satu konsekuensi logis dari menjadi organisasi kelas dunia adalah bahwa produk yang dihasilkan dan proses yang dijalankan haruslah sesuai dengan standar internasional. Dalam hal ini, ada beberapa standar IAEA yang mengulas persyaratan kemandirian badan pengawas, dan memberi pedoman untuk memenuhi persyaratan tersebut. Di sisi lain, *Convention on Nuclear Safety* [2] dan *Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management* [3], juga mensyaratkan dibentuknya badan pengawas yang mandiri bagi negara pihak yang mengoperasikan instalasi nuklir dan yang mengelola bahan bakar bekas serta limbah radioaktif, termasuk Indonesia.

Dengan demikian, persoalan yang diajukan pada makalah ini adalah: Bagaimana pentingnya kemandirian badan pengawas dan bagaimana melakukan evaluasi atas kemandirian BAPETEN berdasarkan standar internasional? Hal ini sangat penting untuk dilakukan guna mempertahankan dan mengembangkan kemandirian BAPETEN itu sendiri.

II. POKOK BAHASAN

II.1 Umum

Metode yang digunakan dalam kajian ini bersifat deskriptif, analitik dan kualitatif. Pada bagian awal diuraikan konsep kemandirian BAPETEN berdasarkan peraturan perundang-undangan (PUU) yang ada. Kemudian kajian dilanjutkan dengan menguraikan berbagai standar IAEA mengenai kemandirian, serta kaitannya satu sama lain. Terakhir dilakukan analisis celah (*gap analysis*) antara uraian persyaratan dalam standar IAEA dengan PUU. Diulas juga analisis dampak apabila persyaratan-persyaratan IAEA yang belum terpenuhi akan ditindak-lanjuti.

II.2 PUU Nasional

Beberapa PUU yang mengatur kemandirian BAPETEN dan dibahas pada makalah ini antara lain adalah sebagai berikut:

1. UU No. 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran (UU No. 10/1997) [4];
2. Perpres No. 145 Tahun 2015 tentang Perubahan Kedelapan atas Keputusan Presiden No. 103 Tahun 2001 tentang Kedudukan, Tugas, Fungsi, Kewenangan, Susunan Organisasi, dan Tata Kerja Lembaga Pemerintah Non Kementerian (Perpres No. 145/2015) [5];
3. Surat Edaran Setkab No. 1 Tahun 2015 tentang Pengajuan Usul Pengangkatan, Pemindahan dan Pemberhentian dari dan dalam Jabatan Pimpinan Tinggi Utama dan Pimpinan Tinggi Madya (SE Setkab No. 1/2015) [6]; dan,
4. Peraturan Kepala BAPETEN No. 8 Tahun 2017 tentang Perubahan atas Peraturan Kepala BAPETEN No. 3 Tahun 2015 Tentang Rencana Strategis BAPETEN Tahun 2015-2019 (Perka No. 8/2017) [1].

Selain itu dibahas juga beberapa PUU terkait keuangan, SDM dan komunikasi publik.

II.3 Dokumentasi IAEA

Standar internasional yang digunakan sebagai acuan dalam kajian ini adalah standar IAEA, dimulai dari tingkat yang tertinggi dan bersifat kebijakan hingga yang terendah dan bersifat teknis. Dokumen *Safety Fundamentals* IAEA SF-1 *Fundamental Safety Principles* [7] adalah standar induk IAEA, dan dokumen ini juga mensyaratkan pembentukan badan pengawas yang mandiri. SF-1 diuraikan ke dalam beberapa standar di tingkat strategi umum, yaitu seri *General Safety Requirements* (GSR) dan *Specific Safety Requirements* (SSR). IAEA telah menerbitkan 7 GSR, mulai dari GSR Part 1 hingga GSR Part 7. Karena kemandirian bersifat umum, maka ketujuh dokumen ini akan diulas kandungannya dalam memberi persyaratan kemandirian badan pengawas.

Turunan dari dokumen GSR adalah pedoman-pedoman yang bersifat strategis tematik berdasarkan jenis fasilitas atau kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir. Dengan demikian, kajian ini kemudian memaparkan ulasan kemandirian terkait dengan pengawasan secara tematik. Untuk pengawasan PLTN kajian akan mengacu pada *Specific Safety Guide* No. SSG-16 *Establishing the Safety Infrastructure for a Nuclear Power Programme* [8], untuk reaktor riset merujuk pada *Code of Conduct on the Safety of Research Reactors* [9], dan untuk sumber radioaktif mengacu pada *Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources* [10].

Pada hierarki terendah, tahun 2018 ini IAEA menerbitkan pedoman teknis yang bersifat operasional. Dalam hal ini, kajian akan merujuk pada *General Safety Guide* No. GSG-12 *Organization, Management and Staffing of the Regulatory Body for Safety* [11]. Dari standar ini akan dirangkum beberapa parameter yang menjadi persyaratan kemandirian badan pengawas. Parameter itulah yang kemudian akan digunakan dalam mengevaluasi PUU yang mengatur kemandirian BAPETEN.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

III.1 PUU Nasional

Pasal 4(1) UU No. 10/1997 [4] menyatakan bahwa Pemerintah membentuk Badan Pengawas, yang dalam hal ini adalah BAPETEN, yang berada di bawah dan bertanggung jawab langsung kepada Presiden, yang bertugas melaksanakan pengawasan

terhadap segala kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir. Kedudukan dan pertanggung-jawaban yang langsung kepada lembaga pemerintahan tertinggi negara seperti ini, yaitu presiden, menunjukkan bahwa BAPETEN secara politis dapat dikatakan mandiri. Karena UU ini menyatakan juga bahwa tugas BAPETEN adalah menyelenggarakan peraturan, perizinan dan inspeksi, maka keputusan-keputusan yang dibuat BAPETEN dalam rangka tugas pengawasan tersebut hanya dipertanggung-jawabkan kepada Presiden.

Di sisi lain, Perpres No. 145/2015 [5] menyatakan bahwa BAPETEN dikoordinasikan oleh Kementerian Ristek dan Teknologi, yang saat ini adalah Kementerian Ristek, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi (Kemenristekdikti). Perpres ini juga menjelaskan bahwa koordinasi tersebut meliputi “koordinasi dalam perumusan kebijakan yang berkaitan dengan instansi pemerintah lainnya serta penyelesaian permasalahan yang timbul dalam pelaksanaan kebijakan dimaksud”. Karena BATAN juga dikoordinasikan oleh Kemenristekdikti, maka kebijakan pengawasan BAPETEN untuk BATAN juga termasuk dalam lingkup yang dikoordinasikan oleh Kemenristekdikti. Hal ini dapat menimbulkan pertanyaan mengenai kemandirian BAPETEN dalam pengawasan BATAN.

Suatu studi yang dilakukan Penulis dkk. [12] mengungkapkan bahwa menurut SE Setkab No. 1/2015) [6]: pengajuan usul pengangkatan, pemindahan, dan pemberhentian Pimpinan Tinggi Utama dan Madya di BAPETEN maupun BATAN disampaikan oleh Pimpinan Kemenristekdikti. Studi ini antara lain menyimpulkan bahwa ada beberapa peluang untuk meningkatkan kemandirian BAPETEN, antara lain dengan meninjau kembali posisi BAPETEN dalam struktur pemerintahan agar tidak berada di bawah suatu kementerian yang di bawahnya terdapat pemegang izin BAPETEN.

Walaupun demikian, penjelasan lebih jauh mengenai kemandirian BAPETEN telah diuraikan pada Lampiran IB mengenai Kebijakan Pengawasan BAPETEN dalam Renstra BAPETEN atau Perka No. 8/2017. Dikatakan bahwa “keputusan pengawasan BAPETEN bebas dari pengaruh yang tidak pantas yang dapat membahayakan keselamatan dan keamanan seperti tekanan terkait situasi politik yang berubah atau kondisi ekonomi atau tekanan dari instansi pemerintah, organisasi eksternal, penjual dan pemasok lainnya serta pihak berkepentingan”. BAPETEN juga berkomitmen untuk mencegah

konflik kepentingan; menetapkan komunikasi secara mandiri kepada masyarakat terkait persyaratan, keputusan, pendapat pengawasan serta dasarnya; secara mandiri berhubungan dengan badan penawas negara lain dan dengan organisasi internasional untuk mendukung kerja sama dan pertukaran informasi pengawasan [1]. Uraian kemandirian ini sangatlah penting dan memadai. Namun, ketika menyangkut pengaturan hubungan dengan instansi pemerintah di luar BAPETEN, maka secara hierakis Perka BAPETEN berada di bawah Perpres dan SE Setkab.

III.2 Dokumentasi IAEA

Prinsip dan Persyaratan Umum

Sebagai standar induk IAEA, SF-1 [7] memuat 10 prinsip keselamatan. Prinsip ke-2 dokumen ini menyatakan bahwa “Kerangka kerja hukum dan pemerintahan yang efektif untuk keselamatan, termasuk badan pengawas yang mandiri, harus ditetapkan dan dipertahankan”. Persyaratan lebih lanjut mengenai kemandirian ini diuraikan pada ketujuh dokumen GSR [13-19].

Persyaratan ke-4 pada GSR Part 1 (Rev. 1) [13] menyatakan: “Pemerintah harus memastikan bahwa badan pengawas secara efektif mandiri dalam pengambilan keputusan terkait keselamatan dan bahwa badan pengawas dipisahkan secara fungsional dari entitas yang memiliki tanggung jawab atau kepentingan yang dapat secara berlebihan memengaruhi pengambilan keputusan.” Hal ini berarti bahwa badan pengawas harus dipisahkan dari badan pelaksana, sebagaimana dengan jelas diatur pada Pasal 3 dan 4 UU No. 10/1997.

Senada dengan GSR Part 1, GSR Part 3 [14] juga mensyaratkan kemandirian badan pengawas. Pada Persyaratan 2 GSR Part 3, dikatakan bahwa “Pemerintah harus menetapkan dan memelihara kerangka peraturan perundang-undangan untuk proteksi dan keselamatan, serta harus membentuk badan pengawas yang secara efektif mandiri dengan tanggung jawab dan fungsi khusus.” GSR Part 5 [15] juga memberikan persyaratan kemandirian badan pengawas dengan kecukupan sumber daya manusia dan finansial untuk mengawasi kegiatan predisposal pengelolaan limbah radioaktif. Demikian pula dengan GSR Part 6 [16], yang menetapkan persyaratan kemandirian badan pengawas untuk kegiatan dekomisioning fasilitas.

Sementara itu, GSR Part 2 [17] menjelaskan pelaksanaan kemandirian badan pengawas dalam melakukan revidu dan penilaian atas dokumen pemohon dan pemegang izin, serta dalam pelaksanaan inspeksi. Di sisi lain, GSR Part 4 (Rev. 1) mengenai penilaian keselamatan fasilitas dan kegiatan [18] dan GSR Part 7 tentang kesiapsiagaan nuklir [19] tidak secara khusus memberikan persyaratan kemandirian badan pengawas.

Persyaratan Tematik

Jika Indonesia dipertimbangkan sebagai negara yang akan membangun PLTN, maka Indonesia perlu juga mempertimbangkan SSG-16 [8]. Aksi 24 SSG-16 juga mensyaratkan adanya badan pengawas yang efektif, mandiri dan kompeten. Aksi 27 dokumen yang sama kemudian menyatakan perlunya pengawas yang mandiri dengan otoritas legal, kompetensi teknis dan managerial, serta sumber daya manusia dan keuangan yang memadai dalam melaksanakan tanggung-jawabnya. Beberapa Aksi lainnya dalam dokumen ini juga menjelaskan kemandirian dalam pelaksanaan fungsi-fungsi pengawasan.

Untuk pengawasan reaktor riset, dokumen IAEA *Code of Conduct on the Safety of Research Reactors* [9] menyatakan pula bahwa Pemerintah hendaknya membentuk Badan Pengawas yang secara efektif mandiri dari organisasi atau badan yang bertugas mempromosikan teknologi nuklir atau mengoperasikan reaktor riset. Sedangkan untuk pengawasan sumber radioaktif, dokumen IAEA *Code*

of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Source [10] menguraikan bahwa PUU hendaknya mengatur pembentukan badan pengawas yang fungsinya secara efektif mandiri dari fungsi-fungsi lain terkait sumber radioaktif, seperti misalnya pengelolaan atau promosi pemanfaatan sumber radioaktif.

Persyaratan Teknis

GSG-12 [11] menguraikan secara rinci persyaratan kemandirian badan pengawas dalam enam aspek, yaitu: Politis; Legislatif; Finansial; Kompetensi; Komunikasi dan konsultasi dengan pihak-pihak berkepentingan; dan, Audit, penilaian sejawat (*peer review*) dan kerja sama internasional. Selain itu, GSG-12 juga mengulas tentang transparansi, keterbukaan dan pengembangan berkelanjutan. Fasal berikut akan menggunakan keenam aspek tersebut dalam mengevaluasi PUU yang mengatur kemandirian BAPETEN dan praktik pelaksanaannya di lapangan.

III.3 Studi Perbandingan

Berikut disajikan Tabel-1 berisi hasil kajian persyaratan kemandirian untuk badan pengawas sebagaimana dijelaskan dalam GSG-12 dibandingkan dengan PUU nasional mengenai kemandirian BAPETEN, serta praktik pelaksanaannya.

Tabel 1. Perbandingan persyaratan kemandirian badan pengawas

No.	Aspek dan persyaratan sesuai GSG-12	PUU Nasional dan Catatan
1.	Politis:	
	Badan pengawas harus bebas dari tekanan terkait dengan keadaan politik dan ekonomi, atau tekanan dari departemen pemerintah, pihak yang diberi izin, atau organisasi lain.	(Lihat uraian mengenai potensi pengaruh departemen pemerintah terhadap pengambilan keputusan BAPETEN pada Pasal III.1 makalah ini).
	Badan pengawas harus bertanggung jawab kepada pemerintah dan masyarakat atas misinya untuk melindungi pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup. Mekanisme pertanggung-jawaban itu termasuk penetapan jalur pelaporan kepada lembaga tertinggi pemerintah, melaksanakan audit dan penilaian sejawat secara berkala dan menerbitkan hasilnya, serta berkomunikasi dengan pihak-pihak berkepentingan.	<ul style="list-style-type: none"> - Pasal 4 UU. No. 10/1997: BAPETEN berada di bawah dan bertanggung jawab langsung kepada Presiden; - Pasal 15 UU. No. 10/1997: Pengawasan ditujukan untuk menjamin keselamatan dan kesehatan pekerja dan anggota masyarakat serta perlindungan terhadap lingkungan hidup; - Klausul 7 Perka No. 14 Tahun 2014 tentang Sistem Manajemen BAPETEN [20] mengatur audit internal maupun penilaian internal dan eksternal,

No.	Aspek dan persyaratan sesuai GSG-12	PUU Nasional dan Catatan
		<p>termasuk penilaian sejawat dan <i>benchmarking</i>, secara berkala serta komunikasi dengan pihak-pihak berkepentingan;</p> <ul style="list-style-type: none"> - UU No. 14 Tahun 2008 tentang Keterbukaan Informasi Publik [21] telah diadopsi BAPETEN dalam Perka No. 9 Tahun 2012 tentang Standar Layanan Pengelolaan Informasi Publik di Lingkungan BAPETEN [22]. Pasal 12 Perka ini menyatakan bahwa BAPETEN harus secara berkala menyediakan informasi tertentu. Namun, ‘memublikasikan hasil-hasil audit dan penilaian sejawat’ tidak termasuk dalam lingkup Pasal 12. BAPETEN belum memublikasikan hasil-hasil audit dan penialain sejawat. <p>EVALUASI: Pada aspek politis, PUU telah memenuhi sebagian besar persyaratan kemandirian BAPETEN. Sedikit masalah kemandirian yang dihadapi adalah yaitu dalam hal pengawasan atas pemanfaatan di lingkungan Kemenristekdikti, dan terkait dengan belum adanya aturan yang mewajibkan BAPETEN untuk memublikasikan hasil-hasil audit dan penilaian sejawat.</p>
2.	<p>Legislatif:</p> <p>Kerangka PUU harus mendefinisikan kewenangan badan pengawas mencakup mekanisme untuk melindungi kemandirian pengambilan keputusan pengawasan keselamatan. Mekanisme semacam itu termasuk, misalnya, prosedur untuk dokumentasi dan diseminasi keputusan pengaturan serta justifikasi hukum dan teknis yang mendasarinya.</p> <p>Jika terdapat beberapa badan pengawas untuk keselamatan, maka PUU harus menetapkan batasan secara jelas sehingga tidak ada kewenangan yang tumpang tindih atau terabaikan. Harus dibentuk sistem penghubung (<i>liaison</i>) dan prosedur untuk koordinasi dan kerja sama.</p> <p>EVALUASI: Pada aspek legislatif, PUU telah memenuhi persyaratan kemandirian BAPETEN. Untuk fasilitas atau kegiatan dengan risiko tinggi, BAPETEN hendaknya memublikasikan permohonan izin yang diterimanya dan rencana perizinan untuk itu, serta KTUN yang telah diterbitkan dilengkapi dengan LEK yang memadai.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Klausul 3.4.3. Perka No. 14 Tahun 2014 [20] menguraikan sistem dokumentasi, termasuk semua prosedur pengawasan yang telah diterbitkan BAPETEN guna menjamin bahwa pengambilan keputusan semata-mata berdasarkan penilaian keselamatan. - Pasal 12 Perka No. 9 Tahun 2012 [22] menyatakan bahwa BAPETEN harus secara berkala menyediakan informasi tentang daftar rancangan dan penetapan peraturan, keputusan, atau kebijakan yang mengikat dan berdampak bagi publik yang dikeluarkan BAPETEN. - Laman internet BAPETEN belum memublikasikan permohonan izin (fasilitas atau kegiatan dengan risiko tinggi seperti instalasi nuklir) yang diterimanya dan rencana perizinan untuk itu; serta Keputusan Tata Usaha Negara (KTUN) yang telah diterbitkan untuk permohonan tersebut dilengkapi dengan Laporan Evaluasi Keselamatan (LEK, versi publik) yang memberikan penjelasan teknisnya. - Klausul 4.2. Perka No. 14 Tahun 2014 [20] menetapkan fokus untuk memenuhi kebutuhan dan harapan pihak-pihak berpentingan antara lain melalui koordinasi, analisis, kolaborasi, kerja sama. - BAPETEN secara aktif berkomunikasi dan bekerja sama dengan instansi yang berwenang lain dalam rangka perizinan.
3.	<p>Finansial:</p>	

No.	Aspek dan persyaratan sesuai GSG-12	PUU Nasional dan Catatan
	<p>PUU harus menjamin keuangan badan pengawas secara memadai. Proses fiskal nasional harus dimuat dalam PUU. Budget tidak boleh bergantung pada penalti atau disetujui oleh organisasi pemerintah yang mengembangkan, memromosikan ataupun mengoperasikan teknologi nuklir.</p> <p>Badan pengawas berwenang mendistribusikan anggaran untuk menjamin pengawasan secara mangkus dan sangkil.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - UU No. 17 Tahun 2003 tentang Keuangan Negara [23] pada dasarnya menjamin anggaran BAPETEN secara memadai. - UU No. 10/1997 tidak mengatur penalti. - Besarnya biaya izin yang dipungut berdasarkan PP No. 56 Tahun 2014 tentang PNBPN yang Berlaku pada BAPETEN [24] tidak menentukan besarnya anggaran belanja BAPETEN. - Rancangan anggaran BAPETEN dikonsultasikan dengan BAPPENAS dan disetujui oleh Kementerian Keuangan, yang bukanlah organisasi pemerintah yang mengembangkan, memromosikan ataupun mengoperasikan teknologi nuklir. - BAPETEN berwenang untuk mendistribusikan anggaran sesuai dengan rancangan anggaran yang telah disetujui Kementerian Keuangan.
	<p>Harus ada sistem audit keuangan yang transparan terhadap sistem keuangan badan pengawas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - UU No. 15 Tahun 2004 tentang Pemeriksaan Pengelolaan dan Tanggung Jawab Keuangan Negara [25] dan Peraturan BPK No. 1 Tahun 2017 tentang Standar Pemeriksaan Keuangan Negara [26] telah menjamin sistem audit keuangan yang transparan untuk setiap kementerian dan lembaga, termasuk BAPETEN.
<p>EVALUASI: Pada aspek finansial, PUU telah telah memenuhi persyaratan kemandirian BAPETEN.</p>		
4.	<p>Kompetensi:</p> <p>Badan pengawas harus memiliki dan menjaga kepakaran teknis internal yang memadai dalam bidang sesuai mandatnya. Kepakaran ini termasuk: dalam bidang sains dan teknologi yang relevan; mengenai fasilitas, organisasi dan kegiatan pihak-pihak yang diberi izin; dalam menerapkan proses pengawasan sesuai dengan kerangka PUU, prinsip etik dan kode pelaksanaan.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Klausul 5.2. Perka No. 14 Tahun 2014 [20] menetapkan persyaratan mengenai pengembangan kompetensi dalam kerangka pengelolaan SDM. - BAPETEN telah melakukan analisis celah persyaratan kompetensi, melaksanakan berbagai diklat, dan sedang memfinalisasikan draft Perka mengenai Rencana Pengembangan SDM BAPETEN. - BAPETEN telah menerbitkan Perka No. 11 Tahun 2012 tentang Penegakan Kode Etik dan Disiplin PNS BAPETEN [27].
	<p>Badan pengawas dapat memanfaatkan kepakaran dari luar secara sementara. Jasa atau saran yang diberikan pakar luar harus tidak memihak (<i>impartial</i>) dan bebas dari benturan kepentingan.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Klausul 5.1. Perka No. 14 Tahun 2014 [20] menetapkan persyaratan penyediaan sumber daya internal maupun eksternal, serta mengenai pencegahan konflik kepentingan. - BAPETEN secara aktif memanfaatkan kepakaran pihak luar, terutama dari universitas. Persyaratan pencegahan konflik kepentingan pada umumnya diatur dalam kontrak kerja.
	<p>Badan pengawas harus memperoleh, mengelola, merawat, mengembangkan dan melestarikan pengetahuan dan informasi untuk membangun dan mempertahankan kompetensi inti yang memadai, yaitu melalui sistem manajemen yang terintegrasi (GSR Part 2).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Klausul 5.8. Perka No. 14 Tahun 2014 [20] juga mengatur tentang manajemen pengetahuan dan informasi. - BAPETEN sedang mengembangkan Manajemen Pengetahuan dan akan merevisi Sistem Manajemen dengan mengacu pada GSR Part 2 [17].
<p>EVALUASI: Pada aspek kompetensi, PUU telah telah memenuhi persyaratan kemandirian BAPETEN. Namun, kompetensi adalah hal yang bersifat dinamis dan perlu terus dievaluasi secara berkala serta ditingkatkan secara berkesinambungan. BAPETEN agar segera menerbitkan Rencana Pengembangan SDM yang sedang disusunnya dan mengembangkan Manajemen Pengetahuan secara sistematis dan terencana.</p>		
5.	<p>Komunikasi dan konsultasi dengan pihak-pihak berkepentingan:</p>	

No.	Aspek dan persyaratan sesuai GSG-12	PUU Nasional dan Catatan
	<p>Badan pengawas harus memiliki wewenang dan tanggung jawab untuk menetapkan ketentuan untuk komunikasi dengan pihak yang berkepentingan, termasuk masyarakat, tentang kemungkinan risiko radiasi yang terkait dengan fasilitas dan kegiatan, serta proses pengambilan keputusan dan keputusan yang dibuat. Menginformasikan dan berkonsultasi dengan pihak yang berkepentingan dan masyarakat harus dilakukan melalui proses komunikasi yang transparan, terbuka, konsisten dan berkelanjutan. Lihat IAEA GSG-6 <i>Communication and Consultation with Interested Parties by the Regulatory Body</i> [28]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - BAPETEN telah menerbitkan Perka No. 9 Tahun 2012 tentang Standar Layanan Pengelolaan Informasi Publik di Lingkungan BAPETEN [22]. - Klausul 6.4. dan Klausul 7. Perka No. 14 Tahun 2014 [20] menyatakan bahwa BAPETEN mengomunikasikan informasi yang relevan dengan tujuan keselamatan dengan mempertimbangkan aspek lainya seperti kesehatan, lingkungan hidup, keamanan, mutu, dan ekonomi kepada semua pegawai di BAPETEN, dan kepada para pihak berkepentingan lainnya. - PUU tidak mensyaratkan BAPETEN meminta izin dari pihak manapun untuk berkomunikasi dan berkonsultasi dengan pihak-pihak berkepentingan. - BAPETEN secara aktif berkonsultasi dengan publik dan pihak-pihak berkepentingan dalam penyusunan PUU, dan dalam pertemuan tahunan Konferensi Informasi Pengawasan.
	<p>EVALUASI: Pada aspek ini PUU telah telah memenuhi persyaratan kemandirian BAPETEN. Lihat juga hasil evaluasi pada butir 2 di atas.</p>	
6.	<p>Audit, penilaian sejawat, dan kerja sama internasional:</p>	
	<p>Program yang sistematis untuk tinjauan dan audit profesional mengenai kinerja regulasi harus dilakukan untuk mendorong kemandirian pengambilan keputusan oleh badan pengawas. Ini harus mencakup partisipasi dalam kerjasama internasional yang tepat dan penilaian sejawat yang mandiri, baik untuk kegiatan pengawasan tertentu atau untuk badan pengawas secara keseluruhan</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Klausul 7 Perka No. 14 Tahun 2014 tentang Sistem Manajemen BAPETEN [20] mengatur audit internal maupun penilaian internal dan eksternal. - BAPETEN telah melakukan penilaian sejawat yang menyeluruh dalam IAEA IRRS Mission tahun 2015, Eprev Mission 2016, dan SEED Mission 2017; serta secara rutin pada Pertemuan Tinjauan Konvensi Keselamatan Nuklir [12], dan Pertemuan Tinjauan <i>JointConvention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management</i>. - BAPETEN melakukan kerja sama teknis internasional yang cukup intensif dengan IAEA dan Uni Eropa, serta kerja sama bilateral dengan beberapa negara seperti Amerika Serikat, Jerman dan Korea Selatan. - BAPETEN belum memublikasikan seluruh hasil-hasil audit dan penilaian sejawat.
	<p>EVALUASI: Pada aspek ini PUU telah telah memenuhi persyaratan kemandirian BAPETEN. Namun, hendaknya BAPETEN secara konsisten selalu memublikasikan hasil-hasil audit dan penilaian sejawat.</p>	

Dari analisis di atas dapat dilihat bahwa secara umum PUU yang ada cukup menjamin kemandirian BAPETEN, walaupun dengan beberapa catatan berikut ini. Perlu dicatat bahwa Paragraf 2.4 dari GSG-12 [11], menyatakan bahwa tidaklah mungkin bagi badan pengawas untuk mandiri secara absolut. Dikatakan juga bahwa “kemandirian yang efektif dari badan pengawas dalam membuat keputusan sehubungan dengan proteksi radiasi terhadap orang dan lingkungan tanpa tekanan atau pengaruh eksternal akan berkontribusi pada efektivitas dan kredibilitasnya”.

III.4 Analisis Dampak

Telah dievaluasi bahwa secara politis BAPETEN berpotensi memiliki keterbatasan kemandirian dalam hal pengawasan atas instansi pemerintah yang memanfaatkan tenaga nuklir dan berada di bawah koordinasi Kemenristek. Apabila situasi ini dipertahankan, maka seluruh pihak terkait pemanfaatan tenaga nuklir di Kemenristekdikti harus dapat mendemonstrasikan keselamatan dengan semangat transparansi dan keterbukaan. Apabila hal itu tidak dilakukan, maka kredibilitas dan efektivitas BAPETEN dapat dipertanyakan, dan pada gilirannya akan menyulitkan promosi ataupun pengembangan teknologi nuklir, termasuk terutama PLTN yang saat ini banyak dibicarakan berbagai pihak.

Apabila PUU menginginkan BAPETEN lebih mandiri, maka reposisi BAPETEN dapat dipertimbangkan. Dalam hal ini, karena tujuan dari pengawasan adalah melindungi manusia dan lingkungan hidup (dari bahaya radiasi), maka BAPETEN tentunya akan lebih baik jika dikoordinasikan oleh kementerian yang bertanggung jawab untuk lingkungan hidup. Hal seperti itu pula yang dilakukan Jepang pada 2012, setahun setelah kecelakaan nuklir Fukushima. BAPETEN dapat pula berbentuk komisi, dengan beberapa orang komisioner pengambil keputusan, sehingga dapat diharapkan lebih mandiri dan kredibel, seperti yang dilakukan di Amerika Serikat dan beberapa negara lainnya.

Dari segi teknis, untuk meningkatkan kemandirian BAPETEN, PUU diharapkan dapat mengatur agar BAPETEN memublikasikan hasil-hasil audit dan penilaian sejawat. Di sisi lain, sesuai dengan PUU, untuk fasilitas atau kegiatan dengan risiko tinggi BAPETEN perlu segera memublikasikan permohonan izin yang diterimanya dan rencana perizinan untuk itu, serta KTUN yang telah terbit lengkap dengan LEK yang memadai. Lalu, guna menjamin keberlanjutan kompetensinya, BAPETEN juga diharapkan untuk segera menyelesaikan Rencana Pengembangan SDM, melaksanakannya secara konsisten dan mengevaluasi dokumen tersebut secara berkala sesuai dengan standar internasional. Demikian pula dengan Manajemen Pengetahuan BAPETEN. Hal-hal ini semua terkait dengan upaya peningkatan transparansi dan keterbukaan, serta dalam hal pengembangan SDM

IV. KESIMPULAN

Dari kajian di atas dapat disimpulkan bahwa kemandirian adalah persyaratan mutlak yang dituntut standar IAEA maupun perjanjian internasional di bidang ketenaganukliran. Secara umum PUU nasional cukup menjamin kemandirian BAPETEN dengan beberapa catatan sbb: Pertama, secara politis BAPETEN berpotensi memiliki keterbatasan kemandirian dalam hal pengawasan atas instansi pemerintah yang memanfaatkan tenaga nuklir dan berada di bawah koordinasi Kemenristek; Kedua, PUU belum mengatur agar BAPETEN memublikasikan hasil-hasil audit dan penilaian sejawat; Ketiga, secara teknis peningkatan kemandirian BAPETEN terkait dengan upaya meningkatkan transparansi dan keterbukaan, serta dalam pengembangan SDM

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada jajaran Manajemen P2STPIBN yang telah mendukung dan memberikan kesempatan seluas-luasnya kepada penulis untuk melakukan kajian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [20] Republik Indonesia (2017), Peraturan Kepala BAPETEN No. 8 Tahun 2017 tentang Perubahan Atas Peraturan Kepala BAPETEN No. 3 Tahun 2015 Tentang Rencana Strategis BAPETEN Tahun 2015-2019, Jakarta.
- [21] IAEA (1994), INFCIRC/449 Convention on Nuclear Safety, Vienna.
- [22] IAEA (1997), INFCIRC/546 Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, Vienna.
- [23] Republik Indonesia (1997), Undang-undang No. 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, Jakarta.
- [24] Republik Indonesia (2015), Perpres No. 145 Tahun 2015 tentang Perubahan Kedelapan atas Keputusan Presiden No. 103 Tahun 2001 tentang Kedudukan, Tugas, Fungsi, Kewenangan, Susunan Organisasi, dan Tata Kerja Lembaga Pemerintah Non Kementerian, Jakarta.

- [25] Republik Indonesia (2015), Surat Edaran Sekretaris Kababinet RI No. 1 Tahun 2015 tentang Pengajuan Usul Pengangkatan, Pemindahan dan Pemberhentian dari dan dalam Jabatan Pimpinan Tinggi Utama dan Pimpinan Tinggi Madya, Jakarta.
- [26] IAEA (2006), SF-1 Fundamental Safety Principles, Vienna.
- [27] IAEA (2011), SSG-16 Establishing the Safety Infrastructure for a Nuclear Power Programme, Vienna.
- [28] IAEA (2006), Code of Conduct on the Safety of Research Reactors, Vienna.
- [29] IAEA (2004), Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources, Vienna.
- [30] IAEA (2018), GSG-12 Organization, Management and Staffing of the Regulatory Body for Safety, Vienna.
- [31] Reno Alamsyah, et. all. (2017), Peningkatan Infrastruktur Keselamatan Nuklir di Indonesia Melalui Kesertaan Sebagai Negara Pihak Konvensi Keselamatan Nuklir, ISSN 1412-3258 Jakarta.
- [32] IAEA (2016), GSR Part 1 (Rev. 1) Legal and Regulatory Framework for Safety, Vienna.
- [33] IAEA (2006), GSR Part 3 Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, Vienna.
- [34] IAEA (2009), GSR Part 5 Predisposal Management of Radioactive Waste, Vienna.
- [35] IAEA (2014), GSR Part 6 Decommissioning of Facilities, Vienna.
- [36] IAEA (2016), GSR Part 2 Leadership and Management for Safety, Vienna.
- [37] IAEA (2016), GSR Part 4 (Rev. 1) Safety Assessment for Facilities and Activities, Vienna.
- [38] IAEA (2015), GSR Part 7 Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency, Vienna.
- [39] Republik Indonesia (2014), Peraturan Kepala BAPETEN No. 14 Tahun 2014 tentang Sistem Manajemen BAPETEN, Jakarta.
- [40] Republik Indonesia (2008), Undang-undang No. 14 Tahun 2008 tentang Keterbukaan Informasi Publik, Jakarta.
- [41] Republik Indonesia (2012), Perka BAPETEN No. 9 Tahun 2012 tentang Standar Layanan Pengelolaan Informasi Publik di Lingkungan BAPETEN, Jakarta.
- [42] Republik Indonesia (2003), Undang-undang No. 17 Tahun 2003 tentang Keuangan Negara, Jakarta.
- [43] Republik Indonesia (2014), Peraturan Pemerintah No. 56 Tahun 2014 tentang PNPB yang Berlaku pada BAPETEN, Jakarta.
- [44] Republik Indonesia (2004), Undang-undang No. 15 Tahun 2004 tentang Pemeriksaan Pengelolaan dan Tanggung Jawab Keuangan Negara, Jakarta.
- [45] Republik Indonesia (2017), Peraturan BPK No. 1 Tahun 2017 tentang Standar Pemeriksaan Keuangan Negara, Jakarta.
- [46] Republik Indonesia (2012), Perka BAPETEN No. 11 Tahun 2012 tentang Penegakan Kode Etik dan Disiplin PNS BAPETEN.
- [47] IAEA (2017), GSG-6 Communication and Consultation with Interested Parties by the Regulatory Body, Vienna.

Pemakalah : Reno Alamsyah
 Kode Makalah : OC05
 Penanya : Yus Rusdian Akhmad. BAPETEN
 Pertanyaan :

1. Kemandirian BAPETEN, khususnya dari segi politis, yang masih perlu diperhatikan, apakah akan menuju di luar pemerintahan sebagai Komisi atau tetap dalam pemerintahan, yang dikoordinasikan suatu Kementerian?
2. Apakah jika berupa Komisi memiliki kewenangan untuk membuat aturan?

Jawaban :

1. Hal ini sebagian telah diulas pada bagian akhir makalah. Untuk menghindari konflik kepentingan dengan instansi penelitian yang memanfaatkan tenaga nuklir dan di bawah koordinasi Kemenristekdikti, maka BAPETEN dapat saja dikoordinasikan oleh Kementerian LH, sebagaimana hal ini dilakukan di Jepang setelah terjadinya kecelakaan nuklir Fukushima. Di Inggris, badan pengawas ONR juga berada di bawah kementerian LH. Namun, apabila di bawah LH, ada juga potensi persoalan jika BAPETEN melakukan pengawasan fasilitas kesehatan yang dikoordinasikan di bawah Kemkes, karena Kemen LH setara dengan Kemkes. Pilihan untuk dalam bentuk Komisi mungkin adalah yang terbaik dari aspek politis, sebagaimana hal ini dilakukan di banyak negara pengoperasi PLTN seperti Amerika Serikat, Kanada dan Pakistan. Namun, perlu dicatat bahwa selain aspek politis bukanlah satu-satunya aspek dalam penilaian kemandirian, standar IAEA GSG-12 juga mengingatkan bahwa kemandirian badan pengawas tidak diartikan sebagai hubungan permusuhan dengan pemegang izin atau pihak-pihak berkepentingan lainnya. Lebih dari itu, lanjutnya, yang tidak kalah penting adalah bahwa badan pengawas harus akuntabel terhadap Pemerintah maupun masyarakat.
2. Hal itu secara legal tentunya bergantung dari Undang-undang yang mengatur Komisi tersebut.

Pemakalah : Reno Alamsyah
 Kode Makalah : OC05
 Penanya : Amil Mardha. BAPETEN
 Pertanyaan :

1. Sejauh mana menurut pak Reno bahwa Kemenristek mengganggu kemandirian fungsi pengawasan ketenaganukliran seperti perizinan? BAPETEN berkoordinasi dengan Kemenristek seperti halnya dalam hal anggaran dan teknologi.
2. Pengawasan memang harus mandiri. Untuk itu perlu suatu institusi yang punya otoritas sendiri. Pengawasan di Indonesia tidak hanya dalam hal nuklir tetapi juga terhadap teknologi (dalam industri), dengan demikian perlu sistem di luar suatu kementerian agar independen.

Jawaban :

1. Makalah ini tidak membahas praktik intervensi Kemenristekdikti terhadap keputusan pengawasan BAPETEN. Makalah ini hanya membahas aspek legal formal yang ada. Dari aspek politis, PUU kurang-lebih menyatakan bahwa setiap pengambilan keputusan yang akan dibuat BAPETEN, termasuk KTUN yang menyangkut instansi di bawah Kemenristekdikti, harus dikoordinasikan terlebih dahulu dengan Menristekdikti. Hal ini memiliki **potensi** masalah independensi, sebab PUU juga mengatakan bahwa pengusulan pengangkatan atau pemberhentian pejabat tinggi BAPETEN adalah melalui Menristekdikti.
2. Menurut standar IAEA GSG-12, kemandirian badan pengawas dapat dinilai dari enam aspek, yaitu: Politis; Legislatif; Finansial; Kompetensi; Komunikasi dan konsultasi dengan pihak-pihak berkepentingan; dan, Audit, penilaian sejawat (peer review) dan kerja sama internasional. Selain itu, GSG-12 juga mengulas tentang transparansi, keterbukaan dan pengembangan berkelanjutan.

OC06

MANAJEMEN RISIKO HILANG PENGETAHUAN NUKLIR DI PUSDIKLAT BATAN**Bagiyono***Pusdiklat – BATAN. Jl. Lebak Bulus Raya No. 9, Jakarta 12240*

e-mail: bagiyono@batan.go.id

ABSTRAK

MANAJEMEN RISIKO HILANG PENGETAHUAN NUKLIR DI PUSDIKLAT BATAN. Tantangan utama dalam manajemen pengetahuan nuklir adalah adanya atrisi personel, terutama yang disebabkan personel memasuki masa pensiun. Atrisi personel dapat mengakibatkan hilangnya pengetahuan nuklir yang dimiliki oleh suatu organisasi. Dengan mempertimbangkan hal tersebut, telah dilakukan kegiatan Manajemen Risiko Hilang Pengetahuan Nuklir di Pusdiklat dengan tujuan mempertahankan kompetensi penting yang dibutuhkan untuk melaksanakan pelatihan di bidang nuklir dan mengurangi risiko yang berkaitan dengan kemungkinan hilangnya pengetahuan tersebut. Kegiatan Manajemen Risiko Hilang Pengetahuan Nuklir terdiri dari 2 kegiatan asesmen, yaitu Asesmen risiko hilang kompetensi organisasi dan Asesmen risiko hilang pengetahuan individu. Asesmen risiko hilang kompetensi organisasi diawali dengan pembuatan peta kompetensi dari semua personel Pusdiklat. Dari hasil pemetaan kompetensi tersebut tersebut diidentifikasi kompetensi penting yang diperlukan Pusdiklat dalam melaksanakan tugasnya serta kesenjangan jumlah personel yang dibutuhkan dengan yang tersedia. Hasil asesmen risiko kehilangan kompetensi organisasi menunjukkan bahwa untuk melakukan tugasnya sebagai pelaksana Pelatihan layanan publik di bidang nuklir, dibutuhkan 9 buah kompetensi penting yang harus selalu dimiliki oleh personel Pusdiklat. Dari 9 kompetensi penting tersebut, saat ini terdapat 4 buah kompetensi yang jumlah personelnnya belum mencukupi dan berisiko hilang, yaitu kompetensi Radiografi, Radiokimia, Kewidyaiswaraan dan Keamanan Nuklir. Tindak lanjut berupa rekrutmen personel baru dan pelaksanaan program pelatihan intensif dalam 4 kompetensi tersebut perlu dilakukan. Dari hasil asesmen risiko hilang pengetahuan individu yang mempertimbangkan Faktor Risiko Atrisi dan Faktor Risiko Jabatan, teridentifikasi 3 personel memerlukan penggantian secepatnya, 1 orang memerlukan tindakan jangka pendek, 10 orang memerlukan tindakan jangka menengah dan 22 personel memerlukan tindakan jangka panjang.

Kata kunci: Manajemen Risiko Hilang Pengetahuan, Hilang Kompetensi, Atrisi, Faktor Risiko Atrisi, Faktor Risiko Jabatan

ABSTRACT

NUCLEAR KNOWLEDGE LOSS RISK MANAGEMENT AT PUSDIKLAT BATAN. The main challenge in nuclear knowledge management is the personnel attrition, especially those caused by personnel entering retirement age. The attrition of personnel may result in the loss of nuclear knowledge possessed by an organization. Considering this matter, Nuclear Knowledge Loss Risk Management, NKLRM, activities have been performed at Pusdiklat with the objectives of maintaining the important competencies required to carry out nuclear training and reducing the risks associated with the potential loss of such knowledge. The NKLRM consists of 2 assessments activities, i.e. assessment of Organizational Competence Loss and assessment of Individual Knowledge Loss. Risk assessment of organizational competencies loss begins with the creation of a competency map of all Pusdiklat personnel. From the established competency map, important competencies required by Pusdiklat for carrying out its duties as well as the gap of the number of personnel needed with the available personnel were then identified. The result of the risk assessment of organizational competence loss indicates that to perform its duties as the executor of the Public Service Training in the Nuclear field, 9 important competencies are required to be owned by Pusdiklat personnel all the time. Of the 9 important competencies, currently there are 4 competencies that the number of personnel is not sufficient and at risk, namely the competence in Radiography, Radiochemistry, Nuclear Training Instructor and Nuclear Security. Follow-up in the form of recruitment of new personnel and the implementation of intensive training programs in the four competencies need to be done. From the result of the risk of individual knowledge loss assessment, which considering Attrition Risk Factor and Position Risk Factor, 3 personnel were identified need immediate action, 1 personnel need short-term action, 10 personnel need medium-term action and 22 personnel need long-term action

Keywords: Knowledge Loss Risk Management, Competence Loss, Attrition, Attrition Risk Factor, Position Risk Factor

PENDAHULUAN

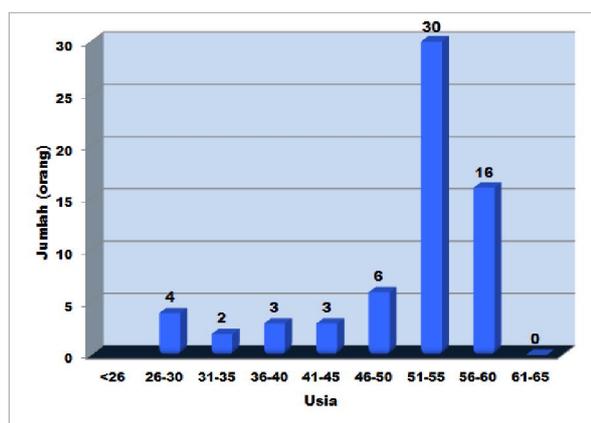
Pengetahuan nuklir didefinisikan sebagai semua hal yang berkaitan dengan informasi teknis (yang terdokumentasi pada kertas/buku ataupun pada media elektronik), kemampuan dan keahlian di bidang nuklir yang dimiliki seseorang [1,2]

Manajemen pengetahuan nuklir (*Nuclear Knowledge Management*, NKM) didefinisikan sebagai pendekatan sistematis dan terintegrasi yang diterapkan dalam semua tahapan dari siklus pengetahuan nuklir, termasuk identifikasi, berbagi, penyebaran, pelestarian dan pewarisan [3].

NKM mulai disadari kepentingannya pada akhir tahun 1980-an, karena pada umumnya negara yang telah menggunakan energi nuklir, sebagian besar pegawainya telah mencapai usia pensiun. Metode dan peralatan NKM yang diperlukan untuk mentransfer pengetahuan nuklir dari generasi yang telah berumur tersebut ke generasi penerusnya mulai serius dipikirkan.

Pertimbangan perlunya dilakukan pengelolaan pengetahuan nuklir antara lain karena pengetahuan nuklir melibatkan berbagai macam interaksi pengetahuan di bidang fisika, kimia dan teknik; memerlukan waktu yang lama dan biaya yang tinggi untuk mendapatkannya, serta yang paling penting adalah karena pengetahuan nuklir mempunyai risiko keselamatan [1]

Tantangan utama dari NKM adalah adanya atrisi personel yaitu berkurangnya jumlah personel akibat mengundurkan diri, sakit, meninggal, pensiun, atau pindah tugas/jabatan. Pusdiklat Batan, yang berdiri pada tahun 1982, juga mengalami masalah atrisi dalam mengelola pengetahuan nuklir yang ada. Sebagian besar personel Pusdiklat akan memasuki usia pensiun dalam waktu kurang dari 10 tahun, seperti ditunjukkan pada gambar 1



Gambar 1. Sebaran personel Pusdiklat berdasarkan rentang umur (per Juni 2018)

Tugas dan Fungsi Pusdiklat Batan adalah melaksanakan program Pelatihan bidang kenukliran, baik untuk personel Batan, maupun untuk personel

dari luar batan (Pelatihan Layanan Publik). Untuk pelatihan kenukliran bagi personel Batan, sebagian besar materinya berkaitan dengan reaktor nuklir dan daur bahan bakar nuklir. dan pengajarnya berasal dari unit kerja terkait.

Untuk Pelatihan Layanan Publik sebagian besar materinya berkaitan dengan Proteksi Radiasi dan Radiografi, dan pengajarnya adalah personel Pusdiklat. Pada tahun 2018, Pelatihan yang dilaksanakan oleh Pusdiklat Batan berjumlah 52 buah pelatihan yang terdiri dari 28 pelatihan untuk personel Batan dan 24 Pelatihan Layanan Publik

Sebagai institusi yang mempunyai tugas melaksanakan Pelatihan maka untuk dapat menjalankan tugasnya dengan baik, Pusdiklat harus memelihara kompetensi personel yang berkaitan dengan substansi Pelatihan Layanan Publik, agar tetap ada di dalam Pusdiklat. Untuk keperluan tersebut, Pusdiklat menganggap bahwa pelaksanaan Manajemen Risiko Hilang Pengetahuan Nuklir, (*Nuclear Knowledge Loss Risk Management*, NKLRM) menjadi suatu prioritas.

Tulisan ini membahas mengenai NKLRM, yang merupakan suatu proses sistematis untuk mengidentifikasi kesenjangan kompetensi organisasi akibat dari atrisi personel dan mencari penyelesaian untuk mengatasinya. [4,5]

Kegiatan utama NKLRM mencakup 2 kegiatan asesmen, yaitu: [4]

- Asesmen risiko kehilangan kompetensi organisasi
- Asesmen risiko kehilangan pengetahuan individu.

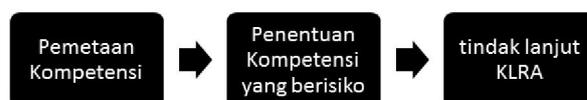
Tujuan dari kegiatan NKLRM adalah mempertahankan kompetensi yang dibutuhkan untuk melaksanakan tugas melaksanakan pelatihan dan mengurangi risiko yang berkaitan dengan kemungkinan hilangnya pengetahuan kritis dan unik yang dimiliki personel Pusdiklat.

Alasan dilakukannya NKLRM di Pusdiklat adalah: adanya penuaan personel, atrisi personel, akan hilangnya pengetahuan kritis dan unik, perlunya meningkatkan transfer pengetahuan dan pengalaman, dan perlunya mempertahankan pengetahuan kritis.

METODOLOGI

Asesmen Risiko Kehilangan Kompetensi Organisasi

Kegiatan asesmen risiko kehilangan kompetensi organisasi berdasarkan rekomendasi IAEA yang terdiri dari 3 tahap seperti ditunjukkan pada gambar 2.[4]



Gambar 3. Proses asesmen risiko kehilangan kompetensi organisasi

Tahap 1: Pemetaan Kompetensi

Proses pemetaan kompetensi dilakukan dengan menggunakan masukan informasi melihat data terkini tugas dan fungsi organisasi serta uraian tugas dari setiap personel.

Untuk membuat peta kompetensi organisasi, informasi yang digunakan sebagai masukan berupa: tugas dan fungsi organisasi, persyaratan personel berdasarkan ketentuan perundangan, struktur organisasi, personil aktif yang tersedia, nama jabatan fungsional yang ada, dan uraian tugas. Dari kegiatan ini akan dihasilkan keluaran berupa peta kompetensi organisasi dan kesenjangan kompetensi organisasi yang dibutuhkan untuk menjalankan tugas.

Dari peta kompetensi kemudian ditentukan kompetensi penting dan kompetensi kritis yang ada pada Bidang/Bagian serta kesenjangan antara personel yang dibutuhkan dengan yang tersedia.

Tahap 2: Penentuan Matriks Kompetensi yang beresiko

Pada tahap ini, dibuat matriks kompetensi berdasarkan personel yang ada, yang dapat memberikan asesmen dari personel saat ini, mengidentifikasi fungsi inti dan non-inti, memberikan asesmen dari kesenjangan kompetensi akibat perubahan stuktur organisasi, rotasi personel, penuaan dan pensiun dan mengidentifikasi pilihan yang dapat dilakukan akibat hilangnya pengetahuan. Matriks tersebut merupakan potret situasi saat ini, yang digunakan untuk memperkirakan risiko di masa mendatang akibat atrisi personel.

Informasi yang digunakan sebagai masukan pada tahap ini berupa peta atau daftar kompetensi organisasi dan data Personel yang ada saat ini, sedangkan keluarannya berupam matriks kebutuhan dan ketersediaan kompetensi yang dibutuhkan Puskdiklat

Matriks dibuat dengan asumsi bahwa satu personel tidak hanya mempunyai satu kompetensi, tetapi bisa mempunyai sampai dengan 5 kompetensi. Matriks tersebut memberikan informasi kompetensi yang akan hilang dan yang sekarang potensi berisiko hilang.

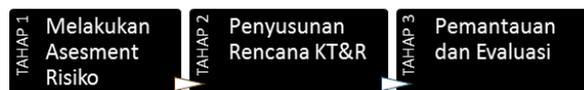
Tahap 3: TindakLanjut

Berdasarkan hasil analisis, kemudian disusun rencana strategis yang berkaitan dengan kehilangan pengetahuan dan kompetensi, serta direncanakan tindakan korektif yang akan dilakukan.

Asesmen Risiko Pengetahuan Individu

Asesmen dilakukan terhadap personel yang mendekati usia pensiun, atau yang akan dirotasi, dipindah tugaskan atau keluar dengan berbagai alasan. Ancaman kehilangan pengetahuan akibat atrisi kemudian diidentifikasi, diprioritaskan dan ditangani menggunakan proses berikut ini untuk

menentukan faktor risiko total untuk tiap personel. Faktor risiko total berdasarkan pada proyeksi tanggal atrisi, yang berkaitan dengan pensiun, pindah, atau alasan lainnya, dan kekritisitas dari pengetahuan dan ketrampilan yang dimiliki personel (faktor risiko jabatan). Asesmen dilakukan menggunakan proses seperti digambarkan dalam gambar 3.



Gambar 3. Proses asesmen risiko kehilangan Pengetahuan individu dan *Knowledge Tranfer* dan *Retention* (KT&R)

Tahap1: Asesmen Risiko

Langkah awal dari asesmen risiko adalah menentukan Faktor Risiko Atrisi, yang ditentukan berdasarkan perkiraan waktu pensiun atau waktu atrisi lainnya. Data waktu atrisi dapat diperoleh dari pangkalan data kepegawaian. Kriteria yang digunakan untuk menghitung Faktor Risiko Atrisi ditunjukkan pada Tabel 1.[4,5]

Tabel 1. Kriteria Faktor Risiko Atrisi

Faktor Risiko Atrisi	Kriteria
5	Perkiraan waktu atrisi dalam tahun fiskal yang berjalan atau tahun depan
4	Perkiraan waktu atrisi dalam tahun kalender ke 3 dari sekarang
3	Perkiraan waktu atrisi dalam tahun kalender ke 4 dari sekarang
2	Perkiraan waktu atrisi dalam tahun kalender ke 5 dari sekarang
1	Perkiraan waktu atrisi dalam (atau lebih dari) tahun kalender ke 6 dari sekarang

Setelah Faktor Risiko Atrisi teridentifikasi, langkah berikutnya adalah menentukan Faktor Risiko Jabatan, yang berkaitan dengan kriticalitas peran personel, pengetahuan dan keahlian yang diperlukan untuk memenuhi persyaratan pekerjaan. Faktor Risiko Jabatan berisi mengenai perkiraan kesulitan atau usaha yang diperlukan untuk mengganti personel pada jabatan tersebut. Kriteria penentuan Faktor Risiko Jabatan data dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Kriteria Faktor Risiko Jabatan

Faktor Risiko Jabatan	Kriteria
5	- Kekritisitas pengetahuan dan keterampilan mempunyai potensi yang signifikan terhadap keandalan atau keselamatan;

	<ul style="list-style-type: none"> - pengetahuan spesifik dari organisasi; - pengetahuan yang tidak terdokumentasikan; - memerlukan 3-5 tahun pelatihan dan pengalaman yang intensif; - penggantinya belum tersedia
4	<ul style="list-style-type: none"> - Kekritisan pengetahuan dan keterampilan, - duplikasi yang terbatas pada organisasi dan atau telah ada dokumentasi, - memerlukan 2-4 tahun Pelatihan dan pengalaman yang intensif.
3	<ul style="list-style-type: none"> - pengetahuan dan keterampilan yang sistematis, - ada dokumentasi dan atau orang lain di dalam organisasi mempunyai pengetahuan dan keterampilan tersebut; - perekrutan dapat dilakukan secara mudah dan dapat dilatih dalam waktu 1-2 tahun
2	<ul style="list-style-type: none"> - pengetahuan dan keterampilan prosedural yang tidak kritis terhadap tugas utama; - jelas dan prosedur tersedia; - program pelatihan tersedia sewaktu waktu dan dapat diselesaikan dalam waktu kurang dari 1 tahun
1	<ul style="list-style-type: none"> - pengetahuand dan keterampilan yang umum; - dapat secara mudah “out-sourcing”; - hanya memerlukan pelatihan tambahan dalam waktu singkat

Kriteria Faktor Risiko Jabatan berdasarkan pada keunikan dan kekritisn dari pengetahuan dan keterampilan yang dipunyai oleh personel yang menduduki jabatan tersebut dan perkiraan kesulitan serta usaha yang dibutuhkan untuk mengisi ulang jabatan tersebut.

Tahap berikutnya adalah menentukan Faktor Risiko Total dari seorang personel yang akan memberikan asesmen keseluruhan dari risiko yang terkait dengan atrisi untuk hilangnya pengetahuan. Faktor Risiko Total dihitung dengan mengalikan Faktor Risiko Atrisi dengan Faktor Risiko Jabatan dan statusnya ditentukan berdasarkan panduan tabel 3.

Tabel 3. Faktor Risiko Total

Faktor Risiko Total	Kriteria
20 - 25	<p>Prioritas tinggi;</p> <ul style="list-style-type: none"> - tindakan segera diperlukan; - rencana tindakan penggantian harus segera disusun; - dilakukan perencanaan retensi pengetahuan; - dilakukan pelatihan intensif dan pemagangan atau <i>shadowing</i> dengan pemangku jabatan sekarang
16-19	<p>Prioritas;</p> <ul style="list-style-type: none"> - perencanaan personel harus ditentukan untuk menentukan metode dan waktu

	<ul style="list-style-type: none"> pengantian; - perlu ada rekrutmen baru; - pelatihan dan <i>shadowing</i> dengan pemengku jabatan sekarang
10-15	<p>Sangat penting:</p> <ul style="list-style-type: none"> - perlu mencari pengganti; - perlu dilakukan pemberian kompetensi terhadap calon pengganti; - perlu pelatihan dan peningkatan kompetensi
1-9	<p>Penting:</p> <ul style="list-style-type: none"> - perlu pengenalan fungsi dari jabatan dan menjadwalkan kebutuhan penggantian

Tahap 2: Menyusun rencana retensi untuk menangkap pengetahuan kritis

Rencana retensi pengetahua didesain untuk mengidentifikasi dan memprioritaskan pengetahuan kritis pada tiap-tiap jabatan dengan status prioritas tinggi pada NKLRM. Tahap berikutnya adalah untuk mengatasi potensial hilangnya pengetahuan untuk tiap personel dengan prioritas tinggi. (Faktor Risiko Total 20-25) melalui pelaksanaan rencana retensi pengetahuan.

Tahap 3: Monitor dan Evaluasi

Tahap ini belum dilakukan pada studi kali ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Asesmen Risiko Kehilangan Kompetensi Organisasi

Tahap 1: Pemetaan Kompetensi

Dengan menggunakan informasi yang terkait dengan struktur organisasi, uraian jabatan, nama jabatan dan kompetensi bidang yang ada di Batan, didapatkan peta kompetensi dari seluruh personel Pusdiklat. Dari peta kompetensi organisasi yang didapat, teridentifikasi 9 kompetensi paling penting, yang berkaitan dengan pelaksanaan tugas dan Fungsi Pusdiklat dalam menyelenggarakan pelatihan, yaitu:

1. Proteksi Radiasi Industri
2. Proteksi Radiasi Medis
3. Radiografi
4. Radiokimia
5. Perawatan Peralatan Radiografi
6. Kedaruratan Radiasi
7. Kewidyaiswaraan
8. Keamanan Nuklir
9. Pemanfaatan isotop dan radiasi di bidang industri

Tahap 2: Pembuatan matriks Kompetensi berisiko

Dari kompetensi penting yang teridentifikasi pada tahap 1, dan digabungkan

dengan data kompetensi personel aktif, maka didapat matriks kebutuhan dan ketersediaan kompetensi penting pada Pusdiklat, seperti ditunjukkan pada tabel 4

Tabel 4. Matrik Kompetensi Berisiko

Kompetensi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	atr
Kebutuhan/ Tersedia	20 25	89	15 12	54	11	11	116	53	54	
Sxxx A	X		X							>6
Yxxxxxx	X	X		X		X	X			1
Ixxxxxxx	X	X		X		X	X			>6
Bxxxxxxx	X		X				X	X	X	>6
Txxxxxx	X					X	X			>6
Rxxx R	X	X				X				2
Rxxx A	X	X				X				>6
Bxxxx S	X									1
Dxxxxxx	X	X								4
Dxxxxxx	X									3
Sxxxxx R			X							3
Sxxxxt W	X	X				X				>6
Dxxxx P	X	X		X		X		X		>6
Hxxxx A		X	X	X						>6
Exxxx S			X							2
Sxxxxx	X									4
Sxxxxx	X									4
Mxxxx R					X					1
F Bxxxx	X					X	X	X		6
Axxx L	X									1
Sxxxxx			X							6
Hxxxxx			X							>6
Sxxxxx W	X									2
Sxxxxx			X							4
Wxxxxx S	X								X	2
Nxx P	X					X				>6
Txxx W			X							>6
Mxxxx R	X					X				4
Hxxxx	X									2
Sxxxx	X									1
Sxxxx			X							4
Exxxxx K			X							4
Exxxx F	X									>6
Axxx			X							5
Dxxx A	X						X			>6
P Txx H	X	X				X				>6

Catatan: - nomor kompetensi adalah nomor kompetensi penting pada peta kompetensi
- atr: waktu atrisi dalam tahun

Tahap 3: TindakLanjut

Dari identifikasi kompetensi organisasi berisiko seperti yang ditunjukkan pada tabel 6, terlihat bahwa kebutuhan kompetensi 1, 2, 5, dan 6 masih dapat tercukupi oleh personel yang ada. Untuk kompetensi 3, 4, 7, 8 dan 9, jumlah personel yang ada belum mencukupi jumlah yang dibutuhkan,

sehingga diperlukan tindak lanjut yaitu: program rekrutmen personel untuk kompetensi 7; pelatihan intensif untuk kompetensi 3, 4, 8 dan 9 serta penambahan kompetensi pada personel untuk kompetensi 3.

Asesmen Risiko Hilang Pengetahuan Individu

Tahap1: Asesmen Risiko

Berdasarkan kompetensi berisiko dan data waktu atrisi pada tabel 4, Faktor Risiko Total dari tiap personel dapat dihitung dengan menggunakan Tabel 1 (kriteria Faktor Risiko Atrisi) dan Tabel 2 (kriteria Risiko faktor jabatan). Hasil perhitungan Faktor Risiko total di tunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5: Faktor Risiko Total

No	Nama Personel	Faktor Risiko Atrisi	Faktor Risiko Jabatan	Faktor Risiko Total	Prioritas
1	Sxxx A	1	4	4	Penting
2	Yxxxxxx	5	5	25	Prioritas Tinggi
3	Ixxxxxxx	1	5	5	Penting
4	Bxxxxxxx	1	5	5	Penting
5	Txxxxxx	1	4	4	Penting
6	Rxxx R	4	5	20	Prioritas Tinggi
7	Rxxx A	1	4	4	Penting
8	Bxxxx S	5	3	15	Sangat penting
9	Dxxxxxxx	3	3	9	Penting
10	Dxxxxxx	3	3	9	Penting
11	Sxxxxx R	1	3	3	Penting
12	Sxxxxt W	1	4	4	Penting
13	Dxxxx P	1	4	4	Penting
14	Hxxxx A	1	4	4	Penting
15	Exxxx S	4	5	20	Prioritas Tinggi
16	Sxxxxx	3	3	9	Penting
17	Sxxxxx	3	3	9	Penting
18	Mxxxxx R	5	3	15	Sangat penting
19	F Bxxxx	1	5	5	Penting
20	Axxx L	5	3	15	Sangat penting
21	Sxxxxx	1	5	5	Penting
22	Hxxxxxx	1	5	5	Penting
23	Sxxxxx W	4	3	12	Sangat penting
24	Sxxxxxx	3	5	15	Sangat penting
25	Wxxxxx S	4	4	16	Prioritas
26	Nxx P	1	3	3	Penting
27	Txxx W	1	5	5	Penting
28	Mxxxx R	3	3	9	Penting
29	Hxxxx	4	3	12	Sangat penting
30	Sxxxx	5	3	15	Sangat penting
31	Sxxxx	3	5	15	Sangat penting
32	Exxxxx K	3	5	15	Sangat

					penting
33	Exxxx F	1	3	3	Penting
34	Axxx	2	5	10	Sangat penting
35	Dxxx A	1	3	3	Penting
36	P Txx H	1	3	3	Penting

Dari hasil perhitungan faktor risiko total pada tabel 5 didapat hasil: Prioritas Tinggi 3 orang, Prioritas 1 orang, Sangat Penting 10 orang, Penting 22 orang

Tahap 2: Menyusun rencana retensi untuk menangkap pengetahuan kritis

Berdasarkan hasil perhitungan Faktor Risiko Total, maka usulan rencana retensi untuk menangkap pengetahuan kritis adalah sebagai berikut:

- **Prioritas tinggi:** (3 orang), memerlukan tindak lanjut: mencari pengganti dengan melakukan rekrutmen personel secepatnya, rotasi personel dan dilanjutkan dengan program pelatihan pemagangan intensif serta *shadowing* bagi personel pengganti
- **Prioritas:** (1 orang), memerlukan tindak lanjut jangka pendek: mencari pengganti dengan rekrutmen baru, rotasi personel dan dilanjutkan pelatihan intensif bagi personel pengganti
- **Sangat Penting:** (10 orang), memerlukan tindak lanjut jangka menengah: modifikasi perencanaan sumber daya manusia, Program Pelatihan tematik, pengkayaan kompetensi bagi personel pengganti
- **Penting:** (22 orang), memerlukan tindak lanjut jangka Panjang: program pelatihan terjadwal, pengkayaan kompetensi, pembelajaran berkelanjutan

KESIMPULAN

Dari hasil kegiatan NKLRM yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa kompetensi organisasi paling penting yang harus selalu ada di Pusdiklat untuk melaksanakan Pelatihan teridentifikasi berjumlah 9 buah kompetensi. Dari 9 kompetensi penting tersebut, saat ini terdapat 4 buah kompetensi yang jumlah personelnnya belum mencukupi dan berisiko hilang, yaitu kompetensi Radiografi, Radiokimia, Kewidyaiswaraan dan Keamanan Nuklir.

Dari hasil asesmen risiko hilang pengetahuan individu teridentifikasi 3 personel memerlukan penggantian secepatnya, 1 orang memerlukan tindakan jangka pendek, 10 orang memerlukan tindakan jangka menengah dan 22 personel memerlukan tindakan jangka Panjang

DAFTAR PUSTAKA

1. IAEA (2004), The Nuclear Power Industry's Ageing Workforce: Transfer Of

Knowledge To The Next Generation, IAEA-TECDOC-1399, IAEA, Vienna.

2. IAEA(2006), Knowledge Management for Nuclear Industry Operating Organizations", IAEA-TECDOC-1510, IAEA, Vienna.
3. YANEV, Y, (2005), Nuclear Knowledge Management: Role of the IAEA (Proc. of Managing Nuclear Knowledge, IAEA, Vienna (2005).
4. IAEA (2017), Knowledge Loss Risk Management in Nuclear Organizations, STI/PUB/1734, IAEA, Vienna.
5. IAEA (2006), Risk Management of Knowledge Loss in Nuclear Industry Organizations, STI/PUB/1248, IAEA, Vienna.

Nama Penanya : Amil M
Instansi : BAPETEN
Nama Penyaji : Bagiyono
Judul Makalah : **MANAJEMEN RISIKO HILANG PENGETAHUAN NUKLIR DI PUSDIKLAT BATAN**
Kode Makalah : OC06

Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar

Topik makalah ini terkait hilangnya pengetahuan nuklir namun faktor maupun identifikasi yang ditampilkan adalah personil, bagaimana hubungannya? Resiko tertinggi belum terlihat jelas.

Jawaban/Komentar dari Penyaji

Manajemen resiko hilang pengetahuan nuklir memang menitikberatkan pada faktor attrisi personil dan untuk mengidentifikasi pengetahuan harus melakukan asesmen terhadap personil yang memiliki pengetahuan tersebut. Dari hasil asesmen akan diidentifikasi kompetensi organisasi yang beresiko hilang dan pengetahuan personil yang beresiko hilang.

Kalau dilihat dari hasil perkalian antara faktor attrisi dan faktor resiko jabatan ada 3 pengetahuan personil yang mempunyai resiko tertinggi yaitu yang mempunyai nilai 20 – 25 dengan prioritas sangat tinggi.

Nama Penanya : Rahmat Edi H
Instansi : BAPETEN
Nama Penyaji : Bagiyono
Judul Makalah : **MANAJEMEN RISIKO HILANG PENGETAHUAN NUKLIR DI PUSDIKLAT BATAN**
Kode Makalah : OC06

Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar

BATAN adalah salah satu PI instalasi nuklir. Dari tabel resiko ternyata keselamatan nuklir dan safeguard tidak menjadi aspek kehilangan pengetahuan nuklir, mengapa demikian? Padahal telah banyak informasi yang menyatakan banyak petugas pengoperasi (supervisor/operator reaktor nuklir) akan pensiun dalam waktu dekat.

Jawaban/Komentar dari Penyaji

Kehilangan pengetahuan nuklir yang diidentifikasi adalah pengetahuan nuklir yang dimiliki oleh personil pusdiklat yang dibutuhkan untuk melaksanakan pelatihan di usdiklat. Kompetensi keselamatan nuklir dan safeguard menjadi kompetensi penting di unit kerja yang mengoperasikan reaktor, sehingga tidak menjadi obyek penelitian ini.

OC07
**TINJAUAN DUKUNGAN KEAMANAN NUKLIR
 DAN PERAN KERJASAMA INTERNASIONAL BAPETEN
 DALAM PERSIAPAN MAJOR PUBLIC EVENT (MPE) ASIAN GAMES 2018**

Indah Annisa

Biro Perencanaan, Kerja Sama Luar Negeri

e-mail: i.annisa@bapeten.go.id

ABSTRAK

TINJAUAN DUKUNGAN KEAMANAN NUKLIR DAN PERAN KERJA SAMA INTERNASIONAL BAPETEN DALAM PERSIAPAN MAJOR PUBLIC EVENT (MPE) ASIAN GAMES 2018. Keamanan nuklir merupakan tindakan pencegahan dan pendeteksian, dan respons terhadap, pencurian, sabotase, akses tanpa izin, transfer ilegal atau tindakan berbahaya lainnya terhadap bahan nuklir, zat radioaktif lainnya, terkait fasilitas atau kegiatan. Pada tahun 2018 ini, Indonesia akan menjadi tuan rumah dalam ajang olahraga 4 tahunan yang melibatkan atlet-atlet dari berbagai negara di kawasan Asia, yaitu *The 18th Asian Games 2018*. Perhelatan *Asian Games* ini masuk kedalam kategori yang disebut sebagai *Major Public Event*. *Major Public Event (MPE)* adalah suatu kegiatan perhelatan akbar dalam level nasional atau internasional yang melibatkan sejumlah besar sumber daya dan memerlukan perencanaan serta implementasi rencana keamanan yang maksimal. Dalam hal ini, isu keamanan nuklir menjadi sangat penting, dengan mempertimbangkan munculnya berbagai macam potensi ancaman keamanan yang mungkin terjadi seperti tindakan terorisme yang melibatkan bahan nuklir dan/atau zat radioaktif dalam tindakannya, baik berupa *Dirty Bomb/Radiological Dispersal Device (RDD)* maupun *Radiological Exposure Device (RED)*. Tinjauan ini bertujuan untuk mengidentifikasi peran dan fungsi kerjasama internasional BAPETEN dalam tahapan awal dukungan keamanan nuklir yang dapat diterapkan dalam pengamanan *Asian Games 2018* di Indonesia. Peran dan fungsi kerja sama internasional BAPETEN dengan mitra internasional seperti IAEA sangat efektif dalam mendukung kegiatan seperti MPE *Asian Games 2018*. Hal ini dikarenakan meningkatnya dorongan dunia internasional kepada BAPETEN dan Pemerintah Indonesia untuk berperan lebih aktif dalam mendukung peningkatan infrastruktur pengawasan, khususnya di bidang keamanan nuklir. Keberlanjutan peran kerja sama internasional ini menjadi faktor penting dalam rangka memperkuat fungsi BAPETEN sebagai badan pengawas. Kerja Sama Internasional BAPETEN telah berperan dalam menginisiasi dan melaksanakan beberapa pertemuan dan koordinasi dengan para pemangku kepentingan dan institusi yang terlibat dalam pengamanan *Asian Games*, dan memfasilitasi berbagai workshop yang diselenggarakan untuk memperkuat kapabilitas SDM institusi pengamanan *Asian Games 2018* dengan dukungan mitra internasional.

Kata kunci: keamanan nuklir, MPE, Asian Games, kerja sama internasional.

ABSTRACT

THE REVIEW OF NUCLEAR SECURITY MEASURES AND THE ROLE OF BAPETEN'S INTERNATIONAL COOPERATION IN THE PREPARATION OF MAJOR PUBLIC EVENT (MPE) ASIAN GAMES 2018. Nuclear security is the prevention and detection of and response to, theft, sabotage, unauthorized access, illegal transfer or other malicious acts involving nuclear material, other radioactive substances or their associated facilities and activities. In 2018, Indonesia will become the host country of a quadrennial sport event in which involving athletes from countries in Asia region, *The 18th Asian Games 2018*. *The Asian Games* is categorized as a *Major Public Event*. *Major Public Event (MPE)* is a huge planned event at national or international level in which involving a large number of resources and requires good planning and the implementation of a maximum security plan. In this case, nuclear security issues become very essential considering various credible threats, for instance criminal act or terrorism involving nuclear material or other radioactive sources, either in the form of *Dirty Bomb/Radiological Dispersal Device (RDD)*, as well as *Radiological Exposure Device (RED)*. This review aims to identify the role and function of BAPETEN's international cooperation in the early stages of nuclear security measures implementation to support the *Asian Games 2018*. The role and function of international cooperation with international organization or partners, i.e. the IAEA, is very effective in supporting such MPE activities. This is due to the increasing of international support to BAPETEN and the Government of the Republic of Indonesia to play an active role in establishing the oversight infrastructure, particularly in nuclear security area. The sustainability of international cooperation becomes an essential factor in strengthening BAPETEN's function as a regulatory body. BAPETEN's international cooperation have initiated and conducted several meetings and coordination with related stakeholders and institutions involved in the security of the *Asian Games 2018*, as well as facilitated many

workshops to enhance the human resources capabilities of our security agencies and institutions with the support of international partners.

Keywords: nuclear security, MPE, Asian Games, international cooperation

PENDAHULUAN

Keamanan nuklir merupakan tindakan pencegahan dan pendeteksian, dan respons terhadap, pencurian, sabotase, akses tanpa izin, transfer ilegal atau tindakan berbahaya lainnya terhadap bahan nuklir, zat radioaktif lainnya, terkait fasilitas atau kegiatan [1]. Pentingnya aspek keamanan nuklir dalam menjamin pemanfaatan tenaga nuklir di Indonesia harus dilakukan dengan melibatkan berbagai pihak terkait. Sesuai dengan UU No. 10 Tahun 1997, pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir dilaksanakan melalui 3 pilar pengawasan, yaitu peraturan, perizinan, dan inspeksi [2].

Salah satu potensi ancaman keamanan yang mungkin terjadi dewasa ini adalah tindakan terorisme yang melibatkan bahan nuklir dan/atau zat radioaktif dalam aksinya, baik berupa *Dirty Bomb/Radiological Dispersal Device (RDD)* maupun *Radiological Exposure Device (RED)* terhadap tempat-tempat berkerumunnya massa pada acara-acara besar, seperti pertandingan olah raga, konser musik, pameran, dan lain-lain. Kekhawatiran dunia internasional akan ancaman keamanan dengan melibatkan radioaktif ini sudah menjadi perhatian khusus dalam beberapa pertemuan internasional, diantaranya adalah konvensi keamanan nuklir yang telah dilaksanakan sebanyak 4 (empat) kali, yaitu pada tahun 2010 di Washington, 2012 di Seoul, 2014 di Den Haag, dan 2016 di Washington.

Rezim keamanan nuklir suatu negara dapat mencakup bahan nuklir dan sumber radioaktif lainnya, baik yang berada di bawah atau di luar kendali peraturan, fasilitas terkait dan aktivitas terkait lainnya. Sehingga tujuan dari rezim keamanan nuklir yang ada di suatu negara adalah dalam rangka untuk melindungi orang, properti, masyarakat, dan lingkungan dari konsekuensi berbahaya dari peristiwa keamanan nuklir yang dapat terjadi. Untuk mencapai tujuan ini, negara harus menetapkan, menerapkan, memelihara dan mempertahankan rezim keamanan nuklir yang tepat dan tepat guna untuk mencegah, mendeteksi, dan menanggapi kejadian tersebut.

Major Public Event (MPE) adalah suatu kegiatan perhelatan akbar dalam level nasional atau internasional yang melibatkan sejumlah besar sumber daya dan memerlukan perencanaan serta implementasi Rencana Keamanan yang maksimal [3]. MPE ini dapat berupa pertandingan olahraga atau pertemuan tingkat tinggi para petinggi negara. Bagi negara yang menjadi tuan rumah akan menghadapi tantangan yang besar dan kompleks dalam mempersiapkan MPE.

Pada tahun 2018 ini, Indonesia akan menjadi tuan rumah dalam ajang olahraga 4 tahunan yang melibatkan atlet-atlet dari berbagai negara di kawasan Asia, yaitu *The 18th Asian Games 2018*. Pelaksanaan *Asian Games 2018* dilaksanakan di 3 propinsi, yaitu DKI Jakarta, Sumatera Selatan, dan Jawa Barat. Dengan lokasi penyelenggaraan yang mencakup 3 (tiga) propinsi, dan berbagai macam cabang olahraga yang akan dipertandingkan dalam *Asian Games*, maka menuntut perlunya keamanan yang sangat ketat agar pelaksanaan pertandingan terselenggara dengan baik.

Pengamanan dalam *Asian Games 2018* tidak hanya melibatkan berbagai macam aspek seperti pertahanan, keamanan, dan intelijen, tetapi juga terkait dengan potensi ancaman keamanan nuklir sehingga perlunya keterlibatan BAPETEN sebagai otoritas di bidang energi nuklir dalam perhelatan *Asian Games 2018* ini. Keterlibatan BAPETEN ini harus saling sinergi dengan tugas pokok dan fungsi dari lembaga lain seperti POLRI, TNI, Badan Intelijen Negara (BIN), dan lain-lain. Selain itu, keterlibatan BAPETEN dalam *Asian Games* ini juga dilakukan melalui jejaring kerja sama luar negeri, misalnya melalui jalur kerja sama multilateral. Tinjauan ini bertujuan untuk mengidentifikasi peran dan fungsi kerjasama internasional dalam tahapan awal dukungan keamanan nuklir yang dapat diterapkan dalam pengamanan *Asian Games 2018* di Indonesia. Tinjauan ini dilakukan dengan menggunakan metodologi kajian literatur melalui publikasi IAEA dan pengalaman koordinasi dengan berbagai pemangku kepentingan terkait, baik di dalam maupun luar negeri.

POKOK BAHASAN

The 18th Asian Games 2018 akan diselenggarakan pada tanggal 18 Agustus – 2 September 2018, dengan menggunakan beberapa *venue* pertandingan yang ada di 3 (tiga) propinsi di Indonesia, dan meliputi kota Jakarta, Palembang, Bandung, Cibinong, Bekasi, dan Cikarang. *Event* ini akan diikuti oleh tidak kurang dari 9500 atlet, 5500 *official* dan wasit, 2500 tamu VVIP dan komite olimpiade, 20000 tenaga kerja dan sukarelawan, serta 3500 wartawan dari media cetak dan elektronik, baik lokal maupun internasional [3]. Komite Olimpiade Asia (OCA) secara resmi telah menyatakan bahwa ada 40 (empat puluh) cabang olahraga yang akan dipertandingkan dalam *Asian Games 2018*.

MPE akan menyita perhatian publik dan atensi media secara besar-besaran, sehingga dapat menjadi target para demonstran, pelaku kerusakan

atau bentuk kekacauan lainnya yang dapat mengganggu kelancaran pelaksanaan kegiatan. Satu hal yang menjadi perhatian penting adalah potensi dan kemungkinan untuk aksi terorisme atau tindakan kriminal lainnya dengan melibatkan bahan nuklir atau bahan radioaktif lainnya. Berbagai contoh kasus sudah terjadi di Indonesia bahwa ancaman terorisme dengan ide menggunakan bahan radioaktif sudah ada, salah satu yang baru saja terjadi adalah kasus di Antapani, Bandung.

Untuk kegiatan atau penyelenggaraan MPE seperti kontestasi olahraga tingkat regional atau inter-regional, atau pertemuan politik tingkat tinggi, tentu memerlukan upaya keamanan nuklir yang saat ini belum diatur dalam ketentuan peraturan perundang-undangan. Organisasi yang menyelenggarakan MPE harus bertanggungjawab dan memiliki tantangan dalam menciptakan suasana aman dan kondusif. Penggunaan bahan nuklir atau zat radioaktif dalam tindakan kriminal dan terorisme dengan menargetkan suatu MPE yang digelar akan memberikan potensi dampak serius terhadap kesehatan, psikologi, sosial, ekonomi, politik, dan lingkungan hidup. Tindakan kriminal atau aksi terorisme yang potensial misalnya:

1. dispersi bahan nuklir dan zat radioaktif ke tempat umum, seperti penggunaan RDD (*Radiological Dispersal Devices*);
2. penempatan bahan radioaktif berbahaya di tempat-tempat umum seperti RED (*Radiological Exposure Devices*) dengan niat yang disengaja untuk memberikan paparan radiasi terhadap orang-orang di atau dekat sumber radiasi;
3. pembuatan IND (*Improvised Nuclear Device*);
4. sabotase pada fasilitas nuklir dengan maksud menyebabkan pelepasan zat radioaktif;
5. tindakan yang disengaja untuk mencemari persediaan makanan atau air dengan zat radioaktif.

Berbagai *event* di level regional dan interregional di berbagai negara yang telah melibatkan pengamanan nuklir, dapat menjadi pertimbangan tersendiri bagi Indonesia untuk menggunakan dukungan sistem keamanan nuklir dalam MPE *Asian Games 2018*. *Event* tersebut diantaranya adalah olimpiade Athena 2004, olimpiade Beijing 2008, piala dunia FIFA Jerman 2006, dan piala dunia FIFA Afrika Selatan 2010.

IAEA (*International Atomic Energy Agency*) sebagai badan khusus PBB yang mengawasi penggunaan tenaga nuklir untuk tujuan damai di seluruh dunia, dalam menjalankan peran dan fungsinya dilengkapi dengan berbagai macam perangkat standar/rekomendasi. Terkait dengan keamanan nuklir, IAEA telah menerbitkan publikasi panduan dalam bentuk NSS (*Nuclear Security Series*). Salah satu dari rekomendasi yang telah

dikeluarkan oleh IAEA adalah *NSS 18 on Nuclear Security System and Measures for Major Public Event* [4]. Dokumen tersebut menjelaskan tentang apa saja yang harus dipersiapkan dalam penyelenggaraan MPE. Saat ini, Indonesia sudah melewati 2 (dua) tahapan dari 6 (enam) tahapan yang harus dipersiapkan dalam suatu MPE. Kedua tahapan tersebut sebagai berikut:

1. *preliminary arrangements*;

Merupakan ketentuan awal yang berisikan ketentuan bahwa penyelenggara MPE telah mengambil keputusan dan bermaksud akan mengimplementasikan tindakan dan sistem keamanan nuklir. Tindakan dan sistem keamanan nuklir yang telah diambil atau diadopsi harus berdasarkan pada analisis ancaman yang ada dan potensi konsekuensi dari ancaman tersebut, serta penilaian *pre-event* untuk menentukan tingkat sumber daya dan kesiapan yang diperlukan.

2. *pre-event preventive measures*;

Tindakan pencegahan *pre-event* adalah untuk mempertimbangkan pencegahan terhadap tindakan kriminal atau tidak sah, manajemen informasi, dan penilaian kepercayaan (*trustworthiness*). Tindakan pencegahan *pre-event* dalam konteks MPE ini dimaksudkan untuk mencegah individu atau kelompok yang berniat melakukan tindakan kriminal atau tidak sah dengan implikasi keamanan nuklir, yang melibatkan bahan nuklir dan zat radioaktif lainnya, dan dapat mengakibatkan paparan radiasi dan/atau kontaminasi radioaktif ke publik dan/atau lingkungan. Untuk menetapkan sistem dan tindakan keamanan nuklir mana yang harus diterapkan, analisis *pre-event*, termasuk penilaian ancaman, harus dilakukan untuk menentukan skala sumber daya dan tingkat kesiapan yang diperlukan. Analisis harus mencakup pertimbangan ukuran kegiatan, kepentingan, durasi, lokasi, peran dan liputan oleh media, serta kehadiran pejabat tinggi dan/atau persepsi politik dari acara tersebut.

Otoritas berwenang yang bertanggung jawab harus menjamin bahwa semua personil yang terlibat dalam MPE secara eksplisit dapat dipercaya (*trustworthiness*) sesuai dengan peran dari personil tersebut melalui suatu proses formal. Proses formal ini harus mengurangi risiko personil yang berwenang terhadap akses ke informasi tertentu (*privileged information*) untuk memungkinkannya terlibat dalam kegiatan tidak sah/ilegal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kompleksnya pengelolaan *Asian Games 2018* dengan keterlibatan banyak pihak menjadi tantangan tersendiri bagi seluruh institusi yang terlibat. Data intelijen sendiri sudah memperingatkan bahwa ajang ini akan dipergunakan oleh poros ISIS sebagai salah satu media jihad mereka, dan oleh pihak-pihak yang berniat menciptakan kekacauan di dalam negeri menjelang Pemilu Presiden tahun depan. Tentu hal

ini akan berdampak kepada kondisi ekonomi dan konsekuensi posisi politik Indonesia di dunia internasional. Oleh karena itu, *Asian Games* ini menjadi penting untuk dilindungi atau diamankan dari tindakan kriminal maupun aksi terorisme karena memiliki ancaman yang kredibel dan sangat terkait dengan keputusan politis.

Pemerintah Indonesia membentuk INASGOC (*Indonesia Asian Games Organizing Committee*) yang terdiri dari perwakilan beberapa institusi keamanan/otoritas berwenang yang kompeten di Indonesia. Untuk bidang keamanan sendiri, diketuai oleh Deputi IV yang merupakan AsOps Kapolri. INASGOC berperan sebagai otoritas yang bertanggung jawab atas keamanan keseluruhan acara. BAPETEN sendiri di sini menjadi *supporting factor* dengan memanfaatkan seluruh kapabilitas dan infrastruktur pendukung yang dimiliki, serta memanfaatkan jejaring kerjasama multilateral melalui dukungan internasional.

Kerjasama antar pemangku kepentingan di dalam negeri juga sangat diperlukan untuk menentukan secara jelas peran dan tanggung jawab seluruh entitas yang terlibat. Perlu ditetapkan personil kunci dari setiap entitas yang terlibat untuk memudahkan dalam pengambilan keputusan yang penting. Tindakan-tindakan yang harus dilakukan sebelum dan selama MPE, harus direncanakan dan dipersiapkan secara matang, terutama terkait kerja sama dan koordinasi dengan semua institusi/organisasi yang terlibat, dengan ikut mempertimbangkan peredaran informasi sensitif. Menentukan lokasi *venue* dan lokasi strategis juga menjadi faktor penentu dalam menyusun skala prioritas tindakan pengamanan dan sumber daya yang dibutuhkan. Penyusunan *Concept of Operation* (CONOPS) dengan institusi keamanan terkait seperti POLRI dan TNI menjadi sangat fundamental. Jika diperlukan suatu bentuk legal formal tertulis untuk menetapkan hal tersebut, misalnya dalam bentuk protokol atau perjanjian kerja sama juga dapat dipertimbangkan.

Untuk Asian Games 2018 ini, INASGOC selaku otoritas utama telah melakukan seleksi terhadap tenaga kerja dan sukarelawan yang akan membantu pelaksanaannya. *Background Check* juga dilakukan oleh Polri dan BIN untuk memeriksa riwayat para calon tenaga kerja dan sukarelawan sebelum diterima menjadi anggota panitia. Prosedur yang sama juga dilakukan terhadap para tenaga pengamanan yang terdiri dari personil-personil dari institusi keamanan, termasuk para personil BAPETEN dari tim MEST dan inspektur yang akan menjadi bagian dari tim pengamanan di lapangan.

The Nuclear Security Plan (Rencana Keamanan Nuklir) periode tahun 2018–2021, yang telah disetujui oleh *the IAEA Board of Governors* dan disahkan melalui *the IAEA General Conference* tahun 2017, menyatakan bahwa IAEA terus berkomitmen untuk membantu dan mendampingi

negara-negara anggota dalam rangka membangun rezim keamanan nuklir nasional yang efektif dan keberlanjutannya, juga mendukung pengembangan infrastruktur nasional terkait keamanan nuklir dan bahan nuklir/radioaktif yang berada di luar pengawasan (*nuclear and other radioactive material out of regulatory control, MORC*). Rencana ini juga memberi mandat kepada IAEA untuk memfasilitasi kerjasama internasional dalam hal keamanan nuklir di antara negara-negara anggota dan mitra internasional lainnya, dalam rangka mengurangi duplikasi asistensi/bantuan, mempromosikan pertukaran informasi dan memperkuat instrumen hukum internasional [5].

Bagian Kerjasama Luar Negeri BAPETEN (Kerma LN) berperan penting sebagai fasilitator dalam menjaga keberlangsungan semua program kerja internasional (baik bilateral maupun multilateral), sehingga terkoordinasi, terarah dan berkesinambungan.

Program kerja sama internasional yang dijalankan harus dapat meningkatkan fungsi lembaga dalam mengawasi tiga aspek penting pemanfaatan tenaga nuklir, yaitu keselamatan, keamanan dan seifgard. Dengan meningkatnya berbagai tantangan strategis lembaga, diharapkan program kerja sama luar negeri mampu meningkatkan pertukaran informasi dengan berbagai institusi di luar negeri, memperkuat kolaborasi dalam memecahkan berbagai masalah pengawasan serta memfasilitasi pemenuhan kebutuhan SDM pengawas tenaga nuklir yang profesional.

Program kerja sama tersebut juga harus sesuai dengan kebijakan nasional di bidang hubungan dan politik luar negeri pemerintah Republik Indonesia, serta sesuai dengan kebijakan lembaga dalam peningkatan pengawasan tenaga nuklir melalui kerja sama internasional sebagaimana diatur dalam Peraturan Kepala BAPETEN No 4 Tahun 2012 tentang Penyelenggaraan Program Kerja Sama Luar Negeri [6].

Dalam *Asian Games* 2018 ini, Kerma LN memfasilitasi koordinasi dan komunikasi dengan berbagai pihak, tidak hanya para pemangku kepentingan di Indonesia, namun juga dengan organisasi internasional, seperti IAEA, dalam rangka mendapatkan bantuan peralatan deteksi untuk mendukung pengamanan *Asian Games* 2018 serta peningkatan kapabilitas personil. Permintaan bantuan kepada IAEA untuk MPE Asian Games ini sudah menjadi salah satu *action plan* yang disepakati dalam forum *Integrated Nuclear Security Support Plan* (INSSP). Untuk *Asian Games* 2018 ini, Indonesia telah mendapatkan bantuan dari IAEA berupa sejumlah peralatan deteksi yang terdiri dari 100 unit PRD (*Personal radiation detector*), 10 unit RID (*Radioactive Identifier Device*), dan 8 unit PRS (*Portable Radiation Scanners*). PRD dan RID adalah peralatan *hand-held* berupa perangkat portabel yang digunakan untuk mendeteksi,

menemukan dan / atau mengidentifikasi bahan nuklir dan bahan radioaktif lainnya. Sedangkan PRS terdiri dari spektrometer gamma otomatis dan perangkat lunak untuk identifikasi radionuklida, serta memungkinkan pemetaan dengan GPS dan memiliki kemampuan komunikasi. PRS dapat digunakan untuk survei radiologi pre-event dan pemetaan cacah *background*.

Bagian Kerma LN BAPETEN juga menginisiasi dan melaksanakan beberapa pertemuan dan koordinasi dengan para pemangku kepentingan dan institusi di dalam negeri yang terlibat dalam pengamanan *Asian Games*. Bagian Kerma LN juga memfasilitasi berbagai workshop yang diselenggarakan untuk memperkuat kapabilitas SDM institusi pengamanan, dengan melibatkan berbagai tenaga ahli internasional dari Brazil dan Amerika Serikat. Berikut beberapa kegiatan yang telah dilaksanakan oleh Kerma LN dalam rangka mendukung kegiatan MPE Asian Games 2018:

1. Pelaksanaan *Initial Meeting* antara BAPETEN, Kemenpora, INASGOC dan *stakeholder* terkait *Asian Games* 2018 pada tanggal 24 Juli 2017, sebagai titik awal koordinasi dalam negeri;
2. *1st Coordination Meeting* dengan tim IAEA pada 12 September 2017 untuk mendiskusikan rencana bantuan IAEA dan *timeline*;
3. *2nd Coordination Meeting* dengan tim IAEA pada tanggal 5 Desember 2017 untuk memfinalisasi jenis aktivitas yang akan diimplementasikan beserta penyusunan rencana jadwal;
4. Mengirimkan personil BAPETEN dan Polri mengikuti *Technical Visit to the 2017 Superbowl in Houston, Texas, USA*;
5. Mengirimkan personil BAPETEN dan KBR Polri untuk mengikuti *International Workshop on Nuclear Security Measures and Emergency Response Arrangements for Major Public Events*, Washington DC, USA, 12-16 Juni 2017;
6. Mengirimkan personil BAPETEN, BIN, dan Gegana Polri untuk mengikuti *Regional Workshop on Developing and Implementing Nuclear Security Systems and measures for Major Public Events*, di Tokai, Jepang, Agustus 2017;
7. Penyelenggaraan *National Workshop on Nuclear Security Systems and Measures for Major Public Events*, Jakarta, 4-8 Desember 2017, yang melibatkan seluruh instansi pengamanan *Asian Games*;
8. Mengirimkan personil BAPETEN, BIN, Paspampres, dan Gegana Polri untuk mengikuti *Workshop on Testing, Calibrating and Maintaining Handheld Detection Instruments*, Wina, Austria, 14-17 Mei 2018;
9. Penyelenggaraan *National Workshop on Responding to Nuclear Security Event at Main Venues and other Strategic Locations*, Jakarta, 25-29 Juni 2018 yang diikuti oleh para personil kunci dari 7 (tujuh) institusi pengamanan *Asian Games*;
10. Berkomitmen untuk memanfaatkan *ITDB network* sebagai media pertukaran informasi atas kejadian-kejadian yang berhubungan dengan illicit trafficking dan kepemilikan tidak sah terhadap sumber radioaktif dan bahan nuklir yang dapat menjadi perhatian internasional, terutama dalam masa MPE *Asian Games* 2018 ini.

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian di atas, dapat dilihat bahwa peran dan fungsi kerja sama internasional BAPETEN dalam tahapan awal dukungan keamanan nuklir untuk kegiatan seperti MPE *Asian Games* 2018 sangat penting dan efektif. Hal ini dikarenakan meningkatnya dorongan dunia internasional kepada BAPETEN dan Pemerintah Indonesia untuk berperan lebih aktif dalam mendukung peningkatan infrastruktur pengawasan, khususnya di bidang keamanan nuklir. Keberlanjutan peran kerja sama internasional ini dapat menjadi faktor penting dalam rangka memperkuat fungsi BAPETEN sebagai badan pengawas. Bagian Kerma LN telah berperan dalam menginisiasi dan melaksanakan beberapa pertemuan dan koordinasi dengan para pemangku kepentingan dan institusi yang terlibat dalam pengamanan *Asian Games*, dan memfasilitasi berbagai workshop yang diselenggarakan untuk memperkuat kapabilitas SDM institusi pengamanan *Asian Games* 2018 dengan dukungan mitra internasional.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IAEA (2015) IAEA Nuclear Security Series Glossary. IAEA, Vienna.
- [2] Republik Indonesia (1997) Undang-undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran. Setneg, Jakarta.
- [3] KEMENPORA (2017) Bahan Presentasi Sesmenpora dalam Initial Meeting Persiapan Asian Games 2018.
- [4] IAEA (2012) IAEA Nuclear Security Series No. 18: Implementing Guide: Nuclear Security Systems and Measures for Major Public Events, vol. NSS. IAEA, Vienna.
- [5] IAEA (2017) The Nuclear Security Plan 2018-2021. IAEA, Vienna.
- [6] Republik Indonesia (2012) Peraturan Kepala BAPETEN No 4 Tahun 2012 tentang Penyelenggaraan Program Kerja Sama Luar Negeri. Setneg, Jakarta.

Presentasi : OC7
 Judul : **TINJAUAN DUKUNGAN KEAMANAN NUKLIR DAN PERAN KERJASAMA INTERNASIONAL BAPETEN DALAM PERSIAPAN MAJOR PUBLIC EVENT (MPE) ASIAN GAMES 2018**
 Nama Presenter : Indah Annisa
 Penanya : Rahmat Edi H
 Instansi : BAPETEN

Pertanyaan :
 Keamanan nuklir adalah tindakan pencegahan dan pendeteksian, dan respons terhadap, pencurian, sabotase, akses tanpa izin, transfer ilegal atau tindakan berbahaya lainnya terhadap bahan nuklir, zat radioaktif lainnya, terkait fasilitas atau kegiatan. Apa yang telah dilakukan BAPETEN sebagai fungsi mencegah dan mendeteksi keamanan nuklir kaitannya dengan MPE Asian Games 2018?

Jawaban :
 Dalam rangka persiapan Asian Games 2018, BAPETEN c.q Bagian Kerja Sama Internasional telah melakukan koordinasi dan kerja sama dengan para pemangku kepentingan terkait. Dalam hal fungsi pencegahan, BAPETEN sudah melakukan survey radiasi dan pemetaan terhadap seluruh venue utama dan lokasi strategis serta objek vital yang akan dipakai dalam Asian Games di 3 propinsi di Indonesia. Diharapkan dengan adanya data awal radiasi latar belakang di lokasi-lokasi tersebut, dapat diketahui dan diantisipasi jika terdapat perubahan signifikan. Perubahan bisa dikarenakan memang ada potensi tindakan kejahatan melibatkan keamanan nuklir, atau memang perubahan alamiah. Di BAPETEN terdapat MEST (Mobile Expert Support Team) yang dapat melakukan analisa terhadap kejadian yang ada. Sedangkan untuk fungsi deteksi, baru dapat diimplementasikan saat pelaksanaan Asian Games itu sendiri. Namun untuk persiapannya, BAPETEN telah mendapatkan bantuan peralatan deteksi untuk mendukung pengamanan *Asian Games 2018* serta peningkatan kapabilitas personil. Untuk *Asian Games 2018* ini, Indonesia telah mendapatkan bantuan dari IAEA berupa sejumlah peralatan deteksi yang terdiri dari 100 unit PRD (*Personal radiation detector*), 10 unit RID (*Radioactive Identifier Device*), dan 8 unit PRS (*Portable Radiation Scanners*). PRD dan RID adalah peralatan *hand-held* berupa perangkat portabel yang digunakan untuk mendeteksi, menemukan dan / atau mengidentifikasi bahan nuklir dan bahan radioaktif lainnya. Sedangkan PRS terdiri dari spektrometer gamma otomatis dan perangkat lunak untuk identifikasi radionuklida, serta memungkinkan pemetaan dengan GPS dan memiliki kemampuan komunikasi. PRS dapat digunakan untuk survei radiologi pre-event dan pemetaan cacah *background*

Presentasi : OC7
 Judul : **TINJAUAN DUKUNGAN KEAMANAN NUKLIR DAN PERAN KERJASAMA INTERNASIONAL BAPETEN DALAM PERSIAPAN MAJOR PUBLIC EVENT (MPE) ASIAN GAMES 2018**
 Nama Presenter : Indah Annisa
 Penanya : Franky BB
 Instansi : FH UNAIR

Pertanyaan :
 1. Apa ancaman terbesar Asian Games di bidang radioaktif atau ketenaganukliran?
 2. Apakah pernah ada event besar yang menjadi best practices buat BAPETEN untuk mencegah ancaman/kerusakan akibat cyber terrorism sebagai contoh?
 3. Apakah ada simulasi mengenai rencana MPE BAPETEN tersebut?
 4. Bagaimana koordinasi jika terjadi kecelakaan radioaktif?
 5. Bagaimana prosedur dan implementasi early warning system atas kegiatan Asian Games tersebut di bidang radioaktif /ketenganukliran?

Jawaban :

1. Salah satu potensi ancaman keamanan yang mungkin terjadi adalah tindakan terorisme yang melibatkan bahan nuklir dan/atau zat radioaktif dalam aksinya, baik berupa *Dirty Bomb/Radiological Dispersal Device (RDD)* maupun *Radiological Exposure Device (RED)*. Kekhawatiran dunia internasional akan ancaman keamanan dengan melibatkan radioaktif ini sudah menjadi perhatian khusus dalam beberapa pertemuan internasional, diantaranya adalah konvensi keamanan nuklir yang telah dilaksanakan sebanyak 4 (empat) kali, yaitu pada tahun 2010 di Washington, 2012 di Seoul, 2014 di Den Haag, dan 2016 di Washington. Asian Games akan menyita perhatian publik dan atensi media secara besar-besaran, sehingga dapat menjadi target para demonstran, pelaku kerusuhan atau bentuk kekacauan lainnya yang dapat mengganggu kelancaran pelaksanaan kegiatan. Berbagai contoh kasus sudah terjadi di Indonesia bahwa ancaman terorisme dengan ide menggunakan bahan radioaktif sudah ada, salah satu yang baru saja terjadi adalah kasus di Antapani, Bandung.
2. Pertanyaan tidak relevan dengan judul makalah, makalah tidak terkait dengan cyber terrorism, ini 2 topik yang berbeda. Penulis tidak dapat menjawab.
3. Simulasi sudah dilakukan antara BAPETEN beberapa kali dengan berbagai pemangku kepentingan terkait di bidang keamanan nuklir, di antaranya POLRI, BIN, Paspampres, BNPT, Gegana, dan lain-lain, dalam hal pendeteksian dan tindakan penanggulangan jika terjadi nuclear security incident yang melibatkan bahan nuklir/sumber radioaktif.
4. Pertanyaannya kurang spesifik, karena insiden keamanan nuklir bukan merupakan kecelakaan radioaktif, ini adalah 2 topik yang berbeda. Namun perlu saya menjawab dalam kaitannya dengan insiden keamanan nuklir saja, bukan dalam kategori kecelakaan. First responder di lapangan adalah pihak institusi keamanan, dalam hal ini POLRI. POLRI akan merespon pertama kali, dan jika kemudian teridentifikasi bahwa ancaman adalah terkait dengan penyalahgunaan bahan nuklir/sumber radioaktif, maka MEST (Mobile Expert Support Team) yang ada di BAPETEN akan turun dan menangani hal tersebut.
5. Tidak ada prosedur early warning system dalam Asian Games 2018 terkait bidang radioaktif/ketenaganukliran. Perlu dipahami bahwa insiden keamanan nuklir bukanlah suatu kecelakaan. Mungkin kalau dalam aspek keamanan, early warning system dimaksud adalah data intelijen yang dapat digunakan oleh para pihak tertentu dalam mengantisipasi kegiatan-kegiatan atau ancaman jika diduga ancaman yang ada dapat menimbulkan kekacauan. BAPETEN sendiri sudah terintegrasi ke dalam bagian para institusi keamanan yang bertugas dalam Asian Games ini. BAPETEN sebagai supporting factor stand by dan siap untuk dimintakan bantuannya jika terjadi insiden keamanan nuklir.

PA01

**IDENTIFIKASI POTENSI BAHAYA KERJA PADA PELAKSANAAN INSPEKSI
FASILITAS RADIOGRAFI INDUSTRI SISTEM
MANAJEMEN KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA (SMK3)**

Deddy Rusdiana

Direktorat Inspeksi Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif BAPETEN

e-mail: d.rusdiana@bapeten.go.id

ABSTRAK

Keselamatan dan kesehatan kerja masih menjadi faktor penting dalam setiap kegiatan kerja. Termasuk dalam kegiatan pelaksanaan inspeksi keselamatan nuklir fasilitas radiografi industri di Indonesia. Diperlukan sebuah Prosedur pelaksanaan inspeksi pemanfaatan radiografi industri yang memiliki basis system manajemen keselamatan dan kesehatan kerja yang bisa diaplikasikan oleh inspektur keselamatan radiasi BAPETEN. Namun sebelum terbentuknya prosedur pelaksanaan inspeksi berbasis SMK3 maka langkah awal yang harus dilakukan adalah menentukan resiko dari pelaksanaan inspeksi keselamatan nuklir pemanfaatan radiografi industri di Indonesia. Kajian ini bertujuan untuk mengetahui apa saja resiko dan nilai resiko potensi bahaya kerja pelaksanaan inspeksi fasilitas radiografi industri. Dalam penentuan potensi resiko kerja dan penilaian resiko, kajian ini menggunakan pendekatan HIRA. Melalui kajian ini dapat diidentifikasi bahwa pelaksanaan inspeksi keselamatan nuklir fasilitas radiografi industri memiliki 1 (satu) kategori resiko rendah *Low Risk*, 2 (dua) kategori resiko sedang *Moderate Risk*, 5 (lima) kategori resiko tinggi *High Risk*, dan 1 (satu) kategori resiko sangat tinggi *Extreme Risk* dengan faktor penyebab terbesar terjadinya potensi bahaya adalah pelaksanaan inspeksi keselamatan nuklir untuk pemanfaatan radiografi industri yang selalu dilaksanakan di luar ruangan, dan berada pada daerah yang sedang melakukan konstruksi yang biasanya berada di lokasi jauh dari keramaian (pusat kota) dan Potensi bahaya terbesar dari pelaksanaan inspeksi keselamatan nuklir radiografi industri berasal dari Sumber Radiasi itu sendiri yang memiliki paparan radiasi.

Kata kunci: Potensi Bahaya, dan Metode HIRA

ABSTRACT

*Safety and health is still an important factor in every work activity. Included in the inspection activities of industrial radiography facilities in Indonesia. Required a Procedure for inspection of industrial radiography utilization which has basis of safety and health management system which can be applied by inspector of radiation safety of BAPETEN. However, prior to the establishment of inspection procedures based on safety and health management system, the first step that must be done is to determine the risk of conducting inspection of industrial radiography utilization in Indonesia. This study aims to find out what are the risks and value of the risk of the potential dangers of work implementation of inspection facilities of industrial radiography. In the determination of the potential risk and the assessment of the risk, this study uses the approach of HIRA. Through this study can be identified that the implementation of nuclear safety inspection facilities industrial radiography has 1 (one) category low risk *Low Risk*, 2 (two) categories of risks are *Moderate Risk*, 5 (five) categories of high risk *High Risk*, and a 1 (a) very high risk category of *Extreme Risk* with the biggest cause of potential hazard is implementation in-spection industrial radiography outside the area of construction that is located in a location away from the crowd (downtown) and the Radiation Sources used for radiography industri that has a very large radiation exposure.*

Keywords: Hazard, HIRA Method

PENDAHULUAN**A. Latar Belakang**

Salah satu pilar pengawasan terhadap pemanfaatan tenaga nuklir di Indonesia sebagaimana amanat Undang-undang No. 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) memiliki kewenangan untuk melaksanakan kegiatan inspeksi [1]. Kegiatan inspeksi dilaksanakan dalam rangka pengawasan terhadap ditaatinya persyaratan perizinan dan peraturan perundang-undangan di bidang ketenaganukliran [2]. Pelaksanaan inspeksi dilakukan terhadap seluruh pemanfaatan tenaga nuklir di Indonesia terutama untuk fasilitas radiasi dan zat radioaktif. Pelaksanaan inspeksi yang berkualitas tinggi tersebut tidak terlepas dari kualitas SDM dan faktor keamanan, keselamatan terhadap lingkungan kerja yang aman serta nyaman untuk para pekerja dalam hal ini Inspektur

keselamatan nuklir dalam bekerja. Pelaksanaan Inspeksi memiliki potensi bahaya yang berbeda beda untuk pemanfaatan yang berbeda pula. Salah satu pemanfaatan Sumber radiasi pengion yang memiliki potensi bahaya kerja yang besar adalah pada pemanfaatan radiografi industri di bidang penelitian dan industri.

Saat ini Direktorat Inspeksi Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif belum prosedur pelaksanaan inspeksi fasilitas radiografi industri yang berbasis pada system manajemen kesehatan dan keselamatan kerja, yang berfungsi untuk meminimalisasi resiko kerja yang terjadi pada saat Inspektur melaksanakan inspeksi. Maka perlu adanya suatu prosedur pelaksanaan inspeksi yang berbasis system manajemen keselamatan dan kesehatan kerja (SMK3) untuk pelaksanaan inspeksi,

Salah satu tahap awal penyusunan Prosedur

pelaksanaan inspeksi berbasis system manajemen keselamatan dan kesehatan adalah mengidentifikasi potensi bahaya kerja yang ditimbulkan pada pelaksanaan Inspeksi keselamatan nuklir pemanfaatan Radiografi industri, Salah satu metode yang bisa digunakan untuk mengidentifikasi potensi bahaya kerja adalah dengan menggunakan metode HIRA[3].

B. Perumusan Masalah

Adapun perumusan masalah dalam kajian ini adalah apa saja potensi resiko kerja, berapa nilai risiko potensi bahaya dan kategori bahaya kerja pelaksanaan inspeksi fasilitas radiografi industri

C. Tujuan Kajian

Berdasarkan perumusan masalah yang telah ditentukan dapat ditentukan tujuan pada kajian ini adalah untuk mengetahui potensi resiko kerja, nilai risiko potensi bahaya kerja dan kategori potensi bahaya kerja pelaksanaan inspeksi fasilitas radiografi industri

D. Metodologi

Metodologi pelaksanaan kajian ini di mulai wawancara dan survey yang melibatkan 10 (sepuluh) Inspektur senior Direktorat Inspeksi FRZR yang telah memiliki pengalaman melaksanakan inspeksi Fasilitas Radiografi industri. Sedangkan untuk identifikasi potensi bahaya dan penilaian resiko penulis menggunakan Metode HIRA (*Hazzard Identification and Risk Assesment*)

LANDASAN TEORI

A. Keselamatan dan Kesehatan Kerja

Keselamatan kerja bertalian dengan kecelakaan kerja, yaitu kecelakaan yang terjadi di tempat kerja atau dikenal dengan istilah kecelakaan industri. Kecelakaan industri ini secara umum dapat diartikan sebagai suatu kejadian yang tidak diduga semula dan tidak dikehendaki yang mengacaukan proses yang telah diatur dari suatu aktivitas[3]. Sedangkan untuk kecelakaan kerja merupakan kecelakaan seseorang atau kelompok dalam rangka melaksanakan kerja di lingkungan Pekerjaan, yang terjadi secara tiba-tiba, tidak diduga sebelumnya, tidak diharapkan terjadi, menimbulkan kerugian ringan sampai yang paling berat, dan bisa menghentikan kegiatan secara total [3].

Untuk kesehatan dalam hal ini keadaan sehat diartikan sebagai kesempurnaan yang meliputi keadaan jasmani, rohani dan kemasyarakatan, dan bukan hanya keadaan yang bebas dari penyakit, cacat dan kelemahan-kelemahan lainnya [4].

B. Potensi Bahaya (*Hazard*)

Potensi bahaya adalah suatu kondisi/keadaan pada suatu proses, alat, mesin, bahan atau cara kerja yang secara intrisik/alamiah dapat menjadikan luka, cedera bahkan kematian pada manusia serta menimbulkan kerusakan pada alat dan lingkungan [5]. Bahaya (*danger*) adalah suatu kondisi hazard yang terekspos atau terpapar pada lingkungan sekitar dan

terdapat peluang besar terjadinya kecelakaan/insiden [5]. Dengan mengetahui tujuan dari dibuatnya kajian ini yaitu mengidentifikasi potensi resiko kerja, nilai risiko potensi bahaya kerja dan kategori potensi bahaya kerja pelaksanaan inspeksi fasilitas radiografi industri menggunakan teknik yang sudah dibakukan, misalnya seperti Check List, JSA, JSO, What If, Hazops, dan sebagainya. Semua hasil identifikasi Bahaya harus didokumentasikan dengan baik dan dijadikan sebagai pedoman dalam melakukan setiap kegiatan [3].

C. Teknik Identifikasi Potensi Bahaya

Teknik identifikasi bahaya adalah alat untuk mengidentifikasi berbagai kelemahan potensi resiko yang terdapat dalam proses desain atau operasi suatu sistem atau unit plan yang dapat menimbulkan berbagai konsekuensi yang tidak diinginkan terjadi dan menentukan rekomendasi atau tindakan yang dapat dilakukan untuk eliminasi berbagai resiko atau permasalahan yang mengganggu jalannya proses tersebut atau mengurangi konsekuensi yang dapat ditimbulkan secara sistematis, terstruktur dan baku [6].

D. HIRA (*Hazzard Identification and Risk Assesment*)

HIRA merupakan metode untuk mengidentifikasi potensi bahaya kerja dan mendefinisikan karakteristik bahaya yang mungkin terjadi [5]. Tabel yang digunakan untuk penilaian risiko dengan menggunakan HIRA yaitu

Tabel 1. Tingkat Keparahan [6]

Tingkatan	Kriteria	Penjelasan
1	<i>Insignificant</i> (tak bermakna)	Tidak ada Cidera
2	<i>Minor</i> (Kecil)	Cidera Ringan, memerlukan P3K
3	<i>Moderate</i> (Sedang)	Hilang hari kerja, memerlukan perawatan medis
4	<i>Major</i> (Besar)	Cidera mengakibatkan cacat total
5	<i>Catastrophic</i> (Bencana)	Menyebabkan kematian

Tabel 2. Kemungkinan atau peluang [6]

Tingkatan	Kriteria	Penjelasan
A	<i>Almost Certain</i> (Hampir pasti)	Terjadi hamper pad semua keadaan cth: kejadian dalam sehari
B	<i>Likely</i> (Cenderung terjadi)	Sangat mungkin terjadi: cth: terjadi 1 kejadian dalam 1 keberangkatan
C	<i>Moderate</i> (Mungkin dapat terjadi)	Dapat terjadi sewaktu waktu cth: kejadian sekali

		dalam sebulan
D	<i>Unlikely</i> (kecil kemungkinan)	Mungkin terjadi sewaktu waktu cth: terjadi sekali dalam setahun
E	<i>Rare</i> (Jarang)	Hanya terjadi pada keadaan tertentu cth: 1 kejadian dalam lebih dari setahun

Tabel 3. Penilaian Resiko [6]

Kemungkinan peluang	Keparahan atau akibat				
	1	2	3	4	5
A	H	H	E	E	E
B	M	H	H	E	E
C	L	M	H	E	E
D	L	L	M	H	E
E	L	L	M	H	H

Tabel 4. Keterangan Matriks Resiko [6]

E	Resiko sangat tinggi (<i>Extreme Risk</i>), memerlukan penanggulangan segera atau penghentian kegiatan atau keterlibatan manajemen puncak
H	Resiko tinggi (<i>High Risk</i>), memerlukan pihak pelatihan oleh manajemen, penjadwalan tindakan perbaikan secepatnya
M	Resiko sedang (<i>Moderate Risk</i>), penanganan oleh manajemen terkait
L	Resiko rendah (<i>Low Risk</i>), Kendalikan dengan prosedur rutin

Hasil dan Pembahasan

Pada pelaksanaan inspeksi fasilitas radiografi industri terdapat beberapa Tahapan antara lain :

1. Perjalanan dari BAPETEN menuju instansi pemanfaatan radiografi industri melalui darat, laut, dan udara.
2. Pelaksanaan inspeksi radiografi industri

Dari hasil survey tersebut terdapat 9 potensi bahaya kerja dan penilaian resiko yang dijelaskan pada table penilaian sebagai berikut:

Tabel 5. Penilaian Resiko Pelaksanaan Inspeksi Pemanfaatan Radiografi Industri.

Kegiatan	Identifikasi Sumber Bahaya		Penilaian Resiko	
	Potensi Bahaya	Dampak	Nilai Resiko	Kategori Resiko
Perjalanan	Kecelakaan (darat, Laut, Udara) didaerah terpencil	Kegagalan keberangkatan inspeksi	3C	H
	Mogok kendaraa	Kegagalan	1C	L

	n didaerah terpencil	keberangkatan inspeksi		
	Kehilangan alat ukur radiasi	Kegagalan Pelaksanaan inspeksi dan Tuntutan Ganti Rugi	3E	M
	Kerusakan AUR (jatuh ke air)	Tuntutan Ganti Rugi	3E	M
	Pengukuran paparan radiasi dan pengecekan identitas sumber radiasi	Terpapar Radiasi	Langsung dan Tunda	3A
	Inspektur merasa kegerahan atau kepanasan dengan suhu lingkungan > 33°C	Konsentrasi terganggu dan konsumsi energy meningkat	1A	H
	Kebocoran air	Area licin dan Terpeleset	2B	H
	Tersandung	Terluka	2B	H
	Kejatuhan benda	Cedera	4E	H

Hasil dari kajian ini didapat dari survey yang melibatkan 10 (sepuluh) Inspektur senior yang berada di lingkungan DIFRZR dengan mengajukan pertanyaan potensi resiko apa saja yang bisa muncul pada pelaksanaan inspeksi fasilitas radiografi industri. Jika terdapat potensi bahaya yang sama penulis memasukkan penilaian tertinggi dari 2 (dua) atau lebih potensi bahaya yang sama. Potensi bahaya kerja pelaksanaan inspeksi dengan menggunakan metode HIRA teridentifikasi potensi bahaya kerja sebanyak 9. Dengan 4 potensi bahaya kerja pada saat perjalanan dan terdapat 5 potensi bahaya kerja pada saat pengukuran paparan radiasi dan pengecekan identitas sumber radiasi.

Potensi bahaya kerja saat perjalanan pelaksanaan inspeksi pemanfaatan radiografi industri yaitu kecelakaan perjalanan. Pemanfaatan radiografi industri yang berada pada daerah yang sedang melakukan konstruksi menyebabkan akses transportasi yang sering tidak ramah bagi inspektur. Lokasi yang harus ditempuh sering kali menggunakan moda transportasi yang tidak umum seperti perahu, pesawat perintis, atau kendaraan non jalan raya *offroad*. Salah satu skenario kecelakaan yang mungkin dapat terjadi

(Moderate) adalah perjalanan inspektur menuju provinsi papua barat yang harus ditempuh dengan menggunakan perahu tradisional tanpa alat pelindung diri. kemungkinan tenggelamnya perahu inspektur saat melakukan perjalanan menuju fasilitas karena menjadi penumpang perahu sangat mungkin terjadi ,dannilai resiko terkait kecelakaan akibat perjalanan tersebut adalah 3C dengan kategori tinggi (*High Risk*).

Moda transportasi darat yang memiliki resiko bahaya kerja adalah Tidak berfungsinya kendaraan secara normal (Mogok), dengan melintasi daerah yang terpencil dengan mengangkut inspektur yang membawa dengan Alat Ukur Radiasi. Mogok merupakan salah satu potensi bahaya kerja saat perjalanan inspeksi. Nilai resiko terkait Tidak berfungsinya kendaraan secara normal (Mogok), yaitu 1C dengan kategori rendah(*Low Risk*)

Potensi bahaya kerja selanjutnya adalah mengenai peralatan inspektur yang dibawa untuk pelaksanaan inspeksi pemanfaatan radiografi industri yaitu kehilangan alat ukur radiasi dan kerusakan alat ukur radiasi. Mengingat bahwa alat ukur radiasi merupakan peralatan teknologi tinggi maka dipastikan menjaga alat dalam kondisi baik dan selamat saat kembali dari pelaksanaan inspeksi adalah suatu kewajiban inspektur, dengan kondisi perjalanan inspeksi yang menempuh rute yang tidak umum bahkan seorang inspektur harus menggunakan transportasi umum untuk menjangkau lokasi inspeksi, jika inspektur lalai atau lupa dengan barang bawaannya, maka bisa dipastikan Alat Ukur Radiasi akan beresiko hilang, maka nilai resiko terkait kehilangan alat ukur radiasi dan kerusakan alat ukur radiasi adalah 3E dengan kategori resiko sedang(*Moderate Risk*)

Potensi bahaya kerja pelaksanaan inspeksi radiografi industri selanjutnya adalah terpapar radiasi akibat penggunaan Sumber Radiasi yang cukup besar. Salahsatu tujuan kegiatan inspeksi adalah melakukan verifikasi data lapangan dengan data perijinan khusus untuk pelaksanaan inspeksi fasilitas radiografi industri memastikan identitas Sumber Radiasi wajib dilakukan oleh inspektur, dengan cara membuka *isotope Zat* radioaktif untuk memastikan identitas Zat Radioaktif sama dengan perijinan dan bisa dipastikan inspektur berpotensi menerima dosis radiasi dalam jumlah besar dengan efek radiasi langsung ataupun tunda. Nilai resiko terkena paparan radiasi pada saat inspeksi fasilitas radiografi dengan nilai resiko 3A dengan category resiko sangat tinggi(*Ekstreme Risk*)

Pelaksanaan inspeksi radiografi industri yang selalu dilaksanakan diluar ruangan memiliki potensi bahaya kerja diluar ruangan antara lain Inspektur bekerja dilingkungan dengan suhu $>33^{\circ}$ C sehingga bisa berakibat konsumsi energy inspektur meningkat dengan penilaian resiko 1A, selain potensi bahaya kerja suhu lingkungan kerja beberapa potensi bahaya kerja luar ruangan seperti terkena kebocoran pipa berisi cairan, tersandung benda berat, dan kejatuhan benda mengikat potensi bahaya kerja saat bekerja diluar ruangan dengan berturut turut memiliki penilaian 2B untuk kebocoran air, 2B untuk

tersandung dan 4E untuk kejatuhan benda dengan kategori resiko tinggi(*High Risk*).

Kesimpulan dan Saran

A. Kesimpulan

Pada kajian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Kategori resiko potensi bahaya kerja pada saat pelaksanaan inspeksi fasilitas radiografi industri bermacam macam di dengan 1 (satu) kategori resiko rendah *Low Risk*, 2 (dua) kategori sedang *Moderate Risk*, 5 (lima) kategori resiko tinggi *High Risk*, dan 1 (satu) kategori resiko sangat tinggi *Extreme Risk*.
2. Faktor penyebab terbesar terjadinya potensi bahaya adalah pelaksanaan inspeksi yang radiografi industri yang berada di luar ruangan daerah yang sedang melakukan konstruksi yang berada di lokasi yang jauh dari keramaian (pusat kota) dan Sumbner Radiasi yang digunakan untuk pelaksanaan radiografi industri yang memiliki paparan radiasi yang sangat besar.

B. Saran

Kajian ini adalah permulaan dari terbentuknya prosedur pelaksanaan inspeksi keselamatan nuklir pada fasilitas radiografi industri. Masih banyak tahapan yang bisa dilanjutkan pada kajian lainnya sampai terbentuknya sebuah prosedur yang berbasis system manajemen keselamatan dan kesehatan kerja untuk pelaksanaan inspeksi keselamatan nuklir fasilitas radiografi industri.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] **Republik Indonesia**, (1997); *Undang Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang ketenaganukliran*; Jakarta
- [2] **BAPETEN**, (2017); *Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 01 Tahun 2017 tentang Pelaksanaan Inspeksi Dalam Pengawasan Pemanfaatan Tenaga Nuklir*; Jakarta
- [3] **Susihono, Rini**,(2013); *Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja dan Identifikasi Potensi Bahaya Kerja*; Banten
- [4] **Republik Indonesia**, (1960) ; *Undang Undang Nomor 9 Tahun 1960 tentang Pokok Kesehatan* ; Jakarta
- [5] **Putranto, Novi Marhaendra**, (2009), **Identifikasi Bahaya Bekerja Pada Daerah Bertegangan (Switchyard 150 kV) dengan Pendekatan Job Safety Anlysis (JSA) dan Hazard Identification Risk Assesment and Risk Control (HIRARC)**, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- [6] **Phytagoras Global Development**, (2003) *Safety Enginer Career Workshop*; USA
- [7] **Susihono, Wahyu**, (2012), *Manajemen Bahaya Kerja I. Diktat Mata Kuliah Keselamatan dan Kesehatan Kerja. Cilegon; FT UNTIRTA.*

NO	Nama penanya	Kode Makalah	Nama Penyaji	Pertanyaan dan Jawaban
1.	Endang K. (BAPETEN)	PA01	Deddy Rusdiana	<p>1. Melalui identifikasi risiko ini, apa saja yg direkomendasikan guna perbaikan system inspeksi fasilitas radiografi industri ?</p> <p>2. Apakah yang mendasari pemilihan metode HIRA untuk melakukan identifikasi ?</p> <p>Jawab:</p> <p>1. Setelah didapat (diidentifikasi) risiko, akan dilanjutkan dengan penyusunan SOP pelaksanaan inspeksi berdasarkan SMK3 yang direkomendasikan ke direktur inspeksi.</p> <p>2. Metode HIRA berdasarkan paper terdahulu. Karena metode HIRA sering dan paling sesuai untuk identifikasi masalah dengan menyajikan berbagai scenario risiko bahaya kerja.</p>

PA02

KAJIAN AWAL KESELAMATAN RADIASI PEMANFAATAN ZIRKONIA PADA INDUSTRI ABRASIF DI PT. X

Diella Ayudya Susanti, Ardhiantoro Setya Purnomo

Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif BAPETEN

e-mail: d.ayudya@bapeten.go.id

ABSTRAK

Di industri abrasif, salah satunya di PT. X, zirkonia digunakan sebagai salah satu bahan baku dalam pembuatan kertas ampelas. Kandungan zat radioaktif alam dalam zirkonia akan memberikan risiko radiologik kepada pekerja industri yang sering melakukan kontak secara fisik material tersebut atau berdekatan dengan timbunan material. Namun risiko radiologik zirkonia ini belum diketahui oleh pihak manajemen maupun para pekerja di PT. X. Kajian ini dimaksudkan untuk menggali aspek radiologik dari zirkonia dan merekomendasikan tindakan untuk meminimalkan paparan radiasi yang diterima oleh pekerja dari pemanfaatan zirkonia. Metode yang digunakan adalah kuantitatif melalui analisis komparatif. Pada kajian ini, telah dilakukan perhitungan dosis radiasi eksternal yang diterima pekerja berdasarkan data laju dosis gamma hasil pengukuran lapangan. Dari hasil kajian, diperoleh kesimpulan bahwa dosis radiasi yang diterima oleh pekerja di PT. X masih berada di bawah nilai pembatas dosis untuk anggota masyarakat, tetapi nilainya mendekati 0,3 mSv/tahun.

Kata kunci: zirkonia, abrasive, radiologik

ABSTRACT

In abrasive industry, one of which is PT. X, zirconia is used as one of raw material in making sandpaper. The content of naturally occurring radioactive material in zirconia will give radiological risk to industrial workers who are often in physical contact with the material or adjacent to material deposits. However, radiological risk from zirconia is not yet known by the management and workers at PT. X. This study is intended to explore the radiological aspects of zirconia and recommend measures to minimize radiation exposure received by workers from the utilization of zirconia. The method used is quantitative through comparative analysis. The calculation of external radiation dose received by workers has been done based on field measurement data of gamma dose rate. From the results of the study, it can be concluded that the radiation dose received by workers in PT. X is still below the dose constraint for public, but the value is close to 0.3 mSv / year.

Keywords: zirconia, abrasive, radiologic

PENDAHULUAN

Mineral zirkon dan zirkonia yang dapat ditemukan di alam berupa pasir zirkon ($ZrSiO_4$) dan berupa baddeleyite (ZrO_2) dimanfaatkan dalam berbagai industri dengan konsumsi di seluruh dunia mencapai lebih dari satu milyar ton per tahun [1]. Pemanfaatan zirkon dan zirkonia dalam industri komersial dapat ditemui pada pembuatan keramik, refraktori, abrasif, komponen elektronika, katalis, gelas, perhiasan, dan lain sebagainya. Logam zirkon (*zirconium*) sendiri memiliki nilai kelayakan untuk diolah menjadi kelongsong bahan bakar reaktor nuklir.

Proses geologi menyebabkan mineral zirkon mengandung radionuklida alam (deret uranium dan thorium). Berdasarkan rekomendasi IAEA [2] konsentrasi aktivitas radionuklida deret ^{238}U dalam zirkon dan zirkonia dikategorikan ke dalam lingkup yang harus diawasi dan didefinisikan sebagai *naturally occurring radioactive material* (NORM). Skema pengawasan berdasarkan rekomendasi IAEA tersebut adalah melalui pendekatan bertingkat yang dilakukan oleh badan pengawas berdasarkan prinsip optimisasi dengan mempertimbangkan karakteristik sumber, besarnya paparan serta infrastruktur pengawasan nasional yang tersedia. Melalui Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 [3], BAPETEN telah mengatur mengenai intervensi terhadap situasi paparan kronik yang berasal dari NORM/TENORM.

Di industri abrasif, zirkonia digunakan sebagai salah satu bahan baku dalam pembuatan kertas ampelas. Sifat mineralnya yang keras dimanfaatkan untuk menciptakan efek abrasi pada material yang diinginkan. PT. X merupakan salah satu perusahaan di Indonesia yang bergerak di bidang industri abrasif. Zirkonia digunakan sebagai *grain* utama pada beberapa produk ampelas yang dihasilkan.

Kandungan zat radioaktif alam dalam zirkonia akan memberikan risiko radiologik kepada pekerja industri yang sering melakukan kontak secara fisik material tersebut atau berdekatan dengan timbunan material. Namun risiko radiologik zirkonia ini belum diketahui oleh pihak manajemen maupun para pekerja di PT. X. Para pekerja yang bekerja dengan zirkonia juga bukan merupakan pekerja radiasi, sehingga tidak dilakukan pemantauan dosis radiasi yang diterima maupun pemantauan kesehatan. Selain itu perusahaan ini juga tidak memiliki perlengkapan proteksi radiasi bagi pekerja.

Kajian ini dimaksudkan untuk menggali aspek radiologik dari zirkonia dan merekomendasikan tindakan untuk meminimalkan paparan radiasi yang diterima oleh pekerja di PT. X dari pemanfaatan zirkonia. Hipotesis yang digunakan adalah bahwa pekerja yang bekerja dengan zirkonia di PT. X menerima dosis radiasi melebihi nilai pembatas dosis untuk anggota masyarakat sebesar 0,3 mSv/tahun.

METODE

Metode yang digunakan pada kajian ini adalah kuantitatif melalui analisis komparatif. Rincian langkah-langkah adalah sebagai berikut:

1. Kajian literatur, dilakukan terhadap rekomendasi dan standar IAEA serta peraturan nasional terkait

proteksi radiasi dan keselamatan radiasi dalam pemanfaatan NORM/TENORM.

2. Survei lapangan, dilaksanakan dengan melakukan pengukuran, pengamatan lapangan dan diskusi di PT. X. Pengukuran yang dimaksud meliputi laju dosis gamma eksterna (dalam satuan $\mu Sv/jam$) dan konsentrasi aktivitas radionuklida dalam sampel zirkonia (dalam satuan Bq/gr).
3. Analisis hasil survei lapangan, dilakukan dengan menghitung perkiraan dosis yang diterima oleh pekerja selama satu tahun kemudian dibandingkan dengan pembatas dosis yang telah ditetapkan untuk anggota masyarakat.
4. Perumusan kesimpulan dan rekomendasi, dilakukan berdasarkan kajian literatur dan analisis hasil survei lapangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

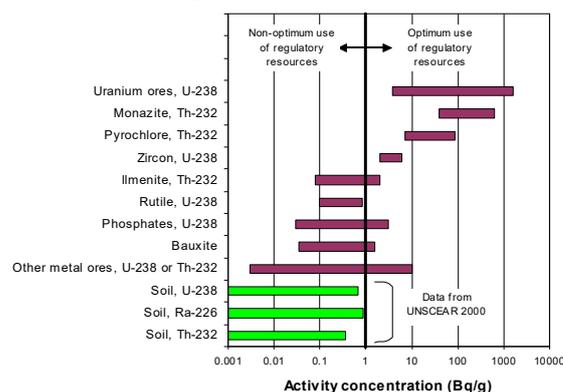
Rekomendasi dan Standar IAEA

Sebagai mineral berat yang memiliki sifat sangat kuat dan tahan terhadap berbagai proses alamiah, zirkonia dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi di industri. Pada industri abrasif, zirkonia diaplikasikan umumnya dalam bentuk butiran dengan ukuran tertentu untuk menghasilkan efek pemotongan melalui kontak langsung, tekanan dan perbedaan gerakan antara material abrasif dengan permukaan yang diabrasi atau dikelupas. Produk abrasif dapat berupa [1]:

- butiran lepas (*loose grains*);
- butiran yang menempel pada kain, kertas atau serat fleksibel;
- butiran yang terikat pada bentuk-bentuk seperti roda gerinda, balok pengasah atau batang pengikir.

Semua mineral zirkonia mengandung radionuklida alam deret uranium dan thorium. Konsentrasi aktivitas ^{238}U dan radionuklida seri ^{232}Th di dalam material zirkonia yang diperdagangkan sebagian besar dalam rentang 2-4 dan 0,4-1 Bq/g. Dalam baddeleyite, konsentrasi aktivitas radionuklida lebih bervariasi, yaitu pada rentang 3-13 Bq/g untuk ^{238}U dan 0,1-26 Bq/g untuk radionuklida deret ^{232}Th [1].

Rekomendasi IAEA [2] menyatakan bahwa pengawasan tidak diperlukan terhadap material yang mengandung radionuklida alam dengan konsentrasi aktivitas di bawah 1 Bq/g untuk radionuklida deret uranium dan thorium, dan di bawah 10 Bq/g untuk ^{40}K . Namun kandungan radionuklida ^{238}U dalam zirkon akan selalu melampaui nilai tersebut (lihat Gambar 1).



Gambar 1. Konsentrasi aktivitas radionuklida dalam beberapa bahan alam [4]

Dalam rekomendasi terbarunya [5], IAEA membedakan tiga jenis situasi paparan dalam menetapkan persyaratan pemanfaatan sebagai perlindungan dan keselamatan terhadap pekerja dan masyarakat, yaitu: *planned exposure situation*, *emergency exposure situation* dan *existing exposure situation*. Namun demikian, pembagian tersebut tidak selalu cukup untuk menentukan dengan tegas jenis situasi paparan yang berlaku untuk keadaan tertentu. Radionuklida yang terkandung dalam zirkon dan zirkonia merupakan radionuklida alam yang awalnya dipertimbangkan sebagai *existing exposure situation*. Namun dikarenakan nilai konsentrasi aktivitasnya, pada beberapa kasus dapat dipertimbangkan sebagai *planned exposure situation* dan mengikuti persyaratan keselamatan radiasi untuk paparan yang direncanakan.

Pemanfaatan zirkon untuk industri melibatkan penyimpanan material dalam jumlah cukup besar. Hal ini dapat menyebabkan penerimaan dosis radiasi gamma bagi pekerja di sekitar gudang bahan baku. Nilai teoritis $0,43 \mu\text{Sv}/\text{jam}$ per unit konsentrasi aktivitas ^{238}U dilaporkan sebagai paparan yang ditimbulkan dari tumpukan 1000 ton zirkon [6]. Hasil pengukuran laju dosis radiasi gamma yang dilaporkan dari berbagai tumpukan zirkonia setelah dikurangi paparan latar bervariasi antara $0,09 - 1,4 \mu\text{Sv}/\text{jam}$ [1].

Pengawasan dengan pendekatan bertingkat perlu diterapkan untuk menjamin keselamatan radiasi bagi pekerja dan masyarakat. Terdapat empat level kendali pengawasan yang direkomendasikan untuk dilakukan oleh badan pengawas, yaitu: pengecualian (*exemption*); notifikasi (*notification*); registrasi (*registration*); dan izin (*licence*).

Dikarenakan konsentrasi aktivitas deret uranium dalam zirkonia melebihi $1 \text{ Bq}/\text{g}$, penanganan mineral ini memerlukan pertimbangan pengawasan. Namun dari segi dosis, IAEA [1] menyajikan data bahwa dosis efektif tahunan pekerja yang menangani zirkon tidak lebih dari $0,4 \text{ mSv}$. Sedangkan dosis yang diterima anggota masyarakat dari disposal material zirkon sebagai limbah industri di fasilitas landfill tidak melebihi $0,25 \text{ mSv}$ per tahun. Oleh karena itu, badan pengawas dapat memutuskan untuk tidak menerapkan persyaratan proteksi radiasi melainkan cukup hanya persyaratan untuk notifikasi.

Regulasi Nasional

Zirkonia merupakan material ikutan yang berasal dari kegiatan penambangan sehingga berdasarkan peraturan ketenaganukliran digolongkan sebagai TENORM. Hingga saat ini, terdapat beberapa peraturan yang mengatur ketentuan keselamatan radiasi terkait TENORM, yaitu Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007 (PP 33/2007) tentang Keselamatan Radiasi Pngion dan Keamanan Sumber Radioaktif, Perka BAPETEN No. 9 Tahun 2009 (Perka 9/2009) tentang Intervensi terhadap Paparan yang Berasal dari *Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Material*, dan Perka BAPETEN No. 16 Tahun 2013

(Perka 16/2013) tentang Keselamatan Radiasi dalam Penyimpanan *Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Material*.

Berdasarkan PP 33/2007, intervensi atau tindakan untuk menurunkan paparan radiasi diterapkan salah satunya dalam situasi paparan kronik yang berasal dari NORM dan TENORM. Pelaksanaan intervensi diberlakukan untuk NORM dan TENORM dengan konsentrasi radioaktif melebihi Tingkat Intervensi. Tingkat Intervensi tersebut diatur dalam Perka 9/2009 dengan kriteria sebagai berikut:

- a. jumlah atau kuantitas paling sedikit 2 (dua) ton; dan
- b. tingkat kontaminasi sama dengan atau lebih kecil dari $1 \text{ Bq}/\text{cm}^2$ dan/atau konsentrasi aktivitas sebesar:
 1. $1 \text{ Bq}/\text{gr}$ untuk tiap radionuklida deret uranium dan thorium; atau
 2. $10 \text{ Bq}/\text{gr}$ untuk kalium.

Fasilitas atau tempat penyimpanan NORM/TENORM harus memberikan perlindungan terhadap masyarakat dari bahaya paparan radiasi dan kontaminasi serta perlindungan terhadap lingkungan hidup dari bahaya kontaminasi. Kriteria fasilitas penyimpanan TENORM diatur dalam Perka 16/2013 diantaranya dibangun pada lokasi yang tidak mudah dijangkau oleh masyarakat, aksesnya dikendalikan, serta diminimalisir potensi penyebaran TENORM ke lingkungan melalui air, angin atau udara.

Dari aspek proteksi radiasi, optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi dilaksanakan melalui penetapan pembatas dosis. Kriteria pembatas dosis dibedakan menjadi pembatas dosis untuk pekerja radiasi dan untuk anggota masyarakat. BAPETEN telah menetapkan kriteria pembatas dosis untuk anggota masyarakat sebesar $0,3 \text{ mSv}$ per tahun melalui Peraturan Kepala BAPETEN No. 4 Tahun 2013 [9]. Pada kajian ini, kriteria tersebut digunakan sebagai acuan untuk membandingkan hasil perhitungan dosis pekerja di PT. X. Hal ini dilakukan dengan pertimbangan bahwa perusahaan tersebut bukanlah pemegang izin dari BAPETEN dan pekerja yang menangani zirkonia bukan merupakan pekerja radiasi.

Hasil Survei Lapangan

Survei lapangan ke PT. X dilakukan pada Oktober 2017. PT. X merupakan perusahaan abrasif di Indonesia yang berdiri sejak tahun 1986. Perusahaan ini memproduksi ampelas dengan kapasitas produksi terbesar yaitu 2,6 juta m^2 per tahun. Produk ampelas yang dihasilkan terbagi menjadi tiga kategori yaitu *High Performance series*, *Gold series* dan *Silver series*. Zirkonia digunakan sebagai *grain* pada beberapa produk *High Performance series* dan *Gold Series*.

Peralatan survei yang digunakan adalah detektor radiasi Radeye PRD, monitor kontaminasi Palm-Rad 907, serta *checklist* isian survei lapangan. Selain dilakukan pengukuran di beberapa lokasi perusahaan yang berpotensi terdapat paparan radiasi, dilakukan pula pengambilan sampel zirkonia dari berbagai *grit* (ukuran butiran) yang digunakan oleh perusahaan se-

bagai salah satu bahan baku pembuatan ampelas. Jenis sampel yang diambil yaitu zirkonia *grit* P24, zirkonia *grit* P60, dan sisa proses *grit* P60 dengan berat masing-masing 1 kg. Sampel ini kemudian dianalisis kandungan radionuklidanya menggunakan spektrometer gamma di laboratorium PTKMR BATAN. Radionuklida yang diukur konsentrasi aktivitasnya adalah ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra dan ^{228}Ra .



Gambar 2. Tumpukan zirkonia sebagai bahan baku pembuatan ampelas di PT. X



Gambar 3. Pengukuran laju paparan pada area jumbo roll di PT. X

Hasil pengukuran laju dosis disajikan pada Tabel 1. Sedangkan hasil analisis kandungan radionuklida dalam sampel disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Laju Dosis

No.	Lokasi Pengukuran	Laju Dosis ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)
1.	Ruang rapat	0,04
2.	Tumpukan raw material zirkonia	0,46 – 0,76
3.	Material zirkonia dalam kotak	0,35 – 0,46
4.	Area waste material	0,70 – 0,90
5.	Jumbo roll rak D-3	0,16 – 0,19
6.	Jumbo roll rak A-7	0,20 – 0,21

Tabel 2. Hasil Analisis Sampel

Nama Sampel	Konsentrasi Aktivitas (Bq/kg)			
	^{238}U	^{232}Th	^{226}Ra	^{228}Ra
Zirkonia	1641 \pm 160	143,74 \pm 13,65	760,63 \pm 71,69	143,74 \pm 13,65

Grit P24				
Zirkonia	1227 \pm 121	194,70 \pm 18,44	664,75 \pm 62,60	194,70 \pm 18,44
Grit P60				
Zirkonia				
Grit P60	1320 \pm 135	143,74 \pm 13,84	*	*
sisa proses				

Keterangan:

* : tidak dilakukan analisis radionuklida

Berdasarkan hasil pengamatan dan diskusi lapangan diperoleh beberapa informasi. Tumpukan zirkonia yang ada di gudang penyimpanan bahan baku diperkirakan melebihi 2 (dua) ton (lihat Gambar 4). PT. X tergabung dalam asosiasi AIAI (Asosiasi Industri Ampelas Indonesia) yang beranggotakan tiga perusahaan di Indonesia. Zirkonia yang digunakan oleh perusahaan sebagai salah satu bahan baku pembuatan ampelas diimpor dari San Gobain, Amerika Serikat. Dari dokumen spesifikasi produk memang disebutkan bahwa produk tersebut mengandung uranium dan thorium, tetapi berdasarkan peraturan di Amerika Serikat nilainya masih dibawah ambang yang ditetapkan di Negara tersebut yaitu 500 ppm.



Gambar 4. Pengukuran laju paparan pada gudang penyimpanan bahan baku di PT. X

Analisis Hasil

Dari hasil pengukuran kandungan radionuklida sebagaimana disajikan dalam Tabel 2, konsentrasi aktivitas ^{238}U dalam ketiga sampel melebihi kriteria tingkat intervensi yang telah ditetapkan. Hasil pengamatan lapangan juga menunjukkan bahwa kuantitas zirkonia melebihi kriteria tingkat intervensi. Namun demikian, untuk menentukan sejauh mana tindakan kendali pengawasan yang harus dilakukan berdasarkan rekomendasi IAEA perlu diperkirakan terlebih dahulu dosis efektif tahunan yang diterima oleh pekerja atau masyarakat untuk kemudian dibandingkan dengan kriteria yang telah ditentukan.

Secara sederhana, perkiraan dosis efektif tahunan pekerja dapat dihitung berdasarkan hasil pengukuran laju dosis gamma eksternal yang telah dilakukan. Untuk memperkirakan dosis tahunan pekerja, digunakan laju dosis tertinggi hasil pengukuran yaitu 0,9 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ serta asumsi lama waktu pekerja berada di sekitar tempat penyimpanan material zirkonia. Diasumsikan, dalam satu hari rata-rata pekerja terpapar radiasi dari zirkonia selama 1 jam, pekerja bekerja

selama 5 hari dalam seminggu dan 50 minggu dalam satu tahun. Sehingga perkiraan dosis maksimal yang diterima adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Dosis} &= 0,9 \mu\text{Sv/jam} \times 1 \text{ jam/hari} \times 250 \text{ hari/tahun} \\ &= 225 \mu\text{Sv/tahun} \\ &= 0,23 \text{ mSv/tahun.} \end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut, diperoleh hasil bahwa perkiraan dosis eksterna gamma yang diterima pekerja berada di bawah tetapi mendekati nilai pembatas dosis anggota masyarakat. Meskipun demikian perhitungan perkiraan dosis di atas belum memperhitungkan penerimaan dosis akibat paparan radiasi interna. Perlu diperhatikan bahwa nilai pembatas dosis ditetapkan pada dosis efektif tahunan yang memperhitungkan seluruh penerimaan dosis baik dari paparan radiasi eksterna maupun interna.

Pemanfaatan zirkonia pada industri abrasif melibatkan penyimpanan dan penanganan bahan baku zirkonia dalam jumlah yang besar. Hal ini tentunya akan memberikan paparan radiasi gamma bagi pekerja yang cukup signifikan untuk dilakukan pengawasan. Tindakan sederhana seperti membatasi waktu keberadaan di sekitar gudang bahan baku dan membatasi jumlah persediaan bahan baku dianggap telah mencukupi. Penyimpanan tumpukan zirkonia pada jarak yang jauh dari akses lalu lalang pekerja atau menambahkan perisai (*shielding*) radiasi jika hal tersebut tidak memungkinkan, juga dapat mengurangi paparan yang diterima. Tindakan pengendalian debu perlu dilakukan untuk situasi paparan kerja jangka panjang dalam industri abrasif yang memanfaatkan zirkon, jika tindakan tersebut belum tercakup dalam prosedur K3 secara umum.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa dosis radiasi yang diterima oleh pekerja di PT. X masih berada di bawah nilai pembatas dosis untuk anggota masyarakat, namun nilainya mendekati 0,3 mSv/tahun. Perlu diperhatikan bahwa perhitungan dosis yang telah dilakukan belum mempertimbangkan dosis yang dihasilkan dari paparan interna. Sedangkan nilai pembatas dosis anggota masyarakat yang telah ditetapkan merupakan dosis efektif tahunan yang diterima dari paparan eksterna dan interna.

Untuk meminimalkan risiko radiologik yang diterima oleh pekerja di PT. X, direkomendasikan untuk memperhatikan faktor-faktor proteksi radiasi, yaitu jarak, waktu, dan perisai serta pengendalian debu dalam setiap tindakan penanganan terhadap material zirkonia.

Kajian keselamatan radiasi pemanfaatan zirkonia ini baru dilakukan di satu tempat dan dengan menggunakan asumsi lamanya waktu bekerja dengan radiasi. Untuk memperoleh gambaran yang lebih lengkap, perlu dilakukan kajian di banyak tempat atau industri serta menggunakan perhitungan waktu bekerja yang lebih realistis dari data sesungguhnya di lapangan. Disarankan pula untuk dilakukan perhitungan paparan interna yang diterima oleh pekerja selama proses industri yang melibatkan material zirkonia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada Bapak Yanuar Wahyu Wibowo atas bimbingan dalam penulisan karya tulis ilmiah ini serta kepada Kepala Bidang Pengkajian Industri dan Penelitian P2STPFRZR, Zalfy Hendry Eka Putra, atas kesempatan yang telah diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IAEA (2007) *Radiation Protection and NORM Residue Management in the Zircon and Zirconia Industries*, Safety Report Series No. 51, IAEA.
- [2] IAEA (2004) *Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance*, Safety Guide No. RS-G-1.7, IAEA.
- [3] Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif.
- [4] UN (2000) *Sources and Effects of Ionizing Radiation*, UNSCEAR 2000 Report Vol. I, United Nations.
- [5] IAEA (2014) *Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards*, General Safety Requirements Part 3, IAEA.
- [6] IAEA (2006) *Assessing the Need for Radiation Protection Measures in Work Involving Minerals and Raw Materials*, Safety Report Series No. 49, IAEA.
- [7] Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 9 Tahun 2009 tentang Intervensi Terhadap Paparan yang Berasal dari *Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material*.
- [8] Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 16 Tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penyimpanan *Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material*.
- [9] Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir.

NO	Nama penanya	Kode Makalah	Nama Penyanggi	Pertanyaan dan Jawaban
1.	Endang Kunarsih (BAPETEN)	PA02	Diella A.S.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Apakah tujuan penulisan makalah ini? 2. Mengingat perusahaan yang disurvei bukan pemegang izin dari BAPETEN, tindakan apa yang disarankan bagi perusahaan tsb untuk mengurangi penerimaan dosis radiasi? 3. Saran: rekomendasi sebaiknya tidak menyebut faktor jarak,

				<p>waktu dan perisai, tetapi yang lebih realistis atau familiar dengan perusahaan yang bukan pemegang izin BAPETEN.</p> <ol style="list-style-type: none"> 4. Bagaimana metode dalam pengambilan dan pengolahan data ukur laju dosis radiasi gamma sedemikian hingga data laju dosis tersebut dapat diasumsikan mampu mewakili yang diterima oleh pekerja? 5. Meskipun hasil kajian menunjukkan bahwa dosis masih dibawah pembatas dosis masyarakat (0,3 mSv/tahun), namun potensi risiko masih tetap ada. Bagaimana rekomendasi untuk meminimalkan risiko tersebut, dengan mempertimbangkan bahwa para pekerja tsb tidak bergerak di bidang radiasi? <p>Jawab:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tujuan penulisan makalah ini adalah menggali aspek radiologic zirkonia dan merekomendasikan tindakan meminimalkan paparan radiasi yang diperoleh dari pemanfaatan zirkonia. 2. Untuk meminimalkan penerimaan dosis radiasi disarankan tindakan sederhana, misalnya dengan membatasi waktu keberadaan di sekitar tumpukan zirkonia, membatasi akses lalu-lalang pekerja, dan pengendalian debu. 3. Terima kasih masukannya. 4. Dalam survei lapangan dilakukan pengukuran laju dosis radiasi eksternal gamma menggunakan detektor Radeye PRD di beberapa lokasi perusahaan yang berpotensi terdapat paparan radiasi antara lain di gudang raw material, area <i>waste material</i>, dan area penempatan <i>jumbo roll</i>. Untuk memperkirakan dosis tahunan pekerja, digunakan laju dosis tertinggi hasil pengukuran yaitu 0,9 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ serta asumsi lama waktu pekerja berada di sekitar tempat penyimpanan material zirkonia. Diasumsikan, dalam satu hari rata-rata pekerja terpapar radiasi dari zirkonia selama 1 jam, pekerja bekerja selama 5 hari dalam seminggu dan 50 minggu dalam satu tahun. Sehingga perkiraan dosis maksimal yang diterima pekerja adalah sebesar 0,23 mSv/th. 5. Untuk meminimalkan risiko radiasi yang diterima oleh para pekerja, direkomendasikan beberapa tindakan sederhana antara lain: membatasi waktu keberadaan di sekitar tumpukan raw material zirkonia, menyimpan tumpukan zirkonia pada tempat yang jauh dari akses lalu lalang pekerja atau menambahkan perisai jika hal tersebut tidak memungkinkan, serta tindakan pengendalian debu selama proses produksi untuk mengurangi paparan radiasi interna yang mungkin dapat diterima oleh para pekerja.
2.	Endang Kunar-sih (BAPE-TEN)	PA02	Diella A.S.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bagaimana metode dalam pengambilan dan pengolahan data ukur laju dosis radiasi gamma sedemikian hingga data laju dosis tersebut dapat diasumsikan mampu mewakili dosis radiasi yang diterima pekerja? 2. Meskipun hasil kajian menunjukkan bahwa dosis masih dibawah pembatas dosis masyarakat (0,3 mSv/th) namun potensi risiko tetap ada, bagaimana rekomendasi untuk meminimalkan risiko tersebut, dengan mempertimbangkan bahwa para pekerja tersebut tidak bergerak di bidang radiasi? <p>Jawab:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Dalam survei lapangan dilakukan pengukuran laju dosis radiasi eksternal gamma menggunakan detektor Radeye PRD di beberapa lokasi perusahaan yang berpotensi terdapat paparan radiasi antara lain di gudang raw material, area <i>waste material</i>, dan area penempatan <i>jumbo roll</i>. Untuk memperkirakan dosis tahunan pekerja, digunakan laju do-

				<p>sis tertinggi hasil pengukuran yaitu 0,9 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ serta asumsi lama waktu pekerja berada di sekitar tempat penyimpanan material zirkonia. Diasumsikan, dalam satu hari rata-rata pekerja terpapar radiasi dari zirkonia selama 1 jam, pekerja bekerja selama 5 hari dalam seminggu dan 50 minggu dalam satu tahun. Sehingga perkiraan dosis maksimal yang diterima pekerja adalah sebesar 0,23 mSv/th.</p> <p>2. Untuk meminimalkan risiko radiasi yang diterima oleh para pekerja, direkomendasikan beberapa tindakan sederhana antara lain: membatasi waktu keberadaan di sekitar tumpukan raw material zirkonia, menyimpan tumpukan zirkonia pada tempat yang jauh dari akses lalu lalang pekerja atau menambahkan perisai jika hal tersebut tidak memungkinkan, serta tindakan pengendalian debu selama proses produksi untuk mengurangi paparan radiasi interna yang mungkin dapat diterima oleh para pekerja.</p>
--	--	--	--	--

PA03

TINJAUAN KETIDAKSESUAIAN DOKUMEN PROGRAM PROTEKSI DAN KESELAMATAN RADIASI UNTUK PESAWAT SINAR-X RADIOLOGI DIAGNOSTIK DAN INTERVENSIONAL DALAM PROSES PERIZINAN

Dwi Angestiningasih¹, Sulistiyoningsih²

^{1,2}Direktorat Perizinan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif - BAPETEN

e-mail: d.angestiningasih@bapeten.go.id

ABSTRAK

TINJAUAN KETIDAKSESUAIAN DOKUMEN PROGRAM PROTEKSI DAN KESELAMATAN RADIASI UNTUK PESAWAT SINAR-X RADIOLOGI DIAGNOSTIK DAN INTERVENSIONAL DALAM PROSES PERIZINAN. Penggunaan radiologi diagnostik dan intervensional yang semakin pesat sebagai wujud pelayanan kesehatan harus mengedepankan keselamatan bahaya radiasi, BAPETEN melalui perizinan dengan aspek pengawasan memberikan persyaratan yang ketat, jelas, transparan, tegas dan adil sebagai pertimbangan bahaya risiko yang ditimbulkan. Pemegang Izin bertanggung jawab mewujudkan keselamatan radiasi bagi pekerja, masyarakat dan lingkungan melalui Program Proteksi dan Keselamatan Radiasi (PPKR) seperti yang tertuang di Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 33 tahun 2007, PP Nomor 29 tahun 2008 dan Peraturan Kepala (Perka) BAPETEN Nomor 8 tahun 2011. Pelayanan perizinan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif (FRZR) telah memberikan tatacara penyusunan maupun template Dokumen PPKR sebagai *tools* agar memudahkan Pemegang Izin dalam memenuhi persyaratan izin, namun masih banyak dokumen PPKR yang isinya tidak sesuai dengan yang dipersyaratkan sehingga perlu ditinjau dan dianalisa ketidaksesuaiannya sebagai masukan bagi Direktorat Perizinan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif (DPFRZR) dalam melakukan inovasi perubahan yang lebih baik. Metode yang dilakukan dengan pengumpulan data sampel dan ketidaksesuaian dokumen PPKR dikategorikan menjadi personil, denah, deskripsi pesawat sinar-X, perlengkapan proteksi radiasi, prosedur dan rekaman. Dari hasil tinjauan didapatkan ketidaksesuaian terbesar terjadi pada kategori rekaman, hal ini terjadi karena instansi Pemegang Izin belum menerapkan sistem dokumentasi yang baik. Besarnya ketidaksesuaian dokumen menjadi masukan bagi DPFRZR dalam memberikan pemahaman tatacara menyusun dokumen PPKR dan melakukan perubahan *template* dokumen PPKR menjadi lebih sederhana dan mudah dipahami.

Kata kunci: Dokumen program proteksi dan keselamatan radiasi; Radiologi Diagnostik dan Intervensional; Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif.

ABSTRACT

INCOMPATIBILITY REVIEW DOCUMENT OF RADIATION PROTECTION AND SAFETY RADIATION PROGRAM FOR DIAGNOSTIC AND INTERVENTIONAL RADIOLOGY X-RAY IN LICENSING PROCESS. The rapid use of diagnostic and interventional radiology as a manifestation of health services should prioritize the safety of radiation hazards, BAPETEN through licensing with supervisory aspects provides strict requirements, clear, transparent, resolute and fair as a consideration of the risk hazard arises. The Licensee had responsible for the realization of radiation safety for workers, community and the environment through Radiation Protection and Safety Program (PPKR) as stipulated in Government Regulation (PP) No. 33/2007, Government Regulation (PP) Number 29/2008 and Head of BAPETEN Regulation (Perka) Number 8/2011. The Directorate for Licensing of Radiation Facilities and Radioactive Material (DPFRZR) has provided the preparation and template of the PPKR Document as a tool to facilitate the Licensee in fulfilling the permit requirements, but there are still many PPKR documents whose contents are not in accordance with the requirement so that it needs to be reviewed and analyzed its incompatibility as input for Directorate for Licensing of Radiation Facilities and Radioactive Material (DPFRZR) in making innovation changes better. The methods undertaken with sample data collection and incompatibility of PPKR documents are categorized into personnel, plans, descriptions of X-ray, radiation protection equipment, procedures and records. The result of this review has found the biggest incompatibility occurred in the recording category, this all happen because the licensee has not implemented a good documentation system. The result of this review will enhance the understanding the procedure for preparing PPKR documents and making PPKR template document changes to be simpler and easier to understand.

Keywords: Document of radiation protection and safety program; Diagnostic and Interventional Radiology; Radiation Facilities and Radioactive Material (RFRM).

I. Pendahuluan

Penggunaan radiologi diagnostik dan intervensional dalam mendiagnosa penyakit semakin pesat di seluruh wilayah Indonesia sebagai wujud pemerintah dalam pelayanan kesehatan masyarakat yang lebih baik, namun harus tetap mengedepankan keselamatan bahaya radiasi dalam pengawasannya. BAPETEN melalui Perizinan sebagai salah satu aspek pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir khususnya sumber radiasi pengion dari pesawat sinar-X memberikan persyaratan yang ketat, jelas, transparan, tegas dan adil sebagai pertimbangan risiko bahaya radiasi yang ditimbulkan^[1].

Upaya untuk mengurangi bahaya radiasi yang merusak diwujudkan dengan keselamatan radiasi bagi pekerja, anggota masyarakat dan lingkungan hidup menjadi tanggung jawab Pemegang Izin melalui program Proteksi dan Keselamatan Radiasi, seperti yang tertuang dalam Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 33 tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif Pasal 6 ayat (2) huruf b dan PP Nomor 29 tahun 2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir Pasal 14 ayat (1) huruf d untuk persyaratan teknis dalam perizinan. Sedangkan penjabaran secara detail untuk format dan isi Program Proteksi dan Keselamatan Radiasi terdapat dalam Peraturan Kepala (Perka) BAPETEN Nomor 8 tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensial pada Lampiran I.

Menjawab tantangan sebagai Pemerintahan yang baik (*Good Government*) BAPETEN membangun sistem pelayanan online sejak tahun 2016, dimana dalam permohonan perizinan dilakukan melalui Aplikasi Balis Online berbasis pada jaringan internet. Kemudahan proses perizinan tersebut telah memangkas waktu proses layanan perizinan menjadi lebih cepat, efisien, efektif dan transparan. Untuk memudahkan Pemegang Izin dalam menyusun Program Proteksi dan Keselamatan Radiasi (PPKR) sesuai dengan yang dipersyaratkan, BAPETEN melalui pelayanan perizinan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif (FRZR) memberikan tatacara menyusun PPKR khususnya pada Radiologi Diagnostik dan Intervensial dalam kegiatan pelatihan Petugas Proteksi Radiasi, penyegaran Petugas Proteksi Radiasi dan layanan konsultasi izindi loket perizinan FRZR BAPETEN. Selain itu contoh dokumen Template PPKR dapat diunduh pada situs <https://www.bapeten.go.id/?frame=dok&modul=document&opt=doc&item=file&GroupId=2&DocumentId=206>.

Bila melihat saat ini proses perizinan telah berinovasi dengan proses online maka untuk beberapa persyaratan pun wajib mengikuti perubahan tersebut. Salah satunya yaitu Template dokumen PPKR sebagai *tools* yang diresmikan sejak tahun

2014 perlu berinovasi menjadi lebih sederhana dan mudah dipahami bagi pe-mangku kepentingan dan pemegang izin dapat menuangkan muatan aspek proteksi radiasi yang ada di fasilitas radiologi ke dalam dokumen tersebut. Namun pada kenyataannya masih banyak dokumen PPKR yang isinya tidak sesuai dengan kondisi fasilitas radiologi yang dimiliki, ketidaksesuaian program proteksi dan keselamatan yang disampaikan saat permohonan izin perlu ditinjau dan dianalisa kesalahannya sebagai masukan bagi DPFZR dalam melakukan perubahan inovasi terbaru.

Batasan Masalah

Sebagai bahan tinjauan permasalahan ketidaksesuaian adalah Dokumen PPKR dengan format yang sesuai template dari DPFZR yang disampaikan dalam proses perizinan. Data diambil dari Balis Online untuk instansi yang mengajukan permohonan izintahun 2017 untuk jenis kegiatan penggunaan Radiologi Diagnostik dan Intervensial termasuk jenis-jenis pesawat sinar-X untuk radiografi umum, radiografi mobile, gigi, fluoroskopi diagnostik konvensional, fluoroskopi intervensional, CT-Scan, dan mammografi.

Dalam hal pengumpulan, pengolahan, penyajian dan analisa data yang disampaikan tidak terkait permasalahan dalam proses perizinan FRZR, batasan diberikan hanya untuk dokumen PPKR sebagai obyek analisa dalam pengkategorian ketidaksesuaian.

II. Pokok Bahasan

Penulis menggunakan studi kasus berdasarkan data Dokumen PPKR dari instansi yang masuk melalui balis online kemudian disandingkan dengan data permohonan izin instansi tersebut. Setelah dokumen PPKR dievaluasi dan ditemukan beberapa informasi yang tidak sesuai kemudian dikategorikan ketidaksesuaiannya yang sering muncul, hasil kategori ketidaksesuaian kemudian dikumpulkan, dihitung dan dibuat data statistik untuk dianalisis permasalahannya guna mendapatkan solusi terbaik.

Penentuan kategori ketidaksesuaian dalam makalah ini, tidak terlepas dari sistematika penyusunan dokumen PPKR seperti yang tertuang dalam Perka BAPETEN Nomor 3 tahun 2013 pasal 52^[4], serta lebih menitikberatkan pada besar kesalahan yang sering muncul saat evaluasi dokumen PPKR oleh evaluator perizinan. Adapun pengelompokkan kategori ketidaksesuaian dalam dokumen PPKR, antara lain:

1. Personil: terdiri dari personil sebagai Pemegang Izin yang bertanggung jawab penuh terhadap keselamatan radiasi dan yang bekerja di fasilitas Radiologi Diagnostik Intervensial, dimana kesesuaian nama personil diperiksa kembali dengan nama pengguna pemantauan dosis TLD

- Badge atau Film Badge atau dosimeter perorangan baca langsung.
- Denah: menggambar letak setiap pesawat sinar-X yang dimiliki dan data ruang radiologinya beserta lingkungan disekitarnya. Denah yang disampaikan harus lengkap untuk ukuran ruangan, ketebalan dan material bahan penyusun penahan radiasi.
 - Deskripsi pesawat sinar X: tercantum data pesawat dan data tabung, khusus data tabung untuk nomer seri, tegangan tinggi dan kuat arus akan dikroscek dengan Laporan Berita Acara Uji Fungsi dan pengukuran radiasi, serta Laporan Hasil Uji Kesesuaian. Begitu juga dengan data pesawat sinar-X yang tidak digunakan lagi dan sudah penetapan penghentian harus tercantum dalam data penetapan penghentian.
 - Perlengkapan proteksi radiasi: tercantum peralatan proteksi radiasi, dimana nama peralatan dan jumlahnya disesuaikan dengan data dalam permohonan izin. Peralatan proteksi radiasi meliputi apron wajib dimiliki untuk semua jenis pesawat sinar-X, tabir yang dilapis Pb wajib dimiliki untuk pesawat sinar-X *mobile*, sedangkan untuk kaca mata Pb, sarung tangan Pb, pelindung tiroid Pb, pelindung ovarium Pb dan pelindung gonad Pb wajib dimiliki oleh Jenis Kegiatan pesawat sinar-X fluoroskopi intervensional.
 - Prosedur: tercantum semua prosedur pengoperasian sesuai pesawat sinar-X yang dimiliki Rumah Sakit atau Klinik lengkap beserta penomoran dokumennya.
 - Rekaman: tercantum rekaman terkait program proteksi radiasi seperti data dokumen hasil pemantauan kesehatan pesonil; hasil pemantauan evaluasi dosis dan rekaman pelatihan pesonil.

Metode pengumpulan data

Sebagai sampel data yang digunakan dalam tinjauan dokumen PPKR adalah data instansi yang masuk melalui balis online di tahun 2017 sejumlah 748 instansi, dengan teknik Sampling Acak (*Random or Probability Sampling*) yaitu sampling yang pemilihan elemen-elemen populasinya dilakukan secara acak (*random*)^[5]. Sehingga dari 748 instansi hanya 75 instansi saja yang akan diselidiki, maka hasil penyelidikan merupakan suatu perkiraan. Untuk pengolahan data dilakukan secara manual dengan menghitung per instansi besar ketidaksesuaian dokumen PPKR yang telah dikelompokkan dalam 6 kategori ketidaksesuaian.

Dikarenakan data sampel instansi yang masuk tidak seragam berdasarkan jumlah kepemilikan pesawat sinar-X di rumah sakit, klinik ataupun praktek dokter pribadi, maka perlu dikelompokkan lagi menjadi 3 kelompok instansi yaitu:

- Kelompok A, disebut sebagai instansi kecil dengan jumlah pesawat sinar-X yang dimiliki antara 1 sampai 2 unit;
- Kelompok B, disebut sebagai instansi sedang dengan jumlah pesawat sinar-X yang dimiliki antara 3 sampai 5 unit;

- Kelompok C, disebut sebagai instansi besar dengan jumlah pesawat sinar-X yang dimiliki lebih dari 5 unit.

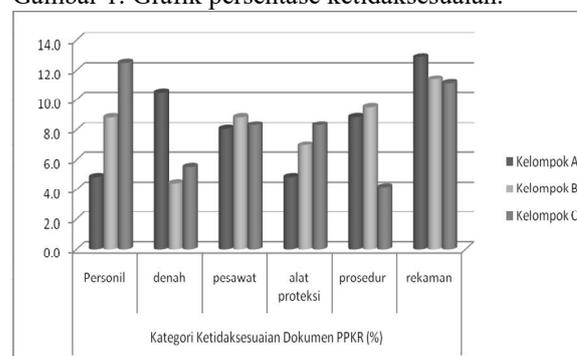
Selain itu sebaran data permohonan izin yang masuk untuk instansi besar dan kecil tidak sama, maka perlu dibedakan jumlah data instansi masing-masing kelompok untuk memperoleh analisis yang lebih akurat. Dimana dapat diperkirakan dari kelompok instansi yang melakukan permohonan yaitu kelompok A dan kelompok B adalah yang terbesar dengan persentase yang hampir sama dibandingkan kelompok C memiliki persentase terkecil. Sehingga ditentukan jumlah instansi yang akan diselidiki yaitu untuk kelompok A dan kelompok B sebanyak 40% dan kelompok C sebanyak 20%.

Setelah diketahui jumlah data yang akan digunakan untuk masing-masing kelompok A, B dan C, pemilihan data per kelompok diambil untuk data permohonan izin yang masuk antara bulan Januari-Desember selama tahun 2017, tanpa melihat sebaran wilayah asal pemohon,

III. Hasil dan Pembahasan

Pengambilan acak data sampel dilakukan tersebar per bulannya selama tahun 2017 untuk instansi dengan nama berbeda, dalam studi kasus ini tidak diambil data tahun 2016 karena proses perizinan secara online mulai diberlakukan awal tahun 2016 dimana tidak ditemukan ada peningkatan kemampuan dalam menyusun dokumen PPKR bila mengambil data instansi dengan nama sama, sedangkan bila mengambil instansi dengan nama yang berbeda antara tahun 2016 dan 2017 hanya akan menambah besarnya jumlah data sampel dan tidak dapat menjadi perbandingan peningkatan kemampuan. Perbandingan ketidaksesuaian dapat dilakukan per 2 tahun sesuai dengan masa berlaku izin pemanfaatan Radiologi Diagnostik Intervensial yaitu perbandingan misal tahun 2016 dan 2018 atau 2017 dan 2019 untuk nama instansi sama.

Dari hasil analisa data secara statistik diperoleh hasil presentasi ketidaksesuaian untuk Kelompok A, B dan C seperti yang terlihat pada Gambar 1. Grafik persentase ketidaksesuaian.



Gambar 1. Grafik persentase ketidaksesuaian

Analisa data dokumen PPKR untuk kategori ketidaksesuaian dapat terlihat bahwa persentase

ketidaksesuaian terbesar terdapat pada kategori rekaman untuk kelompok A (instansi kecil) dan Kelompok B (instansi sedang) serta kategori personil untuk Kelompok C (instansi besar). Besarnya persentase ketidaksesuaian untuk kategori rekaman, hal ini terjadi karena banyak instansi belum menerapkan sistem dokumentasi yang baik, rekaman dokumen seperti hasil pemeriksaan kesehatan, hasil evaluasi penerimaan dosis pekerja, dan bukti pelatihan pekerja tidak tercatat dan terpelihara dengan baik. Selain itu dalam penyusunan dokumen PPKR untuk konten rekaman terdapat di bagian sub-bab terakhir dokumen sehingga sering terlupakan penyusunannya dengan alasan terburu waktu proses perizinan. Sedikit menyimpang dari perhitungan data adalah untuk data kelompok C persentase terbesar terjadi pada kategori personil, ini dapat dianalisa bahwa untuk instansi besar dengan jumlah personil banyak sering terjadi perbedaan data nama personil di permohonan izin dengan dokumen PPKR karena alasan berhenti kerja, pindah ke bagian non-radiasi, data personil ada yang kurang misal belum pemeriksaan kesehatan, masing-masing jenis pesawat sinar-X ditangani personil yang berbeda sedangkan permohonan izin untuk satu jenis pesawat sinar-X bukan satu instansi sehingga data yang disampaikan pada saat permohonan sering tidak sama dengan yang tercantum dalam dokumen PPKR.

Besarnya ketidaksesuaian dalam penyusunan dokumen PPKR menjadi masukan bagi Direktorat Perizinan FRZR dalam memberikan pemahaman dan tata cara yang lebih detail untuk menyusun dokumen PPKR yang sesuai dengan yang dipersyaratkan sehingga dapat diperoleh manfaat bagi Pemegang Izin dan Direktorat Perizinan FRZR antara lain, bagi:

Pemegang Izin,

- a. Layanan yang lebih baik
- b. Efisien dan efektif dalam proses permohonan izin
- c. Pelatihan dokumen PPKR agar lebih dipahami dan dapat diterapkan pemenuhan aspek proteksi dan keselamatan radiasi di fasilitas.
- d. Menerapkan sistem dokumentasi untuk memudahkan pengurusan perizinan dan saat dilakukan inspeksi oleh BAPETEN.
- e. Pengendalian rekaman dokumen yang lebih baik

Direktorat Perizinan FRZR,

- a. Evaluasi lebih pada persyaratan izin.
- b. Mempercepat evaluasi dokumen PPKR dan proses perizinan menjadi lebih cepat
- c. Memudahkan penilaian inspektur dalam inspeksi dilapangan

Beberapa hal yang dapat segera ditindak lanjuti oleh Direktorat Perizinan FRZR terkait dokumen PPKR, antara lain:

- a. Membuat petunjuk teknis penyusunan dokumen PPKR.
- b. Mengadakan pelatihan penyusunan dokumen PPKR terutama saat kegiatan On The Spot Licensing (OTSL).
- c. Mengubah template dokumen PPKR yang lebih dipahami dan dimengerti oleh Pemegang Izin.

- d. Bimbingan teknis evaluator kepada pemohon izin, bisa dilakukan saat permohonan izin masuk ke akun balis evaluator dengan menggunakan fasilitas pesan (*chat*) dan jaringan telepon.

IV. Kesimpulan dan Saran

Hasil dari tinjauan ketidaksesuaian dokumen PPKR yang disampaikan dalam permohonan izin memperlihatkan penyimpangan terbesar untuk semua kelompok instansi adalah dari kategori rekaman. Hal ini terjadi karena banyak instansi yang belum menerapkan sistem dokumentasi yang baik. Sedangkan instansi besar (kelompok C) penyimpangan terbesar juga terjadi pada kategori personil. Dari analisa ini terjadi karena instansi besar memiliki jumlah personil yang banyak dan informasi tidak terdata dengan baik. Besarnya ketidaksesuaian dokumen menjadi masukan bagi Perizinan FRZR dalam memberikan pemahaman tata cara menyusun dokumen PPKR dan melakukan perubahan *template* dokumen PPKR menjadi lebih sederhana dan mudah dipahami. Dan bagi Pemegang Izin agar dapat menerapkan pengendalian rekaman dengan melaksanakan penyimpanan rekaman secara rapi dan terstruktur dengan baik.

Tindak lanjut segera yang perlu dilakukan oleh Direktorat Perizinan FRZR adalah mengubah dokumen PPKR terutama sekali di bagian rekaman dengan menambahkan contoh-contoh dokumen rekaman yang harus dipenuhi oleh Pemegang Izin secara lebih detail dan dipahami. Serta bekerja sama dengan Direktorat Inspeksi FRZR saat dilakukan inspeksi agar dapat menjelaskan kepada Pemegang Izin tentang perlunya rekaman dokumen serta data apa saja yang harus dimasukkan ke dalam dokumen PPKR tersebut.

Saran

Untuk tinjauan selanjutnya perlu mempertimbangkan analisa dokumen PPKR untuk permohonan izin yang penyebarannya berada di wilayah Indonesia Timur karena ada indikasi ketidaksesuaian terbesar berasal dari wilayah tersebut.

V. Daftar Pustaka

- [1] BAPETEN (2007), Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 33 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif.
- [2] BAPETEN (2008), Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 29 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir.
- [3] BAPETEN (2011), Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 8 tentang Keselamatan Radiasi Dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional.
- [4] BAPETEN (2013), Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir.

- [5] J. Supranto (2008), Statistik Teori dan Aplikasi, Jilid 1, Edisi Ketujuh, Penerbit Erlangga, Jakarta.

PA04

KAJIAN KESELAMATAN DAN KEMANFAATAN TENORM PADA INDUSTRI MINYAK DAN GAS BUMI DI INDONESIA

Veronica Tuka

Direktorat Perizinan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif

e-mail: t.veronika@bapeten.go.id

ABSTRAK. KAJIAN KESELAMATAN DAN KEMANFAATAN TENORM PADA INDUSTRI MINYAK DAN GAS BUMI DI INDONESIA. Telah dilakukan kajian untuk melihat pengembangan regulasi yang lebih tepat dalam melaksanakan pengawasan terhadap TENORM yang dihasilkan oleh industri minyak dan gas. Kajian ini menggunakan metode deskriptif, data dan informasi diperoleh dari hasil analisis terhadap sampel, tanggapan penghasil TENORM terhadap regulasi yang ada dan kajian dari bahan pustaka. Kajian mengacu pada peraturan perundang-undangan yang ada di Indonesia dan standar IAEA. Hasil kajian menunjukkan bahwa diperlukan pengembangan regulasi yang lebih tepat guna terhadap TENORM yang dihasilkan oleh industri minyak dan gas. Pengembangan regulasi tidak hanya dilakukan oleh satu instansi saja tetapi diperlukan koordinasi yang baik antar instansi yang berwenang terhadap TENORM.

Kata kunci: Penyimpanan TENORM, Minyak dan Gas, Keselamatan Radiasi.

ABSTRACT. SAFETY AND USE TENORM STUDY ON OIL AND GAS INDUSTRY IN INDONESIA. A studied has been carried out to see the development of more precise regulation in conducting surveillance of TENORM produced by the oil and gas industry. This study uses descriptive methods, data and information obtained from the analysis of samples, TENORM-producing responses to existing regulations and studies of library materials. The review refers to existing legislation in Indonesia and IAEA standards. The results of the study indicate that a more appropriate regulatory development is needed for TENORM produced by the oil and gas industry. Development of regulation is not only done by one agency only but required good coordination between authorized institution to TENORM

Keywords: TENORM Storage, Oil and Gas, Radiation Safety.

I. PENDAHULUAN

Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material (TENORM) adalah zat radioaktif alam yang dikarenakan kegiatan manusia atau proses teknologi terjadi peningkatan Paparan Potensial jika dibandingkan dengan keadaan awal [1]. TENORM adalah bahan radioaktif yang diambil dari alam (batuan, tanah, dan mineral) dan terkonsentrasi atau naik kandungan radioaktivitasnya sebagai akibat dari kegiatan industri. TENORM dijumpai di pertambangan uranium, pembangkit listrik tenaga batubara, produksi pupuk, produk konsumsi, industri pertambangan logam dan mineral dan industri minyak dan gas [2]. Mekanisme pembentukan TENORM pada setiap industri berbeda-beda tergantung pada jenis kegiatan industri tersebut.

Pada industri minyak dan gas bumi ada dua jenis *by product* utama yang terbentuk yaitu kerak air (*scale*) dan lumpur (*sludge*) [3]. Kerak air merupakan garam-garam sulfat dan karbonat yang mengendap pada permukaan dalam alat-alat produksi seperti BaSO₄, CaSO₄ dan CaCO₃, ketebalan kerak air antara beberapa milimeter sampai satu inci, terkadang kerak air tersebut mampu menyumbat aliran pipa yang berdiameter besar. Sedangkan lumpur adalah

campuran senyawa-senyawa organik dan mineral padat dalam air dengan hidrokarbon cair yang terpisah dari minyak dan gas pada alat-alat produksi.

Pembahasan tentang TENORM di industri non nuklir khususnya di minyak dan gas di Indonesia, sudah banyak disajikan dalam tulisan, antara lain tulisan tentang Pengelolaan Limbah NORM/TENORM dari kegiatan industri non nuklir disajikan oleh Djarot S. Wisnubroto [4], Potensi NORM pada industri non nuklir di Indonesia oleh Kunto Wiharto dan Syarbaini [3], Penentuan potensi risiko TENORM pada industri non nuklir disajikan oleh Bunawas dan Syarbaini [5], lalu tentang penyimpanan lestari limbah TENORM dari industri minyak dan gas bumi disajikan oleh Sucipta [6]. Pada Seminar Keselamatan Nuklir tahun 2016 dalam salah satu makalah, penulis membahas tentang Petugas Proteksi Radiasi (PPR) pada penyimpanan TENORM [7], tulisan ini membahas tentang salah satu persyaratan izin penyimpanan TENORM yaitu penghasil TENORM jika ingin melakukan penyimpanan, salah satu persyaratannya adalah mempunyai PPR bidang industri tingkat 3 khusus TENORM dan tata cara penyimpanan TENORM.

Dari tulisan yang disajikan oleh para penulis diatas diketahui bahwa, TENORM dapat memberikan

kontribusi paparan radiasi baik secara eksternal maupun internal kepada para pekerja dan masyarakat di sekitar daerah kerja serta lingkungan. Oleh karena pengawasan TENORM perlu mendapat perhatian yang serius untuk mengurangi paparan radiasi eksternal dan mencegah terjadinya paparan radiasi internal akibat masuknya radionuklida melalui jalur pencernaan (makanan, minuman) dan jalur pernafasan sehingga dampak radiologi dari TENORM terhadap pekerja, masyarakat dan lingkungan dapat dikendalikan.

Untuk mengendalikan risiko radiasi tersebut maka dibutuhkan pengawasan. Telah tersedia beberapa regulasi baik yang diterbitkan oleh BAPETEN sebagai badan pengawas maupun oleh instansi berwenang lainnya, seperti SKK Migas, KLHK untuk mengawasi dan mengatur TENORM. Peraturan BAPETEN berfokus pada aspek keselamatan radiasi untuk melindungi pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup.

Dari hasil pembahasan yang disajikan oleh para penulis di atas dan hasil kunjungan lapangan yang dilakukan oleh penulis, maka penulis menyusun makalah ini yang akan mengkaji keseimbangan antara risiko dalam pemanfaatan terhadap kerugian yang muncul dari TENORM yang dihasilkan oleh industri minyak dan gas. Karena TENORM memiliki potensi untuk menyebabkan paparan eksternal dan internal terhadap pekerja. Hal ini penting guna mengembangkan pengawasan yang lebih tepat lebih jauh lagi mengembangkan regulasi yang lebih tepat. Kajian ini dibatasi pada aspek regulasi dan tidak mendiskusikan tugas dan fungsi berbagai instansi yang berwenang terkait TENORM. Dari kajian aspek regulasi dilihat apakah regulasi yang ada saat ini sudah dapat menjawab masalah yang dihadapi oleh penghasil TENORM.

II. POKOK BAHASAN

2.1. Identifikasi Potensi Bahaya

Potensi bahaya pada TENORM yang dibicarakan dalam tulisan ini adalah potensi bahaya radiasi. Potensi tersebut dapat diterima manusia secara eksternal maupun internal. Secara eksternal, radiasi gamma diterima oleh masyarakat atau pekerja berasal dari radionuklida dalam TENORM yang berada di luar tubuh manusia. Sedangkan, secara internal partikel TENORM yang mengandung radionuklida tersuspensi dan terbawa masuk ke dalam tubuh pada waktu bernafas (inhalasi), atau melalui makanan atau minuman yang terkontaminasi TENORM melalui air tanah dan air permukaan.

Dalam menentukan risiko radiasi yang berasal dari TENORM ini, telah dilakukan beberapa

tahap sebagai berikut: pengamatan penapisan (*Screening survey*) untuk penentuan daerah terindikasi TENORM dan penentuan titik-titik daerahnya (*hot spot area*); Pengambilan sampel TENORM; dan, Analisis laboratorium untuk penentuan jenis dan konsentrasi radionuklida yang terkandung di dalam TENORM.

Untuk melengkapi analisis potensi bahaya, pengamatan di lapangan dilakukan ke beberapa perusahaan migas yang berlokasi di Duri (Pekanbaru Riau) dan Balikpapan (Kalimantan Timur). Hasil pengukuran akan ditampilkan pada BAB III.

2.2 Kemanfaatan

Kemanfaatan yang dimaksud dalam tulisan ini adalah mengenai manfaat ekonomi terhadap pipa-pipa bekas atau lahan yang mengandung TENORM dengan caramengendalikan administrasi, yang mencakup keberlanjutan pendanaan, aspek penerimaan limbah TENORM dan prosedurnya. Penghasil TENORM tetap harus memperhitungkan dengan cermat pendanaan untuk mengelola TENORM tersebut, apakah pipa bekas lebih baik di buang langsung atau dibersihkan terlebih dahulu untuk digunakan kembali. Informasi mengenai kemanfaatan diperoleh dari pengamatan di lapangan dan diskusi dengan para pekerja dan manajemen perusahaan. Kemanfaatan ini tentunya harus dievaluasi dengan Perka Nomor 16 Tahun 2013 [4], yang menyatakan bahwa TENORM harus disimpan di tempat yang memenuhi persyaratan keselamatan; dan, masa izin penyimpanan TENORM diberikan untuk periode 5 tahun dan dapat diperpanjang.

2.3 Kajian Regulasi

Kajian regulasi dilakukan dengan menganalisis cakupan regulasi yang ada, serta relevansinya dengan kemanfaatan dan risiko. Regulasi keselamatan radiasi terkait TENORM dimuat dalam beberapa Peraturan Undang Undang sebagai berikut:

- a. Peraturan Pemerintah Nomor 101 tahun 2014, tentang Pengelolaan Limbah Berbahaya dan Beracun (B3) [8];
- b. Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 16 Tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi dalam penyimpanan TENORM [9].
- c. Peraturan Kepala BAPETEN No. 9 Tahun 2009 tentang Intervensi Terhadap Paparan Yang berasal dari TENORM [1].
- d. Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif. Pada pasal 49 ayat(3) dan pasal 59 ayat (2) yang mengatur ten-

tang persyaratan keselamatan paparan radiasi yang berasal dari TENORM.

- e. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, IAEA General Safety Requirements Part 3, IAEA, Vienna (2014)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kajian keselamatan

Kajian keselamatan diperoleh dengan melaksanakan kunjungan lapangan, pada tahun 2005 kunjungan lapangan dan pelaksanaan pengukuran dilakukan di perusahaan minyak dan gas yang berlokasi di Duri (Pekanbaru, Riau), sedangkan pada tahun 2013 dilakukan di Balikpapan (Kalimantan Timur).

Pengukuran terhadap keberadaan TENORM dilakukan dengan alat ukur yang terkalibrasi, laju paparan setiap sampel diukur pada jarak 5 cm dari permukaan sampel, dari pengukuran yang dilakukan di diperoleh beberapa informasi sebagai berikut:

- Pipa migas yang tidak digunakan kembali telah mengandung scale yang cukup tebal (2 – 10 cm) (Gambar 1). Scale tersebut memberikan paparan radiasi 2,70 - 4,00 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ pada jarak 5 cm dari permukaan pipa yang mengandung TENORM (pengukuran di siku pipa atau pertemuan pipa)
- Lokasi penyimpanan TENORM, berupa pipa bekas, laju paparan radiasi 0,50 - 0,70 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ (Gambar 2.)
- Sludge (lumpur) hasil Migas, laju paparan radiasi 0,10 - 0,20 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ (Gambar 3.)
- Gudang penyimpanan sludge hasil Migas, laju paparan radiasi yang terukur 0,20 - 0,30 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ (Gambar 4.)

Gambar-gambar berikut menunjukkan pengukuran yang dilakukan di lapangan.



"sumber: Laporan kunjungan lapangan ke Duri (2005)"

Gambar 1. Pipa yang mengandung *TENORM* hasil penambangan minyak (kerak air)

[5]



"Sumber: Laporan kunjungan lapangan ke Duri (2005)"

Gambar 2. Lokasi Penyimpanan Pipa bekas hasil penambangan minyak [5]



"Sumber: Laporan kunjungan lapangan ke Balikpapan (2013)"

Gambar 3. Lumpur hasil Minyak dan Gas [6]



"Sumber: Laporan kunjungan lapangan ke Balikpapan (2013)"

Gambar 4. Gudang Penyimpanan lumpur hasil Minyak dan Gas [6]

Survey ke lapangan dalam rangka penentuan risiko radiasi yang berasal dari TENORM dilakukan dengan cara: menentukan lokasi dimana TENORM

berada yang dilakukan untuk menentukan titik-titik daerah TENORM, jika didapatkan lokasi atau TENORM dengan laju paparan yang signifikan, laju paparan setiap sampel diukur pada jarak 5 cm dari permukaan sampel, maka diambil sampel yang berupa kerak air dan lumpur untuk dianalisis di laboratorium yang terakreditasi. Dari hasil analisis terhadap sampel diperoleh besaran konsentrasi aktivitas, yaitu seperti ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisis Sampel Migas

Nama Sampel	Konsentrasi Aktivitas (Bq/kg atau Bq/l)			
	Ra-226	Ra-228	Th-228	K-40
Kerak Air	7537 6 ± 569	76246 ± 853	48811 ± 319	4664 ± 448
Lumpur	4059 ± 24	3178 ± 32	3791 ± 17	139 ± 14
Tanah	1486 ± 141	3796 ± 359	3537 ± 332	328,37 ± 31,60

"Waktu paro Ra-226 = 1600 tahun, Ra-228 = 5,75 tahun, Th-228 = 1913 tahun, K-40 = $1,28 \times 10^9$ tahun"
Sumber: laporan kunjungan lapangan ke Duri (2005) dan Balikpapan (2013)"

Tabel 2. Nilai Batas Exemption Level untuk TENORM

Organisasi	Ra-226 (Bq/kg)	Ra-228 (Bq/kg)	Th-228 (Bq/kg)	K-40 (Bq/kg)
GSR Part 3 (IAEA)	10.000	10.000	1000	10^5

"Sumber: IAEA, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, General Safety Requirements (GSR)-Part 3, Viena, 2014" [10]

Dari informasi di atas baik informasi dari pengukuran laju paparan di lokasi maupun hasil analisis sampel, diperoleh bahwa TENORM di pertambangan berpotensi menghasilkan limbah TENORM dan paparan radiasi di tempat kerja lebih dari 3 kali paparan radiasi latar, sehingga wajib melakukan analisis keselamatan radiasi meliputi pemantauan radiasi di tempat kerja dan pengukuran limbah TENORM secara rutin. Dari hasil analisis sampel terlihat bahwa radionuklida yang ada memiliki waktu paruh yang panjang, hal ini akan menyebabkan penghasil TENORM harus menyimpannya dengan jangka waktu yang panjang juga. Begitu juga dengan konsentrasi aktivitasnya untuk scale jauh melebihi exemption level (tingkat yang dikecualikan).

3.2 Kemanfaatan

Berdasarkan hasil diskusi dengan penghasil TENORM dan tinjauan ke lapangan, diperoleh informasi bahwa secara ekonomis mereka hendak menggunakan kembali pipa bekas yang masih baik dan membuang secara permanen terhadap pipa bekas yang sudah tidak dapat digunakan kembali. Dalam hal ini, beberapa pertanyaan yang diajukan oleh penghasil TENORM antara lain adalah sebagai berikut: Apa yang harus dilakukan jika ingin menggunakan kembali pipa bekas yang mengandung TENORM? Bagaimana cara pembuangan pipa bekas yang mengandung TENORM jika sudah tidak akan digunakan lagi? dan, Berapa lama sludge yang mengandung TENORM harus disimpan?

Sesuai dengan Perka BAPETEN Nomor 16 Tahun 2013, pemegang izin penyimpanan TENORM, selama masa berlakunya izin, dapat memanfaatkan TENORM untuk kegiatan tertentu dengan melakukan beberapa tahap berikut:

- Membuat laporan ke BAPETEN, jika akan memanfaatkan TENORM, laporan paling sedikit berisi:
 1. jenis dan lokasi pemanfaatan;
 2. jumlah TENORM yang akan dimanfaatkan;
 3. kandungan radioaktivitas dalam TENORM berdasarkan hasil analisis laboratorium yang terakreditasi;
 4. asal TENORM; dan
 5. rencana pengelolaan sisa dan/atau limbah pemanfaatan TENORM.

Untuk pembuangan pipa bekas, penghasil TENORM harus menyediakan tempat penyimpanan yang memberikan perlindungan terhadap publik dari bahaya paparan radiasi dan kontaminasi serta lingkungan hidup dari bahaya kontaminasi secara permanen. Jika mereka menginginkan membuang pipa bekas secara permanen, mereka harus memperoleh informasi kemana mereka harus membuang.

Sedangkan untuk penyimpanan kerak air maupun pipa bekas sudah diatur dalam peraturan yang dikeluarkan oleh BAPETEN, yaitu dengan masa izin 5 tahun dan dapat diperpanjang.

Kemanfaatan yang dimaksud dalam tulisan ini adalah mengenai manfaat ekonomi terhadap pipa-pipa bekas atau lahan yang mengandung TENORM dengan caramengendalikan administrasi, yang mencakup keberlanjutan pendanaan, aspek penerimaan limbah TENORM dan prosedurnya. Penghasil TENORM tetap harus memperhitungkan dengan cermat pendanaan untuk mengelola TENORM tersebut, apakah pipa bekas lebih baik di buang

langsung atau dibersihkan terlebih dahulu untuk digunakan kembali

3.3. Kajian Regulasi

Dalam menangani TENORM terdapat beberapa regulasi mengatur tentang TENORM diantaranya adalah yang disebutkan pada point 2.3.

Regulasi yang diterbitkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan [8] mengatur tentang limbah B3 yang mengandung TENORM, yaitu Setiap Orang yang menghasilkan Limbah B3 dilarang melakukan Pemanfaatan Limbah B3 terhadap Limbah B3 dari sumber tidak spesifik dan sumber spesifik yang memiliki tingkat kontaminasi radioaktif lebih besar dari atau sama dengan 1 Bq/cm² dan/atau konsentrasi aktivitas sebesar:

- a. 1 Bq/gr ; atau
- b. 10 Bq/gr untuk kalium.

Pelarangan dimaksudkan untuk melindungi manusia dan makhluk hidup lainnya dari paparan Limbah B3 yang berasal dari TENORM yang mengandung radioaktivitas tertentu.

Berdasarkan peraturan Kepala BAPETEN Nomor 16 Tahun 2013 [9] menyatakan bahwa untuk mengatasi potensi bahaya TENORM berupa bahaya radiasi dan kontaminasi, maka penghasil TENORM harus melakukan:

- a. membangun fasilitas penyimpanan TENORM pada lokasi yang tidak mudah dijangkau oleh publik;
- b. mengendalikan akses ke fasilitas penyimpanan TENORM; dan
- c. memasang tanda radiasi pada fasilitas penyimpanan TENORM.
- d. menghindari atau meminimalisasi potensi penyebaran TENORM ke lingkungan melalui air, angin atau udara;
- e. membangun sistem untuk mencegah kontaminasi air permukaan dan air tanah; dan
- f. membangun fasilitas penyimpanan TENORM pada lokasi jauh dari jangkauan air pasang (gelombang) dan bebas banjir.

Sedangkan berdasarkan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 9 Tahun 2009 [1]:

- (1) Penghasil TENORM harus melakukan analisis keselamatan radiasi untuk TENORM untuk setiap lokasi TENORM yang dimiliki atau berada di dalam penguasaannya.
- (2) Analisis keselamatan radiasi untuk TENORM sebagaimana dimaksud pada ayat (1) paling sedikit meliputi:
 - a. jenis dan proses kegiatan yang dilaksanakan;
 - b. jumlah atau kuantitas TENORM;
 - c. jenis dan tingkat konsentrasi radionuklida; dan
 - d. paparan radiasi dan/atau kontaminasi tertinggi di permukaan TENORM.

Penghasil TENORM, setelah melakukan analisis keselamatan radiasi untuk TENORM, hasil analisisnya harus disampaikan ke BAPETEN.

Berdasarkan Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, IAEA General Safety Requirements Part 3 Batas kontrol (lisensi) untuk kegiatan NORM/TENORM didasarkan pada konsentrasi aktivitas radionuklida yang terjadi secara alami dalam bahan baku dan limbah yang dihasilkan. memberlakukan batas kontrol untuk K₄₀ dan radionuklida yang terjadi secara alami dari peluruhan seri U₂₃₈ dan Th₂₃₂, konsentrasi aktivitas untuk K₄₀ adalah 10 Bq/g dan untuk deret uranium dan thorium adalah 1 Bq/g.

Hasil pembahasan tentang regulasi terkait TENORM, kemanfaatan dan risiko bahaya radiasi dari TENORM yang dihasilkan, diperoleh bahwa regulasi yang ada belum mengatur berapa lama penghasil TENORM harus menyimpannya, selain dengan jangka waktu penyimpanan selama 5 tahun dan dapat diperpanjang, mereka harus berulang-ulang memperpanjang izin penyimpanan TENORM tersebut. Tempat penyimpanan TENORM yang terdapat di perusahaan adalah tempat penyimpanan sementara, Sampai saat ini, mereka menunggu tempat penyimpanan akhir (*landfill*). Penetapan tempat penyimpanan akhir tidak dapat diatur hanya oleh satu lembaga saja tetapi harus saling berkoordinasi antara penghasil TENORM, BAPETEN, instansi berwenang yang menangani TENORM dan Pemerintah Daerah. Regulasi untuk menetapkan tempat penyimpanan akhir tidak hanya diatur dalam bentuk Peraturan Kepala tetapi harus dalam bentuk Peraturan Pemerintah dan masing-masing instansi yang berwenang terhadap TENORM harus berkoordinasi, sehingga keputusan yang diambil merupakan keputusan bersama. Hal ini sangat membantu penghasil TENORM untuk menyimpan TENORM di tempat penyimpanan akhir.

Jika masalah penyimpanan akhir tidak diselesaikan secara terpadu, maka TENORM yang dihasilkan akan menjadi beban negara, yaitu jika perusahaan penghasil TENORM tersebut bubar atau masa kontraknya habis, dan mereka belum menangani TENORMnya secara tepat, maka TENORM tersebut dapat menjadi beban bagi negara.

Di Malaysia, TENORM ditemukan dalam lumpur dari industri minyak dan gas. TENORM lainnya adalah slag timah yang dihasilkan dari peleburan timah, dan ilmenit, zirkon, dan monazit yang dihasilkan dari pengolahan tailing timah (disebut amang secara umum). diatur oleh Undang-Undang Lisensi Energi Atom, 1984 (Act 304).

Pengendalian regulasi atas kegiatan yang terkait dengan pembuangan bahan yang mengandung NORM ditunjukkan di bawah ini:

- i. Bahan baku dan limbah < 1 Bq/g – d kecualikan dari regulasi, bahan baku mengandung aktivitas konsentrasi U^{238} dan Th^{232} di bawah 1 Bq/g dengan ketentuan:
 - a. Diverifikasi oleh otoritas negara pengekspor yang tidak ada kontrol regulasi atas bahan mentah; dan
 - b. Surat tugas dari otoritas negara asal untuk menerima kembali limbahnya
- ii. Bahan mentah dan limbah > 1 Bq/g mengandung NORM, pembuangan harus dengan persetujuan badan pengawas.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan kajian keselamatan, kajian kemanfaatan dan kajian regulasi menunjukan bahwa masalah penyimpanan TENORM harus diselesaikan secara terpadu, sehingga diperlukan pengembangan regulasi yang lebih tepat guna terhadap TENORM yang dihasilkan oleh industri minyak dan gas.

Pengembangan regulasi tidak hanya dilakukan oleh satu instansi saja tetapi diperlukan koordinasi yang baik antar instansi yang berwenang terhadap TENORM, masing masing instansi yang berwenang terhadap TENORM harus saling berkoordinasi dalam meninjau peraturan yang ada, sehingga peraturan hasil tinjauan dapat lebih diaplikasikan oleh penghasil TENORM.

Regulasi yang perlu dipertimbangkan adalah: Perka Nomor 16 tahun 2013, dalam perka ini disebutkan bahwa izin penyimpanan TENORM adalah selama 5 tahun dan dapat diperpanjang, saat penulis melakukan kunjungan lapangan ke salah satu penghasil TENORM, mereka menanyakan sampai berapa lama kami harus menyimpan TENORM dan bagaimana jalan keluarnya jika mereka menginginkan pembuangan TENORM mereka secara tetap ditempat yang disediakan oleh pemerintah misalnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada pembimbing penulisan karya ilmiah dan para pengajar diklat penulisan karya ilmiah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BAPETEN, Peraturan Kepala Badan Pengawas No. 9 Tahun 2009 tentang Intervensi Terhadap Paparan Yang berasal dari TENORM, Jakarta, 2009.
- [2] Kunto Wiharto dan Syarbaini, 2003, Potensi NORM pada industri non nuklir di Indonesia, *Prosiding Seminar Aspek Keselamatan Radiasi dan Lingkungan pada Industri Non Nuklir*, halaman 1 - 13.
- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA), Extent of Environmental Contamination by Naturally Occuring Radioactive Material (NORM) and Technological Options for Mitigation, IAEA, TRS-419, Vienna, 2003
- [4] Djarot S. Wisnubroto, 2003, Pengelolaan Limbah NORM/TENORM dari Kegiatan Industri Non Nuklir, *Prosiding Seminar Aspek Keselamatan Radiasi dan Lingkungan pada Industri Non Nuklir*, halaman 49 - 59.
- [5] Bunawas dan Syarbaini, 2005, Penentuan potensi risiko TENORM pada industri non nuklir, *Buletin Alara, Volume 6 Nomor 3*, April 2005, halaman 143 - 150.
- [6] Sucipta, 2009, Penyimpanan Lestari Limbah TENORM dari Industri Minyak dan Gas Bumi, *Buletin Limbah Volume 13 Nomor 1*, halaman 1 - 10.
- [7] Veronica Tuka, dkk, 2016, Petugas Proteksi Radiasi Penyimpanan TENORM, *Prosiding Keselamatan Nuklir 2016 ISNI: 1412-3258*, 56-1.
- [8] KLHK, Peraturan Pemerintah Nomor 101 tahun 2014, tentang Pengelolaan Limbah Berbahaya dan Beracun (B3), Jakarta, 2014.
- [9] BAPETEN, Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 16 Tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi dalam penyimpanan TENORM, Jakarta 2013.
- [10] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA), Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, General Safety Requirements (GSR)-Part 3, Viena, 2014.

PA05

KAJIAN OPTIMISASI PROTEKSI DAN KESELAMATAN RADIASI PASIEN ANAK-ANAK PADA PEMERIKSAAN CT-SCAN KEPALA**Intanung Syafitri***P2STPFRZR-BAPETEN*

Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta Pusat

i.syafitri@bapeten.go.id

ABSTRAK

KAJIAN OPTIMISASI PROTEKSI DAN KESELAMATAN RADIASI PASIEN ANAK-ANAK PADA PEMERIKSAAN CT-SCAN KEPALA. Peningkatan optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi merupakan salah satu upaya perlindungan terhadap pasien anak dari paparan yang tidak diperlukan. Optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi dilakukan sebagai upaya untuk memberikan dosis serendah mungkin pada pasien dengan mempertimbangkan faktor sosial dan ekonomi. Selain itu, proses optimisasi juga harus tetap menjaga kualitas citra agar tidak mengurangi informasi untuk kebutuhan diagnosa. Pemeriksaan pasien dengan modalitas CT-Scan memberikan dosis radiasi yang tinggi pada pasien anak-anak dan dewasa. Pasien anak-anak memiliki sensitivitas terhadap radiasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan dewasa. Dalam beberapa rumah sakit, perlakuan pasien anak tidak berbeda dengan pasien dewasa dalam hal kondisi penyinaran, sehingga pasien anak dapat memperoleh paparan berlebih. Data dosis pasien anak di 5 (lima) rumah sakit menunjukkan bahwa dosis pasien anak melebihi tingkat panduan dosis pasien dewasa yaitu 50 mGy (CTDI_v) (Peraturan Kepala BAPETEN No. 8 Tahun 2011). Untuk mencegah paparan berlebih tersebut, perlu dilakukan optimisasi dengan langkah awal yaitu dilakukan pencatatan dosis pasien. Data dosis pasien tersebut dapat digunakan untuk penyusunan tingkat panduan dosis lokal untuk pasien anak. Sampai saat ini belum diatur tingkat panduan dosis anak. Dalam rangka penentuan tingkat panduan tersebut, BAPETEN telah menyediakan sarana dengan adanya aplikasi Sistem Informasi Data Dosis Pasien (Si-INTAN). Tingkat panduan ini selanjutnya digunakan sebagai panduan untuk pemeriksaan-pemeriksaan selanjutnya. Untuk dosis pasien yang melebihi tingkat panduan dapat dilakukan evaluasi penyebab terjadinya paparan pasien yang berlebih tersebut, sehingga dapat dilakukan perbaikan untuk pemeriksaan selanjutnya. Selain itu, data dosis pasien yang rendah dengan kualitas citra yang baik dapat digunakan sebagai acuan protokol pemeriksaan khusus anak (*best practice*).

Kata kunci: CT-Scan, Optimisasi, Tingkat Panduan Dosis

ABSTRACT

ASSESSMENT OF OPTIMIZATION RADIATION PROTECTION AND SAFETY FOR PEDIATRIC PATIENTS IN CT-SCAN HEAD EXAMINATION. Improved optimization of radiation protection and safety is one of the steps to protect pediatric from unnecessary exposure. Optimization of radiation protection and safety is an action to provide the lowest possible doses in patients taking into account social and economic factors. In addition, the optimization process must also maintain the quality of the image so as not to reduce the information for diagnostic needs. Examination of patients with CT-Scan modalities provides high radiation doses in pediatric and adult patients. Pediatric patients have a higher sensitivity to radiation than adults. In some hospitals, the treatment of pediatric patients is no different from that of adult patients in terms of radiation conditions, so that pediatric patients may obtain unnecessary exposure. Data of pediatrics dose in 5 (five) hospitals shows that the dose of pediatric patients exceeds the adult dose reference level, 50 mGy (CTDI_v) (BAPETEN Chairman Regulation No. 8 Year 2011). To prevent unnecessary exposure, it is necessary to do the optimization with the first step is to record the patient dose. The patient's dose data can be used for the preparation of local dose reference levels for pediatric patients. Until now there has not been set the dose reference level for pediatric. In order to determine the dose reference level, BAPETEN has provided facilities with the application of Radiation Dose of Patient Information Management System (Si-INTAN). This reference level is then used as a guide for subsequent examination. For patient doses that exceed the reference level, it may be possible to evaluate the cause of the occurrence of excessive patient exposure, so that improvement can be made for further examination. In addition, data of low dose patient with good image quality can be used as a reference for the pediatric best practice protocol.

Keywords: CT-Scan, Optimisation, Dose Reference Level

PENDAHULUAN

Penggunaan radiasi pengion dalam dunia kesehatan harus memperhatikan prinsip proteksi radiasi guna melindungi keselamatan pekerja radiasi, masyarakat, lingkungan dan juga tidak terkecuali keselamatan pasien. Prinsip proteksi dan keselamatan radiasi sebagaimana diatur dalam Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif terdiri dari justifikasi, limitasi dosis dan optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi [1]. Dalam pemanfaatan radiasi pengion di fasilitas kesehatan, prinsip proteksi radiasi mencakup dua hal, yaitu justifikasi dan optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi. Justifikasi pemanfaatan tenaga nuklir berdasarkan pada manfaat yang lebih besar daripada resiko yang ditimbulkan. Sedangkan optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi harus diupayakan agar besarnya dosis yang diterima serendah mungkin yang dapat dicapai dengan mempertimbangkan faktor sosial dan ekonomi. Penerapan optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi dilakukan melalui:

1. Pembatas dosis; dan
2. Tingkat panduan dosis.

Dalam pemanfaatan radiasi pengion, pesawat sinar-X CT-Scan merupakan salah satu modalitas yang memberikan dosis radiasi yang tinggi baik pada pasien anak-anak maupun dewasa [6]. Pasien anak-anak yang memiliki sensitivitas yang lebih tinggi terhadap radiasi dibanding pasien dewasa. Semua pemeriksaan CT-Scan (*head, chest, abdomen, trunk, spine*) memberikan kontribusi tertinggi, sampai dengan 60% dari total dosis efektif kolektif dari semua pencitraan medik anak-anak. Selain itu, semua pemeriksaan CT-Scan tersebut berpotensi memberikan dosis tinggi. Hal ini dikecualikan untuk pemeriksaan CT-Scan ekstemitas karena dosis yang diberikan dan kontribusi terhadap dosis kolektif relatif rendah [2].

Praktik pemeriksaan CT-Scan di rumah sakit masih banyak yang menggunakan protokol yang sama untuk pasien dewasa dan anak-anak. Dengan protokol pemeriksaan yang sama maka pasien anak akan menerima dosis yang sama dengan pasien dewasa. Dengan demikian maka pasien anak berpotensi mendapatkan paparan yang berlebih. Untuk mencegah paparan berlebih, perlu dilakukan optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi. Dalam hal ini, langkah awal yang dapat dilakukan adalah dengan pencatatan dosis pasien. Dosis yang diterima oleh pasien yang menjalani pemeriksaan CT-Scan dapat dilihat pada indikator dosis yang terdapat pada layar monitor konsol. Data dosis pasien tersebut dapat digunakan untuk menyusun tingkat panduan dosis lokal/rumah sakit. Kemudian pada pemeriksaan selanjutnya, dosis pasien dibandingkan dengan tingkat panduan dosis tersebut. Dan dilakukan evaluasi atau penyebab jika dosis yang diterima pasien tersebut lebih besar, sehingga dapat dilakukan perbaikan untuk melakukan

pemeriksaan selanjutnya. Selain itu, data dosis pasien yang rendah dengan kualitas citra yang baik dapat dijadikan sebagai acuan protokol pemeriksaan khusus anak selanjutnya. Upaya optimisasi tersebut merupakan langkah memberikan dosis pasien anak serendah mungkin untuk tujuan diagnosa pada pemeriksaan CT-Scan.

Karya tulis ini menyajikan kajian penerapan proses optimisasi pada pemeriksaan CT-Scan kepala pasien anak. Hal ini perlu dilakukan karena pasien anak memiliki sensitivitas yang lebih tinggiterhadap radiasi dibandingkan dengan pasien dewasa.

METODOLOGI

Kajian dilakukan dengan menggunakan data primer yaitu dosis pasien yang diperoleh dari pengambilan langsung ke rumah sakit dan data sekunder dari aplikasi SI-INTAN (Web BAPETEN), dan studi literatur.

Data dosis yang digunakan adalah CTDIv dan DLP. Nilai tersebut pada umumnya dapat dilihat pada layar monitor konsol CT-Scan atau terintegrasi dengan sistem data DICOM setiap pasien seperti *dose protocol report* atau tergantung pabrikan.

Kajian dilakukan dengan membandingkan data dosis yang diterima oleh pasien anak dan pasien dewasa. Perbandingan data dosis pasien tersebut dengan melihat data maksimum, minimum dan rata-rata dosis dalam CTDIv dan DLP. Selain itu juga dilakukan kajian berdasarkan kondisi penyinaran yang digunakan dalam pemeriksaan pasien anak dan dewasa.

LANDASAN TEORI

Tingkat panduan dosis merupakan salah satu alat dalam upaya penerapan optimisasi yang digunakan sebagai kendali dosis yang diterima pasien. Tingkat panduan dosis ini bukan merupakan suatu batasan dosis yang diterima oleh pasien. Apabila pasien menerima dosis yang melebihi tingkat panduan maka ini bukan suatu pelanggaran jika terjustifikasi secara medis dan penerimaan dosis tersebut tidak dapat dihindari. Namun apabila tidak terjustifikasi secara medis maka perlu dilakukan optimisasi untuk dapat menurunkan dosis serendah mungkin dengan mengikuti prinsip *As Low As Reasonably Achievable* (ALARA), tentunya dengan tidak mengurangi kualitas citra.

Tingkat panduan dosis dalam pemeriksaan CT-Scan didiskripsikan melalui indikator dosis, yaitu *CT Dose Index* (CTDI) dan/atau *Dose Length Product* (DLP-mGy.cm).

Pemeriksaan pada Tabel 1 di bawah ini sesuai dengan pemeriksaan CT rutin yang lengkap. *Multiphasescanning* hanya digunakan untuk kebutuhan tertentu, dan untuk kebutuhan tersebut, tingkat panduan dosis perlu dipertimbangkan secara terpisah. *Scanning* pra-kontras pada pemeriksaan CT-Scan anak-anak tidak diperlukan kecuali untuk pemeriksaan *bolus-tracking* [2].

Tabel 1. Rekomendasi jenis pemeriksaan CT-Scan untuk pasien anak-anak yang perlu diatur dalam tingkat panduan dosis [2].

Organ yang di scan	Deskripsi (PiDRL)
Head	Rutin
	Paranasal sinuses
	Inner ear/internal auditory meatus
	Ventricular size (shunt)
Chest	Chest
	Cardiovascular CT angiography
Abdomen	Abdomen (upper abdomen)
	Abdomen + pelvis
Trunk	Neck-chest-abdomen-pelvis (trauma, oncology)
Spine	Cervical-thoracic-lumbar

Dalam lampiran III Peraturan Kepala BAPETEN No. 8 Tahun 2011 (Perka BAPETEN No. 8 Tahun 2011) tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional, diatur tingkat panduan dosis yang mengacu pada IAEA, *International Basic Safety Standard for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources*, BSS No. 115, 1996 [3]. Tingkat panduan tersebut hanya mengatur untuk pasien dewasa. Mengingat pasien anak lebih sensitif terhadap radiasi dibandingkan pasien dewasa dan prinsip optimisasi maka diperlukan tingkat panduan dosis untuk pasien anak. Berikut adalah tingkat panduan anak khusus untuk pemeriksaan CT-Scan kepala (Tabel 2).

Tabel 2. Tingkat panduan dosis pada pemeriksaan CT-Scan kepala untuk pasien anak-anak dari beberapa negara

Dosis	Usia (thn)	Portugal, 2012 [4]	UK, 2011 [4]	France, 2012 [4]	EDRL, 2015 [4]	Japan, 2015 [8]
CTDI _v (mGy)	0	48	25	-	25	38
	1	-	-	-	25	-
	5	50	40	40	38	47
	10	70	60	50	53	60
	15	72	-	-	60	-
DLP (mGy.cm)	0	630	350	-	300	500
	1	-	-	-	370	-
	5	770	650	600	505	660
	10	1110	860	900	700	850
	15	1120	-	-	900	-

Efek radiasi terhadap tubuh dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Efek stokastik, efek ini belum tentu terjadi, dan bila terjadi akan dalam jangka waktu yang lama. Efek ini tidak mempunyai ambang batas, dosis radiasi serendah apapun mempunyai potensi untuk menimbulkan perubahan pada sistem biologi. Salah satu efek stokastik yang mungkin terjadi adalah kanker.
2. Efek deterministik, efek ini terjadi bila dosis radiasi yang diterima melebihi ambang batas dan umumnya akan terjadi pada waktu yang relatif lebih singkat dibandingkan dengan efek stokastik. Efek ini terjadi karena adanya proses kematian sel akibat dari paparan radiasi pada tubuh.

Radiosensitivitas pasien anak lebih tinggi dibandingkan dengan pasien dewasa. Di samping itu harapan hidup pasien pediatrik lebih lama, sehingga perlu diperhatikan perlindungan yang sesuai, karena resiko radiasi (efek stokastik) akan terjadi dikemudian hari dalam kurun waktu yang tidak dapat diperkirakan. Faktor resiko timbulnya kanker pada pasien

anak 2 (dua) hingga 3 (tiga) kali lebih besar dari orang dewasa [5].

Selain hal tersebut di atas, perbandingan paparan radiasi antara pasien dewasa dan anak-anak adalah dari sisi jumlah radiasi yang diberikan. Jumlah radiasi yang lebih rendah dibutuhkan untuk pencitraan diagnostik pada anak-anak. Untuk jumlah radiasi yang sama, deposisi pada jaringan anak-anak bisa lebih tinggi daripada orang dewasa [7]. Oleh karena itu maka dosis radiasi yang diberikan untuk pasien anak-anak harus lebih kecil dibandingkan dengan pasien dewasa. Untuk memperoleh dosis yang lebih rendah, maka diperlukan protokol pemeriksaan atau kondisi penyinaran khusus untuk anak-anak.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan CT untuk anak, di lapangan lebih banyak untuk pemeriksaan kepala dibandingkan dengan jenis pemeriksaan lainnya sebagaimana data yang diperoleh baik dari pengambilan data langsung ke rumah sakit ataupun data yang diambil dari aplikasi Si-INTAN. Tabel 3 merupakan data dosis pasien anak-anak pada pemeriksaan CT-Scan kepala.

Dosis pasien anak tersebut diidentifikasi dengan nilai CTDI_v dan/atau DLP. CTDI_v mewakili dosis scan protokol tertentu yang hampir selalu dilakukan dengan serangkaian tindakan *scanner*, memperhitungkan celah atau tumpang tindih antara berkas sinar-X pada rotasi berturut-turut dari sumber sinar-X menjadi sesuatu hal yang penting. CTDI_{vol} tidak mengindikasikan energi total yang disimpan dalam volume *scan* karena tidak tergantung dari panjang scan. Artinya, nilainya tetap tidak akan berubah wa-

laupun besar cakupan scan 10 atau 100 cm. Meskipun dosis volume rata-rata yang sebenarnya akan meningkat dengan panjang scan sampai dengan batas nilai dosis ekuilibrium, namun hal ini hanya diperkirakan dosis untuk panjang scan 100mm saja. Sedangkan DLP merupakan dosis volume rata-rata dikalikan dengan panjang organ tubuh yang discan. Sehingga meskipun CTDI_v sama maka dosis yang diterima pasien bisa berbeda tergantung dari panjang organ tubuh yang di-scan.

Tabel 3. Data dosis pasien anak pada pemeriksaan CT-Scan Kepala.

RS	Pasien	Kondisi Penyinaran			CTDI _v (mGy)			DLP (mGy.cm)		
		kV	mA	mAs	max	min	rata-rata	max	min	rata-rata
A	Anak-anak	120	1-450	-	62,22	62,08	62,14	1619,20	1310,20	1433,66
	Dewasa	120	1-450	-	62,22	62,08	62,16	1838,20	1248,10	1573,49
B	Anak-anak	120	-	100	49,20	49,20	49,20	788,00	689,50	738,75
	Dewasa	120	-	100	49,20	36,10	45,48	1030,70	639,70	793,07
C	Anak-anak	120	-	400	76,00	43,00	68,35	3436,00	687,00	1778,15
	Dewasa	120	-	400	76,00	43,00	68,35	3436,00	687,00	1778,15
D	Anak-anak	120	-	451	72,00	22,00	62,50	2230,00	777,00	1554,55
	Dewasa	120	-	450	60,00	60,00	60,00	1713,00	1211,00	1487,30
E	Anak-anak	130	-	240	52,00	23,00	50,07	1552,00	724,00	1061,13
	Dewasa	130	-	240	52,00	44,00	51,27	1084,00	773,00	1007,91
F	Anak-anak	120	-	200	238,00	57,00	141,92	3786,00	1430,00	2547,33
	Dewasa	120	-	400	326,00	46,00	165,41	4779,00	32,00	2976,91
G	Anak-anak	100	-	427-1622	87,18	10,77	29,88	1885	187	635,58
	Dewasa	120	-	457-9337	97,85	11,42	39,40	2232,00	11,45	738,81
H	Anak-anak	120	-	200	59,00	59,00	59,00	1320,00	1180,00	1255,50
	Dewasa	120	-	200	59,00	59,00	59,00	1350,00	1200,00	1260,95
I	Anak-anak	120	-	170	20,00	16,00	17,11	410,00	290,00	354,00
	Dewasa	120	-	380	106,00	59,00	65,25	2573,00	1016,00	1341,60
J	Anak-anak	120	-	197	53,00	25,00	42,64	1391,00	439,00	934,73
	Dewasa	120	-	219	81,00	63,00	65,06	2929,00	1218,00	1530,47

Catatan:

- data RS A dan B diperoleh dari pengambilan data langsung ke RS
- data RS C sampai J diperoleh dari aplikasi Si-INTAN

Berdasarkan data pada Tabel 3 pemeriksaan pasien dewasa dan anak-anak menggunakan kondisi penyinaran (kV dan mA/mAs) yang sama. Dalam pemilihan kondisi penyinaran seharusnya mempertimbangkan usia pasien dan juga berat badan atau *body mass index* (BMI). Hal tersebut diperlukan untuk mencegah resiko radiasi ditinjau dari sisi sensitivitas terhadap radiasi. Secara umum, untuk tujuan diagnostik, pasien anak membutuhkan radiasi yang lebih rendah dari pasien dewasa.

Selain melihat kondisi penyinaran, jika dibandingkan dengan tingkat panduan dosis yang diatur dalam Perka BAPETEN No. 8 Tahun 2011, maka dosis pasien anak di 5 (lima) rumah sakit (A, C, D, F, H) sudah melebihi tingkat panduan dosis untuk pa-

sien dewasa yaitu 50 mGy (CTDI_v). Dengan pemberian kondisi penyinaran yang sama, CTDI_v pasien anak sama dengan pasien dewasa bahkan di 2 (dua) rumah sakit (B dan D) lebih tinggi, maka seharusnya bisa dilakukan optimisasi untuk menurunkan dosis pasien sebagaimana yang sudah dilakukan oleh 3 (tiga) rumah sakit (G, I, J). Melihat kondisi di atas, maka proses optimisasi dapat dilakukan dengan:

1. menggunakan protokol atau kondisi penyinaran CT-Scan khusus untuk pasien anak (*best practice*); dan
2. menetapkan tingkat panduan dosis untuk pemeriksaan CT-Scan pasien anak.

Pada rumah sakit G, I, dan J sudah melakukan optimisasi dengan menggunakan kondisi penyinaran untuk pasien anak yang lebih rendah dari pasien dewasa sehingga dosis yang diterima pasien anakpun lebih rendah dari pasien dewasa. Praktik yang baik dari suatu rumah sakit yaitu dengan pemberian dosis pasien serendah mungkin dengan tetap menjaga kualitas citra dapat dijadikan acuan dalam praktik-praktik selanjutnya.

Tingkat panduan dosis untuk pasien anak dapat dijadikan alat untuk mengendalikan paparan yang diterima oleh pasien. Dosis yang diterima oleh pasien dibandingkan dengan tingkat panduan kemudian dilakukan evaluasi apabila terdapat dosis pasien yang melebihi tingkat panduan dosis. Evaluasi tersebut dilakukan untuk mengetahui penyebab pasien menerima dosis yang melebihi tingkat panduan. Hal tersebut bukan merupakan suatu pelanggaran apabila penyebab dari paparan berlebih tersebut dapat terjustifikasi memang tidak dapat dihindari dan sesuai kebutuhan untuk tujuan diagnosa.

Untuk saat ini belum ada tingkat panduan dosis nasional khusus untuk pasien anak. Untuk penyusunannya diperlukan data yang mewakili seluruh pasien anak di Indonesia. Sementara itu, dapat ditetapkan tingkat panduan dosis lokal untuk pasien anak. Tingkat panduan dosis lokal ini merupakan tingkat panduan yang ditetapkan berdasarkan data dosis pasien anak di rumah sakit tersebut. Selanjutnya setiap dilakukan pemeriksaan, dosis pasien dievaluasi dengan tingkat panduan tersebut.

Dalam hal penentuan tingkat panduan dosis pasien anak, BAPETEN telah menyediakan sarana berupa aplikasi Sistem Informasi Data Dosis Pasien (Si-INTAN). Aplikasi tersebut dapat diakses pada web: bapeten.go.id. Untuk penentuan tingkat panduan dosis, maka pihak rumah sakit hanya perlu menginput data minimal 20 (dua puluh) data dosis pasien dan kemudian akan diperoleh tingkat panduan dosis lokal. Tingkat panduan dosis ini bersifat fleksibel, yaitu dapat berubah dengan dilakukan evaluasi terhadap paparan yang diterima oleh pasien. Evaluasi ini dapat dilakukan tiap 2 (dua) tahun sekali. Harapan dari evaluasi tingkat panduan tersebut adalah perubahan tingkat panduan hingga seminimal mungkin yang kemudian dapat menjadi indikator keberhasilan proses optimisasi yang dilakukan.

KESIMPULAN

Dalam praktik di lapangan, masih terdapat pemeriksaan CT-Scan kepala pasien anak dengan menggunakan kondisi penyinaran yang sama dengan pasien dewasa. Pada dasarnya pasien anak memerlukan dosis radiasi yang lebih kecil dibandingkan dengan dewasa untuk tujuan diagnostik. Dengan kondisi pemeriksaan yang sama maka pasien anak kemungkinan menerima dosis berlebih atau dosis yang tidak diperlukan. Oleh karenanya perlu dilakukan peningkatan upaya optimisasi untuk pemeriksaan CT-Scan pada pasien anak-

anak. Upaya optimisasi yang dapat dilakukan adalah dengan penentuan tingkat panduan dosis pasien anak dan menggunakan protokol pemeriksaan khusus pasien anak. Peningkatan upaya optimisasi tersebut perlu dilakukan agar dapat tercapai perlindungan terhadap pasien yaitu melalui pemberian dosis radiasi serendah mungkin dengan tetap menjaga kualitas citra sehingga tidak mengurangi informasi diagnosa yang dibutuhkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BAPETEN, 2007, Peraturan Pemerintah No. 33, "*Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif*"
- [2] European Guidelines, 2015, Final complete draft for PiDRL Workshop, "*European Diagnostic Reference Level for Paediatric Imaging*".
- [3] BAPETEN, 2011, Peraturan Kepala BAPETEN No. 8, "*Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional*"
- [4] Santos Joana, PhD., 2016, The International Pediatric Radiology, 7th Conjoint Meeting & Exhibition, "*Diagnostic Reference Levels in Pediatric Imaging: The International Recommendations*".
- [5] IAEA, *Radiation Protection in Diagnostic and Interventional Radiology, L21 : Optimization of Protection in Pediatric Radiology*".
- [6] ICRP Publication 135, 2017, "*Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging*"
- [7] Jachen Troeger, Peter Seidensticker, 2008, Springer, "*Paediatric imaging manual*"
- [8] Japan DRLs 2015, 2015, "*Diagnostic Reference Levels Based on Latest Survey in Japan*", <http://www.radher.jp/J-RIME/report/DRLhoukokusyuoEng.pdf>, diakses 3 Juli 2018

NO	Nama penanya	Kode Makalah	Nama Penyaji	Pertanyaan dan Jawaban
1.	Endang Kunarsih (BAPETEN)	PA05	Intanung S.	<p>1. Menurut Perka BAPETEN No. 4 tahun 2013, Pasal 40 (b);, tingkat panduan boleh dilampaui asal ada justifikasi teknis. Apakah sampel data yang digunakan dalam makalah ini sudah melalui tahap verifikasi dan validasi data; bahwa data tersebut benar-benar masuk kategori “dosis berlebih” (melebihi tingkat panduan) yang tidak disertai justifikasi teknis?</p> <p>2.</p> <p>Jawab:</p> <p>1. Dalam makalah ini, saya membandingkan dosis radiasi yang diterima oleh pasien anak dan dewasa. Literatur menyebutkan bahwa dalam pemeriksaan, besaran radiasi yang lebih rendah dibutuhkan untuk pencitraan diagnostic pada anak-anak. Untuk besaran radiasi yang sama, maka deposisi pada jaringan anak bias lebih tinggi dari pada orang dewasa. Oleh karena itu maka dosis radiasi yang diberikan untuk anak-anak harus lebih kecil dari pada dosis radiasi untuk pasien orang dewasa.</p> <p>2. Penulis tidak memverifikasi data terkait justifikasi klinis, namun dengan melihat sebagian sampel dosis anak yang lebih tinggi dari dosis pasien dewasa dan berdasarkan pada literatur tersebut dalam makalah, maka perlu dilakukan optimisasi. Perlu diketahui bahwa dalam Perka BAPETEN No. 8 Tahun 2011 belum mengatur tingkat panduan dosis anak. Dan jika melihat tingkat panduan dosis pasien dewasa, dosis yang diterima pasien anak sebagian lebih tinggi dari tingkat panduan doaia pasien dewasa, yaitu 50 mGy (CTDIv)</p>

PA06

PENGGUNAAN ISOTOP ^{137}Cs dan $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ YANG ADA DI LINGKUNGAN UNTUK MEPERKIRAKAN ASAL USUL SEDIMEN DI SubDAS CIBERANG – SERANG - BANTEN

Nita Suhartini*

*) Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi – BATAN

Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta 12440

e-mail : s-nita@batan.go.id

ABSTRAK

Sungai Ciujung memiliki daerah tangkapan air yang sangat besar. DAS Ciujung dibagi menjadi dua yaitu subDAS Ciujung hulu dan subDAS Ciberang. Hilangnya hutan di daerah hulu menyebabkan sungai ini mengalami pendangkalan dan sering mengalami banjir. SubDAS Ciberang dialiri oleh dua sungai yaitu S. Ciberang dan S. Cisemeut. Radioisotop ^{137}Cs dan $^{210}\text{Pb}_{\text{excess}}$ yang terdapat di tanah dapat digunakan sebagai perunut untuk mencari asal usul sedimen. Penelitian ini bertujuan untuk memperkirakan asal usul sedimen di subDAS Ciberang. Lokasi penelitian yang dipilih adalah suatu lahan olahan dan lahan tidak diolah yang terdapat di sekitar S. Ciberang dan S. Cisemeut, dan pengambilan sampel dilakukan secara permukaan (ketebalan lapisan = 2 cm) menggunakan alat *corring* (di = 10 cm). Hasil penelitian menunjukkan bahwa di kedua sungai tersebut lahan olahan memberikan kontribusi partikel tanah lebih besar dari lahan yang tidak diolah, yaitu untuk S. Ciberang adalah 89 % dan 11%, masing-masing untuk lahan olahan dan lahan tidak diolah, sedangkan untuk S. Cisemeut adalah 69 % dan 31 % masing-masing untuk lahan olahan dan lahan yang tidak diolah.

Kata kunci : Erosi/deposisi, radioisotop alam, ^{137}Cs , ^{210}Pb

ABSTRACT

THE USE OF ^{137}Cs AND $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ENVIRONMENTAL ISOTOPES TO ESTIMATE SEDIMENT BUDGET AT CIBERANG SUBCATCHMENT – SERANG - BANTEN. Ciujung river has a wide catchment area. Ciujung catchment divided into two subcatchment namely Ciujung Hulu subcatchment and Ciberang subcatchment. Deforestation at upstream caused sedimentation and flood. Ciberang subcatchment is flowed by two rivers namely Ciberang river and Cisemeut river. Environmental radioisotopes of ^{137}Cs and $^{210}\text{Pb}_{\text{excess}}$ that content in the soil can be used as fingerprint to estimate sediment budget. The study is aimed to estimate sediment budget at Ciberang subcatchment. Cultivated and uncultivated area that located at Ciberang catchment and Cisemeut catchment had been chosen as study sites and surface soil (layer thickness = 2 cm) sampling were done by using corring (di = 10 cm). The experimental result showed that cultivated area was contributed soil particles higher than uncultivated area, namely Ciberang river were 89 % and 11 % for cultivated and uncultivated area respectively, and Cisemeut river were 69 % and 31 % for cultivated and uncultivated area respectively.

Keyword : erosion/deposition, environmental radioisotope, ^{137}Cs , ^{210}Pb

PENDAHULUAN

Erosi merupakan problem besar di Indonesia karena dapat menyebabkan berkurangnya kesuburan tanah, pendangkalan sungai dan terjadinya banjir. Erosi ini terjadi akibat adanya pembukaan hutan yang tidak terkendali sehingga daerah yang tadinya merupakan tangkapan air yang dapat mengendalikan keseimbangan alam sudah hilang fungsinya. Besarnya erosi dapat ditentukan secara konvensional yaitu dengan cara melihat seluruh kondisi lapangan dan membawa sampel tanah untuk dianalisis beberapa unsur hara dan organiknya (N, P, C organik), tetapi metode ini membutuhkan waktu yang lama, dimana pengamatan dilakukan pada musim penghujan dan musim kering (minimum 1

tahun). Karena adanya keterbatasan pada metode konvensional dalam mendokumentasikan distribusi erosi, maka metode teknik nuklir dengan memanfaatkan radioisotop alam mulai banyak digunakan, terutama radioisotop alam ^{137}Cs dan ^{210}Pb sebagai pendekatan alternatif untuk penelitian erosi tanah dan asal usul sedimen. Radioisotop alam ^{137}Cs merupakan alat untuk mendapatkan informasi tentang distribusi dari erosi/deposisi yang telah terjadi dalam kurun waktu 40 tahun, sedangkan radioisotop alam ^{210}Pb untuk kurun waktu 100 tahun. Pengambilan sampel untuk metode nuklir ini hanya dilakukan satu kali ke lokasi penelitian [1].

^{137}Cs adalah radioisotop alam dengan waktu paruh 30,2 tahun. Keberadaan radioisotop ^{137}Cs di alam ini adalah merupakan jatuhnya (*fallout*) dari atmosfer sebagai hasil 262 percobaan senjata nuklir. ^{137}Cs secara global telah dapat dideteksi di alam ini sejak 1954, dan fluks yang tertinggi pada belahan bumi bagian utara terjadi pada tahun 1973 sehubungan dengan adanya percobaan senjata nuklir secara besar-besaran yang terjadi pada saat itu. Jatuhan ^{137}Cs dari atmosfer berkurang drastis setelah adanya perjanjian percobaan senjata nuklir pada tahun 1963, dan sejak tahun 1970-an jatuhan ^{137}Cs dari atmosfer menjadi sangat tidak signifikan (hampir tidak ada). Selain dari percobaan senjata nuklir, untuk beberapa wilayah di Eropa dan wilayah yang berada berdekatan dengan Rusia, mengalami penambahan jatuhan ^{137}Cs yang berasal dari peristiwa kecelakaan Chernobyl pada 26 April 1986 [2]. Jatuhan ^{137}Cs ketika menyentuh permukaan bumi akan teradsorpsi secara cepat dan kuat pada permukaan tanah dan kemudian terdistribusi secara vertikal dan lateral bersama-sama dengan pergerakan partikel tanah. Kuatnya ikatan ^{137}Cs pada partikel tanah membuat ^{137}Cs dapat digunakan sebagai perunut (*tracer*) pada pergerakan tanah dan sedimen [3]. ^{210}Pb adalah suatu radioisotop alam (waktu paruh 22,2 tahun) yang merupakan hasil dari rangkaian peluruhan dari radioaktif induk ^{238}U . ^{210}Pb dihasilkan melalui beberapa rangkaian peluruhan radioaktif umur pendek dari peluruhan gas ^{222}Rn (waktu paruh 3,8 hari) yang merupakan anak luruh dari radioaktif alam ^{226}Ra (waktu paruh 1622 tahun) [4]. ^{210}Pb yang terdapat di tanah dan batuan merupakan hasil peluruhan secara alamiah dari ^{226}Ra . ^{222}Rn akan meluruh menjadi ^{222}Rn yang berumur pendek ($t_{1/2} = 3,8$ hari), dimana sebagian kecil dari gas ^{222}Rn ini akan terdifusi ke atas dan terlepas ke atmosfer. Gas ^{222}Rn yang terperangkap di tanah dan batuan akan meluruh menjadi ^{210}Pb yang berada dalam kesetimbangan dengan induknya, dan ini disebut sebagai ^{210}Pb *supported*. Sedangkan gas ^{222}Rn yang terlepas ke atmosfer akan meluruh menjadi ^{210}Pb kemudian jatuh ke permukaan tanah melalui air hujan. Jatuhan ^{210}Pb ini di permukaan tanah tidak berada dalam kesetimbangan dengan induknya, dan ^{210}Pb jatuhnya ini disebut sebagai ^{210}Pb *unsupported* atau *excess*. Karena kuatnya daya serap partikel tanah dan sedimen, maka jatuhan ^{210}Pb ketika menyentuh permukaan tanah secara cepat akan teradsorpsi dan melekat sangat kuat pada partikel tanah dan sedimen. Pergerakan ^{210}Pb di tanah dan sedimen secara vertikal dan horizontal disebabkan karena adanya proses erosi, transportasi dan deposit. Oleh karena fenomena ini maka fungsi ^{210}Pb *unsupported* atau *excess* sama seperti ^{137}Cs sebagai

perunut (*tracer*) untuk penelitian erosi tanah dan asal usul sedimen [5].

Pada penelitian ini digunakan dua radioaktif yang ada di lingkungan yaitu ^{137}Cs dan ^{210}Pb *excess* atau *unsupported* untuk menentukan asal usul sedimen pada suatu lokasi yang terdiri dari lahan yang diolah (*cultivated*) dan yang tidak diolah (*uncultivated*), dengan berasumsi bahwa radionuklida yang ada di alam ini bersifat konservatif, tidak mengalami degradasi seperti halnya zat-zat organik, maupun proses alterasi kimia lain selama transportasinya dari daerah yang tererosi sampai di suatu titik pengamatan di lapangan dimana sedimen suspensi diambil. Lokasi penelitian yang dipilih adalah sub Daerah Aliran Sungai (subDAS) Ciberang – Serang yang merupakan bagian dari DAS Ciujung, dan subDAS Ciberang ini memiliki dua sungai besar yaitu S.Ciberang dan S.Cisemeut. **Tujuan** dari naskah ini adalah untuk menyajikan hasil penelitian dalam menentukan asal usul sedimen sungai Ciberang dan sungai Cisemeut yang merupakan hulu dari DAS Ciujung Serang menggunakan radioisotop ^{137}Cs dan ^{210}Pb *excess* yang terdapat di tanah.

METODE

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan berapa besar kontribusi lahan olahan dan lahan yang tidak diolah terhadap sedimentasi di sungai Ciberang dan sungai Cisemeut. Metode yang digunakan adalah analisis kandungan radioisotop ^{137}Cs dan ^{210}Pb *excess* yang terdapat di tanah. Pengambilan sampel tanah dilakukan pada permukaan (kedalaman 2 cm) menggunakan alat coring dengan $d = 10$ cm), kemudian dilakukan perlakuan awal terhadap sampel tanah sebelum dianalisis menggunakan alat spektrometer gamma. Lokasi penelitian ini merupakan suatu lahan yang diolah secara komersil (perkebunan) dan lahan yang diolah oleh penduduk setempat yang terdapat pada subDAS Ciberang

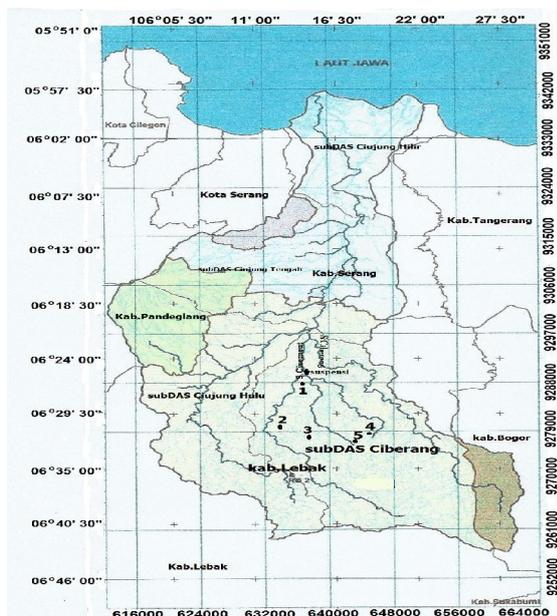
Lokasi penelitian

Lokasi pengambilan sampel dilakukan pada subDAS Ciberang yang terdiri dari subsubDAS Ciberang dan subsubDAS Cisemeut. Pengambilan sampel di subsubDAS Ciberang dilakukan pada 9 lokasi (Gambar 1), yaitu 8 lokasi olahan dan 1 sedimen suspensi sungai Ciberang. Lokasi penelitian memiliki kemiringan yang berbeda-beda berkisar antara 10° sampai dengan 45° . Lokasi-lokasi pengambilan sampel terdapat di 1. desa Pangrudin, 2. Kecamatan Sajira, 3. desa Curug Bitung, 4. Desa Banjar Sari, 5. Desa Bungur Mekar, 6. Desa Sajira, 7. Desa Muncang dan 8. Desa Halur Gajlug.



Gambar 1. Peta DAS Ciujung dan lokasi titik-titik pengambilan

sampel di subsubDAS Ciberang
Sedangkan untuk subsubDAS Cisemeut pengambilan sampel dilakukan pada 6 lokasi (Gambar 2), yaitu 5 lokasi olahan dan 1 sedimen suspensi sungai Cisemeut. Lokasi penelitian memiliki kemiringan yang berbeda-beda berkisar antara 10° sampai dengan 45° . Lokasi-lokasi pengambilan sampel terdapat di 1. desa Cimarga, 2. Desa Leuwi Damar, 3. Desa Jampang Mulya, 4. Kecamatan Ciminyak, 5. Kecamatan Leuwi Damar.



Gambar 2. Peta DAS Ciujung dan lokasi titik-titik pengambilan Sampel di subsubDAS Cisemeut

Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan pada permukaan tanah dengan ketebalan lapisan 2 cm menggunakan alat *corring* ($d_i = 10$ cm). Sampel tanah kemudian dimasukan kedalam kantong plastik berklip dan diberi kode dan tanggal.

Perlakuan Pendahuluan sampel

Sampel-sampel tanah dibawa ke laboratorium sedimentologi – PAIR – BATAN, kemudian dilakukan perlakuan pendahuluan sebelum kandungan ^{137}Cs dan ^{210}Pb nya dianalisis. Perlakuan pendahuluan sampel terdiri dari : pengeringan sampel tanah, penimbangan berat kering total sampel, pengayakan hingga lolos ayakan 1 mm dan penggerusan untuk sampel yang tidak lolos ayakan 1 mm.

Analisis kandungan ^{137}Cs dan ^{210}Pb

Sebanyak 400 g dari sampel tanah kering dan halus dimasukkan ke dalam merinelli, ditutup rapat, kemudian disegel menggunakan selotip kertas selama 21 hari. Hal ini dilakukan untuk menjamin bahwa kesetimbangan antara ^{226}Ra dan anak luruhnya ^{222}Rn sudah terjadi. Kandungan ^{137}Cs dan ^{210}Pb dalam sampel tanah selanjutnya dianalisis menggunakan *High Purity Germanium* (HPGe) detektor dengan efisiensi 30 % yang dihubungkan ke GENIE 2000 *spectrum master* dan *multi channel analyzer* (MCA). Rentang energi pada alat spektrometer gamma ini adalah 1,54 keV (pada *channel* 1) sampai dengan 1777,05 keV (pada *channel* 4095). Sampel-sampel tanah setelah mengalami perlakuan awal akan dianalisis menggunakan alat spektrometer gamma dimana alat ini memiliki minimum deteksinya (MDC) adalah untuk ^{210}Pb total = 7,7 Bq/kg, ^{210}Pb supported = 5 Bq/kg dan ^{137}Cs = 0 Bq/kg. Pengukuran dilakukan selama minimum 80.000 detik, dan standar yang digunakan adalah standar sekunder tanah yang diambil dari daerah Nganjuk yang telah diketahui aktivitas ^{137}Cs , ^{210}Pb total dan *supported* nya. Standar sekunder tanah juga dimasukkan dalam merinelli sebanyak 400 gr dan ditutup rapat menggunakan selotip selama minimum 21 hari. Aktivitas isotop lingkungan (*environmental isotope*) ^{137}Cs didapat pada energi 661 keV, sedangkan aktivitas ^{210}Pb total ditentukan pada energi 46,5 keV, dan radioaktivitas ^{214}Pb atau ^{210}Pb *supported* ditentukan pada energi 351,9 keV. Radioaktivitas dari ^{210}Pb *unsupported* atau *excess* didapat dengan cara melakukan pengurangan radioaktivitas ^{210}Pb *supported* terhadap ^{210}Pb total [6]. Setelah pencacahan, sampel tanah dikembalikan ke kantong plastik dan disimpan atau tetap didalam merinelli yang tersegel sehingga dapat dianalisis kembali jika diperlukan.

Konversi cacahan ke aktivitas radioisotop

Untuk penentuan faktor koreksi detektor digunakan standar tanah (standar sekunder) dengan aktivitas ^{137}Cs , ^{210}Pb total dan ^{210}Pb *supported* yang telah diketahui ($^{137}\text{Cs} = 1,20 \text{ Bq/kg}$, ^{210}Pb total = 27,09 Bq/kg dan ^{210}Pb *supported* = 12,13 Bq/kg pada Desember 2006). Koreksi aktivitas ^{137}Cs dan ^{210}Pb total dan ^{210}Pb *supported* sesungguhnya untuk standar sekunder terhadap aktivitas pada saat ini menggunakan persamaan-persamaan berikut [7] :

$$A = A_0 * e^{-kt} \quad (i)$$

dimana :

A_0 = Aktivitas ^{137}Cs , ^{210}Pb total atau ^{210}Pb *supported* dalam sampel standar pada Desember 2006 (Bq/kg)

A = Aktivitas ^{137}Cs , ^{210}Pb total atau ^{210}Pb *supported* saat ini (Bq/kg)

k = konstanta

t = lamanya peluruhan (tahun)

Hasil pengukuran isotop ^{137}Cs , ^{210}Pb total dan ^{210}Pb *supported* dalam sampel standar menggunakan MCA kemudian dibandingkan terhadap aktivitas ^{137}Cs , ^{210}Pb total dan ^{210}Pb *supported* sesungguhnya pada waktu yang sama. Persamaan yang digunakan adalah :

$$c.f. = A / ((\text{Cacah standar} - \text{Cacah BG}) / (w * t)) \quad (ii)$$

dimana :

c.f. = faktor koreksi untuk ^{137}Cs , ^{210}Pb total atau ^{210}Pb *supported*

A = Aktivitas ^{137}Cs , ^{210}Pb total atau ^{210}Pb *supported* pada standar saat ini (Bq/kg)

w = Berat analisis sampel standar (kg)

t = waktu pencacahan sampel standar (detik)

Faktor koreksi kemudian akan digunakan untuk mengkoreksi aktivitas ^{137}Cs dan ^{210}Pb total dan ^{210}Pb *supported* sampel tanah yang diperoleh melalui pengukuran menggunakan alat MCA (asumsi kondisi geometri merinelli dan berat sampel yang sama dengan sampel standar). Persamaan yang digunakan adalah :

$$A_s = c.f * ((\text{Cacah sampel} - \text{Cacah BG}) / (w * t)) \quad (iii)$$

dimana :

A_s = Aktivitas ^{137}Cs , ^{210}Pb total atau ^{210}Pb *supported* sampel yang terkoreksi (Bq/kg)

c.f = Faktor koreksi untuk ^{137}Cs , ^{210}Pb total atau ^{210}Pb *supported*

w = Berat analisis sampel (kg)

t = Waktu pencacahan sampel (detik)

HASIL dan PEMBAHASAN

Semua sampel kecuali suspensi sungai diambil pada permukaan tanah yaitu pengambilan sampel hanya sampai kedalaman 2 cm. Setiap lokasi diambil 10 titik percobaan secara menyebar diseluruh lokasi dan dimasukkan kedalam ember agar bercampur secara homogen, kemudian dimasukkan kedalam plastik berklip dan diberi kode dan tanggal. Lokasi penelitian ini terdiri dari lahan yang diolah dan lahan yang tidak diolah. Setelah melalui perlakuan pendahuluan dan sampel disegel didalam merineli selama 21 hari, maka dilakukan pencacahan menggunakan alat spektrometri gamma untuk radioisotop ^{137}Cs dan ^{210}Pb selama minimum 1 hari. Dengan menggunakan persamaan (i) sampai dengan (iii) maka akan diperoleh aktivitas dari radioisotop ^{137}Cs dan $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ dalam satuan (Bq/kg). Pengambilan sampel di daerah aliran sungai Ciberang dan sungai Cisemeut dilakukan pada lahan olahan dan lahan yang tidak diolah. Lahan olahan yaitu suatu lahan yang selalu mengalami pencangkulan ketika akan ditanami tanaman palawija seperti singkong dan jagung, sedangkan lahan yang tidak diolah adalah suatu lahan yang dijadikan perkebunan atau suatu lahan yang ditanami oleh beberapa macam tanaman keras seperti pohon durian, sengon, bambu, mahoni dan cengkeh. Tekstur tanah lahan olahan bersifat gembur karena sering dicangkul, sedangkan lahan yang tidak diolah bersifat padat dan keras. Untuk daerah aliran sungai Ciberang lahan olahan ditanami oleh singkong, sedangkan lahan yang tidak diolah terdiri dari kebun campuran yang ditanami oleh beberapa macam tanaman keras dan perkebunan karet, mahoni dan akasia. Kandungan radioisotop ^{137}Cs dan $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ di sampel-sampel tanah yang diambil di sekitar daerah tangkapan S. Ciberang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil perhitungan radioaktivitas radioisotop alam ^{137}Cs dan $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ (Bq/kg) titik- titik percobaan di subsubDAS Ciberang

No.	LOKASI/KOD E	AKTIVITAS (Bq/kg)		POSISI		KETERANGAN
		$^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$	^{137}Cs	S	T	
1.	Ds. Pangrudin /AF	44,93 ± 3,82	0,54 ± 0,07	06° 29' 25"	106° 27' 27"	Lahan olahan Slope 20°
	AF 1	33,88 ± 3,65	0,67 ± 0,07			
	AF 2	33,26 ± 3,44	0,38 ± 0,09	06° 29' 27"	106° 27' 29"	agroforestry
	AF 3	30,87 ± 3,37	0,54 ± 0,08			
	AF 4	23,26 ± 3,29	0,31 ± 0,08			
	AF 5	16,50 ± 1,76	0,42 ± 0,05			
	AF 6	40,14 ± 3,23	0,69 ± 0,08			
	AF 7					
2.	Ds Sajira / KJB	17,99 ± 3,11	0,37 ± 0,07	06° 30' 22"	106° 22' 21"	kbn campuran (tnm keras) Lahan tak diolah Slope (15 – 20)°
3.	Ds. Curug Bitung/ KBS	5,64 ± 3,74	0,13 ± 0,04	06° 29' 09"	106° 22' 04"	Kebun singkong Lahan olahan Slope landai & panjang
4.	Ds. Banjar Sari/ JBN	8,86 ± 3,36	0,30 ± 0,08	06° 34' 56"	106° 24' 28"	Kebun jati ambon Lahan tak diolah Slope teras (35°)
5.	Ds. Bungur Mekar BM	8,84 ± 2,32	0,24 ± 0,05	06° 26' 47"	106° 19' 03"	Kebun Karet Lahan tak diolah Slope (20 -40)°
6.	Ds. Sajira/ SJR	16,00 ± 2,39	0,22 ± 9,95	06° 29' 49"	106° 20' 47"	Kebu karet/Lahan tak diolah (slope 30°)
7.	Kec Muncang/ MCG	25,30 ± 4,13	0,40 ± 0,08	06° 32' 57"	106° 16' 03"	Kebun mahon Lahan tak diolah (45°)
8.	Ds. Halur Gajlug/ MHN	20,43 ± 1,35	0,28 ± 0,04	06° 31' 10,4"	106° 22' 50,4"	Kebun akasia Lahan tak diolah Slope (15 – 20)°

Pengambilan sampel di daerah aliran sungai Cisemeut dilakukan pada lahan olahan yang ditanami oleh singkong dan lahan yang terbuka bekas perkebunan karet, sedangkan lahan yang tidak diolah berupa perkebunan kelapa sawit dan kebun campuran

yang ditanami oleh beberapa tanaman keras. Hasil perhitungan dari lokasi sekitar tangkapan sungai Cisemeut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan radioaktivitas radioisotop alam ^{137}Cs dan $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ (Bq/kg) setiap titik- titik percobaan di subsubDAS Cisemeut

No.	LOKASI/KODE	AKTIVITAS (Bq/kg)		POSISI		KETERANGAN
		$^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$	^{137}Cs	S	T	
1.	Ds Cimarga/ KK	10,88 ± 4,55	0,16 ± 0,06	06° 25' 14"	106° 13' 56"	Lahan terbuka / lahan diolah, slope (15 – 30)°
2.	Ds Leuwi Damar/ KS	12,99 ± 3,32	0,39 ± 0,05	06° 31' 07"	106° 12' 60"	Kebun Kelapa Sawit Lahan tak diolah slope
3.	Ds. Jalumpang	11,73 ± 2,48	0,33 ± 0,07	06° 31' 54"	106° 13'	Kebun singkong/

Mulya/KBS				29"	Lahan olahan ,slope (5 – 30) ^o	
4.	Kec. Ciminyak/ CMN	26,00 ± 3,07	0,44 ± 0,06	06° 32' 08"	106° 19'	Kebun campuran/Lahan tak diolah, slope 45 ^o
5.	Kec. Leuwi Damar/ CMG	1,95 ± 0,41	0,43 ± 0,04	06° 32' 14"	106° 18'	Kebun campuran/Lahan tak diolah, slope 45 ^o

Kecuali untuk lokasi AF (karena lahan ini sebenarnya merupakan agroforestri yang sebagian lahannya dimanfaatkan untuk tanaman palawija, tapi lokasi ini di kategorikan sebagai lahan yang diolah), jika tidak terjadi erosi, dapat dipastikan bahwa aktivitas radionuklida jatuhnya ¹³⁷Cs dan ²¹⁰Pb excess pada masing-masing subsub DAS mempunyai nilai yang relatif sama. Perbedaan nilai yang terjadi karena besaran erosi yang berbeda dari keduanya. Secara umum, terlihat bahwa aktivitas ¹³⁷Cs dan ²¹⁰Pb excess pada kebun campuran lebih tinggi di banding dengan ladang (lahan olahan), yang mengindikasikan bahwa erosi lebaran lebih tinggi terjadi di ladang. Hal ini sesuai dengan kejadian yang ada di lapangan bahwa pada kebun campuran tidak seluruh luasan lahannya diolah. Bila dibandingkan dengan lahan olahan (ladang), bila terjadi hujan lebat menjadikan lahan yang terolah tersebut mudah terjadi erosi percik

dan larut terbawa dalam aliran permukaan. Erosi percik tentunya dimulai dari lapisan yang paling atas. Disamping itu, dibanding pada ladang yang relatif lebih terbuka untuk terkena tetesan curah hujan pada keseluruhan permukaan lahan yang terolah, maka naungan pohon utama sangat berperan dalam menghalangi terjadinya erosi percik sebagai proses awal terjadinya erosi lebaran. Dengan asumsi jatuhnya global ¹³⁷Cs di kedua subsub DAS sama dan pola tanam pada kebun campuran dan ladang yang juga relatif sama, maka memberikan dampak erosi yang relatif sama. Maka untuk menghitung berapa persen lahan olahan dan lahan tidak diolah memberikan kontribusi partikel tanah pada sedimen sungai, nilai-nilai aktivitas ¹³⁷Cs dan ²¹⁰Pb_{ex} untuk setiap jenis lahan dirata-rata, sehingga diperoleh nilai seperti yang terlihat pada Tabel 3 untuk daerah tangkapan S. Ciberang.

Tabel 3. Nilai rata-rata radioaktivitas ¹³⁷Cs dan ²¹⁰Pb excess setiap jenis lahan dan Sedimen suspensi S. Ciberang

No.	LOKASI	²¹⁰ Pb _{excess} (Bq/kg)	¹³⁷ Cs (Bq/kg)	Keterangan
1.	SubsubDAS Ciberang	29,72 ± 12,99	0,46 ± 0,18	Cultivated (lahan olahan)
2.	SubsubDAS Ciberang	19,70 ± 8,97	0,36 ± 0,13	Uncultivated (lahan tak diolah)
3.	S.Ciberang	21,05	0,34	Sedimen suspensi

Dengan menggunakan persamaan [8] :

Untuk :

$$^{210}\text{Pb}_{\text{ex}} : 29,72 A + 19,70 B = 21,05 \text{ (iv)}$$

$$^{137}\text{Cs} : 0,46A + 0,36 B = 0,34 \text{ (v)}$$

dimana :

A adalah persentase kontribusi partikel tanah dari lahan olahan

B adalah persentase kontribusi partikel tanah dari lahan tidak diolah

Dengan asumsi bahwa $A + B = 1$, maka melalui persamaan (iv) dan (v) dapat diperoleh bahwa nilai A

= 89 % dan B = 11 %. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa lahan olahan memberikan kontribusi partikel yang tinggi terhadap sedimen sungai Ciberang.

Dengan cara yang sama maka persentase dari lahan olahan dan lahan yang tidak diolah memberikan kontribusi pada sedimentasi di sungai Cisemeut dapat dihitung. Nilai rata-rata aktivitas radioisotop alam ¹³⁷Cs dan ²¹⁰Pb_{ex} dari setiap jenis lahan di daerah tangkapan sungai Cisemeut dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai rata-rata radioaktivitas ^{137}Cs dan ^{210}Pb excess setiap jenis lahan dan sedimen suspensi S. Cisemeut

No.	LOKASI	$^{210}\text{Pb}_{\text{excess}}$ (Bq/kg)	^{137}Cs (Bq/kg)	Keterangan
1.	SubsubDAS Cisemeut	11,30 ± 0,43	0,25 ± 0,08	Cultivated (lahan olahan)
2.	SubsubDAS Cisemeut	13,65 ± 9,83	0,42 ± 0,02	Uncultivated (lahan tak diolah)
3.	S. Cisemeut	20,36	0,62	Sedimen suspensi

Dengan menggunakan persamaan:

Untuk

$$^{210}\text{Pb}_{\text{ex}} : 11,30 A + 13,65 B = 20,36 \quad (\text{iv})$$

$$^{137}\text{Cs} : 0,25 A + 0,42 B = 0,62 \quad (\text{v})$$

dimana :

A adalah persentase kontribusi partikel tanah dari lahan olahan

B adalah persentase kontribusi partikel tanah dari lahan tidak diolah

Dengan asumsi bahwa $A + B = 1$, maka melalui persamaan (iv) dan (v) dapat diperoleh bahwa nilai $A = 69\%$ dan $B = 31\%$. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa lahan olahan memberikan kontribusi partikel yang tinggi terhadap sedimen sungai Cisemeut.

Melalui hasil perhitungan diatas dapat diketahui bahwa lahan olahan untuk daerah taliran sungai Ciberang maupun sungai Cisemeut memberikan kontribusi yang jauh lebih besar kepada sedimentasi sungai dibandingkan dengan lahan yang tidak diolah. Hal ini disebabkan karena lahan olahan umumnya hanya ditanami oleh tanaman palawija dan selalu dicangkul ketika akan ditanami kembali, sehingga mengakibatkan tekstur tanah menjadi gembur. Sedangkan pada lahan yang tidak diolah (kebun campuran dan perkebunan) air hujan akan ditahan oleh tanah karena akar pohon keras dan cenderung akan masuk kedalam tanah, karena tanaman keras dengan akar yang besar memiliki kemampuan untuk menghisap air pada permukaan tanah, sehingga proses erosi dapat diperkecil. Hasil perhitungan juga menunjukkan bahwa lahan olahan di sekitar Daerah Aliran Sungai Ciberang memberikan kontribusi sedimentasi lebih besar dibandingkan dengan lahan olahan disekitar Daerah Aliran Sungai Cisemeut, hal ini karena lahan olahan di sekitar sungai Ciberang lebih luas dibandingkan dengan sekitar sungai Cisemeut.

KESIMPULAN

Melalui hasil percobaan ini dapat diketahui bahwa metode ^{137}Cs dan $^{210}\text{Pb}_{\text{excess}}$ dapat diaplikasikan untuk menentukan asal usul dari sedimen suatu sungai. Tingginya curah hujan didaerah subDAS Ciberang menyebabkan lahan olahan memberikan kontribusi erosi yang tinggi yaitu

89 % untuk Daerah Aliran Sungai Ciberang dan 69 % untuk Daerah Aliran Sungai Cisemeut, karena tekstur tanah yang gembur tidak mampu menahan aliran air hujan yang jatuh pada permukaan tanah, sehingga banyak partikel tanah yang terbawa oleh air hujan dan terbawa hingga ke sungai. Sedangkan lahan yang tidak diolah memberikan kontribusi sedimen jauh lebih rendah dari lahan olahan dan mampu menahan aliran air hujan diatas permukaan tanah karena memiliki pohon-pohon keras dengan akar kuat, dan cenderung menghisap air kedalam tanah.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini terlaksana atas dana dari Lembaga Non Departemen BATAN. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, Kepala Bidang Industri dan Lingkungan serta rekan-rekan di subKelompok Erosi/Sedimentasi sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Shuller, P., Walling, D.E., et al, (2013), "Using ^{137}Cs and $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ and other sediment source Fingerprints To document suspended sediment sources in small forested catchments in south-central Chile", Journal of Environmental radioactivity, 124, p. 147 – 159
- Yungi Zhang, Yi Long, et al, (2014), " Spatial patterns of ^{137}Cs inventories and soil erosion from earth - banked terraces in the Yimeng Mountains, China", Journal of Environmental Radioactivity, 136, p.1 - 9
- Walling, D.E., (2002), "Recent advance in the use of environmental radionuclides in Soil Erosion Investigation". Nuclear Techniques in Integrated Plant Nutrient,

- Water and Soil Mangement. (Proc. Vienna Symp., Oct. 2000), IAEA Publication CSP-1/C., International Atomic Energy Agency, Vienna, p. 290-312
4. Walling, D.E., Collin, A.L., and et all, (2003), "Using unsupported lead-210 measurements to investigate soil erosion and sediment delivery in a small Zambia catchment" *Geomorphology*, 52, Elsevier, p. 193 -21
 5. Fang, H.Y., Sheng, M.L., et all, (2013), "Assessment of soil redistribution and spatial pattern for a small mall catchment in the black soil region, Northeastern China: Using fallout $^{210}\text{Pbex}$ ", *Soil and Tillage Research*, 133, p. 85 – 92.
 6. Porto, P., and Walling, D.E., (2012), " Validating the use of ^{137}Cs and $^{210}\text{Pbex}$ measurements to estimate rates of soil loss from cultivated land in southern Italy. *Journal of Environmental Radioactivity* 106 : 47 – 57.
 7. Nita Suhartini dan Barokah Aliyanta, (2017), "Distribusi vertikal radioisotop alam ^{210}Pb di tanah pada beberapa lokasi stabil DAS Cisadane", *Proseding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah XV*, ISSN 1410 – 6086, p. 73 – 81
 8. Barokah Aliyanta, Nita Suhartini, et all, (2015), "Studi Awal enentuan Sumber Sedimen DAS Cisadane Hulu dengan Radionuklida Alam", *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*, Vol. 11 No. 1: ISSN 1907-0322 : p. 39 - 49

PA07

**PENINGKATAN KUALITAS CITRA *COMPUTED RADIOGRAPHY* (CR) FUJI
DARI *PRE-PROCESSING* DENGAN SISTEM FILTRASI MATLAB**

Sudradjat

Badan Pengawas tenaga Nuklir

E-mail: s.sudradjat@bapeten.go.id

Abstrak

Saat ini ada beberapa merk *Computed Radiography*(CR) yang banyak digunakan di Indonesia yang salah satu diantaranya adalah merk Fuji. Dalam pengambilan data citra *Computed Radiography*(CR) dikenal dengan istilah *pre-processing* dan *post-processing*. Data citra pada *pre-processing* merupakan data citra yang belum mengalami proses komputisasi pengolahan citra pada *Computed Radiography*(CR) Fuji. Salah satu kekurangan dalam data citra *pre-processing* adalah adanya noise dan kekaburan yang dapat menurunkan kualitas citra. Telah dilakukan penelitian dengan menggunakan alat uji *Test Object 20 (low contrast)*. Citra yang diperoleh dari *pre-processing* dan *post processing* kemudian dibandingkan. Sistem filtrasi yang terdapat pada Matlab digunakan untuk tujuan meningkatkan kualitas citra yang diperoleh dari *pre-processing* *Computed Radiography*(CR). Fuji. Analisis dilakukan dengan menghitung kontras dan nilai SNR terhadap citra yang telah difiltrasi. Sistem filtrasi yang digunakan adalah *imadjust*, *imsharpen*, *imhisteq* dan *adapthisteq*. Setelah itu aplikasi penggunaan filtrasi dilakukan dengan citra foto thoraks, abdomen dan kepala. Hasil penelitian menunjukkan filtrasi terhadap *leeds test TO 20 (low contrast)* telah meningkatkan kontras rata-rata sebesar 10,14 %. Peningkatan kontras dan resolusi ditandai secara visual semakin terlihatnya kelompok 1 lingkaran 7. Selain meningkatkan kontras, filtrasi juga memberikan noise terhadap citra yang difiltrasi. Peningkatan noise yang terjadi pada citra setelah difiltrasi adalah rata-rata sebesar 11,22 %.

Kata kunci: *computed radiography*, *pre-processing*, filtrasi

Abstract

Currently there are several brands CR which is widely used in Indonesia, one of them is a trademark of Fuji. In taking the CR image data is known as pre-processing and post-processing,. The image of pre-processing is the image that has not undergone a process of computerized processing on Fuji CR. One of the flaws in the image pre-processing is the presence of noise and fuzziness that can degrade image quality. Studies have been conducted using test equipment leads test object type 20 (low contrast). The image obtained from the pre-processing and post processing, then compared. Filtration system contained in Matlab is used for the purpose of improving the quality of the image obtained from the pre-processing. The analysis was performed by calculating the contrast value and SNR value of the image that has been filtered. The filtration system used is imadjust, imsharpen, imhisteq and adapthisteq. Filtration of the leads test object type 20 (low contrast) has improved the contrast on average by 10.14 %. Improved contrast and resolution marked visually more visibility of group 1 loop 7. In addition to improving contrast, filtration also provides noise to the image. Increased noise that occurs in the image after filtered was an average of 11.22 %.

Keywords: computed radiography, pre-processing, filtration

PENDAHULUAN

Penggunaan pesawat sinar-x mempunyai peranan penting dalam menunjang diagnosis medis.

Penyelenggaraan radiologi diagnostik telah dilaksanakan di berbagai sarana pelayanan kesehatan mulai dari sarana pelayanan kesehatan sederhana seperti puskesmas dan klinik swasta hingga

pelayanan kesehatan yang berskala besar seperti rumah sakit kelas A. Untuk beberapa penyakit, diagnosis awalnya bergantung pada pemeriksaan dengan menggunakan pesawat sinar-x.

Saat ini khususnya di kota-kota besar di Indonesia telah banyak digunakan pemanfaatan radiasi pengan sinar-x yang menggunakan teknologi *computed radiography* atau seringkali disebut dengan teknologi CR. Dalam teknologi CR ini film screen tidak lagi menjadi penggunaan yang dominan. Penggunaan media penerima citra dari pemeriksaan radiologi diagnostik adalah berupa *imaging plate* (IP) sebagai detektor digital *photostimulable phosphor* (PSP) atau *storage phosphor screen* yang menggantikan kombinasi sistem *film-intensifying screen* konvensional radiografi yang lambat laun akan menghilang.

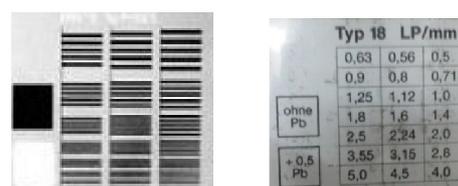
Ada beberapa macam pesawat sinar-x sesuai penggunaannya dalam dunia medis sesuai tujuan pemeriksaan yang dilakukan yang salah satunya adalah pesawat sinar-x terpasang tetap (Bapeten, 2011).

Perkembangan teknologi CR sejak tahun 1980-an mulai menggantikan teknologi screen-film yang kita kenal beberapa waktu lampau. Teknologi pemanfaatan sinar-x yang menggunakan screen-film ini sering kali disebut dengan istilah teknologi analog. Tetapi teknologi screen-film lambat laun akan semakin ditinggalkan semenjak adanya teknologi CR. Teknologi CR mulai berkembang semenjak CR mulai diperkenalkan dalam Kongres Radiologi Internasional pada tahun 1981. Kemudian Fuji mulai memperkenalkan teknologi CR pada tahun 1983 untuk tujuan digitalisasi pencitraan medis. Sampai dengan saat ini sudah lebih dari 100.000 lebih CR telah beredar di seluruh dunia (*Fuji Computed Radiography*, 2011).

METODOLOGI

Makalah ini menggunakan data yang digunakan dari hasil penelitian yang dilakukan di Rumah Sakit Ketergantungan Obat (RSKO) Jakarta. Beberapa peralatan yang digunakan adalah pesawat sinar-x merk Philips, peralatan *Fuji Computed Radiography*, *Leeds Test Phantom*, detektor multimeter Piranha, filter aluminium HVL 115A RMI, *focal spot test tool*, *colimator test tool* dan *beam alignment test tool*. Peralatan untuk uji fungsi karakteristik sistem CR berupa kaset IP, *image*

console untuk display soft-copy tampilan citra, dan *image processor* yang terdapat pada CR Fuji milik RSKO Jakarta. Digunakan juga *leeds test object* yang berisi filter tembaga dan filter aluminium, penggaris baja 30 cm, *high contrast resolution line-pair phantom type 18*, *low-contrast phantom*, *wire mesh pattern*, blok Pb ukuran 5 cm x 5 cm x 0.3 cm, grid anti radiasi hambur (*antiscatter*) dengan rasio 10 : 1. Citra test obyek adalah *Leeds Test Phantom Line Pair (high contrast)* dan *low contrast* menggunakan TO 20.



Gambar 1. *Leeds Test Phantom Line Pairs Type 18* dan Ukurannya



Gambar 2. *Leeds Test Phantom Low Contrast TO 20*



Gambar 3. *Leeds Test Object (High Contrast)* dan *Phantom*

Penelitian dilakukan dengan penelitian pendahuluan berupa uji fungsi pesawat sinar-x dan uji sistem *Computed Radiography* (CR) Fuji. Beberapa parameter uji yang dilakukan antara lain adalah uji dark noise, uji keseragaman respon IP, uji

fungsi berkas laser, uji jarak spasial, uji akurasi penghapusan dan uji keaburan atau distorsi. Secara umum hasil uji sistem FCR masih dalam batas toleransi yang ditetapkan oleh AAPM No. 93[15].

Selanjutnya untuk penelitian utama dilakukan dengan melakukan upaya meningkatkan kualitas citra output sistem FCR (*pre-processing*) menggunakan sistem filtrasi yang terdapat dalam Matlab. Setelah dilakukan penelitian pendahuluan maka dilakukan penelitian utama dengan melakukan pengambilan citra menggunakan FCR. Pengambilan citra dengan menggunakan alat uji *Leeds Test Phantom High Contrast Type 18* yang di dalamnya terdapat line pair. Setelah dilakukan pengambilan citra dengan menggunakan alat uji ini, kemudian dilakukan pengambilan citra menggunakan alat uji *Leeds Test Phantom Low Contrast TO 20*. Pengambilan citra *Huttner Test Object (High Contrast)* dan *Leeds Test Phantom Low Contrast TO 20* dilakukan sebanyak 3 kali yaitu pada saat *pre-processing* (data original) dan pada saat *post-processing*.

Citra pada saat *pre-processing* merupakan data citra asli (original) yang belum dilakukan proses pengolahan citra oleh sistem komputer pada CR. Sedangkan citra yang diperoleh pada saat *post-processing* merupakan citra asli (original) yang telah mengalami proses pengolahan citra oleh sistem komputer pada CR. Kemudian data citra antara sebelum pemrosesan (*pre-processing*) dan setelah pemrosesan (*post-processing*) dianalisa secara visual dan dilakukan evaluasi menggunakan software Image-J.

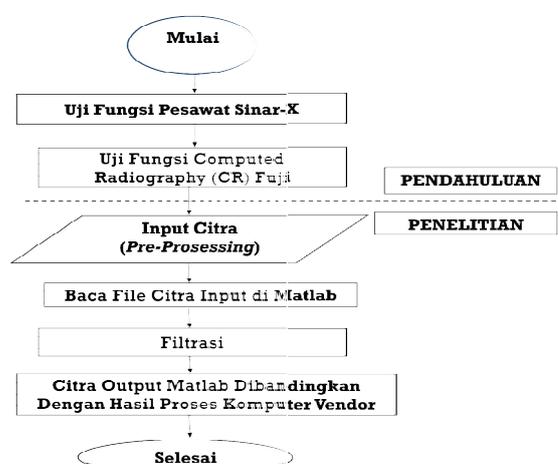
Setelah dilakukan pengambilan data citra menggunakan alat uji *Leeds Test Phantom Low Contrast TO 20* dilakukan upaya meningkatkan kualitas citra yang belum diproses (*pre-processing*) menggunakan sistem filtrasi dalam Matlab. Salah metode filtrasi ini dapat dilakukan dengan menggunakan bahasa pemrograman Matlab karena cenderung menggunakan pendekatan matriks citra. Ada berbagai jenis dan metode filtrasi dalam program Matlab. Beberapa sistem filtrasi dalam Matlab diantaranya adalah *imcontrast*, *imadjust*, *imsharpen*, *histeq* dan *adapthisteq*[4]. Setelah dilakukan penelitian maka dilakukan analisis kualitas citra setelah penerapan filter yang dilakukan melalui pengamatan visual pada *low-contrast* dan *high-contrast (line pattern) phantom image*. Selain itu digunakan *signal-to-noise ratio* (SNR) untuk menilai perubahan noise pada citra sebelum dan sesudah

penerapan filter, dengan Persamaan sebagai berikut :

$$SNR = \frac{\mu}{\sigma}$$

dengan μ merupakan rata-rata nilai piksel (PV) pada ROI sinyal, sedangkan σ merupakan standar deviasi dari nilai piksel pada background. Selanjutnya, untuk menilai kontras, dilakukan perhitungan kontras dengan memakai persamaan 2.1. Pada pengujian resolusi, nilai kontras per kelompok *line pattern* diplot terhadap resolusi (LP/mm).

Adapun proses penelitian yang dilakukan dalam meningkatkan kualitas citra ditunjukkan dalam diagram berikut ini.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil Uji Fungsi Pesawat Sinar-X

Jenis Uji	Hasil Uji
	Penunjuk lapangan berkas sinar-x masih dalam batas 1% dari FFD sebesar 1 cm untuk berkas cahaya kolimasi pada semua sisinya;
Kolimator dan Penunjuk Berkas	Ketegaklurusanberkas cahaya kolimasi terhadap berkas sinar-X dengan jarak pergeseran kedua titik bola baja tidak melebihi batas lingkaran kedua atau pergeseran lebih dari 3°; Titik bola baja penunjuk sumbu utama pada bidang tutup dan bidang dasar harus berimpit.
	Rentang kVp setting dari 50 kV sampai 100 kV;
Kesesuaian kVp	Rentang kVp terukur adalah 49,53 kV sampai 99,66 kV; Standar deviasi masih dibawah 5,5 % dengan rentang berada 0,08 sampai 0,12.
	kVp setting pada 70 kV;
kV	kVp terukur rata-rata 69,48 kV; Standar deviasi 0,03 dengan koefisien variasi 0,0004;
	Waktu terukur rata-rata 0,098 s;
Waktu	Standar deviasi 0,0004 dengan coefisien variasi 0,004;
	Dosis terukur rata-rata 1,075 mGy;
Dosis keluaran	Standar deviasi 0,0004 dengan koefisien variasi 0,0003;
	Rentang waktu setting antara 0,02 s sampai 0,1 s;
Akurasi waktu penyinaran	Rentang waktu terukur antara 0,0168 s sampai 0,0986 s; Standar deviasi 0,0003 sampai 0,0005;

	Rentang setting mAs antar 8 mAs sampai 16 mAs;
Linearitas keluaran radiasi	Rentang dosis terukur rata-rata antara 0,424 mGy sampai 0,8243 mGy; Rentang mGy/mAs terukur antara 0,051 sampai 0,053; Koefisien lineritas diperoleh 0,038;
Kualitas berkas sinar-X	Rentang kV setting antara 50 kV sampai 90 kV dengan rentang HVL terukur yang diperoleh antara 1,90 sampai 3,42; HVL terukur pada 80 kVp diperoleh 3,04;

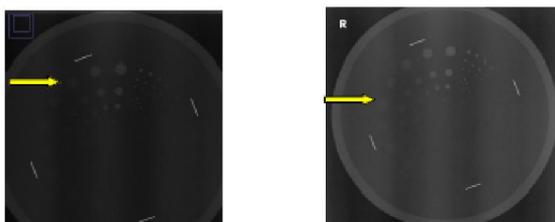
Setelah dilakukan uji kesesuaian pesawat sinar-X maka dilanjutkan dengan uji kualitas sistem CR Fuji Model FCR Capsula XL yang hasilnya ditunjukkan dalam Tabel berikut ini :

Tabel 2. Hasil Uji Sistem Fuji *Computed Radiography* (FCR)

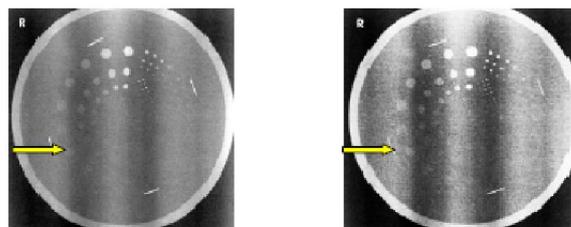
Jenis Uji	Hasil Uji
	Rentang kVp setting 60 kVp, 65 kVp, 75 kVp, dan 80 kVp
Uji dosimetri	Rentang mAS setting antara 1 mAs sampai 40 mAs Dosis terukur rata-rata antara 1,1 mR sampai 40,71 mR
IP <i>dark noise</i>	Hasil penilaian PV rata-rata (mean) antara 202 sampai 204
Keseragaman respon IP (<i>Uniformity Response</i>)	Hasil penilaian PVSD antara 2,12 sampai 4,96
Uji akurasi kalibrasi <i>exposure indicator</i>	Hasil pengukuran menghasilkan 1,03 mR, 1,09 mR dan 1,08 mR dengan $E_{\text{terukur}} = 1 \pm 10\%$ (rentang 0,9 s/d 1,1)

Fungsi berkas laser	Secara visual dengan perbesaran tepi penggaris tidak terputus dan tampak lurus
Akurasi jarak spasial	Pengukuran jarak pada lima (5) kotak di tengah citra TOM1 x dan y dengan rasio $x/y = 100.80/100.40 = 1.003$ Rasio $x1/y1 = 40.40/39.60 = 1.02$, dengan toleransi rasio $x/y = 1 \pm 0.03$ (rentang 0.97 s/d 1.03) dan $x1/y2 = 1 \pm 0.05$ (rentang 0.95 s/d 1.05)
Akurasi penghapusan Memori	Secara visual tidak terdapat sisa artefak blok Pb dengan nilai PVSD sebesar 2,20
Aliasing grid respon (<i>moire patterns</i>)	Ketiadaan moire pattern
Batas resolusi (<i>limiting resolution</i>)	Dapat terlihat pada grup 5 untuk pattern test type 43
Uji <i>blurring</i>	Tidak tampak adanya kekaburan atau distorsi

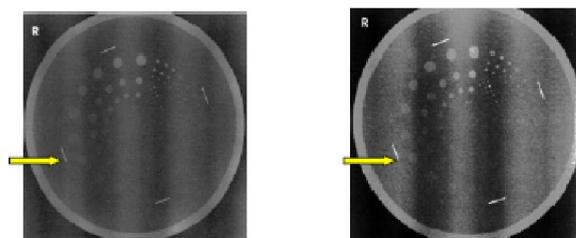
Setelah dilakukan penelitian pendahuluan maka dilakukan penelitian utama dengan melakukan pengambilan citra. Citra test obyek merupakan adalah phantom thoraks acrylik ketebalan 15 cm ditambah low contrast. Phantom yang dilengkapi dengan alat uji *Test Object TO 20* yang secara visualisasi terdapat dalam Gambar berikut ini:



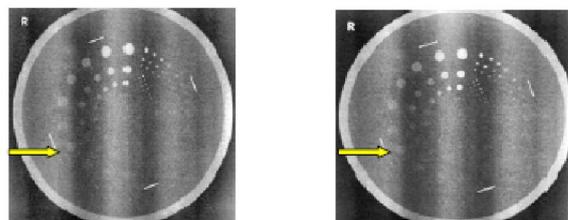
Gambar Citra 5. *Pre-Processing* dan *Post-Processing*



Gambar Citra 6. *Imadjust* dan Gabungan *Imadjust* dan *Imsharpen*



Gambar Citra 7. *Adaphstetq* dan Gabungan *Imadjust* dan *Histetq*



Gambar Citra 8. Gabungan *Imadjust* dan *Adaphstetq* dan Gabungan *Adaphstetq* dan *Hiqteq*

Berdasarkan gambar tersebut di atas digunakan 7 sistem filtrasi untuk meningkatkan kontras pada citra *Leeds Test Obyek TO 20* dari *pre-processing*. Secara visual pada citra *pre-processing* tampak pada kelompok 1 hanya terlihat sampai lingkaran 3, sedangkan pada citra *post-processing* terlihat sampai lingkaran 4. Setelah dilakukan filtrasi terjadi peningkatan yang secara visual terlihat kelompok 1 sampai lingkaran 7. Hal ini berarti terjadi peningkatan sampai 4 lingkaran yang menjadi terlihat.

Untuk Tabel di atas dapat diketahui bahwa proses filtrasi telah meningkatkan nilai kontras dengan rentang antara 0,47 sampai dengan 0,56. Hal ini berarti terjadi prosentasi kenaikan nilai kontras antara 23,74 % sampai dengan 47,36 % yang secara rata-rata mengalami prosentasi kenaikan sebesar 10,14 %. Nilai SNR yang diperoleh adalah dengan rentang 4,31 sampai 20,9, sehingga noise citra yang difiltrasi mengalami kenaikan antara 10,3 % sampai 81,5 % yang secara rata-rata mengalami peningkatan noise

sebesar 11,22 %. Nilai SNR terendah diperoleh untuk filtrasi kombinasi *imadjust* dan *imsharpen*. Hasil perolehan untuk peningkatan kontras ditunjukkan dalam tabel berikut.

Tabel 3. Analisis Citra *Leeds Test Object TO 20*

Sistem Filtrasi	Hasil Visual	Nilai SNR	Nilai Kontras
<i>Pre-Processing</i>	Kelompok 1 Lingkaran 3	23,3	0,38
<i>Imadjust</i>	Kelompok 1 Lingkaran 7	20,9	0,49
<i>Histeq</i>	Kelompok 1 Lingkaran 7	8,47	0,49
<i>Imadjust dan Imsharpen</i>	Kelompok 1 Lingkaran 7	4,31	0,47
<i>Adapthisteq</i>	Kelompok 1 Lingkaran 7	10,89	0,46
<i>Imadjust dan Histeq</i>	Kelompok 1 Lingkaran 7	9,33	0,38
<i>Imadjust dan Adapthisteq</i>	Kelompok 1 Lingkaran 7	12,89	0,56
<i>Histeq dan Adapthisteq</i>	Kelompok 1 Lingkaran 7	17,77	0,52

KESIMPULAN

Setelah dilakukan penelitian diperoleh hasil uji fungsi pesawat sinar-x yang memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh RCWA (Radiological Council of Western Australia, 2000) maupun Perka BAPETEN No. 9 tahun 2011 [5]. Pesawat sinar-x yang dimiliki oleh Rumah Sakit Ketergantungan Obat (RSKO) Jakarta merupakan pesawat sinar-x merk Philips dengan Ref.Model 98900086111 dan memiliki nomor serial 230459 pada tabungnya. Untuk uji *Computed Radiography* (CR) Fuji dilakukan dengan mengikuti standar AAPM No. 93 [15]. Peralatan *Computed Radiography* (CR) yang dimiliki RSKO Jakarta merupakan peralatan CR merk Fuji Type Capsula XL.

Berdasarkan gambar secara visual yang diperoleh tersebut di atas diketahui adanya peningkatan kontras dan resolusi dibanding dengan citra *pre-processing*. Analisis citra *leeds test object TO 20 (low contrast)* yang terdapat pada Tabel dapat diketahui bahwa proses filtrasi telah meningkatkan nilai kontras dengan rentang antara 0,47 sampai dengan 0,56. Hal ini berarti terjadi prosentasi kenaikan nilai kontras antara 23,74 % sampai dengan 47,36 % yang secara rata-rata mengalami kenaikan sebesar 10,14 % untuk setiap filtrasi. Sistem filtrasi yang memberikan peningkatan kontras tertinggi tersebut dilakukan dengan menggunakan kombinasi filtrasi *imadjust* dan *adapthisteq*.

Walaupun demikian kenaikan kontras tersebut ternyata juga telah memberikan noise terhadap citra, karena nilai SNR yang diperoleh semakin menurun. Nilai SNR yang diperoleh adalah dengan rentang 4,31 sampai 20,9, sehingga noise citra yang difiltrasi mengalami kenaikan antara 10,3 % sampai 81,5 % yang secara rata-rata mengalami

peningkatan noise sebesar 11,22 % untuk setiap filtrasi yang digunakan. Peningkatan noise yang tertinggi diperoleh setelah dilakukan filtrasi dengan menggunakan kombinasi filtrasi *imadjust* dan *imsharpen*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan secara khusus kepada Ibu Prof Dr. Djarwani S yang telah banyak memberikan bimbingan dalam penulisan ini. Dan juga kepada rekan-rekan di unit radiologi Rumah Sakit Ketergantungan Obat (RSKO) Jakarta yang banyak memberikan waktu luang untuk memperoleh data dari penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahmad, Usman, (2005), *Pengolahan Citra Digital dan Teknik Pemrogramannya*, Edisi Pertama, Graha Ilmu, Yogyakarta
- [2] American Association of Physicists in Medicine Report No. 116. (2009). *An Exposure Indicator for Digital Radiography*. One Physics Ellipse College Park
- [3] Aniasi Murni A dan Suryana Setiawan. (1992). *Pengantar Pengolahan Citra Digital*. PT Elex Media Komputindo, UI, Jakarta
- [4] Away, Gunaidi A, (2006), *The Shortcut of Matlab Programming*, Informatika: Bandung.
- [5] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, (2011). Peraturan Kepala No. 08 Tahun 2011. *Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional*, Jakarta
- [6] Badan Pengawas Tenaga Nuklir (2011), Peraturan Kepala No. 09 Tahun 2011, *Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional*, Jakarta
- [7] Ballinger, Philip, W., & Eugene D, Frank. (2003). *Merrill's Atlas of Radiographic Positions & Radiologic Procedure, Tenth Edition Volume Three*, Saint Louis, Mosby Elsevier

- [8] Bhusong, Stewart Carlyle. (2008). *Radiologic Science For Technologists, Physics, Biology, and Protection, Ninth Edition*. Canada : Mosby Elsevier
- [9] Fuji Computed Radiography FCR. (2011). *General Description of Image Processing*. Japan
- [10] H. L. Eng and K. K. Ma, (2000), *Noise Adaptive Soft-Switching Median Filter for Image Denoising*, IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Vol. 4, pp. 2175-2178
- [11] ImageJ User Guide <http://rsb.info.nih.gov/ij/>
- [12] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 33 Tahun 2007, *Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif*, Jakarta, 2007
- [13] Radiological Council of Western Australia. (2000). *Diagnostic X-Ray Equipment Compliance Testing; Workbook 3*. Program Requirements, Health Departement of Western Australia
- [14] Seibert, J.A. etc. American Association of Physicists in Medicine Report No. 93. (2006). *Acceptance Testing and Quality Control of Photostimulable Storage Phosphor Imaging Systems*. One Physics Ellipse College Park
- [15] Sonoda, M., etc. (1983). *Computed Radiography Utilizing Scanning Laser Stimulated Luminescence*. Radiologi, Japan
- [16] Tiago, A, Ferreira., Wayne, Rasband. (2011). *The ImageJ User Guide - Version 1.44*. Centre for Research in Neuroscience McGill University, Montreal, QC, Canada
- [17] T. C. Chen, K. K. Ma and L. H. Chen, (1999), *Tri-State Median Filter for Image Denoising*, IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 8, No. 12, 1834-1838
- [18] User's Guide Focal Spot Test Tool Model 112B <http://www.gammex.com>
- [19] User Manual : *Protocol for The QA of Computed Radiography Systems*. KCARE www.leedstestobjects.com
- [20] Yuwono, Bambang. (2010). *Image Smoothing Menggunakan Mean Filtering, Median Filtering, Modus Filtering dan Gaussian Filtering*. Telematika. 7(1), 65-75

PA08

PENINGKATAN EFEKTIFITAS PENGAWASAN KINERJA KESELAMATAN RADIASI SEIRING DENGAN DEREGULASI PERSYARATAN IZIN PEMANFAATAN SUMBER RADIASI PENGION

Adi Dradjat Noerwasana

BAPETEN

e-mail: a.drajat@bapeten.go.id

ABSTRAK

Tuntutan pelayanan perizinan yang sederhana, mudah, dan cepat mendorong BAPETEN untuk segera melakukan pergeseran pola pikir pengawasan agar pengawasan tetap efektif. Pola pikir pengawasan yang sebelumnya lebih ketat saat proses perizinan, digeser dengan lebih menegakkan pengawasan kepada pemegang izin. Beberapa persyaratan izin digeser menjadi bagian kewajiban pemegang izin. Dampak deregulasi ini dapat menimbulkan berkurangnya kepastian pemegang izin dalam memenuhi persyaratan keselamatan radiasi saat izin diterbitkan. Tulisan ini menguraikan deregulasi persyaratan izin pemanfaatan sumber radiasi pengion dan upaya-upaya efektif yang sebaiknya dilakukan BAPETEN agar pemegang izin selalu memenuhi persyaratan keselamatan radiasi. Upaya yang ditempuh adalah menegakkan kembali persyaratan keselamatan radiasi yang telah ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif. Upaya dilakukan untuk memastikan kewajiban pemegang izin dalam persyaratan keselamatan radiasi benar-benar dipatuhi. Upaya yang dilakukan harus terpadu antara unit pengaturan, perizinan, dan inspeksi yaitu melalui peningkatan: komprehensifitas penyusunan pengaturan, efektifitas evaluasi dan penilaian dokumen program proteksi dan keselamatan radiasi, peran petugas proteksi radiasi dalam pengawasan partisipatif, dan efektifitas pelaksanaan inspeksi.

Kata kunci: pengawasan, keselamatan radiasi, persyaratan izin, kewajiban pemegang izin.

ABSTRACT

The demands of licensing services are simple, easy, and fast have been encouraging BAPETEN to immediately shift the control mindset in order to keep controlling effectively. The control mindset that controlling is more stringent when the licensing process is shifted to tightening control to license holders. Some license requirements are shifted to be part of the license holder's obligations. The impact of deregulation of license requirements might reduced certainty of license holders to meet radiation safety requirements when a license is issued. This paper describes the deregulation of license requirements for the use of ionizing radiation sources and the effective efforts that BAPETEN should take in order to license holders always meet the radiation safety requirements. The effort taken is with to re-enforce the radiation safety requirements had established in Government Regulation No. 33/2007 concerning the Safety of Ionizing Radiation and Radioactive Source Security. The efforts should be made to ensure the license holder's obligations in radiation safety requirements have been strictly adhered to. The efforts should be integrated among the regulation, licensing and inspection units by improving: the comprehensiveness of regulatory making, the effectiveness of evaluation and assessment of radiation protection and protection program documents, the role of radiation protection officers in participatory oversight, and the effectiveness of the inspection implementation.

Keywords: control, radiation safety, license requirements, license holder's obligations.

PENDAHULUAN

Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) adalah lembaga pemerintah yang melaksanakan pengawasan tenaga nuklir melalui pelayanan peraturan, perizinan, dan inspeksi.[1] Pelayanan BAPETEN tersebut tidaklah luput dari berbagai tantangan global seperti pemberlakuan Masyarakat Ekonomi ASEAN, peningkatan daya saing, dan tuntutan percepatan pelaksanaan berusaha. Beberapa tantangan tersebut harus dihadapi BAPETEN dengan mengembangkan metode pengawasan yang efektif. Presiden telah menginstruksikan setiap menteri/kepala lembaga melakukan evaluasi atas seluruh dasar hukum pelaksanaan proses perizinan berusaha yang merupakan kewenangannya.[2] Upaya evaluasi regulasi yang sedang dilakukan BAPETEN adalah

menyederhanakan proses perizinan agar semakin mudah dan cepat. Presiden juga menegaskan bahwa negara yang mampu memenangkan persaingan ialah yang dapat memberikan pelayanan dengan cepat.[3]

Salah satu upaya penyederhanaan proses perizinan adalah dengan mengurangi beberapa persyaratan keselamatan radiasi yang menjadi bagian persyaratan izin atau harus dipastikan terpenuhi sebelum izin terbit, diubah menjadi bagian dari kewajiban pemegang izin. Pengurangan persyaratan izin juga dalam rangka peningkatan harmonisasi persyaratan izin antara BAPETEN dengan kementerian terkait sehingga tidak muncul persyaratan izin yang dipersyaratkan berulang-ulang oleh sesama instansi pemerintah.

Pengurangan atau deregulasi persyaratan izin tentu menimbulkan permasalahan terhadap kepastian kemampuan pemegang izin dalam memenuhi persyaratan keselamatan radiasi ketika izin diterbitkan. Permasalahan ini harus diantisipasi dengan melakukan beberapa upaya sinergi antara unit peraturan, perizinan, dan inspeksi baik saat proses perizinan maupun setelah izin terbit.

Lingkup penulisan makalah ini adalah menguraikan deregulasi persyaratan izin pemanfaatan sumber radiasi pengion dan upaya-upaya efektif yang sebaiknya dilakukan BAPETEN agar pemegang izin selalu memenuhi persyaratan keselamatan radiasi dan meningkatkan budaya keselamatan radiasi.

LANDASAN TEORI

Tuntutan saat ini, pengawasan tidak hanya ditekankan saat proses perizinan atau di *border* tetapi juga ditekankan ketika izin sudah diterbitkan atau *post-border*. Pemerintah telah menyelesaikan permasalahan tata niaga untuk mempercepat kegiatan ekspor-impor, salah satunya dengan melakukan pergeseran dari *Border* (wilayah kepabeanan) ke *Post-Border* (luar wilayah kepabeanan). Prinsip (pergeseran) ke *post border* tidak menghilangkan persyaratan impor, tetapi pengawasan yang sebelumnya dilakukan Direktorat Jenderal Bea dan Cukai beralih ke Kementerian/Lembaga.[4] Pemerintah telah membentuk Tim Tata Niaga Ekspor Impor untuk mengurangi LARTAS (larangan pembatasan) dari 49% dari seluruh jumlah barang (berdasarkan kode nomor HS) dewasa ini.[5]

Badan pengawas harus tetap menjamin tersedianya peraturan yang tepat dan efektif, dan menetapkan kerja sama dengan lembaga lain untuk menghindari kesenjangan atau tumpang tindih dalam kegiatan pengawasan. Badan pengawas harus menjamin adanya konsistensi dalam penerapan standar keselamatan radiasi.[6]

Badan pengawas harus meminta pemohon izin untuk menyampaikan pelaksanaan keselamatan radiasi yang sesuai dalam permohonan izin fasilitas dan kegiatan. Badan pengawas harus melakukan evaluasi dan penilaian terhadap dokumen permohonan izin yang diterima dan memutuskan apakah fasilitas atau kegiatan memenuhi peraturan perundang-undangan yang berlaku dan ketentuan yang ditetapkan dalam perizinan. Selanjutnya, badan pengawas harus melakukan inspeksi ke fasilitas dan kegiatan tersebut untuk memverifikasi bahwa pemegang izin mematuhi peraturan perundang-undangan dan ketentuan yang ditetapkan dalam perizinan.[7]

BAPETEN telah menetapkan kewajiban pemegang izin untuk mematuhi persyaratan

keselamatan radiasi dalam peraturan pemerintah dan beberapa peraturan turunannya yaitu peraturan Kepala BAPETEN. Persyaratan keselamatan radiasi terdiri atas persyaratan manajemen, persyaratan proteksi radiasi, persyaratan teknik, dan verifikasi keselamatan. Pemenuhan persyaratan keselamatan radiasi tersebut harus didokumentasikan di dalam program jaminan mutu.[8]

Organisasi harus melakukan audit internal pada selang waktu yang direncanakan untuk memberikan informasi apakah sistem manajemen mutu sesuai dengan persyaratan dalam sistem manajemen mutu yang dimiliki dan standar internasional, telah diimplementasikan, dan dipelihara dengan efektif.[9] Organisasi harus:[9]

1. merencanakan, menetapkan, dan memelihara program audit termasuk frekuensi, metode, tanggung jawab, persyaratan perencanaan dan pelaporan, yang harus mempertimbangkan pentingnya proses-proses yang berkaitan, perubahan yang mempengaruhi organisasi, dan hasil audit sebelumnya;
2. menentukan kriteria audit dan ruang lingkup untuk setiap audit;
3. memilih auditor dan melaksanakan audit untuk memastikan objektivitas dan ketidakberpihakan proses audit;
4. memastikan bahwa hasil audit dilaporkan kepada manajemen yang relevan;
5. melakukan koreksi yang diperlukan dan tindakan perbaikan tanpa ditunda; dan
6. menyimpan informasi terdokumentasi sebagai bukti pelaksanaan program audit dan hasil audit.

Tujuan badan pengawas melakukan inspeksi adalah untuk memastikan bahwa:[10]

1. fasilitas, peralatan, dan kinerja keselamatan memenuhi semua persyaratan yang diperlukan;
2. dokumen dan instruksi yang relevan benar dan terpenuhi;
3. orang yang dipekerjakan oleh pemegang izin (termasuk kontraktor) memiliki kompetensi yang diperlukan dalam kinerja keselamatan yang efektif;
4. kekurangan dan penyimpangan diidentifikasi dan diperbaiki atau dijustifikasikan tanpa penundaan yang tidak semestinya;
5. setiap pengetahuan yang diperoleh diidentifikasi dan disebarluaskan ke pemegang izin, pemasok lain, dan kepada badan pengawas yang terkait; dan
6. pemegang izin mengelola keselamatan radiasi dengan cara yang tepat.

Penggunaan daftar periksa (*check list*) inspeksi berkontribusi pada efektifitas proses inspeksi dan memungkinkan prosedur untuk ditinjau secara sistematis. Daftar periksa menggambarkan indikator pelaksanaan persyaratan keselamatan radiasi yang harus diperiksa oleh inspektur untuk menentukan kepatuhan terhadap standar keselamatan yang telah

dikembangkan dan ditetapkan dalam peraturan perundang-undangan oleh badan pengawas. [10]

HASIL DAN PEMBAHASAN

Evaluasi dan amendemen peraturan perundang-undangan sedang dilakukan oleh BAPETEN khususnya perubahan terhadap Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 29 Tahun 2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion. Perubahan dalam rangka membuat proses perizinan lebih sederhana, mudah, cepat, dan tidak tumpang tindih. Untuk mendukung perubahan ini, salah satunya adalah mengakomodasi pergeseran persyaratan izin menjadi kewajiban pemegang izin yang akan diverifikasi dalam proses inspeksi. Pola pikir ini mengambil pelajaran dari pengawasan tata niaga yang melakukan pergeseran pengawasan dari *Border* ke *Post-Border*.

Persyaratan teknis dalam PP 29/2008 yang sedang dilakukan perubahan adalah: [11]

- a. prosedur operasi;
- b. spesifikasi teknis Sumber Radiasi Pengion atau Bahan Nuklir yang digunakan, sesuai dengan standar keselamatan radiasi;
- c. perlengkapan proteksi radiasi dan/atau peralatan keamanan Sumber Radioaktif;
- d. program proteksi dan keselamatan radiasi dan/atau program keamanan Sumber Radioaktif;
- e. laporan verifikasi keselamatan radiasi dan/atau keamanan Sumber Radioaktif;
- f. hasil pemeriksaan kesehatan pekerja radiasi yang dilakukan oleh dokter yang memiliki kompetensi, yang ditunjuk pemohon izin, dan disetujui oleh instansi yang berwenang di bidang ketenagakerjaan; dan/atau
- g. data kualifikasi personil, yang meliputi:
 1. petugas proteksi radiasi dan personil lain yang memiliki kompetensi;
 2. personil yang menangani Sumber Radiasi Pengion; dan/atau
 3. petugas keamanan Sumber Radioaktif atau Bahan Nuklir.

Dari uraian di atas persyaratan huruf a, huruf c, dan huruf f perlu dilakukan deregulasi karena berpotensi tumpang tindih dengan item persyaratan huruf d. Deregulasi persyaratan ini berkonsekuensi pemohon izin tidak perlu menyampaikan dokumen seperti hasil evaluasi monitor dosis perorangan, sertifikat kalibrasi survey meter, dan hasil pemeriksaan kesehatan. Selain itu, persyaratan huruf g angka 2 personil yang menangani sumber radiasi pengion, khusus di bidang medik berpotensi tumpang tindih dengan kewenangan Kementerian Kesehatan sebagai sektor utama dalam perizinan berusaha. [2] Oleh karena itu, deregulasi persyaratan izin di bidang medik bertambah dengan tidak dipersyaratkan lagi menyampaikan dokumen personil sebagaimana

dimaksud huruf g angka 2 karena sudah dipersyaratkan pada perizinan berusaha di Kementerian Kesehatan.

Apakah beberapa persyaratan yang dilakukan deregulasi tidak diperlukan dalam kinerja keselamatan radiasi? Tentu tidak! Persyaratan tersebut sangat penting, dan harus dilakukan pengawasan pada masa berlaku izin dan menjadi kewajiban pemegang izin. Pola pikir pengawasan yang sebelumnya lebih ketat saat proses perizinan, digeser dengan lebih menegatkan pengawasan kepada pemegang izin.

Deregulasi persyaratan perizinan yang tidak mungkin BAPETEN hindari ini harus diantisipasi agar pemegang izin tetap memiliki kinerja keselamatan radiasi yang tinggi. BAPETEN dapat melakukan langkah-langkah antisipasi sebagai berikut:

1. meningkatkan komprehensifitas penyusunan pengaturan persyaratan keselamatan radiasi;
2. mengefektifkan evaluasi dan penilaian dokumen program proteksi dan keselamatan radiasi;
3. meningkatkan peran petugas proteksi radiasi dalam pengawasan partisipatif; dan
4. mengefektifkan pelaksanaan inspeksi.

1. Peningkatkan komprehensifitas penyusunan pengaturan

Kewajiban pemegang izin dalam persyaratan keselamatan radiasi ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 yang terpisah dengan peraturan pemerintah yang mengatur persyaratan perizinan. (*Lihat Lampiran*). Sedangkan dalam peraturan turunan yaitu peraturan kepala/badan mengenai keselamatan radiasi dalam spesifik penggunaan, persyaratan izin dan persyaratan keselamatan diatur dalam satu peraturan. Koneksi antara persyaratan izin dan persyaratan keselamatan radiasi adalah hanya dalam persyaratan dokumen program proteksi dan keselamatan radiasi. Oleh karena itu dalam penyusunan peraturan sebaiknya perlu ditambahkan norma seperti “dokumen program proteksi dan keselamatan radiasi harus memenuhi persyaratan keselamatan radiasi”.

Beberapa indikator pemenuhan persyaratan keselamatan radiasi yang terdiri atas prosedur operasi, perlengkapan proteksi, dan hasil pemeriksaan kesehatan, serta dokumen kompetensi personil (medik) akan di-deregulasi dalam persyaratan izin. Oleh karena itu, dalam penyusunan peraturan kepala/badan di bagian persyaratan keselamatan radiasi perlu dipastikan norma penjabaran dari persyaratan keselamatan radiasi sudah komprehensif atau tidak terlewatkan sesuai dengan jenis pemanfaatannya yang diatur. Persyaratan yang masih perlu dijabarkan antara lain kewajiban melakukan justifikasi, kewajiban optimisasi proteksi radiasi, memiliki personil yang kompeten, pemantauan

radiasi daerah kerja, pemantauan dosis perorangan, dan pemantauan kesehatan. Penjabaran tersebut sebaiknya dapat memudahkan untuk menentukan indikator pemenuhan persyaratan keselamatan radiasi.

2. Peningkatan efektifitas evaluasi dan penilaian dokumen program proteksi dan keselamatan radiasi

Dalam tataran implementasi pelayanan perizinan yang mengadopsi pola pikir pengawasan *post-border*, unit perizinan harus memastikan komitmen dan sumber daya pemohon izin telah memadai untuk memenuhi persyaratan keselamatan radiasi sesuai dengan jenis pemanfaatan yang diajukan. Keuntungan dalam regulasi perizinan sumber radiasi pengion adalah terdapatnya persyaratan izin berupa dokumen program proteksi dan keselamatan radiasi yang cukup fleksibel untuk menilai komitmen, kemampuan, dan sumber daya pemohon izin dalam memenuhi persyaratan keselamatan radiasi. Evaluator perizinan harus memanfaatkan dokumen program ini untuk memastikan seluruh persyaratan keselamatan radiasi yang relevan telah komprehensif tertulis sebagai janji dan komitmen pemegang izin.

Program proteksi harus dinilai dari aspek kemampuannya. Sesuai amanah PP No. 33/2007, untuk pemohon izin yang telah memiliki sistem manajemen maka dokumen program harus terintegrasi dengan sistem manajemen mutu. Sedangkan yang belum memiliki sistem manajemen maka pastikan penyelenggara proteksi dan keselamatan radiasi tergabung dengan unit kerja yang sesuai atau mendapat pendelegasian dari pimpinan fasilitas setempat.

Bagian perizinan perlu mengembangkan pedoman penulisan dan evaluasi program proteksi agar menjadi panduan yang seragam bagi evaluator dibandingkan memberi pemohon izin berupa *template*. Pedoman akan menyeragamkan dalam evaluasi dan penilaian program proteksi. *Templatedokumen* program proteksi cenderung mendorong formalitas dan menjauh dari sifat kemampuannya.

3. Peningkatan peran petugas proteksi radiasi dalam pengawasan partisipatif

Keberadaan petugas proteksi radiasi (PPR) dalam pemanfaatan sumber radiasi perlu ditegaskan kembali sesuai perannya sebagaimana telah ditetapkan dalam peraturan perundang-undangan yaitu:

1. memantau aspek operasional program proteksi dan keselamatan radiasi; dan

2. meninjau secara sistematis dan periodik pelaksanaan pemantauan paparan saat penggunaan.

Kedua peran tersebut agar lebih diberdayakan dan dilaksanakan oleh PPR sehingga dapat mendorong peran serta pihak pemegang izin dalam pengawasan. PPR harus merencanakan, menetapkan, dan memelihara rencana pemantauan kesesuaian pelaksanaan program proteksi dan keselamatan radiasi. PPR menentukan kriteria pemantauan, melaporkan hasil pemantauan kepada manajemen yang relevan, dan mendokumentasikannya sebagai bukti pelaksanaan pemantauan pelaksanaan program proteksi. Bagi institusi yang telah memiliki sistem manajemen maka pemantauan pelaksanaan program proteksi sebaiknya merupakan bagian dari audit internal.

Peran serta PPR dalam pengawasan keselamatan radiasi mendukung pengawasan partisipatif yang menekankan kesadaran pengguna radiasi pengion terhadap keselamatan. BAPETEN dapat memanfaatkan kegiatan penyegaran PPR untuk melakukan sosialisasi dan pembinaan sehingga PPR mampu berperan serta menjadi pengawas internal untuk menilai kinerja keselamatan radiasi yang efektif. Studi kasus pemantauan seperti *check list* atau *gap analysis* kesesuaian dengan persyaratan keselamatan radiasi dapat didiskusikan dan dikembangkan dalam kegiatan penyegaran PPR tersebut.

4. Peningkatan efektifitas pelaksanaan inspeksi

Pergeseran pengawasan ke pola pikir *post-border* akan membuat bagian inspeksi memikul tugas berat untuk memastikan pemegang izin selalu mematuhi/sesuai dengan persyaratan keselamatan radiasi. Bagian perizinan baru sebatas menilai komitmen sehingga perlu dilanjutkan apakah komitmen sudah dilaksanakan dengan memadai. Perangkat surat izin yang sudah diterbitkan BAPETEN dapat digunakan sebagai alat kontrol pemegang izin untuk selalu memenuhi persyaratan keselamatan melalui instrumen sanksi administrasi.

Peraturan perundang-undangan telah memberi kewenangan BAPETEN melalui rekomendasi inspektur untuk memberi peringatan tertulis, membekukan izin, mencabut izin, dan bahkan untuk menghentikan langsung operasi suatu pemanfaatan sumber radiasi pengion. Penegakkan sanksi administrasi sangat perlu untuk ditingkatkan agar pemegang izin selalu mematuhi persyaratan keselamatan. BAPETEN hendaknya menunjuk unit kerja dan/atau staf fungsionalnya untuk melakukan tidak lanjut temuan inspeksi dan pemantauan pada setiap sanksi administrasi yang diterbitkan. Agar lebih efektif sanksi administrasi dapat ditembuskan kepada instansi terkait atau institusi pembina lain. Unit kerja dapat menindaklanjuti sanksi apabila tidak diindahkan dan menjatuhkan sanksi administrasi

berikutnya dan seterusnya.

Pemegang izin yang telah mengintegrasikan program proteksi dengan sistem manajemen mutu atau telah terakreditasi sudah semestinya sangat berkepentingan memenuhi persyaratan regulasi, sehingga temuan inspeksi mereka anggap juga merupakan ketidaksesuaian terhadap sistem manajemen. Pemegang izin jenis ini biasanya sangat berkepentingan untuk segera menutup temuan sebelum temuan tersebut diketahui oleh badan sertifikasi yang memberinya akreditasi.

Pelaksanaan inspeksi yang efektif harus dilengkapi panduan inspeksi yang komprehensif dan jelas sehingga memudahkan inspektur menilai kinerja keselamatan radiasi secara lebih teliti, lengkap, dan seragam. Panduan inspeksi untuk setiap jenis pemanfaatan dapat dikembangkan dengan merujuk kembali kepada Peraturan Pemerintah No. 33/2007 beserta peraturan turunannya. Panduan inspeksi sebaiknya memuat *check list* pertanyaan yang diperlukan dalam pemeriksaan selama inspeksi untuk menilai apakah suatu persyaratan telah memadai. *Check list* inspeksi memuat kuesioner untuk menilai pemenuhan regulasi keselamatan radiasi paling kurang seperti yang dicontohkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Contoh check list inspeksi [1][8][11][12]

Acuan	Uraian	Referensi
Pasal 17 ayat (1) UU 10/1997	Apakah seluruh pemanfaatan sumber radiasi pengion memiliki izin?	
Pasal 54 ayat (1) PP 29/2008	Apakah ada perubahan: a. Identitas pemegang izin b. Personil c. Lokasi Jika ya, sudah diajukan perubahan izin?	
Pasal 11 PP 33/2007	Pemeriksaan kesehatan berkala paling sedikit 1 kali dalam setahun?	
Pasal 14 PP 33/2007	Pemegang izin menanggung biaya pemantauan kesehatan?	
Pasal 22 ayat (1) PP 33/2007 dan	Telah memenuhi prinsip justifikasi? a. Setiap penyinaran medik didukung oleh rujukan atau konsultasi?	

Acuan	Uraian	Referensi
Pasal 24 s.d. Pasal 29 Perka BAPETEN No. 8/2011	b. Pernah melakukan penyinaran untuk keperluan pekerjaan, legal, atau auransi? Jika ya, ada permohonan dari dokter dan persetujuan dokter radiologi? c. Menerapkan kriteria pemeriksaan mamografi? d. Tersedia kriteria pemeriksaan wanita hamil dan anak-anak?	

KESIMPULAN

1. Pergeseran pola pikir pengawasan dengan lebih meningkatkan pengawasan yang lebih ketatterhadap pemegang izin harus ditempuh BAPETEN demi mendukung percepatan perizinan berusaha;
2. Peningkatan efektifitas pengawasan kinerja keselamatan radiasi perlu dilakukan secara terpadu antara bagian pengaturan, perizinan, dan inspeksi; dan
3. Perangkat izin dapat dimanfaatkan untuk menegakkan atau pembinaan kepatuhan pemegang izin terhadap persyaratan keselamatan radiasi melalui pemberian sanksi administrasi.

DAFTAR PUSTAKA:

- [1] Indonesia, (1997), *Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran*.
- [2] Presiden Republik Indonesia, (2017), *Peraturan Presiden Nomor 91 Tahun 2017 tentang Percepatan Pelaksanaan Berusaha*
- [3] <http://ksp.go.id/presiden-tegaskan-upaya-keras-pemerintah-sederhanakan-perizinan>, (2017), *Presiden Tegaskan Upaya Keras Pemerintah Sederhanakan Perizinan*, diakses tanggal 20 Mei 2018.
- [4] <https://www.kemenkeu.go.id/publikasi/berita/pergeseran-ke-post-border-untuk-percepat-ekspor-impor/>, (2018), *Pergeseran ke Post-Border untuk Percepat Ekspor Impor*, diakses tanggal 20 Mei 2018.
- [5] Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian Republik Indonesia, (2017), *Pengembangan Usaha dan Daya Saing Penyedia Jasa Logistik Nasional*, Paket Kebijakan Ekonomi XV.
- [6] International Atomic Energy Agency, (2007), *Notification and Authorization for the Use of Radiation Sources*, IAEA-TECDOC 1525

- [7] International Atomic Energy Agency, (2010), *Governmental, Legal and Regulatory Framework for Safety, General Safety Requirements (GSR) Part 1*.
- [8] Pemerintah Republik Indonesia, (2007), *Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif*
- [9] Badan Standardisasi Nasional. (2015). *ISO 9001:2015 Quality Management Systems-requirements*.
- [10] International Atomic Energy Agency, (2007), *Inspection of Radiation Sources and Regulatory Enforcement*, IAEA-TECDOC 1526
- [11] Pemerintah Republik Indonesia, (2008), *Peraturan Pemerintah Nomor 29 Tahun 2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir*
- [12] Badan Pengawas Tenaga Nuklir, (2011), *Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional*.

LAMPIRAN

Kewajiban Pemegang Izin dalam PP 33/2007 [8]

No.	Kewajiban Pemegang Izin	Acuan
1.	Mewujudkan Budaya Keselamatan	Pasal 7 (1)
2.	Menyelenggarakan pemantauan kesehatan	Pasal 8
3.	pemantauan kesehatan dilakukan sebelum, selama dan akan memutuskan hubungan kerja	Pasal 9
4.	Pemeriksaan kesehatan dilakukan oleh dokter yang memiliki kompetensi	Pasal 10
5.	Pemeriksaan kesehatan wajib dilakukan secara berkala paling sedikit sekali dalam 1 (satu) tahun	Pasal 11
6.	Menyediakan konseling, memberikan konsultasi dan informasi mengenai bahaya radiasi kepada pekerja	Pasal 12
7.	Melakukan penatalaksanaan pekerja yang mendapatkan Paparan Radiasi berlebih	Pasal 13
8.	Menanggung biaya pemantauan kesehatan	Pasal 14
9.	Menyediakan personil yang	Pasal

No.	Kewajiban Pemegang Izin	Acuan
	memiliki kompetensi yang sesuai	16
10.	Meningkatkan kemampuan personil melalui pendidikan dan pelatihan	Pasal 17 (1)
11.	Membuat, memelihara, dan menyimpan Rekaman	Pasal 18 (1)
12.	Membuat Rekaman Paparan Radiasi yang mengakibatkan terjadinya Dosis yang melebihi Nilai Batas Dosis	Pasal 19 (1)
13.	Menyampaikan laporan tertulis mengenai terjadinya Paparan Radiasi berlebih	Pasal 19 (2)
14.	Memenuhi a. justifikasi Pemanfaatan Tenaga Nuklir; b. limitasi Dosis; dan c. optimisasi Proteksi dan Keselamatan Radiasi.	Pasal 21
15.	Memenuhi prinsip justifikasi	Pasal 22
16.	Memberlakukan limitasi Dosis untuk Paparan Kerja dan Paparan Masyarakat	Pasal 23
17.	Pemegang Izin wajib melakukan : (); a. pembagian daerah kerja; b. pemantauan Paparan Radiasi dan/atau kontaminasi radioaktif di daerah kerja; c. pemantauan radioaktivitas lingkungan di luar fasilitas atau instalasi; dan d. pemantauan Dosis yang diterima pekerja.	Pasal 24
18.	Melaksanakan pemantauan Paparan Radiasi dan/atau kontaminasi radioaktif di daerah kerja secara terus menerus, berkala	Pasal 26
19.	Melaksanakan pemantauan radioaktivitas lingkungan secara terus menerus, berkala	Pasal 27
20.	melaksanakan pemantauan Dosis pekerja	Pasal 29 (1)
21.	Memberitahukan kepada pekerja mengenai hasil evaluasi	Pasal

No.	Kewajiban Pemegang Izin	Acuan
	pemantauan Dosis	29 (4)
22.	Melakukan tindak lanjut Dosis pekerja yang berlebih.	Pasal 29 (6)
23.	Menyediakan perlengkapan Proteksi Radiasi	Pasal 31
24.	Kewajiban pekerja, pasien, pendamping pasien, memakai pemantau Dosis perorangan dan peralatan protektif Radiasi	Pasal 32
25.	Melakukan kalibrasi terhadap: (); a. perlengkapan Proteksi Radiasi; dan b. peralatan radioterapi.	Pasal 33
26.	Menetapkan pembatas Dosis pekerja	Pasal 36 (3)
27.	Menetapkan pembatas Dosis dengan mempertimbangkan kontribusi Dosis dari setiap fasilitas atau instalasi.	Pasal 36 (4)
28.	Praktisi medik wajib menggunakan Tingkat Panduan untuk Paparan Medik	Pasal 39
29.	Uji kesesuaian wajib dilakukan terhadap pesawat sinar-X untuk radiologi diagnostik dan intervensional.	Pasal 40
30.	Memenuhi persyaratan teknik	Pasal 41
31.	Menerapkan sistem pertahanan berlapis dalam mendesain sistem keselamatan.	Pasal 42
32.	Menerapkan praktik rekayasa yang teruji.	Pasal 43
33.	Menerapkan persyaratan, standar,	Pasal

No.	Kewajiban Pemegang Izin	Acuan
	dan instrumen terdokumentasi lainnya yang telah ditetapkan	43 (2)
34.	Melakukan verifikasi keselamatan.	Pasal 44
35.	Melakukan pengkajian keselamatan Sumber	Pasal 45
36.	Melaksanakan pemantauan dan pengukuran parameter keselamatan	Pasal 46 (1)
37.	Menyediakan peralatan dan prosedur yang memadai.	Pasal 46 (2)
38.	Membuat, memelihara, dan menyimpan Rekaman hasil verifikasi keselamatan	Pasal 47
39.	Melaksanakan intervensi terhadap terjadinya Paparan Darurat yang berasal dari fasilitas atau instalasi yang menjadi tanggung jawabnya	Pasal 53 (1)
40.	Menyusun rencana Penanggulangan Keadaan Darurat	Pasal 53 (2)
41.	Melaksanakan penanggulangan terhadap keadaan darurat yang dampaknya di dalam tapak.	Pasal 54 (1)
42.	Melaporkan keadaan darurat pada BAPETEN.	Pasal 54 (2)
43.	Mendapat persetujuan pengiriman pada pelaksanaan pengangkutan	Pasal 66
44.	melakukan inventarisasi dan Rekaman Sumber Radioaktif.	Pasal 70

PA09

UPTAKE RADIOAKTIVITAS Tc^{99m} MDP PADA DAERAH LUTUT DAN SACROILLIAC JOINTSDARI PASIEN KANKER PROSTATYANG DILAKUKAN PEMERIKSAAN BONE SCAN

Jhon Hadearon Saragih¹, Rozi Irhas², Budi Santoso³, Fadil Nazir⁴

¹Universitas Nasional, Jakarta, Indonesia

²RSPAD Gatot Soebroto Jakarta, Indonesia

³Departemen Fisika, Universitas Nasional, Jakarta Indonesia

⁴PTKMR-BATAN, Jakarta Indonesia

e-mail: xaragieh@gmail.com

ABSTRAK

Kanker prostat adalah kanker kedua yang paling sering ditemukan dalam kasus penyakit kanker. Penentuan diagnosa kanker prostat dapat dilakukan dengan pencitraan *bone scan* untuk membantu menegakkan diagnosa dan menentukan stadium dari metastasis yang terjadi pada tulang dengan menggunakan radiofarmaka Tc^{99m} MDP. Tujuan: untuk menentukan biodistribusi Tc^{99m} MDP pada daerah panggul, kaki, dan kandung kemih serta prosentase indeks lutut dan *sacroiliac joints* dan juga menentukan hubungan antara nilai PSA dengan uptake pada *sacroiliac joints* dan lutut. Metode: menggunakan teknik ROI pada daerah lutut dan *sacroiliac joints* terhadap 25 pasien yang dilakukan *bone scan* serta perhitungan *count*, aktivitas, dan prosentase *uptake*. Hasil: diperoleh hasil biodistribusi pada daerah panggul 1.18 ± 0.56 mCi, kaki 1.86 ± 0.63 mCi, dan kandung kemih 0.14 ± 0.13 mCi. Prosentase indeks lutut kanan $50,85 \pm 2,63\%$, lutut kiri $49,15 \pm 2,63\%$ dan *sacroiliac joint* kanan $49,75 \pm 4,95\%$, *sacroiliac joint* kiri $50,25 \pm 4,95\%$. Terdapat korelasi yang kuat ($r=0.6070$) dan signifikan ($p=0.0013$) antara PSA dengan *uptake sacroiliac joint* kanan dan persamaan linier $y=0.0007X+0.3917$, pada *sacroiliac joint* kiri korelasi moderat ($r=0.4834$) dan cukup signifikan ($p=0.0144$). Pada lutut kanan korelasinya lemah ($r=0.1212$) dan tidak signifikan ($p=0.5637$) dengan persamaan linier $y=0.0001X+0.757$, pada lutut kiri korelasinya sangat lemah ($r=0.0736$) dan tidak bermakna dengan persamaan linier $y=0.5097E^{-5}X+0.7527$. Kesimpulan: terdapat hubungan yang cukup kuat antara PSA dengan prosentase *uptake sacroiliac joints*, sebaliknya hubungan yang lemah antara PSA dengan prosentase *uptake* pada lutut. Hal ini sesuai dengan teori metastasis kanker prostat yang menyatakan hubungan yang lebih tinggi pada daerah *sacroiliac joints* karena metastasis di daerah lutut jarang terjadi.

Kata kunci: bone scan, kanker prostat, Tc^{99m} MDP, biodistribusi, korelasi nilai PSA dengan uptake

ABSTRACT

Prostate cancer is the second most common cancer in cases of cancer. The diagnosis of prostate cancer can be performed with bone scan imaging to help diagnose and determine the stage of metastasis in the bone using radiopharmaceutical Tc^{99m} MDP. Purpose: for determine the biodistribution of Tc^{99m} MDP in the pelvic, legs and bladder areas along with the percentage of knees and sacroiliac joints index and also determine the relationship between PSA value with uptake on sacroiliac joints and knees. Method: performing ROI technique on knees and sacroiliac joints on 25 patients by conducting bone scan with count calculation, activity and uptake percentage. Result: biodistribution result at pelvic area 1.18 ± 0.56 mCi, legs 1.86 ± 0.63 mCi, and bladder 0.14 ± 0.13 mCi. Index percentage of right knee $50.85 \pm 2.63\%$, left knee $49.15 \pm 2.63\%$ and right sacroiliac joint $49.75 \pm 4.95\%$, left sacroiliac joint $50.25 \pm 4.95\%$. There was strong correlation ($r=0.6070$) and significant ($p=0.0013$) between PSA with right joint sacroiliac uptake and linear equation $y = 0.0007X + 0.3917$, left sacroiliac joint moderate correlation ($r=0.4834$) and significantly ($p=0.0144$). Right knee weak correlation ($r=0.1212$) and not significant ($p=0.5637$) with the linear equation $y=0.0001X+0.757$, left knee's the correlation is very weak ($r=0.0736$) and it's not significant with the linear equation $y=0.5097E^{-5}X+0.7527$. Conclusion: there's a strong relation between PSA and uptake percentage sacroiliac joints, on the contrary the relation is week between PSA on uptake percentage on knees. It's in line with the prostate cancer metastases theory that stated there is a higher relation in sacroiliac joints area comparing to knees area because due to rare occurrence of bone metastasis.

Keywords: bone scan, prostate cancer, Tc^{99m} MDP, biodistribution, uptake and PSA level correlation

PENDAHULUAN

arena proses meningkatnya usia diatas 50tahun pa-Kda pria dengan ketersediaan *Prostate Specific Antigen* (PSA) sebagai biomarker prostat serum, kejadian dan prevalensi kanker prostat telah meningkat secara signifikan[1]. Diagnosis, penentuan stadium, dan tatalaksana kanker prostat yang akurat sangat penting untuk pengelolaan terapeutik yang optimal. Dalam hal ini, pencitraan diagnostik memiliki berbagai peran penting dalam hal diagnosis. Ultrasound, *computed tomography* (CT), dan *magnetic resonance imaging* (MRI) telah digunakan untuk diagnosis morfologi (anatomi) untuk stadium kanker prostat dengan akurasi yang rendah[2], tetapi masih terdapat penunjang diagnostik yaitu kedokteran nuklir yang merupakan spesialisasi dalam ilmu kedokteran menggunakan sumber radiasi terbuka untuk penilaian fungsi berbagai organ, yang digunakan untuk diagnostik secara in-vivo maupun in-vitro serta mengobati penyakit (radiasi interna)[3] yang disering disebut pemeriksaan *bone scan*, dimana menggunakan sumber radiasi terbuka yaitu *Technetium^{99m}* (Tc^{99m}) yang diinjeksikan kedalam tubuh melalui *intra vena*, agar Tc^{99m} yang diinjeksikan dapat di distribusikan dan di akumulasi (di tangkap/ uptake) oleh tulang, untuk mencapai organ target yaitu tulang diperlukan kit farmaka (cold kit farmaka) yaitu MDP (*methylene diphosponate*). Senyawa MDP ini akan di ikat oleh Tc^{99m} yang akan menuju ke organ tulang dengan mengikuti biodistribusi aliran pembuluh darah tubuh, melalui jantung. Kemudian jantung akan memompa keseluruhan tubuh, 50% yang diinjeksikan dari Tc^{99m} MDP akan masuk kedalam tulang untuk beberapa waktu lamanya dan sisanya akan diekskresikan kedalam kandung kemih melalui sistem perkemihan[4].

TEORI

Biodistribusi Radiofarmaka Tc^{99m} MDP

Berdasarkan *international commision on radiological protection* atau ICRP volume 41 tahun 2012, radioisotop technesium^{99m} memiliki waktu paro yang pendek yaitu hanya 6,02 jam[5,6,7,8,9]. Tc^{99m} hanya memancarkan radiasi gamma saja, tanpa memancarkan radiasi lainnya. Radiasi gamma yang dipancarkan memiliki energi sebesar 140,5 keV. Oleh karena energi yang dihasilkan sebesar 140,5 keV dan waktu paruh yang pendek yakni 6,02 jam, Tc^{99m} sering digunakan untuk tujuan diagnosis karena diharapkan radiasi yang dipancarkan segera habis setelah proses diagnostik selesai, sehingga dampak-dampak yang mungkin terjadi dapat diminimalisasi. Radiofarmaka yang digunakan dalam pemeriksaan *bone scan* adalah radionuklida ^{99m}Tc dengan senyawa kimia pembawa *methylene diphosponate* (MDP). *Technetium^{99m}* (Tc^{99m}) MDP dapat cepat dihilangkan dari dalam darah dan selanjutnya sebagian besar terakumulasi didalam sistem rangka. *Uptake* tulang

terhadap Tc^{99m} MDP pada 1 sampai 2 jam setelah penyuntikan menunjukkan nilai tertinggi dan selanjutnya Tc^{99m} MDP diekskresikan melalui urin. Senyawa MDP ini akan membawa Tc^{99m} yang diberikatan dengannya menuju organ tulang dengan mengikuti metabolisme tubuh melalui jantung. Dari dalam jantung kemudian akan dipompa keseluruhan tubuh, dimana 50% dari Tc^{99m} MDP yang akan disuntikkan terserap ke dalam tulang dan sisanya akan diekskresikan kedalam kandung kemih melalui sistem perkemihan[4,10,11].

Aktivitas adalah banyaknya atau kuantitas dari suatu bahan radioaktif yang dinyatakan oleh jumlah atom radioaktif yang mengalami perubahan atau transformasi nuklir per satu satuan waktu (t).

$$\lambda = -\frac{dN}{N dt} \quad (2.1)$$

$$A_t = A_o \cdot e^{-\lambda t} \quad (2.2)$$

dimana R adalah aktivitas, dN adalah perubahan jumlah total atom radioaktif (N) pada sebuah periode waktu yang diberikan (dt), untuk A_t adalah aktivitas pada waktu t, A_o adalah aktivitas mula-mula, λ adalah konstanta peluruhan, $t_{1/2}$ adalah waktu paro radioisotop dan t adalah waktu. Tanda negatif menandakan bahwa jumlah dari atom radioaktif berkurang sejalan dengan waktu.

Satuan internasional untuk radioaktivitas adalah *Becquerel* (Bq) yang didefinisikan sebagai 1 dps, dimana 1 Ci = $3,70 \times 10^{10}$ dps atau 1 Bq sama dengan $0,27 \times 10^{-10}$ Ci [5].

METODOLOGI

Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimental menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif. Tempat pengambilan data penelitian dilakukan di Sub. Instalasi Kedokteran Nuklir Rumah Sakit Pusat Angkatan Darat Gatot Soebroto. Rentang waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Februari sampai dengan bulan April 2018. Pada penelitian *Uptake* Radioaktivitas Tc^{99m} MDP di daerah lutut dan *sacroiliaca joints* pada pasien kanker *prostat* dari hasil pemeriksaan *bone scan* ini, ada beberapa tahapan yang dilakukan, yaitu:

1. Observasi lapangan dan penelitian yaitu melakukan pengamatan dan pencarian sumber data serta perizinan kepada pihak-pihak yang berkompeten dan observasi ini dilakukan untuk mengetahui proses pemeriksaan *bone scan* yang sering dilakukan di Rumah Sakit Pusat Angkatan Darat Gatot Soebroto Jakarta.
2. Membuat tabel yakni melakukan pembuatan tabel yang bertujuan untuk mencatat hasil dari pen-

gumpulan data mentah menggunakan program excel.

3. Melakukan elusi dan preparasi pemerahan Mo^{99} untuk memperoleh radioisotope Tc^{99m} dari generator. Elusi dan preparasi radioisotop Tc^{99m} yang dicampur dengan kit farmaka MDP dilakukan di ruangan *hotlab*. Setelah preparasi selesai radiofarmaka Tc^{99m} MDP ambil dengan syringe masing – masing dosis sejumlah 12 - 25 mCi yang akan disuntikkan pada masing – masing pasien. Sebelumnya dibuat standard aktivitas dosis 1mCi Tc^{99m} MDP yang dihitung dibawah kamera gamma pada jarak 7cm sebanyak 10 kali pencacahan selang semenit.
4. Pemberian radioisotope Tc^{99m} MDP diberikan dengan cara menyuntikan melalui intravena, 3 jam setelah penyuntikan radioisotop Tc^{99m} MDP pasien disuruh berkemih kemudian dilakukan pemeriksaan dibawah kamera gamma seluruh tubuh ke tulang.
5. Melakukan *Bone Scan* jika setelah 3 jam post penyuntikan radiofarmaka Tc^{99m} MDP, pasien dilakukan *bone scan* pada kamera gamma untuk mendapatkan gambaran seluruh tubuh *anterior* dan *posterior* dari pancaran Tc^{99m} MDP dari tulang. Hasil pencitraan pasien kemudian dilakukan pengolahan data dengan membuat ROI *sacroiliac joints* kiri dan kanan untuk memperoleh nilai *sacroiliac joints* dan pada kedua lutut untuk memperoleh rasio lutut dengan *background* diatas atau dibawah lutut pada kedua sisi.
6. Pengambilan data dimana data diperoleh dari 25 sampel pasien pemeriksaan *bone scan* pada kanker prostat. Mencatat *medical record* pasien berupa diagnosa awal, *PSA*, berat badan, tinggi badan serta waktu penyuntikan dan setelah penyuntikan radiofarmaka pada pasien. Kemudian melakukan *Region Of Interest (ROI)* pada *sacroiliac joints*, lutut untuk mendapatkan nilai *count* dan persentase *uptake* yang didapat pada organ lutut dan *sacroiliac joints*.
7. Akumulasi aktivitas radiofarmaka Tc^{99m} MDP diperoleh dari hasil ROI yang berupa sebuah nilai cacahan, kemudian data – data tersebut dimasukkan kedalam persamaan 3.1. untuk memperoleh nilai aktivias.

$$A = count \times F_{koreksi} \quad (3.1)$$

Dimana nilai A adalah aktivitas dalam satuan mCi, *count* adalah cacahan organ dalam satuan cps dan $F_{koreksi}$ adalah faktor koreksi cacahan (cacahan 1 mCi pada kedalaman tulang antara 7–10 cm dari permukaan detektor). ROI yang dibuat adalah pada organ *sacroiliaca joints* pada daerah *posterior* dan lutut pada daerah *anterior* dan *posterior* yang dilakukan *scanning* untuk mengetahui total akumulasi radiofarmaka yang masuk kedalam tubuh pasien.

8. Untuk persentase lesi yang dihasilkan, dilakukan dengan cara membandingkan aktivitas pada lesi

dengan dosis yang disuntikkan kedalam tubuh pasien, kemudian mengkalikannya dengan 100%, adapun perhitungannya dapat dilakukan dengan persamaan 3.2 berikut ini :

$$\% Lesi = \left(\frac{A_L}{A_o} \right) \times 100\% \quad (3.2)$$

dimana A_L adalah aktivitas pada lesi (mCi) dan A_o adalah aktivitas awal (mCi).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengumpulan data penelitian pemeriksaan *bone scan* didapat sampel sebanyak 25 objek pasien dengan kanker *prostat* dengan rentang umur berkisar antara 59 – 82 tahun, hal ini menunjukkan bahwa kanker *prostat* dapat di derita oleh pria diusia. Dosis injeksi yang masuk kedalam tubuh dihitung dari selisih dosis pra injeksi (*full syringe*) dengan dosis post injeksi (*empty syringe*). Radiofarmaka Tc^{99m} MDP yang disuntikkan secara *intravena* pada pemeriksaan *bone scan* bernilai 14 – 24 mCi.

Tabel 1. Hasil OlahData Awal Pasien

	PSA (ng/ml)	Pre Injeksi (mCi)	Post Injeksi (mCi)	Dosis Injeksi (mCi)
MEAN	177,35	19,93	0,62	19,30
MED	53	19,76	0,54	19,396
SD	290,86	2,66	0,54	2,69
SUM	4433,99	498,26	15,54	482,71
MAX	1320	24,95	3,05	23,98
MIN	0,19	15,51	0,15	14,87

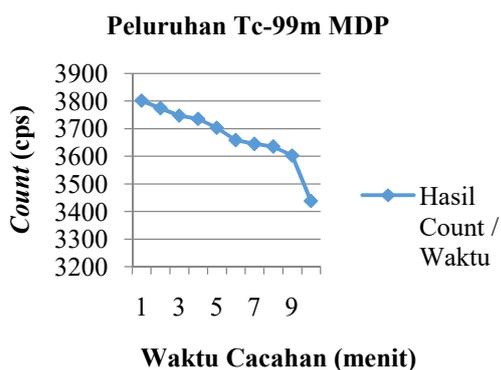
Dalam penelitian ini rerata dosis aktivitas yang diberikan 19.30 ± 2.69 mCi (terendah 14.87mCi dan tertinggi 23.98 mCi). Nilai PSA rerata adalah 177.35 \pm 290.86 ng/ml (terendah 0.19 ng/ml dan tertinggi 1320ng/ml).

Penentuan aktivitas dosis pada 1mCi dalam waktu 10 menit yang digunakan untuk mengetahui peluruhan radioisotop tersebut dan juga untuk menentukan nilai faktor koreksi dalam menghitung dosis radiofarmaka yang terserap dalam tubuh. Dalam kasus ini untuk pencacahan radiofarmaka Tc^{99m} MDP pada nilai aktivitas 1 mCi diletakkan sejauh

10 cm dari permukaan detektor, kemudian dilakukan *scanning* sebanyak 10 kali selama ± 10 menit, dimana dalam setiap sekali *scanning* dibutuhkan waktu selama 60 detik dengan dosis 1,015 mCi. Berikut data pemetaan 1 mCi dalam 10 menit untuk faktor koreksi:

Tabel 2. Pemetaan Peluruhan 1 mCi dalam 10 Menit

1 Menit Ke-	Count	Hasil Count / Waktu	Faktor Koreksi
1	228062,37	3801,04	0,000267
2	226428,13	3773,80	0,000269
3	224794,42	3746,57	0,000271
4	224092,49	3734,87	0,000272
5	222157,69	3702,63	0,000274
6	219485,18	3658,09	0,000277
7	218672,10	3644,54	0,000278
8	218085,07	3634,75	0,000279
9	216131,52	3602,19	0,000282
10	206266,16	3437,77	0,000295



Grafik 1. Peluruhan 1 mCi dalam 10 Menit

Adapun nilai dosis 1.015mCi adalah 3801.04 count/menit yang berarti 1 mCi adalah 3744.87, nilai ini digunakan untuk menentukan rerata biodistribusi.

Biodistribusi Radiofarmaka Tc-^{99m}Methylene Diphosponate pada Daerah Panggul, Kaki dan Kandung Kemih

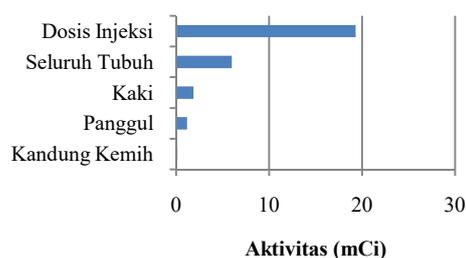
Pembuatan ROI dilakukan pada daerah panggul, kaki dan kandung kemih dibuat pada bagian *anterior* (depan) dan *posterior* (belakang), kemudian dijumlahkan dan dibagi 2 untuk mendapatkan nilai rata – ratanya.

Tabel 3. Hasil Biodistribusi Radiofarmaka Tc^{99m}MDP pada daerah Panggul, Kaki dan Kandung Kemih

	Dosis Injeksi (mCi)	Seluruh Tubuh (mCi)	Panggul (mCi)	Kandung Kemih (mCi)	Kaki (mCi)
MEAN	19,30	5,98	1,18	0,13	1,85
MED	19,39	5,83	1,02	0,09	1,71
SD	2,69	1,57	0,56	0,13	0,62
SUM	482,7	149,66	29,61	3,46	46,38
MAX	23,98	10,12	3,10	0,70	3,38
MIN	14,87	3,17	0,51	0,01	0,94

Rerata dosis injeksi adalah 19.31 ± 2.7 mCi, sedangkan rerata aktivitas dosis pada; total seluruh tubuh 5.99 ± 1.57 mCi, daerah panggul 1.18 ± 0.56 mCi, kandung kemih 0.14 ± 0.13 mCi dan kedua kaki 1.86 ± 0.63 .

Biodistribusi Radiofarmaka Tc-^{99m}MDP



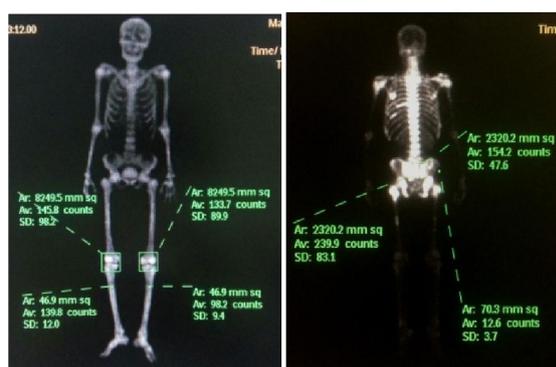
Grafik 2. Biodistribusi Radiofarmaka Tc-^{99m}MDP

Pada kandung kemih biodistribusi terendah dari ketiga organ target penelitian disebabkan karena sebelum dilakukan bone scan pasien diminta untuk berkemih terlebih dahulu, ini terlihat dengan rerata dosis yang di injeksi $19.31 - (5.99)$ mCi = 13.32 mCi

yang berada pada organ sisa yang tidak dinilai dan sebagian besarnya keluar melalui air kemih.

Indeks Uptake Radiofarmaka Tc^{99m} MDP pada *Sacroiliac Joints* dan Lutut

Untuk mendapatkan hasil *count* pada lutut dilakukan teknik ROI pada bagian *anterior* dan *posterior* sedangkan pada *sacroiliac joints* dilakukan teknik ROI pada bagian *posterior* dengan ROI *rectangular* dengan ukuran ROI pada lutut 10x10 cm dan ROI pada *sacroiliac joints* 8x3,5 cm dengan ROI *background* setiap ROI 1x1 cm.



(a)

(b)

Gambar 1. Teknik Region of Interest (ROI) pada (a) Lutut Pasien ke- 6 dan pada (b) *Sacroiliac Joints* Pasien ke- 14

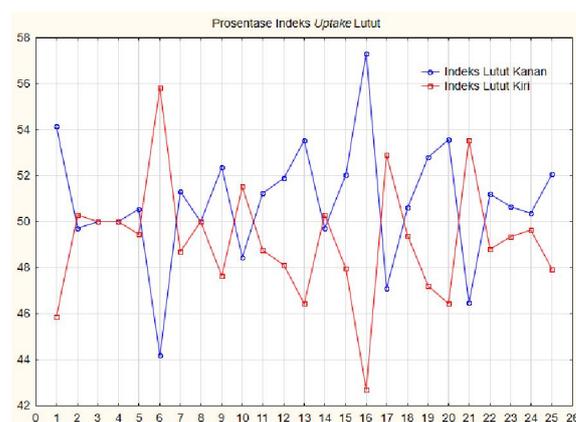
Setelah dilakukan teknik ROI, kemudian dilakukan perhitungan pada hasil ROI menggunakan persamaan (3.1) dan (3.2) sehingga akan diperoleh nilai seperti pada tabel 4.6 dalam bentuk *Count* (cps), aktivitas (mCi), dan *Uptake* (%). Dari hasil tersebut kemudian ditentukan prosentase indeks pada setiap bagian seperti tabel dibawah ini:

Tabel 4. Prosentase Indeks Uptake Radiofarmaka Tc^{99m} MDP pada Lutut

	Prosentase Indeks Lutut	
	Kanan	Kiri
Mean	50,85	49,15
Median	50,65	49,35
SD	2,63	2,63
SUM	1271,27	1228,73
MAX	57,30	55,82

MIN	44,18	42,70
-----	-------	-------

Dari table 4 diatas hasil diperoleh rerata indeks uptake daerah lutut pada bagian kanan $50,85 \pm 2,63\%$ (nilai terendah 44,18% dan tertinggi 57,30%), sedangkan pada bagian kiri $49,15 \pm 2,63\%$ (nilai terendah 42,70% dan tertinggi 55,82%). Maka dari hasil tersebut didapatkan grafik 3 sebagai berikut :



Grafik 3. Prosentase Indeks Uptake Radiofarmaka Tc^{99m} MDP pada Lutut

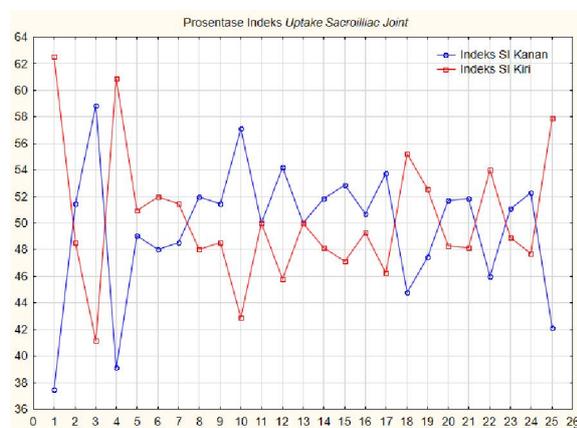
Dari grafik 3 dapat dilihat bahwa prosentase indeks uptake Radiofarmaka Tc^{99m} MDP daerah Lutut untuk prosentase tertinggi pada bagian kanan sebanyak 4 pasien dan bagian kiri sebanyak 3 pasien, sedangkan prosentase terendah pada bagian kanan sebanyak 3 pasien dan bagian kiri sebanyak 4 pasien. Dan yang masuk dalam kategori prosentase indeks uptake standart pada bagian kanan dan kiri sebanyak 18 pasien.

Tabel 5. Prosentase Indeks Uptake Radiofarmaka Tc^{99m} MDP pada *Sacroiliac Joints*

	Prosentase Indeks <i>Sacroiliac Joints</i>	
	Kanan	Kiri
MEAN	49,75	50,25
MED	51,06	48,94
SD	4,95	4,95
SUM	1243,72	1256,28
MAX	58,85	62,54
MIN	37,46	41,15

Dari table 5 diatas diperoleh hasil rerata indeks

uptake daerah *sacroiliac joints* pada bagian kanan $49,75 \pm 4,95\%$ (nilai terendah 37,46% dan tertinggi 58,85%), sedangkan pada bagian kiri $50,25 \pm 4,95\%$ (nilai terendah 41,15% dan tertinggi 62,54%). Maka dari hasil tersebut didapatkan grafik 4 sebagai berikut :



Grafik 4. Prosentase Indeks Uptake Radiofarmaka Tc^{99m} MDP pada *Sacroiliac Joints*

Dari grafik 4 dapat dilihat bahwa prosentase indeks *uptake* Radiofarmaka Tc^{99m} MDP daerah *Sacroiliac Joints* untuk prosentase tertinggi pada bagian kanan sebanyak 2 pasien dan bagian kiri sebanyak 4 pasien, sedangkan prosentase terendah pada bagian kanan sebanyak 4 pasien dan bagian kiri sebanyak 2 pasien. Dan yang masuk dalam kategori prosentase indeks *uptake* standart pada bagian kanan dan kiri sebanyak 19 pasien.

Penangkapan aktivitas yang membuat *uptake* menjadi sangat tinggi yang terjadi pada daerah lutut dan *sacroiliac joints* dapat disebabkan degeneratif (proses penuaan) tulang dan juga dapat disebabkan metastasis dari kanker tersebut.

Hubungan Antara Nilai PSA (*Prostate Serum Antigen*) dengan *Uptake* pada *Sacroiliac Joints* dan Lutut

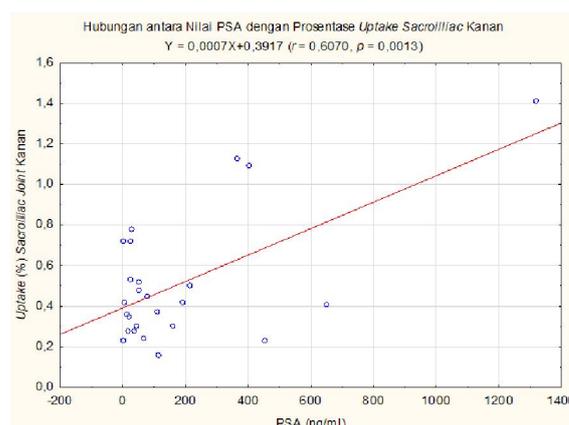
Untuk mendapatkan sebuah hubungan antara nilai PSA (*Prostate Serum Antigen*) dengan *Uptake* pada *Sacroiliac Joints* dan Lutut dilakukan dengan metode interval kekuatan *spearman* atau *pearson test* menurut *D.A de Vaus*.

Tabel 6. Nilai Statistik untuk PSA (ng/ml) dan Prosentase Uptake untuk *Sacroiliac Joints* dan Lutut

	PSA (ng/ml)	Uptake (%)			
		<i>Sacroiliac Joints</i>		Lutut	
		Kanan	Kiri	Kanan	Kiri
MEAN	177,35	0,50	0,53	0,78	0,76
MED	53	0,42	0,38	0,75	0,66
SD	290,86	0,31	0,39	0,35	0,37
SUM	4433,9	12,68	13,25	19,59	19,24
MAX	1320	1,41	1,82	1,93	1,84
MIN	0,19	0,16	0,21	0,31	0,31

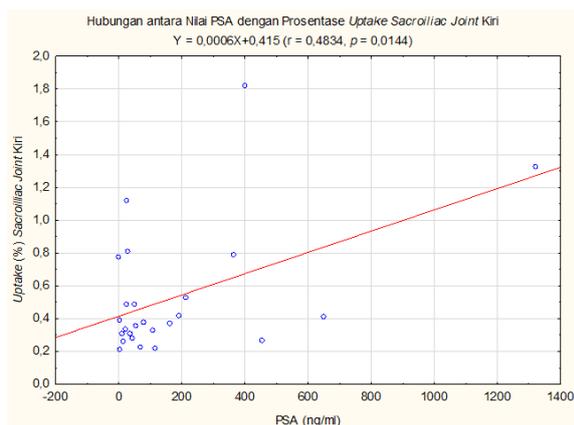
Dari table 6 diatas diperoleh rerata nilai PSA 177.36 ± 290.87 ng/ml (nilai terendah 0.19 ng/ml dan tertinggi 1320 ng/ml), masing masing rerata prosentase *uptake* untuk *sacroiliac joints* kanan $0.51 \pm 0.31\%$ (nilai terendah 0.16% dan tertinggi 1.41%), *sacroiliac joints sinistra* $0.53 \pm 0.39\%$ (nilai terendah 0.21% dan tertinggi 1.82%), lutut kanan $0.78 \pm 0.36\%$ (nilai terendah 0.31% dan tertinggi 1.93%) dan lutut kiri $0.77 \pm 0.37\%$ (nilai terendah 0.31% dan tertinggi 1.84%).

Hubungan antara nilai PSA dengan prosentase *uptake* pada *sacroiliac joints* dan lutut yang diperlihatkan pada beberapa grafik dibawah ini yaitu:



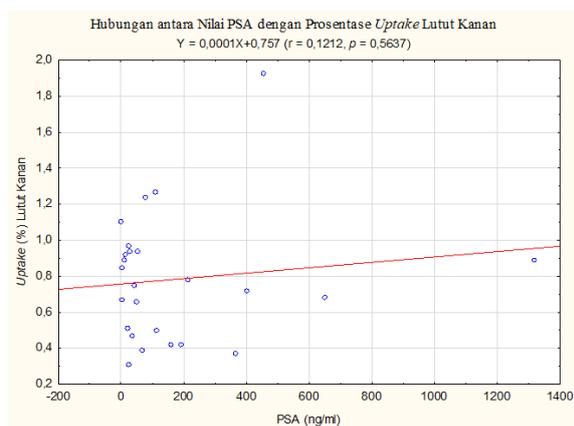
Grafik 5. Hubungan antara Nilai PSA dengan Prosentase Uptake pada *Sacroiliac Joints* Kanan

Hubungan nilai PSA dengan prosentase *uptake* pada daerah *sacroiliac joints* kanan diperlihatkan pada persamaan linier $Y = 0.0007X + 0.3917$, dengan hubungan yang kuat ($r = 0.6070$) dan signifikan ($p = 0.0013$).



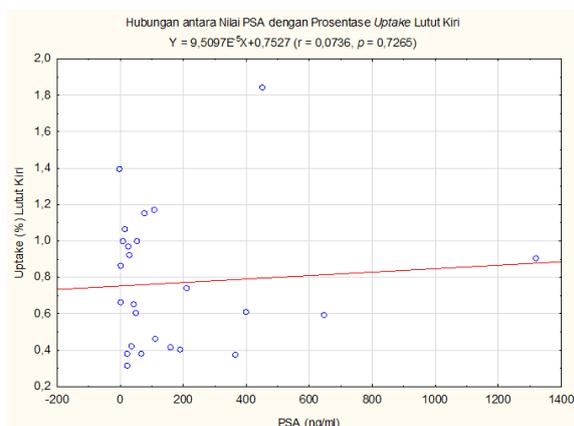
Grafik 6. Hubungan antara Nilai PSA dengan Prosentase Uptake pada Sacroiliac Joints Kiri

Hubungan nilai PSA dengan prosentase *uptake* pada daerah *sacroiliac joints* kiri diperlihatkan pada persamaan linier $Y = 0,0006X + 0,415$, dengan hubungan yang moderat ($r = 0,4834$) dan signifikan ($p = 0,0144$).



Grafik 7. Hubungan antara Nilai PSA dengan Prosentase Uptake pada Lutut Kanan

Hubungan nilai PSA dengan prosentase *uptake* pada daerah lutut kanan diperlihatkan pada persamaan linier $Y = 0,0001X + 0,757$, dengan hubungan yang lemah ($r = 0,1212$) dan tidak signifikan ($p = 0,5637$).



Grafik 8. Hubungan antara Nilai PSA dengan

Prosentase Uptake pada Lutut Kiri

Hubungan nilai PSA dengan prosentase *uptake* pada daerah lutut kiri diperlihatkan pada persamaan linier $Y = 9,5097E^{-5}X + 0,7527$, dengan hubungan yang kurang berarti ($r = 0,0736$) dan tidak signifikan ($p = 0,7265$).

Dari ke empat lokasi *uptake* radiofarmaka diatas yang mempunyai hubungan cukup kuat pada *sacroiliac joints* hal ini sesuai dengan teori metastasis kanker prostat lebih tinggi pada daerah ini sedangkan pada masing masing lutut hubungannya lemah disebabkan pada teorinya dinyatakan daerah lutut jarang terjadinya penyebaran. Dan nilai PSA selain digunakan sebagai *skrining* awal dapat juga digunakan sebagai *predictor* perkembangan penyebaran kanker prostat pada tulang.

KESIMPULAN

1. Didapat Biodistribusi Tc^{99m} MDP pada daerah panggul, kaki dan kandung kemih dengan besar aktivitas $0,01887$ mCi dengan rerata dosis aktivitas yang diterima pada total seluruh tubuh $5,99 \pm 1,57$ mCi, daerah panggul $1,18 \pm 0,56$ mCi, kandung kemih $0,14 \pm 0,13$ mCi dan kedua kaki $1,86 \pm 0,63$ mCi.
2. Prosentase Indeks *uptakesacroiliac joints* dan lutut dengan hasil prosentase indeks daerah lutut pada bagian kanan $50,85 \pm 2,63\%$ (nilai terendah $44,18\%$ dan tertinggi $57,30\%$), sedangkan pada bagian kiri $49,15 \pm 2,63\%$ (nilai terendah $42,70\%$ dan tertinggi $55,82\%$). Dan prosentase indeks daerah *sacroiliac joints* pada bagian kanan $49,75 \pm 4,95\%$ (nilai terendah $37,46\%$ dan tertinggi $58,85\%$), sedangkan pada bagian kiri $50,25 \pm 4,95\%$ (nilai terendah $41,15\%$ dan tertinggi $62,54\%$).
3. Diperoleh hubungan antara nilai PSA (*prostate serum antigen*) dengan *uptake* didaerah *sacroiliac joints* pada bagian kanan sebesar $r = 0,6070$ dengan persamaan linier $Y = 0,0007X + 0,3917$ dan pada bagian kiri sebesar $r = 0,4834$ dengan persamaan linier $Y = 0,0006X + 0,415$. Sedangkan didaerah lutut pada bagian kanan sebesar $r = 0,1212$ dengan persamaan linier $Y = 0,0001X + 0,757$ dan pada bagian kiri sebesar $r = 0,0736$ dengan persamaan linier $Y = 9,5097E^{-5}X + 0,7527$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam menyelesaikan penelitian ini penulis sadar ada banyak pihak yang telah rela untuk membantu, membimbing dan memberikan nasihat serta dukungan. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Allah Bapa, Yesus Kristus dan Roh Kudus yang selalu memimpin dan memberkati penulis sehingga dapat menyelesaikan penelitian ini dengan tepat waktu dengan sebatas pengetahuan dan kemampuan yang dimiliki.
 2. Kedua orang tua tercinta (Ayahanda D. Saragih dan Ibunda C. Sihotang), Abang (H.P. Ventin Saragih) dan adik – adik (Desy R. Saragih dan Sela A. Saragih) yang luar biasa hebat yang senantiasa memberi semangat, doa restu serta dukungan baik secara spiritual dan materi.
 3. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Budi Santoso, M.Sc.APU. selaku pembimbing I dan bapak dr.Fadil Nazir, Sp.KN. selaku pembimbing II sekaligus pembimbing lapangan yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk membina penulis dalam penelitian ini.
 4. Seluruh instruktur dan keluarga besar instalasi radionuklir Rumah Sakit Pusat Angkatan Darat Gatoet Soebroto Jl. Dr. Abdul Rahman Saleh No.24, RT.10/RW.5, Senen, Kota Jakarta Pusat, Daerah khusus ibukota Jakarta 10410. Yang sudah memeberikan izin dalam pengambilan data.
 5. Abang Alekson Siallagan, Abang Daniel Sitio, Kak V. Megawati Simarmata (Harmoni Central Busway Group) yang selalu mengayomi selama penelitian ini di Jakarta.
 6. Bapak Amril Mukmin (a.k.a. Anis) sebagai teman tukar pikiran dalam peneneitian dan pengambilan data.
 7. Seluruh dosen dan staf Universitas Nasional yang telah banyak memberikan bimbingan dan pengarahan kepada penulis, baik selama dibangku kuliah hingga terselesaikannya penelitian ini.
 8. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu untuk membantu dan mendukung penulis sehingga terselesainya penelitian ini.
- DAFTAR PUSTAKA**
- [1] Stamey TA, Caldwell M, McNeal JE, Nolley R, Hemenez M and Downs J. 2004. *The prostate specific antigen era in the United States is over for prostate cancer: what happened in the last 20 years?* J Urol; 172: 1297-1301.
 - [2] Oehr P and Bouchelouche K. 2007. Imaging of prostate cancer. *Curr Opin Oncol*; 19: 259-264.
 - [3] Gottschalk, A. 1979. *Diagnotic Nuclear Medicine Volume I*. Williams & Wilkins: England.
 - [4] Suryanti, R. 2011. *Penentuan Dosis Internal Berbagai Organ Pada Pemeriksaan Bone Scan ^{99m}Tc-MDP dengan metode MIRD*. Tesis Magister Fisika Kekhususan Fisika Medik. Universitas Indonesia. Depok.
 - [5] Barozi, R dan Kartawiguna, D. 2015. *Radiologi Kedokteran Nuklir dan Radioterapi*. Jakarta: Graha Ilmu.
 - [6] Adang, H.G., Hotman, M.L., Awaludin, R., dan Sulaeman. 2005. *Pengaruh Pencucian Larutan NaOCl dan Penambahan Kolom Kedua Alumina Terhadap Yield dan Lolosan Mo-99 dari Generator Mo-99/Tc-99m Berbasis PZC*. Tangerang. Jurnal BATAN.
 - [7] Saptiama, I., Herlina, Sriyono, Sarmini, E. Abidin, Kadarisman. 2016. *Pembuatan Radionuklida Molibdenum-99 (⁹⁹Mo) Hasil Aktivitasi Neutron Dari Molibdenum Alam Untuk Memperoleh Teknesium-99m (^{99m}Tc)*. Tangerang. Jurnal BATAN.
 - [8] Rohadi, A., Hotman, L., Sriyono, Abidin, Herlina, Hardi, A.G., Sugiharto, Y., Tanase, m., Genka, T. 2012. *Ekstraksi Teknesium-99m Dari Larutan Molibdenum Skala Besar*. Tangerang. Jurnal BATAN.
 - [9] Eckerman, K, Harrison, J, Menzel, H.G, and Clement, C.H. 2012. *Annal of the ICRP - Compendium of Dose Coefficients Based on ICRP Publication 60*. ICRP. Page 33.
 - [10] BATAN, 2009. *Pedoman Keselamatan dan Proteksi Radiasi Kawasan Nuklir Serpong*. Badan Tenaga Nuklir Nasional. Serpong, Indonesia.
 - [11] ICRP Publication No. 53, 1988. *Radiation Dose to Patient from Radiopharmaceuticals*. Oxford.

PA10

**PENERAPAN OPTIMISASI PROTEKSI RADIASI DALAM KEGIATAN PRAKTIKUM PELATIHAN:
KAJIAN PEMBATAS DOSIS BAGI PESERTA PELATIHAN****Indragini¹, S. Wiyuniati²***Pusat Pendidikan dan Pelatihan, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta 12440*e-mail: indragini@batan.go.id, swiyuni@batan.go.id**ABSTRAK**

Dalam upaya menerapkan prinsip optimisasi proteksi radiasi yang diamanatkan dalam Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Sumber Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif serta Peraturan Kepala BAPETEN No. 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir pada kegiatan Pelatihan, Pusdiklat BATAN telah melakukan kajian pembatas dosis bagi peserta pelatihan. Pembatas dosis berlaku untuk kegiatan praktikum yang memanfaatkan sumber radiasi pengion. Kajian pembatas dosis didasarkan pada hasil evaluasi dosis menggunakan dosimeter saku terkalibrasi yang diterima peserta pada periode pelatihan tahun 2011-2018 dengan jumlah populasi 2188 peserta. Dosis maksimum yang diperoleh peserta pelatihan adalah 26,0 μSv dengan rerata 3,3 μSv dan simpangan baku 2,5 μSv . Dengan menggunakan nilai 2 kali simpangan baku, untuk kegiatan praktikum selama 13 Jam Pelajaran, pembatas dosis bagi peserta pelatihan sebesar 31,0 μSv .

Kata kunci: pembatas dosis peserta pelatihan, prinsip proteksi radiasi, penerapan optimisasi proteksi radiasi.

ABSTRACT

To implement radiation protection optimization mandated in Government Regulation No. 33/2007: Safety of Ionizing Radiation and Security of Radioactive Sources and BAPETEN Chairman Regulation No. 4/ 2013: Radiation Protection and Safety of Nuclear Energy Utilization, Center for Education and Training of Indonesia National Nuclear Energy Agency (Pusdiklat BATAN) assessed radiation dose constraint for trainees. Dose constraint will be implemented during activities that utilize ionizing radiation sources. The radiation dose constraint assessment was based on dose evaluation using a calibrated pocket dosimeter received by trainees during training period from 2011 to 2018 and number of population covered 2188 trainees. The maximum radiation dose obtained by trainees was 26.0 μSv with mean radiation dose of 3.3 μSv and standard deviation of 2.5 μSv . Using standard deviation of 2, it is proposed, for practical exercise duration of 13 learning hours, dose constraint for trainees is 31.0 μSv .

Keywords: dose constraint for trainees, radiation protection principles, radiation protection optimization implementation.

PENDAHULUAN

Pusat Pendidikan dan Pelatihan Badan Tenaga Nuklir Nasional (Pusdiklat BATAN) merupakan salah satu lembaga penyelenggara pelatihan kenukliran yang telah mendapat penunjukkan dari Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) berdasarkan SK BAPETEN No. 1238/K/XII/2015. Pelatihan yang diselenggarakan oleh Pusdiklat BATAN mencakup Pelatihan Kenukliran untuk Pegawai BATAN dan Pelatihan Kenukliran untuk kalangan industri, medik, universitas dan instansi lain baik dari pemerintahan, BUMN maupun swasta. Jenis Pelatihan berulang yang dominan diselenggarakan oleh Pusdiklat BATAN adalah Pelatihan Keselamatan Radiasi bagi Calon Petugas Proteksi Radiasi Bidang Industri dan Medik, Pelatihan Radiografer Tingkat I dan Pelatihan Radiografer Tingkat II.

Sebagai institusi yang menyelenggarakan pelatihan dengan memanfaatkan sumber radiasi pengion dalam kegiatannya, Pusdiklat BATAN memiliki kewajiban untuk menjalankan amanat Undang-undang No. 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran. Dalam pasal 16 ayat 1 dinyatakan bahwa setiap kegiatan yang berkaitan dengan pemanfaatan tenaga nuklir wajib memperhatikan keselamatan, keamanan, dan ketenteraman, kesehatan pekerja dan anggota masyarakat, serta perlindungan terhadap lingkungan hidup [1]. Untuk menjamin terlaksananya keselamatan radiasi bagi pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup maka setiap orang atau badan yang akan memanfaatkan Tenaga Nuklir wajib memenuhi persyaratan Keselamatan Radiasi dan memiliki izin Pemanfaatan Tenaga Nuklir, seperti tercantum dalam Peraturan Pemerintah No 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif [2].

Persyaratan keselamatan radiasi meliputi persyaratan manajemen, persyaratan proteksi radiasi, persyaratan teknik dan verifikasi keselamatan yang harus didokumentasikan dalam dokumen jaminan mutu. Dalam upaya menjamin pelaksanaan kegiatan proteksi dan keselamatan radiasi yang memenuhi persyaratan dalam Peraturan Perundangan dan Badan Pengawas, maka Pemegang Izin bertanggung jawab untuk mengatur dan menerapkan semua tindakan yang diperlukan, baik secara teknis maupun organisasi [3]. Sumber daya yang disediakan disesuaikan dengan kegiatan dan sumber radiasi pengion yang tertulis dalam izin pemanfaatan. Oleh karena itu Pusdiklat BATAN menerapkan Sistem Manajemen Mutu (SMM) yang mengacu ISO

9001:2015 dan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) dalam seluruh kegiatan pelatihannya.

Lebih lanjut, dalam menerapkan persyaratan proteksi radiasi, Pemegang Izin harus memperhatikan prinsip proteksi radiasi, yaitu justifikasi, optimisasi dan limitasi. Justifikasi didasarkan pada asas bahwa dalam kegiatan pemanfaatan sumber radiasi pengion, manfaat yang akan diperoleh harus lebih besar daripada risiko yang ditimbulkan. Agar optimisasi proteksi radiasi terlaksana, Pemegang Izin harus meyakinkan semua faktor yang terkait pada penyinaran telah dipertimbangkan [1]. Sedangkan limitasi dosis wajib ditetapkan oleh Pemerintah melalui Badan Pengawas dan Pemegang Izin wajib menerapkan limitasi dosis melalui penerapan Nilai Batas Dosis (NBD).

Salah satu penerapan prinsip optimisasi proteksi radiasi oleh Pemegang Izin adalah penetapan pembatas dosis radiasi yang selanjutnya disebut sebagai pembatas dosis. Pembatas dosis diterapkan berdasarkan prinsip ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*), bahwa dosis yang diterima oleh pekerja dan masyarakat harus serendah mungkin yang dapat dicapai dengan memperhitungkan faktor ekonomi dan sosial [2]. Hal ini sesuai dengan pernyataan pada pasal 34 Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif. Penetapan pembatas dosis dilaksanakan oleh Pemegang Izin dan disetujui oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN).

Dalam upaya menerapkan prinsip optimisasi untuk pekerja radiasi, Pusdiklat BATAN telah menetapkan pembatas dosis sejak tahun 2008 sebesar 10 mSv per tahun dengan asumsi beban kerja pengoperasian sumber radiasi pengion di Pusdiklat BATAN adalah 1000 jam. Pusdiklat BATAN juga telah melakukan kaji ulang terhadap pembatas dosisnya pada tahun 2015 berdasarkan kajian evaluasi dosis pekerja periode 2007-2015 ditetapkan pembatas dosis sebesar 4 mSv dengan beban kerja tetap 1000 jam [4]. Selanjutnya pembatas dosis untuk pekerja radiasi dapat digunakan untuk menetapkan pembatas dosis bagi peserta pelatihan selama mengikuti kegiatan praktikum di Pusdiklat BATAN.

Agar prinsip ALARA dalam penerapan optimisasi proteksi radiasi tetap terpenuhi, maka perlu dilakukan kaji ulang secara periodik. Oleh karena itu penting dilakukan kajian pembatas dosis untuk peserta pelatihan di Pusdiklat BATAN, yang sebelumnya diturunkan dari pembatas dosis pekerja radiasi diubah

menjadi berdasarkan pada data penerimaan dosis peserta pelatihan yang dipantau selama praktikum. Kajian ini penting dilakukan untuk memverifikasi nilai pembatas dosis dengan kondisi yang sebenarnya.

METODE / METODOLOGI

Alat ukur radiasi yang digunakan untuk pemantauan dosis peserta pelatihan adalah dosimeter saku merk Aloka Tipe PDM 112 atau PDM 122. Kedua tipe dosimeter saku tersebut menggunakan detektor semi konduktor dan dapat mengukur radiasi gamma dan X-ray mulai dari energi 40 keV. Rentang dosis yang dapat diukur $1\mu\text{Sv} - 10\text{ mSv}$. Perbedaan antara kedua dosimeter tersebut adalah dosimeter saku Tipe PDM 122 dapat digunakan untuk mengukur laju dosis. Fasilitas tersebut tidak dimiliki oleh Tipe PDM

112 [5]. Gambar 1. Berikut memperlihatkan tipe dosimeter saku yang digunakan oleh peserta pelatihan:



Gambar 1. Dosimeter saku tipe PDM 112 (a) dan PDM 122 (b)^[5]

Dosimeter saku yang digunakan untuk memantau dosis peserta pelatihan selama praktikum, merupakan dosimeter yang telah dikalibrasi oleh Laboratorium Dosimetri Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR) BATAN. Kalibrasi dilakukan secara periodik satu tahun sekali. Dalam kegiatan praktikum, pemantauan dan pencatatan dosis peserta pelatihan dilakukan oleh seorang Petugas Proteksi Radiasi (PPR). Selanjutnya PPR menginformasikan penerimaan dosis tersebut kepada peserta pelatihan dan melaporkan kepada Kepala Subbidang Sarana dan Prasarana Diklat selaku pengelola kegiatan pemanfaatan sumber radiasi pengion di Pusdiklat BATAN.

Kaji ulang pembatas dosis bagi peserta pelatihan dilaksanakan berdasarkan hasil penerimaan dosis maksimum peserta pelatihan selama periode pelatihan tahun 2010-2018 dengan jumlah populasi sebanyak 2188

peserta. Peserta Pelatihan merupakan peserta yang mengikuti kegiatan Pelatihan yang dikelompokkan menjadi 6 kelompok besar berdasarkan durasi kegiatan praktikum, dan distribusi populasi berdasarkan jenis pelatihan tercantum dalam Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Distribusi populasi berdasarkan pelatihan

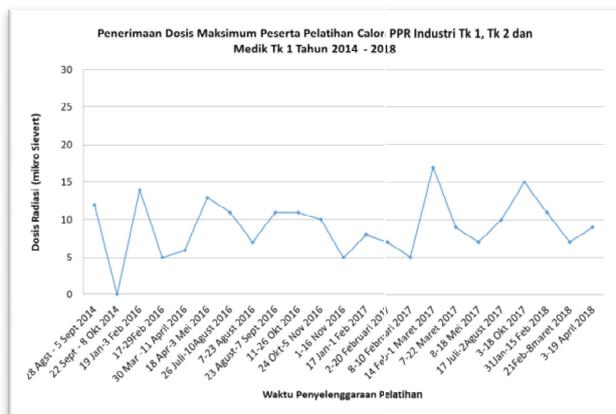
No.	Nama Pelatihan	Durasi Praktikum (JP)	Jumlah Populasi (Peserta)
1	Pelatihan Calon PPR Bidang Industri Tk 1, Tk 2 dan Medik Tk 1	22	601
2	Pelatihan Calon PPR Bidang Industri Tk 3	15	305
3	Pelatihan Calon PPR Bidang Medik Tk 2	9	284
4	Pelatihan Radiografer Tingkat I	12	449
5	Pelatihan Radiografer Tingkat II	20	248
6	Pelatihan lainnya (KBR Brimob)	13	301
Total			2188

Simpangan baku Populasi dihitung menggunakan Microsoft Excel 2010.

HASIL DAN PEMBAHASAN

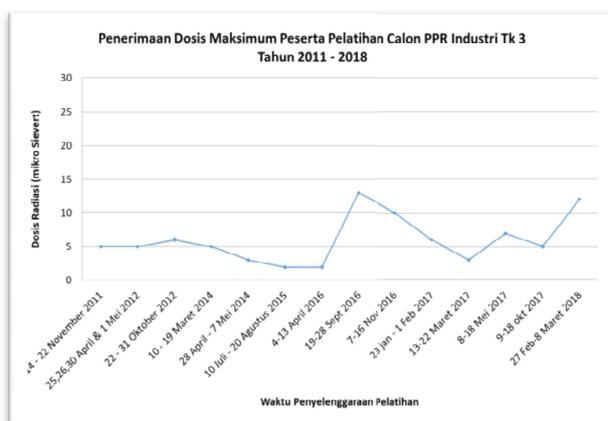
Dari seluruh data penerimaan dosis peserta pelatihan pada 6 kelompok pelatihan, diperoleh dosis total sebesar $7.284\ \mu\text{Sv}$ dengan populasi sebanyak

2188 peserta. Dengan demikian, maka dosis rerata penerimaan dosis peserta pelatihan adalah $3,3 \mu\text{Sv}$ dengan simpangan baku sebesar $2,5 \mu\text{Sv}$. Sedangkan

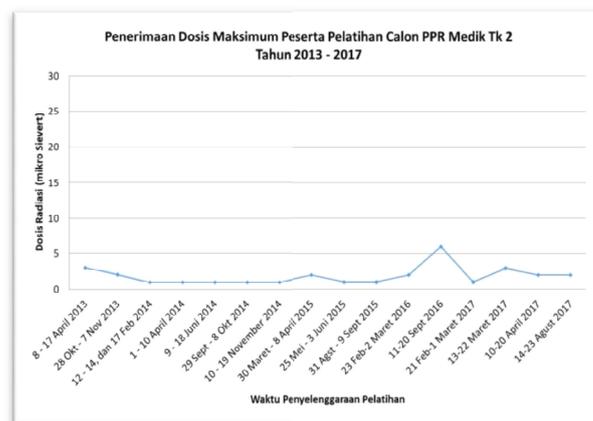


untuk penerimaan dosismaksimum peserta dapat dilihat pada Gambar berikut:

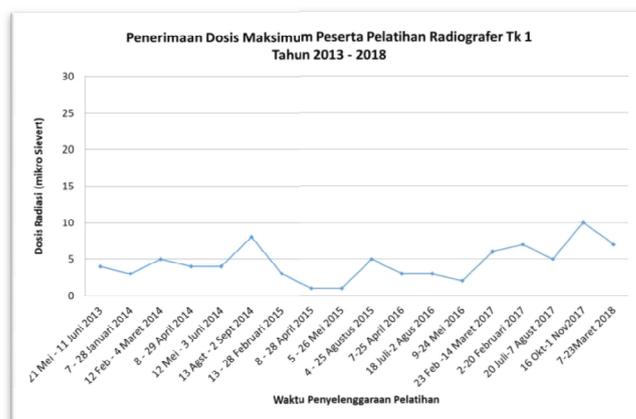
Gambar 2. Dosis maksimum Peserta Pelatihan Calon PPR Industri Tk 1, Tk 2 dan Medik Tk 1 tahun 2014-2018



Gambar 3. Dosis maksimum Peserta Pelatihan Calon PPR Industri Tk 3 tahun 2011-2018



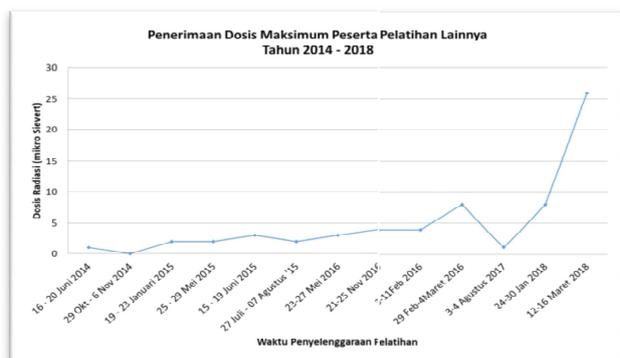
Gambar 4. Dosis maksimum Peserta Pelatihan Calon PPR Medik Tk 2 tahun 2013-2017



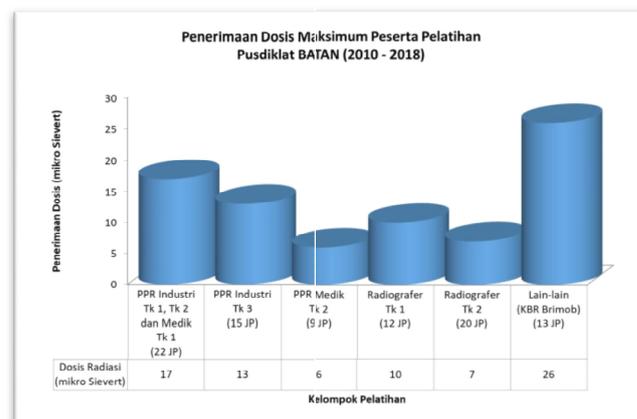
Gambar 5. Dosis maksimum Peserta Pelatihan Radiografer Tk 1 tahun 2013-2018



Gambar 6. Dosis maksimum Peserta Pelatihan Radiografer Tk 2 tahun 2010-2017



Gambar 7. Dosis maksimum Peserta Pelatihan Lainnya tahun 2014-2018



Gambar 8. Penerimaan Dosis maksimum Peserta Pelatihan tahun 2010-2018

Dari data di atas, maka dapat diketahui penerimaan dosis maksimum pada masing-masing kelompok pelatihan, seperti tercantum dalam Tabel 2 dan Gambar 8 berikut ini:

Tabel 2. Penerimaan dosis maksimum peserta pelatihan pada masing-masing kelompok pelatihan

No.	Nama Pelatihan	Penerimaan Dosis Maksimum (mikro Sievert)
1	Pelatihan Calon PPR Bidang Industri Tk 1, Tk 2 dan Medik Tk 1	17
2	Pelatihan Calon PPR Bidang Industri Tk 3	13
3	Pelatihan Calon PPR Bidang Medik Tk 2	6
4	Pelatihan Radiografer Tingkat I	10
5	Pelatihan Radiografer Tingkat II	7
6	Pelatihan lainnya (KBR Brimob)	26

Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa penerimaan dosis maksimum peserta adalah 26 μSv , yang diperoleh pada Pelatihan Proteksi Radiasi bagi Personel KBR Brimob dengan durasi Praktikum 13 JP (1 JP setara dengan 60 menit). Data juga menunjukkan bahwa besarnya dosis maksimum yang diterima peserta pelatihan tidak hanya dipengaruhi oleh durasi kegiatan praktikum saja, tetapi ada faktor lain yang harus diperhatikan. Oleh karena itu perlu dikaji lebih mendalam, dengan melihat kurikulum pelatihan dan skenario pelaksanaan praktikum yang terangkum dalam rencana pembelajaran. Dari hasil kajian kurikulum dapat diketahui bahwa jenis praktikum pada setiap pelatihan tidak sama dan memberikan andil terhadap penerimaan dosis peserta. Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa penerimaan dosis peserta Pelatihan Calon PPR Bidang Medik Tk 2 dan Pelatihan Radiografer Tingkat II relatif lebih rendah dibanding dengan jenis pelatihan lainnya, hal ini disebabkan karena pada kurikulum kedua pelatihan tersebut tidak terdapat Praktikum Penanggulangan Keadaan Darurat (PKD). Praktikum PKD memberikan kontribusi terbesar dalam penerimaan dosis peserta pelatihan. Hal ini sesuai dengan dokumen rencana pembelajaran yang menyatakan bahwa peserta pelatihan melakukan simulasi kegiatan PKD. Skenario PKD disesuaikan dengan potensi kedaruratan yang mungkin terjadi sesuai dengan bidang kerjanya di bawah pengawasan Pembimbing, Asisten dan PPR. Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa penerimaan dosis terbesar adalah peserta pelatihan bagi Personel Kimia, Biologi dan Radioaktif Brigade Mobil Kepolisian Republik Indonesia (KBR Brimob POLRI), sesuai dengan skenario PKD pada pelatihan yaitu penanganan penyalahgunaan zat radioaktif berupa *Radioactive Dispersal Device* (RDD) dan *Radiation Exposure Device* (RED). Pada Praktikum PKD bagi KBR Brimob POLRI menggunakan

skenario yang lebih kompleks dibandingkan dengan praktikum PKD pada pelatihan yang lain. Oleh karena itu dokumen rencana pembelajaran untuk praktikum yang menggunakan sumber radiasi pengion harus memperhitungkan pembatas dosis bagi peserta pelatihan, sehingga penetapan pembatas dosis menjadi sangat penting.

Dari kajian hasil pemantauan dosis peserta pelatihan selama kegiatan praktikum, penetapan pembatas dosis dengan mempertimbangkan penerimaan dosis maksimum ditambah dengan 2 kali nilai simpangan baku populasi. Faktor yang diperhatikan dalam penggunaan 2 kali simpangan baku adalah adanya ketidakpastian pengukuran yang berasal dari dosimeter saku yang digunakan dan variasi data penerimaan dosis peserta pelatihan. Dari pengolahan data diperoleh penerimaan dosis maksimum peserta sebesar 26,0 μSv dengan simpangan baku 2,5 μSv . Oleh karena itu dihasilkan nilai pembatas dosis untuk peserta pelatihan sebesar 31 μSv untuk durasi praktikum 13 JP. Sedangkan pembatas dosis untuk peserta pelatihan yang diturunkan dari dosis pekerja radiasi di Pusdiklat BATAN sebesar 4 mSv dengan beban kerja 1000 jam per tahun, diperoleh pembatas dosis untuk 13 JP sebesar 52 μSv . Jika dibandingkan nilai pembatas dosis dari kedua metode tersebut, hasil pemantauan dosis dan penurunan dari pembatas dosis pekerja radiasi, maka pembatas dosis berdasarkan pemantauan dosis peserta pelatihan menghasilkan nilai yang lebih kecil. Oleh karena itu Pusdiklat BATAN dapat menurunkan nilai pembatas dosis bagi peserta pelatihan menjadi 31 μSv sebagai upaya peningkatan penerapan prinsip optimisasi proteksi radiasi dalam kegiatan pelatihannya.

KESIMPULAN

Nilai pembatas dosis merupakan cerminan dari komitmen Pemegang Izin untuk menerapkan pengendalian bahaya dan menurunkan risiko dalam pemanfaatan sumber radiasi pengion melalui program proteksi dan keselamatan radiasi di fasilitas. Berdasarkan kajian dosis maksimum yang diterima peserta pelatihan dalam kegiatan praktikum di Pusdiklat BATAN, diperoleh nilai pembatas dosis bagi peserta pelatihan sebesar 31 μSv yang berlaku untuk durasi praktikum 13 JP.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih ditujukan kepada Kepala Pusdiklat BATAN dan KPTF Pusdiklat yang telah mendukung dalam penulisan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Undang-undang No. 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran
- [2] Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan-Sumber Radioaktif
- [3] IAEA Safety Standard Series No. GSR Part 3. (2014). Radiation Protection and Safety of Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: 34 dan 37, Vienna.
- [4] S. Wiyuniati dan Indragini (2015). Kajian Nilai Pembatas Dosis bagi Pekerja Radiasi di Pusdiklat BATAN. Widyauklida No.1: 46-51. Jakarta
- [5] Manual alat dosimeter saku merk Aloka Tipe PDM 112 dan PDM 122.

NO	Nama penanya	Kode Makalah	Nama Penyaji	Pertanyaan dan Jawaban
1.	M. Yusuf Santoso (Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, PPNS)	PA10	Indragini (PDL-BATAN)	<p>1. Apakah metode penetapan pembatas dosis pada pelatihan dapat diterapkan untuk kegiatan lain, misalnya kerja praktek?</p> <p>Jawab:</p> <p>1. Metode penetapan pembatas dosis beragam. Salah satunya dengan mengevaluasi hasil penerimaan dosis maksimum. Penetapan pembatas dosis juga harus memperhatikan NBD, misalnya utk kerja praktek usia 16 th dg 18 th berbeda. Pembatas dosis harus lebih kecil dari NBD dan mengacu pada durasi/waktu/beban kerja dan dilakukan kaji ulang secara berkala.</p>

PA11

ANALISIS UJI KORELASI KARAKTERISTIK PASIEN DENGAN DOSIS PERMUKAAN PADA PEMERIKSAAN CT ABDOMEN

Rini Marini^{1,2)}, Puji Hartoyo¹⁾ dan Hasnel Sofyan³⁾

¹⁾Universitas Nasional Jakarta

²⁾RSUD Kabupaten Karawang

³⁾Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi BATAN Jakarta

e-mail: rini.marini87@gmail.com

ABSTRAK

Dosis permukaan adalah nilai dosis radiasi yang diserap (mGy) oleh kulit yang dapat diukur menggunakan *thermoluminescence dosimetry* (TLD). Dosis permukaan menjadi pengukuran standar yang digunakan untuk membantu pengendalian kualitas dosis radiografi. Tujuan studi ini untuk mengetahui korelasi karakteristik pasien (indeks massa tubuh, umur, lingkaran pinggang dan rasio lingkaran pinggang-pinggul) terhadap dosis permukaan pasien pada pemeriksaan CT Abdomen. Desain penelitian deskriptif kuantitatif ini dilakukan di RSUD Kabupaten Karawang pada 30 pasien berusia 18 – 80 tahun, menggunakan pesawat CT Scan merk Siemens Samatom 128 slice. Faktor eksposi yang digunakan adalah sama untuk seluruh pasien yaitu sebesar 130 kV dan alat pengukur dosis radiasi TLD-100 (LiF:Mg,Ti) yang terkalibrasi. Analisis data menggunakan uji korelasi dan regresi linier. Dosis rata-rata yang diterima sebesar 34,83 mGy ± 7,33 mGy. Didapatkan hasil yang signifikan pada uji korelasi Pearson variabel Berat Badan ($r = -0,521$; $p\text{-value } 0,003$), IMT ($r = -0,598$; $p\text{-value } 0,0001$) dan uji korelasi Spearman's Rho pada Lingkaran Pinggang ($r = -0,505$; $p\text{-value } 0,004$) dengan persamaan regresi linier dosis permukaan = $60,369 - 1,070 \cdot \text{IMT}$. Didapatkan dosis rata-rata melebihi dari dosis yang direkomendasikan Bapeten yaitu sebesar 25 mGy. Korelasi signifikan antara Berat Badan, IMT dan Lingkaran Pinggang terhadap Dosis permukaan pada pemeriksaan CT Abdomen arah negatif, artinya semakin bertambah nilai Berat badan, IMT dan lingkaran pinggang pasien, maka akan berkorelasi semakin rendahnya dosis permukaan yang diterima pasien. Perlu pengendalian dan kontrol dosis radiasi.

Kata kunci: Dosis Permukaan, CT Abdomen, TLD-100, Uji korelasi

ABSTRACT

The Entrance surface dose is the value of the radiation dose absorbed (mGy) by the skin that can be measured using a thermoluminescence dosimetry (TLD). Entrance surface doses are used to assist in quality control of radiographic doses. The purpose of this study was to know the correlation of patient characteristics (Body Mass Index, Age, waist circumference and waist-hip ratio) to the patient's entrance surface dose on CT Abdominal examination. The design of this quantitative descriptive study was conducted at General Hospital Karawang District in 30 patients aged 18 - 80 years in CT Abdominal examination using CT Scan Siemens Samatom 128 slice. The same exposure factor used for all patients was 130 kV and radiation dose measuring devices of TLD-100 (LiF:Mg,Ti) which was calibrated. Data analysis using correlation test and linear regression. The result of measurement of average entrance surface dose value is 34.83 mGy ± 7.33 mGy. There were significant results on Pearson correlation test of Body Weight variable ($r = -0.521$; $p\text{-value } 0.003$), BMI ($r = -0.598$; $p\text{-value } 0.0001$) and Spearman's Rho correlation test on Waist Circle ($r = -0.505$; $p\text{-value } 0.004$) with linear regression = $60.369 - 1.070 \cdot \text{BMI}$. There was an average dose value of exceeding than Bapeten recommended of 25 mGy and a significant correlation between Weight, BMI and Waist Circumference to entrance surface dose on CT abdomen with negative direction that the increasing value of the waist circumference of the patient, it will correlate the lower surface dose received by patient. Need to control the radiation dose.

Key word : Entrance Skin Dose, CT Abdomen, TLD-100, Corellation Analysis

PENDAHULUAN

Menurut Badan PBB untuk Efek Radiasi Atom (*United Nations Scientific Committee on the*

Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR), paparan radiasi sinar-X pada pemeriksaan rutin radiologi diagnostik memberikan kontribusi terbesar dalam

penerimaan dosis radiasi pengion penduduk dunia [1]. Dan terlihat adanya perbedaan paparan radiasi yang penduduk di Negara maju dan Negara berkembang [2]. Berdasarkan rekomendasi Bapeten, dosis rata-rata yang diterima permukaan Abdomen pada pemeriksaan *computed tomography* (CT) Abdomen adalah sebesar 25 mGy [3].

Pemanfaatan sinar-X dalam pemeriksaan yang menggunakan dan tidak menggunakan CT untuk mendiagnosis berbagai penyakit memberikan hasil yang sederhana dan cepat [2]. Namun, besarnya dosis yang diterima pasien tidak diukur karena keterbatasan dosimeter yang sesuai. Dalam penelitian ini, pengukuran dosis pasien dilakukan sesuai dengan protokol yang dikembangkan pertama kali oleh Badan Tenaga Atom Internasional (*International Atomic Energy Agency*, IAEA) dengan menempelkan TLD *chip* langsung di permukaan tubuh pasien yang disebut juga sebagai *Entrance Surface Dose* (ESD). Pengukuran besarnya ESD pada pemeriksaan yang menggunakan CT sinar-X adalah penting [4], karena paparan radiasi sinar-X dalam pemeriksaan tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan pemeriksaan sinar-X biasa [5]. Dari penelitian Syarifat (2009) dengan variasi kVp dan variasi mAs masing-masing dengan nilai rata-rata sebesar 89kVp dan 76mAs, diperoleh dosis ESD sebesar 6,28 mGy [6]. Dosis rata-rata *multiple scan* yang diterima pada pemeriksaan Abdomen berdasarkan rekomendasi Bapeten bisa dilihat pada Tabel 1 [3].

Pemilihan dosimeter dalam dunia medis menjadi sangat penting, agar dapat mengetahui dosis yang diterima pasien secara akurat. Dalam penelitian ini, untuk menentukan tingkat penerimaan dosis pada pasien digunakan TLD-100 (LiF:Mg,Ti) *chip* Harshaw (*Thermo Fisher Scientific*) berukuran 3,2mm × 3,2mm × 0,9mm. TLD-100 merupakan salah satu TLD yang sangat sensitif yang telah mendominasi dalam aplikasi medis dan memiliki karakteristik bahan LiF (nomor atom efektif, $Z_{eff}=8,14$) relatif sama dengan Z_{eff} jaringan tubuh manusia ($Z_{eff}=7,4$) [7]. TLD-100 juga memiliki linieritas dosis yang baik dari 10^{-5} – 10 Gy, tidak dipengaruhi oleh laju dosis, TLD tidak mengalami saturasi, kecuali pada dosis yang tinggi, tidak memiliki efek *fogging*, dapat digunakan untuk periode yang lama dan cocok untuk mengukur dosis lingkungan.

Tabel 1. Referensi level dosis rata-rata

multiple scan [3]

No.	Jenis Pemeriksaan	Dosis rata-rata <i>multiple scan</i> (mGy)*
-----	-------------------	---

1	Kepala	50
2	Lumbal	35
3	Abdomen	25

*.Diperoleh dari ukuran sumbu perputaran pada phantom yang setara dengan air, panjang 15 cm dan 16 cm (kepala) dan 30 cm (lumbal dan abdomen) dalam diameter.

Kelemahan yang ada pada TLD secara umum adalah data pengukuran hanya dapat dibaca satu kali, artinya ketika TLD sudah terpapar radiasi dan dibaca dengan menggunakan TLD *reader*, hanya dapat dilakukan 1 kali, meskipun ada kemungkinan nantinya data yang didapatkan masih meragukan. Namun hal ini dapat diatasi dengan memperlakukan setiap TLD selama penelitian dengan perlakuan yang sama. Dalam penyimpanan, TLD harus dalam suhu kamar antara 21°C – 25°C, hal ini untuk menjaga keadaan mikroskopik dalam TLD.

Setiap jenis TLD memiliki efek *fading*, yang dapat diartikan sebagai proses kehilangan informasi yang tersimpan secara alami karena paparan suhu termal lingkungan TLD. Sebelum proses pembacaan tanggapan TLD setelah terpapar radiasi, TLD harus disimpan dalam suhu kamar selama ± 24 jam untuk menghilangkan elektron-elektron tidak stabil yang terperangkap pada perangkap dangkal.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan data dosis permukaan pada pasien selama pemeriksaan CT Abdomen, menganalisis korelasi karakteristik pasien (IndekMasa Tubuh, umur, lingk pinggang dan rasio lingk pinggang-pinggul) terhadap dosis permukaan pasien pada pemeriksaan CT Abdomen, dan mendapatkan estimasi faktor dominan dari karakteristik pasien terhadap dosis permukaan pada pemeriksaan CT Abdomen.

METODOLOGI PENELITIAN

Desain penelitian deskriptif kuantitatif ini dilakukan di RSUD Kabupaten Karawang, dilakukan pada 30 pasien berusia 18 – 80 tahun dengan menggunakan Pesawat CT Scan merk Siemens Samatom 128 *slice*. Faktor eksposi yang digunakan untuk seluruh pasien adalah sama yaitu sebesar 130 kV dan menggunakan alat pengukur dosis radiasi TLD-100 *chip* (LiF:Mg,Ti) Harshaw berukuran 3,2mm × 3,2mm × 0,9mm yang terkalibrasi. Proses kalibrasi TLD telah dilakukan pada permukaan phantom padat berukuran 30 x 30 x 15 cm yang ekivalen dengan jaringan tubuh, lapangan radiasi yang digunakan adalah 10 x 10 cm dengan kualitas berkas bisa mewakili kualitas radiasi pada aplikasi klinik. Sumber radiasi yang digunakan adalah Cs-137 dengan dosis 5 mSv. Setiap akan mengukur dosis CT

Abdomen, TLD-100 harus diannealing menggunakan *furnace* pada temperatur 400°C selama 1 jam dan setelah dingin dilanjutkan menggunakan oven pada temperatur 200°C selama 1 jam. Mengingat adanya efek dari laju pendinginan setelah pemanasan 400°C [10] dapat berpengaruh pada kurva pancar, maka proses pendinginan dilakukan secara alami.

Penelitian ini mengukur Indeks Massa Tubuh dengan mencari nilai berat badan dan tinggi badan pasien, serta mengukur lingkaran pinggang dan lingkaran pinggul, serta umur pasien yang akan dilakukan pemeriksaan CT Abdomen. Pengukuran dosis permukaan dilakukan pada satu titik yaitu dengan menempelkan TLD-100 (LiF:Mg,Ti) di atas umbilikus. Setelah pemeriksaan CT Abdomen selesai, TLD yang sudah digunakan dilepas dan dilakukan pembacaan tanggapan menggunakan TLD *reader* Harshaw model 3500 di PTKMR Batan Kawasan Nuklir Pasar Jumat, Jakarta Selatan.

Analisis data menggunakan uji korelasi dan regresi linier. Data yang akan dianalisis dalam penelitian ini adalah data karakteristik pasien dan dosis permukaan.

Analisis variabel penelitian yang digunakan terdiri atas [8]:

1. **Analisis Univariat** adalah analisis terhadap satu variabel. Analisis ini menjelaskan secara deskriptif variabel yang diteliti dengan mendapatkan hasil data berupa distribusi/frekuensi, nilai *Mean*, Median, Normalitas sebaran data dari masing-masing variabel.
2. **Analisis Bivariat** akan melakukan analisis terhadap dua variabel secara simultan. Analisis ini menjelaskan pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat. Apabila hasil sebaran data berdistribusi normal, maka uji korelasinya menggunakan metode *Pearson Product Moment*. Bila distribusi data nya tidak normal maka menggunakan metode *Spearman Rho*. Sebelum kedua uji tersebut dilakukan, diidentifikasi terlebih dahulu apakah syarat linieritas terpenuhi dengan membuat grafik *scatter*. Bila syarat linieritas terpenuhi, maka peneliti dapat menggunakan analisis korelasi.
3. **Analisis Multivariat**. Analisis ini digunakan terhadap tiga atau banyak variabel bebas dengan suatu variabel terikat secara simultan. Terdapat dua analisis multivariat yang sering digunakan dalam penelitian kedokteran dan kesehatan, yaitu analisis regresi logistik dan analisis regresi linier. Pemilihan analisis tersebut ditentukan oleh skala pengukuran variabel terikatnya.

Panduan interpretasi hasil uji hipotesis[9] berdasarkan kekuatan korelasi, arah korelasi, nilai *p-value* dan klinis bisa dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Panduan interpretasi hasil uji hipotesis[9]

Parameter	Nilai	Interpretasi
Kekuatan korelasi secara statistik	0,0 –< 0,2	Sangat lemah
	0,2 –< 0,4	Lemah
	0,4 –< 0,6	Sedang
	0,6 –< 0,8	Kuat
	0,8 –< 1,0	Sangat kuat
Arah korelasi	Positif	Semakin tinggi variabel A, semakin tinggi variabel B
	Negatif	Semakin tinggi variabel A, semakin rendah variabel B
Nilai p	Nilai	Korelasi tidak bermakna
	$p > 0,05$	
	Nilai	Korelasi bermakna
	$P < 0,05$	

Nilai Probabilitas (p-value) [9]

Nilai p atau *p-value* adalah besarnya nilai probabilitas yang dihasilkan dari konversi nilai statistik dari hasil penelitian dalam kondisi hipotesis nol diterima. Berapapun *p-value* nya hipotesis nol selalu diterima selama *p-value* tersebut lebih besar daripada batas penerimaan terhadap hipotesis nol. Nilai statistik adalah nilai yang dihitung oleh semua uji statistik pada hasil penelitian yang menggambarkan posisi hasil penelitian terhadap kurva normal. Nilai statistik ini akan dikonversi kedalam nilai probabilitas (*p-value*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Dosis Permukaan yang diterima 30 pasien pada pemeriksaan CT Abdomen dapat dilihat pada Gambar 1.

Berdasarkan pada Gambar 1, hasil dosis permukaan (*Entrance Surface Dose*) pada pemeriksaan CT Abdomen, hasilnya beragam. Dosis terendah sebesar 19,94 mSv dan tertinggi sebesar 47,10 mSv dengan rata-rata dosis 34,83 mSv atau setara dengan 34,83 mGy. Hasil pengukuran dosis

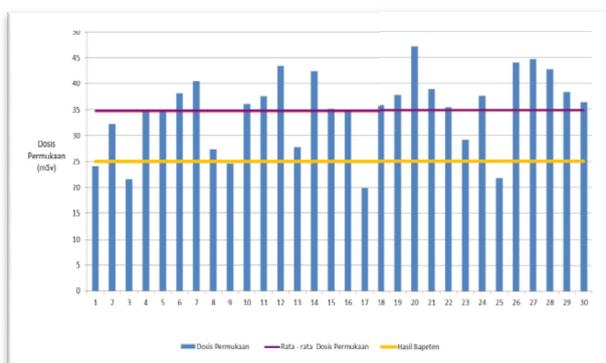
dengan mengalikan tanggapan TLD-100 yang telah dikurangi rata-rata *background* dengan faktor koreksi. Atau, dosis permukaan dapat juga dihitung dengan memasukan tanggapan TLD-100 ke dalam persamaan garis yang diperoleh dari kurva kalibrasi TLD-100 yang digunakan. Satu titik pengukuran dosis permukaan menggunakan 1 paket TLD berisi 3 buah,

Hasil pengolahan data Univariat berdasarkan masing-masing variabel sebagai titik awal pencarian nilai korelasi bisa dilihat pada Tabel 3. Tabel

Tabel 3. Analisis univariat sebaran data variabel penelitian analisis uji korelasi karakteristik pasien dengan dosis permukaan pada pemeriksaan CT abdomen

Variabel	Min	Max	Rata-rata	SD	p (value) sebaran data
Berat Badan (kg)	34	80	59,5	10,351	0,944
Tinggi Badan (cm)	139,5	172,5	158,01	8,78	0,283
IMT (Indek Massa Tubuh)	16,7	32	23,86	4,095	0,481
Umur (tahun)	24	74	49,17	12,075	0,125
Lingkar Pinggang (cm)	69	126	84,8	11,345	0,003
Rasio Lingkar Pinggang- Lingkar Pinggul	0,813	1,045	0,9	0,06	0,135
Dosis Permukaan (mSv)	19,94	47,10	34,83	7,33	0,106

yang didapatkan melebihi dosis rata-rata rekomendasi yang dikeluarkan Perka Bapeten sebesar 25 Gy [3].



Gambar. 1. Hasil Dosis Permukaan pasien CT Abdomen

Cara perhitungan dosis permukaan dilakukan

3 menunjukkan Analisis Univariat pada variabel dosis permukaan didapatkan nilai terendah dosis sebesar 19,94 mSv dan tertinggi sebesar 47,10 mSv, dengan nilai rata-rata dosis permukaan: 34,83 mSv \pm 7,33 mSv. Uji normalitas sebaran data variabel dosis permukaan pada sampel penelitian ini menggunakan uji Shapiro-Wilk menunjukkan bahwa sebaran data dosis permukaan berdistribusi normal dengan nilai *p-value* = 0,106 (*p-value* > 0,05). Untuk hasil analisis univariat pada variabel berat badan didapatkan nilai terendah berat badan pasien sebesar 34 kg dan terberat sebesar 80 kg, dengan nilai rata-rata berat badan adalah 59,5 kg \pm 10,351 kg. Uji normalitas sebaran data variabel berat badan iniberdistribusi normal dengan nilai *p-value* = 0,944 (*p-value* > 0,05).

Pada variabel IMT didapatkan nilai terendah IMT sebesar 16,7 dan tertinggi sebesar 32, dengan

nilai rata-rata IMT sebesar $23,86 \pm 4,095$. Uji normalitas sebaran data variabel IMT berdistribusi normal dengan nilai $p\text{-value} = 0,481$ ($p\text{-value} > 0,05$).

Untuk perhitungan analisis univariat pada variabel umur didapatkan nilai terendah 24 tahun dan tertinggi sebesar 74 tahun, dengan rata-rata 49,17 tahun. Uji normalitas sebaran data variabel umur ini berdistribusi normal dengan nilai $p\text{-value} = 0,125$ ($p\text{-value} > 0,05$).

Pada variabel lingkaran pinggang Analisis Univariatnya didapatkan nilai terendah lingkaran pinggang sebesar 69 cm dan tertinggi sebesar 126 cm, dengan nilai rata-rata lingkaran pinggang sebesar 83,5 cm dan $\pm 11,345$ cm. Uji normalitas sebaran data variabel lingkaran pinggang ini berdistribusi tidak normal dengan nilai $p\text{-value} = 0,003$ ($p\text{-value} < 0,05$).

Hasil analisis univariat pada variabel rasio lingkaran pinggang-lingkaran pinggul didapatkan nilai terendah rasio lingkaran pinggang-lingkaran pinggul sebesar 0,813 dan tertinggi sebesar 1,045, dengan nilai rata-rata $0,9 \pm 0,06$. Uji normalitas sebaran data variabel rasio lingkaran pinggang-lingkaran pinggul ini berdistribusi normal dengan nilai $p\text{-value} = 0,135$ ($p\text{-value} > 0,05$).

Setelah didapatkan hasil uji univariat dari masing-masing variabel, selanjutnya dosis pengukuran (variabel terikat) di uji linier dengan variabel karakteristik (variabel bebas). Analisis Uji Linieritas Dosis Permukaan dengan variabel Karakteristik Pasien dapat dilihat pada Grafik scatter.

Grafik Scatter variabel bebas (berat badan, IMT, umur, lingkaran pinggang dan rasio lingkaran pinggang-lingkaran pinggul) terhadap variabel dependen dapat dilihat pada gambar grafik scatter.

Grafik Scatter Korelasi Berat Badan terhadap Dosis Permukaan.

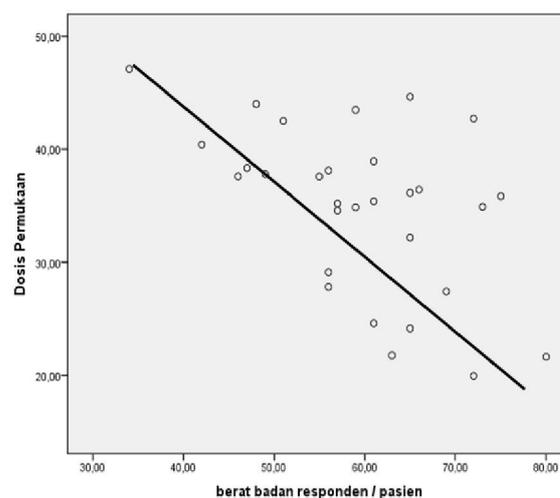
Hasil uji korelasi variabel berat badan terhadap dosis permukaan didapatkan korelasi yang signifikan terhadap dosis permukaan yang diterima oleh pasien dengan $p\text{-value} = 0,003$ dan nilai koefisien korelasi sebesar $-0,521$. Arah hubungan korelasinya bersifat negatif, artinya semakin bertambah nilai berat badan pasien, maka akan berkorelasi semakin rendahnya dosis permukaan yang diterima oleh pasien. Nilai koefisien korelasi sebesar $-0,521$ termasuk dalam kategori memiliki kekuatan korelasi yang

sedang. (Nilai korelasi $0,4 < 0,6$)

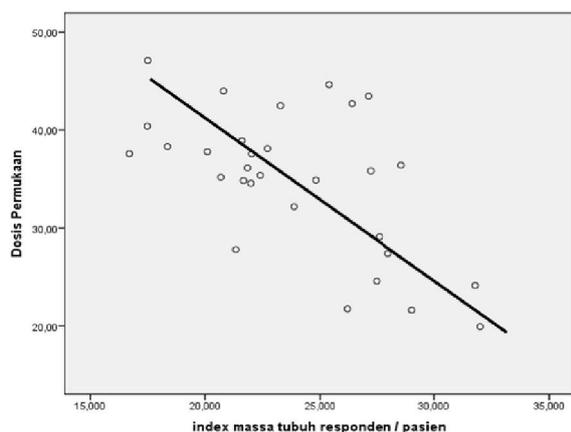
Pada Gambar 3 menunjukkan pola scatter berkorelasikan negatif, semakin bertambahnya berat badan maka akan berkorelasi semakin rendah dosis permukaan.

Grafik Scatter Korelasi IMT terhadap Dosis Permukaan

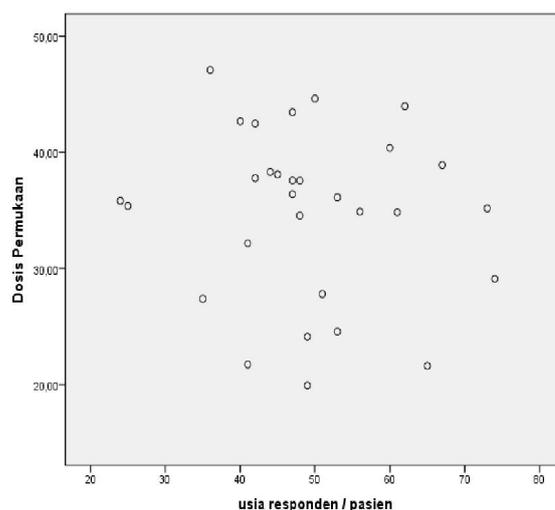
Setelah dilakukan uji korelasi variabel IMT terhadap dosis permukaan didapatkan hasil korelasi yang signifikan terhadap dosis permukaan yang diterima oleh pasien dengan $p\text{-value} = 0,0001$ dan nilai koefisien korelasi sebesar $-0,598$. Arah hubungan korelasinya bersifat negatif, artinya semakin bertambah nilai IMT pasien, maka akan berkorelasi semakin rendahnya dosis permukaan yang diterima oleh pasien. Nilai koefisien korelasi sebesar $-0,598$ termasuk dalam kategori memiliki kekuatan korelasi sedang ($0,4 < 0,6$). Pada Gambar 4 dapat dilihat diagram indeks massa tubuh terhadap dosis permukaan.



Gambar 3. Diagram scatter berat badan terhadap dosis permukaan



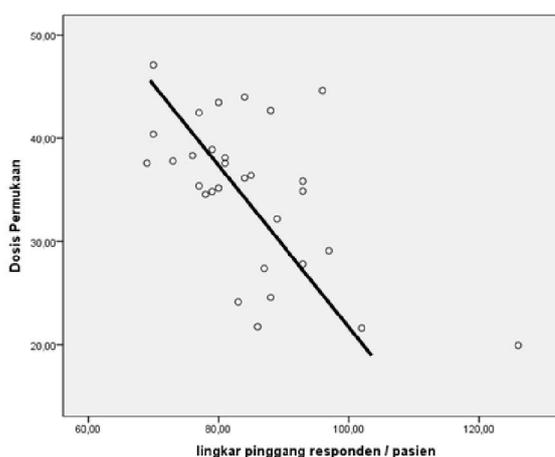
Gambar4. Diagram indekmasa tubuh terhadap dosis permukaan



Gambar5. Diagram scater umur terhadap dosis permukaan

Grafik Scater Korelasi Umur terhadap Dosis Permukaan

Variabel Umur terhadap dosis permukaan yang didapatkan hasil korelasi tidak signifikan terhadap dosis permukaan yang diterima oleh pasien dengan $p\text{-value} = 0,534$ dan nilai koefisien korelasi sebesar $-0,118$. Arah hubungan korelasinya bersifat negatif, artinya semakin bertambah nilai umur pasien, maka akan berkorelasi semakin rendahnya dosis permukaan yang diterima oleh pasien. Nilai koefisien korelasi sebesar $-0,118$ termasuk dalam kategori memiliki kekuatan korelasi yang sangat lemah (Gambar 5).(nilai korelasi $0,0 < 0,2$)



Gambar6. Diagram lingkarpinggang terhadap dosis permukaan.

Grafik ScaterKorelasi Lingkar Pinggang terhadap Dosis Permukaan

Untuk pengujian korelasi variabel lingkarpinggang terhadap dosis permukaan didapatkan hasil korelasi yang signifikan terhadap dosis permukaan yang diterima oleh pasien dengan $p\text{-value} = 0,004$ dan nilai koefisien korelasi sebesar $-0,505$. Arah hubungan korelasinya bersifat negatif, artinya semakin bertambah nilai lingkarpinggang pasien, maka akan berkorelasi semakin rendahnya dosis permukaan yang diterima oleh pasien. Nilai koefisien korelasi sebesar $-0,505$ termasuk dalam kategori memiliki kekuatan korelasi yang sedang (Gambar 6).(Nilai korelasi $0,4 < 0,6$)

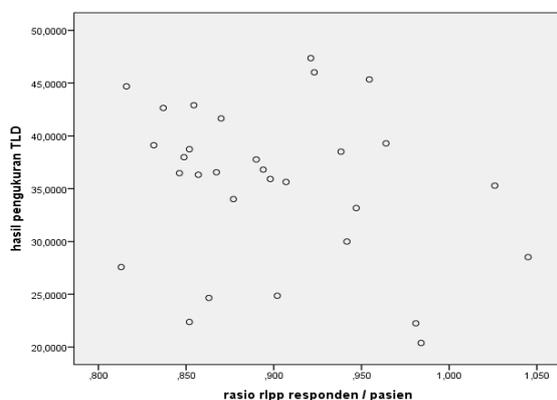
Grafik Scater Korelasi Rasio Lingkar Pinggang-Pinggul terhadap Dosis Permukaan

Untuk pengujian korelasi variabel rasio lingkarpinggang-lingkarpinggul terhadap dosis permukaan didapatkan hasil korelasi yang tidak signifikan terhadap dosis permukaan yang diterima oleh pasien dengan $p\text{-value} = 0,118$ dan nilai koefisien korelasi sebesar $-0,247$.Arah hubungan korelasinya bersifat negatif, artinya semakin bertambah nilai rasio lingkarpinggang-lingkarpinggul pasien, maka akan berkorelasi semakin rendahnya dosis permukaan yang diterima oleh pasien. Nilai koefisien korelasi sebesar $-0,247$ termasuk dalam kategori memiliki kekuatan korelasi lemah(nilai korelasi $0,2 < 0,4$).

Uji Linieritas

Setelah didapatkan hasil uji univariat dari masing-masing variabel, selanjutnya dosis pengukuran (variabel terikat) di uji linier dengan variabel karakteristik (variabel bebas).

Hasil pengecekan linieritas seperti pada Tabel 4, didapatkan bahwa variabel yang tidak memenuhi syarat linieritas yaitu: variabel tinggi badan, umur pasien dan variabel rasio lingk pinggang – lingk pinggul. Sehingga variabel tinggi badan, umur dan rasio lingk pinggang – lingk pinggul tidak dapat dilakukan uji korelasi terhadap variabel terikat (dosis permukaan).



Gambar7. Diagram scaterasio lingk pinggang-pinggul terhadap dosis permukaan

Tabel 4. Analisis uji linieritas dosis permukaan dengan variabel karakteristik pasien

Uji Linieritas Dosis Permukaan dengan variabel	Syarat Linieritas
Berat Badan	Terpenuhi
Tinggi Badan	Tidak Terpenuhi
IMT	Terpenuhi
Umur	Tidak Terpenuhi
Lingk Pinggang	Terpenuhi
Rasio Lingk Pinggang – Lingk Pinggul	Tidak Terpenuhi

Analisis Bivariat

Variabel terikat yang memenuhi syarat linieritas (variabel berat badan, IMT dan lingk pinggang).Selanjutnya dilakukan uji korelasi bivariat dengan menggunakan uji korelasi Pearson untuk yang berdistribusi sebaran datanya normal.Sedangkan untuk yang distribusi sebarandatanya tidak normal menggunakan uji korelasi *Spearman's Rho* (variabel lingk pinggang).

Tabel 5. Analisis uji korelasi karakteristik pasien dengan dosis permukaan pada pemeriksaan

CT Abdomen

Variabel	Koefisien Korelasi	p-value
Berat Badan	-0,521	0,003
IMT	-0,598	0,0001
Umur	-0,118	0,534
Lingk Pinggang*	-0,505	0,004
Rasio Lingk Pinggang-Lingk Pinggul	-0,247	0,188

Tabel 5 merupakan hasil dari korelasi antara karakteristik pasien yang terdiri dari berat badan, IMT, umur, lingk pinggang, lingk pinggul dan rasio lingk pinggang-pinggul dengan hasil dosis permukaan abdomen yang dilakukan pada pemeriksaan CT Abomen bahwa variabel yang paling berkorelasi adalah variabel IMT dengan nilai koefisien korelasi $-0,598$, sedangkan nilai koefisien korelasi yang terkecil adalah pada variabel umur dengan nilai koefisien korelasi $-0,118$.

Analisis Multivariat (Regresi Linier)

Analisis multivariat dengan menggunakan regresi linier dilakukan pada variabel independen yang signifikan berkorelasi (nilai $p\text{-value} < 0,05$). Kandidat variabel terikat yang akan dilakukan uji regresi linier yaitu: variabel berat badan, IMT dan lingk pinggang. Variabel yang berkorelasi kuat terhadap dosis

Tabel 6. Tabel uji multivariat regresi linier karakteristik pasien terhadap dosis permukaan

Model	Unstandardized Coefficients		t	Sig.	Collinearity Statistics		
	B	Std. Error			Tolerance	VIF	
1	(Constant)	68,024	8,390	8,108	0,000		
	berat badan	-0,024	0,180	-0,132	0,896	0,353	2,834
	indek massa tubuh	-0,615	0,477	-1,290	0,208	0,322	3,110
	lingkar pinggang	-0,202	0,150	-1,347	0,190	0,425	2,352
2	(Constant)	67,947	8,216	8,270	0,000		
	indek massa tubuh	-0,650	0,389	-1,674	0,106	0,467	2,143
	Lingkar pinggang	-0,208	0,140	-1,480	0,151	0,467	2,143
3	(Constant)	60,369	6,559	9,204	0,000		
	indek massa tubuh	-1,070	0,271	-3,949	0,001	1,000	1,000

a. Variabel terikat: Dosis Permukaan

permukaan pada uji multivariat.

Dari Tabel 6 dapat dijelaskan bahwa pada uji tahap (1) kandidat variabel yang akan diuji multivariat terdiri dari berat badan, IMT dan lingkar pinggang. Kemudian dari hasil uji tersebut, variabel yang memiliki *p-value* terbesar akan dikeluarkan pada tahap analisis selanjutnya. Pada tahap kesatu variabel yang memiliki *p-value* terbesar adalah variabel berat badan, sehingga variabel ini dikeluarkan pada analisis tahap (2), pada analisis tahap kedua variabel yang diuji terdiri dari variabel IMT dan lingkar pinggang. Kedua variabel yang bertahan diuji kembali pada tahapan berikutnya dan selanjutnya didapatkan tahap (3) yaitu model regresi linier yang paling fit / paling bermakna yaitu variabel IMT.

Hasil uji regresi linier dengan model *backward* didapatkan model akhir yang signifikan *p-value*= 0,001 yaitu: variabel IMT dengan Persamaan regresi linier dosis permukaan = $60,369 - 1,070 \cdot \text{IMT}$

KESIMPULAN

- 1) Nilai range dosis permukaan 30 pasien sebesar 19,94 mSv – 47,10 mSv, dengan rata-rata dosis permukaan $34,83 \text{ mSv} \pm 7,33 \text{ mSv}$. Dosis rata-

rata yang diterima pasien pada penelitian ini lebih tinggi 39,32 % bila dibandingkan dengan dosis rata-rata yang dikeluarkan Bapeten yaitu 25 mGy.

- 2) Terdapat korelasi signifikan pada variabel Berat badan, Indeks Massa Tubuh dan Lingkar Pinggang terhadap dosis permukaan dengan *p-value* = 0,003, 0,001 dan 0,003 Arah hubungan korelasinya bersifat negatif.
- 3) Variabel yang paling dominan terhadap dosis permukaan yaitu variabel Indeks Massa Tubuh (IMT) dengan nilai koefisien korelasi - 0,598. variabel IMT dengan Persamaan regresi linier dosis permukaan = $60,369 - 1,070 \cdot \text{IMT}$.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih diucapkan kepada Ketua Program Studi Jurusan Fisika, Fak. Teknik dan Sains Universitas Nasional Jakarta beserta staf. Dan kepada Kepala PTKMR BATAN yang telah memberikan izin dan kesempatan untuk melakukan penelitian serta Kepala Bidang Keselamatan Kerja Dosimetri (KKD) mengizinkan menggunakan fasilitas Lab. Dosimetri selama melakukan penelitian. Juga ucapan terima kasih kepada Kepala Instalasi Radiologi beserta staf Radiologi RSUD Karawang, Jawa Barat yang telah membantu dalam penelitian dan pengambilan data.

REFERENSI

- [1] UNSCEAR, (2010) Sources and Effects of ionizing radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly. United Nations.
- [2] Hiswara E, Kartikasari D, (2015). Dosis Pasien pada Pemeriksaan Rutin Sinar-X Radiologi Diagnostik PTKMR-BATAN. Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia 16(2):71-78.
- [3] Perka Bapeten 01-P/Ka-Bapeten/I-03 Tentang Pedoman Dosis Pasien Radiodiagnostik Tahun 2003
- [4] Takegami T, Hayashi H, Yamada K, et al (2017). Entrance surface dose measurements using a small OSL dosimeter with a computed tomography scanner having 320 rows of detectors, Radiol Phys Technol 10:49–59.
- [5] Mathews JD, Forsythe AV, Brady Z, et al. (2013). Cancer risk in 680,000 people exposed to computed tomography scans in childhood or adolescence: data linkage study of 11 million Australians. BMJ. 346:f2360
- [6] Sharifat, I. and Olarinoye, I. Oyeleke, (2009). Patient entrance skin doses at minna and ibadan for common diagnostic radiological examinations, Bajopas 2:1-5
- [7] Zoetelief J, Julius HW and Christensen P (2000), Recommendations for patient dosimetry in diagnostic radiology using TLD. Rep. EUR 19604, European Commission, Luxembourg 2000.
- [8] Swarjana I K. (2016). Statistik kesehatan. Yogyakarta.
- [9] Sopiudin Dahlan M (2010) Mendiagnosis Dan Menata laksana 13 penyakit statistik: Disertai aplikasi program strata. Jakarta.
- [10] Oster L, Druzhyna S, HorowitzYS.(2011). Cooling rate effects in the thermal and optical excitation of LiF:Mg,Ti, Radiat Meas 46:1406-1409

NO	Nama penanya	Kode Makalah	Nama Penyaji	Pertanyaan dan Jawaban
1.	Haendra Subekti (BAPETEN)	PA11	Rini Marini	<p>1. Dimana penelitian dilakukan ?</p> <p>2. Bagaimana hasil pengukuran dosisnya ?</p> <p>3. Bagaimana cara mengukur dosis permukaannya?</p> <p>4. Detektor apa yang dipakai?</p> <p>Jawab:</p> <p>1. Penelitian dilakukan di RSUD Karawang, Jawa Barat.</p> <p>2. Hasil dosis permukaan sebanyak 30 pasien hasilnya beragam dengan rata-rata 34,83 mSv, melebihi dari dosis rata-rata BAPETEN, tetapi masih dibawah normal European Guidelines.</p> <p>3. Cara pengukuran dosis dengan cara menempelkan TLD-100 pada umbilicus.</p> <p>4. Detektor TLD-100 merk Harshaw.</p>
2.	Yeni Cahyati, S.Si., M.Si. (STIKES Widya Cipta Husada)	PA11	Rini Marini	<p>1. Bagaimana cara mengetahui dosis yang ideal untuk diberikan kepada pasien?</p> <p>2. Saran: alangkah lebih baiknya jika hasil penelitian tersebut dapat diterapkan di RS, sebagai prosedur pemeriksaan CT-Scan Abdomen.</p> <p>Jawab:</p> <p>1. Cara mengetahui dosis yang ideal adalah dg cara mengetahui sumber radiasinya terlebih dahulu, kemudian teknik/mode pemeriksaannya lalu detector apa yg akan dipakai yg sesuai dengan kebutuhannya. Pada kajian ini, penulis menggunakan detector/alat ukur TLD-100 utk mengetahui dosis permukaan pada pasien CT-Abdomen</p> <p>2. Saran diterima.</p>

PA12

STATUS TERKINI PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN IRADIASI PANGAN DI INDONESIA

Rindy Panca Tanhindarto *)
 Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR)
 Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN)
 Jalan Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta 12440
 Telp: 021 7690709; Fax : 021 7691607
 Email : rindypt@batan.go.id; rindypt@yahoo.com

ABSTRAK

Pemerintah Indonesia telah memberikan ijin tentang penggunaan teknik iradiasi pangan untuk tujuan komersial. Teknologi ini telah dilegalisasi oleh Menteri Kesehatan No.: 701/MENKES/PER/VIII/ 2009 dan Undang Undang Pangan No.18 tahun 2012. Sumber iradiasi yang digunakan adalah sinar gamma yang berasal dari radioisotop ^{60}Co . Secara teknis sumber iradiasi dapat pula berasal dari mesin berkas elektron, akan tetapi pemanfaatannya masih terbatas, bahkan sampai saat ini belum diimplementasikan di Indonesia. Iradiasi pangan merupakan suatu paparan radiasi yang dikendalikan pada pangan oleh radiasi pengion, mampu menginaktifkan mikroorganisme secara signifikan tanpa mempengaruhi aspek kualitas pangan. Iradiasi pangan berpotensi mengurangi atau menghilangkan masalah kontaminasi mikroba dan mengurangi pangan karena pembusukan dan kerusakan. Dilaporkan bahwa sekitar 50 negara di seluruh dunia telah menerapkan iradiasi pangan sebagai sarana pengendali kontaminasi dan memperpanjang kesegaran pangan. Informasi kepada masyarakat tentang aplikasi teknologi iradiasi masih perlu dilaksanakan secara intensif, sehingga dapat lebih dimanfaatkan untuk beberapa keperluan, khususnya peningkatan keamanan dan ketahanan pangan, baik menggunakan radiasi dosis rendah, sedang maupun dosis tinggi.

Kata kunci : Irradiasi pengion, pengawetan pangan.

ABSTRACT

Indonesia government has approved the use irradiation technique for foodstuffs in commercial purposes. The technology has been legalized through a decree the Ministry of Health No.: 701/MENKES/PER/VIII/ 2009 and Food Law No. 18 in 2012. Source of its irradiation use is gamma ray coming from radioisotope ^{60}Co . Technically source of irradiation can also be generated from an electron beam machine, but the application is not yet applied in Indonesia. Food irradiation is a controlled exposure of food to ionizing radiation, capable of inactivating microorganisms without significantly impacting the quality aspect of foods. Food irradiation may potentially reduce or eliminate microbial contamination problems and reduce food due to spoilage and deterioration. It has been reported that about 50 countries worldwide have applied food irradiation as a mean of controlling contamination and prolonging the freshness of foods. Information to society about application of irradiation technology is to be conducted, intensively. It can be useful for several purposes, particularly for improving food safety and security through both the using of low, medium and high radiation dose.

Key words : ionizing radiation, food preservation.

PENDAHULUAN

Teknologi iradiasi pangan merupakan aplikasi dari teknik nuklir telah banyak dikenal dan dimanfaatkan secara luas untuk kesejahteraan masyarakat [1-10]. Iradiasi pada bahan pangan dapat pula dimanfaatkan untuk tujuan tertentu antara lain menunda pertunasan, memperpanjang umur simpan komoditas bahan pangan, membunuh serangga, dekontaminasi mikroba dan mem-

bunuh mikroba patogen. Disamping itu, Aplikasi iradiasi pada kekacangan dan biji-bijian sudah dimanfaatkan untuk mengurangi senyawa toksik dan antigizi [11-19].

Meskipun demikian, teknologi pengawetan bahan pangan dengan iradiasi telah dilakukan secara intensif yang dimulai dari tahapan penelitian sampai tahapan akhir yaitu pengujian *wholesomeness* atau *food safety assessment*, sehingga

produk tersebut layak dan aman untuk dikonsumsi. Informasi ilmiah terkait iradiasi pangan sudah banyak dipublikasikan secara internasional dan dapat dikunjungi melalui situs IAEA yaitu <http://www.iaea.org/icgfi> [20-21].

Pada awalnya iradiasi pangan yaitu untuk membunuh mikroorganisma pembusuk [22] dan serangga [10]. Kurun waktu tahun 1950 sampai 1970 penggunaan teknologi radioisotop (^{60}Co , ^{137}Cs), elektron cepat dan sinar X, telah mendapatkan kondisi optimal iradiasi untuk berbagai tujuan [10]. Dalam perkembangannya tahun 1970 sampai 1999 telah dipelajari tentang daya terima terhadap makanan iradiasi dan harmonisasi internasional terkait aspek legal.

Selanjutnya, gabungan komisi para ahli badan internasional yang tergabung dalam JECFI (*The joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee on the Wholesomeness of Irradiated Food*), akhirnya pada tahun 1980 telah menetapkan bahwa iradiasi terhadap komoditas makanan yang diiradiasi sampai dengan dosis rata-rata 10 kGy tidak menimbulkan bahaya toksikologi dan tidak ada masalah terhadap perubahan nilai gizi dan mikrobiologi [10, 21, 23]. Kemudian, *Codex Alimentarius Commission* telah menetapkan sebagai standar untuk iradiasi makanan dan merekomendasikan pada *International Code of Practice* untuk pengoperasian fasilitas radiasi yang dibuat berdasarkan acuan ICGFI (*International Consultative Group on Food Irradiation*) yang dibentuk dari tahun 1983 [10, 24]. Dengan berjalan waktu, perkembangan kajian ilmiah dari berbagai hasil litbang negara-negara maju maka pangan iradiasi juga mengalami perubahan dan perkembangan. Pada tahun 2003 *Codex* [25] telah melakukan sidang dan hasilnya melakukan revisi (*Codex Stan 106 – 1983, Rev.1–2003*) terkait batasan dosis yang terserap lebih besar 10 kGy untuk keperluan khusus dan peraturan ini masih berlaku sampai saat ini.

Perkembangan iradiasi pangan di Indonesia sejak tahun 1968 dan dimulai dengan penelitian dasar. Selanjutnya, tahun 1985, BATAN telah melakukan uji coba iradiasi beberapa produk secara komersial yang berdasarkan hasil penelitian, ternyata mempunyai prospek yang baik untuk diproses dengan iradiasi, yaitu rerempahan dan hasil perikanan [26-29]. Setelah itu permintaan terhadap produk lainnya cukup meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa teknologi radiasi sudah mulai dikenal oleh pihak pemakai, dan upaya kesadaran untuk memproduksi bahan pangan bermutu tinggi dan aman sudah meningkat. Kemudian pada tahun 1987, Pemerintah Indonesia melalui Kementerian Kesehatan telah memberikan persetujuan dan menggunakan teknologi iradiasi untuk keperluan

pengawetan makanan sampai dengan dosis sedang. Pada tahun 1995 dilakukan pembaharuan beberapa tambahan komoditas dan perubahan batasan dosis iradiasi untuk tujuan komersial. Selanjutnya pada 2009 telah dilegalisasi dengan Permenkes No.701 tentang pangan iradiasi, mengatur penggunaan teknologi iradiasi pangan untuk memastikan keamanan pangan yang diiradiasi [30]. Selanjutnya, tahun 2012, UU No. 18 tahun 2012 tentang Pangan yang Disahkan oleh Presiden RI. Dalam peraturan perundangan tersebut, telah mengatur pemanfaatan teknologi radiasi, khusus untuk iradiasi pangan diatur pada BAB VII, Bagian Kelima pasal 80-81 yang mengacu pada Permenkes No. 701 tahun 2009.

Adanya persaingan pasar global yang semakin ketat dengan tuntutan serta jaminan keamanan pangan, maka pengawetan pangan khususnya aplikasi teknologi radiasi perlu lebih dikenalkan kepada pihak industri sebagai pengguna, salah satunya untuk mendukung atau mengatasi masalah keamanan pangan. Dalam rangka mewujudkan implementasi teknologi tersebut, Litbang iradiasi pangan PAIR - BATAN sudah melakukan kegiatan kerjasama litbang, baik nasional maupun internasional. Seperti perguruan tinggi, swasta maupun industri dan IAEA.

Oleh karena itu, pendekatan yang perlu ditingkatkan sampai saat ini antara lain adalah berupa pemberian informasi secara langsung melalui sosialisasi, diskusi, ceramah atau seminar, dan publikasi ilmiah semi populer. Pada makalah ini, akan disampaikan peran dan status terkini penelitian dan pengembangan iradiasi pangan di Indonesia, khususnya dalam usaha mengantisipasi peraturan komoditas pangan yang semakin diperketat di beberapa negara maju.

PROSES RADIASI

A. SUMBER ENERGI

Persyaratan penting untuk penggunaan iradiasi pangan secara industri dapat memenuhi syarat. Sumber radiasi yang umum digunakan ada 2 macam yaitu isotop radioaktif dan mesin berkas elektron cepat [31-33]. Radioisotop ^{60}Co dengan energi sinar gamma 1,17 MeV dan 1,33 MeV, serta ^{137}Cs dengan energi 0,66 MeV merupakan 2 jenis

isotop radioaktif yang dapat dimanfaatkan secara komersial. Sedangkan sinar X dibatasi energinya sampai 5 MeV, kecuali negara USA dibatasi sampai 7,5 MeV [5] dan mesin berkas elektron dibatasi dengan energi maksimal 10 MeV.

Ketiga jenis sumber sinar tersebut saling menunjang dalam pemakaiannya di industri karena sifatnya yang berbeda, tergantung dari tujuan pemakaian dan aspek ekonomisnya. Para pengusaha dapat memilih antara mesin berkas elektron atau fasilitas iradiator gamma. Secara teknis, pengaruh paparan berkas elektron dan sinar gamma terhadap suatu materi tidak berbeda selama energi dan laju dosis yang diberikan sama, sedangkan kapasitas sumber dan energi, laju dosis per satuan waktu sangat berpengaruh pada kualitas bahan pangan selama diproses baik menggunakan sinar gamma maupun mesin berkas elektron.

Berdasarkan tingkat energinya mesin berkas elektron dibagi menjadi 3 golongan, yaitu energi rendah (*soft electron*, ≤ 300 keV), energi sedang (300 keV-1 MeV) dan energi tinggi (1-10 MeV) [34]. Keberhasilan proses iradiasi bahan pangan dengan MBE sangat tergantung kondisi densitas, jenis produk, ketebalan, bahan pengemas dan cara meiradiasi, sedang efektifitas penetrasi elektron bergantung pada tingkat energi yang digunakan [35, 36]. Ditinjau dari aspek penerimaan masyarakat terhadap kedua teknologi tersebut, sumber radiasi dengan mesin berkas elektron jauh lebih mudah diterima daripada penggunaan sumber yang berasal dari bahan radioaktif. Hal tersebut disebabkan adanya persepsi negatif dan konsep yang keliru tentang pengertian radiasi gamma dan radioaktif yang masih tetap

melekat di sebagian besar masyarakat sampai saat ini .

B. DOSIS RADIASI

Satuan dosis iradiasi mulanya diberi nama rad tetapi Satuan Internasional (SI) digunakan, satuan dosis iradiasi diberi nama gray (Gy). dimana $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$ atau joule/kg [37]. Dosis iradiasi adalah jumlah energi radiasi yang diserap ke dalam bahan pangan dan merupakan faktor kritis pada iradiasi pangan. Seringkali untuk tiap jenis pangan diperlukan dosis khusus untuk memperoleh hasil yang diinginkan. Apabila jumlah radiasi yang digunakan kurang dari dosis yang diperlukan, maka tujuan iradiasi tidak akan tercapai. Sebaliknya jika dosis berlebihan, bahan pangan akan mengalami kerusakan, sehingga tidak dapat diterima konsumen. Besarnya dosis radiasi yang dipakai dalam pengawetan makanan bergantung pada jenis bahan makanan dan tujuan iradiasi [38].

Secara umum penggunaan dosis radiasi dapat dikelompokkan menjadi 3 kelompok yaitu dosis rendah, sedang dan tinggi. Besarnya dosis radiasi yang dipakai dalam pengawetan pangan tergantung dari jenis bahan pangan dan tujuan iradiasi. Pada Tabel 1 disajikan penggunaan dosis radiasi yang dibutuhkan untuk beberapa jenis bahan pangan. Namun demikian, di Indonesia, implementasi untuk makanan olahan siap saji telah diizinkan penggunaan iradiasi dosis tinggi yang telah diatur melalui Permenkes No. 701 tahun 2009, dengan tujuan untuk sterilisasi komersial pada kebutuhan teknologi untuk higiene makanan olahan siap saji

Tabel 1. Persyaratan dosis radiasi dalam berbagai penerapan pada pangan.

No	TUJUAN	DOSIS (kGy)	PRODUK
1	DOSIS RENDAH (≤ 1 kGy):		
	- Pencegahan pertunasan	0.05 - 0.15	Kentang, bawang putih, bawang bombay, jahe, dll
	- Pembasmian serangga dan parasit	0.15 - 0.50	Sereal dan kacang-kacangan, buah segar dan kering, ikan, daging kering.
	- Perlambatan proses fisiologis	0.50 - 1.00	Buah-buahan dan sayuran segar
2	DOSIS SEDANG (1 – 10 kGy):		
	- Perpanjangan masa simpan	1 - 3	Ikan, arbei segar, dll
	- Pembasmian mikroorganisme perusak dan patogen	1 - 7	Hasil laut segar dan beku, daging, daging unggas segar/beku, dll
	- Perbaiki sifat teknologi pangan	2 - 7	Anggur (meningkatkan sari), sayuran kering (mengurangi waktu pemasakan)
3	DOSIS TINGGI *) (≥ 10 kGy):		
	- Pensterilan - industri (kombinasi dengan panas sedang)	30 - 50	Daging, daging unggas, hasil laut, makanan siap saji, makanan steril
	- Pensterilan bahan tambahan makanan tertentu dan komponennya	10 - 50	Rempah - rempah, sediaan enzim, gum alami, dll

Keterangan : *) Komisi *Codex Alimentarius* Gabungan FAO/WHO menyetujui penggunaan dosis ini, sejak bulan Maret 2003 (IAEA 2004), dengan catatan hanya digunakan berdasarkan legitimasi sesuai dengan kebutuhan teknologi yang ditujukan untuk higiene pangan.

*) WHO (1988) [38] dan IAEA (2004) [39]

C. DOSIMETRI

Keberhasilan pengawetan pangan dengan cara iradiasi terletak pada aspek dosimetrinya. Dosimetri dalam iradiasi pangan ditujukan agar bahan pangan dapat menerima jumlah paparan dosis yang sama sesuai dengan tujuan iradiasi dan merupakan bagian integral dari aspek jaminan mutu proses iradiasi. Dosimetri merupakan metode pengukuran dosis serap (absorpsi) radiasi terhadap produk dengan menggunakan dosimeter [40-44]. Dosimeter yang digunakan untuk mengukur dosis hendaknya memenuhi syarat, antara lain : 1) bahan mengalami perubahan akibat iradiasi dan perubahan tersebut dapat diukur dengan instrumen yang tersedia; 2) stabil; 3) mempunyai hasil ulangan yang baik; dan 4) mudah dimengerti [45]. Oleh karena itu setiap bahan pangan dapat menerima dosis iradiasi secara tepat, maka dilakukan pengukuran dosis dengan menggunakan dosimeter.

D. FASILITAS RADIASI

Iradiasi adalah suatu istilah yang digunakan untuk pemakaian energi radiasi secara sengaja dan terarah. Jenis iradiasi pangan yang dapat digunakan untuk pengawetan bahan pangan, ialah radiasi elektromagnetik yaitu radiasi yang menghasilkan foton yang berenergi tinggi sehingga sanggup menyebabkan terjadinya ionisasi dan eksitasi pada materi yang dilaluinya. Jenis iradiasi ini dinamakan iradiasi pengion, contoh iradiasi pengion adalah sinar α , β dan γ . Di antara radiasi pengion tersebut yang terbanyak digunakan adalah sinar γ .

Fasilitas iradiasi adalah sarana suatu proses yang menggunakan energi radiasi, biasanya dilakukan menggunakan Co-60 atau Cs-137 sebagai sumber radiasi gamma (iradiator) atau dalam fasilitas radiasi energi tinggi (elektron akselerator). Keberhasilan selama proses iradiasi baik yang dilakukan dengan iradiator gamma maupun elektron akselerator, melibatkan berbagai pihak yang bertanggung jawab dalam suatu kegiatan proses produksi yaitu produsen yang bertanggung jawab atas kualitas produksi termasuk keamanan pangan dan sterilitasnya, sedang fasilitas radiasi bertanggung jawab akan ketepatan dosis radiasi yang harus diterima pada bahan yang diiradiasi [40, 46,47].

Perkembangan sampai saat ini fasilitas iradiasi, khusus untuk iradiasi pangan di Indonesia masih terbatas baik itu sumber radiasi sinar gamma maupun mesin akselerator. Di BATAN ada 3 fasilitas yaitu *Gamma cell*, Irpasena, dan IRKA yang berlokasi di Pasar Jumat - Jakarta dan iradiator tersebut lebih difokuskan pada kegiatan penelitian, serta satu iradiator serbaguna berlokasi di Kawasan Puspitek - Serpong untuk tujuan komersial dengan sumber radiasi sinar gamma. Sedangkan untuk mesin akselerator ada 2 yaitu mesin berkas elektron dengan energi rendah yang berlokasi di Pasar Jumat - Jakarta dan Yogyakarta yang ditujukan untuk kegiatan penelitian non pangan dan terbatas untuk litbang pangan. Namun demikian, untuk skala komersial dengan sumber radiasi sinar gamma, hanya ada satu iradiator swasta yang berlokasi di Cibitung, Bekasi.

MANFAAT IRADIASI PANGAN

Iradiasi pangan merupakan aplikasi teknik nuklir dalam bidang teknologi pangan sudah terbukti sebagai teknologi guna membantu memecahkan berbagai masalah sanitasi yang dihadapi. Beberapa contoh untuk peningkatan daya awet, keamanan pangan, tindakan fitosanitari dan sterilisasi bahan pangan untuk tujuan tertentu.

Proses radiasi merupakan salah satu metode alternatif teknik pengawetan pangan disamping teknologi konvensional lainnya. Kelebihan teknik iradiasi pangan dibandingkan dengan pengawetan lainnya, antara lain adalah dapat diterapkan pada produk yang tidak tahan panas, dapat dilakukan pada bahan yang telah dikemas dalam bentuk kemasan akhir yang siap dipasarkan, dan tidak meninggalkan residu seperti pengawetan dengan bahan kimia. Meskipun demikian, dalam mengiradiasi bahan pangan sangat ditentukan juga pada pemilihan bahan pengemas yang tepat untuk komoditas pangan.

STATUS HASIL PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN IRADIASI PANGAN

Hasil penelitian yang terdahulu terhadap produk hasil pertanian ternyata mempunyai prospek dalam upaya meningkatkan mutu dan kualitas yang baik. Informasi hasil litbang tentang pangan iradiasi sudah banyak dan dapat dikunjungi dari jaringan elektronik khususnya melalui situs Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR) - BATAN yaitu <http://www.batan.go.id>.

Perkembangan 5 tahun terakhir hasil litbang pangan iradiasi lebih fokus pada makanan olahan siap saji dan pangan olahan tradisional. Ternyata hasilnya telah memberikan potensi, peluang dan tantangan dalam diversifikasi pengembangan makanan olahan siap saji. Dalam perpektif pangan olahan siap saji, yaitu dengan menerapkan standar proses radiasi pada pangan siap saji secara benar dan terkontrol dapat memperpanjang masa simpan sehingga dapat dikonsumsi dengan aman dan dapat berpeluang untuk ekspor. Keunggulan inovasi antara lain produk lebih higienis, steril tanpa mengalami penurunan nilai gizi, diproses tanpa bahan pengawet dan dapat disimpan pada suhu kamar, proses cukup cepat, ekonomis, dan efektif. Adapun potensi aplikasinya pangan siap saji iradiasi dapat digunakan antara lain untuk makanan tanggap darurat dan untuk memenuhi kebutuhan kelompok masyarakat tertentu [48].

Beberapa hasil telah dicapai dan penghargaan dari kegiatan iradiasi pangan olahan siap saji, sudah diraih baik dalam skala nasional maupun internasional. Hasil kegiatan kerjasama litbang tersebut, antara lain: dari RISTEKDIKTI yaitu kegiatan litbang pangan olahan siap saji telah mendapatkan program insentif peningkatan kapasitas IPTEK sistem produksi [49] dan juga telah mendapat *Block Grant* diperoleh selama 2 periode [50]. Kerjasama dengan pihak industri tentang aplikasi teknologi radiasi pada pangan olahan siap saji dalam kemasan [51, 52]. Selanjutnya pangan olahan siap saji iradiasi juga termasuk dalam penghargaan 102 Inovasi Indonesia dari Ristek [53].

Untuk kerjasama internasional, pangan olahan siap saji iradiasi terlibat dalam kegiatan dalam bentuk program IAEA-RCA RAS 5/046 dari IAEA yang beranggotakan 14 negara regional Asia dan Pacific [54]. Disamping itu, kegiatan litbangnya telah mendapat dukungan dari IAEA dalam bentuk *Research Contract* (RC) kode IAEA RC 15760/Ro dengan kompetisi internasional yang diberikan kepada 17 negara dari anggota IAEA. Untuk program RC dimulai dari tahun 2010 sampai 2014 [55]. Sedangkan untuk kegiatan tersebut dilanjutkan dengan program IAEA-RCA RAS 5/071 (*Strengthening the Adaptive Climate Change Strategies for Food Security through the Use of Food Irradiation*) implementasi kegiatan ini dapat dikunjungi melalui situs website Aksi Cepat Tanggap (ACT) (29/8/2016) [56]. Hal ini merupakan tindak lanjut dari kerjasama dari MoU BATAN dan ACT. Adapun alamat situs website ACT bisa dikunjungi pada: <http://act.id/id/whats-happening/view/3132/iaea-meeting-batan-act-bisa-jadi-contoh-di-asia> (IAEA Meeting: Batan-ACT Bisa Jadi Contoh di

Asia) dan berlanjut tahun 2017(5/10/2017) [57], <https://act.id/id/news/detail/act-dan-batan-berikan-rekomendasi-kepada-filipina-terkait-iradiasi-makanan>.(ACT&BATAN Berikan Rekomendasi kepada Filipina Terkait Iradiasi Makanan...).

Hasil yang membanggakan dari hasil litbang iradiasi pangan yaitu pada sidang IAEA *General Conference* ke-59 khususnya hasil litbang iradiasi pangan telah mendapatkan penghargaan dari IAEA terkait pemanfaatan teknologi nuklir untuk tujuan damai, khususnya pengawetan pangan, terkait teknologi iradiasi gamma untuk pengawetan pangan ketika pemerintah Indonesia mengirimkan produk makanan iradiasi sebagai bagian dari kemanusiaan ke korban bencana gempa bumi di Nepal pada 2015 [58]. Hasil capaian lainnya diluar kegiatan litbang, pangan olahan siap saji iradiasi telah berpartisipasi dalam salah satu kegiatan amal penanggulangan bencana di Sumatera Barat dan tanah longsor di Kabupaten Pemalang. Kegiatan ini merupakan contoh sebagai bentuk kegiatan tanggap darurat dalam menghadapi bencana.

Namun demikian, hasil yang telah dicapai melalui serangkaian kegiatan penelitian telah dilengkapi dengan data teknis laboratorium dan diusulkan sebagai acuan dan standar bagi industri yang berminat untuk melakukan transfer teknologi pangan olahan siap saji steril iradiasi gamma mendapatkan izin (legalisasi) dari Badan POM. Adapun bahan pangan yang telah diteliti bahkan dikomersialkan khususnya untuk tujuan ekspor sampai saat ini adalah bebijian dan hasil olahannya, hasil perikanan, dan rerempahan. Meskipun demikian, informasi tentang aplikasi teknologi iradiasi pada produk tersebut terus disosialisasikan pemanfaatannya kepada industri pangan dan mendapatkan tanggapan positif.

Agar supaya ketergantungan terhadap sumber iradiasi pengion tidak terfokus pada ^{60}Co , maka perlu kiranya dikembangkan teknik iradiasi bahan pangan dengan menggunakan sumber radiasi pengion, yaitu mesin berkas elektron. Pemanfaatan secara teknis mesin berkas elektron di Indonesia masih terbatas terutama dalam aplikasinya baik pada taraf penelitian maupun komersial [35]. Beberapa negara maju telah memanfaatkan iradiasi berkas elektron untuk pengawetan pangan. Agar supaya suatu proses ditinjau dari segi teknis layak diterapkan, maka proses tersebut harus dibuktikan dan dapat diterapkan serta produk yang dihasilkan dapat diterima oleh konsumen, karena peraturan *Codex* makanan iradiasi telah mengizinkan penggunaan MBE dan sinar X sebagai sumber radiasi

pengion untuk pangan [59, 60]. Disamping itu, kegiatan litbang iradiasi pangan terkait MBE telah mendapat dukungan dari IAEA dalam bentuk *Research Contract* (RC) dengan kompetisi internasional yang diberikan kepada 15 negara dari anggota IAEA. Untuk program RC dimulai dari tahun 2015 sampai sekarang [61].

PERATURAN PERUNDANG-UNDANGAN IRADIASI PANGAN DI INDONESIA

Metode pengolahan pangan mengakibatkan perubahan sifat pangan yang mungkin menimbulkan konsekuensi pada konsumen, tetapi jelas bahwa pangan yang diiradiasi aman maka pangan iradiasi yang beredar di wilayah Indonesia melalui pemerintah telah mengundang peraturan mengenai pangan iradiasi. Peraturan tentang pangan iradiasi yang sampai sekarang digunakan antara lain adalah Undang - Undang Pangan No.18 tahun 2012 [62], Peraturan Menteri Kesehatan RI yaitu Permenkes No. : 701/MENKES /PER/VIII/ 2009 [30] dan untuk pengawasan pangan iradiasi diatur melalui Peraturan Kepala BPOM No. 26 Tahun 2013 [63].

Pangan yang diiradiasi tidak dapat dikenali dengan penglihatan, penciuman, pencecapan, ataupun perabaan. Satu-satunya cara agar konsumen mengetahui dengan pasti bahwa suatu bahan pangan telah diiradiasi ialah dengan menyertakan label yang menyertakan dengan jelas perlakuan tersebut dengan kata, logo, atau kedua-duanya [38]. Pelabelan pangan di Indonesia diatur dalam Peraturan Pemerintah RI No. 69 tahun 1999 dan khusus mengenai iradiasi pangan diatur pada pasal 34 [64]. Pada tahun 2004, BPOM telah mengeluarkan 10 buku pedoman cara iradiasi secara umum yang berdasarkan kelompok pangan. Pedoman ini mengacu pada dokumen *International Consultative Group on Food Irradiation* (ICGFI) [65]. Adapun logo yang menunjukkan suatu produk pangan telah diiradiasi dapat dilihat pada Gambar 1 [66].



Gambar 1. Logo Iradiasi Pangan

Hasil dari kaji mutu standar untuk memberikan jaminan mutu dan keamanan pangan siap saji yang diproses dengan menggunakan teknologi radiasi yang akan dipasarkan di dalam dan luar negeri, sehingga *stakeholder* pengguna produk merasa terlindungi. Standar ini dirumuskan oleh Komite Teknis 67-05 Pangan Iradiasi, oleh wakil-wakil produsen, konsumen, asosiasi, lembaga penelitian, perguruan tinggi serta instansi terkait sebagai upaya untuk meningkatkan jaminan mutu dan keamanan pangan maka telah dihasilkan SNI pangan olahan siap saji yaitu SNI rendang; SNI 7764-:2012 Pangan iradiasi - Bagian I: rendang daging sapi steril [67]; SNI 8275:2016 Proses radiasi - Pangan siap saji dosis sedang (2 kGy - 10 kGy) [68]; sedangkan RSNI 8352:2016 Proses radiasi - Pangan siap saji dosis tinggi (10 kGy < dosis ≤ 65 kGy) telah pada tahap *release* jajak pendapat [69]. Hasil ini merupakan hasil konkrit hilirisasi pemanfaatan iptek BATAN.

Peraturan-peraturan yang memuat aturan dan tata tertib pada standar prosedur operasional iradiasi makanan merupakan landasan hukum yang kuat dan harus dipatuhi oleh siapapun yang hendak menggunakan teknologi iradiasi, khususnya untuk keperluan komersial.

KESIMPULAN

Dari uraian tersebut menunjukkan bahwa teknologi ini dapat membantu meningkatkan kesejahteraan manusia, pada berbagai bidang termasuk industri pangan, sehingga teknologi radiasi dapat dipakai untuk membantu dalam memecahkan masalah pengawetan pangan dari aspek keamanan pangan dan ketahanan pangan, khususnya dalam persaingan pasar global dan antisipasi peraturan komoditas pangan yang diperketat di beberapa negara maju.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tanhindarto RP (2018) Pemanfaatan Teknik Iradiasi Pengawetan Pangan, Disajikan pada Kuliah Umum Program Studi Teknologi Pangan Fakultas Peternakan dan Pertanian-Universitas Diponegoro, Semarang, pada tanggal 5 Juni 2018.
- [2] Tanhindarto RP (2018) Food Irradiation and Regulation in Indonesia. Seminar on

- Irradiation Technology for Business Opportunity in Halal Food by Thailand Institute of Nuclear Technology (Public Organization), 28 February 2018, at Rama Garden Hotel, Bangkok Thailand.
- [3] Tanhindarto RP, Irawati Z (2011) Status litbang pangan olahan siap saji iradiasi: Prosiding Simposium dan Pameran Teknologi Aplikasi Isotop dan Radiasi, Teknologi isotop dan radiasi membantu meningkatkan mutu produk pertanian untuk mendukung program ketahanan pangan nasional. Jakarta: 27-28 Oktober 2010: 111-122.
- [4] Tanhindarto RP, Irawati Z (2005) Status litbang pengawetan makanan menggunakan radiasi pengion, Seminar Pendayagunaan Prosiding Seminar Nasional XIV Kimia Dalam Industri dan Lingkungan, Yogyakarta: 13-14 Sep: 132-138.
- [5] Barkai-Golan R, Follett PA (2017) *Irradiation for Quality Improvement, Microbial Safety and Phytosanitation of Fresh Produce*. Academic Press Elsevier Inc.
- [6] Hariyadi P, Tanhindarto RP (2012) Food Irradiation – Opportunities and Challenges. Presented at 6th Asian Conference on Food and Nutrition Safety, November 26-28, 2012, Singapore.
- [7] Arvanitoyannis IS (2010) *Irradiation of Food Commodities: Techniques, Applications, Detection, Legislation, Safety and Consumer Opinion*. Academic Press Elsevier Inc. London NW1 7BY, UK: 635-469.
- [8] Kume T et al. (2009) Status of food irradiation in the world. *Rad Phys & Chem*. 78: 222-226.
- [9] Diehl JF (2002) Food irradiation – past, present and future. *Rad Phys & Chem* 63: 2011-2015.
- [10] Diehl J.F (2001) Achievements in Food Irradiation during the 20th Century. Loaharabu, P. Thomas, P. (ed.s). *Irradiation for Food Safety and Quality*. Proceedings of FAO/IAEA/WHO International Conference on Ensuring the Safety and Quality of Food through Radiation Processing.
- [11] Tanhindarto RP et al. (2013a) Pengaruh iradiasi gamma (⁶⁰Co) dengan berbagai laju dosis pada senyawa antigizi (asam fitat dan antitripsin) dan warna kedelai (*Glycine max* L.). *J Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi* 9 (1) Juni 2013:23-34.
- [12] Tanhindarto RP et al. (2013b) Effects of Gamma Irradiation at Different Combination of Dose-rate and Time of exposure on the Isoflavone Contents of Soybean. *Asian J. of Food and Agro-Industry* 6(06): 322-328.
- [13] Ahn HJ et al. (2004) Comparison of irradiated phytic acid and other antioxidants for antioxidant activity. *Food Chem*. 88: 173-178.
- [14] Al-Kaisey M (2003) Effect of gamma irradiation on antinutritional factors in broad bean. *Rad Phys & Chem*. 67: 493-496.
- [15] Alothman M et al. (2009) Effects of radiation processing on phytochemicals and antioxidants in plant produce. *Trends in Food Sci & Tech*. 20: 201-212.
- [16] Arvanitoyannis IS, Stratakos AC (2010) *Potential Uses of Irradiation*, Di dalam: Arvanitoyannis IS, editor. *Irradiation of Food Commodities: Techniques, Applications, Detection, Legislation, Safety and Consumer Opinion*. Academic Press Elsevier Inc. London NW1 7BY, UK: (2010): 635-469.
- [17] Byun MW et al. (2006) *Potential Applications of Ionizing Radiation*. Di dalam: Sommers CH, Fan X, editor. *Food Irradiation Research and Technology*. Blackwell Publishing and the Institut of Food Technologist: 249-262.
- [18] Siddhuraju P (2002) The effect of ionizing radiation on antinutritional factors and the nutritional value of plant materials with reference to human and animal food, review. *Food Chem*. 78: 187-205.
- [19] Sommers CH et al. (2006) *Toxicological safety of irradiated foods*. Di dalam: Sommers CH, Fan X, editor. *Food Irradiation Research and Technology*. Blackwell Publishing and the Institut of Food Technologist: 43-62.
- [20] <http://www.iaea.org/icgfi>.
- [21] Anonim (1999) Facts about food irradiation. A series of fact sheets from the international Consultative Group on Food Irradiation (ICGFI).
- [22] Jay J.M (1986) *Modern Food Microbiology*, third edition. Van Nostrand Reinhold, New York.
- [23] Thorne S (1991) *Food Irradiation*, Elsevier Science Publishers Co. INC., New York, USA.

- [24] Anonim (2004) Summary Report, Twentieth Annual Meeting of the Internasional Consultative Group on Food Irradiation (ICGFI), 7-9 October, 2003 WHO Geneva, Switzerland.
- [25] Anonim (2003) *Codex General Standard for Irradiated Foods* (Codex Stan 106-1983-Rev. 1-2003) Codex Alimentarius Commission, Geneva.
- [26] Maha M (1992) Uji coba beberapa produk dan bahan baku industri pangan, Makalah dibawakan pada Pertemuan Teknis Pengembangan Perizinan Iradiasi Makanan, Jakarta, 28-29 Juli 1992.
- [27] Tanhindarto RP, Irawati Z (2002) Pemanfaatan teknologi radiasi dalam pengawetan makanan, Disajikan pada Stadium General Fisika IPB 2002 dengan tema Commercial Irradiation in Food Processing, Bogor 18 Mei 2002.
- [28] Tanhindarto RP (2003) Aplikasi proses radiasi dalam bidang pengawetan makanan, Disajikan pada Seminar dengan tema Aplikasi Biofisika untuk Masyarakat FMIPA – IPB, Bogor 20 September 2003.
- [29] Irawati Z et al. (2001) Status litbang dan pemanfaatan teknologi radiasi pada produk perikanan, Makalah disajikan pada Forum Komunikasi Nasional Iradiasi Produk Perikanan dalam Rangka Meningkatkan Jaminan Keamanan Pangan, Jakarta 10 Sptember 2001.
- [30] Peraturan Menteri Kesehatan [Permenkes RI] Republik Indonesia (2009) Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor: 701/MENKES /PER/VIII/2009 tentang Pangan Iradiasi.
- [31] Anonim (2002) Summary Report. Nineteenth Annual Meeting of the International Consultative Group on Food Irradiation (ICGFI) Annex 8. IAEA, Vienna, Austria, 12-14 November 2002.
- [32] Diehl JF (1995) *Safety of Irradiated Foods, Second edition, Revised & Expand*, Marcel Dekker, INC.
- [33] Diehl JF (1990) *Safety of Irradiated Foods*. Marcel Dekker, INC.
- [34] Irawati Z (2005) Iradiasi Pangan dengan Mesin Berkas Elektron. Prosiding Seminar Nasional VIII “ Kimia dalam Pembangunan “, Yogyakarta, 26-27 April (2005): 72.
- [35] Danu S (2004) Dasar – dasar aplikasi mesin berkas elektron, Disajikan pada Batan Accelerator School 2004 di Puslitbang Teknologi Maju – Batan, 7-18 Juni (2004).
- [36] Irawati Z (2005) Teknologi dan Aplikasi : Iradiasi Bahan Pangan Menggunakan Mesin Berkas Elektron dan Iradiator Gamma. Seminar Nasional Teknologi dan Aplikasi Akselerator VII. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Maju-BATAN, Yogyakarta 21- 22 Nopember 2005.
- [37] Urbain WM (1986) *Food Irradiation*. Academic Press, Inc.
- [38] Anonim (1991) Food Irradiation. A technique for preserving and improving the safety of food. Terjemahan :Hermana. Iradiasi Pangan Cara mengawetkan dan meningkatkan keamanan pangan, Penerbit ITB Bandung.
- [39] Anonim (2004) Summary Report, Twentieth Annual Meeting of the Internasional Consultative Group on Food Irradiation (ICGFI), 7- 9 October, 2003 WHO Geneva, Switzerland.
- [40] International Atomic Energy Agency (IAEA) (2015) Manual of Good Practice in Food Irradiation: Sanitary, Phytosanitary and Other Application. Technical Reports Series No. 481. IAEA Vienna.
- [41] Mehta K, O’Hara K (2006) Dosimetry for food processing and research applications. Sommers CH. Fan X. editor. *Food Irradiation: Research and Technology*. Blackwell Publishing and The Institute of Food Technologist.
- [42] Anonim (2002) Dosimetry for Food Irradiation. Technical Reports Series No. 409. IAEA Vienna.
- [43] ASTM International (2002) Standards on Dosimetry for Radiation Processing. June 2002.
- [44] McLaughlin WL et al. (1989) *Dosimetry for Radiation Processing*. Taylor & Francis.
- [45] Razzak MT et al. (1980) Aspek dosimetri pada proses sterilisasi radiasi. Majalah BATAN vol. XIII, No. 3-4 Desember (1980): 80.
- [46] Tanhindarto RP, Sudrajat A (2004) Aspek dosimetri makanan olahan tradisional pada Fasilitas Irapasena. Risalah Seminar Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi, Jakarta, 17-18 Februari, 2004: 265.

- [47] Tanhindarto RP et al. (1997) Pengukuran dosimeter perspeks merah dengan alat ukur chromameter. Prosiding Presentasi Ilmiah Keselamatan Radiasi dan Lingkungan V. Pusat Standarisasi dan Penelitian Keselamatan Radiasi BATAN. Jakarta, 26-27 Agustus (1997):32-41.
- [48] Tanhindarto RP, Irawati Z (2010) Status litbang Pangan Olahan Siap Saji Iradiasi, Prosiding Simposium dan Pameran Teknologi Aplikasi Isotop dan Radiasi, Teknologi Isotop dan Radiasi Membantu Meningkatkan Mutu Produk Pertanian Untuk Mnedukung Program Ketahanan Pangan Nasional Jakarta: 27-28 Okt.
- [49] Irawati Z (2009) Uji transportasi dan distribusi antar kota skala semi pilot pangan olahan dan siap saji berbasis nabati dan hewani iradiasi dosis sedang. Laporan Teknis Program Insentif, PATIR BATAN.
- [50] Irawati Z (2009) Aplikasi radiasi pengion pada bahan pangan segar, kering, dan siap saji untuk tujuan keamanan dan pengawetan. Laporan Teknis Block Grant, PATIR BATAN.
- [51] Anonim (2010) Perjanjian Kerja sama antara PATIR BATAN dan Perusahaan Tahu Yun Yi tentang aplikasi teknologi radiasi pada pangan olahan siap saji dalam kemasan Nomor 1444/KS 00 02/VII/2010).
- [52] Anonim (2010) Perjanjian Kerja sama antara PATIR BATAN dan Perusahaan Bandeng Juwana Indonesia tentang aplikasi teknologi radiasi pada pangan olahan siap saji dalam kemasan Nomor 1580/KS 00 02/VIII/2010.
- [53] Anonim (2010) Makanan Siap Saji Iradiasi. 102 Inovasi Indonesia. BIC, Jakarta (2010): 26.
- [54] Anonim (2010) RAS 046 IAEA. Technical Report series BATAN.
- [55] Anonim (2010) Research Contract (RC) (RC 15760/Ro). *Development of safe ethnic foods irradiation for specific target groups including immuno-compromised patients*. 1st RCM-Vienna, 23-27 August, Technical Report series BATAN.
- [56] Tanhindarto RP (2016) Ringkasan Laporan mengikuti IAEA TC Project RAS 5071 Strengthening the Adaptive Climate Change Strategies for Food Security through the Use of Food Irradiation IAEA/RCA Regional Coordination Meeting Bangkok, Thailand, 22-26 August 2016.
- [57] Tanhindarto RP (2017) Ringkasan Laporan mengikuti IAEA/RCA Project RAS 5071 Strengthening the Adaptive Climate Change Strategies for Food Security through the Use of Food Irradiation IAEA Regional Cooperative Agreement Manila, Philippines, 2 - 6 Oktober 2017.
- [58] <http://m.metrotvnews.com/internasional/eropa/Wb701a6b-produk-pertanian-hasil-terapan-nuklir-ri-diakui-iaea>.
- [59] Tanhindarto RP et al. (2006) Aplikasi iradiasi mesin berkas elektron untuk disinfestasi serangga *Tribolium castaneum* (Herbst) pada tepung terigu, Yogyakarta: Seminar Nasional PATPI. 2-3 Agustus:R 531-540.
- [60] Irawati Z (2004) Aplikasi akselerator elektron untuk pengawetan makanan, Disajikan pada Batan Accelerator School 2004 di Puslitbang Teknologi Maju – Batan, 7- 18 Juni 2004.
- [61] Tanhindarto RP (2018) Progress Report DEXAFI (R2) (2018).
- [62] Republik Indonesia (2012), Undang-Undang RI No. 18 Tentang Pangan, Lembaran Negara RI Tahun 2012 No. 227. Sekretariat Negara. Jakarta
- [63] Badan Pengawas Obat dan Makanan (2013) Peraturan Kepala BPOM No.26 Tahun 2013 tentang Pengawasan Pangan Iradiasi.
- [64] Peraturan Pemerintah RI No. 69 tahun 1999 tentang Pelabelan Pangan di Indonesia.
- [65] Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) RI (2004) Cara Iradiasi Pangan. Seri buku 1-10. Direktorat Standarisasi Produk Pangan, Deputi bidang Pengawasan Keamanan Pangan dan Bahan Berbahaya – BPOM.
- [66] Ehlermann DAE (2009) The RADURA-terminology and food irradiation. Short communication. Food Control 20:526-528.
- [67] Badan Standarisasi Nasional (BSN) (2012) SNI rendang; SNI 7764-:2012 Pangan iradiasi-Bagian I: rendang daging sapi steril.
- [68] Badan Standarisasi Nasional (BSN) (2016) SNI 8275:2016 Proses radiasi - Pangan siap saji dosis sedang (2 kGy - 10 kGy).

[69] Badan Standarisasi Nasional (BSN) (2016) RSNI 8352:2016 Proses radiasi - Pangan siap saji dosis tinggi (10 kGy < dosis ≤ 65 kGy).

NO	Nama penanya	Kode Makalah	Nama Penyaji	Pertanyaan dan Jawaban
1.	Haendra Subekti (BAPETEN)	PA12	Rindy Panca T. (PAIR-BATAN)	<p>1. Apa jenis dosimeter yg digunakan?</p> <p>2. Apakah selain jenis pangan yg ada di Permenkes No. 701/MENKES/PER/VIII/2009, ada riset untuk jenis pangan yg lain?</p> <p>Jawab:</p> <p>1. Jenis detector yg digunakan untuk tujuan komersil, antara lain: amber dosimeter (1 – 30 kBq); dan Rex Perspex (5 – 45 kBq).</p> <p>2. Selain jenis komoditi yg tertuang dlm Permenkes, litbang bahan pangan juga melakukan litbang utk komoditi yg lainnya dan direkap sebagai database yg kemudian hari akan direkomendasikan ke BPOM utk dilakukan legalisasi.</p>

PA13

REVOLUSI PELAYANAN PERIZINAN DALAM BERUSAHA PADA SEKTOR KETENAGANUKLIRAN MELALUI KERANGKA *INTERGATED SISTEM ONLINE SINGLE SUBMISSION (OSS)* UNTUK PERIZINAN PEMANFAATAN TENAGA NUKLIR DI INDONESIA

Roy Candra Primarsa¹

¹*Direktorat Perizinan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif - BAPETEN*

e-mail: r.candra@bapeten.go.id

ABSTRAK

Revolusi pelayanan perizinan berusaha sektor ketenaganukliran akan dilakukan melalui kerangka perizinan terintegrasi secara elektronik *intergated sistem online single submission (OSS)* untuk perizinan tenaga nuklir di Indonesia. Pengawasan Ketenaganukliran melalui Perizinan di Indonesia dilakukan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN). Kepastian berusaha bagi sektor Ketenaganukliran menuntut BAPETEN harus selalu melaksanakan inovasi dan pengurangan jalur birokrasi pada proses pelayanan, menghilangkan kewajiban pemohon untuk datang langsung atau berhadapan langsung dengan petugas pelayanan yang berpotensi pada Kolusi Korupsi dan Nepotisme (KKN) dan gratifikasi kepada pihak pelayan. BAPETEN melaksanakan sistem pelayanan perizinan Online melalui Balis (BAPETEN Licensing and Inspection System) versi 2.0. Permohonan dapat diajukan dalam waktu 24/7, dengan persyaratan yang jelas diketahui oleh pemohon. Perkembangan terkini dilakukan oleh pemerintah RI dalam memberikan kepastian layanan kepada pihak Pelaku Usaha, dengan menerbitkan Perpres nomor 91 tahun 2017 tentang Percepatan Pelayanan Berusaha dan Peraturan Pemerintah nomor 24 tahun 2018 tentang Pelayanan Perizinan Berusaha Terintegrasi secara Elektronik yang mewajibkan seluruh Kementerian/Lembaga (K/L) melaksanakan pelayanan perizinan berusaha terintegrasi secara elektronik *integrated Online Single Submission (OSS)* yang di inisiasi Kementerian Koordinator Perekonomian RI. Revolusi mendasar dalam sistem terbaru ini adalah OSS mengintegrasikan seluruh sistem Perizinan Kementerian/Lembaga (K/L). BAPETEN bersiap melaksanakan integrasi sistem dan modifikasi proses bisnis dalam rangka OSS ini dengan mempersiapkan sistem IT yang dapat mengintegrasikan data ke dalam *server* IT OSS, secara paralel dilakukan revisi peraturan lembaga tentang *Service Level Arrangement (SLA)* perizinan pemanfaatan tenaga nuklir agar sesuai dengan kebijakan OSS.

Kata kunci: Layanan Perizinan, integrasi, Online Single Submission (OSS)

ABSTRACT

The revolution of licensing services in the nuclear sector through the framework of integrated online single submission system (OSS) for licensing of the utilization of nuclear energy in Indonesia. Nuclear Supervision through the Licensing in Indonesia conducted by BAPETEN (Nuclear Energy Regulatory Agency of Indonesia

The certainty of business for nuclear sectors requires BAPETEN always develop and implement innovation and remove bureaucratic lines, this will eliminating the obligation of the applicant to come directly or face to face with the service personnel, which is potentially for Collusion, Corruption and Nepotism (KKN) and gratification to the servants.

BAPETEN has implemented an Online licensing system through Balis (BAPETEN Licensing and Inspection System) version 2.0 which online where the applicant be able to submit the application with unlimited time by 24 hour/7 days per-week time, with requirements that have been clearly known by the applicant.

The latest developments by the Government of Indonesia to provide the certainty of service to the Business sector, are issued a regulation Presidential Regulation No. 91 Year 2017 on Accelerated Service of Business and Government Regulation No.24 Year 2018 on Licensing Services of Business with integrated Online system which requires all Ministries/Institutions (K/L) to integrate each of Ministries/Institutions (K/L) licensing system into a single integrated system which introduced as Integrated Online Single Submission (OSS) initiated by the Ministry Coordinating Ministry of Economic Affairs of Republic Indonesia.

The fundamental revolution in this latest system is that the OSS integrates the entire Licensing system of Ministries / Institutions (K / L). BAPETEN currently preparing to integrating the IT system and modify the business process within the framework of this OSS that can integrate data form OSS Servers. at the same time BAPETEN shall also be made the amendment of the Service Level Arrangement (SLA) regulation of the utilization licensing process for source of ionizing radiation to adapt the OSS policy

Keywords : Licensing Process, integrated, Online Single Submission (OSS)

I. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Proses bisnis layanan perizinan yang dilaksanakan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir

yang sudah dilaksanakan sekarang ini masih perlu dilakukan pengembangan sistem maupun proses bisnis terutama mengadopsi kebutuhan atas dikeluarkannya regulasi Perpres nomor 91 tahun 2017 tentang Percepatan Pelayanan Berusaha dan

Peraturan Pemerintah Nomor 24 tahun 2018 tentang Pelayanan Perizinan Terintegrasi secara Elektronik yang dilaksanakan bagi kepastian hukum layanan proses perizinan berusaha di sektor bisnis.

BAPETEN telah melakukan proses pelayanan perizinan secara online melalui Balis (BAPETEN Licensing and Inspection System) dengan ketentuan permohonan dapat diajukan setiap waktu selama waktu 24 jam / 7 hari dalam seminggu, sehingga dianggap tidak ada batasan waktu layanan untuk diajukan oleh pemohon.

Proses perizinan BAPETEN dilakukan dengan dasar Peraturan Pemerintah nomor 29 tahun 2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan nuklir serta Peraturan Kepala BAPETEN nomor 2 Tahun 2016 tentang Pemberlakuan Sistem Elektronik dan Penatalaksanaan dalam Pelayanan Perizinan.

Revolusi layanan perizinan oleh pemerintah melalui sistem terbaru ini adalah integrasi dokumen Syarat dokumen-dokumen izin administratif yang sebelumnya digunakan dalam tiap-tiap proses perizinan di masing-masing K/L, menjadi hanya cukup 1 kali di proses dan diterbitkan oleh suatu K/L dan ini digunakan oleh K/L lain sebagai dokumen dasar bagi proses perizinan selanjutnya oleh K/L.

Makalah ini membahas tentang bagaimana revolusi pelayanan perizinan tenaga nuklir yang dilakukan oleh BAPETEN sebagai dampak diberakukannya *intergrated system online single submission (OSS)*

Tujuan

Tujuan dari penulisan makalah ini adalah:

1. Memberikan gambaran tentang bagaimana konsep perubahan yang revolusioner yang dilakukan dalam kerangka *intergrated system online single submission (OSS)*
2. Memberikan review terhadap dampak terhadap revolusi sistem pelayanan perizinan setelah adanya OSS

II. LANDASAN TEORI/POKOK BAHASAN

Revolusi pelayanan perizinan dalam berusaha pada sektor ketenaganukliran melalui kerangka *intergrated system online single submission (OSS)* ini dapat diambil dari beberapa referensi yaitu:

1. Peraturan Presiden no. 91 tahun 2017 tentang Percepatan Pelayanan Berusaha.
2. Peraturan Pemerintah no 29 tahun 2008 mengenai perizinan pemanfaatan sumber radiasi dan bahan nuklir
3. Peraturan Kepala Bapeten nomor 2 tahun 2016 tentang Pemberlakuan Sistem Elektronik dan Penatalaksanaan dalam Pelayanan Perizinan

III. METODE / METODOLOGI

Penulisan makalah ini dilakukan dengan metode kajian literatur. Bahan yang digunakan adalah regulasi BAPETEN dan peraturan perundang-undangan yang terkait. Sumber literatur ini dianggap telah memadai untuk mendukung makalah ini

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelaksanaan Integrasasi sistem perizinan BAPETEN dengan *Online Single Submission (OSS)* menjadi hal yang sangat penting dalam melakukan revolusi terhadap pelayanan Perizinan dimana hal ini akan banyak mengurangi dokumen administratif perizinan yang digunakan oleh pemohon dalam melakukan proses Perizinan yang cukup banyak mensyaratkan dokumen perizinan administrative badan hukum pemohon izin.

Dengan revolusi yang akan dilaksanakan ini, maka diperlukan Reformasi perizinan berusaha dengan mengubah bisnis proses dan ekosistemnya. Desain pilar reformasi perizinan berusaha digambarkan sesuai dengan deskripsi dalam gambar 1



Gambar 1. Pilar Reformasi Perizinan Berusaha

Dengan adanya pilar reformasi perizinan berusaha ini, Pemerintah memiliki konseptual Perubahan atas dokumen izin administrative badan hukum yang banyak dipersyaratkan dan banyak

berulang-ulang diminta oleh Kementerian/Lembaga (K/L) dalam tiap-tiap proses perizinan yang dilakukannya akan diintegrasikan dalam sistem OSS ini. Dokumen izin administratif badan hukum Swasta antara lain adalah:

1. Akta berikut Pengesahan Akta,
2. Tanda Daftar Perusahaan (TDP),
3. Angka Pengenal Importir (API) dan
4. Nomor Induk Kepabeanaan (NIK)

akan disimplifikasikan menjadi 1 (satu) dokumen yang dibuat menjadi Nomor Induk Berusaha (NIB) dan sekaligus diterbitkannya NPWP bagi Badan Hukum (jika belum ada). Gambaran konsep perizinan berusaha dengan OSS dapat dideskripsikan dalam gambar.2



Gambar 2. Jalur Konsep Perizinan dengan OSS

Sementara itu, konseptual kemampuan OSS ini dapat dideskripsikan sebagaimana gambar.3



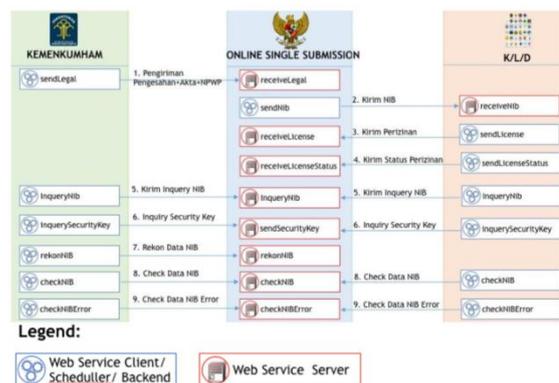
Gambar 3. Konseptual kemampuan OSS

Dalam rangka menyesuaikan konseptual sistem Perizinan dengan OSS, maka dilakukan suatu integrasi antara sistem Balis BAPETEN dengan OSS. OSS terintegrasi dan menjadi gerbang (gateway) dari sistem pelayanan pemerintahan yang telah ada pada

kementerian/lembaga. OSS menjadi acuan utama (single reference) dalam pelaksanaan Perizinan Berusaha.

Prinsip Integrasi antara sistem OSS dengan Sistem Perizinan pada masing-masing K/L secara konseptual dalam integrasi sistem ini dapat digambarkan sesuai gambar 4. Batasan dalam makalah ini tidak dibahas mekanisme integrasinya secara bahasa pemrograman komputer

B. GLOBAL DESIGN



Gambar 4. Global Design konsep Intergrasi Sistem

Dalam revolusi perizinan di BAPETEN, atas usaha integrasi sistem OSS dengan Sistem Balis BAPETEN maka dokumen Syarat Permohonan Izin yang berupa :

- a. Syarat Administratif
- b. Syarat Teknis
- c. Syarat Khusus

Dimana persyaratan administratif yang dijabarkan dalam permohonan di Balis BAPETEN adalah sebagai berikut:

1. Akta Badan
2. Pengesahan Akta Badan
3. NPWP Badan
4. Izin Domisili Badan
5. Izin Usaha Badan
6. Tanda Daftar Perusahaan (TDP)
7. API (Angka Pengenal Importir)*
*Khusus Perizinan Impor/Ekspor

Akan di simplifikasi menjadi dokumen:

1. Nomor Induk Berusaha (NIB)

Dokumen NIB ini tidak perlu diajukan oleh Pemohon izin, karena sistem Balis BAPETE akan menarik data dan dokumen NIB ini dari sistem OSS tersebut. Hal ini jelas-jelas akan mengurangi banyak dokumen syarat administratif yang diwajibkan dalam

permohonan perizinan, sehingga pemohon izin hanya perlu memikirkan bagaimana memenuhi syarat teknis dan khusus saja.

Hal Revolusioner lainnya yang juga akan dilaksanakan dalam rangka simplifikasi proses bisnis dalam permohonan ini adalah dengan penjaluran prioritas bagi Instansi/Badan Hukum yang dapat memenuhi kriteria keberterimaan proses perizinan dengan sebelumnya melakukan manajemen resiko (*risk management*) dengan pemetaan (*profiling*) Instansi Badan Pemohon izin. Batasan pembahasan dalam makalah ini tidak dibahas untuk Proses Perizinan yang dikenakan syarat Khusus.

Tata cara penetapan badan hukum yang akan masuk dalam risk manajemen ini dilakukan berdasarkan atas:

- a. Hasil penerimaan BSSA (BAPETEN Safety and Security Awards),
- b. Pelaksanaan Inspeksi yang telah memenuhi syarat keselamatan yang termasuk pada Kategori Hijau dalam bentuk stiker dari BAPETEN
- c. Penilaian Objektif dari evaluator atas kepatuhan dan kesesuaian dalam melaksanakan Proses Perizinan (karena pemilihan calon instansi ini dilakukan melalui rapat dan keputusan calon instansinya juga ditentukan oleh pimpinan unit kerja)

Hasil dari *profiling* ini akan ditetapkan nama-nama instansi yang akan dilakukan risk management dengan melaksanakan penilaian awal dokumen teknis persyaratan izin dari instansi yang akan di nilai. Adapun dokumen teknis yang dinilai sesuai dengan yang dipersyaratkan sesuai ketentuan adalah:

1. Dokumen Prosedur Operasi
2. Dokumen Program Proteksi dan keselamatan Radiasi
3. Dokumen Laporan Verifikasi Keselamatan Radiasi
4. Dokume Program Keamanan Sumber Radioaktif
5. Dokumen Laporan Verifikasi Keamanan Sumber Radioaktif
6. Kesiediaan Perlengkapan Proteksi Radiasi
7. Ketersediaan Peralatan keamanan Sumber Radioaktif
8. Ketersediaan Laporan Pemantauan Dosis Radiasi
9. Ketersediaan Laporan Hasil Pemeriksaan Kesehatan
10. Ketersediaan Dokumen Kalibrasi Alat Ukur Radiasi
11. Ketersediaan Tempat Penyimpanan Sumber Radioaktif yang memenuhi standar regulasi
12. Ketersediaan Petugas Keamanan Sumber Radioaktif (PKSR)

Penilaian terhadap dokumen tersebut dilakukan oleh 13 (tiga belas) orang personil evaluator dengan 1 (satu) pejabat Otorisator (eselon III), jika dalam pelaksanaan penilaian dokumen tersebut dinyatakan

memenuhi kriteria keberterimaan untuk keselamatan radiasi dan keamanan sumber radioaktif, maka hasil keputusan Penilaian Kesesuaian Kriteria Keberterimaan Syarat Teknis dengan Penjaluran Prioritas bagi Instansi/Badan Hukum akan diterbitkan oleh Direktorat Perizinan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif..

Keputusan Penjaluran Prioritas inilah yang digunakan oleh BAPETEN dengan memberikan kode khusus dalam sistem Balis BAPETEN yang menandai Instansi/Badan Hukum Pemohon dengan Jalur Prioritas dalam melaksanakan proses izin hanya cukup memenuhi persyaratan teknis perizinan yang telah disimplifikasi persyaratan teknisnya menjadi hanya:

1. Dokumen Sertifikasi terkait Sumber Radiasi Pengion
2. Dokumen Sertifikasi Kalibrasi Alat Ukur

Dengan 13 (tiga belas) orang personil evaluator dengan 1 (satu) orang pejabat Otorisator (eselon III) bidang Industri dan 13 (tiga belas) orang personil evaluator dengan 1 (satu) orang pejabat Otorisator (eselon III) bidang Medik yang melayani instansi sekitar 4000 instansi/badan hukum bidang industri dan medik, dengan revolusi yang dilakukan berupa Penjaluran prioritas dan penilaian syarat teknis di tahap awal akan mengurangi persyaratan teknis yang cukup banyak saat proses Perizinan maka pelayanan Perizinan Tenaga Nuklir khususnya Sumber Radiasi Pengion yang dilakukan BAPETEN sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 29 Tahun 2008 yang waktu prosesnya yang adalah kelompok A selama 15 hari kerja, Kelompok B selama 12 hari kerja, kelompok C selama 10 hari kerja dapat dipersingkat waktu, dipersingkat menjadi selama 2 (dua) hari kerja saja. Sementara layanan penerbitan penetapan/Persetujuan sebagaimana yang diatur dalam Peraturan Kepala Bapeten nomor 2 tahun 2016 tentang Pemberlakuan Sistem Elektronik dan Penatalaksanaan dalam Pelayanan Perizinan adalah selama 3 (tiga) hari kerja, menjadi dipersingkat menjadi 1 (satu) hari kerja, sehingga dapat dipastikan BAPETEN telah berani melakukan Revolusi Proses Layanan Perizinan di sector Ketenaganukliran.

Untuk memberikan legalitas proses tersebut, diperlukan penyesuaian kembali terhadap regulasi-regulasi yang akan atau sedang di buat oleh unit kerja terkait penyusun regulasi. Penyusunan yang dilakukan juga harus sesuai mengadaptasi kebutuhan revolusi ini.

3. KESIMPULAN

Revolusi Proses Perizinan yang dilakukan oleh BAPETEN dapat dilakukan dengan persiapan yang matang dan melibatkan unit kerja terkait yang melaksanakan Proses Perizinan, Unit Kerja penyedia Sistem IT serta Unit Kerja Penyusun Regulasi.

Proses Integrasi secara elektronik antara Sistem Balis BAPETEN dengan Sistem OSS harus secara cepat dilakukan untuk memenuhi kebutuhan pelaksanaan sistem OSS ini Untuk menyelesaikan kebutuhan penyelesaian integrasi sistem ini, maka konsinyering antara unit penyelenggara Sistem IT BAPETEN dengan Tim Teknis OSS Kemenko Perekonomian RI harus dilakukan secara kerkesinambungan.

BAPETEN juga harus segera mempersiapkan perubahan regulasi tatacara proses Perizinan yang diatur dalam peraturan kepala Lembaga

Dengan Perubahan dokumen perizinan ini, dengan konsep integrasi dengan OSS dan risk manajemen Profiling, maka:

1. Syarat Admnistrasi menjadi: Nomor Induk Berusaha (NIB)
2. Syarat Teknis menjadi hanya:
 - a. Keputusan Penjaluran Prioritas atas penilaian profiling Instansi/Badan Hukum oleh DPFZR
 - b. Dokumen Sertifikasi terkait Sumber Radiasi Pention
 - c. Dokumen Sertifikasi Kalibrasi Alat Ukur

Dengan perubahan signifikan layanan perizinan melalui penjaluran prioritas instansi/Badan hukum dan pengurangan signifikan syarat izin yang ditetapkan, maka hal ini dapat dikatakan sebagai tindakan Revolusioner yang mendukung cita-cita dan harapan pemerintah kita saat ini

UCAPAN TERIMA KASIH

Pimpinan Unit Kerja dan rekan-rekan kerja di

Direktorat Perizinan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif (DPFRZR) BAPETEN

DAFTAR PUSTAKA

- [1.] Republik Indonesia. 2008. Peraturan Pemerintah nomor 29 tahun 2008 tentang Perizinan pemanfaatan sumber radiasi dan bahan nuklir. Lembaran negara Republik Indonesia tahun 2008 nomor 54. Sekretariat Negara, Jakarta.
- [2.] Republik Indonesia. 2018. Peraturan Pemerintah nomor 24 tahun 2018 tentang Pelayanan Perizinan Terintegrasi secara Elektronik. Lembaran negara Republik Indonesia tahun 2018 nomor 90. Sekretariat Negara, Jakarta
- [3.] Republik Indonesia. 2017, Peraturan Presiden nomor. 91 tahun 2017 tentang Percepatan Pelayanan Berusaha, Lembaran negara Republik Indonesia tahun 2017 nomor 210, Sekretariat Negara, Jakarta
- [4.] Republik Indonesia. 2016, Peraturan Kepala Bapeten nomor 2 tahun 2016 tentang Pemberlakuan Sistem Elektronik dan Penatalaksanaan dalam Pelayanan Perizinan. Berita negara Republik Indonesia tahun 2016 nomor 476, Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jakarta
- [5.] Tim OSS 2018, Bahan Tayang Presentasi Rapat Kordinasi Tingkat Menteri “Persiapan pelaksanaan pelayanan perizinan berusaha melalui *Online Single Submission (OSS)*”, 3 Mei 2018, Kemenko Perekonomian Republik Indonesia, Jakarta
- [6.] Tim Teknis OSS 2018, Pedoman integrasi aplikasi (PIA) OSS – K/L/D versi 2.2.9, Kemenko Perekonomian Republik Indonesia, Jakarta

PA14

TINJAUAN HUKUM PERPINDAHAN LINTAS BATAS LIMBAH RADIOAKTIF**Dewi Prima Meiliasari¹, Bambang Eko Aryadi¹**¹*Direktorat Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir - BAPETEN, Jakarta*e-mail: d.meiliasari@bapeten.go.id**ABSTRAK**

TINJAUAN HUKUM PERPINDAHAN LINTAS BATAS LIMBAH RADIOAKTIF. Perpindahan lintas batas limbah radioaktif salah satu alternatif dalam cara penanganan limbah radioaktif tingkat tinggi selain limbah lestari, hal ini menjadi perhatian Internasional, salah satunya ada hak dan kewajiban Negara Pihak di dalamnya. Beberapa konvensi sudah mengatur hal ini secara jelas atau komprehensif. Indonesia sebagai Negara pihak yang telah meratifikasi konvensi tersebut wajib mengaturnya dalam kebijakan atau peraturan yang berlaku dalam negaranya atau nasional. Undang-Undang Ketenaganukliran belum mengatur perpindahan lintas batas limbah tersebut. Dalam penulisan ini menjabarkan aturan perpindahan lintas batas limbah radioaktif yang dapat menjadi masukan dalam Undang-Undang Ketenaganukliran dan juga Peraturan Pemerintah tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif. Kajian ini menggunakan metode yuridis normatif yaitu mengkaji ketentuan hukum positif dalam aturan Nasional dan aturan Internasional atau perjanjian Internasional terkait perpindahan lintas batas limbah radioaktif.

Kata kunci: Limbah Radioaktif Tingkat Tinggi, Konvensi, Peraturan Nasional

ABSTRACT

LEGAL REVIEW TRANSBOUNDARY MOVEMENT OF RADIOACTIVE WASTE. *Transboundary movement of radioactive waste is an alternative in the way of handling high level radioactive waste other than sustainable waste, this is the concern of the International, one of which there are rights and obligations of the State Party in it. Some conventions have set this up clearly or comprehensively. Indonesia as a State Party which has ratified the Convention shall regulate it in its national or national policies or regulations. The Nuclear Law has not regulated the transboundary movement of the waste. In this paper describes the rules of transboundary movement of radioactive waste that can be input in the Nuclear Act and also the Government Regulation on Radioactive Waste Management. This study uses the normative juridical method of reviewing the provisions of positive law in the National rules and international rules or international agreements related to transboundary movement of radioactive waste.*

Keywords: High Level Radioactive Waste, Convention, National Regulations

I. PENDAHULUAN

Pemanfaatan tenaga nuklir di Indonesia sudah dilakukan diberbagai bidang antara lain kesehatan, industri, pertanian, penelitian, pengoperasian instalasi nuklir baik untuk penelitian dan pengembangan maupun produksi radioisotop semakin meningkat dalam satu dekade terakhir.

Pemanfaatan tersebut selain mempunyai keuntungan atau segi positif bagi peningkatan kesejahteraan dan kemakmuran rakyat, juga mempunyai potensi bahaya radiasi terhadap pekerja, anggota masyarakat, dan lingkungan hidup. Selain itu pemanfaatan tersebut dapat menghasilkan limbah radioaktif yang juga memiliki potensi bahaya sehingga limbah radioaktif tersebut harus dikelola dengan baik dan tepat untuk mencegah timbulnya bahaya radiasi terhadap pekerja, masyarakat, dan lingkungan hidup.

Pengawasan terhadap pengelolaan limbah radioaktif tersebut diatur dalam Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran (UU Ketenaganukliran) dan lebih khusus diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 61 Tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif (PP Pengelolaan Limbah).

Pengelolaan limbah radioaktif dalam UU Ketenaganukliran merupakan kegiatan yang mencakup pengumpulan, pengelompokan, pengolahan, pengangkutan, penyimpanan, dan/atau pembuangan limbah radioaktif.

Kewajiban dan kewenangan pelaksanaan pengelolaan limbah radioaktif tersebut didasarkan klasifikasi limbah radioaktif sebagaimana diatur dalam Pasal 2 PP Pengelolaan Limbah yang terdiri atas limbah radioaktif tingkat rendah, limbah radioaktif tingkat sedang, dan limbah radioaktif tingkat tinggi.

Penghasil limbah radioaktif tingkat rendah dan tingkat sedang mempunyai kewajiban mengumpulkan, mengelompokkan, atau mengolah sebelum diserahkan kepada Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). Pengolahan limbah radioaktif tersebut diatur tersendiri dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2016 tentang Pengolahan Limbah Radioaktif Tingkat Rendah dan Tingkat Sedang.

Sedangkan untuk limbah radioaktif tingkat tinggi berupa bahan bakar nuklir bekas (Pasal 2 PP Pengelolaan Limbah), Penghasil limbah radioaktif diperbolehkan untuk menyimpan sementara limbah tersebut di instalasinya sebelum dikembalikan ke negara asal atau negara pembuat atau diserahkan kepada BATAN.

Pengembalian limbah radioaktif tingkat tinggi ke negara asal (perpindahan lintas batas limbah) juga dilakukan dalam rangka efisiensi atau mengurangi jumlah limbah yang dikelola, selama perjanjian

pengembalian dengan negara pemasok dilakukan, namun apabila tidak dilakukan perjanjian apakah perpindahan lintas batas limbah (bahan bakar nuklir bekas) masih dapat dikembalikan ke negara asal atau tidak. Apabila tidak dikembalikan ke negara asal, maka diserahkan ke BATAN untuk dilakukan penyimpanan lestari, sedangkan penyimpanan lestari sampai saat ini belum ada, dalam Pasal 25 ayat (2) UU Ketenaganukliran penentuan penyimpanan lestari ditetapkan oleh Pemerintah setelah mendapat persetujuan Dewan Perwakilan Rakyat Republik Indonesia.

Selain perjanjian pengembalian dengan negara pemasok sebelum perpindahan lintas batas limbah (bahan bakar nuklir bekas), apakah syarat atau yang harus dipenuhi pengirim dan penerima dalam melakukan hal tersebut. Apakah setelah di negara asal bisa dilakukan proses daur ulang dan bahan bakar bekas tersebut diperdagangkan internasional.

Resiko kecelakaan, proliferasi atau dampak rutin terhadap lingkungan atau kesehatan manusia yang timbul dari perdagangan ini merupakan masalah Internasional. Pengaturan perpindahan lintas batas limbah belum secara komprehensif diatur dalam PP Pengelolaan Limbah, sedangkan instrumen hukum yang tertinggi (UU Ketenaganukliran) belum mengatur hal tersebut.

Berdasarkan masalah yang diuraikan di atas, tujuan penulisan ini adalah menjelaskan pengaturan yang dibutuhkan terhadap perpindahan lintas batas limbah radioaktif dari rencana pengiriman sampai apa saja yang harus dilakukan apabila kecelakaan terjadi dilihat dari konvensi internasional.

II. LANDASAN TEORI / POKOK BAHASAN

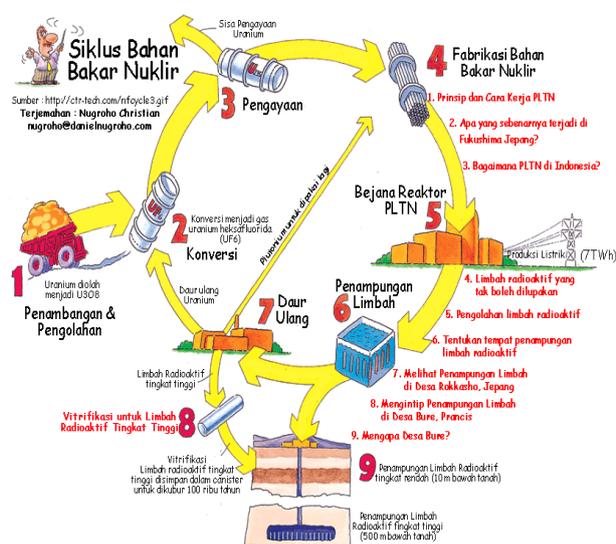
Metode penulisan ini dengan metode deskriptif dilakukan melalui studi pustaka dengan pendekatan yang digunakan adalah pendekatan *law in books* (aturan-aturan tertulis), pengumpulan literatur standar internasional dan peraturan perundang-undangan yang terkait, pengumpulan informasi pendukung, dan dianalisis.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Limbah radioaktif umumnya ditimbulkan dari kegiatan pengoperasian reaktor riset, pemanfaatan sumber radiasi dan bahan radioaktif dalam bidang industri, pertanian, kedokteran dan penelitian serta dari berbagai proses industri yang menggunakan bahan yang mengandung radionuklida alam (*Naturally Occurring Radioactive Material*, NORM). Sedangkan di negara-negara maju, limbah radioaktif juga ditimbulkan dari pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) dan kegiatan daur-ulang bahan bakar nuklir (BBN) bekas dan dekomisioning instalasi/ fasilitas nuklir. Pengelolaan

limbah radioaktif dilaksanakan untuk mencegah timbulnya bahaya radiasi terhadap pekerja, anggota masyarakat dan lingkungan hidup.

Terdapat kebijakan pengelolaan limbah radioaktif, untuk limbah tingkat tinggi (LTT) atau bahan bakar nuklir (BBN) bekas di tiap negara industri nuklir selain berbeda juga masih berubah-ubah. Beberapa negara melakukan pilihan olah-ulang (daur-tertutup) untuk memanfaatkan material fisil dan fertile yang masih terkandung dan sekaligus mereduksi volumenya. Sebagian negara lain melihat LTT sebagai limbah (daur-terbuka), dan berencana untuk mendisposalnya atau menguburnya dalam formasi geologi tanah dalam (*deep repository*). Seperti digambarkan pada gambar 1.



Gambar 1. Daur Bahan Bakar Nuklir

Pengelolaan limbah radioaktif tingkat tinggi (LTT) di negara-negara industri nuklir selain berbeda, juga masih berubah-ubah. Sebagian memilih daur tertutup (memilih opsi olah-ulang) dan sebagian lainnya memilih daur terbuka (memilih opsi disposal). Indonesia memilih daur terbuka, limbah BBN bekas yang awalnya dipasok dari luar Negeri, direksport kembali ke negara asal. Sementara LTT yang ditimbulkan dari Litbang disimpan di ISSFE yang berada dalam kawasan nuklir, sehingga aman dan terkendali.¹

Dalam rangka meningkatkan pengelolaan limbah radioaktif yang ramah lingkungan dan

mencapai pencegahan lalu lintas ilegal, maka Perpindahan lintas batas LTT harus sesuai dengan aturan hukum lingkungan internasional.

Hukum Lingkungan Internasional merupakan instrumen yuridis dalam pengaturan hubungan hukum mengenai sengketa lingkungan yang sifatnya melintasi batas negara.

Hukum Lingkungan Internasional dalam perkembangannya, masyarakat Internasional lebih cenderung untuk membentuk perjanjian Internasional, karena dengan adanya kesepakatan bersama, diharapkan masing-masing negara peserta lebih memiliki rasa tanggung jawab moral yang lebih tinggi untuk mematuhi isi perjanjian yang telah disepakati. Dengan demikian akan ada suatu pengharapan bahwa hukum internasional akan lebih punya makna bila dibentuk berdasarkan perjanjian yang dikenal dengan Hukum Konvensi Internasional.

Perkembangan hukum konvensi di bidang pengelolaan dan perlindungan lingkungan internasional cenderung dimulai dengan membuat perangkat hukum lunak (*soft law*), seperti deklarasi dan resolusi dan kemudian baru diikuti dengan pembuatan hukum keras (*hard law*) seperti konvensi dan protokol².

Hukum lingkungan nasional atau kebijakan nasional juga dipertegas dalam Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, bahwa Pemerintah bertugas dan berwenang menetapkan dan melaksanakan kebijakan mengenai pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup lintas batas negara.

Dengan demikian dalam pelaksanaannya harus mempertimbangkan aturan nasional dan internasional demi keselamatan individu, masyarakat, dan lingkungan.

IAEA mengeluarkan "*Code of Practice on the International Transboundary Movement of Radioactive Waste*", antara lain berisi:

- pembangkit tenaga nuklir dan radioisotop mengakibatkan limbah radioaktif,
- Menyadari potensi bahaya untuk kesehatan manusia dan lingkungan yang dapat diakibatkan oleh pengelolaan yang tidak semestinya atau pembuangan limbah radioaktif,
- Menyadari kekhawatiran publik tentang perpindahan lintas batas limbah radioaktif

¹Erwansyah Lubis, Pengolahan Limbah Radioaktif, diakses dari puskaradim.blogspot.com/2010/06/pengolahan-limbah-radioaktif.html, pada tanggal 28 Mei 2018

²Santiagopawe, Sekilas Tentang Hukum Lingkungan Internasional, diakses dari wordpress.com/2015/12/09/sekilas-tentang-hukum-lingkungan-internasional, pada tanggal 3 Juli 2018

- internasional tanpa izin, terutama ke wilayah negara-negara berkembang, dan bahaya pengelolaan pembuangan limbah yang tidak tepat,
- d. Menyadari perlunya untuk terus mempromosikan standar perlindungan radiasi yang tinggi di seluruh dunia dan untuk memperkuat kerjasama internasional, baik multilateral dan bilateral, di bidang keselamatan nuklir dan pengelolaan limbah radioaktif,
 - e. Menekankan bahwa kerjasama semacam itu harus mempertimbangkan kebutuhan negara-negara berkembang dan mungkin termasuk pertukaran informasi, transfer teknologi dan penyediaan bantuan,
 - f. Mempertimbangkan prinsip keselamatan IAEA, yang mengharuskan, antara lain, bahwa "kebijakan dan kriteria untuk perlindungan radiasi terhadap populasi di luar perbatasan nasional dari pelepasan zat radioaktif seharusnya tidak kurang ketat dibandingkan dengan populasi di negara pelepasan"
 - g. Mempertimbangkan standar dan pedoman keselamatan IAEA yang relevan dengan gerakan lintas batas internasional limbah radioaktif, termasuk standar dan pedoman untuk perlindungan radiologi, transportasi bahan radioaktif yang aman, pengelolaan yang aman dan pembuangan limbah radioaktif, keselamatan fasilitas nuklir, dan perlindungan fisik bahan nuklir,
 - h. Mengingat Konvensi tentang Pemberitahuan Awal Kecelakaan Nuklir dan Konvensi tentang Bantuan dalam Kasus Kecelakaan Nuklir atau Darurat Radiologi,
 - i. Mengingat prinsip-prinsip dan norma-norma hukum internasional yang relevan,
 - j. Mempertimbangkan ketentuan Konvensi Basel tentang Pengendalian Pergerakan Lintas Batas Limbah Berbahaya dan Pembuangannya serta instrumen internasional terkait lainnya, dan
 - k. Mengenali peran global IAEA di bidang keselamatan nuklir, proteksi radiasi dan pengelolaan limbah radioaktif dan pembuangan.

Sangat jelas IAEA mengatur mengenai perpindahan lintas batas limbah radioaktif. Perangkat hukum internasional lainnya yang sudah ada terkait dengan perpindahan lintas batas limbah, salah satunya adalah:

- a. Convention on Nuclear Safety;
- b. Joint Convention On The Safety Of Spent Fuel Management And On The Safety Of Radioactive Waste Management;
- c. Basel Convention On The Control Of Transboundary Movements Of Hazardous Wastes And Their Disposal
- d. Convention The Responsibility of States for Internationally Wrongful Acts (Konvensi Tentang Tanggung Jawab Negara Karena

Perbuatan yang dipersalahkan menurut Hukum Internasional;

- e. Convention on Third Party Liability in The Field of Nuclear Energy (Konvensi tentang Kewajiban Pihak Ketiga di Bidang Energi Nuklir)
- f. Vienna Convention on Civil Liability for Nuclear Damage (Konvensi Wina Tentang Tanggung Jawab Sipil Untuk Kecelakaan Nuklir)

Dalam pelaksanaan perpindahan lintas batas limbah radioaktif harus mempertimbangkan keselamatan agar tidak menimbulkan kecelakaan yang mengakibatkan pertanggungjawaban

A. Pengaturan Mengenai Keselamatan Dalam Perpindahan Lintas Batas Limbah Radioaktif

Beberapa konvensi mengatur mengenai hal tersebut:

A.1 Convention on Nuclear Safety

Konvensi ini mulai berlaku 24 Oktober 1996, diikuti 71 Negara Pihak termasuk Indonesia. Diratifikasi dalam Keppres No. 106 Tahun 2001 tentang Pengesahan Convention on Nuclear Safety.

Tujuan Konvensi ini adalah untuk mencapai dan mempertahankan tingkat keselamatan nuklir yang tinggi di seluruh dunia melalui peningkatan langkah-langkah atau kegiatan yang dilakukan secara nasional dan kerjasama internasional, dan untuk melindungi individu, masyarakat dan lingkungan dari bahaya radiasi nuklir.

Untuk mencegah terjadinya kecelakaan nuklir yang menyebabkan bahaya radiologisetiap pihak wajib mengambil langkah-langkah yang tepat untuk memastikan bahwa keselamatan instalasi nuklir yang ada harus ditinjau ulang secepat mungkin. Jika perbaikan tersebut tidak dipenuhi, maka harus direncanakan untuk menutup instalasi nuklir secepat mungkin.

Konvensi tentang keselamatan nuklir juga mengatur bahwa setiap pihak wajib mengambil langkah-langkah tepat untuk memastikan bahwa semua organisasi yang terlibat dalam kegiatan yang berhubungan langsung dengan instalasi nuklir harus menetapkan kebijakan yang lebih mengutamakan keselamatan nuklir.

Pada bagian lain juga diatur bahwa setiap pihak dalam Konvensi ini harus mengambil langkah yang tepat untuk memastikan tersedianya sumber daya keuangan yang memadai untuk mendukung keselamatan setiap instalasi nuklir dan

memastikan tersedianya staf yang berkualitas dengan pendidikan yang tepat, pelatihan yang tepat dan berkesinambungan. Setiap pihak harus mengambil langkah yang tepat untuk memastikan bahwa pada waktu pengoperasian instalasi nuklir, makapaparan radiasi kepada pekerja dan masyarakat harus dijaga serendah mungkin dan setiap pihak harus memastikan bahwa tidak ada individu yang terkena radiasi nuklir yang melebihi dosis normal.

Uraian di atas menunjukkan bahwa Konvensi tentang Keselamatan Nuklir ini sangat penting peranannya dalam perpindahan lintas batas limbah, dari perencanaannya, kompetensi petugas yang bertugas dalam perpindahan lintas batas limbah harus diperhatikan. Pengolahan bahan bakar nuklir bekas juga menjadi perhatian karena dalam konvensi ini hanya diberlakukan untuk pemanfaatan nuklir untuk tujuan damai.

A.2 Joint Convention On The Safety Of Spent Fuel Management And On The Safety Of Radioactive Waste Management

Konvensi ini sudah diratifikasi dengan Peraturan Presiden Nomor 84 Tahun 2010. Dalam konvensi ini pengaturan mengenai perpindahan lintas batas limbah:

- a. Perpindahan lintas batas diizinkan hanya apabila terdapat pemberitahuan atau kesepakatan dari negara asal ke negara tujuan;
- b. Perpindahan lintas batas melalui negara persinggahan wajib tunduk pada kewajiban-kewajiban internasional yang relevan dengan moda-moda transportasi tertentu yang digunakan;
- c. Negara tujuan wajib memiliki kapasitas administratif dan teknik, serta struktur pengaturan yang diperlukan untuk mengelola bahan bakar nuklir bekas atau limbah radioaktif;
- d. Negara asal dengan negara tujuan wajib membuat perjanjian atau kesepakatan sebelum perpindahan lintas batas dilaksanakan;
- e. Negara asal wajib mengambil langkah-langkah yang tepat apabila perpindahan lintas batas limbah masuk kembali ke dalam wilayahnya
- f. Negara Pihak wajib tidak mengizinkan pengiriman bahan bakar nuklir bekas atau limbah radioaktif miliknya ke arah Selatan dengan tujuan 60° (enam puluh derajat) lintang selatan untuk penyimpanan atau pembuangan.

Hak-hak yang dipenuhi dalam perpindahan lintas batas limbah radioaktif:

- a. hak-hak dan kebebasan kenavigasian maritim, sungai dan udara sebagaimana ditetapkan

dalam hukum internasional dengan menggunakan kapal dan pesawat udara oleh seluruh Negara;

- b. hak-hak suatu Negara Pihak yang menjadi terpat tujuan ekspor limbah radioaktif mempersiapkan pengembalian limbah radioaktif dan produk-produk lain setelah pengolahan, kepada Negara asal; (adakah ketentuan, negara pihak dapat mengolah limbah tanpa perjanjian)
- c. hak Negara Pihak untuk mengekspor bahan bakar nuklir bekasnya untuk pengolahan ulang;
- d. hak-hak Negara Pihak yang menjadi tempat tujuan ekspor bahan bakar nuklir bekas yang akan diolah ulang untuk mengembalikan, atau mempersiapkan pengembalian limbah radioaktif dan produk-produk lain yang berasal dari pengolahan ulang, kepada Negara asal.

Ada beberapa pengaturan konvensi perpindahan lintas batas yang belum diatur dalam peraturan yang berlaku di Indonesia, padahal Indonesia sudah meratifikasi konvensi tersebut, kewajiban negara pihak yang sudah meratifikasi konvensi salah satunya adalah wajib mempunyai regulasi yang berlaku secara nasional. Namun pada instrumen hukum yang tertinggi yaitu UU Ketenaganukliran, pengaturan limbah tingkat tinggi (bahan bakar bekas) hanya diatur dengan penanganan limbah lestari, belum ada pengaturan mengenai pengembalian ke negara asal (perpindahan lintas batas limbah radioaktif), juga pengaturan mengenai perpindahan lintas batas untuk pengolahan bahan bakar nuklir bekas. Pengaturan tersebut sangat dibutuhkan untuk menghindari perpindahan lintas batas limbah ilegal sampai tidak maksud damai.

Sampai saat ini belum ada penanganan limbah tingkat tinggi dengan disimpan di penyimpanan limbah lestari. Namun UU Ketenaganukliran sudah mengaturnya bahwa penentuan lokasi limbah lestari harus mendapatkan persetujuan Dewan Perwakilan Rakyat terlebih dahulu.

Dalam Peraturan Pemerintah (PP) tentang Pengelolaan Limbah sudah mengatur mengenai perpindahan lintas batas limbah dalam Bab tersendiri, namun belum semua pengaturan yang di konvensi di atur dalam PP ini salah satunya pengaturan mengenai:

- a. hak untuk mengekspor bahan bakar nuklir bekas untuk pengolahan ulang;
- b. perpindahan lintas batas ilegal.
- c. pertanggungjawaban Perpindahan lintas

A.3 Basel Convention On The Control Of Transboundary Movements Of Hazardous Wastes And Their Disposal

Pada dasarnya tingkat bahaya limbah

radioaktif tidak berbeda dengan limbah berbahaya lainnya, yang membedakan adalah penyebab dan mekanisme terjadinya interaksi dengan target³. Karakteristik bahaya dari limbah radioaktif adalah memancarkan radiasi yang dapat mengionisasi atau merusak target sehingga menjadi tidak stabil/disfungsi, sedangkan karakteristik bahaya dari limbah B3 antara lain: mudah meledak, mudah terbakar, beracun, reaktif, menyebabkan infeksi dan bersifat korosif.

Pada konvensi yang sudah diratifikasi dalam Keputusan Presiden Nomor 61 tahun 1993 *tentang Pengesahan Basel Convention On The Control Of Transboundary Movements Of Hazardous Wastes And Their Disposal*, perpindahan lintas batas limbah sangat komprehensif, ini dapat menjadi referensi dalam pengaturan perpindahan lintas batas limbah radioaktif.

Dalam konvensi ini perpindahan lintas batas limbah terutama ke negara-negara berkembang memiliki risiko tinggi. Sadar akan keprihatinan internasional yang semakin besar tentang perlunya kontrol yang ketat terhadap perpindahan lintas batas limbah ilegal. Dalam konvensi ini juga mempertimbangkan kemampuan negara-negara berkembang untuk mengelola limbah.

Perpindahan lintas batas limbah hanya diizinkan ketika transportasi dan pembuangan akhir limbah tersebut ramah lingkungan, dan untuk melindungi manusia dan lingkungan terhadap dampak buruk yang mungkin dihasilkan dari pengelolaan limbah.

Perpindahan lintas batas dalam konvensi ini yaitu setiap pergerakan limbah berbahaya atau limbah lainnya dari suatu area di bawah yurisdiksi nasional dari satu Negara ke atau melalui suatu area di bawah yurisdiksi nasional Negara lain atau ke atau melalui suatu daerah yang tidak berada di bawah yurisdiksi nasional dari suatu negara. Negara, disediakan setidaknya dua Negara terlibat dalam gerakan ini.

Dalam konvensi ini tidak diizinkan ekspor limbah berbahaya atau limbah lain untuk dibuang di wilayah selatan 60° Lintang Selatan.

Limbah yang di pindahkan harus diberi label, dan diangkut sesuai dengan aturan dan standar internasional yang berlaku umum dan diakui di bidang pengemasan, pelabelan, dan transportasi.

Dalam konvensi ini mengenai hal-hal apa saja yang harus diperhatikan dalam perpindahan lintas batas limbah, yaitu:

1. Negara pengekspor memberitahukan secara tertulis deklarasi rencana mengekspor dengan bahasa yang bisa diterima oleh negara pengimpor
2. Aliran tanggapan surat dari negara pengimpor diinformasikan kepada badan pengawas negara pengekspor
3. Perpindahan lintas batas limbah dimulai apabila sudah mendapatkan persetujuan tertulis dari negara transit.
4. Dalam waktu 60 hari sejak diterimanya surat pemberitahuan ke negara transit tidak ada tanggapan, negara pengekspor dapat tetap mengekspor melalui status transit
5. Negara-negara pengekspor tunduk pada persetujuan tertulis dari negara-negara yang bersangkutan
6. Negara bersangkutan membuat persetujuan tertulis salah satunya berisi jumlah limbah atau daftar berkala limbah yang akan dikirimkan. Hal ini mencakup untuk beberapa pengiriman limbah selama periode maksimum 12 (dua belas) bulan
7. Negara pihak menentukan siapa yang bertanggungjawab atas perpindahan lintas batas limbah dan menandatangani dokumen pergerakan pada saat pengiriman atau penerimaan limbah. Badan pengawas dari negara bersangkutan berhak mengetahui hal ini.
8. Setiap perpindahan lintas batas harus dilindungi oleh asuransi, obligasi atau jaminan lainnya.
9. Negara pengimpor harus memastikan bahwa limbah tersebut dikelola dengan baik.

Setiap perpindahan lintas batas yang tidak mengikuti ketentuan di atas, dalam konvensi ini dianggap sebagai perpindahan limbah lintas batas ilegal.

Dalam hal perpindahan lintas batas limbah dinyatakan ilegal, para pihak yang berkepentingan (negara yang bersangkutan) tidak akan mencegah kembalinya limbah tersebut ke negara mengekspor.

Konvensi ini juga mengatur kewajiban negara pihak untuk:

1. Memperkenalkan Undang-Undang nasional masing-masing dalam rangka mencegah perpindahan limbah ilegal.

³Mokhammad Alfian, Strategi Pengelolaan Limbah Radioaktif Di Indonesia Ditinjau Dari Konsep Cradle To Grave, diambil pada 28 Mei 2018.

2. bekerjasama bilateral atau multilateral dengan tujuan untuk mengendalikan perpindahan lintas batas dengan ketentuan bahwa perjanjian atau pengaturan tersebut tidak menyimpang dari pengelolaan limbah ramah lingkungan.
3. menyepakati pertanggungjawaban atau kompensasi apabila terjadi kecelakaan dari perpindahan lintas batas limbah. Pembentukan dana bergulir juga ditentukan untuk membantu sementara dalam hal situasi darurat untuk meminimalkan kerusakan dan kecelakaan.
4. menginformasikan apapun yang terkait setiap perpindahan lintas batas limbah sampai apabila terjadi kecelakaan kepada badan pengawas, termasuk perpindahan lintas batas limbah ilegal.

Konvensi ini sangat komprehensif mengatur perpindahan lintas batas limbah, walaupun tidak spesifik untuk limbah radioaktif namun konvensi ini baik digunakan untuk referensi

B. Pengaturan Mengenai Pertanggungjawaban Apabila Terjadi Kecelakaan Dalam Perpindahan Lintas Batas Limbah Radioaktif

Dalam perpindahan limbah lintas batas sangat rentan dengan kecelakaan, karena itu seperti telah disebutkan dalam konvensi Basel, bahwa salah satu kewajiban negara pihak menyepakati pertanggungjawaban atau kompensasi apabila terjadi kecelakaan dari perpindahan lintas batas limbah. Dalam konvensi Basel juga mengatur setiap perpindahan lintas batas harus dilindungi oleh asuransi, obligasi atau jaminan lainnya

Pada prinsipnya pertanggungjawaban (*liability*) karena kecelakaan nuklir terjadi selama pengangkutan bahan bakar nuklir atau bahan bakar nuklir bekas sama dengan kecelakaan dalam pengoperasian yang mengakibatkan lepasan radioaktif lintas batas. Yang bertanggung jawab adalah pengusaha instalasi pengirim sebagaimana disebutkan dalam Pasal 29 UU Ketenaganukliran. Tanggung jawab pengusaha instalasi pengirim dapat dialihkan kepada pengusaha instalasi penerima atau pengusaha pengangkutan kalau diperjanjikan secara tertulis.

Konvensi yang terkait mengenai pertanggungjawaban, yaitu:

B.1 Convention The Responsibility of States for

Internationally Wrongful Acts (Konvensi Tentang Tanggung Jawab Negara Karena Perbuatan yang dipersalahkan menurut Hukum Internasional).

Keharusan suatu negara untuk bertanggung jawab terhadap tindakan-tindakannya yang secara internasional tidak sah, secara tegas diatur dalam Pasal 1 Convention The Responsibility of States for Internationally Wrongful Acts 2001, yaitu: “*Every Internationally wrongful act of State entails the international responsibility of that State*”.

Dalam bab V Konvensi ini diatur pula beberapa hal tentang pembenaran terhadap pelanggaran internasional, yakni:

- a. persetujuan, yakni persetujuan yang sah oleh suatu negara terhadap tindakan dari negara lain yang bertentangan namun tindakan tersebut masih dalam batas-batas persetujuan (Pasal 20);
- b. embelaan diri. Suatu negara diijinkan bertindak dalam cara-cara yang bertentangan dengan kewajiban internasional dengan tujuan membela diri, sebagaimana dinyatakan dalam Piagam PBB (Pasal 21);
- c. tindakan-Tindakan Balasan yaitu tindakan balasan yang atas pelanggaran yang dilakukan oleh negara lain dengan cara pembalasan- pembalasan yang sah dan diperkenankan dalam hukum internasional dan tidak melibatkan angkatan bersenjata (Pasal 22);
- d. force majeure. Suatu negara diijinkan bertindak dalam cara yang bertentangan dengan kewajiban internasional jika perbuatan itu karena force majeure, yaitu terjadinya situasi yang benar-benar di luar kemampuan, atau suatu peristiwa yang tak terduga atau di luar kendali Negara (Pasal 23);
- e. distress atau Kesulitan. Suatu negara diijinkan bertindak dalam cara yang bertentangan dengan kewajiban internasional jika dalam situasi dimana negara pelaku tidak memiliki cara lain yang lebih baik dalam upayanya menyelamatkan hidupnya atau orang-orang yang berada dalam tanggung jawabnya (Pasal 24);
- f. Cecessity atau Kebutuhan.

Kebutuhan merupakan pembenaran terhadap pelanggaran internasional oleh suatu negara hanya apabila tindakan tersebut satu-satunya cara bagi Negara untuk melindungi kepentingannya dari bahaya yang serius, dan tidak secara luas merusak kepentingan dari negara tersebut.

B.2

Convention on Third Party Liability in The Field of Nuclear Energy (Konvensi tentang Kewajiban Pihak Ketiga di Bidang Energi Nuklir)

Pasal 3 Convention on Third Party Liability in The Field of Nuclear Energy mengatur bahwa operator dari sebuah instalasi nuklir bertanggung jawab untuk:

- a. erusakan atau hilangnya kehidupan dari setiap orang, dan
- b. erusakan atau kehilangan harta lainnya.

Selanjutnya dalam Pasal 6 huruf (b) disebutkan bahwa hak atas kompensasi atas kerusakan yang disebabkan oleh kecelakaan nuklir hanya dapat dibebankan terhadap operator yang bertanggung jawab atas kerusakan sesuai dengan Konvensi ini. Ketentuan ini menegaskan bahwa pihak yang bertanggung jawab apabila terjadi kerusakan atau hilangnya kehidupan seseorang maupun kerusakan atau hilangnya harta lainnya adalah pihak yang mengoperasikan (operator) instalasi nuklir.

B.3

Vienna Convention on Civil Liability for Nuclear Damage (Konvensi Wina Tentang Tanggung Jawab Sipil Untuk Kecelakaan Nuklir)

Pasal 2 Konvensi ini mengatur bahwa operator dari sebuah instalasi nuklir bertanggung jawab atas kerusakan nuklir tersebut yang disebabkan oleh kecelakaan nuklir:

- a. i instalasi nuklirnya; atau
- b. elibatkan bahan nuklir yang datang dari atau berasal dari instalasi nuklir; dan
- c. elibatkan bahan nuklir yang dikirim ke instalasi nuklir. Misalnya kecelakaan nuklir di Jepang adalah peristiwa kecelakaan yang terjadi di instalasi nuklirnya dan melibatkan bahan nuklirnya dan melibatkan bahan nuklir yang berasal dari instalasi nuklir tersebut pula.

Selanjutnya Pasal 4 ayat (1) mengatur bahwa tanggung jawab operator untuk kerusakan nuklir di bawah Konvensi ini harus mutlak. Sedangkan Pasal 4 ayat (3) butir a dan b, mengatakan bahwa tidak ada kewajiban berdasarkan Konvensi ini melimpahkan tanggung jawab terhadap operator untuk atau oleh kecelakaan nuklir yang disebabkan secara langsung oleh kecelakaan nuklir yang disebabkan antara lain oleh konflik bersenjata, permusuhan, perang sipil atau pemberontakan, demikian juga dengan kecelakaan nuklir oleh bencana alam yang luar biasa besarnya.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan tinjauan di atas disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

- a. ndonesia sebagai negara pihak dalam konvensi yang sudah diratifikasi wajib mengikuti ketentuan-ketentuan yang terdapat dalam konvensi ke dalam aturan atau kebijakan nasional, karena itu pengaturan perpindahan lintas batas sangat penting diatur dalam Undang-Undang Ketenaganukliran;
- b. turan mengenai perpindahan lintas batas dalam Peraturan Pemerintah diperluas ditambahkan pengaturan mengenai perpindahan lintas batas limbah radioaktif dalam tujuan damai tidak terbuka kemungkinan dalam bentuk illegal, serta pengaturan mengenai pengolahan perpindahan limbah radioaktif tingkat tinggi lintas batas
- c. engaturan mengenai sanksi dan pertanggungjawaban akibat perpindahan lintas batas limbah radioaktif tingkat tinggi dikaji lebih lanjut.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Republik Indonesia, *Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 Tentang Ketenaganukliran*, Setneg, Jakarta, 1997;
- [2] Republik Indonesia, *Undang-undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*, Setneg, Jakarta, 2009;
- [3] Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah Nomor 61 Tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif*, Setneg, Jakarta, 2013;
- [4] Republik Indonesia, *Keputusan Presiden Nomor 106 tahun 2001 tentang Pengesahan on Nuclear Safety*, Setneg, Jakarta, 2001
- [5] Republik Indonesia, *Peraturan Presiden Nomor 84 Tahun 2010 tentang Pengesahan Joint Convention On The safety of spent fuel management and on the safety of radioactive waste management (konvensi gabungan tentang*

- keselamatan pengelolaan bahan bakar nuklir bekas dan tentang keselamatan pengelolaan limbah radioaktif*, Setneg, Jakarta, 2010;
- [6] Republik Indonesia, *Keputusan Presiden Nomor 61 tahun 1993 tentang Pengesahan Basel Convention On The Control Of Transboundary Movements Of Hazardous Wastes And Their Disposal*, Setneg, Jakarta, 1993;
- [7] Mokhammad Alfiyan, *Strategi Pengelolaan Limbah Radioaktif Di Indonesia Ditinjau Dari Konsep Cradle To Grave*, diambil pada 28 Mei 2018;
- [8] <http://puskaradim.blogspot.com/2010/06/pengolahan-limbah-radioaktif.html>, diakses 28 Mei 2018;
- [9] <https://wordpress.com/2015/12/09/sekilas-tentang-hukum-lingkungan-internasional>, diakses 3 Juli 2018;

NO	Nama penanya	Kode Makalah	Nama Penyaji	Pertanyaan dan Jawaban
1.	Beni Iskandar (Bakamla)	PA14	Dewi Prima M.	<p>1. Siapakah yg berwenang koordinasi dalam perpindahan lintas batas limbah radioaktif ini? Kementerian mana yg dimaksud?</p> <p>Jawab:</p> <p>1. Yang berwenang adalah BAPETEN dan Bea Cukai, berkoordinasi dg BAKAMLA.</p>

PA15

**PENGEMBANGAN PERATURAN KETENAGANUKLIRAN DALAM RANGKA Mendukung
PEMBUATAN TINGKAT PANDUAN PAPARAN MEDIK NASIONAL**

Satria Prahara

Jabatan Fungsional Pengawas Radiasi Pertama

Direktorat Pengaturan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif - BAPETEN

e-mail: s.prahara@bapeten.go.id

ABSTARK: PENGEMBANGAN PERATURAN KETENAGANUKLIRAN DALAM RANGKA Mendukung PEMBUATAN TINGKAT PANDUAN PAPARAN MEDIK NASIONAL. BAPETEN memiliki kewajiban menetapkan tingkat panduan paparan medik untuk radiologi diagnostik dan intervensional, dan kedokteran nuklir sebagaimana diamanatkan di dalam Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007. Tingkat panduan paparan medik ditetapkan oleh BAPETEN di dalam Perka BAPETEN No. 8 tahun 2011 dan Perka BAPETEN No. 17 Tahun 2012. Nilai tingkat panduan paparan medik yang telah ditetapkan merupakan nilai adopsi dari nilai yang diberikan pada publikasi IAEA mengenai standar keselamatan dasar. Idealnya tingkat panduan paparan medik dihitung sendiri oleh masing-masing negara berdasarkan survey dalam skala luas yakni nasional. Saat ini, BAPETEN telah membuat sistem informasi data dosis pasien nasional untuk mengumpulkan data dosis pasien dari seluruh pemegang izin di Indonesia. Data ini akan digunakan sebagai bahan untuk membuat nilai tingkat panduan paparan medik nasional. Agar proses pembuatan nilai tingkat panduan paparan medik nasional dapat berlangsung efektif perlu didukung dengan infrastruktur pengawasan yang baik. Salah satu infrastruktur pengawasan adalah peraturan. Peraturan terkait tingkat panduan paparan medik yang berlaku saat ini perlu direviu untuk menemukan potensi permasalahan yang dapat memperlambat proses pembuatan nilai tingkat panduan paparan medik nasional dengan mempertimbangkan perkembangan standar internasional terkini, *best practice* dari berbagai negara, serta kondisi aktual di Indonesia. Dari hasil reviu direkomendasikan 5 ketentuan yang perlu dimasukkan ke dalam pengembangan peraturan.

Kata kunci: BAPETEN, Peraturan, Tingkat Panduan Paparan Medik, Reviu, Efektif.

ABSTRACT

THE DEVELOPMENT OF NUCLEAR REGULATION FRAMEWORK FOR SUPPORTING THE MAKING OF NATIONAL DIAGNOSTIC REFERENCE LEVEL. BAPETEN has a responsibility to establish the diagnostic reference level for diagnostic and interventional radiology, and nuclear medicine as mandated in Government Regulation no. 33 year 2007. The diagnostic reference level established by BAPETEN in the BAPETEN Chairman No.8 year 2011 and BAPETEN Chairman No. 17 year 2012. The Diagnostic reference level value as established by BAPETEN adopted from the IAEA publications on basic standards. Ideally the value of diagnostic reference level is calculated on its own by each country based on a wide-scale national survey. Currently, BAPETEN has established a patient dose data information system to collect patient dose data from all licensee in Indonesia. This data will be used as a means to create the national diagnostic reference level. The effective process of making the national diagnostic reference level should be supported with a good regulatory infrastructure. One of the regulatory infrastructure is regulation. Related regulations need to be reviewed in order to discover the potential risk that can affect the process of making the national diagnostic reference level with taking in to account recent international standard, best practices from different countries, and actual conditions in Indonesia. From the results, there are 5 recommendation for developing the related regulations.

Keywords: BAPETEN, Regulation, Diagnostic Reference Level, Review, Effective.

I. PENDAHULUAN

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Kemanan Sumber Radioaktif (PP 33/2007), Pemegang izin yang memanfaatkan tenaga nuklir wajib memenuhi persyaratan proteksi radiasi meliputi justifikasi pemanfaatan tenaga nuklir, limitasi dosis, dan optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi [1].

Optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi sebagai salah satu persyaratan proteksi radiasi harus diupayakan agar besarnya dosis yang diterima oleh pasien serendah mungkin yang dapat dicapai dengan mempertimbangkan faktor ekonomi dan sosial.

Penerapan optimisasi dilaksanakan melalui pembatas dosis dan tingkat panduan paparan medik. Tingkat panduan paparan medik diperuntukkan bagi paparan medik dalam radiologi diagnostik dan intervensional, dan kedokteran nuklir.

Sebagai badan pengawas, BAPETEN memiliki kewajiban untuk menetapkan tingkat panduan paparan medik berdasarkan standar nasional atau standar internasional.

Tingkat panduan paparan medik ditetapkan di dalam Peraturan Kepala BAPETEN No. 11 Tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi Dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensial (Perka BAPETEN/8/2011) dan Peraturan Kepala BAPETEN No.17 Tahun 2012 tentang Keselamatan Radiasi Dalam Kedokteran Nuklir (Perka BAPETEN 17 Tahun 2012).

Nilai tingkat panduan paparan medik yang telah ditetapkan merupakan nilai adopsi dari nilai yang diberikan pada publikasi IAEA mengenai standarkeselamatan dasar [2]. Idealnya tingkat panduan paparan medik dihitung sendiri oleh masing-masing negara berdasarkan survey dalam skala luas yakni nasional[3].

Beberapa negara sudah menetapkan tingkat panduan paparan medik skala nasional antara lain Australia [4], Jepang [5] dan Inggris [6]. Bahkan Inggris selalu memutakhirkan data tingkat panduan paparan medik nasional mereka secara berkala 5 (lima) tahun sekali.

Saat ini, BAPETEN telah membuat sistem informasi data dosis pasien nasional (Si-Intan) sebagai portal online untuk mengumpulkan data dosis pasien dari seluruh pemegang izin di Indonesia. Data ini akan digunakan sebagai bahan untuk membuat nilai tingkat panduan paparan medik nasional [7].

Agar proses pembuatan nilai tingkat panduan paparan medik nasional dapat berlangsung efektif perlu didukung dengan infrastruktur pengawasan yang baik. Salah satu infrastruktur pengawasan adalah peraturan.

Peraturan terkait tingkat panduan paparan medik yang berlaku saat ini perlu direvisi untuk menemukan potensi permasalahan yang dapat

memperlambat proses pembuatan nilai tingkat panduan paparan medik nasional dengan mempertimbangkan perkembangan standar internasional terkini, *best practice* dari berbagai negara, serta kondisi aktual di Indonesia.

II. POKOK BAHASAN

Beberapa topik yang dibahas dalam makalah ini antara lain :

- a. Peraturan terkait tingkat panduan paparan medik,
- b. Tingkat panduan paparan medik berdasarkan standar internasional,
- c. Konsep tingkat panduan paparan medik di beberapa negara,
- d. Perkembangan pembuatan tingkat panduan paparan medik nasional indonesia, dan
- e. Usulan pengembangan konsep pengaturan terkait tingkat panduan paparan medik.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Peraturan terkait tingkat panduan paparan medik

a. PP 33/2007

Tingkat panduan paparan medik diperuntukkan bagi paparan medik dalam radiologi diagnostik dan intervensional, dan kedokteran nuklir.

Pihak-pihak terkait dengan tingkat panduan paparan medik antara lain BAPETEN sebagai instansi yang menetapkan tingkat panduan paparan medik mengacu pada standar nasional atau internasional, dan praktisi medik sebagai pihak yang menggunakan tingkat panduan paparan medik di instansi masing-masing.

Tingkat panduan paparan medik dapat diperbarui sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang berhubungan dengan proteksi dan keselamatan radiasi.

Untuk memastikan tingkat panduan paparan medik dipatuhi, khusus untuk radiologi diagnostik dan intervensional diberlakukan Uji kesesuaian terhadap pesawat sinar-x [1].

b. Perka BAPETEN 8/2011

Perka ini merupakan peraturan pelaksana dari PP 33/2007. Di dalam Perka ditetapkan tingkat panduan paparan medik untuk pasien dewasa tertentu pada radiologi diagnostik dan intervensional yaitu radiografi dan fluoroskopi.

Untuk radiografi, dibagi menjadi 3 modalitas yaitu radiografi diagnostik, CT-Scan, dan mamografi. Tingkat panduan paparan medik untuk radiografi diagnostik ditetapkan pada 12 jenis pemeriksaan

lumbal, (*abdomen, intravenous urography, dan chelecystography*), *pelvis*, sendi panggul, paru, torakal, gigi, dan kepala. Tingkat panduan paparan medik untuk CT-Scan ditetapkan untuk 3 jenis pemeriksaan yaitu kepala, lumbal dan abdomen. Tingkat panduan paparan medik untuk mamografi untuk setiap proyeksi *cranio-caudal* tanpa grid dan dengan grid.

Untuk flouroskopi, tingkat panduan paparan medik ditetapkan untuk operasi normal dan tingkat tinggi.

Pihak-pihak yang memiliki tugas dan tanggungjawab untuk menerapkan tingkat panduan paparan medik di instansi/rumah sakit yang mengoperasikan pesawat sinar-x adalah dokter spesialis radiologi atau dokter yang berkompeten, dan dokter gigi spesialis radiologi kedokteran gigi [8].

c. Perka BAPETEN 17/2012

Perka ini juga merupakan peraturan pelaksana dari PP 33/2007. Di dalam Perka ditetapkan tingkat panduan paparan medik dalam bentuk tingkat panduan aktivitas untuk prosedur diagnosa tulang, otak, lacrimal, tiroid, paru-paru, hati dan limpa, *cardiovascular*, (perut, sistem *gastrointestinal*, ginjal, sistem saluran air seni dan adrenalin), dan lain-lain.

Pihak-pihak yang memiliki tugas dan tanggungjawab untuk menerapkan tingkat panduan aktivitas adalah dokter spesialis kedokteran nuklir [9].

B. Tingkat panduan paparan medik berdasarkan standar internasional

1. GSR Part 3

Sesuai dengan rekomendasi GSR Part 3 tahun 2014, pemerintah harus menetapkan tingkat panduan paparan medik dari hasil koordinasi atau konsultasi antara otoritas kesehatan, asosiasi profesi, dan badan pengawas untuk tiap jenis pemeriksaan tindakan radiologi diagnostik dan intervensional termasuk diagnostik pada kedokteran nuklir. Nilai tingkat panduan paparan medik didasarkan pada hasil survei dalam skala yang luas atau ditetapkan suatu nilai sesuai dengan kondisi lokal yang sesuai [3].

2. Hasil konferensi internasional IAEA-WHO tahun 2012.

Konferensi internasional yang diselenggarakan oleh IAEA dan WHO dengan tema "*Radiation protection in medicine setting the scene for the next decade*" diselenggarakan pada tanggal 3-7 Desember 2012 di kota Bonn – Jerman. Konferensi ini menghasilkan 10 aksi yang dikenal dengan istilah "*Bonn Call for*

Action" dengan tujuan untuk memperkuat proteksi radiasi dalam dunia kedokteran dekade kedepan [10].

Salah satu aksi terkait dengan tingkat panduan paparan medik adalah aksi ke 2 yaitu meningkatkan implementasi prinsip optimisasi yang salah satunya adalah memastikan penetapan, penggunaan, dan pemutakhiran secara regular terhadap tingkat panduan paparan medik khususnya untuk pasien anak-anak.

3. Hasil technical meeting IAEA tahun 2016.

Pertemuan teknis mengenai pemantauan dosis pasien dan penggunaan *Diagnostic Reference Level (DRL)* untuk pengoptimalan perlindungan dalam pencitraan medis diselenggarakan di kantor IAEA pada 30 Mei - 3 Juni 2016. Lebih dari 60 profesional dari 35 negara berbeda dan 8 organisasi internasional dan profesional berpartisipasi dalam pertemuan ini [11].

Fokus pertemuan adalah untuk memahami situasi saat ini, mengidentifikasi kekuatan dan kelemahan dalam praktik yang sedang berlangsung dan dalam menggunakan DRL untuk optimalisasi keselamatan pasien dan meningkatkan praktik medis.

Berdasarkan analisis kelemahan dan tantangan, pertemuan ini mengidentifikasi kemungkinan solusi dan tindakan yang dikelompokkan menjadi 6 poin utama yaitu sumber daya manusia (SDM), budaya keselamatan dan kualitas, peraturan, dosimetri pasien, pendanaan, dan alat dan metode.

a. SDM

Memastikan keterlibatan fisikawan medis dalam pencitraan diagnostik, meningkatkan kualitas dan pengetahuan para ahli radiologi dan spesialis kedokteran nuklir, serta meningkatkan motivasi dan keterlibatan radiografer dalam melakukan pemantauan dosis pasien.

b. Budaya keselamatan dan kualitas

meningkatkan kesadaran akan pentingnya justifikasi dan optimisasi serta pentingnya kerja sama tim, meningkatkan kontribusi asosiasi profesi, mendorong akuntabilitas, meningkatkan motivasi profesional di bidang kesehatan,

c. Peraturan

Menetapkan atau mengembangkan peraturan dan membangun infrastruktur proteksi radiasi khususnya terkait optimisasi, mendorong peningkatan jumlah sumber daya khususnya fisikawan medik, dan meningkatkan kapasitas SDM.

d. Dosimetri pasien, DRL dan jaminan kualitas harus menjadi mandatori (wajib).

e. Pendanaan: Melobi dan meyakinkan pemerintah untuk meningkatkan pendanaan mikro.

f. Alat dan metode:

- membuat program nasional DRL, mulai dari menetapkan DRL hingga implementasi;
- membangun sistem berkelanjutan untuk memungkinkan memperbarui DRL secara periodik;
- menetapkan mekanisme untuk pengumpulan dan pelaporan dosis;
- meningkatkan standardisasi sistem klasifikasi untuk prosedur medis;
- menyediakan peralatan dosimetri dan meningkatkan kalibrasi dan kontrol kualitas;
- meningkatkan strategi DRL, khususnya untuk indikasi dan ukuran pasien;
- mengembangkan teknik analisis kualitas gambar dan implementasinya.

C. Tingkat panduan paparan medik di beberapa Negara

1. Jepang

Tingkat panduan paparan medik di Jepang ditetapkan untuk pertama kali pada tahun 2015 dari hasil kerjasama badan pengawas, peneliti, asosiasi profesi dan akademisi untuk beberapa jenis kegiatan antara lain *Computed Tomography, Adult Computed Tomography, Paediatric Computed Tomography, General Radiography, Mammography, Dental Intra oral Radiography, Fluoroscopy guided interventional procedure, and Nuclear Medicine* [5].

2. Inggris

Tingkat panduan paparan medik di Inggris pertama kali ditetapkan tahun 1980 dan selalu diperbaharui setiap 5 tahun sekali. Tingkat panduan paparan medik tahun 2005 lebih rendah 16% dibanding nilai tahun 2000, dan 50% lebih rendah dibanding tahun 1980.

Data terbaru, Inggris menetapkan nilai tingkat panduan paparan medik yang ditetapkan oleh PHE (*Public Health England*) pada awal tahun 2016 untuk 1. *CT Examination (adult & paediatric)*, 2. *General Radiography and Fluoroscopy (individual radiograph on adult patient, diagnostic examination on adult patient, interventional procedure on adult patients,*

and diagnostic examination on paediatric patients), dan 3. *dental radiography* [6].

3. Amerika

Penetapan tingkat panduan paparan medik di Amerika, masih diinisiasi oleh beberapa universitas-universitas lokal dan sedang dalam tahap membuat tingkat panduan paparan medik nasional [12].

4. Australia

Penetapan tingkat panduan paparan medik di Australia diinisiasi oleh ARPANSA (*Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency*) dengan melakukan survey online (*web-based*) terhadap 3 modalitas yaitu 1. *Multi detector computed tomography (MDCT)*, 2. *Imaged guided interventional procedure*, dan 3. *Nuclear Medicine*.

Saat ini Australia telah menetapkan 2 tingkat panduan paparan medik nasional yaitu untuk modalitas MDCT *adult (+15 years)* dan *paediatric (5-14 years, and 0-4 years)* serta tingkat panduan paparan medik untuk modalitas *nuclear medicine*, untuk *imaged guided interventional procedure* masih dalam tahap survey [4].

D. Perkembangan pembuatan tingkat panduan paparan medik nasional Indonesia.

Pada Tahun 2014 - 2015, P2STPFRZR - BAPETEN menyediakan sebuah aplikasi database berbasis web yang dimulai untuk inputan data dosis tiap pemeriksaan CT Scan via online yang disebut dengan Si-INTAN (Sistem Informasi Data Dosis Pasien Nasional). Selanjutnya, dikembangkan untuk modalitas Fluoroskopi dan intervensional (2016), radiografi umum (2017), kedokteran nuklir diagnostik (2017), mamografi (2018) dan radiografi gigi (2018).

Portal Si-INTAN digunakan sebagai sarana untuk melakukan pemantauan dosis pasien dan untuk penyusunan *Diagnostic Reference Level (DRL)* lokal maupun nasional. Portal Si-INTAN dibuat dan dikembangkan dari adaptasi portal sejenis yang dimiliki oleh ARPANSA Australia maupun IAEA dalam *Radiation Protection Of Patients (RPOP)*.

Pada tahap awal, pemantauan dosis pasien dilakukan pada pemeriksaan CT Scan. Pada tahap selanjutnya akan dikembangkan pemantauan untuk dosis pasien radiologi intervensional (fluoroskopi intervensional dan kardiologi intervensional), dan kedokteran nuklir.

Pada Tahun 2016, rintisan kerjasama telah dilakukan bersama Kementerian Kesehatan (KEMENKES) dan Asosiasi

Fisikawan Medik Indonesia (AFMI) untuk upaya optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi dengan sistem manajemen dosis secara online (web-based).

Outcome dari sistem aplikasi Si-INTAN adalah:

- Terbangunnya sistem yang berkelanjutan untuk manajemen dosis pasien radiologi diagnostik dan intervensional yang memungkinkan adanya perbaikan dan reviu secara berkala.
- Indonesia memiliki sebuah profil dosis pasien untuk tiap jenis pemeriksaan radiologi diagnostik dan intervensional sebagai bahan kebutuhan untuk pengawasan yang lebih baik.
- Rumah sakit atau institusi pelayanan kesehatan memiliki tool untuk upaya optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi bagi pasien dan sebagai upaya pelaporan pemantauan dosis pasien (manajemen dosis pasien).
- Rumah sakit atau institusi pelayanan kesehatan dapat memiliki DRL lokal.
- Indonesia memiliki DRL Nasional sesuai dengan sumber dayanya yang memungkinkan untuk di update dan reviu secara berkala [7].

E. Usulan konsep pengembangan peraturan terkait tingkat panduan paparan medik.

Berdasarkan perkembangan standar internasional, hasil konferensi IAEA-WHO tahun 2012, hasil *technical meeting* IAEA tahun 2016, tingkat panduan paparan medik di beberapa negara, serta perkembangan pembuatan tingkat panduan paparan medik nasional yang telah diuraikan, dan dibandingkan dengan kondisi *existing* peraturan terkait tingkat panduan paparan medik, berikut beberapa “GAP” yang ditemukan, antara lain:

1. Belum ada ketentuan mewajibkan badan pengawas menetapkan nilai tingkat panduan paparan medik nasional berdasarkan survey skala nasional.
2. Belum ada ketentuan mewajibkan pemegang izin menetapkan tingkat panduan paparan medik lokal untuk masing-masing pemegang izin mengacu pada tingkat panduan paparan medik nasional.
3. Belum ada ketentuan yang mewajibkan adanya pemutakhiran data DRL secara rutin,
4. Tingkat panduan paparan medik yang terdapat di dalam Perka BAPETEN 8/2011 dan Perka BAPETEN 17/2012 belum berdasarkan survey skala nasional sebagaimana direkomendasikan oleh IAEA.

5. Tingkat panduan paparan medik yang terdapat di dalam Perka BAPETEN 8/2011 dan Perka BAPETEN 17/2012 mengakomodir pasien anak.

6. BAPETEN telah menyiapkan aplikasi online pengumpulan data dosis pasien untuk dijadikan bahan pembuatan tingkat panduan paparan medik nasional, namun di peraturan saat ini belum ada pernyataan kewajiban pemegang izin untuk menginput informasi dosis pasien kedalam aplikasi online tersebut.

Beberapa “GAP” yang ditemukan bisa menjadi faktor penghambat proses pembuatan tingkat panduan paparan medik nasional, oleh karena itu diperlukan pengembangan konsep peraturan baik itu setingkat peraturan pemerintah maupun peraturan kepala BAPETEN.

Permasalahan poin 1,2,3,4 memungkinkan adanya irisan kewenangan antara lebih dari satu instansi pemerintahan contohnya antara BAPETEN, Kementerian Kesehatan, dan/atau BATAN. Oleh karena permasalahan tersebut sebaiknya menjadi pertimbangan untuk dimasukkan kedalam pengembangan PP 33/2007.

Untuk poin 5 tingkat panduan paparan medik untuk pasien anak sebaiknya ditetapkan dalam peraturan kepala BAPETEN karena sifatnya teknis dan apabila sewaktu-waktu nilainya berubah, lebih mudah ditetapkan karena peraturan kepala tidak memerlukan persetujuan kementerian lain dan tidak memerlukan tanda tangan presiden.

Untuk poin 6 interaksi yang terjadi hanya antara BAPETEN dan pemegang izin, sehingga sebaiknya ditetapkan dalam level peraturan kepala BAPETEN.

Berikut beberapa usulan konsep pengembangan pengaturan berdasarkan 6 permasalahan yang ditemukan.

1. Pengembangan PP 33/2007

Didalam batang tubuh PP 33/2007 sebaiknya mencantumkan beberapa ketentuan berikut, antara lain:

- a. Badan Pengawas wajib menetapkan tingkat panduan paparan medik nasional berdasarkan survey skala nasional
- b. Pemegang izin wajib menetapkan tingkat panduan paparan medik lokal mengacu pada tingkat panduan paparan medik nasional
- c. Penetapan tingkat panduan paparan medik nasional dan lokal dilakukan secara berkala paling kurang 5 (lima) tahun sekali.

Didalam bagian penjelasan perlu dicantumkan uraian untuk menjelaskan ketentuan dibatang tubuh bahwa survey skala nasional yang dimaksud

melibatkan BAPETEN, Kementerian Kesehatan, BATAN, Asosiasi Profesi Terkait, dan Akademisi.

2. Pengembangan Perka BAPETEN 8/2011 dan Perka BAPETEN 12/2017

Di dalam batang tubuh Perka sebaiknya mencantumkan ketentuan bahwa pemegang izin wajib menyampaikan nilai dosis pasien ke aplikasi online si-Intan secara periodik

Di dalam lampiran, perlu mencantumkan tingkat panduan paparan medik nasional untuk pasien anak.

IV. KESIMPULAN

Pembuatan tingkat panduan paparan medik nasional perlu didukung dengan infrastruktur pengawasan yang baik salah satunya peraturan. peraturan yang ada saat ini perlu dikembangkan untuk mendorong proses pembuatan tingkat panduan paparan medik nasional dapat berjalan efektif.

Peraturan yang perlu dikembangkan antara lain PP 33/2007, Perka BAPETEN 8/2011, dan Perka BAPETEN 17/2012. Beberapa ketentuan perlu dimasukkan antara lain:

1. Kewajiban badan pengawas untuk menetapkan tingkat panduan paparan medik nasional berdasarkan survey skala nasional yang melibatkan BAPETEN, Kementerian Kesehatan, BATAN, Asosiasi Profesi terkait, dan Akademisi.
2. Kewajiban pemegang izin untuk menetapkan tingkat panduan paparan medik lokal.
3. Penetapan tingkat panduan paparan medik nasional dan lokal perlu dilakukan secara berkala paling kurang 5 (lima) tahun sekali.
4. Pemegang izin wajib menyampaikan data dosis pasien kedalam aplikasi si-Intan secara periodik.
5. Tingkat panduan paparan medik ditetapkan tidak hanya untuk dewasa tetapi juga ditetapkan untuk pasien anak

DAFTAR PUSTAKA

- [13] Republik Indonesia, (2007), *Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 Tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif*, Setneg, Jakarta;
- [14] Hiswara, E, (2016), *Tingkat Acuan Diagnostik Pada Radiografi Umum*, Batan, Jakarta;
- [15] IAEA, (2014), *Radiation Protection dan Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards GSR Part 3*, IAEA, Vienna;
- [16] <https://www.arpansa.gov.au/research/surveys/national-diagnostic-reference-level-service>, diakses 29 Mei 2018;
- [17] J-Rime, (2015), *Diagnostic Reference Levels Based on Latest Survey in Japan*, J-RIME, Japan;
- [18] <https://www.gov.uk/government/publications/diagnostic-radiology-national-diagnostic-reference-levels-ndrls/national-diagnostic-reference-levels-ndrls>, diakses 29 Mei 2018;
- [19] <http://idrl.bapeten.go.id/index.php/site/introduction>, diakses 29 Mei 2018;
- [20] BAPETEN, (2011), *Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi Dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional*, BAPETEN, Jakarta;
- [21] BAPETEN, (2012), *Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 17 Tahun 2012 tentang Keselamatan Radiasi Dalam Kedokteran Nuklir*, BAPETEN, Jakarta;
- [22] IAEA-WHO, (2012), *Bonn Call For Action – 10 Action to Improve Radiation Protection in Medicine in The Next Decade*, IAEA-WHO, Jerman,;
- [23] <https://www.iaea.org/newscenter/news/technical-meeting-on-patient-dose-monitoring-and-the-use-of-diagnostic-reference-levels-for-the-optimization-of-protection-in-medical-imaging>, diakses 29 Mei 2018;
- [24] James A. Brink & Donald L Miller, (2015), *U.S. National Diagnostic Reference Level: Closing the Gap*, RSNA, Amerika Utara.

NO	Nama penanya	Kode Makalah	Nama Penyanggi	Pertanyaan dan Jawaban
1.	Nuhadiansyah (BAPETEN)	PA15	Satria Pradhara	<p>1. Kenapa Negara tsb. yg dipilih jadi contoh tingkat panduan paparan medik? Apa keunggulannya?</p> <p>Jawab:</p> <p>1. Ada 4 negara yang dipilih untuk menginformasikan progress penetapan tingkat panduan paparan medik yg berbeda masing masing Negara. Negara yang paling concern adalah Inggris, karena nilainya sudah ditetapkan secara nasional dan diperbaharui 5 tahun sekali. Untuk Jepang baru ditetapkan tahun 2015, begitu</p>

				juga Australia.
2.	Leily Savitri (BAPETEN)	PA15	Satria Praha	<ol style="list-style-type: none"> 1. Saran: Di abstrak sebaiknya dicantumkan kesimpulan agar menggugah minat para pembaca. 2. Di abstrak disebutkan ada 5 ketentuan pengembangan peraturan terkait tingkat panduan paparan medik (TPPM). <p>Jawab:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Saran diterima. 2. Ada 5, yaitu: (1) kewajiban badan pengawas menetapkan TPPM nasional; (2) kewajiban pemegang izin (PI) menetapkan TPPM lokal; (3) penetapan TPPM secara periodik 5 tahun sekali; (4) PI wajib input data dosis pasien ke dalam aplikasi Si-INTAN; (5) perlu menetapkan TPPM untuk pasien anak.

PA16

ANALISIS KESELAMATAN PEMANFAATAN SMALL-SIZE ELECTRON ACCELERATOR 7 MeV (SEA-7) DALAM KEGIATAN UJI TIDAK MERUSAK

Supriatno¹, Liya Astuti²

¹Direktorat Perizinan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif

²Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif

e-mail: s.supriatno@bapeten.go.id; l.astuti@bapeten.go.id

ABSTRAK: ANALISIS KESELAMATAN PEMANFAATAN SMALL-SIZE ELECTRON ACCELERATOR 7 MeV (SEA-7) DALAM KEGIATAN UJI TIDAK MERUSAK. *Small-Size Electron Accelerator 7 MeV (SEA-7)* adalah sumber bremsstrahlung dengan spektrum energi berkelanjutan yang timbul sebagai akibat dari konversi energi kinetik elektron selama perlambatan target yang dihasilkan dari material dengan nomor atom yang tinggi. Peralatan ini digunakan untuk kegiatan uji tidak merusak dalam fasilitas terbuka dan tertutup. Analisis terhadap aspek keselamatan radiasi penggunaan SEA-7 penting untuk dilakukan sebagai upaya melindungi pekerja dan masyarakat dari dosis radiasi yang melebihi NBD. Identifikasi menggunakan metode deskriptif kuantitatif yang memaparkan kondisi terkini tentang penggunaan SEA-7 dalam kegiatan uji tidak merusak. Aspek keselamatan radiasi dalam penilaian ini dibagi menjadi pokok bahasan yaitu deskripsi teknologi, fitur keselamatan, persyaratan keselamatan, paparan kerja dan paparan masyarakat. Dari analisis ini dapat disimpulkan bahwa penggunaan SEA-7 belum sepenuhnya memenuhi persyaratan keselamatan radiasi yang tercantum dalam Peraturan Perundangan yang berlaku.

Kata kunci: *Akselerator SEA-7, fitur keselamatan, paparan kerja, paparan masyarakat.*

ABSTRACT

SAFETY ANALYSIS UTILIZATION OF SMALL-SIZE ELECTRON ACCELERATOR 7 MeV (SEA-7) FOR NON-DESTRUCTIVE TESTING . *Small-Size Electron Accelerator (SEA-7)* a bremsstrahlung source with a continuous energy spectrum arising as a result of the electron kinetic energy conversion during deceleration in the target made of a material with high atomic number. This equipment is used for non-destructive testing activities in outdoor and closed facilities. Analysis of the radiation safety aspect from using SEA-7 is important to undertake in order to protect worker and public from radiation dose that exceed dose limit value. Identification using quantitative descriptive methods that describes the current state of SEA-7 utilization in non-destructive testing activities. The radiation safety aspect in this assessment is divided into subjects of technological description, safety features, safety requirements, occupational exposure and public exposure. From this analysis it can be concluded that the use of SEA-7 has not fully met the radiation safety requirements listed in the Government Regulation.

Keywords: *SEA-7 Accelerator, safety feature, occupational exposure, public exposure*

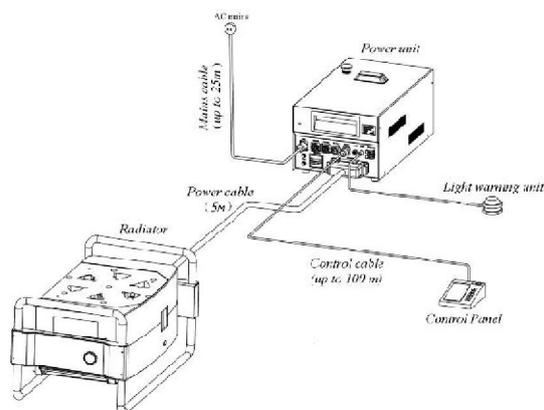
PENDAHULUAN

Small-Size Electron Accelerator (SEA-7) adalah pesawat yang menghasilkan berkas elektron dan/atau sinar-X energi tinggi untuk kegiatan uji tidak merusak pada fasilitas tertutup maupun terbuka. Peralatan ini dikembangkan oleh Tomsk Polytechnic University, Rusia dan digunakan dalam kegiatan uji tak rusak. Untuk pemeriksaan korositas baja, teknik dengan *peak output* sebesar 7 MeV ini dapat digunakan sampai dengan ketebalan 250 mm. Sedangkan untuk pemeriksaan kekuatan struktur beton, peralatan ini dapat digunakan sampai dengan ketebalan 1200 mm [1]. Desain dari SEA-7 memungkinkan penggunaannya dalam ruangan terbuka

dan berbeda dengan teknologi sebelumnya yang hanya dapat digunakan dalam ruangan tertutup. Peralatan tersebut pertama kali diajukan izin pemanfaatannya di Indonesia pada Januari 2017 [2].

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 29 Tahun 2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir, kegiatan uji tidak merusak dikelompokkan dalam kegiatan radiografi industri baik untuk fasilitas terbuka maupun fasilitas tertutup [3]. Pada fasilitas terbuka umumnya menggunakan kamera radiografi dengan zat radioaktif pemancar gamma, yaitu Ir-192 dan Se-75. Sedangkan radiografi industri fasilitas tertutup menggunakan pembangkit Sinar-X. Penggunaan pembangkit sinar-X

pada kegiatan tersebut biasanya ditempatkan secara tetap pada ruangan khusus berperisai radiasi.



Gambar 1. Small-Size Electron Accelerator SEA-7
(Sumber: [1])

SEA-7 sebagaimana pada Gambar 1 di atas memungkinkan penggunaan pembangkit sinar-X digunakan dalam kondisi lapangan. Peralatan ini terdiri dari 4 komponen utama yaitu: Unit Radiator yang merupakan unit pembangkit dari sinar-X; Unit Daya yang berfungsi sebagai pengatur kestabilan daya listrik radiator menggunakan tegangan listrik 220 V fasa tunggal AC sehingga memungkinkan untuk dioperasikan menggunakan stop kontak biasa; Panel Kendali yang berfungsi sebagai penghubung antara pengguna dengan akselerator. Panel ini mengatur tegangan, setting dan moda penyinaran yang diinginkan; dan, Lampu Peringatan yang berfungsi sebagai indikator saat pengoperasian peralatan. Lampu hijau mengindikasikan peralatan tidak dioperasikan, lampu kuning mengindikasikan peralatan dalam kondisi persiapan dan lampu merah mengindikasikan peralatan sedang digunakan.

Dalam pemanfaatan peralatan tersebut untuk kegiatan radiografi industri fasilitas terbuka, penting untuk memenuhi aspek keselamatan sebagaimana termasuk dalam lingkup Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif [4]. Dalam peraturan tersebut, terdapat pedoman tentang paparan medik, paparan kerja dan paparan masyarakat. Dalam pemanfaatan SEA-7, paparan kerja dan paparan radiasi menjadi hal yang harus diperhatikan agar tetap memenuhi nilai batas dosis (NBD). Kondisi maksimum dari SEA-7 sebesar 7 MeV dan desain peralatan yang tidak menggunakan perisai tambahan

berpotensi untuk menimbulkan paparan radiasi yang melebihi nilai batas dosis untuk pekerja dan anggota masyarakat.

Tujuan dari penulisan makalah ini adalah untuk menilai tingkat keselamatan penggunaan SEA-7 berdasarkan Peraturan Peurindang-undangan (PUU) nasional, standar IAEA, dan panduan keselamatan radiasi negara lain yang relevan. Analisis dilakukan dengan memperhatikan fitur keselamatan, paparan kerja dan paparan masyarakat. Hal-hal mengenai praktik keselamatan yang dilakukan oleh pengguna tidak termasuk dalam lingkup makalah ini.

POKOK BAHASAN

Fitur Keselamatan

Berikut ini beberapa fitur keselamatan yang terdapat pada SEA-7 sebagaimana tercantum dalam *manual operating* dari Tomsk Polytechnic University: Sistem Interlok, sistem dua kunci, Lampu Indikator Peringatan, Dosimeter, Pelindung dari Tegangan Berlebih, Pelindung dari Arus Berlebih, Pelindung dari Konsumsi Arus Berlebih, Pelindung dari Panas Berlebih, dan Tombol Henti Darurat. Fitur tersebut kemudian dibandingkan dengan persyaratan keselamatan sebagaimana diuraikan pada Pasal 34 dan 37 Peraturan Kepala (Perka) BAPETEN No. 7 Tahun 2009 tentang Keselamatan Radiasi Dalam Penggunaan Peralatan Radiografi Industri [5] dan perubahannya Perka No. 8 Tahun 2014 [6], standar IAEA *Safety Guide SSG-1 tentang Radiation Safety In Industrial Radiography* [7] dan *Radiation Safety Guide ST 5.6 tentang Radiation Safety In Industrial Radiography* dari STUK-Finlandia [8]. Standar STUK ini digunakan sebagai perbandingan dengan salah satu negara yang mewakili negara maju dan sesuai dengan bahasan dalam tulisan ini.

Paparan Kerja dan Masyarakat

Perka BAPETEN No.4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir [9] mendefinisikan paparan kerja sebagai paparan radiasi yang diterima oleh pekerja radiasi. Adapun pekerja radiasi adalah setiap orang yang bekerja di instalasi nuklir atau instalasi radiasi pengion yang diperkirakan menerima dosis tahunan melebihi dosis untuk masyarakat umum. Selanjutnya, pada Perka tersebut juga telah menetapkan Nilai Batas Dosis (NBD) bagi pekerja maupun masyarakat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fitur Keselamatan

Berdasarkan [1], SEA-7 memiliki beberapa fitur keselamatan sebagai berikut:

1. Sistem Interlok: cara untuk mengamankan jalannya proses serta pengamanan peralatan dari unit yang paling kecil sampai keseluruhan sistem. Dimana alat pengaman tersebut terkait satu dengan yang lainnya, sehingga membentuk satu kesatuan yang akan bekerja secara serentak apabila kondisi proses atau alat mengalami gangguan. Sistem interlok berada pada *control panel*
2. Sistem Dua Kunci: peralatan hanya dapat dinyalakan saat kunci dimasukan kedalam *control panel* dan *power unit*.
3. Lampu Indikator Peringatan: berfungsi sebagai indikator saat pengoperasian peralatan. Lampu hijau mengindikasikan peralatan tidak dioperasikan, lampu kuning mengindikasikan peralatan dalam kondisi persiapan dan lampu merah mengindikasikan peralatan sedang digunakan.
4. Dosimeter: berfungsi sebagai pengatur dosis radiasi dan laju dosis bremsstrahlung. Terpasang

pada unit radiator yang dioperasikan melalui control panel.

5. Pelindung Tegangan Berlebih: melindungi power unit dari tegangan berlebih akibat ketidakstabilan tenaga listrik.
6. Pelindung dari Arus Berlebih: melindungi power unit dari arus listrik berlebih akibat ketidakstabilan tenaga listrik.
7. Pelindung dari Konsumsi Daya Berlebih: melindungi power unit dari konsumsi daya berlebih.
8. Pelindung dari Panas Berlebih: melindungi power unit dari panas berlebih yang ditimbulkan akibat pengoperasian alat melalui pemasangan thermal sensor –thermistor R. SEA-7 memiliki 4 buah thermal sensor Fitur ini yang tersedia juga pada unit radiator
9. Tombol HentiDarurat: berfungsi untuk menghentikan proses penyinaran secara seketika. Fitur ini tersedia pada unit radiator dan *power unit*

Tabel 1 berikut menyajikan perbandingan antara persyaratan keselamatan sebagaimana diuraikan Perka BAPETEN No. 7 Tahun 2009 dengan fitur keselamatan SEA-7.

Tabel 1. Analisis persyaratan keselamatan SEA-7 sesuai dengan Perka No. 7 Tahun 2009.

No.	Perka No. 7 Tahun 2009 / Perka No. 8 Tahun 2014	SEA-7
1.	Tabung harus sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI) atau standar lain yang tertelusur	Tomsk Polytechic University mendapatkan sertifikat ISO 9001 : 2008 untuk <i>implemented and maintains a Quality Management System</i> dengan ruang lingkup <i>Design & provision of pre-university, higher, post-graduate additional education & scientific innovation reseach</i> dan berlaku sampai dengan 20 Juni 2016. [10] Terdapat Sertifikat uji fungsi dari Tomsk Polytechnic University tanggal 10 September 2017 [11] untuk nomor seri tabung terpasang 2331 dan tabung sparepart 2338 dan 2349.
2.	Panjang kabel catu daya paling kurang 20 m (duapuluh meter) dengan generator hingga 300kVp (tigaratus kilovolt puncak) dan lebih panjang dengan tegangan tabung yang lebih tinggi, untuk penggunaan Peralatan Radiografi di Fasilitas Terbuka.	Panjang kabel catu daya adalah sampai dengan 25 meter, panjang kabel daya dari power unit ke radiator adalah 5 meter, panjang kabel kontrol dari power unit ke panel kendali adalah sampai dengan 100 meter. Energi maksimal dari generator adalah 7 MeV.
3.	Menggunakan diafragma dan filter	Tidak menggunakan diafragma dan filter karena luasan medan radiasi sebesar 250 mm x 250 mm

		pada jarak 1 meter.
4.	Kebocoran radiasi pada tabung tidak melebihi 10 mgray/jam (sepuluh miligray per jam) pada jarak 1 meter (satu meter)	Tidak terdapat keterangan tentang kebocoran radiasi pada tabung, namun terdapat keterangan laju dosis pada jarak 1 meter dari target dengan energi maksimum 7 MeV adalah 88 mGy / menit. Berdasarkan sertifikat dari Tomsk Polytechnic University tanggal 10 Januari 2018 [12] terdapat keterangan bahwa berdasarkan Peraturan Perundangan yang berlaku di Rusia, dosis radiasi yang dapat diterima oleh pekerja adalah 20 mSv/tahun. Dengan estimasi waktu kerja adalah 8 jam/hari, maka operator harus berada sejauh 175 meter dari arah berkas utama.
5.	Tabung Pembangkit Radiasi Pngion memiliki sistem pendukung yang memelihara posisi tabung agar tidak roboh, merosot, atau bergetar selama pengoperasian	Tabung terpasang pada Radiator unit dalam posisi yang kokoh.
6.	Kontrol panel dilengkapi dengan: label yang menunjukkan bahaya Pembangkit Radiasi Pngion dan tanda peringatan radiasi; saklar kunci; pengatur waktu atau saklar <i>on/off</i> ; dan indikator yang menunjukkan tegangan dan kuat arus tabung.	Kontrol panel memiliki beberapa indikator keselamatan sebagai berikut: label tanda bahaya radiasi, saklar pengunci, pengatur waktu, tombol henti darurat, tombol <i>on/off</i> , indikator tegangan dan kuat arus tabung, dosimeter terintegrasi, layar monitor yang menunjukkan beragam parameter pengoperasian.

Dari tabel tersebut di atas dapat dilihat bahwa fitur keselamatan SEA-7 belum sepenuhnya memenuhi persyaratan PUU. Besarnya laju dosis yang dihasilkan oleh SEA-7 sebesar 88 mGy/menit pada jarak 1 meter melebihi ambang batas dari kebocoran radiasi untuk tabung pembangkit radiasi pngion sebesar 10 mGy/jam pada jarak 1 meter. Jarak aman agar dosis pekerja tidak melebihi NBD sejauh 175 meter tidak sebanding dengan jarak maksimum kabel penghubung antara panel kendali dengan power unit sebesar 100 meter. Dengan

demikian penerapan prinsip proteksi radiasi mutlak diperlukan untuk dapat mengoperasikan peralatan sesuai dengan PUU.

Analisis perbandingan antara persyaratan keselamatan sebagaimana diuraikan oleh Standar IAEA SSG-11 bab *safety system and warning system for X-ray generator* dengan fitur SEA-7 dapat dilihat pada Tabel-2 berikut:

Tabel 2. Analisis persyaratan keselamatan SEA-7 sesuai dengan Standar IAEA SSG-11.

No.	Standar IAEA SSG-11	SEA-7
1.	Pintu Interlok	Memiliki fitur keselamatan sistem interlok dan sistem dua kunci
2.	Lampu indikator peringatan	Memiliki lampu indikator peringatan bahaya radiasi
3.	Tombol berhenti darurat	Memiliki tombol berhenti darurat

4.		Memiliki fitur keselamatan tambahan antara lain: dosimeter terintegrasi, pelindung dari tegangan berlebih, pelindung dari arus berlebih, pelindung dari konsumsi arus berlebih, pelindung dari panas berlebih
----	--	---

Dari tabel tersebut di atas dapat dilihat bahwa fitur keselamatan SEA-7 telah memenuhi persyaratan SSG-11. SEA-7 juga memiliki fitur lain yang tidak dipersyaratkan oleh SSG-11, yaitu fitur keselamatan tambahan antara lain: dosimeter terintegrasi, pelindung dari tegangan berlebih, pelindung dari arus berlebih, pelindung dari konsumsi arus berlebih, pelindung dari panas berlebih. Dengan demikian secara umum peralatan tersebut telah memenuhi persyaratan keselamatan

berdasarkan standar IAEA SSG-11. Namun untuk pengoperasiannya perlu memperhatikan pengendalian terhadap daerah kerja dan daerah pengawasan mengingat besarnya laju dosis yang dihasilkan peralatan tersebut.

Tabel 3 berikut menyajikan perbandingan antara persyaratan keselamatan sebagaimana diuraikan *Radiation Safety Guide* ST 5.6 tentang *Radiation Safety In Industrial Radiography* dari STUK-Finlandia dengan fitur keselamatan SEA-7.

Tabel 3. Analisis persyaratan keselamatan SEA-7 sesuai dengan *Radiation Safety Guide* ST 5.6 STUK-Finlandia

No.	Radiation Safety Guide ST 5.6 STUK-Finlandia	SEA-7
1.	Kebocoran radiasi: untuk tabung dengan tegangan lebih dari 200 kV, kebocoran radiasi yang diperbolehkan adalah 5 mSv/jam	Tidak terdapat keterangan tentang kebocoran radiasi pada tabung, namun terdapat keterangan laju dosis pada jarak 1 meter dari target dengan energi maksimum 7 MeV adalah 88 mGy / menit (setara dengan 88 mSv/menit). Berdasarkan sertifikat dari Tomsk Polytechnic University tanggal 10 Januari 2018, terdapat keterangan bahwa berdasarkan Peraturan Perundangan yang berlaku di Rusia, dosis radiasi yang dapat diterima oleh pekerja adalah 20 mSv/tahun. Dengan estimasi waktu kerja adalah 8 jam/hari, maka operator harus berada sejauh 175 meter dari arah berkas utama
2.	Sistem Filtrasi: untuk tabung dengan tegangan lebih dari 300 kV, membutuhkan total filtrasi sebesar 0.5 mm menggunakan tembaga	Tidak menggunakan sistem filtrasi.
3.	Tombol shutter dan diafragma	Tombol shutter berada di panel kendali dengan sistem kerja sesuai dengan parameter yang ditentukan sebelumnya pada panel kendali. Tidak menggunakan diafragma dan filter karena luasan medan radiasi sebesar 250 mm x 250 mm pada jarak 1 meter
4.	Kabel dan panel kendali: panjang kabel antara unit pembangkit dengan panel kontrol sepanjang 20	Panjang kabel catu daya adalah sampai dengan 25 meter, panjang kabel daya dari power unit ke

	meter. Panel kendali dilengkapi dengan: kunci utama; 2 indikator penyinaran terpisah; sistem interlok; lampu tanda bahaya radiasi; tulisan peringatan bahaya radiasi	radiator adalah 5 meter, panjang kabel kontrol dari power unit ke panel kendali adalah sampai dengan 100 meter Kontrol panel memiliki beberapa indikator keselamatan sebagai berikut: label tanda bahaya radiasi, saklar pengunci, pengatur waktu, tombol henti darurat, tombol on/off, layar monitor yang menunjukkan beragam parameter pengoperasian
5.	Penanda pada tabung meliputi: maksimum voltase tabung (kV); maksimum arus tabung (mA); sudut/arrah berkas utama; filtrasi unit tabung	Terdapat keterangan informasi pada bagian belakang unit radiator yang memuat informasi voltase dan arus. Untuk informasi sudut/arrah berkas utama terdapat pada panduan operasional SEA-7. Sedangkan untuk filtrasi unit tabung tidak ditemukan keterangan mengenai hal tersebut.

Berdasarkan tabel di atas dapat dilihat bahwa SEA-7 belum sepenuhnya memenuhi persyaratan *Radiation Safety Guide* ST 5.6 STUK-Finlandia. Besarnya laju dosis yang dihasilkan oleh SEA-7 sebesar 88 mGy/menit pada jarak 1 meter melebihi ambang batas dari kebocoran radiasi untuk tabung pembangkit radiasi pengion sebesar 5mSv/jam pada jarak 1 meter.

SEA-7 juga tidak menggunakan sistem kerja yang dipersyaratkan dalam peraturan tersebut diantaranya sistem filtrasi dan sistem diafragma. Dengan demikian, penggunaan SEA-7 tidak memenuhi persyaratan keselamatan berdasarkan *Radiation Safety Guide* ST 5.6 STUK-Finlandia.

Berdasarkan perbandingan ketiga referensi di atas, SEA-7 memiliki beberapa fitur keselamatan, diantaranya; sistem interlok; sistem dua kunci operasi; tombol henti darurat; lampu indikator bahaya radiasi; panjang kabel catu daya yang cukup; dan panel kendali dengan beragam fitur keselamatan. SEA-7 belum cukup baik dalam perlindungan pekerja dari dosis radiasi. Besarnya laju dosis yang dihasilkan oleh SEA-7 sebesar 88 mGy/menit pada jarak 1 meter dapat melebihi NBD bagi pekerja dan masyarakat. SEA-7 tidak dilengkapi dengan pelindung tambahan untuk mengurangi paparan radiasi yang ditimbulkan.

Paparan Kerja dan Paparan Masyarakat

Berdasarkan [1] pada pembahasan distribusi relatif dari laju dosis pada posisi horizontal maka akan didapatkan hasil perhitungan sebagaimana tersaji

pada tabel 4 berikut. Perhitungan berdasarkan asumsi sebagai berikut; pada kondisi maksimum sebesar 7 MeV; pada jarak 1 meter dari arah berkas utama kemudian dilakukan perhitungan berdasarkan variasi jarak dimulai dari 10 meter sampai dengan 100 meter sesuai dengan panjang kabel maksimum dari unit pembangkit ke panel kendali sesuai dengan spesifikasi.

Berdasarkan tabel 4 di atas, dapat dihitung perkiraan dosis pekerja dan dosis masyarakat dalam pengoperasian fasilitas terbuka adalah sebagai berikut:

1. Jika, diasumsikan SEA-7 dioperasikan pada kondisi maksimum 7 MeV selama satu jam dan operator berada sejauh 100 meter pada posisi sudut 0 derajat dari arah berkas utama (laju dosis terbesar), maka akan didapatkan dosis sebesar **52,8 mGy/jam** yang ekuivalen dengan **52,8 mSv/jam**. Dengan asumsi waktu kerja per hari adalah 8 jam, maka akan didapatkan dosis harian sebesar **422,4 mSv/hari**. Dengan asumsi waktu kerja per minggu adalah 5 hari dan waktu kerja pertahun adalah 50 minggu, maka akan didapatkan dosis radiasi tahunan adalah **10,56 x 10⁴ mSv**. Perhitungan jam kerja per hari selama 8 jam merupakan asumsi konservatif untuk mendapatkan nilai dosis maksimal per tahun. Nilai dosis dapat bervariasi sesuai dengan jumlah jam kerja per hari.
2. Jika, diasumsikan SEA-7 dioperasikan pada kondisi maksimum 7 MeV selama satu jam dan operator berada sejauh 100 meter pada posisi sudut 270 derajat dari arah berkas utama maka akan didapatkan dosis sebesar **0.01164 mGy/jam** yang ekuivalen dengan **0.01164 mSv/jam**. Dengan asumsi waktu kerja per hari adalah 8 jam, maka akan didapatkan dosis

harian sebesar **0.09312 mSv**. Dengan asumsi waktu kerja perminggu adalah 5 hari dan waktu kerja pertahun adalah 50 minggu, maka akan didapatkan dosis radiasi tahunan adalah **23,8 mSv/tahun**. Perhitungan jam kerja per hari selama 8 jam merupakan asumsi konservatif untuk mendapatkan nilai dosis maksimal per tahun. Nilai dosis dapat bervariasi sesuai dengan jumlah jam kerja per hari.

3. Besarnya dosis radiasi yang diterima oleh pekerja dan masyarakat dipengaruhi oleh jarak dari SEA-7 saat dioperasikan dan sudut dari arah berkas utama. Semakin jauh jarak dari pekerja dan masyarakat maka dosis yang diterima akan semakin kecil.
4. Berdasarkan sertifikat dari Tomsk Polytechnic University tanggal 10 Januari 2018, terdapat keterangan bahwa berdasarkan Peraturan Perundangan yang berlaku di Rusia, dosis radiasi yang dapat diterima oleh pekerja adalah 20 mSv/tahun. Dengan estimasi waktu kerja adalah 8 jam/hari, maka operator harus berada sejauh 175 meter dari arah berkas utama.

Tabel 4. Distribusi laju dosis pada kondisi 7 MeV

Sudut Derajat	0	10	20	30	60	90	180	270	330	340	350
Nilai (%)	100	57	11	6.6	3.7	5.5	3.8	2.2	11	30	58
Dosis (mGy/menit)	88	50.16	9.68	5.81	3.25	4.84	3.34	1.94	9.68	26.4	51
Dosis tahunan pada jarak 10 meter	105.600	60.192	11.616	6.972	3.900	5.808	4.008	2.328	11.616	31.680	61.200
Dosis tahunan pada jarak 20 meter	26.400	15.048	2.904	1.743	975	1.452	1.002	582	2.904	7.920	15.300
Dosis tahunan pada jarak 30 meter	11.640	6.688	1.291	774,7	433,3	645,3	445,3	258,7	1.291	3.520	6.800
Dosis tahunan pada jarak 40 meter	6.600	3.762	726	435,7	243,7	363	250,5	145,5	726	1.980	3.825
Dosis tahunan pada jarak 50 meter	4.224	2.407	464,6	278,8	156	232,3	160,3	93	464,6	1.267	2.48
Dosis tahunan pada jarak 60 meter	2.928	1.672	322,7	193,7	108,3	161,3	111,3	64,7	322,7	880	1.700
Dosis tahunan pada jarak 70 meter	2.160	1.228	237	142,3	79,6	118,5	81,8	47,5	237	646,5	1.249
Dosis tahunan pada jarak 80 meter	1.680	940,5	181,5	108,9	60,9	90,75	62,6	36,3	181,5	495	956
Dosis tahunan pada jarak 90 meter	1.440	743,1	143,5	86,1	48,1	71,7	49,5	28,7	143,4	391	755
Dosis tahunan pada jarak 100 meter	1.056	601,9	116,2	69,7	39	58,1	40,1	23,3	116,2	317	612

Dengan asumsi jarak 175 meter dari arah berkas utama adalah daerah kerja, maka penentuan daerah pengendalian dan daerah supervisi perlu ditangani dengan baik agar tidak melebihi NBD yang dipersyaratkan untuk pekerja dan masyarakat.

5. Untuk laju dosis SEA-7 pada fasilitas tertutup belum dapat diperkirakan karena harus melakukan pengukuran langsung pada saat peralatan dioperasikan dengan memperhatikan faktor ketebalan dinding guna mengetahui besarnya dosis yang diterima oleh pekerja dan masyarakat.

KESIMPULAN

Dari pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa SEA-7 memiliki fitur-fitur keselamatan, diantaranya; sistem interlok; sistem dua kunci operasi; tombol henti darurat; lampu indikator bahaya radiasi; panjang kabel catu daya yang cukup; dan panel kendali dengan beragam fitur keselamatan. Di sisi lain, tantangan keselamatan dalam penggunaan SEA-7 adalah belum cukup baik dalam perlindungan pekerja dari dosis radiasi. Besarnya laju dosis yang dihasilkan dapat melebihi NBD bagi pekerja dan masyarakat. SEA-7 tidak dilengkapi dengan pelindung tambahan untuk mengurangi paparan radiasi yang ditimbulkan.

Dari pembahasan di atas juga dapat disimpulkan bahwa SEA-7 belum memenuhi persyaratan keselamatan sebagaimana dipersyaratkan dalam Perka BAPETEN Nomor 7 Tahun 2009 atau Perka 8 Tahun 2014, dan Perka Nomor 4 Tahun 2013.

Disarankan, apabila BAPETEN akan memberikan izin pemanfaatan SEA-7 yang sudah ada di Indonesia, maka kondisi izin yang dapat diberikan adalah; memberi batasan penggunaan energi pada saat pengoperasian agar tidak mencapai kondisi 7 MeV, mengingat besarnya dosis yang ditimbulkan; pemohon izin harus dapat menentukan daerah kerja (meliputi daerah pengendalian dan daerah supervisi), jam kerja efektif, ketebalan benda uji, dimensi benda uji dan optimalisasi perangkat protektif radasi sebagai upaya melindungi pekerja dan masyarakat dari dosis yang melebihi NBD; membuat *mobile shielding* dengan material penahan radiasi yang efektif sebagai upaya untuk mengurangi besarnya paparan radiasi.

Sedangkan untuk pengajuan izin pemanfaatan

SEA-7 yang akan didatangkan ke Indonesia, maka BAPETEN dapat meminta justifikasi dari pemohon izin tentang penggunaan peralasan tersebut serta memberikan pertimbangan penggunaan teknologi alternatif yang tersedia sebagai upaya untuk melindungi pekerja dan masyarakat dari dosis yang melebihi NBD.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Reno Alamsyah atas kesabarannya dalam membimbing tulisan ini. Ir. Zainal Arifin, MT dan Wita Kustiana, S.Si yang telah memberikan masukan dalam penulisan makalah ini. Zalfy Hendry Eka Putra, ST, MT atas saran dan masukannya terkait penulisan makalah ini.

REFERENSI

- [1] Tomsk Polytechnic University, 2015, *Small-Size Electron Accelerator SEA-7-Technical specification guide and operating manual*, Russia
- [2] BAPETEN, 2017, *Program B@LIS Perijinan, Register nomor registrasi 100468.17, Penelitian dan Pengembangan dalam Radiografi Industri Fasilitas Terbuka (Pesawat Sinar-X)*, Jakarta
- [3] Republik Indonesia, 2008, *Peraturan Pemerintah Nomor 29 Tahun 2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir*, Jakarta
- [4] Republik Indonesia, 2007, *Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif*, Jakarta
- [5] BAPETEN, 2007, *Peraturan Kepala (Perka) BAPETEN No. 7 Tahun 2009 tentang Keselamatan Radiasi Dalam Penggunaan Peralatan Radiografi Industri*, Jakarta
- [6] BAPETEN, 2014, *Peraturan Kepala (Perka) BAPETEN No. 8 Tahun 2014 tentang Perubahan atas Perka BAPETEN No. 7 Tahun 2009 tentang Keselamatan Radiasi Dalam Penggunaan Peralatan Radiografi Industri*, Jakarta
- [7] International Atomic Energy Agency, 2011, *Radiation Safety in Industrial Radiography, IAEA Safety Standards No. SSG-II*, Vienna
- [8] STUK, 2012, *Radiation Safety in Industrial Radiography, Guide ST 5.6*, Helsinki
- [9] BAPETEN, 2013, *Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir*, Jakarta
- [10] International Standard Organization, 2013, *ISO 9001:2008, implemented and maintains a Quality Management System*, Russia

[11] Tomsk Polytechnic University, September 10, 2016, *Test Certificate Equipment Betatron Model SEA-7*, Russia

[12] Tomsk Polytechnic University, January 10, 2018, *Certificate*, Russia

PA17

**KAJIAN PAPARAN RADIASI YANG TIDAK PERLU (*UNNECESSARY EXPOSURE*)
PADA PASIEN RADIOLOGI**

Leily Savitri, Intanung Syafitri, Rusmanto

Pusat Pengkajian Sistem Dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi Dan Zat Radioaktif

e-mail: l.savitri@bapeten.go.id; i.syafitri@bapeten.go.id; r.rusmanto@bapeten.go.id

ABSTRAK

Kajian Paparan Radiasi Yang Tidak Perlu Pada Pasien Radiologi. Paparan radiasi yang tidak perlu (*unnecessary exposure*) pada pasien radiologi dapat terjadi dari penyinaran yang kurang optimal untuk memenuhi kebutuhan klinis dengan prosedur pemeriksaan tertentu. Jika tindakan pencegahan yang tepat tidak dilakukan, maka pasien dapat menerima paparan yang tidak perlu. Pencegahan dapat dilakukan jika dalam praktik radiografi memperhatikan setiap aspek yang mempengaruhi hasil citra dan terimaan dosis pasien, seperti pertimbangan disain modalitas, prosedur operasi/penggunaan, kalibrasi modalitas, dosimetri radiasi, kompetensi radiografer, penerapan tingkat panduan diagnostik (*Diagnostic Reference Level/DRL*) dan program jaminan mutu. Dari hasil survei lapangan dan perolehan data dosis pasien dari aplikasi Si-INTAN dapat dilihat bahwa pengaturan nilai kondisi penyinaran dan kolimasi berkas sinar-X atau panjang scan yang digunakan tidak sesuai dengan kondisi/ukuran tubuh pasien, seperti anak atau dewasa, berat badan/ketebalan pasien dan organ target, sehingga pasien menerima dosis yang tidak perlu. Demikian juga dari data DRL Indonesia CT Scan Tahun 2017 nilai DRL untuk CTDI bayi dan anak-anak lebih besar dari pada CTDI dewasa mencapai 12% dan jika dibandingkan dengan nilai DRL pada Perka BAPETEN No. 8 Tahun 2011 untuk pemeriksaan yang sama yaitu CTDI kepala 50 mGy, maka terdapat perbedaan yang signifikan yaitu lebih besar nilai DRL versi web Si-INTAN sebesar 32%. Hal ini mengindikasikan bahwa belum ada upaya optimisasi yang dijalankan. Oleh karena itu perlu upaya untuk mencegah dan meminimalkan paparan radiasi yang tidak perlu melalui salah satu penerapan optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi yaitu tingkat panduan diagnostik.

Kata kunci: paparan radiasi yang tidak perlu, optimisasi, prosedur operasi, tingkat panduan diagnostik (DRL)

ABSTRACT

Assessment of Unnecessary Exposure in Patients Radiology. *Unnecessary exposure to radiological patients may occur from less than optimal radiation to meet clinical needs with certain procedure. If appropriate precautions are not taken, that the patients may receive unnecessary exposure. Prevention can be done if in radiographic practice pay attention to every aspect that affects the image result and acceptance of patients dose, such as consider design of modalities, operating procedures, calibration of modalities, radiation dosimetry, competence of radiographer, implementation of Diagnostic Reference Level/DRL, etc. From the survey results and patient dose data obtained from the Si-INTAN application, it can be seen that the setting of exposure or length of scan used is not in accordance with the body size of the patients, such as pediatric or adult, body weight/thickness of patient and target organs, so that patients receive unnecessary exposure. From the data of DRL Indonesia CT Scan Year 2017 as well the value of DRL for CTDI for infants and pediatric is greater than adult CTDI reaching 12% and if compared with DRL value in BAPETEN Chairman Regulation Number 8 Year 2011 for the same examination of CTDI head 50 mGy, there is a significant difference that is greater the value of DRL web Si-INTAN version of 32%. Therefore, it is necessary to prevent and minimize unnecessary exposure through one the implementation of optimization of radiation protection and safety in the patient, that is implementation of DRL.*

Keywords: unnecessary exposure, optimization, procedure, Diagnostic Reference Level/DRL

I. PENDAHULUAN

Berdasarkan Pasal 21 Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif, Pemegang Izin dalam memanfaatkan tenaga nuklir

wajib memenuhi salah satu persyaratan proteksi radiasi yaitu optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi.

Penerapan optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi dalam paparan medik harus diupayakan agar pasien menerima dosis radiasi

serendah mungkin sesuai denganyang dibutuhkan untuk mencapai tujuandiagnostik dengan mempertimbangkan aspek sosial dan ekonomi[1]. Tujuan radiologi diagnostik adalah memperoleh citra yang memadai yang memuat informasi diagnostik yang dibutuhkan oleh dokter dengan mengupayakan pasien menerima dosis serendah mungkin.

Pencapaian paparan medik yang optimal diperoleh melalui praktik/teknik radiografi yang sesuai [6,7]. Praktik radiografi yang sesuai harus memperhatikan setiap aspek yang mempengaruhi hasil citra dan terimaan dosis pasien, seperti pertimbangan disain modalitas, pertimbangan operasi/penggunaan, kalibrasi modalitas, dosimetri radiasi, kompetensi radiografer, penerapan tingkat panduan diagnostik dan program jaminan mutu.

Jika dalam praktik radiografi tidak memperhatikan salah satu aspek tersebut, maka dapat menyebabkan organ sekitar pasien akan menerima paparan radiasi yang tidak perlu (*unnecessary exposure*) dan dapat memberikan tambahan potensi risiko radiasi baik bagi pasien maupun pendamping pasien[3]. Sesuai data IAEA, sampai dengan 40% pemeriksaan pasien menggunakan radiasi pengion tidak ada manfaatnya [5].

Pada paparan medik, pasien merupakan bagian dari obyek investigasi atau perlakuan tindakan medik menggunakan sumber radiasi pengion. Artinya, pasien memperoleh manfaat langsung yang lebih besar dari adanya tindakan medik dengan sumber radiasi pengion, sehingga dapat dipahami bahwa pasien tidak membutuhkan pembatasan dosis sebagaimana NBD. Meskipun demikian, dosis yang diterima oleh pasien harus dioptimisasi sehingga mencegah adanya penerimaan paparan radiasi yang tidak perlu.

Tujuan kajian ini mengidentifikasi adanya paparan radiasi yang tidak perlu diterima pasien dan upaya untuk mencegah dan meminimalkannya.

II. METODOLOGI

Metodologi kajian dilakukan melalui studi literatur dari pencarian data di internet dan menggunakan data sekunder yang diperoleh dari hasil survei lapangan dan data dosis pada aplikasi Sistem Informasi daTA dosis pasien (Si-INTAN).

Informasi yang diperoleh kemudian dibandingkan dan diriviu untuk memperoleh analisis mengenai adanya bukti paparan yang tidak perlu (*unnecessary exposure*) pada pasien radiologi.

III. LANDASAN TEORI

Paparan radiasi yang tidak perlu (*unnecessary exposure*) dapat terjadi dari penyinaran yang kurang optimal untuk memenuhi kebutuhan klinis dengan prosedur tertentu[3]. Paparan radiasi yang tidak perlu merupakan paparan radiasi yang berlebihan yang

diterima oleh pasien untuk membuat informasi citra diagnostik yang memadai. Misalnya, pasien hanya butuh radiasi sekitar 1% untuk membentuk citra dan sisanya akan dihamburkan atau diserap oleh pasien.

Pada penyinaran pasien dengan dosis radiasi yang lebih tinggi dapat menghasilkan gambar beresolusi lebih tinggi. Begitu sebaliknya, jika dosis terlalu rendah, kualitas gambar yang dihasilkan mungkin buruk dengan banyak noise, sehingga dokter tidak dapat membuat diagnosa klinis yang akurat.

Dosis radiasi yang optimal adalah dosis radiasi yang diterima pasien serendah mungkin dan mampu untuk mendapatkan informasi diagnostik yang diperlukan dalam memenuhi kebutuhan klinis.



Gambar 1. Upaya optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi dalam paparan medik [6].

Sesuai dengan Gambar 1 di atas, upaya optimisasi proteksi untuk mencegah terjadinya *unnecessary exposure* dapat ditempuh dengan beberapa cara yaitu:

1. Pertimbangan disain modalitas yang akan digunakan;
2. Pertimbangan prosedur operasi/penggunaan;
3. Kalibrasi modalitas;
4. Dosimetri radiasi (perhitungan atau pengukuran dosis pasien);
5. Kompetensi radiografer;
6. Tingkat panduan diagnostik (*Diagnostic Reference Level, DRL*);
7. Program jaminan mutu

Pertimbangan pemilihan disain modalitas harus menyesuaikan dengan :

- a. Kebutuhan penegakan diagnosa (spesifikasi teknis *hardware & software* sesuai)
- b. Fitur keselamatan radiasi
- c. Perkiraan beban kerja pasien
- d. Ketersediaan fasilitas dan sumber daya
- e. Kebutuhan perbaikan dan perawatan

Pertimbangan prosedur operasi/penggunaan meliputi seluruh prosedur atau instruksi kerja yang dibutuhkan dalam bekerja dengan radiasi, diantaranya:

- a. Ketersediaan prosedur dan sistem operasi yang memadai
- b. Prosedur kerja dengan radiasi
- c. Prosedur penggunaan peralatan proteksi radiasi
- d. Prosedur penyimpanan peralatan protektif radiasi

- e. Prosedur tindakan dan pemilihan kondisi penyinaran
- f. Prosedur penggunaan peralatan pemantauan dosis personil
- g. Prosedur penjaga dan pendamping pasien
- h. Prosedur untuk pemeriksaan khusus pada bayi, anak, wanita hamil, skrining kesehatan, dan mediko legal
- i. Prosedur identifikasi dan penanganan insiden radiasi
- j. Ketersediaan tanda dan peringatan radiasi
- k. Ketersediaan pelatihan rutin.

Kalibrasi secara periodik harus dilakukan oleh pemegang izin untuk memastikan modalitas yang digunakan andal dan dapat digunakan untuk pelayanan dengan optimal.

Selanjutnya, pertimbangan dosimetri. Artinya, harus tersedia informasi dosis yang diterima oleh pasien. Informasi itu dapat dilakukan melalui pengukuran langsung, perhitungan, atau pun dari indikator dosis yang ada di modalitas. Indikator penyinaran atau indikator dosis ada yang berfungsi sebagai alarm atau pengingat sehingga muncul *awareness* terhadap penggunaan radiasi.

Radiografer harus memiliki kompetensi dalam melakukan penyinaran radiasi terhadap pasien. Secara umum radiografer wajib menguasai faktor-faktor teknis yang berpengaruh dalam pemeriksaan radiologi dan harus mencegah terjadinya pengulangan paparan [2]. Pelatihan yang memadai bagi radiografer dalam penggunaan yang tepat dari fitur-fitur keselamatan dan pentingnya mengoptimalkan dosis radiasi.

Penggunaan pesawat sinar-X untuk radiologi diagnostik dan intervensional harus memiliki program jaminan mutu. Tujuan program jaminan mutu di fasilitas radiologi diagnostik dan intervensional adalah sama dengan tujuan diagnostik. Bentuk dan lingkup program jaminan mutu tergantung dari kompleksitas dan sumber daya yang dimiliki oleh fasilitas. Paling tidak dapat mengatasi masalah yang muncul, adanya pembagian tugas yang jelas, dan sistem pelaporan yang terstruktur dan sistematis.

Penyusunan program jaminan mutu paling kurang melibatkan personil yang kompeten terkait den-

gan. optimisasi mutu citra, dosimetri radiasi, jaminan mutu, proteksi dan keselamatan radiasi.

Monitoring kinerja modalitas sinar-X merupakan salah satu bagian penting dalam program jaminan mutu (yaitu program kendali mutu) untuk menjamin pesawat berfungsi sesuai dengan spesifikasinya.

Pemeriksaan modalitas secara teratur, akan mengidentifikasi setiap terjadi perubahan kinerja dan mengambil langkah koreksi secepatnya sebelum berakibat pada penurunan mutu citra, dan pengulangan (*retake*) [7].

Selain modalitas, indikator mutu lain adalah citra yang dihasilkan. Fasilitas yang memiliki media pengolah citra digital harus dilakukan pemeriksaan secara rutin untuk memastikan media citra tetap terjaga dengan baik. Indikator mutu radiologi selanjutnya adalah prosentase pengulangan (*retake*) penyinaran atau tindakan untuk tiap pasien. Analisis dilaksanakan secara rutin dengan periode bulanan.

Pada program jaminan mutu, harus tersediarekaman yang merupakan salah satu indikator pelaksanaan jaminan mutu. Dengan perkembangan teknologi yang menunjang diagnostik dan proteksi radiasi, program penggantian modalitas perlu dilakukan dalam rangka mencapai dan meningkatkan tujuan diagnostik.

Upaya optimisasi yang lain dan unik adalah implementasi tingkat panduan diagnostik (*Diagnostic Reference Level, DRL*). Dikatakan unik, karena dengan menjalankan upaya implementasi DRL ini maka seluruh upaya optimisasi lain dapat berjalan untuk mencapai optimal. DRL merupakan suatu nilai dosis radiasi yang digunakan sebagai level identifikasi kebutuhan optimisasi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini disajikan beberapa data hasil survei lapangan dan data hasil audit dosis pasien CT-Scan yang menunjukkan pasien menerima dosis yang tidak perlu.

Contoh kasus 1:

Pemeriksaan CT kepala pada pasien anak dan dewasa*

<p>Anak-anak</p>		<p>Laki-laki 11 tahun CT kepala Surview : mAs = 0; kV = 90; N*T = 2 x 0,75 mm; CTDIv = 0,06 mGy Helical : mAs = 250; kV = 120; N*T = 16 x 0,75; CTDIv = 42,73 mGy Total DLP = 1017,18 mGy.cm panjang scan = 1017,18/42,73 = 23,80 cm FOV = 557 mm</p>
<p>Dewasa</p>		<p>Laki-laki 59 tahun CT kepala Surview : mAs = 0; kV = 90; N*T = 2 x 0,75 mm; CTDIv = 0,06 mGy Helical : mAs = 250; kV = 120; N*T = 16 x 0,75; CTDIv = 42,73 mGy Total DLP = 974,49 mGy.cm Panjang scan = 974,49/42,73 = 22,80 cm FOV = 557 mm</p>

*Data diambil dari Laporan Hasil Kajian Tahun 2014

Pada contoh kasus 1 di atas dapat dinyatakan telah terjadi paparan radiasi yang tidak perlu, hal ini dapat dilihat dari:

- Kolimasi berkas sinar-x panjang scan yang digunakan sama antara pasien anak dan dewasa
 - Panjang scan yang berlebihan, maka organ yang diekspos melebihi dari organ target, jenis pemeriksaan baik pasien anak maupun dewasa adalah CT kepala, sehingga penyinaran seharusnya tidak sampai pada bahu pasien. Panjang scan untuk pasien anak yang lebih panjang dari pasien dewasa menyebabkan dosis yang diterima pasien anak lebih besar dari pada pasien dewasa, karena menggunakan kondisi penyinaran yang sama.
- Pasien anak menerima dosis yang tidak perlu, dilihat dari DLP pasien anak lebih besar dari pasien dewasa. Diketahui bahwa untuk melakukan diagnosa pada pasien anak diperlukan dosis yang lebih rendah dibandingkan pasien dewasa, selain itu pasien anak memiliki harapan hidup yang lebih panjang daripada pasien dewasa terhadap akibat yang nyata dari radiasi berupa kanker, faktor resiko timbulnya kanker pada anak antara 2 sampai 3 kali lebih besar dari orang dewasa, karena jaringan tubuh pasien anak memiliki sensitivitas yang lebih tinggi dari pasien dewasa [10].
Keterangan: kedua pasien diekspose di RS. yang sama.

Contoh kasus 2:**Pemeriksaan CT-Scan pada pasien dewasa***

	<p>Perempuan</p> <p>63 tahun</p> <p>CT body</p> <p>Survview :</p> <p>mAs = 0; kV = 120; N*T = 2 x 0,75 mm; CTDIv = 0,06 mGy</p> <p>Helical :</p> <p>mAs = 250; kV = 120; N*T = 16 x 1,50; CTDIv = 19,84 mGy</p> <p>Total DLP = 649,25 mGy.cm</p> <p>Panjang scan = $649,25/19,84 = 32,72$ cm</p> <p>FOV = 557 mm</p>
---	---

*Data diambil dari Laporan Hasil Kajian Tahun 2014

Paparan radiasi yang tidak perlu untuk pemeriksaan ini (contoh kasus 2) dapat dilihat dari hasil film yang menunjukkan pemeriksaan dilakukan dengan panjang scan kepala sampai dengan thorax. Jika pemeriksaan yang dilakukan adalah CT kepala, apakah perlu dilakukan pemeriksaan sampai dengan thorax, demikian sebaliknya. Pemilihan protokol pemeriksaan di sini tidak tepat.

Perhitungan dosis CT kepala, menggunakan tipe phantom kepala 16 sedangkan untuk dosis body maka menggunakan tipe phantom body 32. Pada praktiknya jika memang akan dilakukan pemeriksaan seluruh tubuh maka harus dilakukan pemeriksaan CT kepala dan CT body (tidak digabung dalam satu pemeriksaan). Dengan demikian, jika pemeriksaan dilakukan langsung seluruh tubuh, maka pasien akan menerima dosis yang tidak perlu.

Contoh kasus 3:

Tabel 1. Data DRL Indonesia CT Scan Tahun 2017 untuk pemeriksaan kepala (head/brain) yang diperoleh dari web Si-INTAN.

Pasien Head CT	CTDIvol (mGy)	DLP (mGy.cm)
Bayi (0 - 4 th)	74	1552
Anak-anak (5 - 14 th)	74	1700
Dewasa (≥ 15 th)	66	1650

Nilai DRL nasional dari hasil web Si-INTAN pada Tabel 1 di atas dapat diperoleh informasi bahwa:

1. Nilai DRL untuk CTDI bayi dan anak-anak lebih besar dari pada CTDI dewasa mencapai 12%. Hal ini menunjukkan bahwa belum adanya upaya optimisasi yang dijalankan. Kalau dilihat dari sisi akuisisi CT, seharusnya parameter akuisisi untuk pasien bayi dan anak-anak lebih kecil dibandingkan dengan parameter akuisisi untuk pasien dewasa.
2. Jika dibandingkan dengan nilai DRL pada Perka BAPETEN No. 8 Tahun 2011 untuk pemeriksaan

yang sama yaitu CTDI kepala 50 mGy, maka dapat dilihat adanya perbedaan yang signifikan yaitu lebih besar nilai DRL versi web Si-INTAN sebesar 32%. Ini juga mengindikasikan bahwa belum ada upaya optimisasi yang dijalankan. Hipotesisnya, ukuran pasien Indonesia (rata-rata 55 kg) lebih kecil dengan ukuran pasien standar luar negeri (70 kg) sehingga dari parameter akuisisi CT harus memberikan CTDI yang lebih kecil dibanding dengan referensi luar negeri.

Selain itu, nilai DRL yang ada pada Tabel 1 memberikan gambaran dalam pemeriksaan CT-Scan yang merupakan modalitas sinar-X yang berpotensi memberikan paparan radiasi yang besar pada pasien menunjukkan adanya praktek *unnecessary exposure*, demikian juga pada penggunaan modalitas sinar-X lainnya diprediksi terjadi *unnecessary exposure*.

Contoh kasus 4:

Tabel 2. Data pemeriksaan Radiografi umum, Chest PA pada pasien dewasa*

Patient Name	Gender	Age (yr)	Weight (kg)	Position	Projection	FDD (cm)	kV	mAs	INAK (mGy)	ESAK (mGy)
LN	female	35	59	Supine	AP	100	68	7,1	0,531	0,717
LN	female	35	59	Supine	AP	100	68	7,1	0,531	0,717
DK	female	56	68	Supine	AP	100	57	7,1	0,388	0,524
KK	male	45	60	Supine	AP	100	55	7,1	0,364	0,492

*Data diambil dari aplikasi idrl.bapeten.go.id tahun 2018

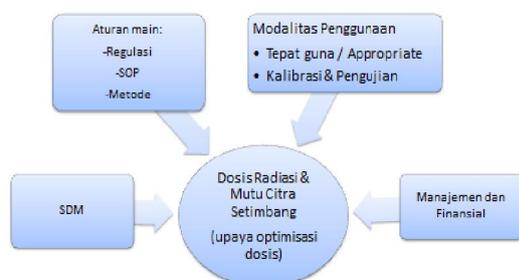
Dari tabel 2 di atas, pasien LN menerima dosis yang lebih besar disebabkan pengaturan nilai parameter kV yang lebih besar dari pasien DK dan KK. Selain itu pasien LN juga menerima 2 kali ekspos dengan kondisi penyinaran yang sama. Jika dilihat dari berat badan, maka seharusnya pasien LN diberikan nilai kV yang tidak lebih tinggi dari pasien DK dan KK.

Nilai DRL nasional untuk pemeriksaan chest PA adalah 0,4 mGy sedangkan DRL RS tersebut adalah 0,51 mGy. Dengan 2 kali ekspos dan dosis tiap pemeriksaan yang lebih besar dari pasien DK dan KK tersebut, maka pasien LN menerima dosis yang tidak perlu. Selain itu juga pasien LN menerima dosis yang melebihi DRL baik DRL lokal RS maupun nasional.

Dari beberapa kasus di atas menunjukkan telah terjadi paparan yang tidak perlu (*unnecessary exposure*) pada pemeriksaan radiologi. Untuk mengetahui dan menindaklanjuti hasil identifikasi tersebut, misalnya seberapa besar paparan yang tidak perlu maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

Dalam rangka memberikan petunjuk awal untuk para peneliti atau pun bagi pengkaji maka berikut ini kami uraikan beberapa faktor yang diperkirakan dapat menyebabkan paparan yang tidak perlu. Faktor-faktor tersebut masih berupa dugaan, sehingga perlu dilakukan kajian lebih lanjut untuk mengetahui seberapa besar faktor tersebut berpengaruh pada paparan yang tidak perlu sehingga dapat disusun skala prioritas dalam upaya koreksi sehingga dapat mengurangi atau meminimalkan paparan yang tidak perlu.

Terjadinya paparan yang tidak perlu di tiap institusi rumah sakit dapat berbeda beda penyebabnya. Pada satu institusi dapat disebabkan karena sumber daya manusianya, di lain institusi dapat karena regulasi dan sumber daya manusia. Begitu pula di



institusi lainnya lagi dapat berupa manajemennya yang kurang komitmen. Oleh karena itu, pada makalah ini hanya disajikan beberapa faktor yang dapat diidentifikasi sebagai penyebab terjadinya paparan yang tidak perlu.

Gambar 2. Faktor yang berperan dalam upaya

optimisasi untuk mencegah *unnecessary exposure*.

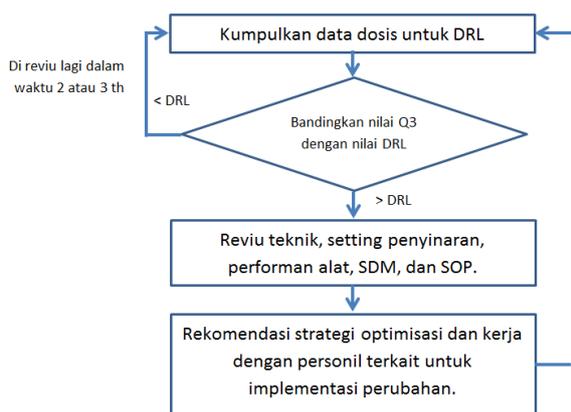
Pada Gambar 2 di atas dapat dilihat beberapa faktor yang dapat diduga menyebabkan *unnecessary exposure*, diantaranya:

1. Regulasi dan Standar Operasional Prosedur
 - a. Regulasi / prosedur tidak tersedia
 - b. Prosedur kurang tepat
 - c. Prosedur tidak disesuaikan dengan modalitas yang ada
 - d. Penggunaan protokol atau modul penyinaran yang tidak sesuai
2. Sumber Daya Manusia
 - a. kurang kompeten
 - b. kurang pelatihan
 - c. kelelahan
 - d. kurang motivasi
 - e. dokter ingin citra maksimal/beresolusi tinggi
 - f. pasien kurang kooperatif (teknik komunikasi kurang tepat)
3. Modalitas / alat
 - a. Alat bekerja di bawah standar
 - b. Tidak ada perbaikan & perawatan rutin
 - c. Tidak ada kalibrasi atau pun pengujian
 - d. Pemilihan modalitas yang tidak tepat
 - e. Pemilihan modalitas yang tidak sesuai dengan peruntukannya
4. Manajemen dan Finansial
 - a. Kurang komitmen manajemen sebagai penanggung jawab keselamatan
 - b. Kurangnya kepedulian (*awareness*) akan keselamatan

Jika beberapa faktor tersebut dapat dikendalikan maka upaya optimisasi dosis radiasi pada pasien akan berjalan.

Sebagaimana teori pada Gambar 1, bahwa langkah optimisasi yang utama dan pertama dapat diacu adalah menetapkan nilai DRL dari data dosis hasil audit dosimetri. Oleh karena itu diharapkan institusi rumah sakit dapat menerapkan langkah tersebut dan memasukkannya dalam bagian sistem manajemen di institusinya.

Berikut ini diberikan gambaran ilustrasi alur optimisasi dosis radiasi dan DRL yang dapat diterapkan dilingkungan rumah sakit.



Gambar 3. Alur optimisasi dosis radiasi dan implementasi DRL

Rumah sakit atau pun fasilitas pelayanan kesehatan lainnya yang memiliki layanan radiologi dapat mengadopsi alur tersebut dan dituangkan dalam SOP layanan untuk dapat melakukan upaya optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi, khususnya untuk sistem manajemen dosis radiasi bagi pasien.

Pada Gambar 3, diperoleh informasi bahwa faktor pada Gambar 2 dapat menjadi penyebab dosis pasien melebihi DRL. Sehingga pada tahap implementasi DRL dan ditemukan dosis pasien melebihi DRL maka perlu reviu mengenai SDM, SOP, dan modalitas yang digunakan untuk mencari penyebabnya.

Peran penting DRL dalam upaya optimisasi proteksi untuk mencegah adanya *unnecessary exposure* yaitu karena dosis radiasi merupakan kunci utama untuk optimisasi proteksi radiasi. Artinya, dosis radiasi yang dinyatakan dalam *Diagnostic Reference Level* (DRL) atau tingkat panduan diagnostik itu merupakan alat yang efektif untuk optimisasi proteksi radiasi pada paparan medik untuk radiologi diagnostik dan intervensional.

Selain itu DRL juga dapat berfungsi sebagai alat investigasi untuk mengidentifikasi situasi di mana dosis pasien yang sangat tinggi dan yang paling membutuhkan pengurangan. Nilai DRL mudah untuk diukur dan memiliki *link* langsung dengan dosis pasien, sehingga DRL dibuat untuk membantu mewujudkan manajemen dosis yang efisien dan mengoptimalkan dosis pasien[4].

V. KESIMPULAN

1. *Unnecessary exposure* pada pasien terjadi pada praktek radiologi diagnostik, sehingga perlu adanya upaya untuk mencegah dan meminimalkannya.
2. Salah satu upaya penting dan terbukti nyata dalam optimisasi untuk mencegah *unnecessary exposure* adalah implementasi tingkat panduan diagnostik (*Diagnostic Reference Level*, DRL).
3. DRL dapat digunakan sebagai alat investigasi untuk mengidentifikasi kebutuhan dosis radiasi, optimalisasi penggunaan modalitas dan adanya permasalahan dengan sumber daya yang ada.
4. DRL sebagai alat prediksi kebutuhan optimisasi proteksi radiasi khususnya dalam menangani *unnecessary exposure*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Peraturan Pemerintah No.33 (2007) *Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif*.
- [2] Peraturan Kepala BAPETEN No.8 (2011) *Keselamatan Radiasi Dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostic dan Intervensial*.
- [3] Food and Drug Administration (2010), *Initiative to Reduce Unnecessary Radiation Exposure from Medical Imaging*.
- [4] International Atomic Energy Agency (IAEA), (2016) *Hasil Technical Meeting on Patient Dose Monitoring and the Use of Diagnostic Reference Levels for the Optimization of Protection in Medical Imaging*.
- [5] <https://www.iaea.org/newscenter/news/technical-meeting-to-justification-of-using-medical-procedures-using-ionizing-radiation>
- [6] International Atomic Energy Agency (IAEA), (2014), *International Basic Safety Standards*, General Safety Requirements Part 3.
- [7] Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif, BAPETEN (2010), Laporan Hasil kajian (LHK) Pengkajian Sistem Pengawasan tentang Proteksi Radiasi di Fasilitas Radiologi Intervensial.
- [8] Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif, BAPETEN (2015), Pedoman Teknis "Keselamatan Radiasi di Fasilitas Radiologi Diagnostik dan Intervensial".
- [9] Rekomendasi IAEA dan WHO (2012), hasil *International Conference on Radiation Protection in Medicine: Setting the Scene for the Next Decade* yang diberi nama *Bonn Call-for-Action*.
- [10] Proceedings of an International Conference held in Málaga, Spain (2001), S. Bremmer, H.G. Ringertz, *Radiological Protection of Pediatric Patients: An Overview*, IAEA, "Radiological Protection of Patients in Diagnostic and Interventional Radiology, Nuclear Medicine and Radiotherapy", Topical Session 7.

PA18

**OPTIMISASI DOSIS RADIASI PEMERIKSAAN CT SCANN THORAX
DENGAN PENGATURAN *DELAY* AKTIVASI *BOLUS TRIGGERING***

(STUDI DI INSTALASI RADIOLOGI RSUD DR. MOEWARDI)

Rini Indrati¹⁾, Mariyatun²⁾, Siti Daryati³⁾, Haris Sulistiyadi⁴⁾

^{1,3,4)} Health Polytechnics of Semarang-Indonesia

²⁾ Radiologist Technologist in Moewardi Hospital

e-mail : riniindrati@poltekkes-smg.ac.id

ABSTRAK

Pemeriksaan CT scann thorax di Rumah Sakit dr. Moewardi Surakarta dilakukan dengan menggunakan teknik bolus triggering. Delay (penundaan) aktivasi bolus triggering dilakukan dengan pengaturan waktu aktivasi antara 5 – 10 detik setelah pemberian media kontras menggunakan injektor otomatis. Pengaturan *delay* aktivasi bolus triggering dapat mengurangi dosis radiasi, tetapi pengaturan delay yang terlalu lama akan mengakibatkan media kontras sudah melewati region of interest anatomi yang akan dinilai. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh aktivasi *delay bolus triggering* terhadap dosis radiasi pemeriksaan CT Thorax serta untuk mengetahui waktu *delay* maksimum aktivasi *bolus triggering* yang masih dapat dilakukan pada pemeriksaan CT scann thorax.

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen. Sebanyak 80 pasien terlibat dalam penelitian ini. Penelitian dilakukan dengan mencatat nilai dosis radiasi pada perubahan waktu delay aktivasi bolus triggering dengan variasi 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12 dan 14 detik. Setiap variasi waktu delay aktivasi bolus triggering dilakukan terhadap 10 pasien dengan menggunakan rancangan acak kelompok. Data berupa dosis radiasi diperoleh dari nilai dosis yang ditampilkan pada layar monitor menggunakan perangkat lunak penghitungan dosis CT DIvol. Data dianalisis dengan menggunakan uji regresi. Etik penelitian diperoleh dari Komisi Etik Penelitian Poltekkes Kemenkes Semarang.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat pengaruh yang sangat kuat antara delay aktivasi bolus triggering terhadap dosis radiasi dengan koefisien korelasi ($r = 0,970$) ($p\text{-value} < 0,001$) dan koefisien determinasi ($R^2 = 0,940$). Hasil penelitian menunjukkan 94% dosis radiasi pemeriksaan CT Scann Thorax dipengaruhi oleh delay aktivasi bolus triggering. Dengan persamaan regresi $Y = 308,252 - 18,821 \text{Time Delay}$, menunjukkan bahwa setiap peningkatan waktu delay aktivasi bolus triggering sebesar 1 detik akan mengurangi dosis radiasi sebesar 18,821 mGy. Delay maksimum yang masih bisa diatur untuk mengaktifkan bolus triggering adalah 17 detik.

Kata kunci: delay, bolus triggering, radiation dose, scanning, CT DIvol

ABSTRACT

Thorax CT examination in dr. Moewardi Hospital Surakarta is performed by bolus triggering technique. Bolus triggering activation delay is adjusted at 5 to 10 second after contrast injection by automatic injector. Radiation dose can be minimize by using this technique, but inapropriate delay adjustment can reduce the image accuracy. Contrast media enhancement of region of interest can be missed due to very long activation delay. This reseach aims to find out the effect of activation delay of bolus trigerring toward the radiation dose and to determine its possible maximum value.

This is experimental research. Eight patients were divided into eight groups by random group design. Eight variations of activation delay (0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, and 14) were applied to the groups. The dose (CT DIvol) for every scan was calculated by the scanner system and displayed directly on the monitor. Data were analyzed using regression statistic. This research method has been reviewed and aproved by The Ethic Comittee of Health Polytechnic of Semarang.

The result showed that there was very strong effect of the bolus triggering activation delay toward the radiation dose ($r = 0,97$) ($p\text{-value} < 0,001$) and determination coefficient ($R^2 = 0,940$). The radiation dose was affected 94% by the activation delay. The equation of $Y = 308,252 - 18,821 \text{Time Delay}$ indicated that there was 18,821 mGy dose reduction for 1 second activation delay increase. The possible maximum activation delay was 17 second.

Keywords: dose optimization, bolus triggering, activation delay, thorax ct

PENDAHULUAN

Computerized Tomografi (CT Scann) merupakan modalitas imaging yang menghasilkan kualitas resolusi gambar yang baik. Kelemahan dari CT scann adalah memberikan dosis radiasi yang besar. Dosis radiasi pada CT scann dapat ditekan dengan mengatur parameter-parameter CT scann yang tepat [1][2]. CT Scann Thoraks adalah teknik pemeriksaan thorax secara radiologi untuk mendapatkan informasi anatomi dan kelainan-kelainan yang ada di rongga thoraks termasuk mediastinum. Selain informasi anatomi, kelainan yang dapat ditegakkan melalui pemeriksaan CT Scann thoraks atau CT mediastinum adalah Tumor, Aneurisma, Abses, Lesi pada hilus atau mediastinal dan pembedahan Aorta [3]. Penggunaan kontras intravena pada CT Scann thorak, digunakan untuk menampilkan massa hilar, lymphoma dan massa kardiak untuk menghasilkan penyangatan/*enhancement* baik pada aorta dan pembuluh darah yang lain yang ada di thorak [4]. Penyangatan/*enhancement* sistem vaskular dapat digunakan untuk melakukan lokalisasi anatomi, membedakan antara vessel dan massa, menentukan perluasan vaskular atau invasi oleh tumor, menaksir penyakit vaskular lain seperti aneurisma, stenosis atau penurunan integritas vaskular [4][5]

Pemasukkan media kontras pada CT scann thorax dilakukan dengan menggunakan power injector terprogram. Pemasukkan media kontras dilakukan menggunakan injektor otomatis 2 (dua) syringe (Dual Head Injector) sebanyak 60-120 ml dengan *injection rate* 1,5-3 ml/s, *duration injection* (> 30 s), *scann delay* 20 – 30 s dengan konsentrasi media kontras 300 mgI/l (20–30 mgI)[6]. Scanning dilakukan dengan menggunakan bolus triggering dengan penempatan tanda Region of Interest (ROI) pada pembuluh darah dengan trigger level sebesar 100 HU. Selama media kontras dimasukkan, pesawat CT scann melakukan serangkaian *scann/scann monitoring* di daerah ROI untuk memantau nilai HU yang telah tercapai. [7]. Scanning penuh dilakukan pada waktu 2 – 8 detik setelah batas nilai HU tercapai, tergantung jenis scanner/pesawat CT Scann, jarak longitudinal dari daerah monitoring ROI dan batas awal area scanning [8]. Nilai delay before monitoring adalah pada 20 detik dengan trigger value (ROI) sebesar 200 HU pada aorta desenden [9].

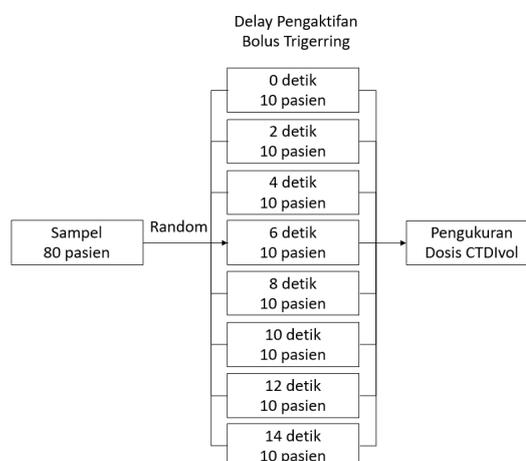
Pemeriksaan CT Scann Thorax di instalasi Radiologi RSUD Dr. Moewardi menggunakan pesawat CT Scann 64 slice dan media kontras dengan konsentrasi 300 mgI/l sebanyak 60 – 80 ml dengan *injection rate* 2,5 – 3 ml/s. Penempatan ROI pada aorta

desenden dengan HU (Housefield Unit) level 180, aktivasi bolus triggering dilakukan bervariasi antara 5–10 detik setelah media kontras masuk. Pengaturan ini dilakukan bertujuan untuk mengurangi dosis radiasi. Semakin banyak *scann monitoring* dilakukan maka dosis radiasi yang dihasilkan juga akan lebih besar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi delay aktivasi bolus triggering terhadap dosis radiasi dan mengetahui delay maksimal yang masih dapat dilakukan pada pemeriksaan CT Scann Thorax.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen. Sampel sebanyak 80 pasien terlibat dalam penelitian. Variasi delay pengaktifan bolus triggering yang digunakan adalah 0,2,4,6,8,10,12 dan 14 detik. Masing-masing waktu delay pengaktifan bolus triggering dilakukan kepada 10 pasien dengan menggunakan rancangan acak kelompok. Data diambil secara observasional dengan melihat nilai CTDIvol yang tertampil pada layar monitor. Dosis radiasi diukur dengan menggunakan Computed Tomography Dose Index volume (CTDIvol) pesawat CT Scann Toshiba Aquilion 64 slice. Analisis data dilakukan dengan menggunakan analisis regresi untuk mengetahui besarnya pengaruh antara variasi delay aktivasi bolus triggering terhadap dosis radiasi dan t-test dengan tingkat kemaknaan 95%

Desain Penelitian



HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Sebanyak 80 sampel terdiri dari laki maupun perempuan, dengan usia bervariasi antara 38 – 77 tahun terlibat dalam penelitian ini. Karakteristik sampel penelitian menurut jenis kelamin seperti pada Tabel 1:

Tabel 1. Karakteristik Sampel berdasarkan Jenis Kelamin

Jenis Kelamin	Frekuensi	Persentase
Laki Laki	44	55%
Perempuan	36	45%
Jumlah	80	100%

Sampel penelitian berdasarkan jenis kelamin hampir berimbang terdiri dari 55% Laki laki dan 45% perempuan.

Karakteristik sampel berdasarkan Umur seperti pada tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Sampel berdasarkan Umur

Umur	Frekuensi	Persentase
40 – 50	22	27,50%
51 – 60	41	51,25%
61 – 70	14	17,50%
71 – 80	3	3,75%
Jumlah	80	100%

Berdasarkan umur, sampel penelitian paling banyak pada usia 51 – 60 Tahun (51,25%), sedangkan paling sedikit pada usia 71 – 80 tahun (3,75%). Klinis sampel penelitian paling banyak adalah keganasan sebesar 75 %, sisanya adalah nodul paru (15%) dan efusi pleura (10%).

Pada penelitian ini, Scanning untuk semua sampel penelitian dilakukan dengan menggunakan satu jenis pesawat CT scann yaitu Toshiba Aquilion 64 slice. Parameter yang digunakan dalam pemeriksaan untuk semua pasien sama yaitu meliputi faktor eksposi (mA dan kV), Field of View (FOV), Volume investigation, injection rate, slice thickness, nilai HU pada aorta desenden, Window Width dan Window Level sebagai variabel terkontrol, sedangkan waktu dimulainya scann penuh pada masing-masing pasien berbeda. Nilai CTDIvol diperoleh dari dosis hasil scanning terhadap pasien dengan parameter scann yang tetap sebagai variabel terkontrol yaitu kV = 120, mA = 250, FOV = 400 mm, Volume of investigation = 350 mm, injection rate = 2,5 ml/s, ROI 180 HU pada aorta desenden dan slice thickness = 0,5 mm.

Sebelum dilakukan Scanning penuh dilakukan scann monitoring. Scann monitoring adalah scann yang dilakukan sampai mencapai nilai HU sebesar 180 pada aorta desenden. Lama waktu scann monitoring pada variasi delay aktivasi bolus triggering seperti pada tabel 3.

Tabel 3. Lama Scann Monitoring

Delay Aktivasi bolus triggering (detik)	Scann Monitoring
	(Rata Rata 10 Pasien) (detik)
0	17,42
2	17,71
4	13,85
6	11,23
8	7,59
10	3,95
12	3,47
14	1,17

Setelah dilakukan scanning CT Scann Thorax dengan variasi waktu delay aktivasi bolus triggering diperoleh nilai dosis radiasi yang diukur dengan CTDIvol. Waktu scanning penuh masing-masing pasien dimulai pada detik yang berbeda seperti pada

tabel 4. Dosis Radiasi yang ditampilkan merupakan dosis radiasi total dari keseluruhan scanning yaitu: Helical CT (yaitu scanning penuh pre kontras/non kontras); Normal CT (yaitu scanning satu slice, untuk penempatan ROI); Dinamic CT (yaitu serangkaian scanning monitoring); Helical CT (yaitu scanning penuh kedua post kontras) dilihat pada layar monitor dengan perangkat lunak CTDIvol.

Tabel 4. Dosis Radiasi CT Scann Thorak pada Variasi Waktu Delay Aktivasi Bolus Triggering

No.	Waktu Delay Aktivasi bolus triggering (detik)	CTDIvol (mGy)
1.	0	288,63
2.	2	263,43
3.	4	238,17
4.	6	189,99
5.	8	149,03
6.	10	131,3
7.	12	90,47
8.	14	66,97

Waktu dimulainya scanning penuh pada setiap pasien berbeda walaupun scanning parameter yang digunakan sama. Waktu scanning penuh masing-masing pasien dimulai pada detik yang berbeda. Waktu delay maksimal pengaktifan bolus triggering diperoleh dari nilai rata-rata scanning penuh dikurangi waktu *delay before scann monitoring* sebesar 5 detik dan waktu *delay before scann* sebesar 5 detik seperti pada tabel 5.

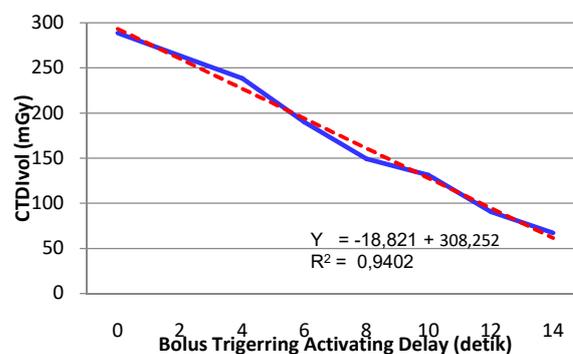
Tabel 5. Waktu Scanning Penuh dan Delay Maksimum

No.	Waktu Delay Aktivasi Bolus Triggering	Waktu Scanning Penuh (Rata-Rata dr 10 pasien)	Delay Maksimum (detik) (Waktu Scanning Penuh – 10)
1.	0	27,00	17,00

2.	2	27,00	17,00
3.	4	27,67	17,67
4.	6	28,33	18,33
5.	8	27,00	17,00
6.	10	26,33	16,33
7.	12	28,00	18,00
8.	14	25,33	15,33
		Rata-rata	17,08

Dengan rata-rata delay maksimum 17,08 detik hasil uji korelasi pada tingkat kepercayaan 95% menunjukkan tidak ada pengaruh delay aktivasi bolus triggering terhadap delay maksimal pemeriksaan CT Scann Thorax dengan $p\text{ value} < 0,437$ ($p\text{-value} > 0,05$).

Pengukuran dosis radiasi dengan CTDIvol menunjukkan perubahan dosis radiasi yang disebabkan oleh pengaturan delay aktivasi bolus triggering. Semakin besar waktu delay aktivasi bolus triggering akan menyebabkan semakin kecil dosis radiasi yang dihasilkan. Trend penurunan nilai dosis radiasi tersebut dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Grafik Pengaruh perubahan delay aktivasi bolus triggering terhadap dosis radiasi (CTDIvol)

Hasil analisis data dengan menggunakan uji regresi untuk mengetahui pengaruh delay aktivasi bolus triggering dengan dosis radiasi (CTDIvol) seperti pada tabel 6.

Tabel6. Hasil Analisis dengan Uji Regresi

Parameter Uji	Nilai
Mean	176,50
<i>p-value</i>	< 0,001
R ²	0,940
Koefisien Korelasi (r)	- 0,970
a (konstanta)	308,252
b (koefisien regresi)	-18,821

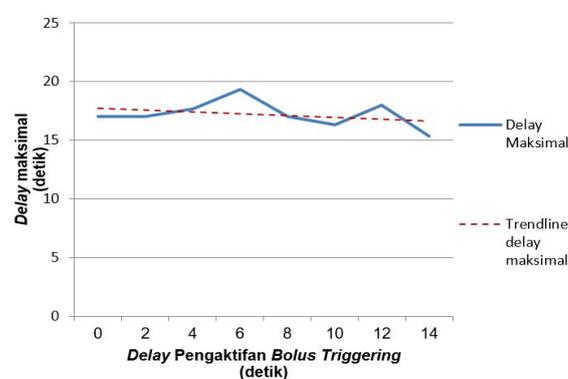
Uji regresi yang dilakukan pada tingkat kepercayaan 95% menunjukkan bahwa ada pengaruh yang sangat kuat waktu delay aktivasi bolus triggering terhadap dosis radiasi dengan koefisien korelasi -0,970 dan *p-value* <0,001. Koefisien korelasi negatif menunjukkan bahwa semakin besar waktu delay aktivasi akan menyebabkan penurunan dosis radiasi. Dengan koefisien determinasi (R²) = 0,940 menunjukkan bahwa dosis radiasi pada pemeriksaan CT Scann Thorak sebesar 94% dipengaruhi oleh aktivasi delay bolus triggering sedangkan yang 6% dipengaruhi oleh faktor lain. Penurunan dosis radiasi akibat peningkatan waktu delay aktivasi bolus triggering dinyatakan dalam persamaan regresi $Y = 308,252 - 18,821X$. Persamaan regresi menunjukkan bahwa setiap penambahan Time delay sebesar 1 detik akan mengurangi dosis radiasi (CTDIvol) sebesar 18,821 mGy.

Pembahasan

Hasil uji pengaruh variasi delay aktivasi bolus triggering terhadap nilai dosis radiasi dengan menggunakan analisis regresi pada tingkat kepercayaan 95 % menunjukkan ada pengaruh variasi delay aktivasi bolus triggering terhadap dosis radiasi pada pemeriksaan CT Scann Thorax dengan koefisien korelasi = 0,970 dengan *p-value* < 0,001 ($p < 0,05$) Dengan koefisien determinasi (R²) = 0,940 menunjukkan bahwa 94% dosis radiasi dipengaruhi oleh delay aktivasi bolus triggering dan yang 6% dipengaruhi oleh faktor-faktor lain. Pada pemeriksaan CT Scann Thorak jika tidak dilakukan pengaturan delay aktivasi bolus triggering dosis radiasi (CTDIvol) yang diterima pasien sebesar 308,252 mGy. Ketika dilakukan pengaturan delay aktivasi bolus triggering

maka setiap kenaikan waktu delay bolus triggering sebesar 1 detik akan menyebabkan penurunan dosis radiasi (CTDI vol) sebesar 18,821 mGy.

Pada penelitian ini, walaupun scann parameter yang digunakan sama yaitu sebagai variabel kontrol tetapi waktu dimulainya scann penuh pada masing-masing pasien berbeda. Waktu scanning penuh masing-masing pasien dimulai pada detik yang berbeda seperti pada tabel 5. Nilai delay maksimal diperoleh dari nilai rata-rata scann penuh dikurangi dengan *delay before scann monitoring* sebesar 5 detik dan *delay before scann* sebesar 5 detik. Dari analisis statistik data diperoleh nilai rata-rata sebesar 17,08 detik dan hasil uji statistik regresi pada tingkat kepercayaan 95% menunjukkan *p value* < 0,437 ($> 0,05$) yang artinya delay aktivasi bolus triggering tidak mempengaruhi delay maksimal pada pemeriksaan CT Scann Thorax. Pengaruh delay aktivasi bolus triggering terhadap delay maksimal menunjukkan kecenderungan penurunan yang tidak nyata. Dari hasil di atas dapat diartikan delay maksimal aktivasi bolus triggering pada pemeriksaan CT Thorax yang masih bisa dilakukan adalah 17,08 detik atau maksimal 17 detik. Pengaturan delay aktivasi bolus triggering lebih dari 17 detik akan mengakibatkan kontras media belum mencapai aorta desendense hingga nilai HU pada aorta desenden kurang dari 180 HU. Nilai HU pada aorta desenden merupakan indikator kualitas citra CT pada pemeriksaan CT Scann Thorax optimal karena terjadi penyangatan (*enhance*) pada *Region anatomy of interest* [13]. Pengaturan delay aktivasi kurang dari 17 detik memungkinkan kita dapat menunggu sampai aorta desenden dapat mencapai nilai HU 180 tetapi akan berdampak pada lamanya waktu scann monitoring yang akan meningkatkan dosis radiasi yang diterima oleh pasien.



Gambar 2. Grafik Pengaruh Aktivasi Delay Bolus Triggering terhadap Delay Maksimum

Delay aktivasi bolus triggering mempengaruhi lama scann monitoring yang dilakukan pesawat CT Scann. Semakin tinggi nilai delay aktivasi bolus triggering akan menurunkan lama scann monitoring yang akan mempengaruhi turunnya dosis radiasi [14].

Besarnya pengaruh delay aktivasi bolus triggering terhadap dosis radiasi dikarenakan delay aktivasi bolus triggering mempengaruhi banyaknya scann monitoring (*dinamic scann*) yang dilakukan pesawat CT Scann yang akhirnya mempengaruhi dosis radiasi yang dihasilkan [14]. Scann monitoring adalah scann yang dilakukan untuk mencapai nilai HU yang ditetapkan sebesar 180 pada aorta accenden. Semakin besar nilai delay aktivasi bolus triggering semakin sedikit jumlah scann monitoring yang dilakukan sehingga dosis radiasi yang dihasilkan juga semakin kecil. Dengan persamaan regresi $Y = 308,252 - 18,821 DT$, dapat diartikan bahwa setiap kenaikan 1 detik delay aktivasi bolus triggering akan menyebabkan turunnya dosis radiasi sebesar 18,821 mGy. Walaupun pada grafik menunjukkan trend penurunan dosis radiasi seiring dengan kenaikan waktu delay aktivasi bolus triggering tetapi grafik terjadi fluktuasi nilai. Adanya fluktuasi nilai ini disebabkan oleh variasi instrinsik atau kondisi fisiologis dari pasien yang berbeda [17]. Heart rate pasien dipengaruhi oleh usia dan jenis kelamin. Laki laki cenderung memiliki heart rate yang lebih tinggi daripada perempuan. Semakin tua usia seseorang akan semakin rendah heart rate nya. Heart rate juga dipengaruhi oleh klinis dan keadaan Umum pasien [17]. Semakin rendah heart rate maka perjalanan media kontras akan semakin lambat, hal ini akan mengakibatkan untuk mencapai nilai HU 180 pada aorta desenden membutuhkan waktu yang semakin lama. Selain dipengaruhi oleh heart rate kecepatan masuknya media kontras dipengaruhi oleh ukuran diameter pembuluh darah. Perempuan memiliki diameter pembuluh darah cenderung lebih kecil dibanding laki-laki [7]. Dalam penelitian ini peneliti sudah melakukan pengontrolan faktor flow rate media kontras dengan menggunakan injektor otomatis. Selain itu untuk memasukkan media kontras juga menggunakan jarum abocath dengan ukuran yang sama yaitu 20 dengan tujuan agar *contrast arrival time* (*Carr*) media kontras pasien sama, sehingga pada pengaturan waktu delay aktivasi bolus triggering yang sama akan didapatkan dosis radiasi yang sama pula. Pada pengaturan waktu delay aktivasi bolus triggering yang sama diperoleh dosis radiasi yang berbeda, hal ini disebabkan karena waktu untuk tercapai nilai HU 180 pada aorta desenden berbeda untuk setiap pasien [17]. Faktor pasien yang berpengaruh besar terhadap

contrast arrival time (*Caar*) adalah cardiac output atau cardiovascular circulation time[8][17]. Jika cardiac output berkurang maka sirkulasi media kontras akan berjalan lambat sehingga ketercapaian nilai HU level pada ROI aorta desenden juga akan mengalami keterlambatan, hal ini akan mengakibatkan scann monitoring yang terjadi lebih banyak dan dosis radiasi yang dihasilkan juga akan lebih besar [9][17]. Scann penuh yang tercepat dimulai pada detik ke-25,33 dan paling lambat pada detik ke-29,33 dan scann penuh rata-rata dimulai pada detik ke-17,08. Pesawat CT scann mulai melakukan scann monitoring selama lima detik setelah aktivasi bolus trigger (*delay before scann monitoring*) dan melakukan scann penuh selama lima detik setelah HU level/treshold pada ROI tercapai (*delay before scann*). Delay maksimal paling cepat 15,33 detik dan yang terlama 19,33 detik, sedangkan nilai mean delay maksimal adalah 17,08 detik. Dari uji regresi yang dilakukan pada tingkat kepercayaan 95% $p\text{-value} = 0,437 (> 0,05)$ yang menunjukkan bahwa perubahan waktu delay aktivasi bolus triggering tidak mempengaruhi delay maksimal yang dapat dilakukan pada pemeriksaan CT Scann Thorax. Delay maksimal yang dapat dilakukan pada pemeriksaan CT Scann Thorax adalah 17,08 detik, ini berarti media kontras dimasukkan lebih dulu menggunakan injektor otomatis selama 17,08 detik kemudian bolus triggering baru diaktifkan. Pengaturan delay aktivasi bolus triggering yang tepat akan menghasilkan kualitas citra CT yang baik dengan nilai dosis yang rendah [15].

SIMPULAN

Simpulan dari penelitian ini adalah ada pengaruh delay aktivasi bolus triggering terhadap dosis radiasi (CTDIvol) pada pemeriksaan CT Scann Thorax dengan tingkat kepercayaan 95% menunjukkan $p\text{-value} < 0,001$ dan $(R^2) = 0,940$ dimana 94% dosis radiasi dipengaruhi oleh delay aktivasi bolus triggering dan 6% dipengaruhi faktor lain. Dengan persamaan regresi $Y = 308,252 - 18,821 DT$, maka setiap kenaikan waktu delay aktivasi bolus triggering sebesar 1 detik maka akan mempengaruhi turunnya dosis radiasi sebesar 18,821 mGy. Uji regresi pada tingkat kepercayaan 95% didapat $p\text{ value} < 0,437 (> 0,05)$ sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi/perubahan waktu delay aktivasi bolus triggering tidak mempengaruhi delay maksimal. Delay maksimal yang dapat dilakukan untuk pemeriksaan CT Scan Thorax adalah 17,08 detik atau 17 detik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada Direktur RS dokter Moewardi Surakarta atas ijin yang diberikan untuk melakukan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sarkar. M.R.Ay, Dkk. 2005. *Estimating Of Patient Dose In Abdomen-Pelvis CT Exam As A FunCTion Of Scann Technique In Single And Multi Slice Spiral CT By Monte Carlo Method*.
- [2] Hofer, Matthias. 2007. *CT Teaching Manual*, Second Edition. Thieme, Germany.
- [3] Bontrager, Kenneth I. 2001. *Textbook Of Radiographic Positioning And Related Anatomy*, fifth edition. Mosby. United state of America
- [4] Nesseseth, Roland. 2000. *Prosedure And Documentation For CT And MRI*. Mcgraw-Hill Medical Publishing Division, Kansas.
- [5] Hoffmann, Martin H.K. 2009. *Contrast Agent Application And Protocols In Multislice CT*, 3rd Revised Edition. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Leipzig Germany.
- [6] Seeram E. 2001. *Computed Tomography: Physical Principles Clinical Applications, And Quality Control*, Second Edition. Wb Saunders Company, Philadelphia.
- [7] Jaengsri, Nuttawan, Msc. 2004. *CT Protocol*, Radiology Departement Of Thaksim Hospital. Bangkok.
- [8] Fleischmann, D. 2006. *Contrast Medium Injection Technique In Multidetector Row CT Of The Thorax*, Softcover Edition. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York.
- [9] Lipson, Scott A. 2006. *MdCT And 3d Workstations*. Springer Science+Business Media, Inc., China.
- [10] Pearce, Evelyne. 2001. *Anatomy Dan Fisiologi Untuk Paramedis*. Gramedia, Jakarta.
- [11] Bae, 2006 Bae T. Kyongtae. 2006. Principles of Contrast Medium delivery and scann Timing in MDCT. MDTCA Pratical Approach-Springer.
- [12] Castello, P., 1995, *Helical/Spiral CT: A Practical Approach*, Mc Graw Hill Inc, New York.
- [13] European Guidelines For MsCT. 2004. *Clinical And Associated Performance Parameter For MsCT*, March 2004.
- [14] *Protection*, seventh edition. The cv mosby company, missouri. Usa Duerk, Jeffrey L. 2002. *Principles Of Computed Tomography And Magnetic Resonance Imaging*. Philadelphia. USA
- [15] Goldman Lw. 2007. *Principles Of CT: Radiation Dose And Image Quality*. Journal Of Nuclear Medicine Technology Volume 35 Number 4, P.213-225. Society Of Nuclear Medicine.
- [16] Michael F. Mc Nitt-Gray. 2002. *Trade Offs In CT Image Quality And Dose*, AAPM/RSNA. Imaging And Therapeutic Technology
- [17] Robert A. Parry, Ms, Sharon A. Glaze, Ms And Benjamin R. Archer, Phd. 1999. *Typical Patient Radiation Doses In Diagnostic Radiology*, Aapm/RSNA. Imaging And Therapeutic Technology

PA19

**PENILAIAN KESELAMATAN RADIASI
UNTUK PENGGUNAAN PENCITRAAN MANUSIA NON-MEDIS DI LAPAS BANCEUY BANDUNG**

Werdi Putra Daeng Beta¹, Zalfy Hendry Eka Putra²

^{1,2}*Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif - BAPETEN*
e-mail: putradaeng29@gmail.com

ABSTRAK

Pencitraan manusia non-medis atau lebih dikenal dalam istilah komersialnya dengan nama “*body scanner*” adalah alat pemindai tubuh manusia menggunakan radiasi sinar-X untuk mendeteksi benda asing di permukaan atau dalam tubuh manusia untuk tujuan keamanan fasilitas misalnya digunakan di bandar udara, pelabuhan, LAPAS (Lembaga Pemasyarakatan), penjara, dan fasilitas-fasilitas umum lainnya. Dalam rangka pengendalian keamanan dan pencegahan peredaran narkoba (narkotika dan obat-obat terlarang) di LAPAS, maka masyarakat/pengunjung LAPAS dan pegawai LAPAS di LAPAS Banceuy, Bandung diwajibkan untuk melalui pemeriksaan dengan *body scanner*. Tujuan penelitian ini adalah untuk menilai tingkat keselamatan radiasi dalam pemanfaatan *body scanner* di LAPAS Banceuy Bandung. Metode penelitian dilakukan dengan pengumpulan data primer melalui survei radiasi di lokasi penggunaan *body scanner* di LAPAS Kelas IIA Banceuy, Bandung pada tanggal 16 Pebruari 2017. Dosis yang diterima operator adalah 80 uSv/tahun; sedangkan untuk pegawai LAPAS adalah 725,28 uSv/tahun atau 480 scan/tahun diizinkan melalui *body scanner*; dan untuk masyarakat/pengunjung LAPAS adalah 3,22 uSv/kunjungan. Disimpulkan bahwa, pemanfaatan *body scanner* di LAPAS Kelas IIA Banceuy, Bandung dinyatakan aman dan selamat bagi operator/pekerja radiasi, pegawai LAPAS dan pengunjung/masyarakat sesuai dengan penerapan prinsip proteksi radiasi. Selain itu, perlu dipertimbangkan aspek etika, psikologis dan hukum positif dalam pemanfaatan *body scanner* untuk pegawai LAPAS, dalam hal perlu atau tidaknya dilakukan pemeriksaan dengan *body scanner*.

Kata kunci: *body scanner*, keselamatan radiasi, LAPAS.

ABSTRACT

Non-medical human imaging or better known in its commercial terms under the name of "body scanner" is a human body scanner using X-ray radiation to detect objects on the surface or in the human body in purpose of security at airports, ports, LAPAS (penitentiary), prisons, and other public facilities. For purposes of security control and illegal drugs prevention in LAPAS, the public / visitors of LAPAS and the officers of LAPAS Banceuy, Bandung are required to pass inspection through the body scanner. The purpose of this study is to assess the level of radiation safety for body scanners in the LAPAS Banceuy, Bandung. The research method was done by using primary data through radiation survey at the location of body scanner utilisation in LAPAS Banceuy Bandung on February 16, 2017. The dose received by operator is 80 uSv / year; as for the officer of LAPAS is 725,28 uSv / year or 480 scan / year, twice a day; and for the people / visitors of LAPAS is 3.22 uSv / visit. In conclusion, in term of radiation safety, the utilization of body scanner in LAPAS Kelas IIA Banceuy, Bandung is safe. In addition, it is necessary to consider the ethics, psychological and legal aspects of utilising the body scanner for LAPAS employees, whether it is necessary or not of using the body scanner.

Keywords: *body scanner*, radiation safety, penitentiary (LAPAS)

PENDAHULUAN

Pencitraan manusia non-medis atau lebih dikenal dalam istilah komersialnya dengan nama “*body scanner*” adalah alat pemindai tubuh manusia menggunakan radiasi sinar-X untuk mendeteksi benda asing di permukaan atau dalam tubuh manusia untuk tujuan keamanan fasilitas misalnya digunakan di bandar udara, pelabuhan, LAPAS (Lembaga

Pemasyarakatan), penjara, dan wilayah perbatasan.

Body Scanner dipasang di LAPAS (Lembaga Pemasyarakatan) dan rumah tahanan (Rutan) untuk memeriksa pengunjung dan/atau pegawai LAPAS/Ruta yang dicurigai membawa barang-barang terlarang atau benda-benda yang ditanam dalam tubuh.

Dalam rangka pengendalian keamanan dan

pengecahan peredaran narkoba (narkotika dan obat-obat terlarang) di LAPAS, maka masyarakat/pengunjung LAPAS dan pegawai LAPAS di LAPAS Banceuy, Bandung diwajibkan untuk melalui pemeriksaan dengan *body scanner*.

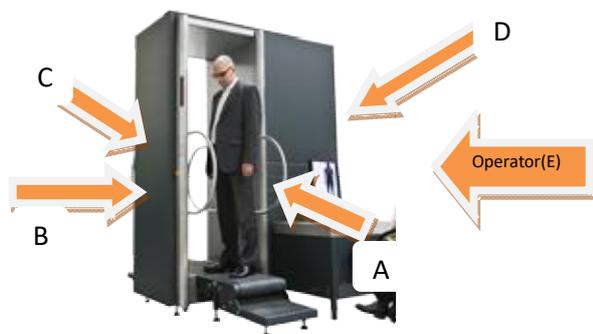
Tujuan penelitian ini adalah untuk menilai tingkat keselamatan radiasi dalam pemanfaatan *body scanner* di LAPAS Banceuy, Bandung.

METODOLOGI

Metode penelitian dilakukan dengan pengumpulan data primer dari Survei Lapangan di LAPAS Kelas IIA Banceuy, Bandung pada tanggal 16 Februari 2017 dengan metode pengukuran sebagaimana terlihat pada Gambar 1.

Alat *body scanner* yang digunakan sebagai penelitian adalah merk Smith Detection, tipe/model B-Scan 16 HR-FB (single view), dengan spesifikasi teknologi pembangkitan sinar-X transmisi laju dosis sangat rendah untuk memindai manusia.[1]

Alat ukur radiasi (AUR) yang digunakan untuk mengukur laju dosis radiasi pada sisi atau titik A sampai E adalah surveimeter jenis/tipe RAD Eye PRD dengan nomor seri: 30595 dan terkalibrasi berlaku. Dan untuk mengukur penerimaan dosis radiasi seluruh tubuh manusia selama proses pencitraan (*body screening process*) dari posisi A ke posisi C digunakan alat Raysafe atau Unfors milik Bidang Pengkajian Fasilitas Kesehatan, Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawaan Fasilitas Radiasi dan Zat Radiaktif, dengan objek scan adalah penulis sendiri.



Gambar 1. Posisi pengukuran radiasi pada sistem *Body Scanner*

Keterangan :

Sisi A : Sisi depan (sisi masuk lorong, manusia in)

Sisi B : Sisi samping kiri

Sisi C : Sisi belakang (sisi keluar lorong, manusia out)

Sisi D : Sisi samping kanan

Operator (E) : tempat operator berada

Nama alat: B-Scan 16 HR-FB (single view)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran dilakukan berdasarkan Gambar 1, sehingga diperoleh hasilnya sebagaimana tercantum pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Hasil pengukuran radiasi *Body Scanner* di LAPAS Banceuy, Bandung

N	LOKA	LAJU	Dosis radiasi
O	SI titik	PAPARAN	seluruh tubuh
	penguk	MAKSIMAL	sepanjang dari sisi
	uran	($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)	A ke sisi C (Lihat Gambar 1)
1.	A	13,6	Diukur 3 kali
2.	B	0,1	dg. Unfors/Raysafe
3.	C	12,6	(BPK-
4.	D	0,07	P2STPFRZR):
5.	E	0,03 -0,04	1,490 uSv / 10,59
	(OPER	(latar)	dt / 67keV
	ATOR)		1,312uSv / 9,51 dt /
			67keV
			1,511uSv / 10,41dt
			/ 67keV

AUR: RAD EYE PRD/ SN: 30595

Analisis proteksi radiasi

1. Proteksi radiasi terhadap pekerja radiasi:

Diketahui:

- Pekerja radiasi untuk pemanfaatan *body scanner* terdiri atas operator dan PPR. Sesuai dengan Perka BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013[2] batas dosis radiasi untuk pekerja radiasi/tahun = 20 mSv/tahun,

- Hasil pengukuran menunjukkan bahwa dosis radiasi di ruang operator terukur dalam jangka laju dosis radiasi latar, yaitu berkisar antara 0,03 uSv/jam sampai dengan 0,04 uSv/jam.

Analisis:

Jika diterapkan asumsi konservatif bahwa seorang pekerja bekerja 8 jam/hari, 40 jam/minggu, 2000 jam/tahun, maka potensi dosis radiasi tahunan dengan paparan radiasi tertinggi sebesar 0,04 uSv/jam adalah = 0,04 uSv/jam x 2000 jam/tahun = 80 uSv/tahun. Dosis radiasi 80 uSv/tahun jauh lebih kecil dari batas dosis pekerja radiasi, yaitu 20 mSv/tahun (catatan: 1 mSv = 1000 uSv). Sehingga dapat dipastikan bahwa radiasi yang diterima oleh pekerja radiasi tidak akan melampaui nilai batas dosis tahunan tersebut.

2. Proteksi radiasi terhadap pekerja/pegawai LAPAS dan masyarakat:

Diketahui:

- Pekerja atau pegawai LAPAS, pengunjung LAPAS, dan masyarakat diberlakukan batas dosis radiasi untuk masyarakat per tahun, yaitu 1 mSv/tahun = 1000 uSv/tahun = 1000 microSievert/tahun.[2]

Asumsi:

- Untuk pekerja atau pegawai LAPAS, kecuali operator dan PPR atau pekerja radiasi, harus melewati *body scanner* sebanyak 2 kali /hari.
- Pengunjung LAPAS juga harus melewati *body scanner* sebanyak 2 kali /hari/kunjungan.
- Dalam 1 (satu) tahun terdapat 240 hari kerja.

Analisis:

- Objek pemeriksaan adalah pekerja/pegawai LAPAS non operator atau non PPR.
- Hasil pengukuran dosis radiasi di posisi objek pemeriksaan dari input ke output terukur tertinggi 1,511 uSv/scan = 1,511 uSv / 10,41 dt.
- NBD Masyarakat 1 miliSievert/tahun
- NBD Masyarakat = 1000 microSievert/tahun
- Maka:
(1000 uSv/tahun) / (1,511 uSv/scan) = 662 scan/tahun

- Jika digunakan asumsi dalam 1 (satu) tahun terdapat 240 hari kerja, maka setiap pegawai LAPAS boleh diukur dalam *body scanner* sebanyak 2 x 240 dalam 1 (satu) tahun, adalah 480 scan/tahun atau setara dengan 725,28 uSv/tahun. Nilai dosis sebesar 725,28 uSv/tahun diperoleh dari:
Dosis yang diterima oleh setiap pegawai LAPAS = (Nilai dosis per scan) x (jumlah scan per tahun)
=(1,511 uSv/scan) x (480 scan/tahun)
= 725,28 uSv/tahun.

Sedangkan NBD tahunan 1000 uSv/tahun, sehingga dapat disimpulkan bahwa dosis radiasi yang diterima oleh pegawai LAPAS masih aman untuk diperiksa dengan *body scanner* tanpa terlampauinya nilai batas dosis radiasi masyarakat per tahunnya.

- Jika objek pemeriksaan adalah masyarakat/pengunjung LAPAS Bandung dosis radiasi jauh lebih aman karena hanya menerima dosis radiasi maksimal sebesar 2 x 1,511 uSv/scan/kunjungan = 3,22 uSv/kunjungan. Dosis radiasi yang diterima pengunjung jauh lebih kecil dari dosis radiasi pegawai LAPAS yang harus melewati pemeriksaan dengan *Body Scanner* 2 kali/hari, dengan catatan kunjungan seorang anggota masyarakat ke LAPAS tidak dilakukan setiap hari.
- Akan tetapi, selain pertimbangan keamanan dan keselamatan radiasi *body scanner* terkait dengan penerapan dan pemberlakuan nilai batas dosis (NBD) radiasi dalam rangka proteksi radiasi; juga tidak kalah penting pula dipertimbangkan aspek justifikasi, etika, psikologis dan hukum positif dalam pemanfaatan pengukuran dengan *body scanner* untuk pegawai LAPAS.

Berdasarkan PP 56 Tahun 2014 [3], *body scanner* termasuk pada jenis fluoroskopi bagasi, hanya obyeknya berupa tubuh manusia. Berdasarkan Peraturan Pemerintah nomor 29 tahun 2008 [4] tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir, menilik PP 56 Tahun 2014, dimana *body scanner* termasuk pada jenis fluoroskopi bagasi, maka penggunaan *body scanner* merupakan penggunaan yang wajib memiliki izin kelompok B dari BAPETEN, dan dianggap telah terjustifikasi. sehingga harus memenuhi persyaratan dalam PP tersebut.

Body scanner adalah salah satu ruang lingkup pengawasan fasilitas radiasi dan zat radioaktif di Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN). Dalam Peraturan Pemerintah Nomor 56 Tahun 2014 tentang Penerimaan Negara Bukan Pajak

(PNBP) yang berlaku pada BAPETEN, termaktub bahwa *body scanner* termasuk dalam kategori perizinan untuk keperluan selain medis dalam lingkup jenis fluoroskopi bagasi untuk memindai tubuh manusia, dan wajib memiliki izin. Peraturan Internasional juga mewajibkan Pemerintah atau Negara, melalui BAPETEN untuk menjamin pemanfaatan *body scanner* ini melalui sistem proteksi radiasi yang handal. Dalam GSR Part 3 Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards [5] disebutkan bahwa: “*The government shall ensure that the use of ionizing radiation for human imaging for purposes other than medical diagnosis, medical treatment or biomedical research is subject to the system of protection and safety*”.

Dalam GSR Part 3 [5], disebutkan bahwa pencitraan manusia non-medis dikategorikan sebagai “*Human imaging using radiation for purposes other than medical diagnosis, medical treatment or biomedical research.*” Artinya pencitraan manusia non medis adalah pencitraan manusia menggunakan radiasi selain untuk diagnosa medis, perawatan medis dan riset biomedis. Pada awalnya, pencitraan manusia non-medis dianggap tidak terjustifikasi. Akan tetapi, apabila Pemerintah menetapkan pemanfaatannya untuk kepentingan nasional dan wajib memiliki izin sebagaimana tercantum dalam Peraturan Pemerintah Nomor 56 Tahun 2014 [3], maka selanjutnya Pemerintah wajib menjamin bahwa pemanfaatan pencitraan manusia non-medis mematuhi ketentuan keselamatan dan proteksi radiasi.

Belum ada dokumen internasional tercatat tentang justifikasi penggunaan *body scanner* untuk manusia, sebagaimana pernah didiskusikan dalam Dublin Symposiums [6], [7]. Di United Kingdom (UK), nilai batas dosis radiasi untuk pemanfaatan *body scanner* sedikit lebih longgar, yaitu pada kisaran 1-2 mSv/tahun dengan pertimbangan aspek keamanan nasional, sebagai salah satu langkah pencegahan penyelundupan narkoba [8].

KESIMPULAN

Pemanfaatan *body scanner* B-Scan 16 HR-FB (single view) di LAPAS Kelas IIA Banceuy, Bandung dinyatakan aman dan selamat bagi operator/pekerja radiasi, pegawai LAPAS dan pengunjung/masyarakat sesuai dengan penerapan

prinsip proteksi radiasi.

Dosis yang diterima operator adalah 80 uSv/tahun; sedangkan untuk pegawai LAPAS adalah 725,28 uSv/tahun atau 480 kali scan/tahun diizinkan untuk pemeriksaan melalui *body scanner*; dan untuk masyarakat/pengunjung LAPAS adalah 3,22 uSv/kunjungan.

Selain itu, perlu dipertimbangkan aspek etika, psikologis dan hukum positif dalam pemanfaatan *body scanner* untuk pegawai LAPAS, dalam hal perlu atau tidaknya dilakukan pemeriksaan dengan *body scanner*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan Terima kasih disampaikan penulis kepada para personil dan jajaran LAPAS Banceuy Bandung yang telah memberi kesempatan penulis untuk pengambilan data primer terkait pemanfaatan *body scanner*/pencitraan manusia non-medis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Smiths Detection (2014), Technical Information for B-Scan 16 HR-FB (single view), Transmission X-Ray People Screening-Technology, Wiesbaden, Germany.
- [2] BAPETEN (2013), Peraturan Kepala BAPETEN nomor 4 tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir, BAPETEN, Jakarta.
- [3] BAPETEN (2014), Peraturan Pemerintah Nomor 56 Tahun 2014 tentang Jenis dan Tarif atas Jenis Penerimaan Negara Bukan Pajak yang Berlaku pada Badan Pengawas Tenaga Nuklir, BAPETEN, Jakarta.
- [4] BAPETEN (2008), Peraturan Pemerintah nomor 29 tahun 2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pngion dan Bahan Nuklir, BAPETEN, Jakarta.
- [5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (2014), Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, General Safety Requirements Part 3, IAEA - GSR Part 3, Vienna.
- [6] EUROPEAN COMMISSION (2003), Medico-legal Exposures, Exposures with Ionising Radiation Without Medical Indication (Proc. Int. Symp. Dublin, 2002), Radiation Protection No. 130, European Communities, Luxembourg.
- [7] EUROPEAN COMMISSION (2011), International Symposium on Non-Medical Imaging Exposures (Proc. Int. Symp. Dublin, 2009),

Radiation Protection No. 167, European Commission, Luxembourg.
 [8] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (2014), Justification of Practices, In-

cluding Non-Medical Human Imaging, General Safety Guide-5, GSG-5, Vienna.

NO	Nama penanya	Kode Makalah	Nama Penyaji	Pertanyaan dan Jawaban
1.	Sulistyaningsih (BAPETEN)	PA19	W.P. Daeng Beta	<p>1. Berapa lama penelitian dilakukan?</p> <p>2. Apa tindakan LAPAS terkait pegawai yang terekspose?</p> <p>Jawab:</p> <p>1. Penelitian dilakukan dengan pengukuran survey radiasi di lokasi LAPAS yang menggunakan pencitraan manusia non medis (Body Scanner) dengan sampling peneliti sendiri sebagai objek ekspose dari body scanner. Setelah data diperoleh kemudian analisis dan studi literatur dilakukan di kantor. Lama penelitian mulai awal sampai akhir untuk 1 lokasi LAPAS sekitar 1 (satu) bulan.</p> <p>2. Tindakan pimpinan LAPAS mewajibkan setiap pegawai LAPAS harus melalui body scanner, saat masuk dan keluar LAPAS. Pegawai yang terekspose body scanner dibatasi maksimal 2 kali per hari.</p>

PA20

**KAJIAN PROTEKSI RADIASI PEMINDAI BARANG BAGASI (FLUOROSKOPI BAGASI)
DI PELABUHAN BANDARADAN HOTELDI INDONESIA****Zalfy Hendry Eka Putra
Werdi Putra Daeng Beta
Ardhiantoro Setya Purnomo***Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif BAPETEN*
e-mail: z.hendry@bapeten.go.id, d.beta@bapeten.go.id, p.ardhiantoro@bapeten.go.id**ABSTRAK**

Kajian Proteksi Radiasi Pemindai Barang Bagasi (Fluoroskopi Bagasi) di Pelabuhan Bandara dan Hotel di Indonesia. Kajian dilakukan untuk menilai aspek proteksi dan keselamatan radiasi dan untuk menilai proses pemanfaatan pemindai barang bagasi yang dipakai di Pelabuhan, Bandara dan Hotel yang digunakan terhadap barang bawaan oleh penumpang pesawat dan tamu hotel serta barang di Pelabuhan. Kajian proteksi dan keselamatan radiasi pada pemanfaatan pemindai barang bagasi digunakan untuk pertimbangan dalam dan penilaian pada proses perizinan dan aspek keselamatan radiasi untuk mendukung kinerja Badan Pengawas Tenaga Nuklir dalam melindungi masyarakat dan pekerja yang terkait di area dengan radiasi pengion.

Kata kunci: pemindai barang bagasi, radiasi, melindungi masyarakat dan pekerja

ABSTRACT

Assessment on Radiation Protection of Baggage Fluoroscopy in Indonesia Hotels, Airport and Seaport. *Assessment on radiation protection of Baggage Fluoroscopy has been done to verify the practice process, radiation protection and safety aspect of used in Indonesia Hotels, Airport and Seaport, for the employees and for people whom visitings. Radiation protection assessment on the use of the Baggage Fluoroscopy are used for consideration in the licensing process and aspects for radiation safety to support the working process of Nuclear Energy Regulatory Agency on protect people and workers in radiation area*

Keywords: baggage fluoroscopy, radiation, protect people and workers

PENDAHULUAN

Berdasarkan Peraturan Pemerintah nomor 29 tahun 2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir, penggunaan Pemindai Barang Bagasi merupakan penggunaan yang wajib memiliki izin kelompok B dari BAPETEN, sehingga harus memenuhi persyaratan dalam PP tersebut, diperlukan PPR dan alat ukur surveymeter.

Persyaratan PPR dan alat ukur surveymeter yang termaktub dalam PP 29 tahun 2009 tersebut sulit terpenuhi dan kurang tersosialisasikan dengan baik, sehingga dari 2000 unit lebih pesawat Pemindai Barang Bagasi di Indonesia, yang telah memiliki izin penggunaan dari BAPETEN hanya 108 pesawat, itupun dengan memberikan beberapa kebijakan terkait PPR dan alat ukur surveymeter.

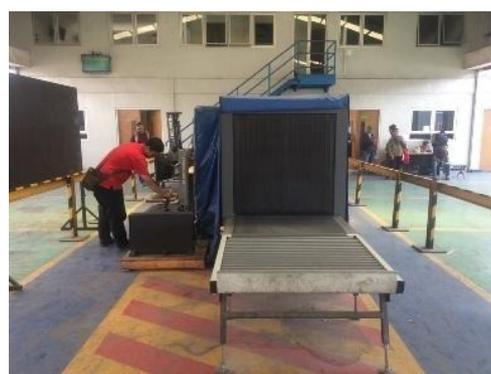
Rendahnya tingkat kepemilikan izin tersebut merupakan permasalahan dalam pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir yang perlu segera diatasi. Kondisi tersebut menunjukkan ada yang tidak optimum dalam penyelenggaraan pengawasan, yang dapat disebabkan oleh ketidakmampulaksanaan peraturan perundangan, yang diindikasikan dengan adanya kebijakan terhadap pesawat yang memiliki izin dan tidak optimumnya pendekatan/sosialisasi kepada stakeholder.

Kebijakan yang diberikan pada pemegang izin dalam memenuhi persyaratan izin meliputi PPR menggunakan PPR importir atau instansi lain, Surveymeter boleh meminjam ke pihak lain dan Pembacaan dosis pekerja berdasarkan data keluaran suveymeter

Untuk membantu menyelesaikan masalah kebijakan pengawasan terhadap penggunaan fluros kopi bagasi tersebut maka dibutuhkan suatu kajian untuk memberikan justifikasi pemberian diskresi persyaratan izin kepada calon pemegang izin penggunaan fluros kopi bagasi dengan mempertimbangan kebijakan yang telah dilakukan dan resiko bahaya radiasi terhadap pekerja dan masyarakat.



Gambar 1a. Pemindai Barang Bagasi Hotel



Gambar 1b. Pemindai Barang Bagasi Barang Pelabuhan

Ruang lingkup materi kajian ini meliputi pengukuran radiasi di sekitar peralatan dan perkiraan resiko bahaya radiasi dari penggunaan pesawat terhadap pekerja

Sasaran dan tujuan kegiatan Kajian adalah untuk memberikan suatu kajian teknis sebagai bahan masukan terhadap Sasaran kegiatan Kajian adalah untuk membantu menyelesaikan masalah kebijakan pengawasan terhadap penggunaan fluros kopi bagasi tersebut maka dibutuhkan suatu kajian untuk memberikan justifikasi pemberian diskresi persyaratan izin kepada calon pemegang izin penggunaan fluros kopi bagasi dengan mempertimbangan kebijakan dan resiko bahaya radiasi terhadap pekerja dan masyarakat

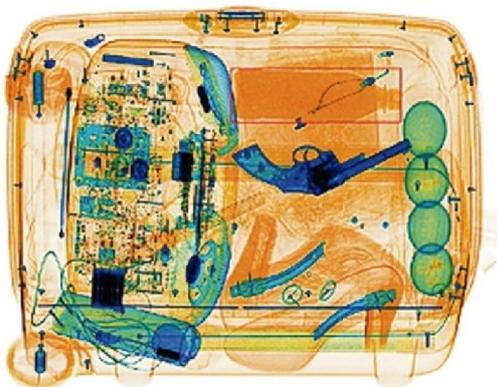
LANDASAN TEORI

Pemindai barang bagasi (Pemindai Barang Bagasi) bekerja dengan menggunakan prinsip radiasi Sinar-X, radiasi sinar-X hanya ada jika pesawat sinar-X dihidupkan tersambung ke listrik dan dilakukan proses penyinaran (exposure). Jika listrik padam atau

penyinaran (exposure) dihentikan maka pancaran radiasi pun terhenti.

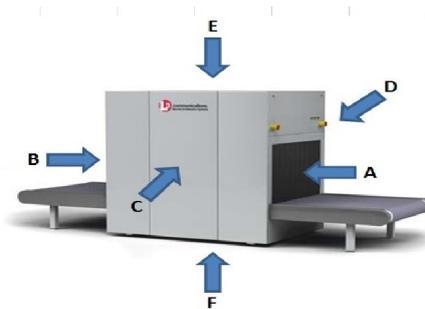
Pemindai Barang Bagasi bekerja dengan teknologi pesawat sinar-X dengan Pencitraan, radiasi memancar dan meradisi obyek dan hamburannya akan ditangkap oleh receptor untuk mendapatkan hasil pencitraan (imaging).

Kegunaan dari Pemindai Barang Bagasi adalah Mendeteksi obyek yang tersembunyi di dalam atau di luar barang bagasi, Mendeteksi penyelundupan dan ancaman termasuk senjata api, bahan peledak (plastik dan bubuk), detonator, narkotika, perangkat elektronik, permata, batu berharga atau bahan metal dan telepon bergerak, Keluaran tinggi- waktu scan kurang dari 7 detik, Inspeksi lengkap dari bagian kepala hingga ujung kaki dalam periode siklus inspeksi yang singkat, Perangkat lunak pemrosesan citra yang canggih dan memfasilitasi fungsi evaluasi pembesaran citra yang efisien dan Laju dosis yang sangat rendah untuk setiap inspeksi, cocok untuk aplikasi umum.



Gambar 2. Hasil citra Pemindai Barang Bagasi

Metode Pengukuran Metoda pengukuran yang dilakukan adalah dengan melakukan pengukuran disekitar peralatan Pemindai Barang Bagasi dengan posisi jarak sekitar 10 cm, seperti pada gambar berikut:



Gambar 3a. Metode Pengukuran

Keterangan Gambar:

Titik ukur A adalah posisi masuknya barang yang akan di ukur

Titik ukur B adalah posisi samping barang yang akan di ukur

Titik ukur C adalah posisi keluarnya barang yang akan di ukur

Titik ukur D adalah posisi samping barang yang akan di ukur

Titik ukur E adalah posisi operator yang mengoperasikan Alat

No	Nama Alat (S/N, Tahun)	Hasil Pengukuran ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)				Keterangan (E dan F, Keterangan lainnya, KV, mA)
		A	B	C	D	
						Operator

Gambar 3b. Form Pengukuran

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat ukur radiasi Radeye PRD, dengan menganalogikan pengukuran pesawat sinar-X sesuai PP 29 Tahun 2008, Pasal 72 dan mensimilarkan seperti uji kebocoran pada tabung pesawat sinar-X.

Jika Pengukuran merujuk ke uji kebocoran untuk pengukuran 1 meter (100 cm) untuk segala arah, maka hasilnya kan rendah sekali, jadi sengaja dipakai rujukan PP 29 tahun 2009 Pasal 72 butir ayat a.



Gambar 4a. Proses Pengukuran Pemindai Barang Bagasi Mobil



Gambar 4b. Proses Pengukuran Pemindai Barang Bagasi Hotel

Untuk Pengukuran laju dosisi di titik Operator dan pengunjung serat di tirai pembukaan scan barang di gunakan alata ukur radiasi Radeye PRD yang menggunakan detektor sintilasi yang bekerja dengan konsep masukan cahaya dengan asumsi pendekatan ke cahaya sinar-X.

Rumusan yang dipakai untuk menentukan banyaknya seseorang bisa di scan melewati peralatan Pemindai Barang Bagasi adalah sebagai berikut:

$$\sum Scan.Setahun = \frac{NBD.Setahun}{Dosis.Satu.Kali.Scan}$$

Rumus untuk menghitung Banyaknya Pemindaian (Scan)

$$Scan.sehari = \frac{\sum Scan.Setahun}{\sum Hari.Kerja.Efektif.Setahun}$$

Rumus untuk menghitung Pemindaian (Scan) dalam sehari

$$Dosis1.x.(Jarak1)^2 = Dosis2.x.(Jarak2)^2$$

Rumus Dosis dan Jarak untuk Perkiraan Proteksi Radiasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Survei dalam rangka kajian Pemindai Barang Bagasi ini dilakukan ke Hotel-hotel dan Bandara serta Pelabuhan antar Pulau yang memiliki alat tersebut.

No	Nama Alat	Hasil Pengukuran (uSv/jam)					Keterangan
		A	B	C	D	Operator	
1	Rapiscan 628XR P7072	0,45	0,25	0,05	---	0,05	140 KV 0,7 mA
		0,5	---	---	---	---	

Gambar 6. Hasil Pengukuran Alat Type Rapiscan 628XR P7072

No	Nama Alat	Hasil Pengukuran (uSv/jam)					Keterangan
		A	B	C	D	Operator	
1.	Smiths Detection Type:HS100100T-2IS SN 117785	0,19	0,89	0,09-0,11	0,07	0,11	Terminal kedatangan, Batam
		0,16	0,49	0,13	0,07	0,10	
2.	Smiths Detection Type: HS6040ax SN 117648	1,58	1,7	0,25	0,15	0,11	Terminal kedatangan, Batam
		1,83	2,14	---	---	0,13	
3.	Smiths Detection Type: Mobile Seri: 122740	3,56	0,82	0,22	0,39	0,03	Longroom TPFT Graha Segara, Pel Tj Priuk, Jakarta
		3,86	0,46	0,18	0,4	0,03	

Gambar 7. Hasil Pengukuran Alat Type Smiths Detection

Dari Hasil Pengukuran diatas diperoleh besaran laju dosisi masih dalam rentang latar hingga dibawah 5 microSievert/jam

Rujukan yang dipakai dalam kalkulasi analisis hasil pengukuran adalah PP 29 tahun 2009 Pasal 72 butir ayat a (Pengecualian) dan Peraturan

Kepala BAPETEN Nomor 4 tahun 2013, tentang Batasan NBD untuk Masyarakat dan Pekerja Radiasi serta Pembatas Dosis

Jika, diketahui, Laju Dosis maksimal dalam satu kali scan barang bagasi sebesar 4microSv/jam, di analogikan proses sekali scan barang selama 10 detik dan dianggap selama itu orang akan menunggu mengambil barangnya, maka diperoleh besaran Dosis sebesar 0,01 microSievert dalam satu kali scan barang, orang yang meletakkan barang tidak berdiri statis dikarenakan bergerak menjauh sedikit karena harus melewati metal detektor yang biasanya diletakkan berdekatan dengan Pemindai Barang Bagasi.

Dengan nilai perkiraan sebesar 0,01 microSievert ini, dan asumsi seseorang tidak tiap hari melewati barangnya melalui pesawat Pemindai Barang Bagasi, maka dengan merujuk Peraturan Kepala BAPETEN nomor 4 tahun 2013, maka dapat disimpulkan bahwa dosis radiasi terhadap masyarakat dalam satu tahun jauh dibawah 1 miliSievert.

Berdasarkan Peraturan Kepala BAPETEN nomor 4 tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir, termaktub didalamnya di Pasal 23 bahwa Nilai Batas Dosis Masyarakat untuk setahun adalah sebesar 1 mSv dan pembatas dosis 0,3 mSv pertahun.

Perlu diperhatikan bahwa dalam Fluros kopi Bagasi, dari proses meletakkan Tas hingga mengambilnya kembali, setelah di uji coba adalah se.

Sebagai contoh lainnya, terukur radiasi terbesar adalah 7,52 microSievert/jam. Dirubah dalam satuan per detik menjadi 0,002 microSievert/detik. Saat dikalikan 10 detik akan menjadi 0,02 microSievert/detik. Inilah beban riil bahaya radiasi per personil masyarakat pengguna jasa Pemindai Barang Bagasi untuk setiap kali melewati Pemindai Barang Bagasi dengan nilai ukur tertinggi. Akan semakin kecil, untuk hasil nilai ukur yang lebih rendah.

Jadi dapat disimpulkan secara efektif per beban perhitungan analisa, masih jauh dibawah Nilai Batas Dosis (NBD) masyarakat untuk Pemindai Barang Bagasi

KESIMPULAN

Ada beberapa jenis dan merk Pemindai Barang Bagasi yang setelah dilakukan pengukuran, nilai hasil ukur masuk kategori dibawah 1

microSievert/jam, yangmana jika merujuk ke PP 29 pasal 72, masuk ke Pengecualian, yang berarti tidak memerlukan izin dan jika diperlukan izin dengan persyaratan yang minimal (klasifikasi C)

Beberapa jenis dan merk Pemindai Barang Bagasi setelah dilakukan pengukuran, nilai ukur melebihi ketentuan PP 29 tahun 2008 pasal 72, tetapi jika perhitungan dirujuk ke Peraturan Kepala BAPETEN nomor 4 tahun 2014, untuk Nilai Batas Dosis Masyarakat masih dibawah 1 mSv setahun

Menindaklanjuti Revisi Peraturan Pemerintah Nomor 29 Tahun 2009, dapat dinyatakan bahwa berdasarkan hasil penelitian pengukuran paparan radiasi di sekitar pesawat Pemindai Barang Bagasi, maka klasifikasi kelas B dapat diturunkan menjadi kelas C atau bahkan ada beberapa merk yang masuk klasifikasi pengecualian Pasal 72 PP Nomor 29 Tahun 2008

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BAPETEN, Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif, Jakarta, 2007
- [2] Smiths Detection, *X-Ray Baggage*, Smiths Heimann GmbH, Wiesbaden, 2015
- [3] IAEA, *General Safety Requirements (GSR) Part 3 Radiation Protection and Safety of Radiation Sources : International Basic Safety Standards*, IAEA, Vienna, 2014
- [4] BAPETEN, Peraturan Kepala BAPETEN No. 4 Tahun 2013 Tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir, Jakarta, 2013
- [5] BAPETEN, Peraturan Pemerintah Nomor 56 Tahun 2014 tentang Jenis dan Tarif atas Jenis Penerimaan Negara Bukan Pajak yang Berlaku pada Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jakarta, 2014
- [6] BAPETEN, *Peraturan Pemerintah Nomor 29 tahun 2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir*, Jakarta, 2008
- [7] IAEA, *General Safety Guide (GSG) 5 Justification of Practices, Including Non-Medical Human Imaging*, IAEA, Vienna, 2014
- [8] BAPETEN-P2STPFRZR, *Laporan Hasil Kajian (LHK) tentang Pemindai Barang Bagasi*, BAPETEN, Jakarta, 2017
- [9] BATAN, Prinsip Dasar Pengukuran Radiasi, http://www.batan.go.id/pusdiklat/elearning/Pengukuran_Radiasi/_private/Prinsip%20Dasar.pdf

PB01

KAJIAN ASPEK KEPEMIMPINAN DAN MANAJEMEN KESELAMATAN UNTUK USULAN PERUBAHAN PERKA BAPETEN NO. 4 TAHUN 2010

Reno Alamsyah¹, Nur Siwhan¹, Agus Waluyo¹, dan Arifin M. Susanto¹

¹*Pusat Pengkajian Sistem Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir – P2STPIBN BAPETEN.*

Correspondent Author: r.alamsyah@bapeten.go.id

ABSTRAK

KAJIAN ASPEK KEPEMIMPINAN DAN MANAJEMEN KESELAMATAN UNTUK USULAN PERUBAHAN PERKA BAPETEN NO. 4 TAHUN 2010. Telah dilakukan suatu kajian atas Perka 4/2010 berdasarkan standar internasional dalam lingkup kepemimpinan dan manajemen untuk keselamatan. Salah satu pokok yang sangat penting dan belum termuat pada Perka ini adalah mengenai kepemimpinan, suatu aspek yang esensial dalam budaya keselamatan dan peran besarnya telah terbukti pada kecelakaan nuklir berskala besar di PLTN Chernobyl tahun 1979 dan Fukushima tahun 2011. Di sisi lain, pada tahun 2016 IAEA telah menerbitkan standar terbaru yaitu GSR Part 2 yang bertajuk kepemimpinan dan manajemen untuk keselamatan. Dengan demikian, persoalan yang akan dibahas pada makalah ini adalah bahwa Perka 4/2010 belum memuat aspek kepemimpinan dan belum sepenuhnya sesuai standar umum persyaratan IAEA. Tujuan dari penulisan ini adalah untuk mengidentifikasi masukan awal dalam merevisi Perka 4/2010 berdasarkan standar IAEA GSR Part 2 tersebut dan untuk memberikan masukan rencana tindak lanjut yang diperlukan. Kajian yang bersifat deskriptif, kualitatif dan analitik ini dimulai dengan menyajikan pengertian dan definisi yang digunakan pada GSR Part 2, dilanjutkan dengan telaah sistematika dokumentasi IAEA yang relevan dan perbandingan antara GSR Part 2 dan Perka 4/2010, dan diakhiri dengan analisis dampak regulasi yang mungkin perlu dilakukan bagi BAPETEN maupun bagi pemegang izin. Kajian ini menyimpulkan bahwa sebagian besar persyaratan kepemimpinan untuk keselamatan belum termuat dalam Perka 4/2010; adalah terjustifikasi untuk mengganti Perka tersebut dengan mengadopsi GSR Part 2; dan, untuk melengkapi kajian ini, BAPETEN hendaknya melakukan kajian lapangan guna mendapatkan umpan balik baik dari pemegang izin maupun dari Pengawas di BAPETEN.

Kata kunci: kepemimpinan, manajemen, keselamatan, peraturan, pedoman.

ABSTRACT

ASSESSMENT ON LEADERSHIP AND MANAGEMENT FOR SAFETY ASPECTS FOR THE AMENDMENT OF BAPETEN CHAIRMAN REGULATION NO. 4 YEAR 2010. An assessment on BAPETEN Chairman Regulation No. 4 Year 2010 (BCR 4/2010) based on international standard in the scope of leadership and management for safety has been carried out. One of the most important subjects that has not centended in this BCR is on leadership, which is an essential aspect of safety culture and its great role has been proven in major accidents at Chernobyl in 1979 and in Fukushima NPP in 2011. In other side, in 2016 the IAEA has published a new standard GSR Part 2 focused on leadership and management for safety. Therefore, the problem discussed in this paper was the fact that BCR 4/2010 has not included leadership aspect and has not fully in accordance with the IAEA general safety requirements. The objectives of this paper were to identify inputs for amendment of BCR 4/2010 based on the IAEA GSR Part 2 and to propose further action plan. This descriptive, qualitative and analytic assessment started with the presentation of terms and definitions used in the standard, then followed up by the review of the systematics of relevant IAEA documentations, afterward comparison between GSR Part 2 and BCR 4/2010, and then ended with a regulatory impact analysis both for BAPETEN and the licensees. This study has concluded that most of leadership for safety requirements were not included in the BCR 4/2010; and that the adoption of GSR Part 2 into the amended BCR 4/2010 is justified; and, to complete this study, BAPETEN needs to perform field study to gain feedbacks both from the licensees and BAPETEN regulator itself.

Keywords: leadership, management, safety, regulation, guide.

I. PENDAHULUAN

Peraturan Kepala BAPETEN (Perka) No. 4 Tahun 2010 tentang Sistem Manajemen Fasilitas dan Kegiatan Pemanfaatan Tenaga Nuklir (Perka 4/2010) telah mengatur Sistem Manajemen (SM) yang terintegrasi, memadukan aspek keselamatan, kesehatan, lingkungan hidup, keamanan, mutu, dan ekonomi yang harus disusun dan dilaksanakan pada fasilitas dan kegiatan ketenaganukliran. Perka ini menjelaskan tujuannya secara rinci, yaitu: “untuk menentukan persyaratan dalam menetapkan, melaksanakan, menilai, dan secara berkesinambungan memperbaiki SM yang terintegrasi tersebut, serta untuk memastikan tidak ada kompromi terhadap keselamatan, dengan mempertimbangkan implikasi semua tindakan dalam hubungannya dengan keselamatan secara menyeluruh” [1].

Acuan utama yang digunakan untuk menyusun Perka 4/2010 adalah standar IAEA GS-R-3 *Management for Facilities and Activities* [2] yang diterbitkan pada tahun 2006. Sebagaimana diketahui, pada tahun 2016, IAEA menerbitkan GSR Part 2 *Leadership and Management for Safety* [3] sebagai pengganti GS-R-3. Hal yang paling mendasar berbeda dengan dokumen pendahulunya, adalah ditekankannya peran kepemimpinan dalam keselamatan, yang belum diatur pula dalam peraturan perundang-undangan (PUU) di Indonesia.

Selain GSR Part 2, ada banyak standar IAEA yang menunjukkan pentingnya aspek kepemimpinan dalam keselamatan, baik untuk operasi dalam keadaan normal maupun kedaruratan [4-7]. Suatu riset di Universitas Waseda pada tahun 2012 [8] menyimpulkan pentingnya peran kepemimpinan pada kecelakaan nuklir di PLTN Three Miles Island (1979) maupun di Fukushima (2011). Dikatakan pula bahwa sangatlah penting bagi pemimpin untuk membangun sistem komunikasi yang efektif dan memahami situasi secara menyeluruh [8].

Dari berbagai dokumen tersebut di atas, maka dapat dilihat bahwa peran kepemimpinan dalam keselamatan sangatlah penting. Perka 4/2010 telah mengatur wewenang dan tanggung-jawab Pemegang Izin (PI) dan manajer. Namun, peran kepemimpinan dalam keselamatan belum diatur secara menyeluruh dalam PUU di Indonesia.

Dengan demikian, persoalan yang diangkat dalam paper ini adalah belum diadopsinya aspek kepemimpinan untuk keselamatan dalam PUU ketenaganukliran di Indonesia, khususnya pada Perka 4/2010. Sehingga, paper ini bertujuan untuk menyusun masukan awal dalam merevisi atau mengamandemen Perka 4/2010 dalam lingkup kepemimpinan dan manajemen untuk keselamatan. Pada tahap ini, kajian dibatasi sebagai review dokumen (*paper work*), dan belum memuat masukan dari evaluasi atas praktik penerapan Perka 4/2010 di lapangan.

II. POKOK BAHASAN

II.1 Umum

Kajian ini dilakukan secara deskriptif, kualitatif dan analitik. Pembahasan dimulai dengan menyajikan pengertian dan definisi yang digunakan pada GSR Part 2, dan dilanjutkan dengan telaah sistematika dokumentasi IAEA terkait kepemimpinan dan manajemen untuk keselamatan dalam berbagai bidang penerapan. Kemudian, dilakukan perbandingan antara seluruh persyaratan yang ditetapkan dalam standar utama GSR Part 2 dengan pasal-pasal yang ada dalam Perka 4/2010. Pada bagian akhir akan diulas analisis konsekuensi yang mungkin perlu dilakukan pada proses perbaikan Perka 4/2010 dan pelaksanaan amandemennya.

II.2 Dokumentasi IAEA

Bagian ini akan mendiskusikan hierarki dokumentasi IAEA, mulai dari level tertinggi yang bersifat kebijakan, hingga ke tingkat teknis pedoman dan contoh-contoh terkait dengan kepemimpinan dan manajemen untuk keselamatan. Bidang-bidang penerapan dan hubungan dengan standar industri seperti ISO yang umum digunakan juga akan dibicarakan. Hal ini perlu untuk dilakukan guna melihat urgensi dan keberterapan (*applicability*) kajian ini.

II.3 Studi Perbandingan

Perbandingan antara GSR Part 2 dengan Perka 4/2010 dilakukan untuk setiap persyaratan yang diberikan dalam GSR Part 2. Pada awalnya, dibahas ulasan umum atas setiap persyaratan. Kemudian, kesimpulan pemenuhan atas setiap persyaratan dibuat berdasarkan kajian rinci atas semua paragraf yang diberikan pada setiap persyaratan. Pada Bab III akan disajikan hasil secara umum dan diskusinya.

II.4 Analisis Dampak Regulasi

Apabila Perka 4/2010 akan diubah dengan mengacu pada GSR Part 2, maka harus dilakukan analisis untuk mengantisipasi hal-hal yang perlu disiapkan oleh BAPETEN maupun oleh PI. Mengikuti prinsip ke-4 mengenai Justifikasi yang termuat dalam Prinsip Keselamatan Mendasar SF-1 IAEA [9], maka pengganti Perka 4/2010 seharusnya mengurangi risiko radiologis seraya mempertimbangkan konsekuensi pembiayaan dalam pelaksanaannya. Namun, prinsip ke-1 dari SF-1 ini juga harus dikedepankan, yaitu bahwa tanggung jawab utama dalam keselamatan ada pada PI.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

III.1 Pengertian dan Istilah

Disarikan dari Bab I GSR Part 2, pengertian dan istilah yang digunakan dalam adalah sbb [3]:

1. **Kepemimpinan** adalah penggunaan kemampuan dan kompetensi individu dalam memberi arahan kepada individu dan kelompok dan untuk mempengaruhi komitmen mereka demi mencapai tujuan dasar keselamatan dan menerapkan prinsip dasar keselamatan, melalui tujuan, nilai dan perilaku bersama. Kepemimpinan dilaksanakan dengan:
 - a. membangun dan mengintegrasikan visi, tujuan, strategi, rencana dan sasaran organisasi;
 - b. menganjurkan komitmen individu terhadap proteksi manusia dan lingkungan hidup dari efek berbahaya radiasi pengion; dan,
 - c. menganjurkan Prinsip-prinsip Dasar keselamatan, menetapkan harapan perilaku dan mendorong budaya keselamatan yang kuat.
 2. **Manajemen** adalah fungsi kewenangan resmi untuk memastikan bahwa suatu organisasi beroperasi secara sangkil dan pekerjaan itu selesai sesuai dengan persyaratan, rencana dan sumber daya. Para manajer di semua tingkatan perlu menjadi pemimpin untuk keselamatan.
 3. **Fasilitas** meliputi:
 - a. Instalasi nuklir, yaitu pembangkit listrik tenaga nuklir; reaktor riset (termasuk rakitan subkritis dan kritis) dan fasilitas produksi radioisotop yang terhubung; fasilitas untuk penyimpanan bahan bakar nuklir bekas; fasilitas untuk pengayaan uranium; fasilitas fabrikasi bahan bakar nuklir; fasilitas konversi, fasilitas untuk pengolahan kembali bahan bakar nuklir bekas, fasilitas untuk pengelolaan limbah radioaktif berbasis potensi dari fasilitas siklus bahan bakar nuklir, dan fasilitas penelitian dan pengembangan terkait daur bahan bakar nuklir;
 - b. Fasilitas penambangan atau pemrosesan bijih uranium atau bijih torium;
 - c. Instalasi iradiasi;
 - d. Fasilitas dan kegiatan pengelolaan (termasuk pembuangan) limbah radioaktif, seperti pelepasan efluen, dan remediasi tapak yang terkena dampak bahan radioaktif residual dari kegiatan masa lalu. (Catatan: Contoh tapak yang terkena sisa-sisa kegiatan di masa lalu adalah tapak bekas penambangan uranium.);
 - e. Fasilitas yang menjadi tempat bahan radioaktif diproduksi, diproses, digunakan, ditangani, disimpan atau dibuang pada skala yang memerlukan pertimbangan proteksi dan keselamatan, atau bila generator radiasi dipasang.
 4. **Kegiatan** meliputi:
 - a. Kegiatan yang melibatkan produksi, penggunaan, atau impor dan ekspor sumber radiasi pengion untuk keperluan medik, industri, pertanian, pendidikan dan penelitian;
 - b. Pengangkutan bahan radioaktif;
 - c. Dekomisioning (atau penutupan) fasilitas;
 - d. Kegiatan yang melibatkan perancangan dan pabrikasi peralatan dan pekerjaan lain serta layanan untuk fasilitas atau kegiatan yang menimbulkan risiko radiasi; dan,
 - e. Kegiatan industri yang melibatkan bahan radioaktif alami (NORM) yang, atau yang mungkin, menjadi pokok untuk persyaratan proteksi dan keselamatan.
 5. **Keselamatan** mencakup proteksi manusia dan lingkungan terhadap risiko radiasi dan keselamatan fasilitas dan kegiatan yang menimbulkan risiko radiasi.
 6. **Risiko radiasi** didefinisikan sebagai:
 - a. Efek kesehatan yang merugikan karena terpapar radiasi (termasuk kemungkinan munculnya efek seperti itu);
 - b. Risiko lain terkait keselamatan (termasuk yang terkait dengan lingkungan) yang mungkin timbul sebagai akibat langsung dari:
 1. Paparan radiasi;
 2. Adanya zat radioaktif (termasuk limbah radioaktif) atau pelepasannya ke lingkungan;
 3. Hilangnya kendali atas teras reaktor nuklir, reaksi inti berantai, sumber radioaktif atau sumber radiasi lainnya
 7. **Pengaturan** (*arrangement*) adalah seperangkat elemen infrastruktur terpadu yang diperlukan untuk menyediakan kemampuan dalam melakukan fungsi atau tugas tertentu. Unsur-unsur tersebut dapat mencakup kewenangan dan tanggung jawab, organisasi, koordinasi, personalia, rencana, prosedur, fasilitas, peralatan, pelatihan dan kontrak.
 8. **Standar internasional**, misalnya, dari International Organization for Standardization (ISO) atau European Foundation for Quality Management (EFQM);
 9. **Standar nasional**, misalnya, standar Inggris tentang Occupational Health and Safety (OHS) Management atau standar Nuclear Quality Assurance (NQA) dari Amerika Serikat. Catatan: termasuk Standar Nasional Indonesia, atau SNI.
- Pengertian dan istilah-istilah di atas belum termuat pada Ketentuan Umum Perka 4/2010. Tetapi, Pasal 3 ayat (2) Perka 4/2010 menyatakan bahwa Perka ini mengatur SM untuk: instalasi nuklir, kegiatan yang menggunakan sumber radiasi pengion, pengelolaan limbah radioaktif, pengangkutan zat radioaktif, kegiatan proteksi radiasi, dan kondisi atau pemanfaatan lainnya yang memungkinkan masyarakat terkena paparan dari sumber radiasi alami atau buatan. Dengan demikian, pengertian dan istilah-istilah tersebut

dapat dipertimbangkan untuk dimuat pada pengganti Perka 4/2010.

III.2 Dokumentasi IAEA

Salah satu dari 10 prinsip dalam SF-1 adalah 'kepemimpinan dan manajemen untuk keselamatan' [9]. Dikatakan bahwa kepemimpinan dan manajemen keselamatan yang efektif wajib ditetapkan dan dipertahankan secara berkelanjutan dalam organisasi yang terkait dengan, dan pada fasilitas serta kegiatan yang memberikan peningkatan risiko radiasi. Sebagaimana diketahui, SF-1 diuraikan secara lebih lanjut pada dokumen IAEA seri General Safety Requirements (GSR).

Dari 7 GSR, IAEA menetapkan GSR Part 2 [3] sebagai pemberi persyaratan, yang bersifat 'harus', untuk kepemimpinan dan manajemen keselamatan. Pendahulu GSR Part 2, yaitu, GS-R-3, dianggap sebanding dengan standar ISO 9001 SM Mutu, dengan beberapa perbedaan. Seri laporan keselamatan IAEA SRS No. 69 [10] membandingkan klausul-klausul keduanya secara rinci. Paper [11] juga menyimpulkan bahwa ada banyak kesamaan antara kedua dokumen. GS-R-3 sebagai SM terintegrasi lebih berfokus pada keselamatan, sementara ISO 9001 berfokus pada mutu dan kepuasan pelanggan. Dengan demikian, pengguna GS-R-3 tidak dengan serta merta dapat menerima sertifikasi ISO 9001.

Seiring waktu, GS-R-3 telah diuraikan secara rinci lagi pada berbagai pedoman sbb:

1. GS-G-3.1 The Application of Management System for Facilities and Activities (Juli 2006) [12], sebagai petunjuk umum penerapan GS-R-3 untuk semua jenis fasilitas dan kegiatan ketenaganukliran;
2. GS-G-3.2 The Management System for Technical Services in Radiation Safety (Juli 2008) [13] dapat digunakan sebagai SM laboratorium dosimetri dan kalibrasi ataupun organisasi penginspeksi. Dokumen ini dianggap sebanding dengan ISO 17025 Persyaratan kompetensi Lab Uji dan Lab Kalibrasi atau 17020 Persyaratan untuk pengoperasian berbagai lembaga inspeksi.
3. GS-G-3.3 The Management System for the Processing, Handling and Storage of Radiation Waste (Juni 2008) [14]. Dokumen ini seharusnya diadopsi dan dilaksanakan oleh semua instalasi nuklir yang ada di Indonesia.
4. GS-G-3.4 The Management System for the Disposal of Radiation Waste (Juni 2008) [15]. Dokumen ini seharusnya diadopsi dan dilaksanakan oleh fasilitas pengelola limbah radioaktif yang ada di Kawasan Nuklir Serpong.
5. GS-G-3.5 The Management System for Nuclear Installation (September 2009) [16]. Dokumen pengganti seri keselamatan legendaris IAEA SS No. 50-C/SG-Q (1996) [17] ini seharusnya diadopsi dan dilaksanakan oleh semua instalasi

nuklir di Indonesia, dan juga oleh organisasi BATAN yang saat ini melaksanakan tugas mendesain reaktor nuklir.

6. GS-G-1.1 Organization and Staffing of the Regulatory Body for Nuclear Facility (Agustus 2002) [18] dianggap sebagai pedoman pelaksanaan SM pada badan pengawas seperti BAPETEN.

Sebagai pedoman untuk menyusun sistem manajemen, GS-R-3 dan semua dokumen pedoman di atas masih dapat digunakan dalam mengembangkan SM dan prosedur pada masing-masing organisasi, asalkan ditambahkan bagian-bagian tentang kepemimpinan untuk keselamatan dan dapat dipastikan kesesuaiannya dengan GSR Part 2.

Selain pedoman-pedoman di atas, ada beberapa dokumen teknis IAEA yang dapat digunakan dalam pengembangan SM, antara lain sbb:

1. TECDOC-1491 Management of continual improvement for facilities and activities: A structured approach (April 2006) [4].
2. NG-T-2.7 Managing Human Performance to Improve Nuclear Facility Operation (Desember 2013) [5].
3. NG-T-1.1 Managing Organizational Change in Nuclear Organizations (April 2014) [6].
4. NG-T-1.5 Leadership, Human Performance and Internal Communication in Nuclear Emergencies (Januari 2018) [7].

III.3 Studi Perbandingan

Berikut disajikan Tabel-1 sebagai hasil kajian perbandingan antara GSR Part 2 dengan Perka 4/2010 dilengkapi dengan disuksi untuk masing-masing persyaratan:

Tabel-1. Perbandingan antara GSR Part 2 dengan Perka 4/2010

No. Persyaratan	Atribut GSR Part 2	Perka 4/2010 dan Diskusi
	Tanggung Jawab untuk Keselamatan	
1.	Mencapai tujuan dasar keselamatan: Pemohon atau pemegang izin, yang dimulai dengan manajemen senior, harus memastikan tercapainya tujuan dasar keselamatan untuk melindungi manusia dan lingkungan dari efek berbahaya radiasi pengion.	Perka 4/2010 belum secara eksplisit mengatur mengenai pencapaian tujuan dasar keselamatan. Meskipun demikian, Pasal 6 (2) a. dalam PP 33/2007 [19] menyatakan bahwa Pemegang Izin bertanggung jawab untuk mewujudkan tujuan Keselamatan Radiasi. Selanjutnya, Pasal 61(1) PP 54/2012 [20] juga menyatakan bahwa dalam melaksanakan teknis keselamatan dan keamanan instalasi nuklir, PI bertanggung jawab untuk mewujudkan tujuan keselamatan. Persyaratan-1 Paragraf 2.1. dan 2.2. hendaknya dapat diadopsi secara menyeluruh pada pengganti Perka 4/2010.
	Kepemimpinan untuk Keselamatan	
2.	Demonstrasi kepemimpinan untuk keselamatan oleh manajer: Manajer harus menunjukkan kepemimpinan untuk keselamatan dan komitmen terhadap keselamatan.	Pada dasarnya, Perka 4/2010 belum banyak menyentuh masalah kepemimpinan. Hal tersebut hanya diulas sepintas pada Pasal 32 (2) butir b. yang menyatakan bahwa penilaian mandiri dilakukan secara berkala untuk menentukan kecukupan kinerja dari pelaksanaan pekerjaan dan kinerja kepemimpinan. Tidak ada uraian lebih lanjut mengenai kewajiban bagi jajaran manajemen untuk menunjukkan kepemimpinan untuk keselamatan dan komitmen terhadap keselamatan. Meskipun demikian, berbagai kewajiban dalam hal kepemimpinan bagi manajemen sebagaimana diuraikan oleh GSR Part 2 telah diatur dalam Perka 4/2010. Persyaratan-2 Paragraf 3.1., 3.2. dan 3.3. hendaknya dapat diadopsi secara menyeluruh pada pengganti Perka 4/2010.
	Manajemen untuk Keselamatan	
	<i>Tanggung jawab untuk integrasi keselamatan ke dalam SM</i>	
3.	Tanggung jawab manajemen senior untuk SM: Manajemen senior bertanggung jawab untuk menetapkan, menerapkan, mempertahankan dan terus memperbaiki SM secara berkesinambungan untuk menjamin keselamatan.	Dalam Perka 4/2010, pengertian 'manajemen senior' dari GS-R-3 pada umumnya diterjemahkan sebagai 'Pemegang Izin' (PI). Kemudian, dan konsep 'manajemen pada semua tingkatan' diadopsi sebagai 'manajer'. Dalam hal ini, Pasal 14 (2) menyatakan bahwa dalam melaksanakan tanggung jawabnya, PI harus menetapkan manajer. Wewenang dan tanggung jawab manajer dalam hal SM kemudian diuraikan pada ayat (3) Pasal yang sama. Hal ini mirip dengan konsep 'management representative' (MR) yang digunakan dalam ISO 9001 hingga versi 2008. Untuk ISO 9001:2015, tidak dilarang menggunakan MR, namun penggunaannya tidak mengurangi tanggung-jawab pimpinan puncak dalam hal SM. Pasal 29 (1) juga mengatakan bahwa untuk setiap proses, PI harus menetapkan seorang manajer. Hal-hal ini agaknya terlalu jauh memasuki wilayah keorganisasian PI. Dengan demikian, hendaknya POU tidak mengatur mengenai kewajiban PI menetapkan Manajer. Persyaratan-3 Paragraf 4.1 dan 4.2 hendaknya dapat diadopsi secara menyeluruh pada pengganti Perka 4/2010.
4.	Tujuan, strategi, rencana dan sasaran: Manajemen senior harus menetapkan tujuan, strategi, rencana dan sasaran organisasi yang sesuai dengan kebijakan keselamatan organisasi.	Aspek perencanaan (tujuan, strategi, rencana, dan sasaran secara terpadu dan konsisten dengan kebijakan organisasi) sebagian besar telah diuraikan pada Pasal 13 Perka 4/2010. Namun, kebijakan keselamatan tidak disebutkan secara spesifik, sehingga perlu diadopsi.
5.	Interaksi dengan pihak yang berkepentingan: Manajemen senior harus memastikan bahwa interaksi yang sesuai dengan pihak yang berkepentingan terlaksana.	Hal di atas tidak secara spesifik diatur pada Perka 4/2010. Namun, Pasal 11 Perka yang sama menyatakan bahwa "PI harus mempertimbangkan harapan pihak berkepentingan dalam kegiatan dan interaksi dalam proses SM untuk meningkatkan kepuasan pihak berkepentingan dan pada saat yang bersamaan memastikan tidak ada kompromi terhadap keselamatan." Persyaratan-5 Paragraf 4.6. dan 4.7. hendaknya dapat diadopsi secara menyeluruh pada pengganti Perka 4/2010.
	SM	
6.	Integrasi SM: SM harus mengintegrasikan unsur-unsurnya, termasuk elemen keselamatan, kesehatan, lingkungan, keamanan, kualitas, manusia-dan-organisasi, masyarakat dan	Pasal 4 (2) Perka 4/2010 menyatakan bahwa SM harus menyatukan secara menyeluruh semua persyaratan, dan memastikan bahwa persyaratan lain seperti kesehatan, lingkungan hidup, keamanan, mutu dan ekonomi, tidak dipertimbangkan secara terpisah dari persyaratan keselamatan untuk mencegah dampak negatifnya

No. Persyaratan	Atribut GSR Part 2	Perka 4/2010 dan Diskusi
	ekonomi, sedemikian sehingga keselamatan tidak dikompromikan.	terhadap keselamatan. Namun, bagian-bagian lain dari Persyarata-6 belum terpenuhi, sehingga hendaknya diadopsi pada pengganti Perka 4/2010.
7.	Penerapan pendekatan bertingkat pada SM: SM harus dikembangkan dan diterapkan dengan menggunakan pendekatan bertingkat.	Sejalan dengan Pasal 6 (2) Perka 4/2010, namun belum lengkap. Pengertian “kompleksitas organisasi, pengoperasian fasilitas atau pelaksanaan kegiatan” dan “kejadian yang tidak diantisipasi atau jika ada suatu kegiatan yang tidak direncanakan secara memadai atau dilakukan dengan tidak semestinya” hendaknya diadopsi dalam pengganti Perka 4/2010.
8.	Dokumentasi SM: SM harus didokumentasikan. Dokumentasi SM harus dikendalikan, dapat digunakan, mudah dibaca, diidentifikasi dengan jelas dan mudah tersedia pada saat akan digunakan.	Dokumentasi pada umumnya telah diatur pada Pasal 7, 18 dan 23 Perka 4/2010.
Pengelolaan sumber daya		
9.	Penyediaan sumber daya: Manajemen senior harus menentukan kompetensi dan sumber daya yang diperlukan untuk melaksanakan kegiatan organisasi secara selamat dan harus menyediakannya.	Penyediaan sumber daya diatur pada Bab V, Pasal 15-17, Perka 4/2010.
Pengelolaan proses dan kegiatan		
10.	Pengelolaan proses dan kegiatan: Proses dan kegiatan harus dikembangkan dan dikelola secara efektif untuk mencapai tujuan organisasi tanpa mengorbankan keselamatan.	Pelaksanaan proses diuraikan dalam Perka 4/2010 pada Bab VI yang terdiri atas tiga bagian: Bagian Pertama tentang Proses SM mengatur tentang: Kendali Dokumen, Kendali Produk, Kendali Rekaman, Pembelian, Komunikasi, dan Pengelolaan Perubahan Organisasi; Bagian Kedua tentang Pengembangan Proses; dan, Bagian Ketiga tentang Manajemen Proses. Persyaratan-10 GSR Part 2 dapat dibandingkan dengan Bagian Kedua Bab VI Perka 4/2010 Pasal 27-29 yang merinci pembagian wewenang dan tanggung-jawab Pemegang Izin dan Manajer yang ditunjuknya. Pembagian rinci seperti itu sebetulnya tidak merupakan keharusan dalam suatu PUU. Akan lebih tepat jika pembagian itu ditempatkan pada Pedoman yang nantinya diterbitkan BAPETEN. Perlu diperhatikan pula bahwa pada paragraf di bawah Persyaratan-10 ini lebih ringkas dan konsisten dalam menekankan prioritas pada keselamatan. Hendaknya pengganti Perka 4/2010 mengadopsi paragraf-paragraf dalam Persyaratan-10 ini secara lebih menyeluruh.
11.	Pengelolaan rantai pasokan: Organisasi harus membuat pengaturan dengan vendor, kontraktor dan pemasok untuk menentukan, memantau dan mengelola pasokan barang, produk dan layanan yang dapat mempengaruhi keselamatan.	Persyaratan pengelolaan rantai pasokan tidak ditetapkan pada satu bab tertentu dalam Perka 4/2010. Sebagian persyaratan ini termuat pada manajemen proses (Pasal 29), kendali produk (Pasal 21), dan pembelian (Pasal 24).
Budaya untuk Keselamatan		
12.	Membina budaya untuk keselamatan: Individu dalam organisasi, mulai dari para manajer senior, harus menanamkan budaya keselamatan yang kuat. SM dan kepemimpinan untuk keselamatan harus sedemikian sehingga mendorong dan mempertahankan budaya keselamatan yang kuat.	Budaya Keselamatan disyaratkan pada Pasal 5 Perka 4/2010, dan mengenai pelaporan, penilaian kinerja dan perbaikannya diberikan pada Pasal 14, 32 dan 32. Dalam hal ini, Perka tersebut berfokus pada kewajiban PI, sementara GSR Part 2 memberikan kewajiban kepada individu maupun manajer pada semua tingkatan. Persyaratan-12 Paragraf 5.1 dan 5.2 hendaknya dapat diadopsi secara menyeluruh pada pengganti Perka 4/2010.
Pengukuran, Penilaian Dan Peningkatan		
13.	Pengukuran, penilaian dan perbaikan SM: Kemangkusan SM harus diukur, dinilai dan diperbaiki untuk meningkatkan kinerja keselamatan, termasuk meminimalkan terjadinya masalah yang berkaitan dengan keselamatan.	Telah diatur secara cukup rinci pada Bab VII tentang ‘Pemantauan, Pengukuran, Penilaian, dan Perbaikan’ yang dimuat pada Pasal 30-38 Perka 4/2010.
14.	Pengukuran, penilaian dan peningkatan kepemimpinan untuk keselamatan dan	Kepemimpinan tidak secara khusus disyaratkan dalam Perka 4/2010. Hal ini memang merupakan perbedaan terbesar antara GS-

No. Persyaratan	Atribut GSR Part 2	Perka 4/2010 dan Diskusi
	budaya keselamatan: Manajemen senior harus secara teratur menyelenggarakan penilaian kepemimpinan untuk keselamatan dan budaya keselamatan di lingkungan organisasinya sendiri.	R-3, yang menjadi acuan Perka 4/2010, dengan GSR Part 2 yang menggantikan GS-R-3. Pengganti Perka 4/2010 seharusnya memasukkan konsep mengenai pengukuran, penilaian dan peningkatan kepemimpinan untuk keselamatan dan budaya keselamatan sebagaimana diuraikan pada Persyaratan-14 melalui paragraf 6.9-6.11.

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa sebagian besar dari persyaratan kepemimpinan untuk keselamatan belum dimuat pada Perka 4/2010. Di sisi lain, sebagian besar persyaratan terkait manajemen untuk keselamatan telah ada dalam Perka 4/2010. Adopsi secara menyeluruh perlu dilakukan dalam perka pengganti Perka 4/2010.

III.4 Analisis Dampak Regulasi

Apabila GSR Part 2 akan diadopsi dalam Perka pengganti Perka 4/2010, maka konsekuensi bagi BAPETEN adalah segera mengadopsi pedoman-pedoman IAEA [12-18] sebagai pedoman resmi yang diterbitkan oleh BAPETEN dengan memberi catatan bahwa aspek kepemimpinan tetap menjadi persyaratan utama. Sebagaimana diketahui, penerbitan Pedoman adalah bagian dari pelaksanaan praktik pengawasan yang baik dalam menjaga transparansi dan meningkatkan kredibilitas.

Konsekuensi bagi PI terdiri atas analisis risiko dan manfaat yang didapat. Dengan meningkatkan persyaratan komitmen pimpinan dalam keselamatan, maka secara kualitatif dapat diharapkan adanya peningkatan keselamatan secara signifikan. Di sisi lain, mungkin ada pembiayaan tambahan, antara lain untuk meninjau dan merevisi dokumen, serta untuk menyelenggarakan penilaian terhadap kinerja kepemimpinan yang tentunya harus dilakukan pihak luar. Namun, karena karakter atau komitmen kepemimpinan menentukan praktik keselamatan, termasuk dalam kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir [7], maka pembiayaan tersebut adalah terjustifikasi. Apalagi Prinsip ke-1 dalam SF-1 [9] menyatakan bahwa tanggung-jawab utama keselamatan adalah pada PI.

Untuk melengkapi proses adopsi GSR Part 2, maka selain kajian dokumen seperti yang telah dilakukan ini, konsekuensi bagi BAPETEN adalah untuk melakukan kajian lapangan, baik dari PI maupun pelaksana pengawasan. Kajian lapangan ini hendaknya mengenai kinerja PI dalam menerapkan SM maupun praktik-praktik kepemimpinan untuk keselamatan yang selama ini telah diterapkan, walaupun belum dipersyaratkan dalam PUU, serta untuk menilai kesesuaian praktik tersebut dengan GSR Part 2.

IV. KESIMPULAN

Dari kajian di atas dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. sebagian besar persyaratan kepemimpinan untuk keselamatan dalam GSR Part 2 belum termuat dalam Perka 4/2010, meskipun sebagian

2. persyaratan manajemen untuk keselamatan telah termuat di dalamnya;
2. adalah terjustifikasi untuk mengganti Perka 4/2010 dengan lingkup kepemimpinan dan manajemen untuk keselamatan sebagaimana diuraikan dalam GSR Part 2; dan,
3. untuk melengkapi kajian ini, BAPETEN hendaknya melakukan kajian lapangan mengenai kinerja PI dalam menerapkan SM maupun praktik-praktik kepemimpinan untuk keselamatan yang selama ini telah diterapkan, walaupun belum dipersyaratkan dalam PUU, serta untuk menilai kesesuaian praktik tersebut dengan GSR Part 2.

UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada jajaran Manajemen P2STPIBN yang telah mendukung dan memberikan kesempatan seluas-luasnya kepada para penulis untuk melaksanakan kajian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pengawas Tenaga Nuklir (2010), Peraturan Kepala BAPETEN No. 4 Tahun 2010 tentang Sistem Manajemen untuk Fasilitas dan Kegiatan Pemanfaatan Tenaga Nuklir, BAPETEN, Jakarta.
- [2] IAEA (2006), GS-R-3 Management for Facilities and Activities, IAEA, Vienna.
- [3] IAEA (2016), GSR Part 2 Leadership and Management for Safety, IAEA, Vienna.
- [4] IAEA (2006), TECDOC-1491 Management of continual improvement for facilities and activities: A structured approach, IAEA, Vienna.
- [5] IAEA (2013), NG-T-2.7 Managing Human Performance to Improve Nuclear Facility Operation, IAEA, Vienna.
- [6] IAEA (2014), NG-T-1.1 Managing Organizational Change in Nuclear Organizations, IAEA, Vienna.
- [7] IAEA (2018), NG-T-1.5 Leadership, Human Performance and Internal Communication in Nuclear Emergencies, IAEA, Vienna.
- [8] Kenji Hayata (2012), Leadership in Nuclear Crises: Lessons from Three Mile Island and Fukushima, sebagaimana diakses tanggal 2 April 2018 pada laman http://us-jpri.org/wp/wp-content/uploads/2016/05/cspc_hayata_2012.pdf.

- [9] IAEA (2006), SF-1 Fundamental Safety Principles, IAEA, Vienna.
- [10] IAEA (2012), SRS No. 69 Management System Standards: Comparison between IAEA GS-R-3 and ISO 9001:2008, IAEA, Vienna.
- [11] Reno Alamsyah (2006), Standar Mutu: Perbandingan antara GS-R-3 IAEA dengan SNI 19-9001-20011 dalam Prosiding Presentasi Ilmiah Standardisasi BSN ISBN/ISSN: 08539677, BSN, Jakarta.
- [12] IAEA (2006), GS-G-3.1 The Application of Management System for Facilities and Activities, IAEA, Vienna.
- [13] IAEA (2008), GS-G-3.2 The Management System for Technical Services in Radiation Safety, IAEA, Vienna.
- [14] IAEA (2008), GS-G-3.3 The Management System for the Processing, Handling and Storage of Radiation Waste, IAEA, Vienna.
- [15] IAEA (2008), GS-G-3.4 The Management System for the Disposal of Radiation Waste, IAEA, Vienna.
- [16] IAEA (2009), GS-G-3.5 The Management System for Nuclear Installation, IAEA, Vienna.
- [17] IAEA (1996), Quality Assurance for Safety in Nuclear Power Plants and Other Nuclear Installations, Safety Series No. 50-C/SG-Q, IAEA, Vienna
- [18] IAEA (2002), GS-G-1.1 Organization and Staffing of the Regulatory Body for Nuclear Facility, IAEA, Vienna.
- [19] Sekretariat Negara Republik Indonesia (2007), Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Kemanan Sumber Radioaktif, Sekretariat Negara, Jakarta.
- [20] Sekretariat Negara Republik Indonesia (2012), Peraturan Pemerintah No. 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Kemanan Instalasi Nuklir, Sekretariat Negara, Jakarta.

PB02

URGENSI PENYUSUNAN PERATURAN MENGENAI SERTIFIKASI PRODUK NUKLIR

Manda Fermilia
BAPETEN

m.fermilia@bapeten.go.id

ABSTRAK

Urgensi Penyusunan Peraturan Mengenai Sertifikasi Produk Nuklir. Trend perkembangan penggunaan dan pemanfaatan Tenaga Nuklir di dunia menunjukkan kenaikan yang signifikan. Hal tersebut didasarkan oleh pemikiran dan penelitian yang menunjukkan bahwa tenaga nuklir merupakan salah satu sumber energi berkelanjutan. Penggunaan dan pemanfaatan tenaga nuklir ini tidak hanya urusan Pembangkit Listrik namun juga pemanfaatan yang menyentuh lini kehidupan manusia seperti bidang kesehatan, pangan dan hortikultura. Sejalan dengan hal tersebut, penggunaan dan pemanfaatan tenaga nuklir di Indonesia pun mengalami peningkatan, terutama dibidang penelitian dan kesehatan. Berbagai produk nuklir hadir melengkapi kebutuhan tersebut. Untuk mendukung terciptanya iklim usaha di bidang Industri Nuklir dan melindungi pekerja dan masyarakat maka produk-produk nuklir yang hadir harus memiliki proses sertifikasi produk nuklir untuk memperoleh sertifikat tanda penggunaan SNI masing-masing produk. Tujuan penulisan ini untuk menyampaikan hal-hal utama atau pokok-pokok pikiran yang harus dicakup dalam peraturan mengenai sertifikasi produk nuklir sebagai salah satu infrastruktur sertifikasi. Metode yang digunakan dalam penulisan makalah ini adalah yuridis normatif melalui upaya inventarisasi peraturan dan analisis deskriptif. Untuk mendapatkan model peraturan yang sesuai, metode perbandingan hukum juga digunakan. Hasil dari studi perbandingan hukum tersebut dinyatakan bahwa untuk menghasilkan proses sertifikasi produk nuklir diperlukan suatu regulasi teknis yang mempersyaratkan bahwa produsen harus memiliki sertifikat masing-masing produk yang dihasilkannya. Berdasarkan hasil penelitian, pengaturan mengenai sertifikasi produk nuklir sangat diperlukan dan termasuk didalamnya unsur-unsur yang harus dipenuhi, dimulai dengan identifikasi produk yang akan disertifikasi, keterlibatan stakeholder, skema sertifikasi, pemberlakuan wajib sertifikasi, penerbitan, hingga sampai pada proses pembinaan dan pengawasan sertifikasi oleh Badan Pengawas. Pada akhirnya sebagai kesimpulan, peraturan yang komprehensif sangat dibutuhkan sebagai salah satu bagian dari infrastruktur proses sertifikasi yang dikeluarkan oleh BAPETEN.

Kata kunci: Peraturan, Sertifikasi Produk Nuklir, Skema Sertifikasi

ABSTRACT

Urgency of Rulemaking of Nuclear Product Certification. The development trend of utilization of Nuclear Energy in the world shows a significant raise. It is based on thought and research showing that nuclear energy is one source of sustainable energy. The use and utilization of nuclear power is not only a matter of Power Generation but also utilization that touches the human life line such as health, food and horticulture. In line with this, the use and utilization of nuclear power in Indonesia also increased, especially in the field of research and health. Nuclear products present complement these needs. To support the creation of business climate in the field of Nuclear Industry and to protect workers and society, the present nuclear products must have a process of certifying nuclear products to obtain certificates of SNI marks of each product. The purpose of this paper is to convey the main points that should be covered in the regulations concerning certification of nuclear products as one of the certification infrastructure. The method used in writing this paper is normative jurisdiction through regulatory inventory and descriptive analysis. To obtain an appropriate regulatory model, a legal comparison method is also used. The result of comparative study of the law is stated that to produce the process of certification of nuclear products is required a technical regulation that requires the producer/manufacturer must have a certificate of each product. Based on the results of the study, the regulation regarding the certification of nuclear products is necessary and elements to be fulfilled are included, starting with the identification of the products to be certified, stakeholder involvement, certification scheme, mandatory certification, publishing, until the process of fostering and supervising certification by Regulatory Body. Ultimately, in conclusion, comprehensive regulation is needed as part of the certification process infrastructure issued by BAPETEN.

Keywords: Regulation, Nuclear Product Certification, Certification Scheme

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kegiatan pengembangan dan pemanfaatan teknologi nuklir telah dimulai sejak tahun 1954 ditandai dengan pembentukan panitia negara untuk penyelidikan radioaktivitet. Setelah itu seiring perkembangan zaman dan teknologi, pengembangan dan pemanfaatan teknologi nuklir telah merambah di berbagai lini kehidupan masyarakat. Mulai dari reaktor penelitian, kesehatan baik dari kedokteran nuklir, kegiatan radioterapi dan radiodiagnostik, sampai dibidang pangan dan holtikultura yang telah mampu menghasilkan bibit padi varietas unggul. Hal tersebut sangatlah bermanfaat dan berdaya guna bagi bangsa dan negara ini. Namun tentu saja pemanfaatan teknologitersebut harus diawasi secara berkesinambungan oleh BAPETEN sebagai badan pengawas.

Berdasarkan pasal 16 ayat (1) Undang-Undang No.10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, bahwa setiap kegiatan yang berkaitan dengan pemanfaatan tenaga nuklir wajib memperhatikan keselamatan, keamanan dan ketenteraman, kesehatan pekerja dan anggota masyarakat, serta perlindungan terhadap lingkungan hidup. Dalam Pasal sebelumnya yaitu Pasal 15 ayat (1) Undang-Undang No. 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran menekankan bahwa pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir yang dilakukan oleh BAPETEN memiliki tujuan menjamin kesejahteraan, keamanan dan ketentraman masyarakat. Berdasarkan kedua pasal tersebut jelaslah bahwa dalam proses pemanfaatan zat radioaktif dan bahan nuklir wajib diawasi oleh BAPETEN untuk menjamin hal-hal yang telah disebutkan sebelumnya. Bahkan Pasal 15 secara lebih ekplisit menyatakan bahwa kesejahteraan, keamanan dan ketentraman masyarakat adalah tujuan pengawasan yang dilakukan BAPETEN. Untuk itu menjadi keharusan bagi produk-produk nuklir memiliki kualitas yang baik dan memenuhi standar yang telah ditetapkan agar tercapai keselamatan dan keamanan serta kesejahteraan masyarakat.

Untuk menghasilkan produk nuklir yang berkualitas baik diperlukan infrastruktur yang memadai salah satunya melalui suatu proses sertifikasi produk agar produk nuklir tersebut dapat bersaing dan berdaya guna di pasar domestik dan internasional. Status terkini infrastruktur sertifikasi produk nuklir belum terbangun dibuktikan belum terdapatnya peraturan perundangan yang mengatur mengenai proses sertifikasi produk nuklir. Produk-produk nuklir yang beredar belum semua memiliki sertifikat sesuai standar yang berlaku. Sebagai contoh konkrit dalam bidang kesehatan terdapat perusahaan A yang telah mampu membuat produsen pesawat sinar X namun demikian tentu saja produk yang dihasilkan belum sertifikasi. dapat bersaing dengan produk sejenis yang telah memiliki

Sertifikat didapatkan dari lembaga atau organisasi terakreditasi untuk membuktikan bahwa produk atau proses yang dimaksud telah sesuai dengan standar tertentu [1]. Sertifikasi produk adalah sarana untuk memberikan jaminan bahwa produk memenuhi persyaratan yang ditentukan dalam standar dan dokumen normatif lainnya. Tujuan keseluruhan dari sertifikasi produk adalah untuk memberikan kepercayaan kepada seluruh pihak yang berkepentingan bahwa produk memenuhi persyaratan yang ditentukan sesuai dengan acuan – standarnya masing-masing produk [2]. Proses sertifikasi tentu saja menjadi sangatlah penting agar organisasi lebih kompeten dan lebih fokus pada kepuasan pelanggan. Saat ini salah satu standar yang mengacu pada jaminan mutu diterbitkan oleh ISO secara internasional dan SNI sebagai standar yang berlaku di Indonesia.

Permasalahan

Produk nuklir yang saat ini telah beredar luas dimasyarakat sebagian besar belum tersertifikasi. Meski demikian produk tersebut telah digunakan oleh masyarakat dan industri karena kebutuhan yang mendesak, seperti dalam bidang kesehatan untuk penggunaan radioisotop dan radiofarmaka. Untuk itu diperlukan suatu peraturan untuk mengatur kewajiban proses sertifikasi produk nuklir tersebut. Hal tersebut perlu diatur untuk memberikan jaminan secara ekonomi, bahwa suatu produk nuklir yang beredar telah tersertifikasi atau memiliki sertifikat sesuai standar yang berlaku secara nasional maupun internasional agar dapat bersaing dan berdaya guna. Selain itu produk nuklir yang telah tersertifikasi secara langsung dapat memberikan jaminan keamanan, keselamatan dan kesejahteraan bagi masyarakat dan lingkungan hidup.

Tujuan

Tulisan ini dibuat untuk menyampaikan hal-hal utama atau pokok-pokok pikiran yang harus dicakup dalam peraturan mengenai sertifikasi produk nuklir sebagai salah satu infrastruktur sertifikasi yang sedang dibuat. Peraturan mengenai sertifikasi ini diharapkan mampu mendorong agar produk nuklir yang dihasilkan dapat bersaing dan berdaya guna baik dikancah domestik maupun internasional.

METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penulisan makalah ini adalah yuridis normatif melalui upaya inventarisasi peraturan dan analisis deskriptif. Untuk mendapatkan model peraturan yang sesuai, metode perbandingan hukum juga digunakan.

Penulisan ini merupakan gabungan antara studi kepustakaan dan studi lapangan. Penelitian bertujuan untuk mempelajari, memeriksa dan mencari data sekunder dalam bentuk sumber hukum primer, sumber hukum sekunder dan sumber hukum

tersier. Sebagai sumber hukum utama adalah sebagai berikut:

- UUD 1945.
- UU 10 Tahun 1997 Tentang Ketenaganukliran.
- UU 20 Tahun 2014 Mengenai Standarisasi dan Penilaian Kesesuaian.
- UU 8 Tahun 1999 Tentang Perlindungan Konsumen.
- PP 102 tahun 2000 Tentang Standar Nasional Indonesia.
- Permenperin 86/M-IND/PER/9/2009 tentang SNI Bidang Industri.
- Permendag 14/M-IND/PER/2007 tentang SNI Wajib terhadap barang jasa yang diperdagangkan.

Studi literatur yang dilakukan meliputi sumber hukum sekunder, hasil-hasil penelitian dan lokakarya terkait dengan isu penulisan. Selain itu, sumber hukum tersier seperti kamus dan artikel di surat kabar dan majalah yang berkaitan dengan objek penulisan disertakan. Untuk mendukung studi pustaka, penelitian lapangan dilakukan oleh wawancara responden yang dianggap kompeten dan relevan dengan penulisan.

TINJAUAN PUSTAKA

Peraturan Perundang-undangan

Menurut UU No 20 Tahun 2014 mengenai Standardisasi dan Penilaian Kesesuaian, Standardisasi adalah proses merencanakan, merumuskan, menetapkan, menerapkan, memberlakukan, memelihara, dan mengawasi Standar yang semua Pemangku Kepentingan. Sedangkan standar adalah persyaratan teknis atau sesuatu yang dibakukan, termasuk tata cara dan metode yang disusun berdasarkan konsensus semua pihak/Pemerintah/ keputusan internasional yang terkait dengan memperhatikan syarat keselamatan, keamanan, kesehatan, lingkungan hidup, perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, pengalaman, serta perkembangan masa kini dan masa depan untuk memperoleh manfaat yang sebesar-besarnya.

Regulasi teknis dibuat oleh suatu negara agar persyaratan yang mencakup suatu produk atau ketentuan teknis yang berhubungan dengan suatu produk diterapkan secara efektif di suatu Negara. Regulasi teknis dapat dibuat oleh pemerintah atau berdasarkan suatu standard nasional yang telah disepakati oleh pelaku usaha terkait. Artikel 20 GATT (General Agreement on Tariff and Trade) mengizinkan pemerintah menggunakan standar dalam regulasi teknis dalam rangka melindungi kehidupan dan kesehatan manusia, hewan/binatang atau tumbuhan dengan tidak membeda-bedakannya dengan produk yang berasal dari luar negeri.[4]

Pada saat ini landasan hukum pemberlakuan dan penerapan SNI wajib mengacu pada Undang-undang No. 8 Tahun 1999 tentang Perlindungan Konsumen (UUPK) yang diturunkan salah satunya

melalui penetapan Peraturan Menteri Perdagangan No. 20 tahun 2009 tentang Pengawasan Barang dan/atau Jasa Yang Beredar Di Pasar. Sedangkan acuan regulasi teknis mengacu Peraturan Menteri Perdagangan N0.30/M-DAG/PER/7/2007 Tentang Standardisasi Jasa Bidang Perdagangan dan Pengawasan SNI Wajib Terhadap Barang dan Jasa yang Diperdagangkan, Peraturan menteri perdagangan Nomor 14 Tahun 2007 tentang Standardisasi Jasa dan Bidang Perdagangan dan Pengawasan SNI Wajib. dan Peraturan Menteri Perindustrian No. 86/M-IND/PER/9/2009 tentang Standar Nasional Indonesia Bidang Industri.

Selain itu terdapat peraturan yang terkait SNI Wajib yaitu Undang-undang Nomor 5 Tahun 1984 tentang perindustrian, Undang-undang Nomor 7 Tahun 1994 tentang WTO (World Trade Organization) dan Undang-Undang Nomor 17 Tahun 2006 tentang Kepabeanaan serta Peraturan Pemerintah Nomor 102 Tahun 2000 tentang standarisasi nasional.

Selain sumber hukum yang telah disebutkan diatas, dasar hukum dan acuan yang digunakan dalam pemberlakuan SNI Wajib yang berlaku dalam lingkup Ketenaganukliran adalah:

1. Undang Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran.
2. Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pngion dan Keamanan Sumber Radioaktif
3. Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir.
4. Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2010 Tentang Sistem Manajemen Fasilitas dan Kegiatan Pemanfaatan Tenaga Nuklir.
5. Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 1 Tahun 2006 Tentang laboratorium dosimetri, kalibrasi alat ukur radiasi dan keluaran sumber radiasi terapi, dan standardisasi radionuklida.

Dasar-dasar hukum yang telah disebutkan sebelumnya mampu diterapkan untuk mewajibkan suatu produk khususnya dalam bidang industri. Namun bagi produk-produk khusus seperti produk yang terkait ketenaganukliran dalam hal ini belum terdapat regulasi yang mampu mewajibkan produk nuklir untuk bersertifikasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari uraian yang telah dipaparkan, menjadi suatu keharusan untuk mempunyai infrastruktur yang memadai untuk menghasilkan produk nuklir yang berdaya saing. Dasar hukum ketenaganukliran tertinggipun yaitu Undang-Undang No 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran saat itu belum mensyaratkan adanya keharusan suatu produk nuklir untuk memiliki Sertifikasi. Payung hukum mengenai

keharusan suatu produk nuklir memiliki sertifikasi menjadi sangat penting di era saat ini seperti yang telah dipaparkan sebelumnya.

Untuk menjawab tantangan tersebut, telah dilakukan proses penyusunan peraturan mengenai kewajiban suatu produk nuklir untuk memiliki sertifikat. Peraturan tersebut akan hadir dalam tingkatan Peraturan Kepala BAPETEN. Agar peraturan tersebut mampu membuat suatu produk nuklir tersertifikasi dengan baik, secara garis besar terdapat hal krusial yang perlu dan penting diatur dalam peraturan tersebut yaitu :

1. Definisi mengenai produk nuklir.
2. Lingkup Pengaturan Standarisasi Produk Nuklir.
3. Stakeholder terkait.
4. Proses Perumusan, penetapan, penerapan dan pemberlakuan SNI.
5. Skema Sertifikasi Produk.
6. Pengawasan dan Pembinaan yang harus dilakukan oleh Badan Pengawas.

Pada bagian awal sebagai titik tolak keberhasilan pelaksanaan peraturan ini di lapangan adalah mendefinisikan apakah itu produk nuklir. Produk Nuklir adalah semua produk yang dihasilkan dari hasil pemanfaatan tenaga nuklir dan zat radioaktif yang digunakan bagi kemaslahatan manusia baik itu berupa barang atau jasa yang dilindungi penggunaannya melalui pengawasan BAPETEN. Dalam definisi menyatakan bahwa jasa termasuk didalam produk, dikarenakan banyak jasa-jasa yang menggunakan tenaga nuklir dalam prosesnya.

Selanjutnya adalah lingkup pengaturan standarisasi produk nuklir. Dalam ruang lingkup ini harus dibahas mengenai perumusan SNI, kaji ulang SNI dan revisi SNI dibidang industri nuklir. Pihak yang melakukan serta alur koordinasi juga perlu ditentukan. Sesuai dengan Undang-undang No. 20 tahun 2014 dilaksanakan oleh panitia teknis terkait dan dikoordinasikan oleh BAPETEN sebagai badan pengawas.

Identifikasi lembaga pemerintah yang berwenang dalam penerapan SNI Wajib menjadi hal penting selanjutnya untuk dipaparkan. Proses perumusan, pelaksanaan, pengawasan dan evaluasi kebijakan terutama yang terkait dengan kepentingan publik tidak lepas dari peran pemerintah baik pusat maupun berbagai pihak terkait yang merasakan dampak penerapan SNI wajib.

Peran masing-masing stakeholder yang terlibat dalam standarisasi secara garis besar dibagi beberapa fungsi utama yaitu:

1. Fungsi Regulator yaitu lembaga yang berfungsi sebagai perumus berbagai kebijakan nasional maupun lembaga yang menyusun regulasi teknis terkait dengan aturan dan prosedur pelaksanaan kebijakan contoh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN), Badan Standarisasi

Nasional (BSN), Komite Akreditasi Nasional (KAN).

2. Fungsi implementor yaitu pelaksana kebijakan baik untuk instansi teknis maupun produsen dan berbagai pihak terkait untuk melaksanakan kebijakan standarisasi contoh Pusat standarisasi kementerian Teknis dan Ditjen Bea Cukai.
3. Fungsi Pembina yaitu lembaga atau berbagai pihak yang terlibat dalam pembinaan, pengawasan maupun bertugas untuk mengevaluasi kebijakan yang diterapkan contoh instansi teknis dan lembaga pelatihan.

Stakeholder-stakeholder yang didefinisikan dalam peraturan ini harus masuk kedalam tiga fungsi besar tadi.

Hal penting selanjutnya yaitu proses perumusan, penetapan, penerapan dan pemberlakuan SNI. Pelaksanaan kegiatan penerapan SNI harus mengacu pada SSN, pedoman yang ditetapkan oleh BSN, peraturan perundang-undangan dan perjanjian internasional bidang standarisasi yang telah diratifikasi pemerintah. Adapun pemberlakuan SNI secara wajib atas produk nuklir (barang dan jasa) dibidang industri nuklir harus terkait dengan aspek keselamatan, keamanan, safeguards dan kesehatan masyarakat, pelestarian lingkungan hidup, pertimbangan ekonomis dan atau kepentingan nasional lainnya sebagai buktidijalankannya fungsi pengawasan oleh negara dalam hal ini BAPETEN.

Poin selanjutnya yang menjadi titik berat adalah penyusunan Skema Sertifikasi Produk Nuklir. Hal tersebut penting untuk diatur, karena dengan penentuan Skema tersebut masing-masing produk nuklir mempunyai panduan yang jelas di skema mana produk tersebut berada sehingga memudahkan dalam penerapan regulasinya dilapangan.

Hal terpenting lainnya yang tidak boleh terlupakan adalah tentang pembinaan stakeholder dan pengawasan penggunaan. Pembinaan sebagaimana dimaksud meliputi bantuan teknis, konsultasi, pendidikan dan pelatihan, pemberian fasilitas serta pemasyarakatan standarisasi yang dilakukan oleh BAPETEN bekerjasama dengan instansi terkait. Proses pembinaan ini perlu dilakukan untuk menjaga kredibilitas stakeholder dalam proses sertifikasi ini supaya tetap andal. Hal Terakhir yang perlu dilakukan adalah pengawasan penggunaan agar apa yang sudah diperoleh tidak mudah diselewengkan penggunaannya. Pengawasan dilakukan secara berkala dalam suatu jangka waktu yang dilakukan oleh BAPETEN sebagai badan pengawas.

KESIMPULAN

- Peraturan yang komprehensif sangat dibutuhkan sebagai salah satu bagian dari infrastruktur proses sertifikasi dan harus dikeluarkan oleh BAPETEN sebagai badan yang mengawasi penggunaan dan pemanfaatan tenaga nuklir.

- Proses sertifikasi produk nuklir harus menjadi hal utama yang dilakukan dalam proses pengembangan regulasi atau peraturan dalam bidang pemanfaatan tenaga nuklir.
- Hal-hal yang perlu diatur dalam peraturan sertifikasi produk ini mengacu pada peraturan perundangan yang berlaku antara lain mencakup lingkup pengaturan, stakeholder, proses perumusan hingga pemberlakuan SNI, skema sertifikasi serta pengawasan dan pembinaan oleh BAPETEN.

11. Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 10 Tahun 2011 Tentang Sistem Manajemen Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Manual, Jakarta, 2011

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Bpk. Budi Rohman sebagai pembimbing atas arahan dan bimbingannya selama proses penulisan karya ilmiah ini dan Bpk. Reno Alamsyah atas diskusi yang berharga mengenai topik karya ilmiah ini. Selain itu kami ucapkan terimakasih kepada Bpk. Imron sebagai pengampu kegiatan penyusunan skema sertifikasi di Direktorat Perizinan IBN atas masukan dan saran-saran membangun.

DAFTAR PUSTAKA

1. Alamsyah, Reno (2017), "Infrastruktur Sertifikasi Produk Nuklir Nasional", Seminar Pendayagunaan Teknologi Nuklir, BATAN 2017.
2. <http://kan.or.id/index.php/programs/sni-iso-iec-17065/lembaga-sertifikasi-produk,2017> sebagaimana diakses pada tanggal 27 Februari 2018.
3. Republik Indonesia, Undang-Undang No.10 Tahun 1997 Tentang Ketenaganukliran, Jakarta, 1997.
4. Republik Indonesia, Undang-Undang No. 20 Tahun 2014 tentang Standarisasi dan Penilaian Kesesuaian, Jakarta, 2014.
5. Republik Indonesia, PP 102 Tahun 2000 Tentang Standar Nasional Indonesia, Jakarta, 2000.
6. Republik Indonesia, Permenperin 86/M-IND/PER/9/2009 Tentang SNI Bidang Industri, Jakarta, 2009.
7. Republik Indonesia, Permendag 14/M-IND/PER/2007 Tentang SNI Wajib terhadap barang jasa yang diperdagangkan, Jakarta, 2007.
8. Republik Indonesia, Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir, Jakarta, 2012.
9. Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2010 Tentang Sistem Manajemen Fasilitas dan Kegiatan Pemanfaatan Tenaga Nuklir, Jakarta, 2010.
10. Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 1 Tahun 2006 Tentang laboratorium dosimetri, kalibrasi alat ukur radiasi dan keluaran sumber radiasi terapi, dan standarisasi radionuklida, Jakarta 2006.

PB03

**KAJIAN KEMAMPUAN, KANDUNGAN DAN STRUKTUR PERKA NO. 6 TAHUN 2008
TENTANG EVALUASI TAPAK REAKTOR DAYA UNTUK ASPEK KEJADIAN EKSTERNAL
AKIBAT ULAH MANUSIA**

Nur Siwhan¹, Bintoro Aji², Reno Alamsyah³

^{1,2,3} *Pusat Pengkajian Sistem Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir – P2STPIBN BAPETEN*
e-mail: n.siwhan@bapeten.go.id

ABSTRAK

KAJIAN KEMAMPUAN, KANDUNGAN DAN STRUKTUR PERKA NO. 6 TAHUN 2008 TENTANG EVALUASI TAPAK REAKTOR DAYA UNTUK ASPEK KEJADIAN EKSTERNAL AKIBAT ULAH MANUSIA. Telah dilakukan suatu kajian untuk merevisi Perka BAPETEN No. 6 Tahun 2008 terkait dengan ruang lingkup Perka BAPETEN No. 6 Tahun 2008 yang hanya berlaku untuk Reaktor Daya. Pedoman yang diterbitkan oleh Badan Tenaga Atom Internasional (IAEA) sejak 2010 pada umumnya dengan cakupan yang diperluas dari sebelumnya ditujukan untuk pembangkit listrik tenaga nuklir menjadi untuk instalasi nuklir. Perka No. 5 Tahun 2007 tentang Ketentuan Keselamatan Evaluasi Tapak Reaktor Nuklir saat ini dalam tahap akhir untuk diganti dengan cakupan yang lebih luas, yaitu untuk instalasi nuklir. Hal ini berarti bahwa ada kebutuhan untuk memperluas cakupan Perka No. 6 Tahun 2008 tersebut menjadi instalasi nuklir pula. Kajian ini dilakukan dengan mempertimbangkan kemampuan Perka dalam merevisi dan menilai laporan Evaluasi Tapak Reaktor Daya Non Komersial (LET RDNK) yang diajukan oleh BATAN serta memperluas ruang lingkup Perka yang awalnya hanya berlaku untuk Reaktor Daya menjadi berlaku untuk Instalasi Nuklir. Berdasarkan hasil kajian ini maka dapat disimpulkan bahwa banyak terdapat persyaratan dalam Perka yang tidak relevan untuk diberlakukan bagi instalasi nuklir, disamping itu perlu merumuskan pendekatan bertingkat dalam aplikasinya, sehingga perlunya Perka ini dilakukan revisi terkait dengan perubahan kalimat, perubahan istilah, penghapusan kalimat serta penambahan penjelasan.

Kata kunci: Revisi Perka, kemampuan, pendekatan bertingkat.

ABSTRACT

THE ASSESSMENT OF IMPLEMENTABILITY, CONTENTS AND STRUCTURE OF THE BAPETEN CHAIRMAN REGULATION NO. 6 YEAR 2008 ON THE EXTERNAL HUMAN INDUCED EVENTS IN SITE EVALUATION FOR NUCLEAR POWER PLANTS. A study has been carried out to revise the BCR No. 6 Year 2008 related with the scope of BCR BAPETEN No. 6 Year 2008 which applies only to the NPP. Since 2010, the coverage of the guidelines published by International Atomic Energy Agency (IAEA) in general are expanded from nuclear power plants to be for nuclear installations. BCR BAPETEN No. 5 Year 2007 on Safety Requirements of Nuclear Reactor Site Evaluation is currently in its final stages to be replaced by a wider scope, ie for nuclear installations. This means that there is a need to expand the scope of BCR BAPETEN No. 6 Year 2008 to a nuclear installation as well. This study was performed with taking into account the applicability of this BCR in reviewing and assessment of Experimental Power Reactor Site Evaluation Report submitted by BATAN and to extend the scope of applicability of BCR to the Nuclear Installation. This assessment concludes that there are necessary to revise related to sentence changes, change of terms, deletion of sentences and additional explanations and some requirements that are not relevant to be applied in nuclear installations, as well as to formulate a graded approach in its application.

Keywords: amendment of BCR, applicability, graded approach.

PENDAHULUAN

Sesuai judulnya, Peraturan Kepala (Perka) Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) No. 6 Tahun 2008 tentang Evaluasi Tapak Reaktor Daya untuk Aspek Kejadian Eksternal akibat Ulah Manusia [1] ditujukan untuk reaktor daya. Peraturan ini mengatur pelaksanaan evaluasi tapak reaktor daya untuk aspek kejadian eksternal akibat ulah manusia (KAUM) “yang tidak disengaja dan berasal dari sumber di sekitar tapak yang tidak secara langsung terkait dengan status operasi di reaktor daya. KAUM sebagaimana dimaksud meliputi: jatuhnya pesawat terbang; lepas fluida berbahaya dan beracun; ledakan; kejadian eksternal lainnya yang diakibatkan ulah manusia; dan, bahan berbahaya dan beracun dari fasilitas lain yang terletak pada tapak yang sama yang ditangani selama tahap konstruksi, operasi, dan dekomisioning”. Namun, Perka ini tidak mengatur KAUM lainnya seperti “kegagalan struktur bendungan sebagai akibat ulah manusia, dan modifikasi pada air tanah sebagai akibat kegiatan manusia”.

Pada tahun 2014-2015, BAPETEN mendapat pengalaman yang sangat berharga dalam melaksanakan Perka tersebut dengan mereviu dan menilai Laporan Evaluasi Tapak (LET) Reaktor Daya Non Komersial (RDNK) yang diajukan oleh Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) pada awal 2014. Beberapa umpan balik yang didapat selama proses penilaian dokumen LET antara lain adalah bahwa Perka ini pada dasarnya mampu untuk dilaksanakan. Di sisi lain, didapati pula kendala dalam pelaksanaan pendekatan berperingkat dan terkait dengan kurang terstrukturness parameter-parameter data yang perlu dikumpulkan dan dipantau.

Patut dicatat pula bahwa Perka No. 5 Tahun 2007 tentang Ketentuan Keselamatan Evaluasi Tapak Reaktor Nuklir [2] saat ini dalam tahap akhir untuk diganti dengan cakupan yang lebih umum, yaitu untuk instalasi nuklir. Hal ini berarti bahwa ada kebutuhan untuk memperluas cakupan Perka No. 6 Tahun 2008 tersebut menjadi untuk instalasi nuklir pula. Di Badan Tenaga Atom Internasional (IAEA), sejak 2010 pada umumnya pedoman evaluasi tapak diterbitkan dengan cakupan yang diperluas dari sebelumnya ditujukan untuk pembangkit listrik tenaga nuklir menjadi untuk instalasi nuklir. Contohnya, SSG-9 (2010) “*Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations*” [3] menggantikan NS-G-3.3 (2002) “*Evaluation of Seismic Hazards for Nuclear Power Plants*” [4]; dan SSG-18 (2011) “*Meteorological and hydro-logical hazards in site evaluation for nuclear installations*” [5] menggantikan dan menggabungkan NS-G-3.4 (2003) “*Meteorological Events in Site Evaluation for Nuclear Power Plants*” [6] dan NS-G-3.5 (2003) “*Flood Hazard for Nuclear Power Plants on Coastal and River Sites*” [7].

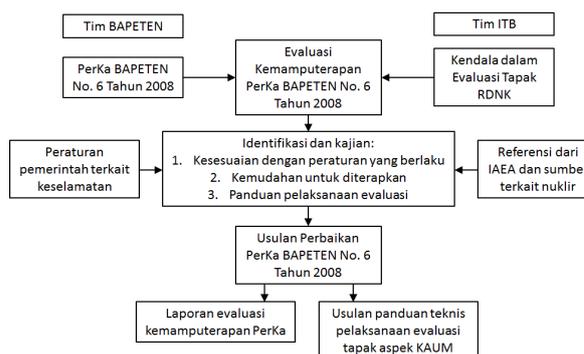
Dengan demikian, adalah perlu untuk meninjau kembali Perka 6 Tahun 2008. Hal ini juga sejalan dengan Sistem Manajemen BAPETEN [8] yang mengatakan bahwa: “Peraturan dan pedoman direviu, dan direvisi bilamana perlu untuk memutakhirkan peraturan dan pedoman dengan mempertimbangkan standar IAEA yang relevan, kemajuan teknologi, umpan balik dari hasil penelitian dan pengembangan, pengalaman yang relevan, pembelajaran operasional dan masukan dari pihak berkepentingan”.

Makalah ini bertujuan untuk menelaah kemampooterapan, kandungan dan struktur Perka 6 Tahun 2008. Hasil kajian ini diharapkan dapat digunakan sebagai masukan teknis bagi direktorat pengaturan untuk menyusun perubahan atau penggantian peraturan tersebut.

METODOLOGI

Secara garis besar, kegiatan kajian ini dilakukan dengan mengevaluasi kemampooterapan Perka No. 6 Tahun 2008 berdasarkan pengalaman mengevaluasi izin tapak RDNK yang diajukan oleh BATAN tahun 2014-2015; meninjau kembali kandungan dan strukturnya dengan mempertimbangkan bahwa cakupan Perka akan diperluas untuk instalasi nuklir. Sehingga, dalam revisi kajian ini terdapat usulan perubahan kalimat, istilah, penghapusan beberapa poin/kalimat dalam Perka yang tidak relevan, serta penambahan penjelasan jika diperlukan. Diulas pula pendekatan bertingkat dalam menentukan persyaratan yang akan diterapkan dalam reaktor daya ataupun instalasi nuklir lainnya.

Metodologi yang digunakan dalam kajian ini adalah sebagaimana terlihat dalam Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Metodologi Kajian Kemampooterapan Perka BAPETEN No. 6 Tahun 2008

Dapat dilihat bahwa Tim Kajian BAPETEN dan Tim Pakar ITB bersinergi untuk melakukan evaluasi kemampooterapan Perka No. 6 Tahun 2008, dengan mengidentifikasi kesesuaian dengan peraturan yang berlaku, kemudahan untuk diterapkan, dan panduan pelaksanaan evaluasi. Dalam hal ini, digunakan peraturan perundang-undangan (PUU) dan standar internasional sebagai rujukan. Dari proses tersebut, diharapkan adanya usulan perbaikan atas Perka

tersebut dalam bentuk laporan kajian dan usulan pedoman teknis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kemamputerapan

Usulan perbaikan Perka secara garis besar dapat diklasifikasikan menjadi 5 (lima) yaitu terkait perubahan kalimat, perubahan istilah, penghapusan poin/kalimat, penambahan penjelasan, dan penjelasan tentang perlunya pedoman teknis untuk melaksanakan poin dalam Perka tersebut. Selain itu, perubahan terhadap susunan perka diusulkan untuk memudahkan pemohon tapak dalam memenuhi persyaratan evaluasi keselamatan tapak.

Selain itu dilakukan juga evaluasi kemamputerapan yang terkait dengan rencana untuk menyusun pendekatan bertingkat dalam Perka. Hasil analisis kemamputerapan Perka No. 6 Tahun 2008 untuk Reaktor Daya (RD), Reaktor Non Daya (RND), dan Instalasi Nuklir Non Reaktor (INNR) diklasifikasikan menjadi:

- a. **Mamputerap:** Kriteria ini diberikan untuk poin-poin Perka yang bisa diterapkan dalam evaluasi, terutama mengacu pada penerapan Perka untuk evaluasi tapak Reaktor Daya Non-Komersial (RDNK) yang diajukan oleh BATAN.
- b. **Tidak mamputerap:** Kriteria ini diberikan terkait dengan pendekatan bertingkat yang diusulkan. Poin dalam Perka yang secara spesifik menyatakan “Reaktor Daya” dinyatakan “Tidak mamputerap” untuk RND dan INNR, meskipun secara umum poin tersebut berlaku untuk instalasi nuklir.
- c. **Sebagian/Kurang mamputerap:** Kriteria ini diberikan untuk poin-poin dalam Perka yang kalimatnya tidak mudah untuk dimengerti, data-data yang diperlukan untuk memenuhi poin tersebut tidak tersedia di Indonesia (membutuhkan penilaian ahli), serta kalimat-kalimat yang bersifat *non-mandatory* (penjelasan dan tidak mengharuskan pemohon untuk memenuhi suatu kriteria atau batasan).

Evaluasi kemamputerapan ini ditunjukkan dalam lampiran makalah ini.

Perubahan Kalimat

Perubahan kalimat merujuk pada peraturan yang lebih tinggi, yang berlaku di Indonesia. Hal ini perlu untuk menjaga konsistensi dalam perundang-undangan. Selain itu, perubahan dilakukan agar maksud dari kalimat dapat dimengerti dengan lebih mudah oleh Pemohon Evaluasi Tapak. Sebagai contoh, Pasal 1 poin 1 dalam Perka tentang definisi evaluasi tapak. Kalimat dalam poin tersebut yang sebelumnya berbunyi “Evaluasi tapak adalah kegiatan analisis atas setiap sumber kejadian di tapak dan wilayah sekitarnya yang dapat berpengaruh terhadap keselamatan reaktor nuklir” diusulkan untuk disesuaikan dengan pengertian evaluasi tapak menurut Peraturan Pemerintah No. 2

Tahun 2014 [9] yaitu “Evaluasi Tapak adalah kegiatan analisis atas setiap sumber kejadian di Tapak dan wilayah sekitarnya yang dapat berpengaruh terhadap keselamatan Instalasi Nuklir”.

Perubahan Istilah

Perubahan istilah terutama terkait dengan alih bahasa dari Bahasa Inggris ke Bahasa Indonesia. Sebagai contoh, istilah *Conditional Probability Value* (CPV) semula diterjemahkan menjadi Nilai Kebolehjadian Maksimum. Hal ini merujuk pada pengertian CPV yaitu “*The upper bound for the conditional probability that a particular type of event will cause unacceptable radiological consequences*”. Berdasarkan hasil diskusi, istilah tersebut diusulkan diterjemahkan sebagai “Nilai Kebolehjadian Kondisional (NKK)”.

Perubahan istilah dan penggunaan singkatan perlu dibuat kesepakatan, apakah menggunakan istilah dan singkatan dari Bahasa Inggris atau Bahasa Indonesia. Bila CPV diubah menjadi NKK, maka singkatan *Screening Distance Value* (SDV) dan *Screening Probability Level* (SPL) sebaiknya juga diubah ke Bahasa Indonesia. Kajian ini mengusulkan istilah diterjemahkan ke Bahasa Indonesia, dengan tambahan keterangan Bahasa Inggrisnya. Singkatan mengikuti Bahasa Inggris agar sesuai dengan IAEA dan mudah diikuti.

Penghapusan poin/kalimat

Usulan penghapusan poin atau kalimat dalam Perka diajukan untuk poin yang dinilai kurang/tidak relevan dengan evaluasi tapak. Salah satu contohnya adalah kalimat yang berisi informasi tanpa kalimat yang menegaskan keharusan dari poin yang diacu. Penghapusan juga diusulkan terkait dengan perubahan struktur Perka. Misalnya poin “Langkah-langkah yang perlu dilakukan sesudah evaluasi rinci ini diuraikan pada Bab III”. Langkah rinci sebaiknya difasilitasi di dalam pedoman teknis sehingga bisa dihapuskan dari Perka.

Penambahan penjelasan

Penjelasan diberikan untuk memudahkan pemohon evaluasi tapak dalam memahami Perka. Sebagai contoh, catatan kaki dari standard IAEA NS-G-3.1 mengenai *Conditional Probability Value* (CPV) dan *Screening Probability Limit* (SPL) berikut tidak tercantum di Perka. “*In some States, this upper bound has been globally taken as 0.10. The issue should be carefully considered, however, to ensure that the value adopted is indeed an upper bound and is consistent with the limit of the probability value associated with the occurrence of an initiating event having radiological consequences (often taken as 10⁻⁷ per year)*”[10]. Oleh karena itu, dalam Perka perlu ditambahkan ke dalam Lampiran.

Pendekatan bertingkat

Selanjutnya, salah satu perhatian dalam perbaikan Perka adalah pendekatan bertingkat terhadap tipe dan kapasitas reaktor nuklir. Dalam “*Status of Small and Medium Sized Reactor Designs*” yang terbitkan IAEA tahun 2012 [11], reaktor nuklir diklasifikasikan sebagai kecil apabila kapasitas pembangkitan listriknya kurang dari 300 MW, medium 300 – 700 MW, dan besar apabila lebih dari 700 MW.

Dari sisi kejadian eksternal akibat ulah manusia, pengaruh suatu kejadian di luar tapak terhadap kerusakan reaktor tidak berubah. Namun, konsekuensi dari kerusakan reaktor tersebut mungkin berbeda bergantung pada jumlah bahan radioaktif yang dapat tersebar. Semakin besar kapasitas reaktor, jumlah bahan yang mungkin tersebar ke lingkungan juga semakin besar. Penyebaran bahan radioaktif tersebut dapat diminimalkan dengan sistem modular. Selain itu, perkembangan jenis reaktor kecil tanpa pengisian di tempat (*Small reactor design without on-site refueling*) juga perlu dipertimbangkan. Reaktor ini berfungsi seperti baterai panas sekali pakai. Proses pengisian dilakukan di luar reaktor sehingga akan ada transportasi bahan radioaktif dari dan ke area tapak reaktor. Hal tersebut berpotensi meningkatkan resiko kecelakaan di luar reaktor.

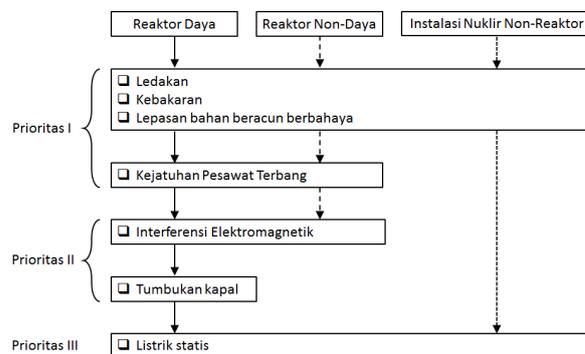
Berdasarkan masukan dan diskusi, kajian penerapan pendekatan bertingkat lebih mengacu pada jenis instalasi nuklir yaitu reaktor nuklir daya, non-daya, dan instalasi nuklir non-reaktor. Menurut Perka BAPETEN No. 11 Tahun 2007 tentang Ketentuan Keselamatan Instalasi Nuklir Non Reaktor [12], Instalasi nuklir non-reaktor adalah instalasi yang digunakan untuk pemurnian, konversi, pengayaan bahan nuklir, fabrikasi bahan bakar nuklir dan/atau pengolahan ulang bahan bakar nuklir bekas, dan/atau penyimpanan sementara bahan bakar nuklir dan bahan bakar nuklir bekas, instalasi penyimpanan lestari serta instalasi lain yang memanfaatkan bahan nuklir. Perbaikan Perka BAPETEN No. 6 Tahun 2008 perlu mempertimbangkan peraturan terkait yang sudah ada agar tidak terjadi tumpang tindih peraturan.

Kriteria kelengkapan evaluasi tapak perlu dibedakan untuk masing-masing instalasi nuklir. Reaktor daya dinilai paling tinggi prioritas penanganannya. Bila dibandingkan dengan instalasi nuklir lainnya, variasi desain dasar reaktor daya relatif terbatas. Bahaya radiologis reaktor daya juga terbatas, terutama berasal dari bagian inti reaktor dan penyimpanan bahan bakar nuklir di tapak. Oleh karena itu, konsekuensi kejadian eksternal akibat ulah manusia lebih terpusat pada paparan terhadap lokasi bahan radioaktif tersebut. Namun, reaktor daya terkait dengan penyediaan energi dan juga kepentingan tingkat tinggi sehingga kriteria evaluasi tapaknya harus lengkap.

Kriteria evaluasi tapak untuk reaktor non-daya (reaktor penelitian) lebih ringan daripada

reaktor daya karena umumnya berskala kecil menengah dengan sumber bahaya yang terpusat di bagian inti reaktor. Aspek-aspek lain yang diberlakukan untuk reaktor daya (contoh: interferensi elektromagnetik) dapat dianggap sebagai analisis pendukung (ditinjau berdasarkan kondisi lokasi tapak) ketika diterapkan untuk instalasi reaktor non-daya.

Sementara itu, resiko dari instalasi nuklir non-reaktor (INNR) merupakan gabungan antara bahaya radioaktif dari reaktor dan bahaya bahan kimia dari pabrik kimia. Kecelakaan akibat bahan kimia (ledakan, kebakaran) berpotensi menyebabkan kerusakan tempat penyimpanan bahan bakar nuklir sehingga menjadi kecelakaan radiologis. Berdasarkan IAEA-TECDOC-1267 [13], tipikal sumber bahaya dari INNR antara lain berupa *fissile materials*, asam nitrat, *hidrogen fluoride*, pelarut, dan *radiolytic hydrogen*. Keberadaan bahan-bahan tersebut meningkatkan kerumitan dalam analisis keselamatan INNR. Sebagai contoh, listrik statis yang tidak terlalu signifikan di reaktor daya, namun menjadi sumber potensial bahaya yang harus diperhitungkan di INNR. Uap dari pelarut memiliki energi minimum terbakar (*Minimum Ignition Energy, MIE*) yang relatif rendah. Energi tersebut bisa berasal dari percikan bunga api akibat listrik statis.



Gambar 2. Usulan Skematik Kriteria Analisis Resiko Aspek Kejadian Eksternal Akibat Ulah Manusia Berdasarkan Pendekatan Bertingkat

Kajian kejadian jatuhnya pesawat terbang untuk INNR dapat disamakan dengan instalasi pabrik konvensional. Di instalasi konvensional, resiko kejatuhan pesawat terbang dianggap tidak signifikan kecuali lokasinya dekat dengan bandara atau tepat berada di jalur penerbangan. Oleh karena itu, kajian aspek kejatuhan pesawat terbang di INNR bergantung pada kondisi di lapangan.

Aspek kejadian akibat ulah manusia lain yang dicantumkan dalam IAEA NS-G-3.1 adalah interferensi elektromagnetik dan tumbukan kapal. Dalam evaluasi tapak reaktor daya, aspek interferensi elektromagnetik dipersyaratkan untuk didata sumber, jarak, rentang frekuensi, dan dayanya. Tidak ada batasan khusus untuk aspek tersebut karena merupakan faktor yang dapat

ditanggulangi. Oleh karena itu, persyaratan kajian pengaruh interferensi elektromagnetik untuk instalasi nuklir non-daya dan INNR hanya perlu dilakukan bila ada sumber interferensi kuat yang dekat dengan tapak. Aspek tumbukan kapal penting ditinjau bila lokasi tapak berdekatan dengan jalur transportasi air (sungai atau laut). Semua instalasi nuklir yang dekat dengan jalur kapal harus memperhitungkan bahaya aspek tumbukan kapal tersebut. Kedua sumber tersebut tetap harus diidentifikasi keberadaannya, namun analisis detailnya bergantung pada tingkat resiko yang timbul (diistilahkan – per kasus).

Penapisan tingkat kebolehhajian

Bagian penting yang menjadi masukan untuk perbaikan Perka ini adalah tambahan penjelasan evaluasi kebolehhajian terkait hubungan antara SPL, CPV, dan DBPV. Dalam Perka, ketiga istilah tersebut dijelaskan sebagai berikut:

- Nilai kebolehhajian dasar desain (*Design Basis Probability Value*) selanjutnya disingkat DBPV adalah batas tahunan kebolehhajian maksimum yang menandakan bahwa kejadian ini akan menyebabkan konsekuensi radiologis yang tidak dapat diterima, perbandingan antara tingkat kebolehhajian penapisan (*screenings probability level*) dan nilai kebolehhajian maksimum (*Conditional Probability Value*).
- Nilai kebolehhajian maksimum (*Conditional Probability Value*) selanjutnya disingkat CPV adalah batas atas kebolehhajian maksimum yang menandakan bahwa kejadian ini akan menyebabkan konsekuensi radiologis yang tidak dapat diterima.
- Tingkat kebolehhajian penapisan (*screenings probability level*) selanjutnya disingkat SPL adalah Nilai batas kebolehhajian kemunculan kejadian tahunan yang memberikan potensi konsekuensi radiologis.

Aspek evaluasi probabilitas terhadap sumber bahaya yang tidak lolos dari kriteria SDV belum dijelaskan dengan baik. Hal tersebut sedikit banyak menghambat penyusunan evaluasi tapak oleh pemohon, seperti dalam kasus evaluasi tapak RDNK. Panduan terhadap nilai SPL, misalnya, sudah dicantumkan dalam standar IAEA NS-G-3.1 namun belum dimasukkan ke dalam Perka. Penjelasan mengenai CPV, *Design Basic Probability Value* (DBPV), serta metode penentuannya belum ada di dalam Perka. Oleh karena itu, diperlukan pedoman yang dapat dipertanggungjawabkan untuk menentukan nilai teknis tersebut. Pedoman teknis ini diusulkan diberikan sebagai pelengkap Perka sehingga lebih mudah disesuaikan dengan perkembangan ilmu dan teknologi terbaru.

Tingkat kebolehhajian penapisan (SPL) digunakan untuk menapis peluang bahaya dari suatu kejadian per tahun. Standard dari IAEA menyertakan catatan kaki yang menjelaskan bahwa

umumnya nilai SPL diambil sebesar 10^{-7} kejadian per tahun. Kovac (2014) dalam bukunya “*Probabilistic Safety Assessment of WWER440 Reactors: Prediction, Quantification and Management of the Risk*” [14] juga memberikan batasan 10^{-7} kejadian per tahun untuk kejadian jatuhnya pesawat terbang. WWER merupakan kependekan dari *Water-Water Energy Reactor*.

IAEA dalam IAEA-TECDOC-1341 (Annex I) [15] menyatakan bahwa sebagian besar regulator nuklir memberikan acuan keselamatan (*safety goal*) 10^{-7} kejadian per tahun atau kurang untuk kejadian lepasan bahan radioaktif ke lingkungan, khususnya untuk reaktor daya skala besar. Secara umum, acuan keselamatan untuk reaktor nuklir tersebut ditetapkan dua atau tiga orde lebih tinggi dibandingkan standar untuk fasilitas industri konvensional.

Untuk fasilitas nuklir non-daya maupun pengolahan bahan bakar bekas dan fasilitas penyimpanan limbah, acuan keselamatan ditetapkan sebesar 10^{-6} kejadian per tahun. Hal ini berlaku pula untuk fasilitas nuklir dengan potensi bahaya radiologis yang jauh lebih rendah dibandingkan reaktor daya 1000 MW(t). Fasilitas nuklir non daya dengan tingkat pencemaran radiologis yang sangat terbatas, penyimpanan limbah dengan tingkat radioaktif rendah, atau incinerator ditetapkan acuan keselamatannya sebesar 10^{-5} kejadian per tahun. Berdasarkan referensi tersebut, kriteria SPL untuk aspek kejadian akibat ulah manusia diusulkan seperti pada Tabel 1. Perlu dicatat bahwa batasan SPL bisa lebih ketat seiring dengan meningkatnya kapasitas instalasi nuklir. Sebagai contoh, evaluasi reaktor daya Darlington di Ontario, Kanada pada tahun 2009 (kapasitas 4800 MW listrik) menggunakan nilai SPL sebesar 1 kejadian per 100 juta tahun atau 10^{-8} kejadian per tahun untuk semua kejadian eksternal akibat ulah manusia. [16].

Tabel 1. Usulan Target Keselamatan Instalasi Nuklir (SPL, kejadian per tahun)

Sumber Bahaya	Reaktor Daya	Reaktor Non-daya	Instalasi Nuklir Non-reaktor
Kejadian Eksternal akibat Ulah Manusia (KAUM) secara Umum	10^{-7} (Skala besar > 1000 MW (e))	10^{-6} (Umum)	10^{-6} (Umum)
Kejadian jatuhnya pesawat terbang	10^{-7}	10^{-7}	10^{-7} (sesuai kebutuhan tapak)

Selanjutnya, Nilai Kebolehhajian Kondisional (CPV) atau Nilai Kebolehhajian

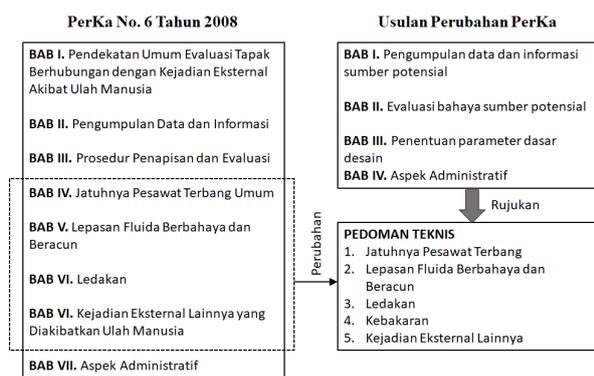
Maksimum (sesuai istilah dalam Perka No. 6 Tahun 2008) berkaitan dengan peluang kejadian yang menyebabkan konsekuensi radiologis. Berdasarkan catatan kaki di standard IAEA, nilai CPV secara umum diambil sebesar 0,10. Namun, batas ini memerlukan kajian lebih lanjut agar mencerminkan nilai maksimum serta konsisten dengan nilai batas kebolehjadian sebesar 10^{-7} kejadian per tahun.

Nilai CPV tersebut juga terkait erat dengan target kebolehjadian kegagalan internal di reaktor nuklir. Peluang kerusakan reaktor akibat aspek KAUM (dengan mempertimbangkan peralatan keamanan terpasang) tidak boleh melebihi target kriteria keselamatan kejadian internal reaktor tersebut.

Hubungan antara SPL, CPV, dan DBPV telah didefinisikan dalam Perka sebagai berikut: "Nilai kebolehjadian dasar desain (*Design Basis Probability Value/DBPV*) untuk kejadian interaksi yang dipertimbangkan harus diperoleh melalui pembagian SPL dengan CPV". Nilai CPV merupakan peluang suatu kejadian menyebabkan resiko radiologis yang tidak diterima, berada pada rentang 0 dan 1. Nilai DBPV memberikan toleransi desain dari suatu skenario kecelakaan. Rentang toleransi desain akan berbeda satu orde dari SPL apabila diterapkan nilai CPV sebesar 0,1.

Usulan perubahan struktur Perka

Usulan perubahan Perka diubah dengan pengaturan bahwa isi Perka hanya memuat hal-hal yang bersifat persyaratan secara umum. Aspek yang bersifat teknis dapat dimasukkan ke dalam pedoman teknis. Perbandingan usulan susunan Perka baru disajikan pada gambar 3.



Gambar 3. Usulan perubahan struktur Perka No. 6 Tahun 2008

Pedoman Teknis dibuat terpisah dari Perka, sehingga perlu tambahan klausul "mengacu ke Pedoman Teknis" di dalam Perka. Pedoman Teknis berperan sebagai acuan dan tidak bersifat mengikat. Pemohon Evaluasi Tapak dapat mengajukan pedoman teknis tersendiri dengan mempresentasikan/menunjukkan ke pihak Bapeten untuk membuktikan bahwa pedoman yang diajukan minimal setara atau lebih baik dari Pedoman Teknis

dari Perka. Dengan pemisahan pedoman dengan Perka ini, evaluasi tapak aspek bahaya eksternal akibat faktor manusia diharapkan dapat dilakukan lebih fleksibel mengikuti perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi terbaru.

KESIMPULAN

Dari kajian di atas dapat disimpulkan bahwa adalah terjustifikasi untuk mengubah atau mengganti Perka No. 6 Tahun 2008 dengan memperluas aplikasinya ke instalasi nuklir serta menilai kembali kemampuserapannya. Konsekuensi dari perluasan aplikasinya tersebut maka BAPETEN juga perlu membuat pedoman teknis untuk masing-masing aspek sebagai pelengkap dari Perka sehingga memudahkan Pemohon dalam melakukan evaluasi dan juga memudahkan BAPETEN dalam melakukan reviu dan penilaian (*review and assessment*).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada jajaran Manajemen P2STPIBN serta tim kajian yang telah mendukung dan memberikan kesempatan seluas-luasnya kepada penulis untuk melaksanakan kajian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Republik Indonesia (2008), Peraturan Kepala BAPETEN No. 6 Tahun 2008 tentang *Evaluasi Tapak Reaktor Daya untuk Aspek Kejadian Eksternal Akibat Ulah Manusia*, BAPETEN, Jakarta.
- [2] Republik Indonesia (2008), Peraturan Kepala BAPETEN No. 5 Tahun 2007 tentang *Ketentuan Keselamatan Evaluasi Tapak Reaktor Nuklir*, BAPETEN, Jakarta.
- [3] IAEA (2010), *SSG-9 Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations*, IAEA, Vienna.
- [4] IAEA (2002) *NS-G-3.3 Evaluation of Seismic Hazards for Nuclear Power Plants*, IAEA, Vienna.
- [5] IAEA (2011) *SSG-18 Meteorological and hydro-logical hazards in site evaluation for nuclear installations*, IAEA, Vienna.
- [6] IAEA (2003) *NS-G-3.4 Meteorological Events in Site Evaluation for Nuclear Power Plants*, IAEA, Vienna.
- [7] IAEA (2003) *NS-G-3.5 Flood Hazard for Nuclear Power Plants on Coastal and River Sites*, IAEA, Vienna
- [8] Republik Indonesia (2008), Peraturan Kepala BAPETEN No. 14 Tahun 2014 tentang *Sistem Manajemen Badan Pengawas Tenaga Nuklir*, BAPETEN, Jakarta.
- [9] Republik Indonesia (2014), Peraturan Pemerintah No. 2 Tahun 2014 tentang *Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir*, Jakarta.

- [10] IAEA (2002), NS-G-3.1 *External Human Induced Events in Site Evaluation for Nuclear Power Plants*, IAEA, Vienna.
- [11] IAEA (2012), *Status of Small and Medium Sized Reactor Designs, A Supplement to the IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS)*, IAEA, Vienna.
- [12] Republik Indonesia (2007), Peraturan Kepala BAPETEN No. 11 Tahun 2007 tentang *Ketentuan Keselamatan Instalasi Nuklir Non Reaktor*, BAPETEN, Jakarta.
- [13] IAEA (2002), Tecdoc-1267 *Procedures for conducting probabilistic safety assessment for non-reactor nuclear facilities*, IAEA, Vienna.
- [14] Zoltan Kovacs (2014), *Probabilistic Safety Assessment of WWER440 Reactor: Prediction, Quantification and Management of the Risk*, Springer.
- [15] IAEA (2003), Tecdoc-1341 *Extreme External Events in the Design and Assessment of Nuclear Power Plants*, IAEA, Vienna.
- [16] Ontario Power Generation (2009) *Summary Report: Site Evaluation Studies for Nuclear Installations at Darlington External Human Induced Events*.
- [17] Nur Siwhan (2017), *Kajian Revisi Perka Bapeten Aspek Bahaya Eksternal Akibat Ulah Manusia*, BAPETEN, Jakarta.

LAMPIRAN

A. Contoh tabel kajian kemampuserapan Perka No. 6 Tahun 2008

No	Perka 6/2008	Kemampuserapan			Keterangan
		Reaktor Daya	Reaktor Non Daya	INNR	
1	Pada pasal 1: Kejadian interaksi (<i>interacting event</i>) adalah kejadian atau serangkaian kejadian terkait, yang interaksinya dengan reaktor daya dapat menurunkan tingkat keselamatan personil tapak atau item penting untuk keselamatan.	Mampuserap	Tidak mampuserap	Tidak mampuserap	Untuk mengakomodasi instalasi nuklir, maka kata reaktor daya perlu disesuaikan
2	Pada pasal 1: Nilai jarak penapisan (<i>Screening Distance Value</i>) selanjutnya disingkat SDV adalah Jarak dari fasilitas untuk penapisan sumber bahaya potensial suatu kejadian eksternal yang dapat diabaikan.	Mampuserap	Mampuserap	Mampuserap	Definisi ini dapat diterapkan untuk instalasi nuklir
3	Pada Bab II Pengumpulan Data dan Investigasi No 16. Dengan adanya kemungkinan jatuhnya pesawat, harus dibuat suatu studi mengenai bandar udara berikut pola lepas landas, pola pendaratan dan pola penangguhannya (<i>holding patterns</i>), frekuensi penerbangan, dan jenis pesawat terbang dan koridor lalu lintas udara juga harus diperhitungkan	Mampuserap	Mampuserap	Kurang mampuserap	Aspek ini dianggap perlu jika fasilitas INNR dekat bandara atau persis di bawah jalur lintasan pesawat atau jika memang fasilitas INNR tersebut mempunyai risiko bahaya radiasi yang besar.

PB04
STRATEGI REVIU DAN PENILAIAN DOKUMEN SAFETY CASE REAKTOR DAYA
EKSPERIMENTAL

Wiryono¹, Tino Sawaldi Adi Nugroho², Dahlia C. Sinaga³

^{1,2,3}*Direktorat Perizinan Instalasi dan Bahan Nuklir BAPETEN, Jl. Gajah Mada 8 Jakarta 10120*
e-mail: d.wiryono@bapeten.go.id; t.sawaldi@bapeten.go.id; d.sinaga@bapeten.go.id

ABSTRAK

Telah dilakukan suatu tinjauan mengenai Strategi Reviu dan Penilaian *Safety Case* Reaktor Daya Eksperimental (RDE) sebagai upaya yang harus dipersiapkan untuk mengantisipasi adanya permohonan persetujuan desain oleh BATAN. Tinjauan ini dilakukan dengan beberapa tahapan dimulai pembentukan Tim Reviu dan Penilaian, proses reviu dan penilaian atas format dan isi dokumen *safety case*, proses reviu dan penilaian secara rinci, penyusunan temuan hasil evaluasi, pembahasan dengan pemohon izin dalam *Review Meeting*, pelaksanaan inspeksi atau verifikasi selama perizinan, dan penetapan kondisi izin, penyusunan Laporan Evaluasi Keselamatan (LEK), dan proses penerbitan persetujuan desain RDE. Dari tinjauan ini digunakan oleh BAPETEN sebagai pertimbangan untuk menetapkan kualifikasi dan pelatihan yang dibutuhkan oleh anggota Tim, termasuk penetapan Tenaga Ahli yang dibutuhkan untuk melakukan reviu dan penilaian setiap bagian dari dokumen *safety case*. Selain itu juga untuk memperkecil kemungkinan adanya *moving target* atas temuan hasil evaluasi, untuk menghindari adanya kesalahan pemahaman atas temuan hasil evaluasi yang dituliskan oleh evaluator dan memudahkan untuk melakukan tindak lanjut atau perbaikan oleh pemohon. Selain itu juga untuk menetapkan kondisi izin yang disepakati bersama dengan pemohon. Sehingga pada akhirnya tercapai kemudahan dalam pengelolaan kegiatan reviu dan penilaian maupun mampu telusur atas dokumen temuan hasil evaluasi yang muara pada penyusunan LEK sebagai dasar penerbitan persetujuan desain.

Keywords: reviu dan penilaian, *safety case*, review meeting, verifikasi, laporan evaluasi keselamatan

ABSTRACT

A review of the Review and Assessment of Safety Case Document of Experimental Power Plant as an effort must be prepared to anticipate the application of design approval by BATAN. This review was conducted with several stages starting from the formation of Review and Assessment Team, review and assessment of the format and contents of the safety case, detailed review and in-depth review, preparation of the evaluation findings, the discussion with the applicant in Review Meeting, the implementation of inspection or verification during licensing, and the determination of the license condition, process of issuing a design approval. This review will be use by BAPETEN as one of the considerations to determine the qualifications and training, to minimize the possibility of a moving target of the findings, to avoid any misunderstanding of the findings written, and also to establish the license conditions, to ensure that the information conveyed in the safety case is in line with the conditions in the field, but it is also an attempt to ensure that follow-up is not possible in the safety case but has been done or acted upon by the applicant. Thus, in the end, ease in the review and assessment activities and traceability can be found on the evaluation findings of the preparation of SER as the basis of the issuance of the design approval.

Keywords: review and assessment, *safety case*, review meeting, verification, safety evaluation report

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi nuklir untuk penyediaan energi di dunia ini sangat pesat. Teknologi reaktor nuklir yang berkembang saat ini tidak hanya untuk reaktor nuklir berbasis air ringan/*Light Water Reactor* (LWR), namun juga untuk tipe reaktor yang lain salah satunya tipe *High Temperature Gas-Cooled Reactor* (HTGR). Teknologi reaktor tipe HTGR ini menggunakan bahan bakar jenis bola/*pebble bed* yang dikembangkan oleh China dan jenis prismatic yang dikembangkan oleh Jepang.

BATAN berencana untuk membangun reaktor tipe HTGR yang disebut dengan Reaktor Daya Eksperimental (RDE) dengan daya nominal 10 MWt (thermal) atau setara dengan 3 MWe (elektrik). Dimulai pada 10 Maret 2014, BATAN mengajukan permohonan Persetujuan Evaluasi Tapak sebagai bentuk komitmen untuk menyiapkan rencana lokasi pembangunan RDE. Setelah melakukan review dan penilaian dengan melibatkan pakar nasional dari berbagai perguruan tinggi dan juga pakar internasional melalui IAEA, maka pada tanggal 25 Februari 2015 BAPETEN menerbitkan Persetujuan Evaluasi Tapak untuk Reaktor Daya Non Komersial (RDNK) yang diajukan oleh BATAN. Kemudian dilanjutkan pada tanggal 27 Oktober 2015, BATAN mengajukan permohonan Izin Tapak untuk melakukan penyiapan tapak pembangunan RDE. Dengan melibatkan pakar nasional dan juga pakar internasional melalui IAEA untuk melakukan reвью dan penilaian terhadap pemenuhan persyaratan izin tapak, maka pada tanggal 23 Januari 2017 BAPETEN menerbitkan Izin Tapak untuk Reaktor Daya Non Komersial (RDNK).

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir, dinyatakan bahwa persetujuan desain hanya bisa dilakukan oleh pemohon yang telah mempunyai izin tapak. Sedangkan untuk pengajuan permohonan persetujuan desain, pemohon harus melampirkan dokumen Desain Rinci Reaktor Nuklir, dan Laporan Analisis Keselamatan. Desain Rinci Reaktor Nuklir yang dimaksud dalam lampiran permohonan tersebut adalah desain lengkap dan terinci tentang Reaktor Nuklir yang akan dibangun, antara lain terdiri atas spesifikasi teknis bahan-bahan dan komponen-komponen yang digunakan dalam konstruksi dan pembuatan komponen-komponen Reaktor Nuklir, beserta uraian teknis proses pembuatan komponen-komponen Reaktor Nuklir tersebut, dan gambar teknis yang memuat dimensi dan skala, yang menjadi dasar pelaksanaan Konstruksi[1].

Meskipun sampai saat ini BATAN belum mengajukan permohonan Persetujuan Desain untuk RDE secara resmi kepada BAPETEN, namun dalam rangka persiapan untuk melakukan reвью dan penilaian terhadap dokumen persyaratan Persetujuan Desain, BAPETEN berencana untuk melibatkan

pakar nasional dari berbagai perguruan tinggi untuk melakukan reвью dan penilaian teknis secara ilmiah terhadap dokumen Desain Rinci Reaktor Nuklir dan dokumen Laporan Analisis Keselamatan.

Dari tinjauan ini diharapkan dapat digunakan sebagai pertimbangan untuk menetapkan kualifikasi dan pelatihan bagi Tim Reвью dan Penilaian, termasuk penetapan Tenaga Ahli yang dibutuhkan untuk melakukan reвью dan penilaian setiap bagian dari dokumen *safety case*. Reвью dan penilaian awal terhadap format dan isi diharapkan dapat memperkecil kemungkinan adanya *moving target* atas temuan hasil evaluasi awal dengan evaluasi berikutnya. Sedangkan pertemuan dengan pemohon dalam *review meeting* yang melibatkan tenaga ahli dari kedua belah pihak diharapkan dapat mengurangi adanya kesalahan pemahaman atas temuan hasil evaluasi yang dituliskan oleh evaluator dan memudahkan untuk melakukan tindak lanjut atau perbaikan oleh pemohon. Komunikasi dengan metode tatap muka langsung (*face to face*) diantara Tenaga Ahli dari kedua belah pihak diharapkan dapat memberikan kemudahan pemahaman atas temuan evaluasi dan upaya untuk menindaklanjuti temuan hasil evaluasi tersebut. Selain itu juga diharapkan dapat digunakan untuk menetapkan kondisi izin yang telah disepakati bersama dengan pemohon. Inspeksi atau verifikasi selama perizinan diharapkan dapat digunakan untuk memastikan bahwa informasi yang disampaikan dalam dokumen *safety case* selaras dengan kondisi dan implementasi di lapangan, selain itu juga diharapkan sebagai upaya untuk memastikan bahwa tindak lanjut yang tidak memungkinkan disampaikan dalam dokumen *safety case* tetapi telah dilakukan atau ditindaklanjuti oleh pemohon. Diharapkan pada akhirnya diperoleh kemudahan dalam pengelolaan kegiatan reвью dan penilaian maupun mampu telusur atas dokumen temuan hasil evaluasi dan tindak lanjutnya bermuara pada penyusunan Laporan Evaluasi Keselamatan sebagai dasar penerbitan persetujuan atau izin.

POKOK BAHASAN

Konstruksi instalasi nuklir wajib dilaksanakan oleh pemegang izin dengan didasarkan pada desain yang memenuhi prinsip dasar keselamatan nuklir yang meliputi[2]:

- a. keselamatan inheren;
- b. penghalang ganda;
- c. margin keselamatan;
- d. redundansi;
- e. keragaman;
- f. kemandirian;
- g. gagal-selamat; dan
- h. kualifikasi peralatan

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir, dinyatakan bahwa Pemegang izin wajib menjamin terpenuhinya persyaratan desain sejak konstruksi sampai dengan

dekomisioning. Persyaratan desain meliputi persyaratan umum dan persyaratan khusus desain.

Desain rinci reaktor nuklir memuat informasi mengenai desain Struktur, Sistem, dan Komponen (SSK) yang penting untuk keselamatan dalam rangka pemenuhan terhadap persyaratan umum desain dan persyaratan khusus desain. Persyaratan umum desain meliputi[2]:

- a. keandalan struktur, sistem, dan komponen;
- b. kemudahan operasi, inspeksi, perawatan, dan pengujian;
- c. kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir;
- d. kemudahan dekomisioning;
- e. proteksi radiasi;
- f. untuk faktor manusia; dan
- g. untuk meminimalkan penuaan.

Sedangkan persyaratan khusus desain reaktor nuklir meliputi paling sedikit desain untuk[2]:

1. teras reaktor;
2. sistem pemindahan panas;
3. sistem *shutdown*;
4. sistem proteksi reaktor;
5. fitur keselamatan teknis;
6. sistem pengungkung;
7. sistem instrumentasi dan kendali;
8. sistem penanganan dan penyimpanan bahan bakar nuklir;
9. sistem pengelolaan limbah radioaktif; dan
10. sistem bantu.

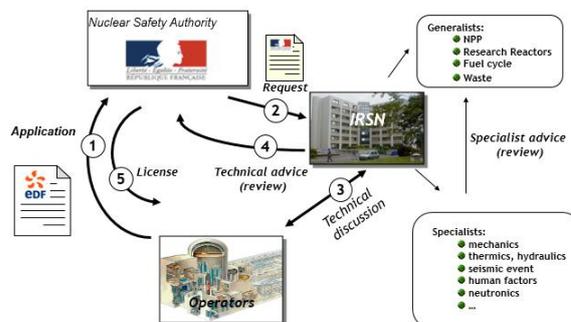
Sedangkan dokumen Laporan Analisis Keselamatan (LAK) antara lain memuat[2]:

1. pendahuluan;
2. tujuan keselamatan dan persyaratan desain;
3. karakteristik Tapak;
4. gedung dan struktur;
5. reaktor nuklir;
6. sistem pendingin reaktor nuklir dan sistem terkait;
7. fitur keselamatan teknis;
8. instrumentasi dan kendali;
9. sistem catu daya listrik;
10. sistem pendukung;
11. proteksi dan keselamatan radiasi;
12. pelaksanaan operasi;
13. rencana pengelolaan dan pemantauan lingkungan;
14. komisioning;
15. analisis keselamatan;
16. batasan dan kondisi operasi;
17. sistem manajemen;
18. dekomisioning; dan
19. kesiapsiagaan dan penanggulangan keadaan darurat.

Proses reviu dan penilaian yang dilakukan oleh *L'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire* (IRSN) yang merupakan institusi yang bertugas sebagai technical support bagi *Autorité de*

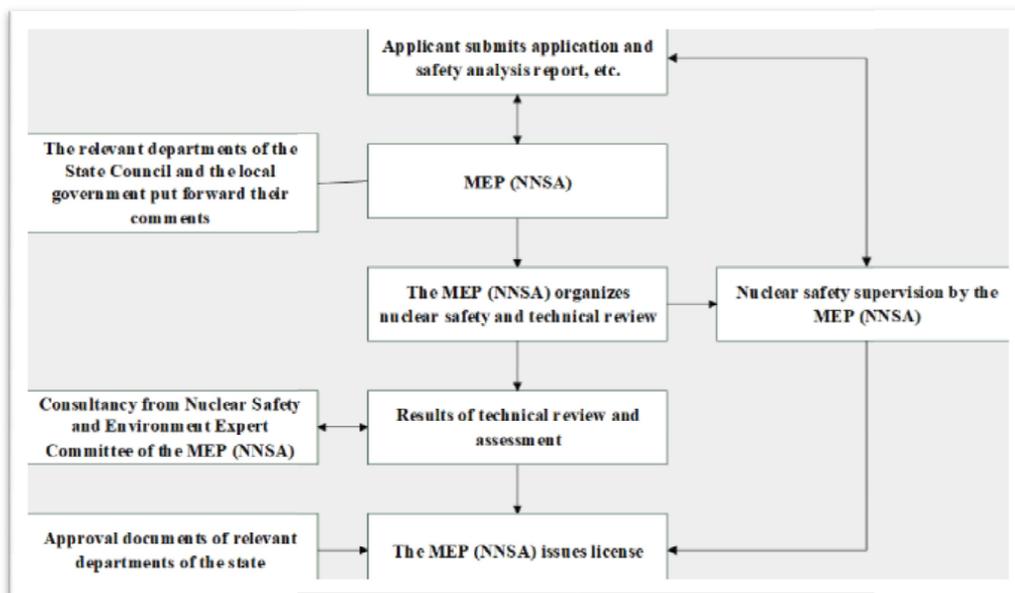
Sûreté Nucléaire (ASN) sebuah lembaga pengawas nuklir di Prancis mengikuti diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Permohonan yang diajukan oleh pemohon (Operator) disampaikan kepada ASN, kemudian ASN meminta kepada IRSN untuk melakukan reviu dan penilaian terhadap permohonan tersebut. Dalam melakukan reviu dan penilaian, IRSN melibatkan para *Generalis* dan *Spesialis*, dimana dalam proses reviu *Spesialis* memberikan komentar teknis (*advice*) kepada *Generalis*. Dalam proses reviu, IRSN juga melakukan komunikasi langsung dengan Operator dalam melakukan pembahasan teknis. Setelah selesai dilakukan pembahasan dengan Operator, kemudian IRSN memberikan komentar teknis (*technical advice*) sebagai hasil reviu dan penilaian kepada ASN. Selanjutnya ASN akan menerbitkan izin sesuai dengan permohonan untuk disampaikan kepada Operator sebagai pemohon izin.



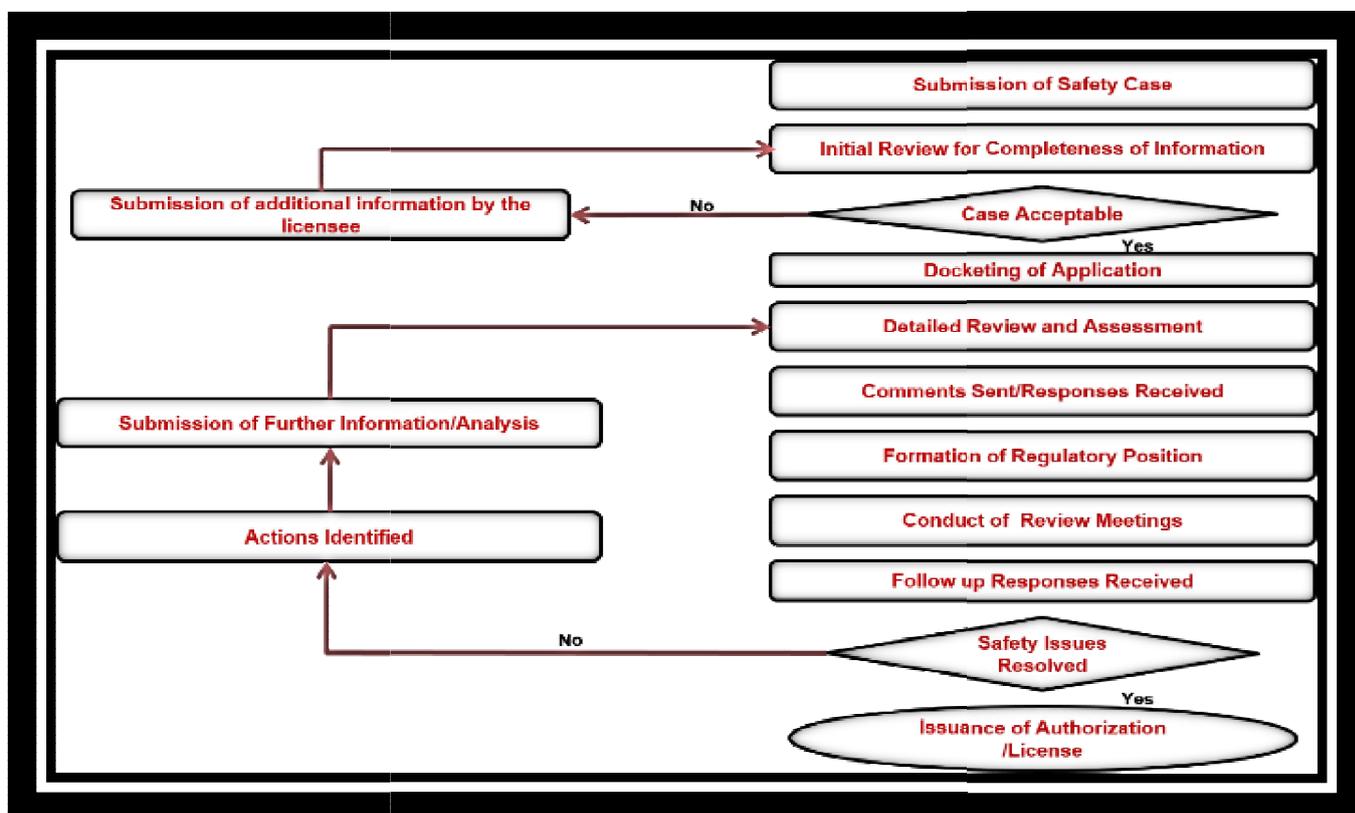
Gambar 1 Proses Reviu di IRSN

Proses reviu dan penilaian yang dilakukan di Badan Pengawas (NNSA) China mengikuti diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 2. Permohonan izin disampaikan kepada Kementerian Lingkungan (MEP) yang membawahi Badan Pengawas (NNSA), kemudian NNSA melakukan reviu dan penilaian sampai pada penerbitan izin[4].



Gambar 2 Proses Reviu di NNSA

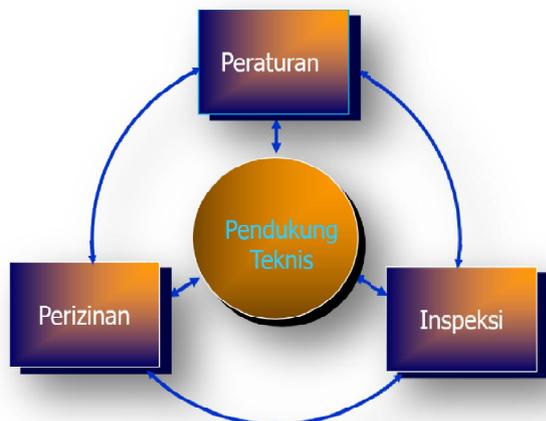
Proses reviu dan penilaian yang dilakukan di Badan Pengawas (PNRA) Pakistan mengikuti diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Proses Reviu di PNRA

Permohonan izin disampaikan kepada PNRA, kemudian dilakukan reviu dan penilaian awal terkait dengan kelengkapan informasi, baru kemudian dilakukan reviu dan penilaian yang lebih rinci, termasuk pelaksanaan pembahasan dengan pemohon dalam review meeting, sampai akhirnya penerbitan izin[6].

Proses reviu dan penilaian yang dilakukan oleh BAPETEN diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Proses Reviu di BAPETEN

Permohonan izin disampaikan oleh Pemohon kepada BAPETEN (DPIBN), kemudian BAPETEN melakukan reviu dan penilaian dengan melibatkan para evaluator dari bagian perizinan (DPIBN), inspeksi (DI2BN), pengaturan (DP2IBN), dan pendukung teknis (P2STPIBN dan DK2N), sampai akhirnya penerbitan izin.

Dalam praktek internasional secara lazim, langkah awal dalam kegiatan reviu dan penilaian dokumen safety case adalah pembentukan Tim yang terdiri dari *Lead Reviewer of chapter* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. *Team members*, dan *Core Team* untuk mengevaluasi temuan hasil evaluasi atau komentar (*quesries*).

Tabel 1. Tim Reviu dan Penilaian

Team 1	Team 2	Team 3
<i>Lead Reviewer</i>	<i>Lead Reviewer</i>	<i>Lead Reviewer</i>
<i>ABC Member</i>	<i>ABC Member</i>	<i>ABC Member</i>
<i>ABC Member</i>	<i>ABC Member</i>	<i>ABC Member</i>
<i>ABC Member</i>	<i>ABC Member</i>	<i>ABC Member</i>

Sedangkan tahapan reviu dan penilaian meliputi Tahap-1 untuk melakukan reviu dan penilaian terhadap format and content, Tahap-2 untuk melakukan reviu dan penilaian secara rinci. Kemudian dilakukan penyusunan komentar (*queries*) dalam bentuk temuan hasil evaluasi. Selanjutnya dilakukan pembahasan dengan pemohon dalam *Review Meeting* untuk membahas komentar evaluator dan tanggapan pemohon, serta posisi atau keputusan BAPETEN terkait dengan temuan hasil

evaluasi dengan format seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

Gambar 5. Temuan Hasil Evaluasi

Nomor LHE:	Hal. 1 dari 1		
Komentar/Pertanyaan/Hasil Evaluasi BAPETEN:			
Tanggapan dari Pemohon/PI:			
Keputusan BAPETEN:			
Tindak lanjut oleh Pemohon/PI:			
Organization	BAPETEN	PI/Pemohon	Designer
<i>Reviewer/expert</i>	(Ttd dan tgl)	(Ttd dan tgl)	(Ttd dan tgl)
<i>Team Leader</i>	(Ttd dan tgl)	(Ttd dan tgl)	(Ttd dan tgl)

Selanjutnya data dan informasi yang disajikan dalam Laporan Analisis Keselamatan (LAK) terkini termasuk audit perhitungan akan dikonfirmasi dan dipastikan oleh evaluator melalui inspeksi atau verifikasi selama perizinan sesuai dengan tahapan perizinan.

Langkah berikutnya adalah penyusunan Laporan Evaluasi Keselamatan (LEK) dengan format secara garis besar seperti pada Gambar 6.

Gambar 6. Laporan Evaluasi Keselamatan Chapter X

- X.1 Introduction
- X.2 Review Basis
- X.3 Review Details
 - X.3.1 Section 1
 - X.3.2 Section 2
 - X.3.3 Section 3
 - X.3.4 Section 4
- X.4 Conclusion

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses reviu dan penilaian terhadap dokumen *safety case* memiliki beragam cara pengelolaan dan komunikasi serta pendokumentasian kegiatan yang telah dilakukan oleh Badan Pengawas dan Operator sebagai pemohon izin atau persetujuan. Dalam tinjauan ini disampaikan terkait dengan pembentukan Tim Reviu dan Penilaian yang dibentuk langsung oleh pejabat Eselon 1 BAPETEN. Tim ini terdiri dari Tim Inti (*Core Team*) dengan *Lead Reviewer* yang berasal dari pejabat Eselon 2 terkait yang bertanggung

jawab untuk menyajikan Laporan Evaluasi Keselamatan yang memuat beberapa bab dan sub-bab serta rekomendasi yang dapat digunakan sebagai salah satu bahan pertimbangan bagi Eselon 1 dalam pengambilan keputusan perizinan.

Tim Inti (*Core Team*) terdiri dari beberapa *reviewer* yang beranggotakan Evaluator *Generalis* sebagai penanggung jawab untuk setiap bab dan Evaluator *Spesialis* sebagai anggota untuk setiap bab. Evaluator *Generalis* dimungkinkan untuk bertanggungjawab menangani lebih dari satu bab. Evaluator *Generalis* akan membagikan tugas revidi dan penilaian kepada setiap anggota Evaluator *Spesialis* dan akan mengkompilasi hasil revidi dan penilaian yang telah dilakukan oleh para Evaluator *Spesialis*. Pembahasan hasil revidi dan penilaian akan dikoordinasikan oleh *Lead reviewer* dalam forum *Review Meeting* dengan mengundang para pejabat Eselon 2 yang lain sebagai anggota dan *reviewer* yang terdiri dari para Evaluator *Generalis* dan *Spesialis*.

Revidi dan penilaian secara teknis dilakukan secara bertahap, yaitu Tahap pertama dilakukan revidi mengenai format and content, kemudian Tahap kedua dilakukan revidi secara rinci (*detailed review*). Revidi format dan content dilakukan terhadap dokumen Desain Reaktor Nuklir yang minimal memuat 10 bagian mulai dari teras reaktor sampai dengan sistem bantu, dan dokumen Laporan Analisis Keselamatan yang minimal memuat 19 bagian mulai dari pendahuluan sampai dengan kesiapsiagaan dan penanggulangan keadaan darurat.

Revidi secara rinci terhadap dokumen Desain Reaktor Nuklir dilakukan untuk memastikan adanya uraian mengenai a). desain SSK yang penting untuk keselamatan yang memenuhi prinsip dasar keselamatan, tujuan dan Fungsi Keselamatan nuklir; b). desain SSK yang penting untuk keselamatan yang memenuhi persyaratan umum desain; c). Spesifikasi teknis SSK.

Selain itu juga dilakukan untuk memastikan bahwa reaktor didesain dengan memenuhi prinsip dasar keselamatan nuklir dan tujuan keselamatan nuklir. Prinsip dasar keselamatan nuklir yang dimaksud meliputi: a). keselamatan inheren; b). penghalang ganda; c). margin keselamatan; d). redundansi; e). keragaman; f). kemandirian; g). gagal-selamat; dan h). kualifikasi peralatan. Sedangkan tujuan keselamatan nuklir yang dimaksud meliputi tujuan umum dan tujuan khusus keselamatan nuklir.

Tujuan umum keselamatan nuklir adalah untuk melindungi pekerja, masyarakat, dan lingkungan hidup yang dilakukan melalui upaya pertahanan yang efektif terhadap timbulnya bahaya radiasi. Sedangkan tujuan khusus keselamatan nuklir meliputi tujuan proteksi radiasi dan tujuan keselamatan teknis. Tujuan proteksi radiasi dimaksudkan untuk menjamin: a). paparan radiasi

pada setiap kondisi instalasi atau setiap pelepasan zat radioaktif yang terantisipasi dari instalasi serendah-rendahnya yang secara praktik dapat dicapai dan di bawah pembatas dosis yang ditetapkan; dan b). mitigasi dampak radiologi dari suatu kecelakaan yang ditimbulkan selama pengoperasian reaktor. Sedangkan tujuan keselamatan teknis yang dimaksud untuk: a). mencegah terjadinya kecelakaan selama pengoperasian reaktor serta melakukan mitigasi dampak radiologi apabila kecelakaan tetap terjadi; b). memastikan dengan tingkat kepercayaan tinggi bahwa kecelakaan yang telah dipertimbangkan dalam desain reaktor memberikan risiko serendah-rendahnya; dan c). memastikan bahwa kecelakaan dengan dampak radiologi yang serius mempunyai kebolehjadian yang sangat kecil.

Upaya pertahanan yang efektif diwujudkan melalui penerapan Pertahanan Berlapis untuk memenuhi Fungsi Keselamatan dasar. Pertahanan Berlapis yang dapat diimplementasikan melalui persyaratan desain dari penghalang fisik, dan kombinasi fitur keselamatan aktif, pasif dan melekat yang berkontribusi terhadap keefektifan penghalang fisik dalam mengungkung zat radioaktif meliputi: a). tingkat 1, yaitu pencegahan penyimpangan dari Operasi Normal dan kegagalan SSK yang penting untuk keselamatan; b). tingkat 2, yaitu pendeteksian dan pengendalian penyimpangan dari kondisi Operasi Normal untuk mencegah berkembangnya Kejadian Operasi Terantisipasi menjadi Kondisi Kecelakaan; c). tingkat 3, yaitu pencegahan kerusakan teras reaktor atau pelepasan zat radioaktif yang signifikan ke luar tapak dan pengembalian reaktor ke kondisi selamat; d). tingkat 4, yaitu mitigasi konsekuensi kecelakaan dan pengendalian untuk menjaga agar pelepasan zat radioaktif serendah mungkin; dan/atau e). tingkat 5, yaitu mitigasi konsekuensi radiologi dari pelepasan zat radioaktif yang dilakukan dengan tindakan penanggulangan kedaruratan nuklir baik di dalam maupun luar tapak.

Fungsi Keselamatan dasar yang dimaksud meliputi: a). mengendalikan reaktivitas; b). memindahkan panas dari teras reaktor dan dari penyimpanan bahan bakar; dan c). mengungkung zat radioaktif, menahan radiasi, mengendalikan lepasan zat radioaktif pada Kondisi Normal, dan membatasi lepasan zat radioaktif dalam hal terjadi Kondisi Kecelakaan. Fungsi Keselamatan dasar harus dipastikan dilaksanakan pada semua kondisi instalasi yang meliputi: a). Operasi Normal; b). Kejadian Operasi Terantisipasi; dan c). Kecelakaan Dasar Desain dan Kecelakaan yang Melampaui Dasar Desain.

Revidi secara rinci terhadap dokumen Laporan Analisis Keselamatan untuk memastikan

semua bab memenuhi Peraturan Kepala BAPETEN terkait.

Kemudian tahap berikutnya adalah penyusunan temuan evaluasi atau dikenal secara internasional sebagai RAI (*Request for Additional Information*), kemudian dilanjutkan dengan rangkaian kegiatan inspeksi atau verifikasi selama perizinan. Setelah semua tahapan revidu dan penilaian dilalui dan disepakati oleh Pemohon Izin, maka kemudian BAPETEN melakukan penyusunan Laporan Evaluasi Keselamatan (LEK).

Penyusunan LEK mengikuti format yang berlaku, dan dimungkinkan juga untuk mengusulkan adanya beberapa “kondisi izin (*license condition*)” sesuai dengan hasil pembahasan dengan pemohon izin dalam forum *Review Meeting*. Pada setiap akhir bab dari LEK diberikan kesimpulan.

Pada bagian *Review Basis* memuat dasar-dasar peraturan, code dan standard yang digunakan untuk melakukan revidu dan penilaian. Peraturan disini dapat berupa Peraturan Pemerintah maupun Peraturan Kepala BAPETEN. Code dan standard dapat mengacu pada standar internasional maupun standar yang diadopsi dari negara pemasok.

Pada bagian *Review Details* memuat informasi mengenai jumlah total komentar atau pertanyaan (*queries*) sebagai hasil temuan evaluasi termasuk jumlah komentar yang akan ditindaklanjuti dalam dalam revisi LAK, maupun jumlah komentar yang akan ditindaklanjuti pada tahap perizinan berikutnya atau komentar yang akan menjadi kondisi izin.

Pada bagian *Conclusion* dinyatakan bahwa revidu dan penilaian dilakukan sesuai dengan peraturan, code dan standar yang berlaku. Juga dinyatakan bahwa pada bagian ini telah memenuhi persyaratan Peraturan Pemerintah dan Peraturan Kepala BAPETEN yang terkait.

Setelah tersusun LEK, kemudian Eselon 2 terkait yang ditugaskan sebagai *Lead reviewer* menyusun rekomendasi sebagai salah satu bahan untuk pengambilan keputusan perizinan yang selanjutnya disampaikan kepada Eselon 1 yang akan mendatangi penerbitan keputusan perizinan yang berupa persetujuan atau izin.

KESIMPULAN

Dari tinjauan ini dapat digunakan oleh BAPETEN: 1). sebagai salah satu pertimbangan untuk menetapkan kualifikasi dan pelatihan yang dibutuhkan oleh anggota Tim Revidu dan Penilaian, termasuk penetapan Tenaga Ahli yang dibutuhkan untuk melakukan revidu dan penilaian setiap bagian dari dokumen *safety case*; 2). untuk memperkecil kemungkinan adanya *moving target* atas temuan hasil evaluasi awal dengan evaluasi berikutnya; 3). untuk menghindari adanya kesalahan pemahaman atas temuan hasil evaluasi yang dituliskan oleh evaluator dan memudahkan untuk melakukan tindaklanjut atau perbaikan oleh pemohon; 4). untuk

menetapkan kondisi izin yang telah disepakati bersama dengan pemohon; 5). untuk memastikan bahwa tindaklanjut yang tidak memungkinkan disampaikan dalam dokumen *safety case* tetapi telah dilakukan atau ditindaklanjuti oleh pemohon. Sehingga pada akhirnya tercapai kemudahan dalam pengelolaan kegiatan revidu dan penilaian maupun mampu telusur atas dokumen temuan hasil evaluasi dan tindak lanjutnya bermuara pada penyusunan Laporan Evaluasi Keselamatan sebagai dasar penerbitan persetujuan atau izin.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 Tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir.
- [2] Peraturan Pemerintah Nomor 54 tahun 20112 Tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir.
- [3] Peraturan Kepala BAPETEN tentang Desain Reaktor Nondaya.
- [4] IAEA *Safety of Nuclear Power Plants: Design*, No. SSR-2/1 (Rev.1)
- [5] US-NRC NUREG-0800, *Standard Review Plan*
- [6] US-NRC Regulatory Guide 1.70, *Standard Format and Content of Safety Analysis Reports for Nuclear Power Plants* (LWR Edition)

Nama Penanya : Rizal P
Instansi : BAPETEN
Nama Penyaji : Wiryono
Judul Makalah :

Kode Makalah : PB04

Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar

- Jelaskan keterkaitan judul dengan kesimpulan untuk menentukan kompetensi
- Usul “kesepakatan” dengan Pemohon Izin untuk menetapkan “kondisi izin” diganti dengan “dikonfirmasikan” dengan Pemohon Izin

Jawaban/Komentar dari Penyaji

- Keterkaitannya dengan strategi reviu terutama terkait dengan Evaluator atau Tenaga Ahli, karena saat ini komposisi tim ditentukan berdasarkan latar belakang pendidikan ataupun hanya berdasarkan perkiraan kemampuan yang bersangkutan dalam bab tertentu. Dari hasil reviu ini diharapkan dapat digunakan untuk menentukan kompetensi baik untuk Evaluator maupun Tenaga Ahli.
- Usul dapat diterima dengan tetap mengedepankan prinsip saling memahami hal-hal yang menjadi kondisi izin dengan harapan untuk memberikan kemudahan bagi Pemegang izin untuk melakukan tindak lanjut ataupun untuk mentaati ketentuan yang terdapat dalam kondisi izin. Selain itu juga dalam penetapan kondisi izin ini dibahas dalam Review Meeting yang melibatkan Eselon 2 Unit Kerja terkait di BAPETEN untuk menghindari komentar dari sebagian Unit Kerja terkait yang merasa kurang atau tidak dilibatkan dalam kegiatan reviu dan penilaian meskipun dari komposisi Evaluator sudah mencerminkan keterwakilan dari Unit Kerja terkait.

Nama Penanya : Sinta TH
Instansi : BAPETEN
Nama Penyaji : Wiryono
Judul Makalah :

Kode Makalah : PB04

Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar

- Bagaimana penggunaan istilah safety case yang tidak lazim dengan standar IAEA?

Jawaban/Komentar dari Penyaji

- Penggunaan istilah safety case dimaksudkan untuk memberikan penamaan secara umum dokumen perizinan yang disampaikan oleh Pemohon izin untuk dilakukan reviu dan penilaian oleh BAPETEN, sehingga tidak hanya dokumen analisis keselamatan tetapi juga untuk mengakomodir dokumen lain yang dipersyaratkan oleh peraturan sebagai dokumen persyaratan izin.

PB05

REVIU PENERAPAN PERATURAN DEKOMISIONING INSTALASI NUKLIR DI INDONESIA

Wiryono¹, Ade Awalludin¹¹Direktorat Perizinan Instalasi dan Bahan Nuklir, Badan Pengawas Tenaga Nuklir
e-mail: y.wiryono@bapeten.go.id dan a.awalludin@bapeten.go.id**ABSTRAK**

REVIU PENERAPAN PERATURAN DEKOMISIONING INSTALASI NUKLIR DI INDONESIA. Telah dilakukan suatu tinjauan mengenai implementasi peraturan dekomisioning instalasi nuklir di Indonesia. Tinjauan ini diperlukan sebagai salah satu bahan pertimbangan untuk memperbaiki peraturan dekomisioning sehingga akan lebih memperjelas operator instalasi nuklir dalam penyusunan program dekomisioning dan menyelaraskan regulasi nasional dengan praktek internasional. Peraturan dekomisioning instalasi nuklir masih membedakan istilah dekomisioning untuk setiap jenis instalasi nuklir, dan belum menyatakan secara jelas perbedaan materi muatan yang ada dalam program dekomisioning untuk setiap tahapan pembangunan instalasi nuklir. Sedangkan praktek internasional telah membedakan antara muatan materi yang ada dalam program dekomisioning awal dengan program dekomisioning akhir. Program dekomisioning awal memuat uraian mengenai strategi dekomisioning dan justifikasi teknis, informasi mengenai dekomisioning, pelaksanaan dekomisioning yang memuat tahapan dekomisioning, dan status akhir yang memuat justifikasi teknis dan penggunaan fasilitas/tapak di masa mendatang. Sedangkan pada program dekomisioning akhir ditambahkan uraian mengenai perencanaan, uraian pekerjaan, proteksi radiasi, pengelolaan limbah, metode *clean-up* dan justifikasi teknis pada bagian pelaksanaan dekomisioning, serta ketidakpastian dan kajian dampak lingkungan pada bagian status akhir. Sehingga BAPETEN perlu menetapkan secara jelas materi muatan yang harus diuraikan dalam program dekomisioning untuk setiap tahapan pembangunan instalasi nuklir. Disamping itu untuk menghindari kesalahpahaman persepsi mengenai dekomisioning, sebaiknya tidak perlu dibedakan istilah dekomisioning untuk setiap jenis instalasi nuklir.

Keywords: dekomisioning, instalasi nuklir, program dekomisioning, operator

ABSTRACT

REVIEW OF IMPLEMENTATION OF REGULATION OF NUCLEAR INSTALLATION DECOMMISSIONING IN INDONESIA. The study addresses the implementation of regulation of nuclear installation decommissioning in Indonesia. This review is needed to support the improvement of decommissioning program regulation and harmonize national regulation with international practices hence can be implemented by nuclear operator. Regulation of decommissioning of a nuclear installation in Indonesia remains to distinguish terminology for each type of nuclear installation, and do not differentiate the content and degree of detail of decommissioning program in each stage of nuclear installation licensing process. Meanwhile, international practices have distinguished the level of detail between the preliminary decommissioning and final decommissioning program based on graded approach. Preliminary decommissioning program contains the description of decommissioning strategy and engineering justification, decommissioning information, the process of decommissioning, and final status which include engineering justification and utilization of facilities or sites in the future. Meanwhile, planning and work description, radiation protection, waste management, a method of clean-up and engineering justification in the section of decommissioning process, uncertainty and environmental impact assessment in the section of final status are added in the final decommissioning program. Therefore, BAPETEN is necessary to stipulate clearly the level of detail of decommissioning program in each operational stages of nuclear installation and the terminology of decommissioning for each type of nuclear installation should not be distinguished.

Keywords: decommissioning, nuclear installation, decommissioning program, operator

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Beberapa permasalahan yang dihadapi oleh operator instalasi nuklir di Indonesia antara lain mengenai penggunaan istilah dekomisioning yang kurang sesuai karena dibedakan berdasarkan objek pengawasan, padahal istilah tersebut merupakan tindakan yang dilakukan terhadap suatu fasilitas. Sehingga semakin membingungkan operator, dengan alasan bahwa tindakan yang dilakukan sama hanya berbeda fasilitasnya. Permasalahan lain yang dihadapi oleh operator pada saat penyusunan program dekomisioning terutama belum adanya kejelasan mengenai perbedaan muatan materi yang harus diuraikan dalam program dekomisioning untuk memperoleh izin konstruksi, komisioning, operasi, dan dekomisioning.

Sampai saat ini peraturan nasional mengenai dekomisioning masih membedakan antara istilah dekomisioning instalasi nuklir, dekomisioning reaktor nuklir, dan dekomisioning instalasi nuklir non reaktor. Undang-undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran dan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2009 tentang Dekomisioning Reaktor Nuklir menggunakan istilah dekomisioning untuk reaktor nuklir. Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2011 tentang Dekomisioning Instalasi Nuklir Non Reaktor menggunakan istilah dekomisioning INNR. Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir menggunakan istilah dekomisioning untuk Dekomisioning Instalasi Nuklir. Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir menggunakan istilah dekomisioning instalasi nuklir untuk dekomisioning dan dekomisioning INNR, sementara istilah dekomisioning digunakan untuk reaktor nuklir.

Selain itu Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir, belum secara jelas mengatur perbedaan muatan materi yang harus diuraikan dalam program dekomisioning untuk setiap tahapan pembangunan instalasi nuklir. Peraturan Pemerintah tersebut hanya menyatakan bahwa salah satu persyaratan teknis untuk memperoleh izin konstruksi, komisioning, operasi, dan dekomisioning adalah program dekomisioning. Sedangkan pada bagian penjelasan dari Peraturan Pemerintah tersebut juga tidak membedakan muatan materi yang harus diuraikan dalam program dekomisioning untuk setiap tahapan pembangunan instalasi nuklir.

Dengan demikian, maka diperlukan tinjauan mengenai implementasi peraturan dekomisioning instalasi nuklir di Indonesia, terutama mengenai penggunaan istilah dekomisioning dan materi muatan yang harus diuraikan dalam program dekomisioning untuk setiap tahapan pembangunan instalasi nuklir.

Tujuan

Makalah ini membahas tinjauan mengenai implementasi peraturan dekomisioning instalasi nuklir di Indonesia dan disusun untuk menyelaraskan regulasi nasional dengan praktek internasional, terutama mengenai penggunaan istilah dekomisioning dan materi muatan yang harus diuraikan dalam program dekomisioning untuk setiap tahapan pembangunan instalasi nuklir.

LANDASAN TEORI

Metode yang digunakan dalam penulisan makalah ini adalah studi literatur terhadap Undang-undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir, Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2009 tentang Dekomisioning Reaktor Nuklir, Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2011 tentang Dekomisioning Instalasi Nuklir Non Reaktor, dan *French Nuclear Safety Authority (ASN) Guide No. 6* serta beberapa dokumen terkait dekomisioning yang lain.

Dekomisioning Instalasi Nuklir di Indonesia

Perencanaan dekomisioning dimulai sejak desain awal instalasi nuklir hingga fasilitas tersebut dinyatakan bebas dari pengawasan badan pengawas. Sejumlah dokumen dekomisioning perlu dipersiapkan untuk setiap tahap pengoperasian reaktor nuklir oleh operator untuk memastikan bahwa proses dekomisioning dilaksanakan dengan selamat¹⁶. Setiap badan pengawas nuklir membuat regulasi terkait perencanaan dekomisioning yang berbeda. Berdasarkan Pasal 1 angka 14 Undang-undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran dan Pasal 1 angka 1 Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2009 tentang Dekomisioning Reaktor Nuklir dinyatakan bahwa dekomisioning adalah suatu kegiatan untuk menghentikan beroperasinya reaktor nuklir secara tetap, antara lain dilakukan pemindahan bahan bakar nuklir dari teras reaktor nuklir, pembongkaran komponen reaktor, dekontaminasi, dan pengamanan akhir^{1,2}. Jadi penggunaan istilah dekomisioning hanya digunakan untuk dekomisioning reaktor nuklir. Sementara pada Pasal 1 angka 2 Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2011 tentang Dekomisioning Instalasi Nuklir Non Reaktor dinyatakan bahwa dekomisioning INNR adalah suatu kegiatan untuk menghentikan beroperasinya INNR secara tetap, antara lain dilakukan pemindahan bahan nuklir dari INNR, pembongkaran komponen instalasi, dekontaminasi, dan pengamanan akhir³.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir dinyatakan bahwa dekomisioning instalasi nuklir yang selanjutnya disebut dekomisioning adalah suatu kegiatan untuk menghentikan beroperasinya instalasi nuklir secara

tetap, antara lain dilakukan pemindahan bahan nuklir dari instalasi nuklir, pembongkaran komponen instalasi, dekontaminasi, dan pengamanan akhir^[4].

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir dinyatakan bahwa dekomisioning instalasi nuklir adalah dekomisioning dan dekomisioning INNR. Dekomisioning adalah suatu kegiatan untuk menghentikan beroperasinya reaktor nuklir secara tetap, antara lain, dilakukan pemindahan bahan bakar nuklir dari teras reaktor, pembongkaran komponen reaktor, dekontaminasi, dan pengamanan akhir. Dekomisioning instalasi nuklir non reaktor yang selanjutnya disebut dekomisioning INNR adalah suatu kegiatan untuk menghentikan beroperasinya instalasi nuklir nonreaktor secara tetap, antara lain, dilakukan pemindahan bahan bakar nuklir dari instalasi nuklir nonreaktor, pembongkaran komponen, dekontaminasi, dan pengamanan akhir^[5].

Sedangkan U.S.NRC menggunakan istilah dekomisioning tanpa membedakan tempat pelaksanaan dekomisioning tersebut, tetapi hanya menggunakan satu istilah dekomisioning yaitu suatu tindakan administratif dan teknis yang dilakukan

untuk melepaskan fasilitas nuklir sebagian atau semua dari badan pengawas^[6].

Program Dekomisioning di Indonesia

Berdasarkan Pasal 7 Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2009 tentang Dekomisioning Reaktor Nuklir dinyatakan bahwa program dekomisioning yang telah disesuaikan dengan status terkini reaktor harus ditetapkan oleh Pengusaha Instalasi Nuklir (PIN) sebelum mengajukan izin dekomisioning untuk mendapatkan persetujuan dari Kepala BAPETEN. Sedangkan berdasarkan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2012 tentang Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan Reaktor Non Daya dinyatakan bahwa program dekomisioning reaktor nuklir mengacu pada Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2009 tentang Dekomisioning Reaktor Nuklir^[2]. Selain itu berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir dinyatakan bahwa dekomisioning instalasi nuklir adalah dekomisioning dan dekomisioning INNR. Program dekomisioning reaktor nuklir atau program dekomisioning tersebut memuat uraian sebagaimana Tabel 1^[5].

Tabel 1. Program Dekomisioning Reaktor Nuklir

Program Dekomisioning Reaktor Nuklir (Peraturan Kepala BAPETEN No. 4 Tahun 2009)	Program Dekomisioning (Peraturan Pemerintah No. 2 Tahun 2014)
a. uraian instalasi;	a. uraian Reaktor Nuklir;
b. struktur organisasi pelaksana dekomisioning dan jadwal kegiatan yang merupakan bagian dari manajemen dekomisioning;	b. manajemen Dekomisioning;
c. metode atau opsi dekomisioning;	c. opsi Dekomisioning;
d. rencana survei karakterisasi atau ringkasannya;	d. rencana survei karakterisasi;
e. perkiraan biaya dekomisioning;	e. perkiraan biaya Dekomisioning;
f. analisis atau kajian keselamatan;	f. analisis keselamatan;
g. kajian lingkungan atau ringkasannya;	g. pengelolaan dan pemantauan lingkungan;
h. program proteksi radiasi;	h. proteksi radiasi;
i. program keamanan nuklir dan seifgard;	i. rencana proteksi fisik dan sistem Safeguards;
j. program kesiapsiagaan nuklir;	j. program kesiapsiagaan nuklir;
k. rencana penanganan limbah radioaktif;	k. rencana penanganan limbah radioaktif;
l. kegiatan dekomisioning;	l. kegiatan Dekomisioning;
m. surveilan dan perawatan; dan	m. surveilan dan perawatan; dan
n. survei radiasi akhir.	n. survei radiologi akhir.

Berdasarkan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2011 tentang Dekomisioning Instalasi Nuklir Non Reaktor dinyatakan bahwa Pemegang izin harus menetapkan program dekomisioning INNR, menyusun ringkasan program dekomisioning INNR dalam laporan analisis keselamatan akhir. Program dekomisioning INNR yang harus dibuat dalam dokumen tersendiri selama tahap konstruksi. Berdasarkan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 10 Tahun 2006 tentang Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan Instalasi Nuklir Non Reaktor dinyatakan bahwa program dekomisioning instalasi nuklir non reaktor mengacu pada Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2011 tentang Dekomisioning Instalasi Nuklir Non

Reaktor^[3]. Sedangkan berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir dinyatakan bahwa dekomisioning instalasi nuklir adalah suatu kegiatan untuk menghentikan beroperasinya instalasi nuklir secara tetap, antara lain dilakukan pemindahan bahan nuklir dari instalasi nuklir, pembongkaran komponen instalasi, dekontaminasi, dan pengamanan akhir. Program dekomisioning tersebut memuat uraian rinci mengenai uraian sebagaimana Tabel 2^[4].

Tabel 2. Program Dekomisioning Instalasi Nuklir Non Reaktor

Program Dekomisioning Instalasi Nuklir Non Reaktor (Peraturan Kepala BAPETEN No. 6 Tahun 2011)	Program Dekomisioning Instalasi Nuklir (Peraturan Pemerintah No. 54 Tahun 2012)
a. uraian instalasi;	a. struktur organisasi pelaksana dekomisioning dan jadwal kegiatan;
b. struktur organisasi pelaksana dekomisioning INNR dan jadwal kegiatan yang merupakan bagian dari manajemen dekomisioning INNR;	b. uraian instalasi nuklir;
c. opsi dekomisioning INNR;	c. metode atau opsi dekomisioning;
d. rencana survei karakterisasi atau ringkasannya;	d. rencana survei karakterisasi atau ringkasannya;
e. perkiraan biaya dekomisioning INNR;	e. perkiraan biaya dekomisioning;
f. analisis atau kajian keselamatan;	f. analisis atau kajian keselamatan;
g. kajian lingkungan atau ringkasannya;	g. kajian lingkungan atau ringkasannya;
h. proteksi radiasi;	h. program proteksi radiasi;
i. rencana proteksi fisik dan seifgard;	i. program safeguards dan proteksi fisik;
j. kesiapsiagaan nuklir;	j. program kesiapsiagaan nuklir;
k. rencana penanganan limbah radioaktif;	k. rencana penanganan limbah radioaktif;
l. kegiatan dekomisioning INNR;	l. kegiatan dekomisioning;
m. surveilan dan perawatan; dan	m. surveilan dan perawatan; dan
n. survei radiologi akhir.	n. survei radiasi akhir.

Praktik Program Dekomisioning di Dunia

Menurut Badan Pengawas Amerika (U.S. NRC) kegiatan dekomisioning dibedakan antara sebelum dan sesudah pemadaman akhir (*final shutdown*). Kegiatan dekomisioning yang dilakukan sebelum *final shutdown* pada tahap desain, konstruksi & *start-up* berdasarkan program dekomisioning awal (*initial decommissioning plan*) dan pada tahap operasi berdasarkan program dekomisioning yang terkini (*update decommissioning plan*).

Sedangkan kegiatan dekomisioning yang dilakukan setelah *final shutdown* dan sebelum tahap *Decontamination & Dismantling* (D&D) berdasarkan program dekomisioning akhir yang terkini (*update final decommissioning plan*). Kegiatan dekomisioning yang dilakukan untuk setiap tahapan fasilitas ditunjukkan pada Tabel 3^[6].

Tabel 3. Kegiatan dekomisioning sebelum dan sesudah pemadaman akhir

Facility Stage	Design, Construction & Start-up Phase	Operating Phase	Transition Phase	Preparation Phase	Deferred Dismantling Period	Decontamination & Dismantling Phase	Final Phase
Decommissioning Activity	Initial Decommissioning Plan	Update Decommissioning Plan Finalize Safe Enclosure Plan & Prepare Shutdown Plan	Source Term Reduction & Waste Condition Prepare Site Preparation Plan & S&M Plan	Site Preparation & Initial Dismantling	Update Final Decommissioning Plan Surveillance & Maintenance Implementation	Decontamination & Dismantling Activities	Final Survey & License Termination

Sedangkan berdasarkan *French Nuclear Safety Authority (ASN) Guide No. 6 "Lifecycle of a Basic Nuclear Installation"* dinyatakan bahwa program dekomisioning awal (*initial decommissioning plan*) dan program dekomisioning akhir (*final decommissioning plan*) memuat uraian sebagaimana Tabel 4^[7].

IAEA memandu Negara anggotanya dalam penyusunan standar dan format dokumen dekomisioning dengan menekankan pada pendekatan berperingkat. Isi dan tingkat rincian yang terkandung dalam dokumen dekomisioning akan berbeda meskipun memiliki format yang sama bergantung

pada fasilitas, jenis dan jumlah bahan nuklir yang digunakan¹⁶. Dokumen tahap dekomisioning awal akan memiliki rincian yang kurang dan rincian akan terus bertambah untuk mengisi kekosongan informasi hingga pada tahap final program dekomisioning sehingga memperkecil nilai ketidakpastian program dekomisioning.

Tabel 4. Program Dekomisioning Awal dan Program Dekomisioning Akhir

Program Dekomisioning Awal (<i>initial decommissioning plan</i>) & Program Dekomisioning Akhir (<i>final decommissioning plan</i>)	
a.	Uraian mengenai strategi dekomisioning dan alasan pembenaran (<i>justification</i>)
b.	Informasi Umum mengenai dekomisioning <ol style="list-style-type: none"> 1. Metode, status akhir (<i>end-state</i>), pemantauan. 2. Desain fasilitas yang memudahkan dekomisioning. 3. Penyimpanan Catatan dan Rekaman. 4. Skills and knowledge management. 5. Pengelolaan limbah hasil dekomisioning.
c.	Pelaksanaan Dekomisioning <ol style="list-style-type: none"> 1. Tahapan dekomisioning. 2. Perencanaan. 3. Uraian pekerjaan dan peralatan yang diperlukan untuk dekomisioning. 4. Tujuan keselamatan dan proteksi radiasi. 5. Pengelolaan limbah, <i>discharge</i>, resiko konvensional. 6. Metode <i>clean-up</i> yang digunakan untuk bangunan dan tanah (<i>soils, civil engineering</i>). 7. Pembenaran teknis dari sudut pandang keselamatan nuklir (<i>nuclear safety</i>), proteksi radiasi, pengelolaan limbah, pelepasan efluen (<i>effluent discharges</i>) dan resiko konvensional (<i>conventional risk</i>).
d.	Status Akhir (<i>Final End-State</i>) <ol style="list-style-type: none"> 1. Uraian mengenai status akhir (<i>final end-state</i>) dan pembenarannya. 2. Perkiraan penggunaan fasilitas/tapak di masa mendatang. 3. Ketidakpastian terkait dengan uraian mengenai status akhir (<i>final end-state</i>). 4. Pengkajian dampak lingkungan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampai saat ini peraturan nasional mengenai dekomisioning masih membedakan antara istilah dekomisioning instalasi nuklir, dekomisioning, dekomisioning reaktor nuklir, dan dekomisioning instalasi nuklir non reaktor. Perbedaan penggunaan istilah dekomisioning tersebut secara jelas dinyatakan dalam beberapa peraturan nasional mengenai dekomisioning. Sebagai contoh dalam Undang-undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran dan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2009 tentang Dekomisioning Reaktor Nuklir menggunakan istilah dekomisioning untuk reaktor nuklir. Juga pada Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2011 tentang Dekomisioning Instalasi Nuklir Non Reaktor menggunakan istilah dekomisioning INNR. Sementara itu pada Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir menggunakan istilah dekomisioning untuk dekomisioning instalasi nuklir. Sedangkan pada Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir menggunakan istilah dekomisioning instalasi nuklir untuk dekomisioning dan dekomisioning INNR, sementara istilah dekomisioning itu sendiri digunakan untuk reaktor nuklir. Sehingga untuk menghindari kesalahpahaman persepsi mengenai dekomisioning, sebaiknya tidak perlu dibedakan istilah dekomisioning untuk setiap objek pengawasan instalasi nuklir.

Peraturan dekomisioning instalasi nuklir belum menyatakan secara jelas perbedaan materi

muatan yang ada dalam program dekomisioning untuk setiap tahapan pembangunan instalasi nuklir. Peraturan hanya menyatakan bahwa program dekomisioning memuat uraian mengenai struktur organisasi pelaksana dekomisioning dan jadwal kegiatan; uraian instalasi nuklir; metode atau opsi dekomisioning; rencana survei karakterisasi atau ringkasannya; perkiraan biaya dekomisioning; analisis atau kajian keselamatan; kajian lingkungan atau ringkasannya; program proteksi radiasi; program safeguards dan proteksi fisik; program kesiapsiagaan nuklir; rencana penanganan limbah radioaktif; kegiatan dekomisioning; surveilan dan perawatan; dan survei radiasi akhir.

Sedangkan praktek internasional telah membedakan antara muatan materi yang ada dalam program dekomisioning awal dengan program dekomisioning akhir. Program dekomisioning awal memuat uraian mengenai strategi dekomisioning dan justifikasi teknis, informasi mengenai dekomisioning, pelaksanaan dekomisioning yang memuat tahapan dekomisioning, dan status akhir yang memuat justifikasi teknis dan penggunaan fasilitas/tapak di masa mendatang. Sedangkan pada program dekomisioning akhir ditambahkan uraian mengenai perencanaan, uraian pekerjaan, proteksi radiasi, pengelolaan limbah, metode clean-up dan justifikasi teknis pada bagian pelaksanaan dekomisioning, serta ketidakpastian dan kajian dampak lingkungan pada bagian status akhir.

BAPETEN perlu menetapkan secara jelas materi muatan yang harus diuraikan dalam program dekomisioning untuk setiap tahapan pembangunan instalasi nuklir, sehingga akan mempermudah operator pada saat penyusunan program tersebut.

KESIMPULAN

- Adanya perbedaan penggunaan istilah dekomisioning untuk setiap jenis instalasi nuklir.
- Terdapat perbedaan pengaturan yang cukup signifikan antara Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir dengan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2009 tentang Dekomisioning Reaktor Nuklir terutama mengenai materi muatan yang harus diuraikan dalam program dekomisioning untuk reaktor nuklir sehingga memberikan informasi yang kurang jelas bagi operator instalasi nuklir.
- Muatan materi yang harus diuraikan dalam Program dekomisioning untuk INNR secara jelas mengacu pada Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2011 tentang Dekomisioning Instalasi Nuklir Non Reaktor.
- Muatan materi yang harus diuraikan dalam program dekomisioning tidak dibedakan untuk setiap tahapan pembangunan instalasi nuklir mulai dari izin konstruksi, komisioning, operasi dan dekomisioning.

SARAN

- Perlu dilakukan pendefinisian ulang istilah dekomisioning yang mencerminkan tindakan atau kegiatan, bukan cenderung membedakan jenis instalasinya.
- Perlu dilakukan penyesuaian Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir dan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2009 tentang Dekomisioning Reaktor Nuklir sehingga muatan materi yang harus diuraikan dalam program dekomisioning untuk reaktor nuklir lebih jelas.
- Perlu dilakukan perbaikan terhadap Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir, Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2009 tentang Dekomisioning Reaktor Nuklir dan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2011 tentang Dekomisioning Instalasi Nuklir Non Reaktor sehingga terlihat jelas perbedaan muatan materi yang harus diuraikan dalam program dekomisioning untuk setiap tahapan pembangunan instalasi nuklir mulai dari izin konstruksi, komisioning, operasi dan dekomisioning baik untuk reaktor nuklir maupun untuk INNR.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Undang-undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran.

- [2] Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2009 tentang Dekomisioning Reaktor Nuklir.
- [3] Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 6 Tahun 2011 tentang Dekomisioning Instalasi Nuklir Non Reaktor.
- [4] Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir.
- [5] Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir.
- [6] Boing, E. Lawrence, *Introduction to Decommissioning*, Nuclear Engineering Division, U.S. Department of Energy (2014).
- [7] French Nuclear Safety Authority (ASN), *Mise a l'arret definitive, demantelement et declassement des installations nucleaires de base en France*, Guide De L'ASN INB No.6, ASN, France (2010).
- [8] International Atomic Energy Agency, *Predisposal Management of Radioactive Waste, including Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors*, IAEA Safety Standards Series No. WS-R-2, Vienna (2000).
- [9] International Atomic Energy Agency, *Decommissioning of Facilities*, IAEA Safety Standards Series No. WS-R-5, Vienna (2006).
- [10] International Atomic Energy Agency, *Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors*, IAEA Safety Standards Series No. WS-G-2.1, Vienna (1999).
- [11] International Atomic Energy Agency, *Decommissioning of Nuclear Fuel Cycle Facilities*, IAEA Safety Standards Series No. WS-G-2.4, Vienna (2001).
- [12] International Atomic Energy Agency, *Release of Sites from Regulatory Control on Termination of Practices*, IAEA Safety Standards Series No. WS-G-5.1, Vienna (2008).
- [13] International Atomic Energy Agency, *Safety Assessment for the Decommissioning of Facilities Using Radioactive Material*, IAEA Safety Standards Series No. WS-G-5.2, Vienna (2008).
- [14] International Atomic Energy Agency, *Safety Assessment for the Decommissioning*, IAEA Safety Reports Series No. 77, Vienna (2013).
- [15] Meck, A. Robert, *Approaches used for clearance of Lands from Nuclear Facilities among Several Countries*, Swedish Radiation Safety Authority, 2013.
- [16] International Atomic Energy Agency, *Standard format and content for Safety Related Decommissioning Documents*, IAEA Safety Reports Series No. 45, Vienna (2005).

Nama Penanya : Zulfiandri
Instansi : BAPETEN
Nama Penyaji : Wiryono
Judul Makalah :

Kode Makalah : PB05

Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar

Bagaimana melakukan Penyusunan dokumen Program Dekomisioning?

Jawaban/Komentar dari Penyaji

Berdasarkan peraturan yang ada saat ini belum ada kejelasan materi muatan yang harus diuraikan dalam program dekomisioning sehingga kelihatan jelas perbedaan antara program dekomisioning pada tahap izin konstruksi, komisioning, operasi, dan dekomisioning. Dari revidi ini diusulkan untuk membedakan antara Program Dekomisioning Awal (yang disusun mulai dari tahap desain, konstruksi, dan start up atau komisioning) dan cukup dengan melakukan pemutakhiran program dekomisioning pada tahap operasi. Diantara tahap operasi dan dekomisioning terdapat “fase transisi” yang sengaja disediakan untuk melakukan kegiatan pengurangan sumber radiasi termasuk pemindahan bahan bakar dari teras reaktor dan penanganan limbah (source term reduction & waste condition). Sedangkan Program Dekomisioning Akhir (yang disusun pada tahap dekomisioning termasuk pemutakhiran program dekomisioning akhir dimaksudkan untuk melakukan kegiatan Dekontaminasi dan Dismantling.

Nama Penanya : Sinta TH
Instansi : BAPETEN
Nama Penyaji : Wiryono
Judul Makalah :

Kode Makalah : PB05

Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar

- Ada permasalahan apa terkait dengan istilah dekomisioning?

Jawaban/Komentar dari Penyaji

Definisi atau istilah dekomisioning yang kurang sesuai dikarenakan antara lain:

- Dibedakan berdasarkan objek pengawasan (dekomisioning instalasi nuklir, dekomisioning reaktor nuklir, dan dekomisioning INNR)
- Dekomisioning adalah suatu kegiatan untuk menghentikan beroperasinya Reaktor Nuklir secara tetap, antara lain, dilakukan pemindahan bahan bakar nuklir dari teras reaktor, pembongkaran komponen reaktor, dekontaminasi, dan pengamanan akhir. Diusulkan, sebaiknya “pemindahan bahan bakar nuklir dari teras reaktor” dikeluarkan dari definisi dekomisioning dan dimasukkan dalam ketentuan “final shutdown” dengan alasan kegiatan ini merupakan salah satu kegiatan “Source Term Reduction” yang dilakukan pada Fase Transisi sebelum pelaksanaan dekomisioning, selain itu untuk menghindari kerancuan dalam menetapkan survei radiasi/radiologi akhir.

PB06
KOMPETENSI DASAR
UNTUK PETUGAS PENGHITUNG TERAS REAKTOR NON DAYA

Imron¹, Ardiyani Eka Patriasari¹, Arif Isnaini³

(1) Direktorat Perizinan Instalasi dan Bahan Nuklir

*(2) Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir
 Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN), Jl. Gajah Mada No. 8 Jakarta 10120*

ABSTRAK

KOMPETENSI DASAR UNTUK PETUGAS PENGHITUNG TERAS REAKTOR NONDAYA. Telah dilakukan kajian tentang kualifikasi dan kompetensi dasar petugas Penghitung Teras Reaktor Non daya. Dalam pasal 6 ayat 1 Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 2 tahun 2014 tentang manajemen teras serta penanganan dan penyimpanan Bahan bakar reaktor nondaya dinyatakan bahwa dalam melaksanakan perhitungan teras reaktor nondaya pemegang izin harus menetapkan petugas yang melakukan perhitungan teras. Tinjauan ini diperlukan sebagai salah satu bahan pertimbangan untuk melengkapi peraturan tersebut yang telah diterbitkan, sehingga dapat memberikan pedoman dalam pelaksanaan sertifikasi petugas instalasi dan bahan nuklir terutama dalam menentukan kompetensi dasar yang harus dimiliki petugas tersebut. Keterbatasan infrastruktur dan kompetensi petugas penghitung teras menjadi salah satu potensi terjadi kecelakaan kekritisan yang dapat menyebabkan kerugian dan menjadi ancaman keselamatan terhadap pekerja dan masyarakat. Instalasi nuklir di Indonesia khususnya untuk reaktor non daya telah memiliki dan menetapkan petugas penghitung teras reaktor non daya, akan tetapi penetapan kompetensi yang terstandarisasi untuk petugas tersebut belum ditetapkan. Adapun kekurangan dalam peraturan tersebut yaitu belum mencantumkan kompetensi dasar dan materi pelatihan yang harus dimiliki petugas penghitung teras reaktor.

Kata kunci: Petugas penghitung teras, perhitungan teras, Kompetensi dasar, Kualifikasi, Pelatihan.

ABSTRACT

BASIC COMPETENCE FOR THE CORE CALCULATION OFFICERS AT RESEARCH REACTOR. Had carried out a review about qualification and competencies of the core calculation officers at Research Reactor. Based on Article 6 paragraph 1 of BAPETEN Chairman Regulation No. 2 Year 2014 on ageing management and fuel handling and storage of fuel at research reactor, which on implementation that's the applicant must be setting core calculations research reactor. This review is needed as a part of consideration material to complete the regulation about core management therefore this regulation will provide guidelines for certification the officer of installation and nuclear material. Lack of infrastructure and competency for the core calculation officers research reactor has potential to critical accidents. Conditions such limitations should be avoided because it will cause harm and be a threat to officer and society. Nuclear installation in Indonesia, especially non-power reactor (research reactor), already have and assign core calculation officers for research reactor, but competency requirements for such officers have not been established. Lack of regulation has not included basic competence and training material that must be have for the core calculation officer.

Keywords: core calculation officers, core calculation, basic competency, qualification, training.

I. PENDAHULUAN

Fasilitas reaktor nondaya mempunyai potensi terjadinya kecelakaan nuklir. Kecelakaan nuklir tersebut disebabkan adanya kesalahan manusia yang mengabaikan prinsip-prinsip keselamatan. Kejadian tersebut akan berdampak kepada petugas di fasilitas (operator) dan masyarakat di lingkungan sekitar. Fasilitas reaktor nondaya memiliki sistem keselamatan yang berfungsi untuk mencegah terjadinya kecelakaan. Hal ini wajar karena pada fasilitas reaktor nondaya terdapat interaksi antara pekerja dan masyarakat yang memiliki probabilitas terjadinya kecelakaan nuklir, dalam hal ini juga sangat ditentukan oleh faktor kualitas peralatan keselamatan, prosedur dan sumber daya manusia. Berdasarkan pada kondisi tersebut maka aspek kepatuhan pekerja terhadap prosedur serta keefektifan prosedur sangat menentukan untuk tingkat keselamatan fasilitas.

Amanah Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 2 tahun 2014 tentang Manajemen Teras serta Penanganan dan Penyimpanan Bahan Bakar Nuklir pada Reaktor Nondaya, yang bertujuan memberikan ketentuan bagi Pemegang Izin untuk memastikan Manajemen Teras serta Penanganan dan Penyimpanan Bahan Bakar Nuklir pada Reaktor Nondaya memenuhi persyaratan keselamatan.^[1] Adapun keselamatan yang harus dipenuhi oleh Pemegang Izin dalam merancang dan menyusun teras reaktor dalam rangka menjamin reaktor beroperasi dengan selamat yaitu harus menetapkan petugas yang melakukan perhitungan teras reaktor. Dalam peraturan tersebut dinyatakan bahwa petugas tersebut harus memiliki kompetensi dan terlatih. Akan tetapi penetapan kompetensi yang terstandardisasi untuk petugas tersebut belum dijelaskan secara rinci, selain itu pendidikan dan pelatihan serta jenis pengujian yang harus dilakukan.

Dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2013 tentang Izin Bekerja Petugas Instalasi dan Bahan Nuklir, belum dijelaskan kompetensi dan silabus pelatihan yang harus dimiliki oleh petugas penghitung teras reaktor.^[2] Padahal jika dibandingkan dengan jenis kualifikasi operator dan supervisor di reaktor non daya, rincian kompetensi telah dijelaskan dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 tahun 2013. Peran petugas penghitung teras reaktor sangatlah penting mengingat kualitas hasil perhitungan adalah bagian dari kualitas teras reaktor yang menjadi level pertama dalam prinsip pertahanan berlapis. Selain itu, keterbatasan infrastruktur dan kompetensi petugas penghitung teras menjadi salah satu potensi terjadi kecelakaan kekritisan yang dapat menyebabkan kerugian dan menjadi ancaman keselamatan terhadap pekerja dan masyarakat.

Dari alasan itu perlu ditetapkan dalam perubahan peraturan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 tahun 2013 tentang Izin Bekerja Petugas

Instalasi Bahan Nuklir agar mencantumkan kualifikasi petugas penghitung teras reaktor nondaya. BAPETEN perlu menetapkan standar kompetensi petugas dan silabus pelatihan tersebut karena kompetensi menawarkan suatu kerangka kerja organisasi yang efektif dan efisien. Dengan dibuatnya standar kompetensi petugas penghitung teras reaktor nondaya maka diharapkan menghasilkan petugas yang berkualifikasi dan memiliki pengetahuan tentang manajemen teras, standar keselamatan, pedoman dan peraturan yang terkait, dan mengenal operasi instalasi. Petugas tersebut akan bertanggung jawab dalam manajemen teras reaktor nondaya.

Selain itu, sampai saat ini BAPETEN belum menetapkan peraturan yang mengatur secara rinci mengenai pelatihan petugas penghitung teras reaktor nondaya. Oleh karena itu dalam makalah ini dirumuskan usulan silabus pelatihan beserta ketentuan kelulusan pelatihan, dan kompetensi dasar yang harus dimiliki oleh petugas penghitung teras reaktor.

II. METODE

Metode penulisan yang digunakan adalah studi literatur dari beberapa buku dan Diktat Kuliah Analisis Nuklir. Materi pengujian yang diusulkan meliputi materi dasar atau teknis dalam bentuk teori dan materi pengujian praktikum yang disesuaikan dengan kondisi fasilitas pemegang izin. Untuk melakukan manajemen teras reaktor pada fasilitas pemegang izin khususnya fasilitas reaktor nondaya telah menggunakan suatu kode tertentu dalam menganalisis kehandalan desain neutronik.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada fasilitas reaktor nondaya, pemegang izin wajib menerapkan manajemen teras reaktor yang telah ditetapkan. Lingkup manajemen teras meliputi langkah-langkah antara lain perhitungan teras, pengisian ulang bahan bakar nuklir, verifikasi karakteristik teras, pemantauan teras, pemastian integritas bahan bakar nuklir; dan penyediaan Bahan Bakar Nuklir dan Komponen Teras.

Kompetensi petugas penghitung teras reaktor antara lain memiliki kemampuan^[3]:

- a. Kemampuan menerapkan pengetahuan matematika, sains, teknik dasar dan teknik nuklir,
- b. Kemampuan merancang sistem, komponen, dan proses nuklir,
- c. Kemampuan mengidentifikasi, merumuskan, dan memecahkan persoalan keteknikan, dan
- d. Kemampuan menggunakan perangkat lunak dan perangkat keras yang diperlukan

Jenis Materi pengujian teori antara lain meliputi^[3]:

- a. Persamaan difusi satu grup untuk reaktor banyak daerah.

- b. Persamaan difusi *multigroup* dan metode penyelesaiannya.
- c. Pengaruh heterogenitas material terhadap parameter persamaan difusi.
- d. Pengertian konsep reaktivitas.
- e. Perubahan reaktivitas.
- f. Kinetika dan dinamika reaktor nuklir.
- g. Deplesi bahan bakar nuklir.
- h. *Codedan software* perhitungan reaktor nuklir.
- i. Metode perhitungan parameter neutronik terkait dengan keselamatan, keamanan dan safeguard nuklir.

Jenis Materi pengujian praktikum akan dipilih salah satu dari jenis perhitungan dengan jenis *code* yang tersedia di fasilitas antara lain perhitungan parameter variasi reaktivitas teras selama 1 (satu) siklus operasi akibat pengaruh fraksi bakar bahan bakar, reaktivitas batang kendali dan posisi batang kendali pada kondisi kritis dan dingin-bersih; reaktivitas lebih teras dan *marginshutdown*; reaktivitas peralatan eksperimen dan material yang diiradiasi; koefisien reaktivitas, misalnya koefisien reaktivitas temperatur dan void; distribusi fluks neutron di dalam Bahan Bakar Nuklir dan Komponen Teras serta distribusi daya dalam Bahan Bakar Nuklir, tingkat fraksi bakar dalam setiap Bahan Bakar Nuklir distribusi fluks neutron secara keseluruhan di dalam teras.^[4]

Pada perhitungan parameter tersebut diterapkan pendekatan bertingkat sesuai dengan desain dan resiko, sehingga diperlukan fleksibilitas dalam mengkaji aspek keselamatan. Untuk mencegah terjadinya kecelakaan jika dilihat dari sisi pekerja fasilitas adalah kemampuan petugas dalam menyusun manajemen teras reaktor. Selain itu, faktor lain yang menentukan dalam pencegahan kecelakaan nuklir akibat kesalahan perhitungan adalah keefektifan manajemen dan kendali administrasi.

Kemampuan petugas penghitungteras reaktor merupakan bagian dari mekanisme yang diberikan dalam rangka pencegahan kecelakaan. Oleh karena itu, dibutuhkan kompetensi petugas penghitung teras di reaktor nondaya yang handal dan terqualifikasi. Kompetensi yang handal dari petugas penghitung teras tersebut dilakukan melalui pelatihan petugas penghitung teras reaktor nondaya, dimana salah satu persyaratan untuk keselamatan fasilitas reaktor nondaya. Calon petugas penghitung teras reaktor nondayaharus lulus dalam mengikuti pelatihan. Dalam makalah ini akan dibahas juga mengenai materi-materi pengujian untuk petugas penghitung teras reaktor nondaya, waktu efektif untuk pelatihan, dan persyaratan yang harus dipenuhi untuk mengikuti pelatihan.

IV.1. Materi Pelatihan

Di dalam materi pelatihan ini menghubungkan prinsip-prinsip fisis dasar, konsep-konsep dan teknik-teknik pemodelan untuk menganalisis dan merancang reaktor nuklir. Materi ini menyiapkan peserta pelatihan untuk dapat menganalisis reaktor nuklir yang termasuk di dalamnya aspek-aspek kinerja, dinamika dan keamanan dan untuk membangun desain baru maupun mengkaji desain-desain yang ada maupun yang diusulkan berdasarkan pemahaman fundamental fisika reaktor. Berikut adalah Judul materi pelatihan untuk mencapai kompetensi^[4].

1. Teori Difusi
Perhitungan kekritisan dengan teori difusi1 kelompok untuk reaktor nuklir homogen 1 daerah.
2. Reaktor banyak daerah
Difusi satu kelompok pada reaktor dua daerah;
Reflector savings
3. Moderasi Neutron
Pengertian letargi, rapat perlambatan, konsep perlambatan tanpa serapan serta penyusunan persamaan Fermi tanpa serapan. Dasar-dasar perhitungan serapan resonansi.
4. Difusi multigrup 1
Teori difusi *multigrup*; solusi analitis problem difusi 2 grup
5. Difusi multigrup 2
Penentuan konstanta grup; Solusi numerik *problem* difusi *multigrup*
6. Reaktor heterogen 1
Spatial self-shielding, faktor rugi termal, faktor penggunaan termal, Perhitungan faktor rugi termal dengan metode difusi dan ABH
7. Reaktor heterogen 2
Perhitungan kementakan lolos resonansi; Parameter multiplikasi reaktor heterogen; Teori difusi untuk batang kendali.
8. Kinetika Titik
Penurunan persamaan kinetika titik dengan neutron kasip; Inhour equation; Periode stabil
9. Operasi reaktor tanpa umpan balik Kondisi subkritis, kritis dan superkritis; Respons terhadap perubahan reaktivitas undak dan linear gayut waktu
10. Umpan balik reaktivitas
Koefisien reaktivitas: FTC, MTC, koefisien tekanan, koefisien void; model umpan balik suhu
11. Peracunan produk fisi
Peracunan xenon dan samarium; racun tidak seragam; osilasi xenon
12. Burnup dan konversi

- Persamaan produksi – destruksi nuklida; efek reaktivitas perubahan komposisi bahan bakar
13. Pengendalian reaktivitas
Controlrod worth; burnable poison; chemical shim
 14. Perhitungan numerik
Pemodelan dan perhitungan tingkat sel menggunakan code standar yang ada di fasilitas.

IV.2. Jenis dan Persyaratan Kualifikasi Petugas Penghitung Teras Reaktor Nondaya

Berdasarkan studi literatur yang dilakukan, adapun BAPETEN perlu menetapkan jenis petugas penghitung teras reaktor non daya serta persyaratannya. Sedangkan, persyaratan petugas untuk permohonan baru dan permohonan perpanjangan berbeda.

Petugas Penghitung Teras Reaktor Nondaya

Dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2013 tentang Izin Bekerja Petugas Instalasi Bahan Nuklir, bahwa setiap permohonan sertifikasi petugas instalasi dan bahan nuklir harus memenuhi persyaratan umum dan persyaratan khusus. Hal ini dapat diterapkan pula dalam penetapan untuk memperoleh sertifikat sebagai petugas penghitung teras reaktor. Selain harus mengikuti pelatihan, petugas juga harus lulus ujian kualifikasi.

Persyaratan umum meliputi:

- a. Formulir permohonan izin bekerja petugas penghitung teras reaktoryang telah diisi;
- b. Salinan bukti identitas diri;
- c. Surat hasil pemeriksaan kesehatan umum;
- d. Salinan sertifikat lulus Pelatihan berdasarkan Kompetensi; dan
- e. Salinan bukti pembayaran biaya permohonan Izin Bekerja.

Persyaratan khusus meliputi :

- a. Paling rendah ijazah Magister bidang nuklir
- b. Surat pernyataan telah magang sebagai petugas penghitung teras reaktor paling singkat 1 (satu) tahun yang ditandatangani pemegang izin.

Dalam hal permohonan perpanjangan (rekualifikasi) sertifikasi petugas penghitung teras reaktor nondaya, Pemegang Izin dapat mengajukan permohonan perpanjangan Izin Bekerja Petugas IBN paling lama 4 (empat) bulan sebelum Izin Bekerja Petugas penghitung teras reaktor non daya berakhir dengan persyaratan sebagai berikut:

- a. formulir permohonan izin yang telah diisi;
- b. salinan bukti identitas diri;
- c. surat hasil pemeriksaan kesehatan umum;
- d. salinan sertifikat lulus Pelatihan penyegaran;

- e. salinan bukti pembayaran biaya permohonan Izin Bekerja; dan
- f. lulus ujian Rekualifikasi.

Pelatihan paling sedikit 1 (satu) kali selama masa berlaku Izin Bekerja. Pelatihan penyegaran dilaksanakan oleh lembaga pelatihan yang telah terakreditasi atau mendapat penunjukan dari badan pengawas. Jika tidak lulus ujian rekualifikasi, maka Petugas tersebut dapat mengikuti ujian ulang rekualifikasi paling banyak 1 (satu) kali. Jika petugas tersebut tidak lulus ujian rekualifikasi maka harus mengikuti Pelatihan sesuai dengan yang dilakukan pada permohonan baru dan ujian kualifikasi yang dilakukan oleh Tim Penguji.

IV.3. Pelatihan Petugas Penghitung Teras Reaktor Nondaya

Adapun usulan dalam pelatihan petugas penghitung teras reaktor berdasarkan studi literatur yang dilakukan bahwa pelatihan tersebut paling kurang memuat 4 (empat) materi pengujian yang mencakup 36 kompetensi, dapat diberikan materi tambahan jika diperlukan. Selain itu, lama waktu pelatihan untuk permohonan baru paling kurang 82 jam, dan untuk permohonan perpanjangan paling kurang 40 jam. Adapun untuk permohonan baru, pelatihan dapat dilakukan melalui metode *coaching* untuk petugas magang yang sudah memenuhi kualifikasi.

Pelatihan harus dilaksanakan oleh lembaga Pelatihan yang telah tersertifikasi oleh lembaga yang terakreditasi, atau oleh lembaga Pelatihan yang ditunjuk oleh Badan pengawas. Penunjukan lembaga Pelatihan berdasarkan pedoman teknis yang diterbitkan oleh Kepala BAPETEN yang memuat sistem manajemen; kompetensi pengajar; fasilitas pelatihan; dan kurikulum, silabus dan bahan ajar.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian di atas maka terdapat beberapa usulan yang disimpulkan dalam hal kualifikasi dan kompetensi dasar untuk petugas Penghitung Teras Reaktor Nondaya adalah sebagai berikut:

1. Kualifikasi untuk Petugas Penghitung Teras Reaktor harus memiliki sertifikasi dari Badan Pengawas.
2. Memenuhi persyaratan umum dan khusus untuk permohonan sertifikasi.
3. Lama waktu pelatihan untuk permohonan baru paling kurang 82 jam, dan untuk permohonan perpanjangan paling kurang 40 jam.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Peraturan Pemerintah Nomor 2 tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir..
- [2]. BAPETEN, 2013, Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2013 tentang Izin Bekerja Petugas Instalasi Bahan Nuklir.
- [3]. Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika Universitas Gajah Mada, 2017, Diktat Kuliah Analisis Reaktor Nuklir,
- [4]. Duderstadt, J.J., Hamilton, L.J., Nuclear Reactor Analysis, John Wiley & Sons, New York, 1976.

PB07
PERHITUNGAN SHUTDOWN MARGIN (ONE STUCK ROD) REAKTOR KARTINI
MENGGUNAKAN PROGRAM KOMPUTER SCALE

Arif Isnaeni

P2STPIBN – BAPETEN, Jl. Gajah Mada No:8 Jakarta Pusat

e-mail: a.isnaeni@bapeten.go.id

ABSTRAK

Reaktor Kartini didesain dengan daya maksimum 250 kilo watt, saat ini reaktor dioperasikan dengan daya maksimum 100 kilo watt. Reaktor ini digunakan untuk keperluan iradiasi, analisis aktivasi neutron (NAA), eksperimen dan latihan personal. Terdapat dua tipe bahan bakar nuklir yang digunakan di dalam reaktor Kartini yaitu tipe 104 dan tipe 204. Saat ini izin penggunaan bahan bakar nuklir yang diberikan oleh BAPETEN berjumlah 77 buah, terdiri dari 73 buah tipe 104 dan 4 buah tipe 204. Bahan bakar nuklir yang berada di teras reaktor 71 buah, terdiri dari 69 buah tipe 104 dan 2 buah tipe 204. Terdapat 4 buah tipe 104 di bulk shielding. Sistem pengendalian reaktivitas dirancang dan dipasang untuk keadaan operasi normal dan shutdown reaktor. Fungsi batang kendali dibagi dalam tiga bagian yaitu batang pengatur (*regulating rod*), batang kompensasi (*shim rod*) dan batang pengaman (*safety rod*) yang masing-masing dilakukan dengan menyisipkan batang dari bahan penyerap neutron kuat pada posisi tertentu di teras reaktor. Dalam rangka perpanjangan izin operasi Reaktor Kartini dilakukan pengkajian mengenai berbagai aspek yang berkaitan dengan keselamatan reaktor. Salah satu aspek yang dikaji adalah aspek neutronik, untuk tahap awal kajian aspek neutronik, dibuat simulasi dengan menggunakan program komputer SCALE. Aplikasi yang digunakan adalah KENO-VI, pemodelan Monte Carlo tiga dimensi (3-D) untuk analisis keselamatan kritikalitas. Library tampang lintang yang digunakan adalah v7-238. Pada penelitian ini penulis hanya akan membahas mengenai shutdown margin *one stuck rod* Reaktor Kartini. Dalam simulasi perhitungan shutdown margin *one stuck rod* digunakan 70 bahan bakar baru (fresh fuel), kondisi ini merupakan kondisi konservatif, Nilai shutdown margin one stuck rod adalah 1.64534 % dk/k. Nilai Shutdown Margin yang diperoleh lebih besar dibandingkan dengan nilai LAK Reaktor kartini sebesar 0,5 % dk/k sehingga reaktor aman untuk dioperasikan.

Kata kunci: Shutdown Margin, one stuck rod, Reaktor Kartini, SCALE

ABSTRACT

Kartini reactor is designed with a maximum power 250 kilo watts, the reactor is operated with a maximum power of 100 kilo watts. This reactor is utilized for irradiation purposes, neutron activation analysis (NAA), experiment and personnel training. There are two types of nuclear fuel used in the Kartini reactor, type 104 and type 204. Currently the nuclear fuel utilization license granted by BAPETEN are 77 pieces, consisting of 73 types 104 and 4 types 204. The 71 pieces of nuclear fuel in the reactor core, consisting of 69 types 104 and 2 pieces 204. There are 4 pieces of type 104 in bulk shielding. The control rod categorizations are divided into three parts: regulating rod, shim rod and safety rod by inserting a rod of strong neutron absorber material at a particular position on the reactor core. Related to operation license renewal of Kartini Reaktor, we conducted assessment of various aspects related to the safety of the reactor. One of the aspects is the neutronic, for the initial phase of the neutronic aspect study, a simulation was performed using SCALE computer code, KENO-VI threedimensional (3-D) Monte Carlo code for nuclear criticality safety analyses, with v7-238 cross-section library. In this study the author will only discuss about the shutdown margin one stuck rod of Kartini Reactor. In this reactivity calculation, we used 70 fresh fuel, this is a conservative condition. The shutdown margin one stuck rod is 1.64534 % dk/k. Shutdown Margin value obtained is greater than the value of Kartini Reactor SAR 0.5% dk / k, the reactor is safe to be operated .

Keywords: Shutdown Margin, one stuck rod, Kartini Reactor, SCALE

PENDAHULUAN

Reaktor Kartini merupakan reaktor tipe kolam terbuka berpendingin dan bermoderator air dengan bahan bakar paduan uranium zirkonium hidrida dengan pengkayaan rendah (*low enriched Uranium*) 20 % [1]. Reaktor didesain dengan daya maksimum 250 kilo Watt. Saat ini reaktor dioperasikan dengan daya maksimum 100 kilo Watt. Reaktor ini digunakan untuk keperluan iradiasi, analisis NAA, eksperimen dan latihan personal. Reaktor Kartini dibangun pada tahun 1974, reaktor ini mulai beroperasi pada Januari 1979.

Reaktor Kartini tersusun atas beberapa komponen peralatan, fasilitas eksperimen dan iradiasi, untuk memperoleh fluks yang optimum teras reaktor didesain berbentuk silinder dan dikelilingi oleh reflektor grafit. Teras reaktor dan reflektor terendam air di dasar tangki reaktor yang juga berbentuk silinder. Air berfungsi sebagai pendingin dan moderator, selain itu air juga berfungsi sebagai perisai radiasi ke arah vertikal [2].

Terdapat dua tipe bahan bakar yang digunakan di dalam reaktor Kartini yaitu tipe 104 dan tipe 204. Saat ini izin penggunaan bahan bakar yang diberikan oleh BAPETEN berjumlah 77 buah, terdiri dari 73 buah tipe 104 dan 4 buah tipe 204. Bahan bakar yang berada di teras reaktor 71 buah, terdiri dari 69 buah tipe 104 dan 2 buah tipe 204. Terdapat 4 buah tipe 104 di bulk shielding [3]. Monitoring reaktivitas diperlukan untuk mencegah akibat-akibat dari suatu penambahan/perubahan reaktivitas yang tidak diharapkan (*unexpected*) [4].

Sebelumnya sudah dilakukan simulasi menggunakan MCNP5. Hasil simulasi menunjukkan bahwa k -eff dari reaktor Kartini dari file input yang disusun adalah $0,99899 \pm 0,00030$. Kondisi ini dicapai dengan menarik batang kendali pengaman 100%, batang kendali kompensasi 65% dan batang kendali pengatur 55% [5].

Dalam rangka perpanjangan izin operasi Reaktor Kartini dilakukan pengkajian mengenai berbagai aspek yang berkaitan dengan keselamatan reaktor. Salah satu aspek yang dikaji adalah aspek neutronik. Untuk tahap awal kajian aspek neutronik, dibuat simulasi konservatif (*fresh fuel*) dengan menggunakan program komputer SCALE. Pada penelitian ini hanya akan dibahas mengenai shutdown margin (*one stuck rod*) Reaktor Kartini.

METODE

Pada penelitian ini digunakan paket program komputer SCALE, Aplikasi yang digunakan adalah KENO-VI, pemodelan Monte Carlo tiga dimensi (3-D) untuk analisis keselamatan kritikalitas. Library tampang lintang yang digunakan adalah v7-238, komponen dari reaktor Kartini yang dimodelkan adalah: elemen bakar (pin bahan bakar), batang kendali, elemen *dummy*, reflektor, kolam reaktor (air).

Name	MX	ROTH	VF	ADEN	Temp(K)	IZA	Fname
u-235	1		0	0.0002567204	300		
u-238	1		0	0.001013911	300		
zr5h8	1	5.305853	1		300		
graphite	2		0	0.08373151	300		
molybdenum	3		1		300		
helium	4		1		300		
ss304	5		1		300		
h2o	6		1		300		
b4c	7	2.4	1		300	5010	19.7775
zirconium	8		1		300		
b4c	9	1.8	1		300		
graphite	9	0.072	1		300		

Gambar 1. Komposisi Material [2] [6]

Keterangan

MX (*mixture*):

1. U-ZrH_{1,7}
2. Reflektor grafit
3. *Molybdenum disc (burnable poisson)*
4. Gas Helium
5. Stainless Steel
6. Air
7. B₄C (Batang kendali kompensasi dan pengatur)
8. *Zirconium rod.*
9. Batang Kendali pengaman (*borated graphite*)

ROTH adalah densitas dalam g/cc

ADEN (*Atomic Density*) dalam satuan [atom/b-cm]

Komposisi material pada Gambar 1 dapat dilihat lebih detail pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Material

MX	Komposisi	Densitas atom (atom/b-cm)	Densitas (gram/cc)
1	U-235	0.0002567204	
	U-238	0.001013911	
	Zr ₅ H ₈		5.305853
2	Grafit	0.08373151	
3	Molybdenum		10.2
4	Helium		1
5	SS-304		7.94
6	H ₂ O		0.9982
7	B ₄ C		2.4
8	Zirconium		6.49
9	B ₄ C		1.8
	Grafit		0.072

Bahan Bakar Nuklir

Terdapat dua tipe bahan bakar yang digunakan di dalam reaktor Kartini yaitu tipe 104 dan tipe 204.

1. Elemen Bakar tipe 104

Bahan bakar yang digunakan adalah U-ZrH_{1,7} dengan pengkayaan 20% berat U-235. Berat rerata U-235 per elemen adalah 38 gram, di dalam batang bahan bakar ditempatkan racun dapat bakar (*burnable poisson*) berbentuk cakram (*disk*) Molybdenum yang dipasang pada ujung bawah bahan bakar aktif. Di bagian atas dan bawah terdapat

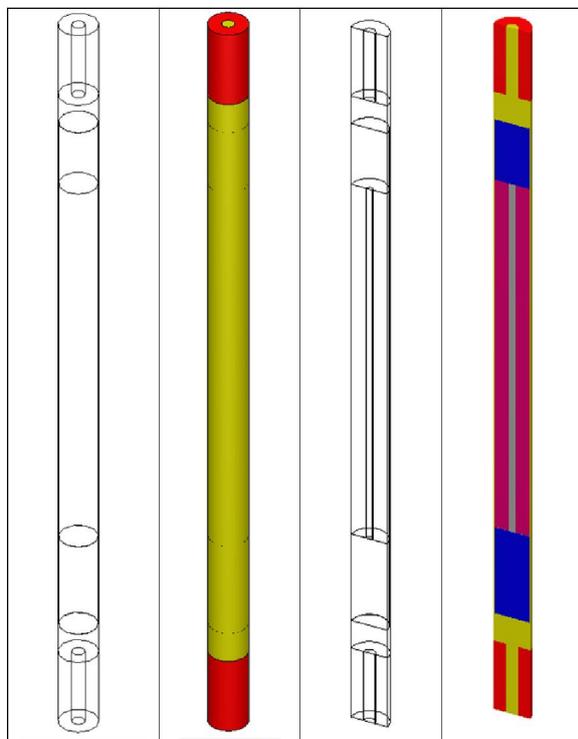
reflektor grafit, terletak di atas dan bawah bahan bakar dengan diameter dan panjang sama.

2. Elemen bakar tipe 204

Elemen bakar 204 dilengkapi dengan 3 termokopel chromel-alumel, terletak pada sumbu dengan jarak masing-masing 2,54 cm, termokopel ke-2 terletak tepat pada titik pusat bahan bakar. Material bahan bakar tipe 204 sama dengan tipe 104, yaitu U-ZrH_{1,7}.

Tabel 2. Spesifikasi elemen bakar [2]

panjang total	73,04 - 75,39 cm
panjang aktif	38,0 cm
panjang grafit	6,5 - 9,5 cm
diameter luar kelongsong	37 mm
diameter luar bahan bakar	35,60 mm
Tebal cakram racun dapat bakar (Mo)	0,127 cm
berat kandungan U-235	38 gram (avg)
material kelongsong	SS-304
tebal kelongsong	0,50 mm
gap bahan bakar kelongsong	0,2 mm
titik leleh kelongsong	1453 °C
densitas UZrH	5,64 gr/cc
komposisi zirkonium hidrida	1: 1,65
densitas Mo	10,2 gr/cc



Gambar 2. Pemodelan Bahan Bakar

Pada Gambar 2 dapat dilihat pemodelan bahan bakar, dari kiri ke kanan:

- Frame pin bahan bakar

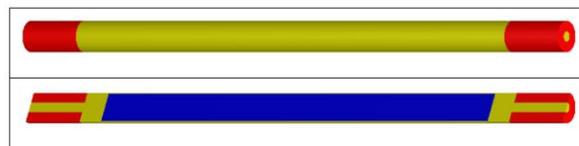
- Pin bahan bakar (tampak luar)
- Frame pin bahan bakar bagian dalam
- Frame pin bahan bakar (tampak dari dalam)

Komponen bahan bakar:

- H₂O: warna merah
- SS-304: warna kuning
- Grafit: warna biru
- U-ZrH_{1,7}: warna ungu
- Zirconium rod: warna perak

Elemen Dummy

Reaktor Kartini mempunyai elemen bakar tiruan (*dummy*) yang ditempatkan pada ring F. Bentuk dan ukuran elemen bakar tiruan sama dengan elemen bakar akan tetapi berisi grafit. Fungsi elemen bakar tiruan ini adalah untuk menaikkan efisiensi neutron di dalam teras (berfungsi sebagai reflektor). Pengisi kolom bahan bakar yang kosong di teras diberikan elemen *dummy* sebanyak 15 batang.



Gambar 3. Pemodelan Elemen Dummy

Pada Gambar 3 dapat dilihat pemodelan elemen *dummy*, dimensi dari elemen *dummy* sama dengan pin bahan bakar (Gambar 2), tetapi bagian dalam elemen *dummy* hanya diisi dengan grafit (warna biru)

Reflektor

Sebuah ring silinder dari grafit dipasang mengelilingi teras reaktor dan berfungsi sebagai reflektor neutron. Dimensi reflektor ini adalah diameter dalam 45,7 cm, tebal radial 30,5 cm dan tinggi 55,9 cm. Seluruh permukaan reflektor dilapisi aluminium untuk perlindungan terhadap air. Seluruh reflektor yang beratnya diperkirakan 770 kg

Batang Kendali

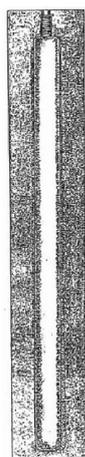
Batang kendali terbuat dari bahan penyerap neutron, berfungsi untuk mengendalikan reaksi berantai di dalam reaktor, sehingga reaktor dapat dioperasikan pada tingkat daya yang diinginkan dan untuk pemadaman operasi (*shutdown*). Reaktivitas (negatif) dari batang kendali didisain selalu lebih besar dari reaktivitas (positif) dari bahan bakar yang berada di dalam teras reaktor [7].

Nilai reaktivitas dari batang kendali selain tergantung dari jenis material yang digunakan, juga tergantung dari beberapa faktor, seperti densitas, bentuk geometri, ukuran serta letak/posisi di dalam teras reaktor [8]

Reaktor dikendalikan dengan tiga buah batang kendali yang merupakan material penyerap neutron, 2 batang kendali terbuat dari Boron Karbida

(B₄C) dan satu batang kendali terbuat dari *borated graphite*. Ketiga batang kendali mempunyai fungsi masing-masing sebagai pengatur, pengaman dan kompensasi.

Sistem pengendalian reaktivitas dirancang dan dipasang untuk keadaan operasi normal dan *shutdown*. Fungsi batang kendali dibagi dalam tiga bagian yaitu batang pengatur (*regulating rod*), batang kompensasi (*shim rod*) dan batang pengaman (*safety rod*) yang masing-masing dilakukan dengan menyisipkan batang dari bahan penyerap neutron kuat pada posisi tertentu di teras reaktor. Posisi tersebut adalah batang pengaman menempati posisi di ring C-5, batang kompensasi menempati posisi ring C-9 dan batang pengatur menempati posisi ring E-1. Batang-batang kompensasi dan pengatur berupa tabung Aluminium berisi serbuk Boron Karbida (B₄C), sedangkan batang pengaman berisi grafit dan boral. Diameter batang kendali masing-masing adalah pengatur 2,2 cm, kompensasi 3,2 cm dan pengaman 2,5 cm dengan panjang masing-masing adalah 51 cm. Konstruksi batang kendali dapat dilihat pada Gambar 4. Batang kendali dalam posisi vertikal.



Gambar 4. Batang Kendali [2].

Kendali reaktivitas dilakukan dengan cara mengatur panjang penyisipan batang kendali di dalam teras. Panjang lintasan penyisipan seluruh batang kendali adalah 38 cm.

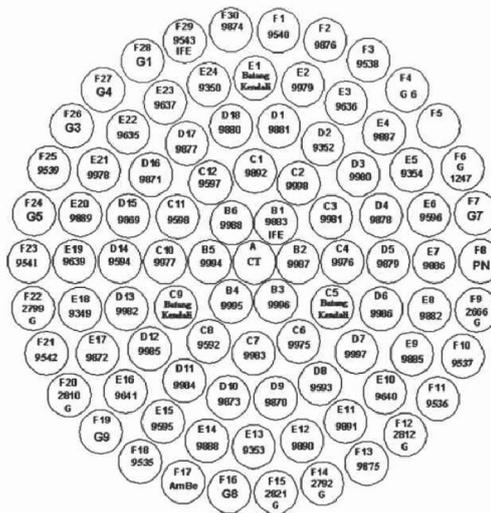
Tabel 3. Data Batang Kendali

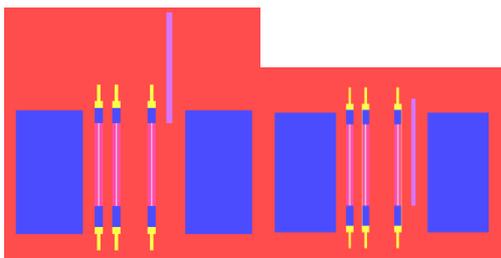
Parameter	Peng-aman	Kompen-sasi	Peng-atu
Posisi di teras	C5	C9	E1
Panjang lintasan	38 cm	38 cm	38 cm
Diameter	2,5 cm	3,2 cm	2,2 cm
Jari-jari	1,25 cm	1,6 cm	1,1 cm
Panjang	50 cm	50 cm	50 cm
Material	<i>Borated graphite</i>	B ₄ C	B ₄ C

Teras Reaktor

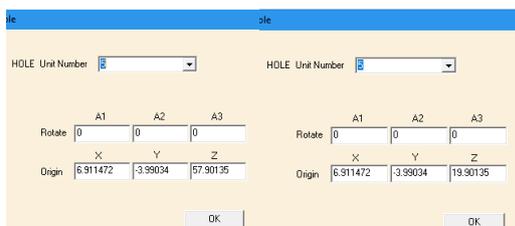
Berikut data desain Reaktor Kartini dari Laporan Analisis Keselamatan (LAK):

- Susunan teras dan reflektor mempunyai diameter 1,09 m dan tinggi 0,58 m.
- Teras dan reflektor terendam air setinggi 4,9 m.
- Bagian terbawah reflektor berada pada ketinggian 0,61 m dari dasar tangki.





Gambar 8. Posisi batang kendali di atas / *fully up* (kiri) dan di bawah / *fully down* (kanan)



Gambar 9. Koordinat batang kendali *fully up* (kiri) dan *fully down* (kanan)

Pada NPG (*Neutron Per Generation*) = 100000 diperoleh hasil sebagai berikut:

- K-eff *fully up* (k_{fu}) = $1,02173 \pm 0,00018$
- K-eff *fully down* (k_{fd}) = $0,96026 \pm 0,00021$

Reaktor super kritis pada saat *fully up* dan sub kritis pada saat *fully down*. Hal ini menunjukkan bahwa 3 batang kendali dapat digunakan untuk memadamkan reaktor.

2. Reaktivitas Lebih

Reaktivitas lebih adalah surplus reaktivitas dari yang dibutuhkan untuk mencapai kekritisian, di dalam teras reaktor (dengan menggunakan bahan bakar ekstra) untuk mengkompensasi fraksi bakar/*burnup* bahan bakar dan akumulasi racun produk fisi selama operasi.

Dalam simulasi perhitungan reaktivitas lebih ini digunakan 70 bahan bakar baru (*fresh fuel*), kondisi ini merupakan kondisi konservatif, dimana nilai reaktivitas lebih dari teras reaktor adalah:

$$\begin{aligned} \square_{\text{excess}} &= (k_{fu} - 1) / k_{fu} \\ &= (1,02173 - 1) / 1,02173 \\ &= 2,13E-02 \text{ dk/k} \end{aligned}$$

3. Shutdown Margin

$\square_{\text{total rods}}$ adalah nilai reaktivitas pada saat seluruh batang kendali dimasukkan kedalam teras (*fully down*).

$$\begin{aligned} \square_{\text{total rods}} &= (k_{fu} - k_{fd}) / (k_{fu} \cdot k_{fd}) \\ &= (1,02173 - 0,96026) / \\ &\quad (1,02173 \times 0,96026) \\ &= 6,27E-02 \text{ dk/k} \end{aligned}$$

Shutdown Margin (SDM) adalah nilai reaktivitas total batang kendali dikurangi nilai reaktivitas lebih [9]:

$$\begin{aligned} \text{SDM} &= \square_{\text{total rods}} - \square_{\text{excess}} \\ &= 6,27E-02 - 2,13E-02 \\ &= 4,14E-02 \text{ dk/k} \\ &= 4,14 \% \text{ dk/k} \end{aligned}$$

4 Shutdown Margin (*one stuck rod*)

Untuk mengetahui nilai dari Shutdown Margin (*one stuck rod*), kita harus mengetahui nilai dari reaktivitas masing-masing batang kendali. Terdapat 3 batang kendali di dalam reaktor Kartini:

Tabel 4. Reaktivitas Batang Kendali

Parameter	Batang Pengaman cr1	Batang Kompensasi cr2	Batang Pengatur cr3
Posisi di teras	C5	C9	E1
Diameter	2,5 cm	3,2 cm	2,2 cm
Material	Grafit dan Boral	B ₄ C	B ₄ C
k_{eff}	k_{cr1}	k_{cr2}	k_{cr3}
	cr1 fully down	cr2 fully down	cr3 fully down
	cr2 dan cr3 fully up	cr1 dan cr3 fully up	cr1 dan cr2 fully up
	1.00191	0.99635	1.01182
\square	\square_{cr1}	\square_{cr2}	\square_{cr3}
	$(k_{fu} - k_{\text{cr1}}) / (k_{fu} \cdot k_{\text{cr1}})$	$(k_{fu} - k_{\text{cr2}}) / (k_{fu} \cdot k_{\text{cr2}})$	$(k_{fu} - k_{\text{cr3}}) / (k_{fu} \cdot k_{\text{cr3}})$
	0.019361491	0.024931221	0.00958593

Batang pengaman (cr2) adalah batang kendali dengan nilai reaktivitas paling besar (0.024931221). Shutdown margin dengan one stuck rod (SDM_{OSR}) adalah Shutdown Margin (SDM) dikurangi dengan nilai reaktivitas batang kendali yang paling besar.

$$\begin{aligned} \text{SDM}_{\text{OSR}} &= \text{SDM} - \square_{\text{cr2}} \\ &= 4.13846E-02 - 0.024931221 \\ &= 1.64534E-02 \\ &= 1.64534 \% \text{ dk/k} \end{aligned}$$

Nilai Shutdown Margin yang diperoleh lebih besar dibandingkan dengan nilai LAK Reaktor kartini sebesar 0,5 % dk/k [10].

KESIMPULAN

Dalam simulasi *shutdown margin (one stuck rod)* menggunakan program SCALE digunakan bahan bakar baru (*fresh fuel*), kondisi ini merupakan kondisi konservatif, kritikalitas pada saat *fully up* adalah $1,02173 \pm 0,00018$. Nilai *shutdown margin* adalah 4,14 % dk/k. Nilai *shutdown margin*

one stuck rod adalah 1.64534 % dk/k. Nilai Shutdown Margin yang diperoleh lebih besar dibandingkan dengan nilai LAK Reaktor kartini sebesar 0,5 % dk/k, sehingga reaktor aman untuk dioperasikan. Sistem pengendalian reaktivitas dirancang dan dipasang untuk keadaan operasi normal dan *shutdown*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Agus Waluyo, ST, MT dan Dwi Cahyadi, ST, M.Eng yang telah membantu penelitian ini menggunakan Program SCALE di Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir - BAPETEN.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rohman B, Widarto (2009), *Kajian Pengaruh Kerapatan Moderator terhadap Reaktivitas Reaktor Kartini*, Prosiding PPI – PDIPTN Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan – BATAN, Yogyakarta.
- [2] Badan Tenaga Nuklir Nasional (2008), *Laporan Analisis Keselamatan Reaktor Kartini Rev.7*. Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan (PTAPB) - BATAN, Yogyakarta.
- [3] Badan Tenaga Nuklir Nasional (2017), *Laporan penggunaan bahan bakar reaktor Kartini*, Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan (PTAPB) - BATAN, Yogyakarta.
- [4] Sardjono Y, Widi Setiawan (2003), *Pengukuran Reaktivitas Batang Kendali Reaktor Kartini dengan DSP-56001 Motorola*, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir P3TM-BATAN, Yogyakarta.
- [5] Fadli O E, Riyatun, Suharyana (2015), *Simulasi Numerik Spektrum Neutron Pada Empat Beamport Reaktor Karini dengan MCNP5 Guna Pemanfaatannya sebagai Saluran Pemandu Berkas Neutron pada BNCT*, Prosiding Pertemuan Ilmiah XXIX HFI Jateng & DIY, Yogyakarta.
- [6] www.rcp.ijs.si/ric/descriptiona.html diakses 15 juni 2017.
- [7] Sutondo T (2010), *Analisis Pengaruh Pengoperasian Terhadap Kemampuan Shutdown Batang Kendali pada Reaktor Kartini*, Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir, Yogyakarta.
- [8] Sutondo T, Nita Yulianti (2006), *Analisis Batas Reaktivitas Sampel Eksperimen pada Reaktor Kartini*, Prosiding PPI – PDIPTN 2006 Pustek Akselerator dan Proses Bahan – BATAN, Yogyakarta.
- [9] [https://ansn.iaea.org/Common/documents/Training/TRIGA%20Reactors%20\(Safety%20and%20Technology\)/chapter2/physics212.htm](https://ansn.iaea.org/Common/documents/Training/TRIGA%20Reactors%20(Safety%20and%20Technology)/chapter2/physics212.htm) di akses 16 Oktober 2017.
- [10] Badan Tenaga Nuklir Nasional (2008), *Laporan Analisis Keselamatan Reaktor Kartini Rev. 7*, Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan (PTAPB)-BATAN, Yogyakarta.

PB08
PERHITUNGAN KRITIKALITAS DALAM RANGKA KAJIAN KONVERSI REAKTOR TRIGA
PELAT BANDUNG MENGGUNAKAN SCALE

Arif Isnaeni

Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir - BAPETEN
Jl. Gajah Mada No:8 Jakarta Pusat
 e-mail: a.isnaeni@bapeten.go.id

ABSTRAK

Indonesia memiliki tiga buah reaktor riset, dua buah reaktor TRIGA dan satu reaktor MTR RSG-GAS. Elemen bakar reaktor tipe TRIGA saat ini menggunakan elemen bahan berbentuk silinder, sedangkan elemen bakar reaktor RSG-GAS berbentuk pelat. Tidak diproduksinya lagi bahan bakar jenis TRIGA oleh General Atomic dan adanya tuntutan untuk tetap beroperasinya reaktor riset Bandung untuk produksi isotop dan melanjutkan penelitian-penelitian sedang dan akan berjalan, dilakukan kajian tentang kemungkinan mengkonversi teras reaktor TRIGA 2000 dari yang menggunakan bahan bakar tipe standard TRIGA buatan General Atomic menjadi bahan bakar tipe pelat yang sudah diproduksi di dalam negeri. Diharapkan desain teras reaktor dirancang oleh bangsa Indonesia, sehingga kemandirian desain teras reaktor dan elemen bakar dapat direalisasikan. Telah dilakukan simulasi kritikalitas menggunakan program SCALE untuk 21 tipe teras reaktor yang berbeda, Aplikasi yang digunakan adalah KENO-VI, pemodelan Monte Carlo tiga dimensi (3-D) untuk analisis keselamatan kritikalitas. Library tampang lintang yang digunakan adalah v7-238.. Pada teras pertama hanya dimasukkan 1 buah elemen bakar, jumlah elemen bakar terus ditambah, hingga pada teras ke-21 terdapat 21 elemen bakar di dalam teras. k-eff meningkat dengan peningkatan jumlah elemen bakar di dalam teras reaktor. Reaktor subkritis ketika terdapat 1 s.d 15 elemen bakar di dalam teras. Reaktor superkritis ketika terdapat 16 s.d 21 elemen bakar. Pada simulasi ini hanya terdapat elemen bakar, perlu adanya elemen kendali atau batang kendali untuk mengendalikan kritikalitas reaktor.

Kata kunci: TRIGA, Bahan bakar, pelat, SCALE.

ABSTRACT

Indonesia has three research reactors, two TRIGA research reactors, and one MTR RSG-GAS reactor. The TRIGA type reactor fuel element currently uses cylindrical fuel elements, while the RSG-GAS reactor fuel elements are plate shaped. Discontinue production of TRIGA fuels by General Atomic and demands for continuous operation of the Bandung research reactor for isotope production and continued current and future research, a study of the possibility of converting TRIGA 2000 reactor core from TRIGA standard fuel type that made by General Atomic to plate fuel type that have been produced in the country. It is expected that the core of the reactor is designed by the Indonesian people, so that the independence of reactor core design and fuel elements can be realized. Critical simulations have been performed using SCALE program for 21 different types of reactor core. KENO-VI three dimensional (3-D) Monte Carlo code was used for nuclear criticality safety analyses, with v7-238 cross-section library There is only 1 fuel element in the first core, the number of fuel elements continue to be added, until in the 21st core there are 21 fuel elements in the core. k-eff increases with increasing amount of fuel element inside reactor core. Reactor subcritical when there are 1 to 15 fuel elements in the core. Reactors supercritical when there are 16 to 21 fuel elements. In this simulation there is only fuel elements, it needs a control element or control rod to control the reactor's criticality.

Keywords: TRIGA, Fuel, plate, SCALE.

PENDAHULUAN

Indonesia mempunyai tiga buah reaktor riset, yaitu dua buah reaktor riset jenis TRIGA di Bandung dengan daya 2 MW dan di Yogyakarta dengan daya 100 kW serta satu reaktor MTR di Puspiptek Serpong berdaya nominal 30 MW. Untuk elemen bakar kedua reaktor tipe TRIGA yang ada saat ini menggunakan elemen bahan berbentuk silinder, sedangkan elemen bakar reaktor RSG-GAS di Serpong berbentuk pelat [1]. Ketiga reaktor ini sudah berusia di atas 25 tahun [2]. Reaktor TRIGA 2000 merupakan reaktor jenis kolam terbuka yang didasarkan pada desain dari General Atomic, USA [3].

Pada usia guna yang mencapai 50 tahun, reaktor TRIGA 2000 menghadapi permasalahan dimana ketersediaan komponen mulai sukar untuk didapatkan bahkan dari produsennya langsung yaitu General Atomic [4].

Ketersediaan elemen bakar merupakan syarat untuk beroperasinya reaktor [5]. Tidak diproduksinya lagi bahan bakar jenis TRIGA MARK II oleh General Atomic dan tuntutan untuk tetap beroperasinya reaktor riset Bandung untuk produksi isotop dan melanjutkan penelitian-penelitian sedang dan akan berjalan, dilakukan kajian tentang kemungkinan mengkonversi teras reaktor TRIGA 2000 dari yang menggunakan bahan bakar tipe standard TRIGA buatan General Atomic menjadi bahan bakar tipe pelat yang sudah diproduksi sendiri di dalam negeri. Diharapkan desain teras reaktor dirancang oleh bangsa Indonesia, sehingga kemandirian desain teras reaktor dan elemen bakar dapat direalisasikan [6].

Bahan bakar reaktor nuklir produksi Indonesia telah dipakai selama bertahun-tahun di RSG-GAS dengan hasil yang sangat memuaskan. Keberhasilan Indonesia dalam penguasaan IPTEK nuklir telah terbukti, di antaranya: memproduksi bahan bakar, memodifikasi reaktor, diikuti pula dengan keberhasilan mengekspor zat radioaktif yang akan dimanfaatkan untuk kedokteran nuklir. Jika daya reaktor makin besar, maka fluks neutron akan makin besar, akhirnya produksi zat radioaktif akan meningkat. Reaktor TRIGA 2000 Bandung mulai beroperasi di tahun 1964 dengan daya 250 kW. Kemudian daya dinaikkan menjadi 1000 kW di tahun 1971. Modifikasi selanjutnya dilakukan untuk menaikkan daya reaktor menjadi 2000 kW pada tahun 2000, yang dimulai dari tahun 1996. Dengan daya yang lebih besar, maka reaktor TRIGA 2000 Bandung makin mampu menjadi cadangan untuk Reaktor Serba Guna GA Siwabessi (RSG-GAS) di Serpong, Tangerang [7]. Pada teras RSG-GAS terdapat 40 elemen bakar dan 8 elemen kendali.

Berbagai aspek perlu dipertimbangkan dalam kajian konversi teras, seperti kajian: kajian neutronik, kajian termohidraulik, kajian *shielding* dan proteksi radiasi, kajian mekanik, kajian

instrumentasi dan kendali. Pada penelitian ini kami hanya akan melakukan kajian neutronik.

Dalam kajian tentang konversi teras reaktor TRIGA 2000, beberapa komponen masih dipertahankan di dalam teras. Komponen-komponen tersebut adalah: tanki reaktor, reflektor (grafit), moderator (air).

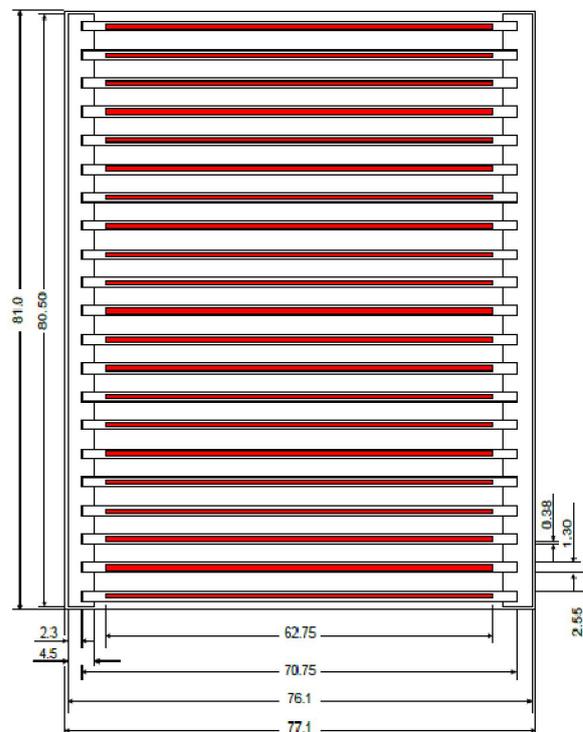
Telah dilakukan simulasi modifikasi reaktor TRIGA 2000 Bandung dengan bahan bakar jenis pelat, menggunakan 20 bahan bakar (16 elemen bakar dan 4 elemen kendali), reaktor kritis pada posisi aksial batang kendali + 27 cm [7].

Telah dilakukan simulasi desain neutronika elemen bakar tipe pelat pada teras TRIGA 2000 Bandung menggunakan MCNPX, teras dapat mencapai kekritisan dengan menggunakan 21 bahan bakar (17 elemen bakar dan 4 elemen kendali) [8].

Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi kritikalitas menggunakan program SCALE untuk 21 tipe teras reaktor yang berbeda. Pada teras pertama hanya dimasukkan 1 buah elemen bakar, jumlah elemen bakar terus ditambah, hingga pada teras ke-21 terdapat 21 elemen bakar di dalam teras.

METODE / METODOLOGI

Tipe bahan bakar pelat produksi Indonesia telah dipakai selama bertahun-tahun di RSG-GAS. Elemen bakar tipe pelat RSG-GAS ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Elemen Bakar RSG-GAS [9]

Tabel 1. Data elemen bakar tipe pelat [5].

Parameter	Nilai
Dimensi elemen bakar (mm)	77,1x81x600
Tebal pelat elemen bakar (mm)	1,3
Lebar kanal pendingin (mm)	2,55
Jumlah pelat tiap elemen bakar	21
Material kelongsong	AlMg ₂
Material pelat sisi (comb)	AlMg ₁
Tebal kelongsong elemen bakar (mm)	0,38
Dimensi meat (mm)	0,54x62,75x600
Material bahan bakar	U ₃ Si ₂ Al
Pengkayaan U-235 (w/o)	19,75
Densitas Uranium dalam bahan bakar (g/cm ³)	2,96
Jumlah U-235 tiap elemen bakar (g)	250

Pada penelitian ini digunakan paket program komputer SCALE, Aplikasi yang digunakan adalah KENO-VI, pemodelan Monte Carlo tiga dimensi (3-D) untuk analisis keselamatan kritikalitas. Library tampang lintang yang digunakan adalah v7-238 dari from ENDF/B-VII, komponen dari reaktor yang dimodelkan adalah: elemen bakar pelat, reflektor, kolam reaktor (air). Komposisi material ditampilkan pada Tabel 2 s.d Tabel 5.

Tabel 2. Komposisi Material *Meat* Bahan Bakar.

Komposisi	Densitas atom (atom/b-cm)
U-235	0.00150022
U-238	0.00601882
Si	0.000501256
Aluminium	0.0430301

Tabel 3. Komposisi Material Kelongsong.

Komposisi	Densitas atom (atom/b-cm)
Mg	0.00136905
Si	1.73381e-005
Cu	1.27716e-005
Mn	8.86361e-005
Fe	0.000116262
Cr	9.36511e-005
Ti	3.39099e-005
Al	0.0579325

Tabel 4. Komposisi Material *Comb*.

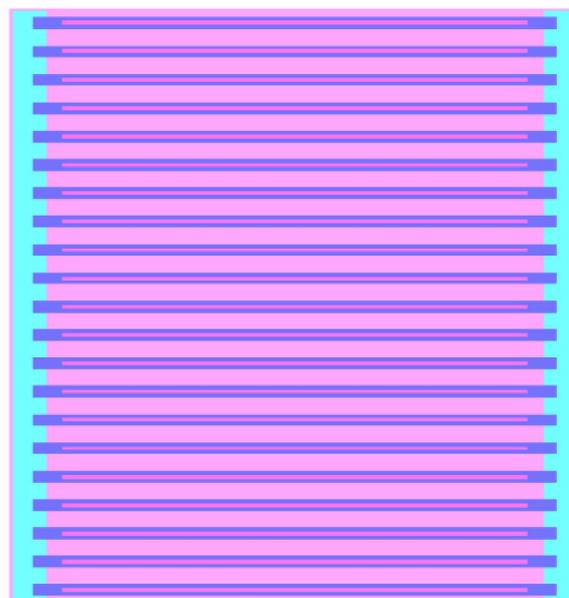
Komposisi	Densitas atom (atom/b-cm)
Mg	0.000603283
Si	5.94587e-005
Cu	0.000179467
Mn	0.000207586
Fe	0.000145868
Cr	4.69996e-005
Ti	3.40359e-005
Al	0.0578006

Tabel 5. Komposisi Material Reflektor dan Moderator.

Komposisi	Densitas atom
Graphite	0.14841 atom/b-cm
H ₂ O	0.9982 gram/cc
Al	2.702 gram/cc

Gambar 2. Pelat Elemen Bakar (*Single Plate*)

Pada Gambar 2 dapat dilihat pemodelan pelat elemen bakar pada program SCALE, bagian tengahnya adalah meat bahan bakar (*pink*), dibungkus oleh material kelongsong (biru).

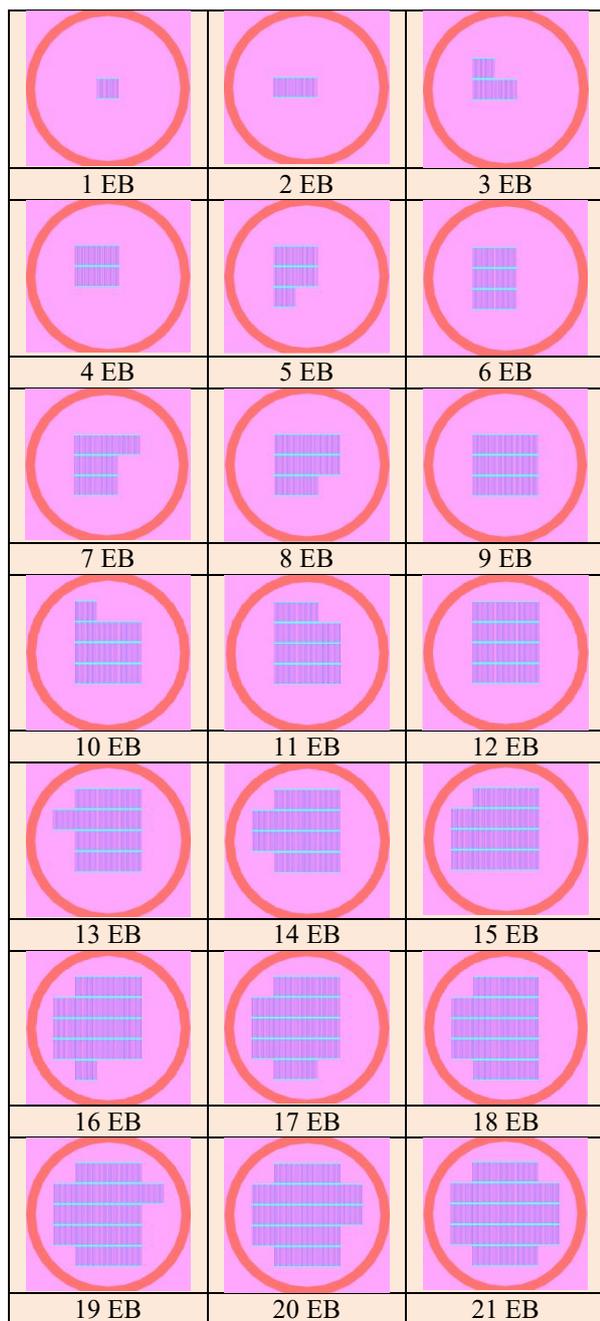


Gambar 3. Elemen Bakar

Pemodelan elemen bakar pada program SCALE dapat dilihat pada Gambar 3, pada satu elemen bakar terdapat 21 pelat elemen bakar. 21 pelat diletakkan di pada *comb* (bagian kiri dan kanan gambar).

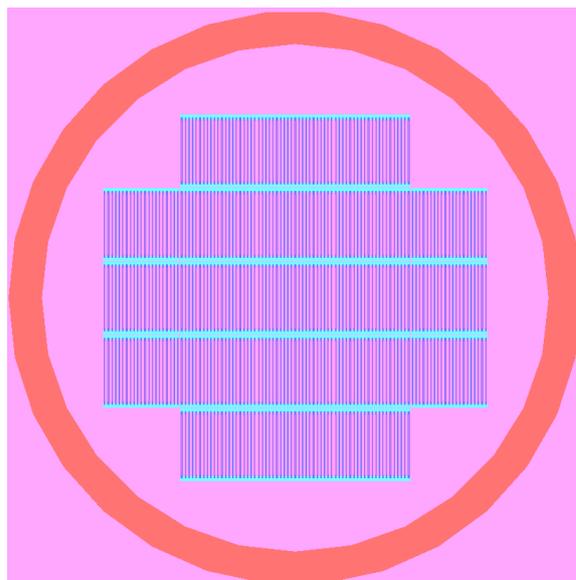
HASIL DAN PEMBAHASAN

Tampilan dari simulasi teras reaktor menggunakan program Scale 6.1 dapat dilihat pada Gambar 4. Dilakukan simulasi untuk 21 tipe teras reaktor. Pada teras pertama hanya dimasukkan 1 buah elemen bakar (EB), pada teras kedua dimasukkan 2 buah elemen bakar (EB), jumlah elemen bakar terus ditambah, hingga pada teras ke-21 terdapat 21 elemen bakar (EB) di dalam teras.

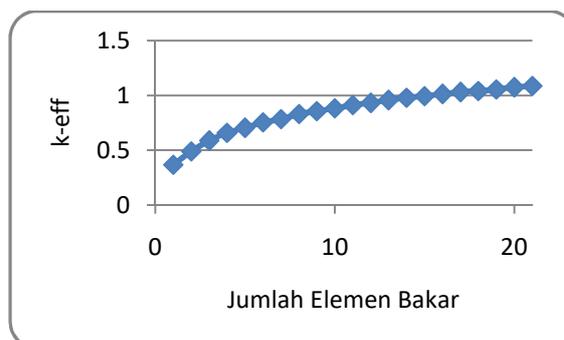


Gambar 4. Teras Reaktor TRIGA Pelat

Elemen bakar diletakkan di tengah teras reaktor, jarak antar elemen bakar adalah 0.25 mm. Jumlah maksimal elemen bakar (EB) yang dapat dimasukkan ke dalam teras adalah 21 elemen bakar. Gambar 5 menampilkan teras reaktor dengan 21 elemen bakar.



Gambar 5. Teras Reaktor dengan 21 Elemen Bakar



Gambar 6. K-eff vs Jumlah Elemen Bakar.

Pada Gambar 6 terlihat bahwa k-eff meningkat dengan peningkatan jumlah elemen bakar di dalam teras reaktor. Reaktor subkritis ketika terdapat 1 s.d 15 elemen bakar di dalam teras. Reaktor superkritis ketika terdapat 16 s.d 21 elemen bakar. Sebagai perbandingan di dalam teras RSG-GAS terdapat 48 bahan bakar, terdiri dari 40 elemen bakar dan 8 elemen kendali.

Pada simulasi ini hanya terdapat elemen bakar, perlu adanya elemen kendali atau batang kendali untuk mengendalikan kritikalitas reaktor.

KESIMPULAN

Telah dilakukan simulasi kritikalitas menggunakan program SCALE untuk 21 tipe teras reaktor yang berbeda. Pada teras pertama hanya dimasukkan 1 buah elemen bakar, jumlah elemen bakar terus ditambah, hingga pada teras ke-21 terdapat 21 elemen bakar di dalam teras. k-eff meningkat dengan peningkatan jumlah elemen bakar di dalam teras reaktor. Reaktor subkritis ketika terdapat 1 s.d 15 elemen bakar di dalam teras. Reaktor superkritis ketika terdapat 16 s.d 21 elemen bakar.

Pada simulasi ini hanya terdapat elemen bakar, perlu adanya elemen kendali atau batang kendali untuk mengendalikan kriticalitas reaktor.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Agus Waluyo, ST, MT dan Dwi Cahyadi, ST, M.Eng yang telah membantu penelitian ini menggunakan Program SCALE di Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir - BAPETEN.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suparlina, L. (2011) Kajian Desain Konfigurasi Teras Reaktor Riset Untuk Persiapan Rancangan Reaktor Riset Baru Di Indonesia”, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah-Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, Yogyakarta.
- [2] Ramadhan, Anwar Ilmar, Aryadi Suwono, Nathanael P. Tandian, Efrizon Umar (2016) Studi Pengembangan Desain Teras Reaktor Nuklir Riset 2 MWth dengan Elemen Bakar Plat di Indonesia, *Dinamika Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, Vol. 7, No. 2.
- [3] Rohman B, P. I. Yazid (2006) Perhitungan Koefisien Reaktivitas Void Reaktor TRIGA 2000, Prosiding PPI – PDIPTN 2006, Pustek Akselerator dan Proses Bahan – BATAN, Yogyakarta.
- [4] Basuki, Prasetyo, A.R. Iso Suwarso, Agus Sunarya, P. Ilham Yazid, Supardjo, Abdul Rojak (2015) Kajian Keselamatan Pengoperasian Reaktor TRIGA 2000 Bandung Dengan Menggunakan Batang Kendali Reaktor TRIGA 2000 Tanpa Bahan Bakar (BKRTTB), *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia* Vol. 16, No 2.
- [5] Sudjatmi K.A., Endiah Puji Hastuti, Surip Widodo, Reinaldy Nazar (2015) Analisis Konveksi Alam Teras Reaktor TRIGA Berbahan Bakar Tipe Pelat Menggunakan COOLOD-N2, *J. Tek. Reaktor. Nukl.* Vol. 17 No. 2.
- [6] Ramadhan, Anwar Ilmar., Aryadi S, Efrizon U, Nathanael P. T (2016) *Preliminary Study for Design Core of Nuclear Research Reactor of TRIGA Bandung using Fuel Element Plate MTR*, ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering.
- [7] Mandala, G. A. (2010) Simulasi Modifikasi Reaktor TRIGA 2000 Bandung Dengan Bahan Bakar Jenis Pelat, Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir, ISSN: 1978-0176, Yogyakarta.
- [8] Basuki, Prasetyo (2014) Putranto Ilham Yazid, Zaki Suud, Desain Neutronika Elemen Bakar Tipe Pelat Pada Teras TRIGA 2000 Bandung, *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia* Vol. 15, No. 2.
- [9] Farhan M , Asad Majid (2008) *Effects of High Desity Dispersion Loading on the Kinetic Parameters of a Low Enrichment Uranium Fueled Material Test Reserch Reactor*, *Annals of Nuclear Energy* 35.

PB09

ANALISIS SPEKTRUM NEUTRON ELEMEN BAKAR TRIGA 2000 DAN RSG – GAS DAN DENGAN SRAC2006

Hidayati Amar, MT.

P2STPIBN - BAPETEN, Jakarta

e-mail: h.amar@bapeten.go.id

ABSTRAK

ANALISIS SPEKTRUM NEUTRON ELEMEN BAKAR TRIGA 2000 DAN RSG – GAS DAN DENGAN SRAC2006. Perhitungan spektrum neutron elemen bakar tipe plat pada Reaktor RSG – GAS dan tipe silinder pada Reaktor TRIGA 2000 telah dilakukan dengan menggunakan paket program computer SRAC2006. Perhitungan ini dilakukan untuk membandingkan karakteristik spektrum neutron elemen bakar dengan tipe yang berbeda. Hasil perhitungan spektrum neutron bahan bakar jenis plat dan silinder kemudian dianalisa. Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa RSG – GAS memiliki spektrum neutron yang lebih tinggi dibandingkan dengan elemen bakar TRIGA. Puncak tertinggi spektrum neutron energi cepat elemen bakar tipe plat RSG - GAS sebesar $2 \text{ n/cm}^2\cdot\text{s}$, sedangkan puncak tertinggi spektrum neutron energi cepat elemen bakar TRIGA sebesar $0,244 \text{ n/cm}^2\cdot\text{s}$. Sedangkan untuk puncak tertinggi spektrum neutron energi termal elemen bakar tipe plat RSG - GAS didapatkan nilai sebesar $1,13 \text{ n/cm}^2\cdot\text{s}$, sedangkan puncak tertinggi spektrum neutron energi thermal elemen bakar TRIGA sebesar $0,12 \text{ n/cm}^2\cdot\text{s}$.

Kata kunci: Spektrum, Neutron, TRIGA 2000, RSG – GAS, SRAC2006

ABSTRACT

ANALYSIS OF NEUTRON SPECTRUM OF TRIGA 2000 AND RSG – GAS FUEL WITH SRAC2006. The calculation of neutron spectrum of plate type fuel element at RSG-GAS reactor and cylindrical type in TRIGA 2000 reactor has been done by using SRAC2006 computer program package. This calculation was performed to compare the characteristics of neutron spectrum of fuel elements with different types. The calculation results of neutron spectrum of fuel plate and cylinder type were analyzed. The calculation results obtained that RSG - GAS has a higher neutron spectrum compared with TRIGA fuel elements. The highest peak of the fast neutron energi spectrum of the RSG - GAS plate type fuel is $2 \text{ n/cm}^2\cdot\text{s}$ and the highest peak of the fast TRIGA fuel neutron energi spectrum is $0.244 \text{ n/cm}^2\cdot\text{s}$. The highest peak of the thermal neutron energi spectrum of the RSG - GAS plate type fuel is $1.13 \text{ n/cm}^2\cdot\text{s}$ and the highest peak of the thermal TRIGA fuel neutron energi spectrum is $0.12 \text{ n/cm}^2\cdot\text{s}$.

Keywords: Spectrum, Neutron, TRIGA 2000, RSG - GAS, SRAC2006

I. PENDAHULUAN

Besaran spektrum neutron dalam perhitungan neutronik menunjukkan interaksi antara bahan dengan neutron, baik jenis maupun besar interaksinya tergantung pada energi neutron. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi spektrum neutron yaitu antara lain: jenis dan komposisi bahan, bentuk dan ukuran sistem serta temperatur[1].

Perhitungan distribusi energi neutron dalam reaktor riset sangat penting untuk mengevaluasi kerusakan akibat radiasi dalam material[2]. Reaktor riset dirancang dan dibangun untuk menyediakan fasilitas iradiasi untuk penelitian, produksi radioisotop dan pengujian material. Indonesia memiliki tiga reaktor riset, satu reaktor dengan jenis MTR (Material Testing Reactor) yaitu RSG – GAS dan dua reaktor dengan jenis TRIGA yaitu TRIGA 2000 Bandung dan TRIGA Kartini. Reaktor ini difungsikan sebagai alat untuk melakukan penelitian dan pendidikan. Dengan mengetahui karakteristik spektrum neutron masing – masing elemen bakar dari reaktor – reaktor tersebut diharapkan penelitian – penelitian yang memerlukan sumber neutron dapat dilakukan dengan optimal.

Metodologi kajian ini adalah dengan cara melakukan pemodelan masing – masing elemen bakar dan kemudian menghitung spektrum neutronnya dengan menggunakan program komputer SRAC2006 dengan modul PIJ dan menggunakan pustaka data nuklir JENDL 3.3. Pemodelan dilakukan pada sel bahan bakar TRIGA Bandung tipe 20 – 20, elemen bakar tersebut mengandung 20 w/o uranium, yang telah diperkaya sampai 20%. Elemen bakar reaktor TRIGA ini berbentuk batang padat, merupakan homogenisasi dari paduan uranium dan zirconium hidrida (UZrH). Dan pemodelan pada elemen bakar RSG – GAS dilakukan pada salah satu plat dari 21 plat elemen bakar. Reaktor RSG – GAS ini memiliki elemen bakar tipe plat dengan material Uranium Oksida (U₃O₈-Al), adalah material elemen bakar yang digunakan saat reaktor RSG – GAS pertama kali dioperasikan.

Tujuan dilakukan kajian ini adalah untuk menghitung spektrumneutron elemen bakar TRIGA 2000 dan RSG - GAS dan menganalisis perbedaan karakteristik dari masing – masing elemen bakar akibat komposisi bahan dan bentuk yang berbeda.

II. METODOLOGI PERHITUNGAN SPEKTRUM NEUTRON BAHAN BAKAR TIPE PLAT DAN TIPE SILINDER DENGAN SRAC 2006

II.1. Deskripsi Umum Computer Code SRAC2006

Sistem SRAC dirancang untuk melakukan perhitungan neutronik untuk berbagai macam tipe reaktor termal. Sistem meliputi produksi *effective microscopic* dan *macroscopic group cross-sections*, dan sel statis dan perhitungan teras termasuk analisis burn-up. Parameter penting yang diperlukan dalam desain reaktor atau analisis eksperimen juga diperlukan. Sistem yang ada saat ini, tidak mencakup masalah untuk transport foton, kinetik dan tidak terkopel dengan termalhidraulik.

Fitur-fitur sistem SRAC sebagai berikut :

- 1 Beberapa library tampang lintang neutron berdasarkan JENDL terbaru, JEFF (JEF) dan file ENDF/B tersedia untuk 300 lebih nuklida.
- 2 Code dengan metode probabilitas tumbukan (PIJ) yang dapat diaplikasikan ke 16 tipe geometri yang mencakup perhitungan sel untuk sebagian besar reaktor-reaktor yang ada.
- 3 Pengguna dapat menyusun skema perhitungannya sendiri dengan memilih dan mengkombinasikan code yang sesuai atau fungsi-fungsi pilihan dalam sistem. Sebagai contoh, variasi code-code transport tersedia untuk perhitungan sel (code PIJ, 1D dan 2D SN). Untuk perhitungan teras, juga tersedia code difusi 1D, 2D dan 3D. Antarmuka (interface) data tampang lintang antara code-code dilakukan secara otomatis.
- 4 Tiga pilihan tersedia untuk perhitungan absorpsi resonansi di dalam rentang energi resonansi yang dominan. Tampang lintang efektif oleh metode konvensional “melihat tabel” didasarkan pada pendekatan resonansi sempit (NR) dapat digantikan dengan pendekatan intermediate resonansi (IR). Metode yang teliti juga disediakan dengan pilihan routine PEACO yang menyelesaikan permasalahan sel dengan banyak region dengan metode probabilitas tumbukan dengan menggunakan struktur grup energi yang hampir kontinyu (hyper-fine) untuk rentang energi resonansi. Interaksi resonansi dapat diberlakukan secara akurat dengan PEACO routine.
- 5 Faktor koreksi Dancoff yang diperlukan pada interpolasi faktor self-shielding resonansi nuklida secara otomatis dihitung dengan routine probabilitas tumbukan yang terinstal. Faktor yang diberikan tidak untuk absorber lump tetapi untuk setiap nuklida konstituen untuk sel yang berisi nuklida resonansi dalam dua atau lebih bahan dengan komposisi yang berbeda.
- 6 Sistem heterogen yang meragukan dapat diselesaikan dengan perhitungan sel successive karena homogenisasi dan collapsing tampang lintang makroskopik dikerjakan secara terpisah. Terutama, absorpsi resonansi dimana efek heterogenitas ganda yang harus diselesaikan secara simultan, dapat

diperlakukan sejauh sel mikroskopis dapat didekati oleh sel 1D.

- 7 Sistem SRAC dapat dieksekusi hampir pada semua komputer dengan OS UNIX atau yang mirip seperti Linux atau FreeBSD. Instalasi sistem ini mudah dilakukan dengan melengkapi perintah instalasi yang mempersiapkan source program yang tepat dan data lain yang diperlukan tergantung pada mesin pengguna[3].

II.2. Spektrum Neutron

Kajian tentang spektrum energi neutron adalah salah satu hal yang penting untuk dipertimbangkan dalam perhitungan neutronik elemen bakar nuklir. Pada reaktor termal pada umumnya spektrum neutron akan memiliki dua puncak, yaitu puncak pada rentang energi cepat dan puncak pada rentang energi termal.

Spektrum energi fluks neutron $\phi(E)$, disingkat sebagai spektrum neutron, adalah besaran yang menyatakan jumlah neutron (per satuan energi) yang berenergi disekitar E dan E+dE. Secara teoritis, neutron di dalam teras reaktor akan memiliki spektrum energi yang sangat luas, dari 0,0253 eV (neutron termal), bahkan lebih kecil lagi, sampai ke energi tinggi sekitar 17 MeV, bahkan lebih besar lagi. Akan tetapi secara umum energi neutron akan terdistribusi atas tiga kelompok besar, yakni termal, menengah dan cepat[1].

Neutron terlahir dengan energi yang cukup tinggi, dan agar dapat berfisi energi neutron perlu diturunkan hingga ke rentang energi termal dengan cara menumbukkan neutron ke atom hidrogen yang ada dalam molekul air. Kerapatan tumbukan antara neutron dengan atom hidrogen dalam air meningkat dengan menurunnya energi[4], sehingga dengan melambatnya neutron cepat karena bertumbukan dengan atom hydrogen akan mengalami 10^6 kali tumbukan per unit energi pada 1 eV. Dengan alasan ini perlunya untuk menuliskan kerapatan tumbukan dalam persamaan dengan variabel yang independen selain energi, yang dituliskan dengan lambang u atau disebut dengan lethargy. Persamaan Lethargy (u) dituliskan pada persamaan 1.

Lethargy (u) didefinisikan sebagai logaritma natural dari rasio energi maksimum yang mungkin dimiliki neutron di dalam reaktor nuklir (E_0) dibandingkan dengan energi neutron (E), maka lethargy adalah ukuran energi neutron. Energi neutron maksimum (E_0) yang diambil adalah 10 MeV.

$$\text{Lethargy} = u = \ln\left(\frac{E_0}{E}\right) \quad (1)$$

Dengan E_0 adalah *arbitrary energy*. Pada umumnya penentuan energi E_0 adalah energi neutron yang paling enerjik yang ada di dalam sistem yang sedang ditinjau. Nilai lethargy menjadi nol untuk neutron dengan energi E_0 dan bertambah dengan meningkatnya energi. Dengan kata lain, penurunan

energi neutron akan membuat neutron semakin *lethargic*.

Dengan menurunkan persamaan (1), maka dapat dihubungkan perubahan dalam energi dan perubahan dalam lethargy sebagai:

$$du = \frac{-dE}{E} \quad (2)$$

Perubahan yang kecil dari Lethargy dapat dituliskan dengan persamaan:

$$\Delta u = U_1 - U_2 = \ln\left(\frac{E_2}{E_1}\right) \quad (3)$$

II.3. Fluks Neutron

Perilaku sebuah reaktor nuklir didapatkan dari distribusi neutron sebagai fungsi ruang, energi dan waktu di dalam sistem. Permasalahan utama teori tentang reaktor nuklir adalah memprediksikan distribusi neutron sebagai fungsi – fungsi yang telah disebut sebelumnya. Secara prinsip, prediksi distribusi neutron dapat dilakukan dengan cara menyelesaikan persamaan transport neutron yang sering disebut dengan persamaan Boltzmann karena kemiripannya dengan persamaan yang didapatkan oleh L. Boltzmann yang berkaitan dengan teori kinetic gas[5].

Neutron – neutron dengan energi yang sama, maka reaksi F yang terkait dengan tampang lintang makroskopik Σ_i dan fluks ϕ dapat dituliskan dengan persamaan:

$$F = \Sigma_i \phi \quad (4)$$

Atau

$$F = \Sigma_i n v \quad (5)$$

Untuk meluaskan hasil persamaan diatas dengan melibatkan neutron yang memiliki distribusi energi. Maka dimisalkan $n(E)$ didefinisikan sebagai kerapatan neutron per unit energi, yaitu $n(E)dE$ adalah jumlah neutron per cm^3 dengan energi antara E dan E+dE. Dari persamaan (5), laju interaksi untuk neutron *monoenergetik* tersebut adalah

$$dF = \Sigma(E) x n(E) dE x v(E) \quad (6)$$

Dengan ketergantungan terhadap energi dituliskan secara eksplisit. Laju interaksi total dituliskan dengan persamaan

$$F = \int_0^\infty \Sigma_t(E) n(E) v(E) dE = \int_0^\infty \Sigma_t(E) \phi(E) dE \quad (7)$$

Dengan $\phi(E) = n(E)v(E)$ (8)

Persamaan (8) disebut *energi-dependent flux* atau fluks per unit energi. Limit pada integral dalam persamaan (7) dituliskan dengan besaran 0 dan ∞ yang mengindikasikan bahwa integrasi dilakukan pada seluruh rentang energi neutron.

Persamaan (7) merujuk ke laju interaksi total (*total interaction rate*). Laju interaksi tertentu dapat ditemukan dari dengan cara yang sama. Sehingga *scattering collision* per cm^3/sec adalah

$$F_s = \int_0^\infty \Sigma_s(E) \phi(E) dE \quad (9)$$

Jumlah neutron yang diserap per cm^3/sec adalah

$$F_a = \int_0^\infty \Sigma_a(E) \phi(E) dE \quad (10)[6]$$

II.4. Deskripsi Elemen Bakar Tipe Silinder pada Reaktor TRIGA 2000 Bandung

Di dalam elemen bakar ini moderator ZrH dicampur secara homogen dengan uranium yang diperkaya dan di bagian tengahnya terdapat batang zirkonium (Zr), sehingga elemen bakar – moderator ini memiliki koefisien reaktivitas temperature negative yang sangat besar, yang akhirnya secara otomatis membatasi daya reaktor pada satu nilai tertentu, ketika terjadi ekskursi daya.

Elemen bakar reaktor TRIGA yang berbentuk batang padat, merupakan homogen dari paduan uranium dan zirconium hidrida. dimana elemen bakar aktif ini mempunyai diameternya 3,75 cm dan 38,1 cm. Ada 3 jenis elemen bakar yang digunakan yaitu tipe 8.5 – 20 (104), 12 – 20 (106) dan 20 – 20 (118). Ketiga elemen bakar tersebut masing – masing mengandung 8.5 w/o, 12 w/o dan 20 w/o uranium, yang telah diperkaya sampai 20%[7]. Jenis elemen bakar yang dimodelkan hanya elemen bakar dengan tipe 20 w/o Uranium yang telah diperkaya sampai 20%.

II.5. Deskripsi Elemen Bakar Tipe Plat pada Reaktor RSG – GAS

Reaktor RSG – GAS saat dioperasikan pertama kali menggunakan elemen bakar *Low Enriched Uranium* jenis Oksida (U_3O_8 -Al) dengan densitas Uranium dalam *meat* sebesar 2,96 g/cm³ dengan pengayaan U235 sebesar 19,75%. Pemodelan dalam analisa ini dilakukan hanya pada satu plat elemen bakar dengan ukuran ketebalan *meat* elemen bakar tiap plat adalah 0,54 mm, lebar *meat* 62,75 mm dan panjang *meat* 600 mm. densitas Uranium di dalam *meat* 2,96 gram/cm³. Ketebalan kelongsong rata –rata 0,38 mm dan bahan yang digunakan sebagai kelongsong adalah AlMg₂. Ukuran plat elemen bakar (*meat* dan kelongsong) adalah tebal plat elemen bakar 1,3 mm, lebar plat 70,75 mm dan panjang plat 625 mm.

II.6. Pemodelan Elemen Bakar TRIGA 2000 Bandung dan RSG – GAS dengan Modul PIJ SRAC2006

Perhitungan spektrum neutron dilakukan dengan memodelkan elemen bakar TRIGA 2000 Bandung dan RSG - GAS sebagai sel yang kemudian dihitung dengan modul PIJ yang ada dalam SRAC2006. Yang dimodelkan dalam perhitungan ini adalah satu elemen bakar TRIGA 2000 dengan tipe 20 w/o U235. Dan untuk elemen bakar RSG – GAS yang dimodelkan adalah satu plat yang terletak di bagian tengah perangkat elemen bakar.

Dari hasil perhitungan ini didapatkan spectrum neutron dari kedua elemen bakar tersebut. Data dari kedua pemodelan tersebut kemudian dibandingkan, untuk kemudian dianalisis perbedaannya. Data kedua spektrum neutron ditampilkan dalam satu grafik.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan dengan menggunakan modul PIJ SARC2006 berupa spektrum neutron yang dihitung pada temperatur 300 Kelvin. Pustaka Data Nuklir (*Nuclear Data Library*) yang digunakan adalah JENDL 3.3. Data nuklir ini mencakup 396 nuklida termasuk nuklida tambahan, *pseudo fission product*, dan lain – lain. Data beberapa nuklida yang tampang lintangnya tidak dievaluasi dalam JENDL 3.3 ditambahkan dari file data nuklir yang lainnya (misalnya isotop Dy). Grup energi 1 sampai 61 adalah termasuk dalam kelompok energi neutron cepat. Sedangkan grup energi 62 sampai 107 adalah kelompok energi neutron termal.

Tabel 1. Perbandingan kerapatan atom tiap elemen bakar

Nuklida	Silinder (TRIGA) (E24 atom/cc)	Plat (RSG - GAS) (E24 atom/cc)
U235	6,58865E-04	1,49779E-03
U238	2,60217E-03	6,00910E-03

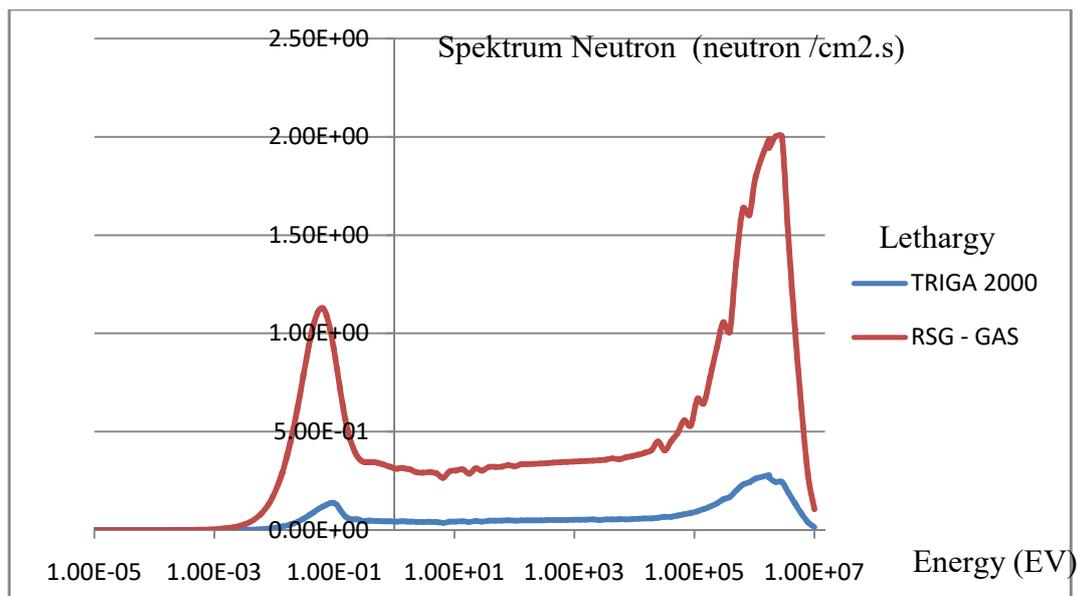
Tabel 1 menunjukkan kerapatan atom U-235 dan U-238 elemen bakar TRIGA 2000 dan RSG – GAS dalam satuan barn (E24 atom/cc). Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa kerapatan atom elemen bakar Reaktor RSG – GAS lebih tinggi dibandingkan dengan elemen bakar TRIGA 2000.

Setelah memodelkan masing – masing elemen bakar dengan memasukkan nilai kerapatan yang didapatkan dari hasil perhitungan. Untuk perhitungan kerapatan atom elemen bakar TRIGA 2000 dapat dilihat pada makalah sebelumnya[8], sedangkan untuk pemodelan dan spesifikasi elemen bakar teras pertama reaktor RSG – GAS dapat lihat pada referensi[9]. Pada referensi tersebut pemodelan dilakukan pada satu perangkat elemen bakar RSG – GAS (satu *fuel assembly*), sedangkan pada makalah ini yang dimodelkan hanya 1 plat saja dan yang terletak di tengah susunan perangkat elemen bakar tersebut. Pemodelan hanya dilakukan pada satu elemen bakar agar didapatkan hasil spektrum energi neutron yang cukup mewakili dari masing – masing elemen bakar. Jika memodelkan keseluruhan teras, maka material – material lainnya selain elemen bakar yang ada didalam teras akan mempengaruhi spektrum energi neutron masing – masing elemen bakar yang akan dianalisa. Dan kendala yang lainnya dengan pemodelan keseluruhan teras, tidak dapat dihitung spektrum neutron pada semua rentang energi. Spektrum energi neutron hanya dapat dihitung dengan membagi keseluruhan rentang energi menjadi beberapa grup energi, sehingga tidak akan didapatkan hasil grafik kontinyu. Seperti yang sudah dibahas pada referensi [1], perhitungan spektrum neutron memang memodelkan

keseluruhan reaktor TRIGA 2000 Bandung, namun tetap dalam proses perhitungannya dilakukan pada tiap ring.

Dalam makalah ini yang dihitung hanya spektrum neutron dari kedua elemen bakar tersebut, sedangkan harga fluks neutron absolutnya tidak dihitung. Spektrum neutron kedua elemen bakar hasil perhitungan dapat dilihat pada gambar 1. Pada gambar tersebut terlihat dua puncak, yaitu puncak energi neutron cepat (*fast neutron*) dan puncak energi neutron thermal (*thermal neutron*). Dua

puncak ini umum dimiliki oleh reaktor – reaktor termal. Jika kedua spektrum neutron tersebut diplot pada gambar yang sama maka akan terlihat perbedaan karakteristiknya. Puncak spektrum neutron dari elemen bakar RSG – GAS jauh lebih tinggi dibandingkan dengan puncak spektrum neutron elemen bakar TRIGA 2000, baik puncak energi neutron cepat maupun puncak energi neutron termal. Hal ini disebabkan karena kerapatan atom dalam tiap elemen bakar memang berbeda.



Gambar 1 Grafik Perbandingan Spektrum Neutron Elemen Bakar TRIGA dan RSG – GAS vs Energi pada seluruh rentang energi neutron

Gambar 1 menunjukkan jika dua spektrum neutron diplot dalam satu gambar grafik untuk melihat sebesar apa perbedaan tinggi puncak baik puncak energi cepat maupun energi thermal. Dari gambar tersebut terlihat bahwa spektrum energi neutron elemen bakar RSG – GAS lebih tinggi dibandingkan dengan elemen bakar TRIGA 2000. Untuk elemen bakar RSG – GAS puncak tertinggi energi cepat (*fast neutron*) sebesar $2 \text{ n/cm}^2\cdot\text{s}$ dan puncak tertinggi energi termalnya sebesar $1,13 \text{ n/cm}^2\cdot\text{s}$. Untuk elemen bakar TRIGA, puncak tertinggi energi cepatnya sebesar $0,244 \text{ n/cm}^2\cdot\text{s}$ dan puncak tertinggi energi termalnya sebesar $0,12 \text{ n/cm}^2\cdot\text{s}$.

Tentang perbedaan bentuk elemen bakar, dalam makalah ini tidak dibahas lebih detail karena yang digunakan dalam inputan hanya volume saja, sehingga bentuk elemen bakar tidak dapat diketahui pengaruhnya terhadap tinggi puncak spektrum neutronnya.

Perbedaan karakteristik spektrum neutron kedua elemen bakar diatas dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam melakukan desain reaktor riset baru atau dalam melakukan modifikasi reaktor riset

yang telah ada, misalnya rencana penggantian elemen bakar Reaktor TRIGA 2000 Bandung dengan elemen bakar tipe plat seperti elemen bakar pada reaktor RSG – GAS. Data ini dapat digunakan untuk mengetahui fluks neutron suatu teras reaktor, misalnya berapa besar fluks neutron yang diperlukan dalam suatu reaktor nuklir untuk proses iradiasi. Atau pertimbangan berapa tebal perisai biologis yang diperlukan agar neutron tidak lolos dari teras reaktor.

IV. KESIMPULAN

Perhitungan dan analisis elemen bakar TRIGA dan RSG – GAS dengan geometri masing – masing elemen bakar yang berbeda, komposisi material yang berbeda, dan kerapatan atom yang berbeda menghasilkan spektrum neutron yang berbeda pula. Dari perhitungan ini dapat disimpulkan bahwa elemen bakar RSG – GAS memiliki spektrum energi neutron yang lebih tinggi dibandingkan dengan spektrum energi neutron elemen bakar TRIGA 2000. Untuk elemen bakar RSG – GAS puncak tertinggi energi cepat (*fast neutron*) sebesar $2 \text{ n/cm}^2\cdot\text{s}$ dan puncak tertinggi

energi termalnya sebesar 1,13 n/cm².s. Untuk elemen bakar TRIGA, puncak tertinggi energi cepatnya sebesar 0,244 n/cm².s dan puncak tertinggi energi termalnya sebesar 0,12 n/cm².s.

Perbedaan karakteristik spektrum neutron kedua elemen bakar diatas dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam melakukan desain reaktor riset baru atau dalam melakukan modifikasi reaktor riset yang telah ada.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan penulis kepada:

1. Dr. Azizul Khakim, sebagai kabit PRND yang telah banyak memberikan saran dan koreksi terhadap karya tulis ini,
2. Bapak Jati Susilo, M.Eng yang telah banyak memberikan masukan tentang pemodelan reaktor riset dengan SRAC2006.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Ilham Yazid, "Perhitungan Spektrum Energi Fluks Neutron Reaktor TRIGA Bandung." *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia*, p. Vol. IV, Edisi Khusus 3, 2003.
- [2] H. Omar, K. Khattab, and N. Ghazi, "Neutron energi spectra calculations in the low power research reactor," *Indian J. Pure Appl. Phys.*, vol. 49, no. November, pp. 723–730, 2011.
- [3] K. Okumura, T. Kugo, K. Kaneko, and K. Tsuchihashi, "SRAC2006: A Comprehensive Neutronics Calculation Code System," *React. Phys. Group, Nucl. Sci. Eng. Dir. JAEA*, p. 309, 2007.
- [4] J. K. Lamarsh, *Introduction to Nuclear Reactor Theory*. Addison - Wesley Publishing Company, 1972.
- [5] G. I. Bell and S. Glasstone, *Nuclear Reactor Theory*. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1970.
- [6] J. J. Duderstadt and L. J. Hamilton, *Nuclear Reactor Analysis*. John Wiley and Sons, Inc., 1976.
- [7] "Laporan Analisis Keselamatan Reaktor TRIGA 2000 Bandung," 2006.
- [8] H. Amar, "Analisis Perhitungan Spektrum Neutron Elemen Bakar TRIGA 2000 Bandung Akibat Perubahan Temperatur," *Pros. SKN*, p. 303, 2017.
- [9] P. Hong and T. Malem, "Annals of Nuclear Energi Benchmarking the new JENDL-4 . 0 library on criticality experiments of a research reactor with oxide LEU (20 w / o) fuel , light water moderator and beryllium reflectors," *Ann. Nucl. Energi*, vol. 44, pp. 58–64, 2012.

PB10
KAJIAN REVISI PERKA NO. 10 TAHUN 2006 TENTANG PEDOMAN PENYUSUNAN LAPORAN
ANALISIS KESELAMATAN INNR

Dedi Hermawan dan Agus Yudhi Pristianto

Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir - BAPETEN
e-mail: d.hermawan@bapeten.go.id

ABSTRAK

Laporan Analisis Keselamatan adalah dokumen yang memuat informasi tentang fasilitas instalasi nuklir, desain, analisis keselamatan dan peralatan untuk mengurangi resiko terhadap masyarakat, personil dan lingkungan. Dokumen ini disusun oleh pemohon izin untuk kemudian diserahkan dan dievaluasi kecukupannya oleh BAPETEN. Khusus untuk Instalasi Nuklir Non Reaktor (INNR), BAPETEN telah mengeluarkan Perka No. 10 Tahun 2006 tentang Pedoman Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan INNR. Meskipun demikian, perka ini telah berusia lebih dari 10 tahun sehingga kemampuserapannya perlu untuk ditinjau ulang. Selain itu perka tersebut juga perlu direvisi agar lebih sesuai dengan perkembangan peraturan dan perundangan terkini baik di Indonesia ataupun dengan rekomendasi internasional. Metode kajian yang digunakan adalah dengan melalui studi pustaka serta diskusi dengan narasumber. Pada makalah ini akan dibahas tentang revisi yang sebaiknya dilakukan terhadap perka BAPETEN no. 10 tahun 2006. Hasil kajian menunjukkan bahwa secara umum, pedoman penyusunan LAK INNR yang akan direvisi diharapkan memiliki format yang lebih ringkas dengan penjelasan lebih mendalam pada berbagai program atau dokumen lainnya. Terkait dengan rekomendasi IAEA *Draft Safety Report "Safety Analysis and Documentation for Nuclear Fuel Cycle Facilities"*, dapat disimpulkan bahwa secara umum seluruh informasi yang diperlukan pada rekomendasi IAEA telah tercakup pada perka 10 tahun 2006. Terkait dengan LAK INNR pada setiap tahapan perizinan, dapat disimpulkan bahwa secara umum tidak diperlukan adanya perbedaan antara LAK INNR pada setiap tahapan perizinan INNR. Perbedaan yang mungkin terjadi adalah pemohon izin memberikan LAK INNR dengan tingkat kedalaman isi LAK INNR yang berbeda pada setiap tahapan perizinan INNR.

Kata kunci: LAK, INNR, Pedoman.

ABSTRACT

Safety Analysis Report (SAR) is a document containing information on nuclear installation, design, safety analysis and equipment to reduce risks to society, personnel and the environment. This document is prepared by the applicant to be submitted and evaluated by BAPETEN. For Non-Reactor Nuclear Installation (INNR), BAPETEN has issued BAPETEN Chairman Regulation No. 10 year 2006 on Preparation Guidelines of Safety Analysis Report for INNR. Nevertheless, this regulation is more than 10 years old and needs to be reviewed for its applicability. In addition, the chairman regulation also needs to be revised to be more in line with the latest regulatory developments in Indonesia or with international recommendations. This research will be based on literature study method and discussion. This paper will discuss revisions that needs to be done related to BAPETEN Chairman Regulation No. 10 year 2006

The results shows that in general, the revised guidelines are expected to have a more concise format with more in-depth explanation on various programs or other documents. Based on IAEA recommendations *Draft Safety Report "Safety Analysis and Documentation for Nuclear Fuel Cycle Facilities"*, it can be concluded that in general all the information required on the IAEA recommendation has been included in BAPETEN Chairman Regulation No. 10 year 2006. In relation to INNR SAR at each stage of licensing, it can be concluded that there is generally no need for differences between INNR SAR at each stage of licensing. The possible difference is that the applicant provides SAR with different level of depth contents at each INNR permit stage.

Keywords: SAR, INNR, Guidelines.

PENDAHULUAN

Laporan Analisis Keselamatan (LAK) adalah dokumen yang memuat informasi tentang fasilitas instalasi nuklir, desain, analisis keselamatan dan peralatan untuk mengurangi resiko terhadap masyarakat, personil dan lingkungan. LAK yang disampaikan pemohon izin juga harus memuat analisis bahaya yang terkait dengan pengoperasian fasilitas dan harus mendemonstrasikan kesesuaian terhadap persyaratan dan kriteria peraturan [1].

Berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) No. 2 tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir, Pasal 59, 60 dan 61 disebutkan pada bahwa LAK INNR merupakan salah satu persyaratan teknis untuk memperoleh izin konstruksi, izin komisioning dan izin operasi [2]. Dokumen LAK disusun oleh pemohon izin untuk kemudian diserahkan dan dievaluasi kecukupannya oleh BAPETEN.

Dalam penjelasan PP 2 tahun 2014 pasal 59 Ayat (1) Huruf a), disebutkan bahwa LAK INNR antara lain memuat:

- a. tujuan keselamatan dan persyaratan desain teknis;
- b. karakteristik Tapak;
- c. sistem operasi dan proses;
- d. sistem bantu;
- e. proteksi radiasi dan proteksi bahan berbahaya dan beracun (B3);
- f. rencana pengelolaan dan pemantauan lingkungan;
- g. pencegahan kekritisasi;
- h. pelaksanaan operasi;
- i. Komisioning;
- j. analisis keselamatan;
- k. batasan dan kondisi operasi;
- l. sistem manajemen;
- m. pengelolaan limbah radioaktif dan pengelolaan limbah B3;
- n. Dekomisioning INNR; dan
- o. program kesiapsiagaan nuklir.

Untuk memberikan ketentuan lebih lanjut serta panduan dalam penyusunan LAK oleh pemohon izin serta evaluasi yang dilakukan BAPETEN, maka BAPETEN mengeluarkan suatu peraturan pelaksanaan. Khusus untuk Instalasi Nuklir Non Reaktor (INNR), BAPETEN telah mengeluarkan Perka No. 10 Tahun 2006 tentang Pedoman Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan INNR. Perka No. 10 tahun 2006 ini menjabarkan format dan isi LAK INNR yang dapat digunakan oleh pemohon izin sebagai panduan dalam penyusunan LAK instalasinya untuk keperluan permohonan izin kepada BAPETEN [3].

Meskipun demikian, perka ini telah berusia lebih dari 10 tahun sehingga kemampuserapannya perlu untuk ditinjau ulang berdasarkan pengalaman dari pemohon izin/pemegang izin dan juga dari

BAPETEN. Selain itu setelah tahun 2006, telah banyak peraturan dan perundangan yang telah diterbitkan baik itu yang terkait INNR ataupun instalasi nuklir secara umum. Oleh karena itu, perlu dilihat kesesuaian antara perka No. 10 tahun 2006 dengan peraturan dan perundangan lainnya untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan atau pembaharuan diantara berbagai peraturan tersebut. Pada tahun 2017, IAEA juga mengeluarkan sebuah dokumen referensi yang membahas langsung tentang LAK untuk INNR pada dokumen IAEA Draft Safety Report “*Safety Analysis and Documentation for Nuclear Fuel Cycle Facilities*”. Dokumen ini dapat digunakan sebagai salah satu referensi dalam meninjau perka No. 10 tahun 2006. Dengan melihat berbagai permasalahan dan perkembangan yang ada tersebut, maka perka BAPETEN No. 10 tahun 2006 ini perlu untuk direvisi agar lebih sesuai dengan perkembangan peraturan dan perundangan terkini baik yang ada di Indonesia ataupun dengan rekomendasi IAEA.

Pada makalah ini akan dipaparkan “Kajian Revisi Perka No. 10 Tahun 2006 tentang Pedoman Penyusunan LAK INNR” yang membahas tentang revisi yang sebaiknya dilakukan terhadap perka no. 10 tahun 2006.

Beberapa pokok bahasan yang dibahas pada makalah ini adalah :

- Format pedoman LAK INNR
- Perbandingan rekomendasi IAEA dengan perka No. 10 tahun 2006
- LAK INNR Berdasarkan Tahapan Perizinan INNR

METODOLOGI

Metode kajian yang digunakan adalah dengan melalui studi pustaka terhadap berbagai dokumen yang terkait dengan LAK INNR serta diskusi dengan narasumber. Selain menggunakan peraturan perundangan yang terdapat di Indonesia, kajian ini diperkaya dengan beberapa referensi dari IAEA antara lain adalah dokumen IAEA Draft Safety Report “*Safety Analysis and Documentation for Nuclear Fuel Cycle Facilities*”.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Peraturan Perundangan Terkait INNR

Perka No. 10 Tahun 2006 tentang Pedoman Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan INNR merupakan salah satu dari sedikit perka terkait INNR yang diterbitkan hingga tahun 2006. Hal ini menyebabkan perka tersebut memiliki format dan isi yang sangat rinci, karena belum terdapat peraturan lain yang mengatur serta melingkupi seluruh aspek permasalahan yang tercakup dalam LAK INNR berikut penjelasannya.

Setelah tahun 2006, telah banyak peraturan perundangan yang diterbitkan baik yang secara khusus mengatur INNR maupun yang berlaku umum

pada instalasi nuklir. Dengan adanya peraturan lain yang memberikan ketentuan rinci terhadap berbagai aspek dalam LAK INNR, maka perka pedoman penyusunan LAK INNR dapat menjadi lebih ringkas.

Perbandingan antara aspek yang termuat dalam LAK dengan Perka BAPETEN yang mengatur aspek tersebut, dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Perbandingan LAK INNR dengan Peraturan Kepala BAPETEN

No.	Bab LAK INNR (PP 2/2014)	Perka BAPETEN terkait
1	tujuan keselamatan dan persyaratan desain teknis	Belum tersedia
2	karakteristik Tapak	Perka BAPETEN terkait tapak Instalasi
3	sistem operasi dan proses	Belum tersedia
4	sistem bantu	Belum tersedia
5	proteksi radiasi dan proteksi bahan berbahaya dan beracun (B3);	Perka BAPETEN No. 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir
6	rencana pengelolaan dan pemantauan lingkungan	Perka BAPETEN No. 3 Tahun 2014 tentang Penyusunan Dokumen AMDAL Bidang Ketenaganukliran
7	pencegahan kekritisasi	Belum tersedia
8	pelaksanaan operasi	Perka BAPETEN No. 7 tahun 2012 tentang Manajemen Penuaan INNR Perka BAPETEN No. 9 tahun 2015 tentang Ketentuan Perawatan INNR
9	Komisioning	Belum tersedia
10	analisis keselamatan	Belum tersedia
11	batasan dan kondisi operasi	Perka BAPETEN No. 4 tahun 2014 tentang Batasan dan Kondisi Operasi INNR
12	sistem manajemen	Perka BAPETEN No. 4 Tahun 2010 tentang Sistem Manajemen Fasilitas dan Kegiatan Pemanfaatan Tenaga Nuklir
13	pengelolaan limbah radioaktif dan pengelolaan limbah B3	Perka BAPETEN No. 8 Tahun 2016 tentang Pengolahan Limbah Radioaktif Tingkat Rendah dan Tingkat Sedang
14	Dekomisioning INNR	Perka BAPETEN No. 6 tahun 2011 tentang Dekomisioning INNR
15	program kesiapsiagaan nuklir	Perka BAPETEN No. 1 Tahun 2010 tentang Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa sebagian besar aspek pada LAK INNR telah memiliki peraturan tersendiri yang membahas setiap pokok bahasan secara rinci. Dengan kondisi seperti ini, maka dimungkinkan untuk meringkas isi dari perka pedoman penyusunan LAK INNR yang baru (revisi), dan selanjutnya mengacu ke perka BAPETEN lainnya.

Selain itu, BAPETEN juga telah menerbitkan perka BAPETEN No. 8 tahun 2012 tentang Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan Reaktor Nondaya yang mengatur tentang pedoman penyusunan LAK untuk Reaktor non daya. Jika diperhatikan lebih dalam, terdapat beberapa bab dalam perka tersebut yang dapat digunakan sebagai salah satu referensi dalam penyusunan LAK INNR [4]. Tentu saja bab yang dapat digunakan sebagai acuan adalah yang bersifat umum bagi instalasi nuklir dan bukan hal spesifik yang hanya dapat diimplementasikan pada reaktor non daya. Penggunaan ini dimungkinkan karena, secara umum perka 8 tahun 2012 lebih ringkas dan secara format telah mengacu pada peraturan reaktor non daya terkait lainnya.

Identifikasi Format LAK INNR

Dari seluruh peraturan perundangan ketenaganukliran yang telah terbit, yang secara spesifik menyebutkan tentang format LAK INNR adalah PP 2 tahun 2014 serta Perka 10 tahun 2006.

Dari kedua peraturan perundangan tersebut, terdapat perbedaan antara isi bab LAK INNR yang diatur dalam PP 2 tahun 2014 (15 Bab) dengan ketentuan dalam Perka 10 tahun 2006 (18 bab).

Meskipun demikian, pada PP 2 tahun 2014, bagian penjelasan pasal 59 ayat (1) huruf a, disebutkan bahwa "Laporan analisis keselamatan antara lain memuat:". Secara hukum, kata antara lain adalah bersifat tidak mengikat namun juga bisa ditambahkan bagian lainnya.

Sedangkan pada bagian batang tubuh perka 10 tahun 2006, disebutkan pada pasal 3 ayat (2) bahwa "LAK sebagaimana dimaksud pada ayat (1) harus memuat paling sedikit informasi mengenai :". Secara hukum, kata memuat paling sedikit juga tidak mengikat, dan bisa ditambahkan bagian lainnya.

Dari beberapa penjelasan diatas, meskipun LAK INNR pada PP 2 tahun 2014 hanya terdapat 15 bab, sebaiknya format LAK INNR yang digunakan adalah tetap sesuai dengan bagian lampiran perka 10 tahun 2006, yaitu sebanyak 18 bab.

Selain dari perbedaan jumlah bab LAK INNR antara PP 2 tahun 2014 dan lampiran perka 10 tahun 2006, terdapat juga beberapa perubahan judul bab diantara keduanya. Perubahan ini merupakan penyesuaian istilah dalam bidang ketenaganukliran dan sebaiknya digunakan istilah yang terdapat pada PP 2 tahun 2014.

Rekomendasi LAK Instalasi Nuklir Non Reaktor

Perka 10 tahun 2006 merupakan pedoman penyusunan LAK INNR yang digunakan oleh pemohon izin dalam menyusun LAK INNR dalam rangka pemenuhan persyaratan perizinan INNR.

Dari hasil diskusi, secara umum dapat disimpulkan bahwa pemohon izin sangat memahami bahwa segala persyaratan dalam LAK INNR diperlukan agar instalasi dapat mengidentifikasi dan menjaga keselamatan dalam pembangunan dan pengoperasian INNR. Hal ini menunjukkan bahwa pedoman penyusunan LAK INNR sangat diperlukan oleh pemohon izin, terlepas dari beberapa kesulitan dalam pemenuhannya.

Secara umum, beberapa perubahan yang dapat teridentifikasi dari kegiatan kajian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- Penyederhanaan format
 - o Format yang diharapkan dari pedoman penyusunan LAK INNR adalah lebih ringkas, mengurangi duplikasi yang terjadi antara bab yang satu dan lainnya, yang selanjutnya dapat menyederhanakan isi LAK apabila telah terdapat dokumen/program pendukung yang lainnya.
- Penyesuaian dengan peraturan terbaru
 - o Pedoman penyusunan LAK INNR yang baru (revisi) seharusnya telah disesuaikan (harmonis) dengan peraturan perundangan terbaru.
- Perubahan kalimat dan redaksional
 - o Kalimat yang digunakan hendaknya menggunakan bahasa yang jelas dan tidak membingungkan (mudah dimengerti).
- Mempertimbangkan standar IAEA sebagai acuan
 - o Standar IAEA dapat digunakan untuk memperkaya pedoman penyusunan LAK INNR

Secara umum, pedoman LAK INNR yang akan direvisi diharapkan memiliki format yang lebih ringkas dengan penjelasan lebih mendalam pada berbagai program atau dokumen lainnya (aspek terkait) yang juga disampaikan oleh pemohon izin ketika mengajukan permohonan izin. Hal ini akan memberikan berbagai keuntungan yaitu :

- Isi pedoman penyusunan LAK INNR menjadi lebih ringkas, dengan rincian mengacu pada peraturan lain yang terkait
 - Isi dari LAK INNR akan menjadi lebih ringkas dengan penjelasan terdapat pada dokumen atau program lain yang terkait
 - Mengurangi kemungkinan terdapatnya perbedaan informasi atau uraian antara isi LAK INNR dan dokumen atau program lain
- Mempermudah tugas evaluator dalam mengevaluasi dokumen perizinan

Hal-hal tersebut diatas sangat dimungkinkan karena berdasarkan PP no. 2 tahun 2014, selain LAK INNR, pemohon izin juga harus menyampaikan berbagai macam program dan dokumen sebagai persyaratan izin. Sebagai contoh adalah pada saat mengajukan permohonan izin komisioning, maka pemohon izin harus juga menyampaikan berbagai program berikut :

- program Komisioning;
- program perawatan;
- program proteksi dan keselamatan radiasi;
- program manajemen penuaan;
- program Dekomisioning INNR;
- program kesiapsiagaan nuklir;

Berbagai program diatas, sesuai dengan amanat peraturan kepala BAPETEN yang terkait, akan tercakup ringkasannya dalam LAK INNR. Meskipun demikian, terkadang ringkasan dalam LAK yang dimaksud akan menyulitkan bagi pemohon izin apabila tidak disebutkan dengan jelas butir-butir yang diperlukan dalam ringkasannya. Oleh sebab itu, perlu dibuat suatu uraian yang tepat terkait dengan ringkasan setiap program yang perlu dicantumkan dalam LAK INNR.

Terdapat beberapa metode penyampaian ringkasan program pada LAK INNR, yaitu diantaranya :

- dalam LAK INNR hanya perlu disebutkan isi subbagian program, dan uraian lengkapnya terdapat pada dokumen program terpisah. Sebagai contoh, program komisioning dalam LAK INNR, pemohon izin hanya perlu menyampaikan bahwa program komisioning INNR terdiri dari :
 - a. jadwal kegiatan;
 - b. struktur organisasi;
 - c. prosedur pengujian;
 - d. jenis pengujian;
 - e. kriteria penerimaan; dan
 - f. dokumentasi dan laporan.

Dan uraian lengkap program komisioning tersebut terdapat pada program komisioning tersendiri. Dengan cara ini, maka tidak akan terdapat pengulangan informasi pada LAK INNR dengan dokumen program yang terkait. Namun demikian, hal ini akan menyebabkan isi dari LAK INNR menjadi tidak memberikan informasi detil tentang program yang terkait.

- dalam LAK INNR diberikan ringkasan program, sedangkan uraian secara lengkap terdapat pada dokumen program terkait. Seperti telah disebutkan sebelumnya, pada perka BAPETEN yang terkait dengan program-program INNR, diamanatkan bahwa ringkasannya dicantumkan dalam LAK INNR. Untuk mengurangi kemungkinan pengulangan informasi yang terdapat pada

LAK INNR dan dokumen program terkait, sebaiknya terdapat uraian yang jelas terkait dengan ruang lingkup ringkasan program yang dimaksud. Apabila ruang lingkup ini tidak jelas, maka pemohon izin dapat memberikan salinan program ke dalam LAK INNR yang menyebabkan pengulangan informasi dan juga menambah beban evaluasi perizinan. Ruang lingkup dari ringkasan program tersebut dapat berupa butir-butir penting dalam program, nilai-nilai atau parameter penting dalam program, ataupun kesimpulan dari program tersebut. Sedangkan uraian lengkap dari ringkasan tersebut seperti cara atau metode penentuan nilai, atau yang lainnya dapat dilihat secara lengkap pada dokumen program yang terkait.

Dari kedua metode penulisan ringkasan program dalam LAK INNR, metode yang kedua memberikan nilai lebih dimana dalam LAK INNR

terdapat uraian ringkas butir-butir penting dalam program, nilai-nilai atau parameter penting dalam program ataupun kesimpulan dalam program sehingga evaluator atau inspektur dapat mengetahui secara umum isi dari program melalui LAK INNR. Meskipun demikian, untuk memutuskan ruang lingkup dari ringkasan setiap program yang ada akan membutuhkan diskusi yang panjang agar butir-butir uraian ringkasan tersebut dapat mewakili isi program yang diacu.

Rekomendasi Internasional *Draft Safety Report "Safety Analysis and Documentation for Nuclear Fuel Cycle Facilities"* terhadap LAK INNR

Secara umum, dokumen IAEA ini membahas tentang analisis keselamatan dan dokumentasi perizinan [5]. Perbandingan antara perka 10 tahun 2006 dengan dokumen rekomendasi IAEA *Draft Safety Report "Safety Analysis and Documentation for Nuclear Fuel Cycle Facilities"* secara umum dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. Perbandingan LAK INNR dengan Draft *Safety Analysis and Documentation For Nuclear Fuel Cycle Facilities*

Bab LAK INNR	Bab pada <i>Safety Analysis and Documentation For Nuclear Fuel Cycle Facilities</i>
Pendahuluan Dan Uraian Singkat Instalasi	
Tujuan Keselamatan Nuklir Dan Persyaratan Desain Teknis	<i>SAFETY OBJECTIVES AND SAFETY FUNCTIONS</i>
Karakteristik Tapak	<i>Characteristics of the site, building and structures</i>
Gedung Dan Struktur	
Sistem Operasi Dan Proses	<i>FACILITY DESCRIPTION</i> <i>Process description</i>
Sistem Bantu Dan Sarana Pendukung	
Program Eksperimen Instalasi Nuklir Nonreaktor	
Proteksi Radiasi Dan Proteksi Bahan Berbahaya Dan Beracun	<i>RADIATION PROTECTION</i>
	<i>INDUSTRIAL SAFETY</i> <i>Chemical safety</i> <i>Fire safety</i> <i>Lifting</i>
Pengkajian Lingkungan	<i>ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMEN</i>
Pencegahan Kekritisasi	<i>NUCLEAR CRITICALITY SAFETY</i>
Pelaksanaan Operasi	<i>CONDUCT OF OPERATIONS</i>
Komisioning	<i>COMMISSIONING</i>
Analisis Keselamatan Nuklir	<i>SAFETY ANALYSIS</i>
Batasan Dan Kondisi Operasi	<i>OPERATIONAL LIMITS AND CONDITIONS (OLCs)</i>
Jaminan Mutu	<i>QUALITY ASSURANCE</i>
Pengelolaan Limbah Radioaktif Dan Bahan Berbahaya & Beracun (B3)	<i>WASTE MANAGEMENT</i>
Dekomisioning	<i>DECOMMISSIONING PLAN</i>
Kesiapsiagaan Nuklir	<i>EMERGENCY PREPAREDNESS AND RESPONSE</i>

Meskipun dalam dokumen tersebut tidak dijelaskan secara rinci dan mendalam tentang LAK INNR, namun rekomendasi IAEA memberikan penjabaran terkait dokumen atau uraian apa saja yang diperlukan dalam menyusun LAK INNR. Hal ini merupakan perkembangan yang sangat baik jika dibandingkan dengan pedoman penyusunan LAK INNR yang menggunakan metode referensi dari reaktor.

Dari sisi format, dapat dilihat bahwa seluruh informasi yang diperlukan pada rekomendasi IAEA telah tercakup pada perka 10 tahun 2006. Meskipun demikian, terdapat perbedaan dimana pada rekomendasi IAEA, terdapat subbab tentang keselamatan industri yang berisi tentang keselamatan kimia, keselamatan terhadap kebakaran dan juga alat angkut. Hal-hal tersebut memang terdapat pada perka 10 tahun 2006, namun tidak

dijelaskan dalam suatu judul bab tersendiri, melainkan merupakan bagian dari bab lainnya pada LAK INNR. Sebagai contoh, untuk bagian keselamatan kimia, telah tercakup pada Bab VIII tentang Proteksi Radiasi dan Proteksi B3, untuk bagian keselamatan terhadap kebakaran telah terdapat pada Bab VI. Sistem Bantu dan Sarana Pendukung serta untuk alat angkut telah terdapat pada bagian Bab IV. Gedung dan Struktur.

Oleh sebab itu dapat disimpulkan bahwa secara umum perka 10 tahun 2006 telah memenuhi rekomendasi IAEA terkait dengan laporan analisis keselamatan INNR.

LAK INNR Berdasarkan Tahapan Perizinan INNR

Seperti yang disampaikan sebelumnya, LAK INNR merupakan salah satu persyaratan teknis yang diajukan oleh pemohon izin dalam rangka pengajuan izin Konstruksi, izin komisioning dan izin operasi. Untuk INNR, hal ini tercantum pada 59 (tahap izin konstruksi), 60 (tahap izin komisioning) dan 61 (tahap izin operasi) PP 2 tahun 2014.

Meskipun demikian, dalam bagian penjelasan tidak terdapat ketentuan yang lebih rinci perihal isi LAK INNR untuk setiap tahapan perizinan tersebut. Dalam bagian penjelasan PP (Pasal 59 Ayat (1) Huruf a) tersebut, hanya disebutkan bahwa LAK INNR pada tahapan perizinan konstruksi antara lain memuat 15 bab. Selain penjelasan tersebut, tidak terdapat penjelasan lainnya pada PP tersebut yang terkait dengan LAK INNR pada tahapan perizinan komisioning dan perizinan operasi. Hal ini dapat menimbulkan pertanyaan apakah LAK INNR pada setiap tahapan

perizinan memiliki format dan isi yang sama ataukah memiliki perbedaan. Oleh sebab itu, pada bagian ini akan diuraikan tentang LAK INNR pada setiap tahapan perizinan

Untuk menentukan apakah LAK INNR seperti yang tercantum pada PP 2 tahun 2014 atau pada perka 10 tahun 2006 berlaku pada setiap tahapan perizinan, maka dilakukan identifikasi untuk melihat kemampuan pemohon izin dalam mengisi bab LAK INNR pada setiap tahapan izin INNR. Selain itu, dalam lampiran PP 2 tahun 2014, telah diberikan daftar rincian persyaratan teknis yang harus disampaikan oleh pemohon izin ketika melakukan permohonan izin yang dapat digunakan sebagai salah satu masukan dalam mengisi bagian LAK INNR.

Dari hasil identifikasi yang dilakukan dalam Laporan Hasil Kajian Revisi Perka No. 10 Tahun 2006 Tentang Pedoman Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan INNR pada tahun 2017 [6], dapat diambil kesimpulan bahwa secara umum tidak diperlukan adanya perbedaan antara LAK INNR pada setiap tahapan perizinan INNR. Perbedaan yang mungkin terjadi ketika praktik perizinan adalah pemohon izin memberikan LAK INNR dengan tingkat kedalaman isi LAK INNR yang berbeda pada setiap tahapan perizinan INNR.

Sebagai salah satu bahan perbandingan, pada dokumen DS449 yang dikeluarkan oleh IAEA tentang *Format and Content of the Safety Analysis Report for Nuclear Power Plants*, terdapat subbagian yang menjabarkan tentang pengembangan LAK reaktor daya berdasarkan tahapan perizinan. Contoh dari hal tersebut dapat dilihat untuk beberapa bab LAK reaktor daya pada tabel 3 berikut:

Tabel 3. Contoh Pengembangan LAK Reaktor Daya Pada Tahapan Perizinan Berdasarkan DS449 [7]

No.	Bab pada Laporan Analisis Keselamatan	Fase Proyek/Tahap-tahap perizinan		
		Izin Tapak (LAK Awal)	Izin Konstruksi (LAK Preliminary)	Komisioning/ Awal operasi (LAK Akhir)
1	Pendahuluan dan Pertimbangan Umum	Berisi mengenai informasi awal	Sudah memberikan informasi akhir	Informasi yang diberikan adalah informasi yang telah terverifikasi atau informasi telah diperbarui
2	Karakteristik Tapak	Sudah memberikan informasi akhir	Informasi yang diberikan adalah informasi yang telah terverifikasi	Informasi yang diberikan adalah informasi yang telah terverifikasi atau informasi telah diperbarui
3	Tujuan keselamatan dan Persyaratan Desain dari Struktur, Sistem dan Komponen.	Informasi berisi persyaratan umum desain	Informasi berisi persyaratan khusus desain terkait dengan tipe reaktor yang akan dibangun	Informasi yang diberikan adalah informasi yang telah terverifikasi atau informasi telah diperbarui
4	Reaktor	Deskripsi dari <i>envelope</i> dan persyaratan umum pada bagian desain atau SSK	Deskripsi dari SSK dan persyaratan pada saat operasi dari sistem	Informasi yang diberikan adalah informasi yang telah terverifikasi atau informasi telah diperbarui
5	Sistem Pendingin Reaktor dan Sistem yang Terkait.	Deskripsi dari <i>envelope</i> dan persyaratan umum pada bagian desain atau SSK	Deskripsi dari SSK dan persyaratan pada saat operasi dari sistem	Informasi yang diberikan adalah informasi yang telah terverifikasi atau informasi telah diperbarui

Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa seluruh bab LAK reaktor daya tidak memiliki perbedaan pada setiap tahapan perizinan reaktor daya. Meskipun demikian, perbedaan yang ada berupa tingkat kedalaman serta deskripsi yang diperlukan pada setiap bab LAK reaktor daya yang semakin rinci atau terverifikasi pada tahapan selanjutnya.

KESIMPULAN

Dari kajian yang telah dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Perka 10/2006 perlu direvisi dengan berbagai pertimbangan.
2. Revisi perka LAK INNR yang dilakukan secara umum dengan usulan berupa:
 - Penyesuaian dengan peraturan perundangan terbaru;
 - Penyederhanaan format;
 - Perubahan kalimat dan redaksional;
 - Mempertimbangkan standar IAEA sebagai referensi.
3. Format LAK INNR sebaiknya mengikuti format LAK yang terdapat pada lampiran perka BAPETEN No. 10 tahun 2006 yang berjumlah 18 bab.
4. Format LAK INNR telah memenuhi rekomendasi IAEA terkait dengan laporan analisis keselamatan INNR.
5. Tidak perlu adanya perbedaan format LAK pada setiap tahapan perizinan INNR.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IAEA Specific Safety Requirements (SSR) – 4 (2017), Safety of Nuclear Fuel Cycle Facilities, Wina
- [2] Peraturan Pemerintah No. 2 tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir Dan Pemanfaatan Bahan Nuklir, Jakarta
- [3] Perka BAPETEN No. 10 tahun 2006 tentang Pedoman Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan Instalasi Nuklir Non Reaktor, Jakarta
- [4] Perka BAPETEN No. 8 tahun 2012 tentang Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan Reaktor Nondaya, Jakarta
- [5] IAEA Draft Safety Report (2016), Safety Analysis and Documentation for Nuclear Fuel Cycle Facilities, Wina
- [6] P2STPIBN-BAPETEN (2017), Laporan Hasil Kajian Revisi Perka No. 10 Tahun 2006 Tentang Pedoman Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan INNR, Jakarta
- [7] IAEA DS449 (2017), Format and Content of the Safety Analysis Report for Nuclear Power Plants, Wina

PB11

PENTINGNYA REVISI TERHADAP PERATURAN KEPALA BAPETEN NO. 10 TAHUN 2006

Catur Febriyanto S.

Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN)

e-mail: c.febriyanto@bapeten.go.id

ABSTRAK

Dengan adanya perkembangan regulasi nasional dan standar internasional terkait substansi keselamatan nuklir, serta adanya umpan balik *stakeholder* dan unit kerja teknis di BAPETEN selama implementasi Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 10 Tahun 2006 tentang Pedoman Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan Instalasi Nuklir Nonreaktor sejak Peraturan Kepala BAPETEN tersebut ditetapkan, maka perlu dilakukan tinjauan substansi baik legal maupun teknis terhadap Peraturan Kepala BAPETEN tersebut. Adapun tujuan dari penulisan ini adalah memberikan gambaran secara umum perlunya merevisi Peraturan Kepala BAPETEN tersebut, sekaligus memberikan masukan terkait substansi-substansi yang perlu dimuat di dalam revisi Peraturan Kepala BAPETEN tersebut. Metode yang digunakan dalam penulisan ini adalah studi komparasi baik terhadap regulasi nasional dan standar internasional, sehingga substansi-substansi yang belum dimuat di dalam Peraturan Kepala BAPETEN tersebut dapat dipertimbangkan dalam revisi Peraturan Kepala BAPETEN tersebut. Hasil yang diperoleh dari studi komparasi tersebut secara umum adalah substansi-substansi yang ada di Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 10 Tahun 2006 sudah tidak sesuai lagi dengan perkembangan regulasi nasional maupun standar internasional terkait substansi keselamatan nuklir. Dari sisi legal, perlu dikembangkan Peraturan Kepala BAPETEN untuk implementasi ketentuan sebagaimana dimaksud dalam peraturan pemerintah. Sedangkan dari sisi substansi teknis, perlu dibuat ketentuan yang lebih umum sehingga dapat diterapkan untuk semua jenis instalasi nuklir, perlu dijelaskan secara eksplisit kegiatan apa saja yang perlu dilakukan dalam pemutakhiran dokumen laporan analisis keselamatan (LAK), dan perlu diharmoniskan antar bab yang saling terkait, dengan peraturan-peraturan yang sudah terbit, maupun dengan dokumen internasional.

Kata kunci: peraturan, instalasi nuklir nonreaktor, keselamatan, laporan analisis keselamatan.

ABSTRACT

The development of national regulations and international standards related to the substances of nuclear safety, as well as the feedback of stakeholders and technical work units in BAPETEN during the implementation of BAPETEN Chairman Regulation Number 10 Year 2006 on Guidelines for Preparation of Safety Analysis Report for Nonreactor Nuclear Installation the regulations since the regulation is established, it is necessary to review on legal substances as well as on technical substances in the BAPETEN Chairman Regulation. The purpose of this paper is to provide a general description of the need to revise the BAPETEN Chairman Regulation, as well as to provide input on the substances that need to be contained in the revision of the BAPETEN Chairman Regulation. The method used in this paper is a comparative study of both national regulation and international standards, so that substances not yet contained in the BAPETEN Chairman Regulation can be considered in the revision of the BAPETEN Chairman Regulation. The result shows that the substances contained in the BAPETEN Chairman Regulation Number 10 Year 2006 is not accordance with the development of national regulations as well as international standards related to the substance of nuclear safety. From legal point of view, it is necessary to develop a BAPETEN Chairman Regulation for implementing provision as stipulated in goverment regulations. From technical point of view, it is necessary to make more general provisions so that it can be applied to all types of nuclear installations, to explain explicitly what activities need to be carried out in updating the safety analysis report (SAR) document, and to be harmonized between the respective chapters, with the rules already issued, as well as with international documents.

Keywords: regulation, nonreactor nuclear installation, safety, safety analysis report.

I. PENDAHULUAN

Pada saat ini Indonesia memiliki empat instalasi nuklir nonreaktor, dimana ketiga instalasi tersebut dimiliki oleh Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) yang mencakup Instalasi Radiometalurgi (IRM) dan Instalasi Elemen Bakar Eksperimental (IEBE) yang berada di Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN), Kanal Hubung Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas (KH-IPSB3) yang berada di Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR). Sedangkan instalasi lainnya adalah Instalasi Produksi Elemen Bakar Reaktor Riset (IPEBRR) yang dimiliki oleh PT. Inuki.

Untuk memastikan keempat instalasi tersebut beroperasi dengan selamat, Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) sebagai lembaga pemerintah yang bertanggung jawab dalam pengawasan ketenaganukliran, menerbitkan berbagai peraturan yang harus dipatuhi oleh pemegang izin, salah satunya yaitu Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 10 Tahun 2006 tentang Pedoman Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan Instalasi Nuklir Nonreaktor. Peraturan Kepala BAPETEN tersebut bertujuan untuk memberikan pedoman bagi para pemohon izin pembangunan dan pengoperasian Instalasi Nuklir Nonreaktor (INNR) untuk menyusun dokumen LAK sebagai salah satu dokumen persyaratan izin.

Laporan Analisis Keselamatan (LAK) dapat bertindak sebagai dokumen komunikasi teknis utama antara BAPETEN dengan pemohon izin. Di dalam LAK, pemohon izin menganalisis instalasi dalam hal potensi bahaya dan sarana yang digunakan untuk melindungi terhadap bahaya tersebut. [1]

Bila dilihat tahun terbitnya peraturan kepala tersebut, maka telah mencapai 12 tahun lamanya. Tentunya hal tersebut banyak sekali berubah selama implementasinya, dari adanya umpan balik dari para pengguna hingga perubahan peraturan yang berada di atasnya.

Umpan balik dari pengguna secara umum adalah keberlakuan ketentuan-ketentuan di dalam bab LAK yang dapat diterapkan untuk INNR secara umum. Sejauh ini pengguna mengalami kesusahan dalam membuat dokumen LAK yang dikarenakan bab mengenai sistem operasi dan proses di dalam peraturan kepala BAPETEN saat ini hanya berlaku untuk jenis INNR tertentu. Padahal, peraturan kepala BAPETEN tersebut harus berlaku untuk semua jenis INNR.

Hingga saat ini sudah diterbitkan dua peraturan pemerintah terkait dengan instalasi nuklir, yaitu Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir, dan Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir. Oleh karena itu, tentunya terdapat perubahan baik dari landasan hukum maupun dari substansi yang akan diatur di dalam peraturan pelaksanaan di bawahnya. Secara hierarki peraturan perundang-

undangan diperlukan peraturan pelaksanaan di bawah peraturan pemerintah guna memberikan efektivitas pelaksanaan dari kedua peraturan pemerintah tersebut di lapangan.

Dengan adanya umpan balik dari pengguna dan terbitnya peraturan perundang-undangan yang baru tersebut, maka dirasa perlu untuk meninjau kembali Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 10 Tahun 2006 tentang Pedoman Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan Instalasi Nuklir Nonreaktor. Umpan balik dari pengguna merupakan hal penting, karena dari umpan balik tersebut terdapat substansi yang tidak mudah diterapkan karena substansi tersebut hanya relevan untuk instalasi nuklir nonreaktor lainnya. Dengan adanya peraturan perundang-undangan yang baru yang telah terbit, tentunya harus disesuaikan dengan peraturan yang di atasnya. Di lain pihak dengan peraturan yang setingkat, dalam hal ini peraturan kepala BAPETEN lainnya, diharapkan tidak terjadi perbedaan ataupun tumpang tindih terkait substansi.

Dengan ada perkembangan ketentuan internasional terkait dengan keselamatan nuklir selama pembangunan dan pengoperasian instalasi nuklir nonreaktor, tentunya dapat dijadikan sebagai dasar dalam melakukan tinjauan terhadap Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 10 Tahun 2006 tentang Pedoman Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan Instalasi Nuklir Nonreaktor. Karena di dalam ketentuan internasional, banyak pengalaman-pengalaman dari negara-negara lain yang telah mengoperasikan instalasi nuklir nonreaktor dijadikan dasar sebagai ketentuan teknis keselamatan nuklir.

Dari uraian di atas, maka dirasa perlu melakukan tinjauan terhadap Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 10 Tahun 2006 tentang Pedoman Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan Instalasi Nuklir Nonreaktor melalui umpan balik dari pengguna, sehingga diharapkan nantinya revisi peraturan kepala BAPETEN ini mampu terap di lapangan dan berlaku untuk semua jenis INNR. Metode lainnya adalah identifikasi kesesuaian dengan peraturan baik di atasnya maupun yang setingkat dan tidak menutup kemungkinan dengan ketentuan internasional yang berlaku.

Tujuan dari penulisan ini adalah memberikan gambaran secara umum alasan perlunya merevisi peraturan kepala BAPETEN tersebut melalui penyesuaian peraturan perundang-undangan yang berlaku dan dokumen internasional yang relevan, sekaligus memberikan masukan terkait substansi yang akan dimuat secara umum.

II. LANDASAN TEORI

II.1. Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir

Di dalam Pasal 27, pemegang izin selama pelaksanaan operasi instalasi nuklir, wajib

memperoleh persetujuan Kepala BAPETEN apabila akan melakukan utilisasi yang tidak tercantum dalam laporan analisis keselamatan, mempengaruhi keselamatan instalasi nuklir, dan mengubah batasan dan kondisi operasi. Untuk memperoleh persetujuan tersebut, pemegang izin harus melakukan analisis keselamatan.

Selama tahap komisioning dan operasi instalasi nuklir, pemegang izin dapat melaksanakan modifikasi yang sebagai contoh untuk meningkatkan keselamatan instalasi nuklir, dan memenuhi peraturan perundang-undangan. Pemegang izin yang akan melaksanakan modifikasi wajib memperoleh persetujuan Kepala BAPETEN apabila modifikasi menyebabkan perubahan batasan dan kondisi operasi, memengaruhi struktur, sistem dan komponen yang penting untuk keselamatan, atau menimbulkan bahaya yang sifatnya berbeda atau kemungkinan terjadinya lebih besar dari yang dianalisis dalam laporan analisis keselamatan. Ketentuan mengenai modifikasi diatur di dalam Pasal 30.

II.2. Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir

Apabila sudah diterbitkan izin tapak, maka pemegang izin tapak harus memperoleh persetujuan desain dari Kepala BAPETEN sebelum mengajukan permohonan izin konstruksi. Untuk memperoleh persetujuan desain harus diajukan permohonan secara tertulis kepada Kepala BAPETEN dan dilampirkan dokumen yang salah satunya LAK. Ketentuan persetujuan desain diatur di dalam Pasal 70.

Sedangkan di dalam Paragraf 3 terkait dengan persyaratan teknis, di dalam Pasal 59 disebutkan bahwa untuk memperoleh izin konstruksi harus dilampirkan dokumen LAK. Apabila dalam pelaksanaan konstruksi selama masa berlakunya izin konstruksi, pemegang izin dapat mengajukan perubahan desain dengan mengajukan permohonan secara tertulis kepada Kepala BAPETEN disertai dokumen LAK. Ketentuan perubahan desain diatur di dalam Pasal 76.

Setelah konstruksi instalasi nuklir selesai, untuk memastikan bahwa struktur, sistem dan komponen terpasang yang dioperasikan dengan bahan nuklir memenuhi persyaratan dan kriteria desain, maka pemohon izin harus memperoleh izin komisioning dengan melampirkan dokumen LAK sebelum melakukan komisioning. Ketentuan komisioning diatur di dalam Pasal 60.

Dengan terpenuhinya persyaratan dan kriteria desain pada tahap komisioning, maka izin berikutnya adalah izin operasi. Untuk memperoleh izin operasi, pemohon izin harus memenuhi persyaratan teknis yang salah satunya adalah melampirkan dokumen LAK. Ketentuan tersebut diatur di dalam Pasal 61. Izin operasi INNR selain

instalasi penyimpanan lestari untuk bahan bakar nuklir bekas berlaku untuk jangka waktu paling lama sepuluh tahun sejak tanggal diterbitkan, sehingga pemegang izin harus mengajukan permohonan perpanjangan izin operasi kepada Kepala BAPETEN apabila bermaksud memperpanjang izin operasi secara tertulis dalam jangka waktu paling singkat tiga tahun sebelum berakhirnya izin operasi dengan melampirkan dokumen LAK. Ketentuan tersebut diatur di dalam Pasal 98.

Di dalam penjelasan Pasal 59 disebutkan bahwa LAK antara lain memuat:

1. tujuan keselamatan dan persyaratan desain teknis;
2. karakteristik tapak;
3. sistem operasi dan proses;
4. sistem bantu;
5. proteksi radiasi dan proteksi bahan berbahaya dan beracun (B3);
6. rencana pengelolaan dan pemantauan lingkungan;
7. pencegahan kekritisasi;
8. pelaksanaan operasi;
9. komisioning;
10. analisis keselamatan;
11. batasan dan kondisi operasi;
12. sistem manajemen;
13. pengelolaan limbah radioaktif dan pengelolaan limbah B3;
14. dekomisioning INNR; dan
15. program kesiapsiagaan nuklir.

II.3. Peraturan Kepala BAPETEN yang Terkait

Setelah diundangkannya peraturan ini, hingga saat ini telah diterbitkan peraturan lain yang terkait dengan penyusunan LAK, baik yang belum direvisi maupun yang sudah direvisi, seperti:

- Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 11 Tahun 2007 tentang Ketentuan Keselamatan Instalasi Nuklir Non Reaktor;
- Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 1 Tahun 2010 tentang Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir;
- Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2010 tentang Sistem Manajemen Fasilitas dan Kegiatan Pemanfaatan Tenaga Nuklir;
- Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2011 tentang Dekomisioning Instalasi Nuklir Nonreaktor;
- Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 7 Tahun 2012 tentang Manajemen Penuaan Instalasi Nuklir Nonreaktor;
- Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir;
- Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 7 Tahun 2013 tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan;

- Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2013 tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Kegempaan;
- Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 3 Tahun 2014 tentang Penyusunan Dokumen Analisis Mengenai Dampak Lingkungan Bidang Ketenaganukliran;
- Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2014 tentang Batasan dan Kondisi Operasi Instalasi Nuklir Nonreaktor;
- Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 6 Tahun 2014 tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Meteorologi dan Hidrologi;
- Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 5 Tahun 2015 tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Kegunungapian; dan
- Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 9 Tahun 2015 tentang Ketentuan Perawatan Instalasi Nuklir Nonreaktor.

Peraturan-peraturan di atas merupakan pedoman dalam memenuhi persyaratan keselamatan sesuai dengan ketentuan yang lebih spesifik terkait topik terkait.

Sedangkan di dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 10 Tahun 2006 tentang Pedoman Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan Instalasi Nuklir Nonreaktor disebutkan bab-bab di dokumen LAK yang mencakup:

1. pendahuluan dan uraian singkat instalasi;
2. tujuan keselamatan nuklir dan persyaratan desain teknis;
3. karakteristik tapak;
4. gedung dan struktur;
5. sistem operasi dan proses;
6. sistem bantu dan sarana pendukung;
7. program eksperimen instalasi nuklir nonreaktor;
8. proteksi radiasi dan proteksi bahan berbahaya dan beracun;
9. pengkajian lingkungan;
10. pencegahan kekritisan;
11. pelaksanaan operasi;
12. komisioning;
13. batasan dan kondisi operasi;
14. jaminan mutu;
15. pengelolaan limbah radioaktif dan bahan berbahaya dan beracun (b3);
16. dekomisioning; dan
17. kesiapsiagaan nuklir.

II.4. Perkembangan Standar Keselamatan Internasional

Sejauh ini, standar keselamatan internasional terkait dengan pedoman penyusunan LAK INNRR di negara lain sangatlah spesifik untuk INNRR tertentu. Sebagai contoh digunakan dokumen *Regulatory Guide 3.48* mengenai “*Standard Format and Content for Safety Analysis Report for An Independent Spent Fue Storage Installation or*

Monitored Retrievable Storage Installation (Dry Storage)” dari USNRC. [1]

Sedangkan draft publikasi *safety report* mengenai “*Safety Analysis and Documentation for Nuclear Fuel Cycle Facilities*” yang disiapkan oleh IAEA mencakup proses analisis keselamatan untuk fasilitas daur bahan bakar nuklir. Publikasi tersebut fokus pada analisis terhadap satu fasilitas, namun untuk tapak dengan banyak fasilitas analisis dilakukan secara keseluruhan dengan memperhatikan kemungkinan interaksi dengan fasilitas lainnya di tapak. Analisis tersebut harus memberikann informasi keselamatan tapak secara keseluruhan. Sebagai contoh, apabila di dalam tapak terdapat fasilitas kecil dapat dianalisis sebagai bagian dari gabungan fasilitas lain yang terhubung. [2]

Di dalam Peraturan Kepala BAPETEN No. 10 Tahun 2006 di bab terkait pencegahan kekritisa, perlu diuraikan lebih lanjut sebagaimana uraian di dalam dokumen IAEA *Criticality Safety in the Handling of Fissile Material (SSG-27)*. Di dalam dokumen tersebut diuraikan pedoman mengenai pencegahan reaksi nuklir berantai dan meminimalan konsekuensi bila hal tersebut terjadi terhadap penanganan bahan fisil untuk menjamin kesubkritisan dalam suatu sistem yang melibatkan bahan fisik selama operasi normal, kejadian operasi terantisipasi dan kecelakaan dasar desain selama komisioning, operasi hingga dekomisioning.

Dalam adopsi standar internasional tersebut tentunya perlu disesuaikan dengan ketentuan-ketentuan yang ada di peraturan terkait keselamatan nuklir nasional.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan uraian di atas melalui studi komparasi maka sangatlah perlu untuk dilakukan revisi terhadap Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 10 Tahun 2006. Adapaun urgensi untuk dilakukan revisi yang pertama adalah dengan telah diterbitkannya Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 maka dengan demikian Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 3 Tahun 2006 tentang Perizinan Instalasi Nuklir NonReaktor secara otomatis tidak berlaku lagi. Disamping itu pula, berdasarkan pertimbangan sebagaimana dimaksud dalam huruf a dan huruf b, serta untuk melaksanakan ketentuan Pasal 27 ayat (1) dan Pasal 30 ayat (3) Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir, perlu ditetapkan Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir tentang Pedoman Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan Instalasi Nuklir Nonreaktor. Oleh karena itu, Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tersebut harus dijadikan pertimbangan dalam merevisi Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 10 Tahun 2006.

Kedua, selama pembangunan dan pengoperasian instalasi nuklir pemegang izin harus

memutakhirkan bagian dari dokumen LAK yang relevan apabila terdapat perubahan data. Perubahan data tersebut dapat berupa modifikasi, utilisasi yang tidak tercantum dalam LAK, review keselamatan berkala, dan perubahan BKO. Meskipun di Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 sudah secara eksplisit dijelaskan perubahan data tersebut, namun di revisi peraturan ini nantinya perlu dijelaskan kembali kegiatan apa saja yang dapat mengubah data tersebut, asalkan tidak bertentangan dengan peraturan pemerintah di atasnya.

Ketiga, menghindari tumpang tindih baik antar uraian bab di dalam LAK itu sendiri maupun antar peraturan kepala BAPETEN yang lebih spesifik terkait dengan bab yang sedang diuraikan. Sebagai contoh tumpang tindih antar peraturan yang terkait dengan tapak, hal ini dapat diuraikan secara singkat yang cakupannya meliputi data, evaluasi dan parameter dasar desain untuk INNR yang sudah ada. Sedangkan untuk INNR yang baru, uraian dapat mengikuti sebagaimana yang ada di laporan evaluasi tapak. Contoh lain untuk menghindari tumpang tindih antar di dalam LAK, dapat dilakukan dengan cara saling acu silang antar bab, sehingga uraian yang sudah diuraikan tidak perlu diuraikan kembali di dalam bab tersebut.

Keempat, seperti yang telah disinggung di pendahuluan terkait dengan lamanya peraturan ini tentu banyak umpan balik dari pengguna terkait hal apa saja yang perlu dimuat di dalam revisi peraturan tersebut. Bila dilihat di bab sistem operasi dan proses, di dalam peraturan tersebut secara spesifik diuraikan sistem operasi dan proses untuk INNR tertentu. Di sisi lain, peraturan ini harus mampu mencakup semua INNR secara umum. Dalam revisi peraturan ini nantinya tentu perlu dibuat ketentuan secara umum di dalam bab tersebut, sehingga dapat diberlakukan untuk semua jenis INNR. Dengan demikian, pemohon izin nantinya diberikan keleluasaan dalam menguraikan sistem operasi dan proses sesuai dengan jenis INNR di dalam revisi peraturan ini.

Kelima, dengan terbitnya dokumen IAEA, *Criticality Safety in the Handling of Fissile Material (SSG-27)* perlu dijadikan acuan di bab terkait pencegahan kekritisan. Karena dokumen tersebut memberikan pedoman mengenai pencegahan reaksi nuklir berantai dan meminimalan konsekuensi bila hal tersebut terjadi terhadap penanganan bahan fisil. Di dalam peraturan kepala BAPETEN saat ini belum memuat analisis terkait dengan keselamatan kekritisan secara rinci. Secara umum di dalam analisis keselamatan kekritisan di dalam dokumen IAEA tersebut merekomendasikan penggunaan metode deterministik dan probabilistik. Oleh karena itu, dirasa perlu untuk menguraikan secara rinci metode apa yang digunakan dalam melakukan analisis keselamatan kekritisan.

Dengan direvisinya peraturan ini, tentunya terdapat perubahan ketentuan-ketentuan yang harus

diantisipasi oleh pemohon izin dan/atau pemegang izin. Di dalam batang tubuh revisi peraturan ini terdapat ketentuan peralihan yang berisi klausul terkait dengan pemegang izin harus menyesuaikan dokumen LAK hingga beberapa tahun sejak tanggal revisi peraturan tersebut diundangkan. Sedangkan untuk dokumen LAK yang telah diajukan oleh pemohon izin dan sedang diproses oleh BAPETEN harus disesuaikan dengan revisi peraturan tersebut setelah diundangkan.

IV. KESIMPULAN

Dari uraian di atas telaah tersebut menunjukkan bahwa substansi-substansi yang ada di Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 10 Tahun 2006 sudah tidak sesuai lagi dengan perkembangan regulasi nasional maupun standar internasional terkait substansi keselamatan nuklir.

Dengan terbitnya peraturan pemerintah dan perkembangan standar internasional maka dirasa perlu untuk melakukan revisi terhadap Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 10 Tahun 2006 tentang Pedoman Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan Instalasi Nuklir Nonreaktor agar harmonis dengan peraturan nasional dan perkembangan standar internasional. Revisi tersebut yang tidak hanya dari sisi legal, namun juga dari sisi substansi teknis. Dari sisi legal, tentunya dengan adanya dua peraturan pemerintah terbaru diperlukan peraturan pelaksanaan di bawahnya demi efektivitas pelaksanaan di lapangan.

Sedangkan dari sisi substansi teknis perlu dibuat secara umum, sehingga substansi revisi peraturan Kepala BAPETEN tersebut dapat berlaku untuk semua jenis INNR. Di samping itu pula, perlu dijelaskan secara eksplisit kegiatan apa saja yang perlu dilakukan dalam pemutakhiran dokumen LAK tanpa bertentangan dengan peraturan pemerintah di atasnya. Substansi teknis tersebut dapat mengacu ke peraturan kepala BAPETEN lainnya dan dokumen IAEA, sehingga tumpang tindih antar uraian bab di dalam LAK, maupun antar peraturan kepala BAPETEN yang lebih spesifik terkait dengan bab yang sedang diuraikan dapat dihindari. Substansi teknis lainnya adalah perlu uraian analisis keselamatan kekritisan yang lebih rinci dengan menggunakan metode deterministik dan probabilistik berdasarkan dokumen IAEA.

DAFTAR PUSTAKA

- [8] US – NRC (1989), *Standard Format and Content for the Safety Analysis Report for An Independent Spent Fuel Storage Installation or Monitored Retrievable Storage Installation (Dry Storage)*, Regulatory Guide 3.48, Washington
- [9] IAEA (2016), *Safety Analysis and Documentation for Nuclear Fuel Cycle Facilities*, Draft Safety Report, Vienna

- [10] IAEA (2014), *Criticality Safety in the Handling of Fissile Material*, SSG-27, Vienna
- [11] BAPETEN (2012), Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir, Jakarta
- [12] BAPETEN (2014), Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir, Jakarta
- [13] BAPETEN (2006), Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 10 Tahun 2006 tentang Pedoman Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan Instalasi Nuklir Nonreaktor, Jakarta

PB12

EVALUASI DAN PENILAIAN BAPETEN TERHADAP ASPEK *SAFEGUARDS* PADA KEGIATAN SAMOP DI REAKTOR KARTINI

Rahmat Edhi Harianto, Suharyanta, Wiryono.

Direktorat Perizinan Instalasi dan Bahan Nuklir – BAPETEN

Alamat korespondensi:

r.eharianto@bapeten.go.id/rahmatedhiah@gmail.com

ABSTRAK

EVALUASI DAN PENILAIAN BAPETEN TERHADAP ASPEK *SAFEGUARDS* PADA KEGIATAN SAMOP DI REAKTOR KARTINI. Penggunaan teknologi produksi radioisotop di Indonesia telah berkembang pesat selama dasawarsa terakhir ini, salah satunya adalah penggunaan radioisotop ^{99}Mo sebagai pembangkit radioisotop $^{99\text{m}}\text{Tc}$ yang merupakan radioisotop paling banyak digunakan untuk diagnostik dalam bidang kedokteran nuklir. Lazimnya produksi ^{99}Mo dilakukan dengan teknik iradiasi target dengan sumber neutron intensitas tinggi yang berasal dari reaktor nuklir, namun pada sistem perangkat subkritik untuk produksi radioisotop Mo-99 (SAMOP) digunakan bahan bakar larutan uranil nitrat dengan konsentrasi ≤ 300 gr U/liter dengan pengkayaan ^{235}U sebesar 19.75%. Berdasarkan konsep tersebut maka dipandang persyaratan sistem keselamatan SAMOP lebih sederhana daripada perangkat reaktor nuklir kritis. Namun demikian penggunaan jenis bahan nuklir yang berbeda ini dari bahan nuklir yang telah dideklarasikan sebelumnya pada dokumen *safeguards*, memerlukan evaluasi dan penilaian terhadap aspek *safeguards* dari BAPETEN. Berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir, dan Peraturan Kepala (Perka) BAPETEN Nomor 2 Tahun 2009 tentang Penyusunan Daftar Informasi Desain, pemegang izin harus menyampaikan pemutakhiran data dalam dokumen DID kepada Kepala BAPETEN apabila terjadi perubahan data dalam dokumen DID selama tahap pembangunan dan/atau pengoperasian pada reaktor nuklir. Telah dilakukan evaluasi dan penilaian terhadap aspek *safeguards* dalam pelaksanaan kegiatan utilisasi SAMOP (*Subcritical Assembly for Molybdenum Production*) di Reaktor Kartini, melalui evaluasi dokumen *Design Information Questionnaire*, yang didukung dengan evaluasi dan penilaian proses kegiatan SAMOP dalam dokumen program utilisasi SAMOP, serta melakukan *witnessing* dan verifikasi perangkat SAMOP ke instalasi. Dapat disimpulkan bahwa kegiatan SAMOP di reaktor Kartini telah memenuhi ketentuan dalam aspek *safeguards*.

Kata kunci: aspek *safeguards*, evaluasi dan penilaian BAPETEN, SAMOP, Reaktor Kartini

ABSTRACT

THE REVIEW AND ASSESSMENT FOR SAFEGUARDS ASPECT OF SAMOP (*Sub-critical Assembly for Molybdenum Production*) activity in KARTINI REACTOR. The utilization of radioisotope production technology in Indonesia had been growth vastly since the last decade, for instance application of radioisotope ^{99}Mo as a source of radioisotope $^{99\text{m}}\text{Tc}$ which is the most used radioisotope in nuclear medicine as diagnostic tool. Usually ^{99}Mo production using target irradiation technique with high intensity neutron as the source normally from nuclear reactor facility, however in sub-critical system assembly for Mo-99 radioisotope, uranyl nitrate solution is used as fuel with ≤ 300 gr U/liter concentration enriched with 19.75% ^{235}U . Based on those concept, it can be understood that SAMOP safety system requirement is simpler than critical nuclear reactor facility. However, the utilization of different fuel from previously declared in safeguards document, require review and evaluation in safeguards aspect from BAPETEN. In accordance with GR 54 Year 2012 about safety and security of Nuclear installation and BAPETEN Chairman Regulation Number 2 year 2009 about Design Information Questionnaire (DIQ/DID), Licensee should submit updated data in DID to the Chairman of BAPETEN if there is a change in the safeguards data occurs during establishment and/or operating of nuclear reactor. Review and assessment of safeguards aspect in SAMOP utilization in KARTINI reactor have been done through evaluation of document Design Information Questionnaire, supported by review and assess of SAMOP activity process on the utilization program document, also perform witnessing and verification for SAMOP activity to facility. In summary, SAMOP activity at Kartini reactor have fulfilled safeguards aspect provisions.

Keywords: *safeguards* aspect, BAPETEN's review and assessment, SAMOP, Kartini reactor

I. PENDAHULUAN

Teknologi proses dan aplikasi radioisotop telah mengambil peranan yang sangat luas dalam upaya peningkatan kualitas kehidupan masyarakat di Indonesia. Berbagai bidang kemasyarakatan seperti kesehatan, pertanian, peternakan, industri, hidrologi dan sebagainya telah semakin banyak memanfaatkan teknologi radioisotop. Penggunaan teknologi produksi radioisotop di Indonesia berkembang pesat selama dasawarsa terakhir ini, ditandai dengan penambahan institusi domestik yang membutuhkan ketersediaan radioisotop dan menggunakannya untuk berbagai macam kegiatan baik di bidang industri dan kesehatan. Apabila dekade delapan puluhan tercatat hanya puluhan institusi domestik pengguna radioisotop di bidang kesehatan, namun pada saat ini jumlah pengguna baru telah meningkat sangat pesat dan terutama di Pulau Jawa.

Radioisotop ^{99}Mo sangat diperlukan sebagai pembangkit radioisotop $^{99\text{m}}\text{Tc}$, dimana $^{99\text{m}}\text{Tc}$ merupakan radioisotop yang paling banyak digunakan untuk diagnostik di bidang kedokteran nuklir. Lazimnya produksi ^{99}Mo dilakukan dengan teknik iradiasi target dengan sumber neutron intensitas tinggi yang biasanya berasal dari suatu reaktor nuklir. Namun pada SAMOP, didasarkan pada proses reaksi pembelahan inti ^{235}U yang berlangsung selama masih ada sumber neutron yang berasal dari luar perangkat atau sistem. Jika sumber neutron luar tersebut dimatikan atau diambil maka secara otomatis proses reaksi pembelahan inti (reaksi fisi) akan terhenti, atau dikenal sebagai perangkat subkritik. Berdasar konsep tersebut maka dipandang persyaratan sistem keselamatan SAMOP lebih sederhana daripada perangkat reaktor nuklir kritis. Bahan bakar yang digunakan pada SAMOP adalah larutan uranil nitrat dari uranium perkayaan rendah (di bawah 20% ^{235}U) yang juga berfungsi sebagai bahan dasar produksi ^{99}Mo . [1].

Sementara itu, sejak pertengahan tahun 1994 reaktor Kartini menggunakan bahan bakar standar TRIGA, tipe 104 dan tipe 204 buatan *General Atomic*. Bahan bakar TRIGA tipe standar 104 dan 204 yang dibuat mulai dari tahun 1965 hingga sekarang mempunyai kandungan uranium 8.5% - 9% dengan pengkayaan U-235 sebesar 20% menggunakan campuran zirkonium hidrida dengan rasio $\text{H/Zr} = 1,7$. [2]. Penggunaan bahan bakar standar TRIGA tipe 104 dan 204 ini telah dideklarasikan dalam dokumen DIQ.

Indonesia telah menandatangani perjanjian *Safeguards* pada tahun 1980 dan protokol tambahan terhadap perjanjian *safeguards* pada tahun 1999, yang menunjukkan bahwa pemerintah Indonesia berkomitmen dan memberikan perhatian tinggi untuk memelihara perdamaian dunia dari penggunaan senjata nuklir dan hanya memanfaatkan energi nuklir untuk maksud damai. Dalam implementasinya, seluruh penggunaan bahan nuklir

harus dicatat dan dilaporkan ke IAEA dengan cara yang lengkap dan benar sesuai ketentuan dalam sistem akuntansi dan pengendalian bahan nuklir [*State System of Accounting for and Control of Nuclear Material (SSAC)*].

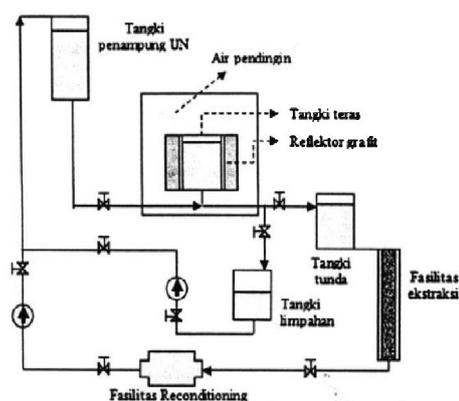
Oleh karena itu, penggunaan jenis bahan nuklir untuk produksi radioisotop menggunakan perangkat SAMOP (dengan larutan uranil nitrat sebagai bahan nuklir) yang berbeda ini dari bahan nuklir reaktor Kartini yang telah dideklarasikan sebelumnya pada dokumen *safeguards*, memerlukan evaluasi dan penilaian dari BAPETEN, sebelum dilaporkan ke IAEA.

Makalah ini akan menguraikan evaluasi dan penilaian BAPETEN terhadap pemenuhan persyaratan dokumen aspek *safeguards* terhadap kegiatan SAMOP di reaktor Kartini, termasuk *witnessing* dan verifikasi perangkat SAMOP ke instalasi.

II. POKOK BAHASAN

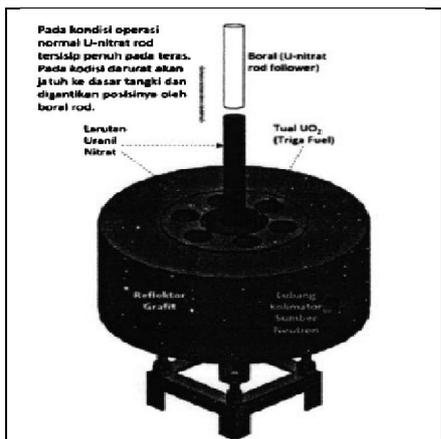
Deskripsi sistem SAMOP berupa teras (tangki uranil nitrat) yang diletakkan di dalam tangki pendingin, secara skematis pada awalnya ditunjukkan pada Gambar 1, Gambar 2., dan Gambar 3. Sebelum mendapatkan sumber neutron luar berupa *compact neutron generator (CNG)*, sistem SAMOP akan ditempatkan pada salah satu *beamport* yaitu di ujung luar *beamport* radial reaktor Kartini, sebagai sumber neutron luar. Reaktor Kartini mempunyai enam *beamport* yang langsung terhubung dengan teras reaktor untuk menyalurkan berkas neutron keluar untuk berbagai penggunaan (utilisasi) pemanfaatan reaktor.

U-nitrat sebagai bahan bakar SAMOP berada di dalam tabung silinder tertutup, sehingga di lokasi reaktor Kartini tidak akan ada pemasukan dan pengeluaran U-nitrat secara terbuka.



Gambar 1. Skematik sistem SAMOP

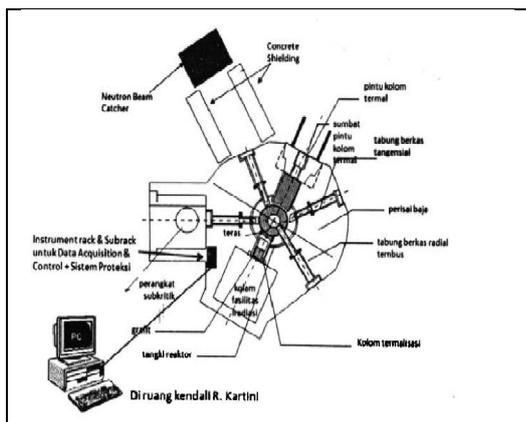
Pemasukan (*loading*) bahan bakar berupa tabung U-nitrat pada fasilitas SAMOP mengikuti prosedur eksperimen kritisitas seperti halnya pada reaktor Kartini.



Gambar 2. Skema sistem teras dan pendingin SAMOP.

Secara keseluruhan desain sistem SAMOP meliputi desain sistem teras (neutronik) yang akan menentukan kapasitas produksi ⁹⁹Mo, desain sistem keselamatan, desain sistem ekstraksi ⁹⁹Mo, desain penyedia sumber neutron luar, desain preparasi bahan bakar, desain sistem instrumentasi, sistem pengelolaan limbah, sistem mekanik, dan desain unjuk kerja. [1]

Proses ekstraksi Mo-99 dari larutan uranil nitrat (bahan bakar) dilakukan dengan proses langsung. Sumber neutron luar (dalam tahapan ini adalah *beamport* radial) didesain mampu menyediakan kuat sumber neutron dengan tingkat fluks neutron minimum $10^6 \text{ cm}^2/\text{s}$, dengan tingkat ketersediaan yang tinggi, sehingga dapat memproduksi Mo-99 sesuai spesifikasi teknis yang ditetapkan.



Gambar 3. Posisi SAMOP pada *beamport* Reaktor Kartini

III. METODOLOGI PEMBAHASAN

Metode utama dalam penulisan makalah ini adalah melakukan komparasi antara implementasi rencana pelaksanaan kegiatan SAMOP, dengan

evaluasi dan penilaian dokumen DIQ/DID berdasarkan regulasi BAPETEN, yang didukung dengan *witnessing* dan verifikasi ke fasilitas.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penyampaian dokumen perizinan

Sebagaimana telah diatur dalam regulasi ketenaganukliran, selama pelaksanaan operasi reaktor nuklir, pemegang izin dapat melaksanakan utilisasi di reaktor nondaya. Pusat Sains dan Teknologi Akselerator (PSTA)-BATAN sebagai pusat yang mengorganisasi instalasi reaktor kartini telah mengajukan persetujuan utilisasi baru yang mana kegiatan utilisasi ini belum tercakup dalam dokumen LAK sebelumnya ke BAPETEN dengan melampirkan dokumen program utilisasi dan sistem manajemen utilisasi. [3]

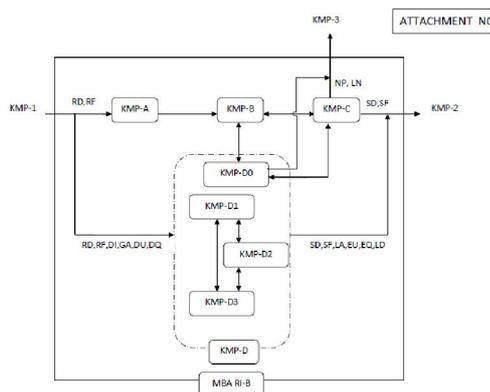
Di samping dokumen yang menjadi persyaratan izin, sesuai pasal 52 PP No. 54 Tahun 2012, Pemegang izin wajib melaksanakan pemutakhiran daftar informasi desain (DID) apabila terjadi perubahan data *safeguards*, dan DID wajib disampaikan kepada Kepala BAPETEN. [4]

Safeguards adalah upaya yang ditujukan untuk memastikan bahwa tujuan pemanfaatan bahan nuklir hanya untuk maksud damai. Pemerintah Republik Indonesia telah memberikan perhatian dan berkomitmen tinggi untuk melaksanakan kegiatan pemanfaatan nuklir untuk maksud damai dengan menandatangani perjanjian *Safeguards* pada tahun 1980 dan protokol tambahan terhadap perjanjian *safeguards* pada tahun 1999, sehingga evaluasi dan penilaian dokumen *safeguards* perlu dilakukan oleh BAPETEN.

Penggunaan bahan nuklir dan penambahan kegiatan di reaktor kartini berpotensi akan mengubah atau menambah jenis, jumlah, lokasi dan alur bahan nuklir yang digunakan, termasuk fitur fasilitas. Oleh karena itu, PSTA-BATAN selain menyampaikan dokumen yang berkaitan dengan persetujuan utilisasi juga perlu memutakhirkan data dan informasi yang berkaitan dengan sistem *safeguards*. Selanjutnya PSTA-BATAN menyampaikan revisi dokumen DID ke BAPETEN untuk dilakukan evaluasi dan penilaian. Proses pelaksanaan evaluasi dan penilaian BAPETEN akan disampaikan pada bagian 4.3.

4.2. Sistem *safeguards* PSTA-BATAN

Kegiatan sistem pertanggungjawaban dan pengendalian bahan nuklir (*safeguards*) telah dilaksanakan sejak lama di PSTA-BATAN dengan mekanisme seperti yang diilustrasikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Skematik alur bahan nuklir

PSTA-BATAN teregistrasi sebagai daerah neraca bahan nuklir/*Material Balance Area* (MBA) RI-B [5] yang memiliki tujuh lokasi tempat pengukuran pokok atau KMP (*Key Measurement Point*), meliputi:

- KMP A : Tempat penyimpanan bahan bakar baru.
- KMP B : Teras reaktor
- KMP C : Tempat penyimpanan bahan bakar bekas.
- KMP D : Lokasi di luar KMP A, KMP B, dan KMP C.

KMP D terdiri dari KMP D0, KMP D1, KMP D2 dan KMP D3

KMP D0 terletak di reaktor hall di luar KMP-B dan KMP-C, KMP D1 berada di gedung 13, KMP D2 berada di gedung 07, KMP D3 berada di gedung 13. Terdapat KMP alir sebagai berikut:

- KMP 1 : *RECEIPT (DOMESTIC AND FOREIGN), DE-EXCEMPTION AND ACCIDENT GAIN*
- KMP 2 : *SHIPMENT (DOMESTIC AND FOREIGN), LOSS DISCARD AND EXCEMPTION, ACCIDENT LOSS*
- KMP 3 : *NUCLEAR PRODUCT*
- KMP 4 : *NUCLEAR LOSS*

4.3. Evaluasi dan penilaian dokumen DIQ/DID

Dokumen *Design Information Questionnaire* (dalam Perka BAPETEN disebut Daftar Informasi Desain) yang selanjutnya disingkat DID adalah dokumen yang memuat informasi tentang bahan nuklir meliputi bentuk, jumlah, lokasi dan alur bahan nuklir yang digunakan, fitur fasilitas yang mencakup uraian fasilitas, tata letak fasilitas dan pengungkung, perangkat pengukuran dan prosedur pengendalian bahan nuklir. [6] Sesuai dengan persyaratan dalam PerKa BAPETEN Nomor 2 Tahun 2009 tentang

Penyusunan Daftar Informasi Desain, pemegang izin harus menyampaikan pemutakhiran data dalam dokumen DID kepada Kepala BAPETEN apabila terjadi perubahan data dalam dokumen DID selama tahap pembangunan dan/atau pengoperasian pada reaktor nuklir. Pada kegiatan ini PSTA-BATAN telah menyampaikan revisi dokumen DID untuk dievaluasi dan dinilai BAPETEN.

Dalam melakukan evaluasi dan penilaian aspek *safeguards*, evaluator BAPETEN memeriksa proses kegiatan SAMOP pada program utilisasi *Beamport Reaktor Kartini* untuk penelitian pengembangan *Subcritical Assembly for Molybdenum Production*, dimana telah diuraikan bahwa kegiatan SAMOP terdiri dari 4 (empat) bagian proses, meliputi 1) proses preparasi larutan uranil nitrat (UNH); 2) proses iradiasi larutan uranil nitrat; 3) proses pemisahan Mo^{99} dari larutan uranil nitrat, dan 4) proses pemurnian Mo^{99} . Proses preparasi dilakukan di PT INUKI-Serpong, sementara pada proses iradiasi larutan uranil nitrat, tangki yang berisi larutan UNH dibawa ke PSTA, kemudian diiradiasi selama 100 jam dalam reaktor SAMOP, dan hasil iradiasi UNH dikeluarkan dari reaktor SAMOP yang selanjutnya akan dilakukan proses pemisahan. Selain itu, pada dokumen tersebut, telah dinyatakan juga bahwa proses pemisahan Mo^{99} dari larutan UNH dengan kolom alumina, dilanjutkan dengan proses pemurnian Mo^{99} dilakukan dengan menggunakan resin HZO dari larutan $(\text{NH}_4)_2 \text{MoO}_4$ pada pH 2-7. Kedua proses ini masing-masing dilakukan di *hotcell* di Lab. PT-INUKI, dan di fasilitas pemisahan isotop PT INUKI, Serpong.

Dari dokumen program utilisasi tersebut kemudian dapat dianalisis bahwa proses 1), 3), dan 4) dilaksanakan di PT INUKI-Serpong, dan tidak ada proses perlakuan sama sekali di fasilitas PSTA-BATAN selain proses 2) untuk melakukan kegiatan utilisasi menggunakan fluks neutron yang berasal dari reaktor Kartini.

Pada revisi dokumen DID ini, PSTA-BATAN mengusulkan untuk memodifikasi KMP D-0 agar dapat mengakomodasi kegiatan SAMOP, dengan cara menempatkan perangkat subkritis SAMOP berada di lokasi area gedung reaktor Kartini namun bukan di dalam teras reaktor (KMP B) dan juga bukan di dalam tangki tempat penyimpanan bahan bakar bekas (KMP C). Uraian informasi dalam revisi dokumen DID tersebut juga didukung dengan informasi jenis uranil nitrat (sebagai bahan nuklir) meliputi bentuk dan jumlah yang digunakan termasuk alur bahan nuklir dan fitur fasilitas SAMOP yang mencakup uraian fasilitas dan tata letak fasilitas SAMOP. Secara rinci dan menyeluruh, proses evaluasi dan penilaian dokumen DID berdasarkan Perka BAPETEN Nomor 2 Tahun 2009, telah diuraikan BAPETEN dalam Laporan Hasil Evaluasi (LHE) Nomor 498/LHE/PIBN/L18. [7]

Untuk memastikan kesesuaian isi dokumen dengan fakta lapangan, BAPETEN melakukan

verifikasi perangkat SAMOP ke fasilitas reaktor Kartini.

4.4 Verifikasi ke fasilitas

Di samping melakukan evaluasi dan penilaian dokumen, BAPETEN juga melaksanakan verifikasi ke fasilitas reaktor Kartini. Verifikasi informasi desain bertujuan untuk memeriksa kesesuaian lokasi penempatan kegiatan SAMOP di fasilitas dengan informasi yang telah dicantumkan dalam dokumen keselamatan dan dokumen revisi DID yang telah disampaikan ke BAPETEN. Evaluator BAPETEN mengamati bahwa perangkat subkritis SAMOP ini telah berada di area gedung reaktor Kartini namun bukan di dalam teras reaktor (KMP B) dan juga bukan di dalam tangki tempat penyimpanan bahan bakar bekas (KMP C). Pada Gambar 3 terlihat bahwa perangkat subkritis SAMOP ini terletak di dalam gedung reaktor (posisi persis di sebelah tempat penyimpanan bahan bakar bekas sementara).

Usulan revisi dokumen DID dari PSTA-BATAN dapat disetujui oleh BAPETEN karena karakteristik bahan nuklir yang diajukan, dan lokasi penempatan kegiatan SAMOP, telah diuraikan dalam revisi dokumen DID [5], serta telah sesuai dengan proses kegiatan SAMOP yang tertera pada dokumen program utilisasi untuk penelitian pengembangan *Subcritical Assembly for Molybdenum Production* di Reaktor Kartini. Informasi ini juga telah diperiksa melalui verifikasi ke instalasi reaktor Kartini. Tahap lanjut di luar cakupan makalah ini adalah dokumen revisi DID untuk penelitian pengembangan *Subcritical Assembly for Molybdenum Production* di Reaktor Kartini telah dilaporkan ke Departemen *Safeguards* IAEA untuk menunggu proses pengesahan resmi dalam dokumen Lampiran fasilitas.

4.5. Pengawas dan Pengurus Inventori Bahan Nuklir

Regulasi BAPETEN mensyaratkan pemegang izin untuk memiliki organisasi yang melakukan pertanggungjawaban dan pengendalian bahan nuklir di setiap instalasi nuklir yang mempunyai MBA. [8] Struktur organisasi ini paling sedikit terdiri atas unsur: pemegang izin (PI), pengawas inventori bahan nuklir dan pengurus inventori bahan nuklir. Dalam rangka menjamin pelaksanaan pertanggungjawaban dan pengendalian bahan nuklir, PI harus menunjuk paling sedikit 1 (satu) orang pengawas inventori bahan nuklir untuk setiap MBA yang dimilikinya. Di dalam setiap MBA, PI harus menunjuk paling sedikit 1 (satu) orang pengurus inventori bahan nuklir untuk setiap KMP, dimana penunjukan pengawas dan pengurus inventori bahan nuklir ini harus disampaikan kepada Kepala BAPETEN.

Saat ini pemanfaatan bahan nuklir di PSTA-BATAN telah dilaksanakan oleh pengawas inventori

bahan nuklir dan pengurus inventori bahan nuklir yang memiliki surat izin bekerja dari BAPETEN. Berdasarkan hasil evaluasi dan penilaian BAPETEN, penambahan lingkup kegiatan SAMOP yang berlokasi di area gedung reaktor Kartini (KMP D-0), dengan pertimbangan jenis dan bobot pekerjaan pengurus inventori bahan nuklir di setiap KMP khususnya KMP D-0 tidak mempengaruhi pada penambahan jumlah personil pengurus inventori bahan nuklir.

V. KESIMPULAN

PSTA-BATAN telah menyampaikan pemutakhiran daftar informasi desain berupa revisi dokumen DID untuk kegiatan penelitian pengembangan *Subcritical Assembly for Molybdenum Production* di Reaktor Kartini, dimana revisi dokumen tersebut telah memuat informasi tentang larutan uranil nitrat (sebagai bahan nuklir) meliputi bentuk, jumlah, dan alur bahan nuklir yang digunakan, serta fitur fasilitas SAMOP yang mencakup uraian fasilitas dan tata letak fasilitas, yang berada di lokasi area gedung reaktor Kartini (KMP D-0).

Revisi dokumen DID ini juga telah diperiksa kesesuaiannya dengan proses kegiatan SAMOP yang terdapat dalam dokumen keselamatan pada program utilisasi *Beamport* Reaktor Kartini untuk penelitian pengembangan *Subcritical Assembly for Molybdenum Production*, serta *witnessing* dan verifikasi perangkat SAMOP di instalasi reaktor Kartini.

Penambahan lingkup kegiatan SAMOP yang berlokasi di area gedung reaktor Kartini tidak mempengaruhi penambahan jumlah personil pengurus inventori bahan nuklir.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Program Utilisasi *Beamport* Reaktor Kartini untuk penelitian pengembangan *Subcritical Assembly for Molybdenum Production (SAMOP)* Nomor Dokumen: PUTI SAMOP 005.1/RN 00 01/STA.4, 2018.
- [2] LAPORAN ANALISIS KESELAMATAN (LAK) REAKTOR KARTINI REVISI 8, Nomor Dokumen: LAK 01.4/RN.00 02/STA 4, 2017.
- [3] Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 5 Tahun 2012 tentang Keselamatan Dalam Utilisasi dan Modifikasi Reaktor NonDaya.
- [4] Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir.
- [5] *Design Information Questionnaire* PSTA-BATAN (Date: 180329).
- [6] Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 2 Tahun 2009 tentang Penyusunan Daftar Informasi

- Desain.
- [7] Laporan Hasil Evaluasi BAPETEN Nomor 498/LHE/PIBN/L18, Revisi 0, 14 Maret 2018.
 - [8] Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2011 tentang Sistem Seifgard.

PB13
PERLINDUNGAN INFORMASI SENSITIF YANG TERKAIT DENGAN KEAMANAN NUKLIR DI INDONESIA

Mohamad Mamat dan Midiana Ariethia

Direktorat Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir - BAPETEN

e-mail: m.mamat@bapeten.go.id

ABSTRAK

PERLINDUNGAN INFORMASI SENSITIF YANG TERKAIT DENGAN KEAMANAN NUKLIR DI INDONESIA. Kemudahan dalam mengakses informasi melalui internet, teknologi informasi yang telah berkembang pesat, penggunaan satelit, dan media dapat berkontribusi sebagai faktor yang mempengaruhi pandangan global terhadap situasi keamanan nuklir di dunia, termasuk Indonesia. Indonesia harus sangat berhati-hati ketika menangani informasi sensitif. Pengungkapan informasi sensitif karenanya harus dijaga dengan sangat ketat. Metodologi yang dilakukan dalam penulisan makalah ini adalah dengan melakukan studi pustaka terhadap beberapa dokumen *Nuclear Security Series* IAEA, dan regulasi atau praktek di negara lain, serta praktek yang telah dilakukan BAPETEN selama ini dalam melindungi informasi sensitif.

Telaah yang telah dilakukan mendapatkan hasil adanya pengaturan mengenai informasi sensitif terkait keamanan nuklir pada dokumen *Nuclear Security Series No. 23-G* IAEA. Negara seperti Inggris juga telah melakukan klasifikasi dan perlindungan informasi sensitif terkait keamanan nuklir dan hal tersebut telah masuk dalam kerangka regulasi di negaranya.

Dari hasil studi pustaka dapat ditarik kesimpulan bahwa informasi sensitif harus digunakan dengan aman adalah tanggung jawab pemerintah, dan Pemerintah Republik Indonesia dalam Undang-Undang tentang Keterbukaan Informasi Publik, telah menetapkan batas-batas pada informasi apa yang dapat dibuka atau ditutup/sensitif, serta BAPETEN telah melakukan upaya untuk mengklasifikasi dan melindungi serta menjamin keamanan informasi sensitif dengan melakukan klasifikasi terhadap informasi sensitif dan melalui kerangka regulasi berupa Peraturan Pemerintah dan Perka BAPETEN.

Kata kunci: informasi sensitif, keamanan nuklir, informasi publik, badan pengawas

ABSTRACT

PROTECTION OF SENSITIVE INFORMATION RELATED TO NUCLEAR SECURITY IN INDONESIA.

The ease of accessing information via the Internet, rapidly evolving information technology, the use of satellites, and the media can serve as factors affecting global global, including Indonesia. Indonesia must be very careful when dealing with information sensitive. Disclosure of sensitivity information should be kept very tight. The methodology undertaken in this paper is literature study on several IAEA Nuclear Safety Series documents, and apply elsewhere, as well as the practices that BAPETEN has done so far in protecting sensitive information.

The studies that have been conducted have resulted from the regulation of sensitive information relating to nuclear security series No. 23-G documents IAEA. Countries such as the United Kingdom have also classified and safeguarded sensitive information related to matters that have been incorporated in the regulation framework.

From the literature study it can be concluded that sensitive information should be used safely is responsibility of the government, and the Government of the Republic of Indonesia in the Law on Public Information Transparency, has set limits on what information can be opened or closed / sensitive, and BAPETEN has made efforts to classify and protect and ensure information security by measuring the sensitive information and using the provisions of the Government Regulations and the BAPETEN Chairman Regulations.

Keywords: sensitive information, nuclear security, public information, regulatory body

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kemudahan dalam mengakses informasi melalui internet, teknologi informasi yang telah berkembang pesat, penggunaan satelit, dan media dapat berkontribusi sebagai faktor yang mempengaruhi pandangan global terhadap situasi keamanan nuklir di dunia. termasuk Indonesia, sebagai negara yang sedang berkembang di bidang pemanfaatan tenaga nuklir, Indonesia harus sangat berhati-hati ketika menangani informasi sensitif. Jika informasinya ditangani dengan buruk, konsekuensinya bisa cukup merugikan. Penyampaian media yang buruk dapat menyebabkan publik salah memahami informasi hingga berdampak buruk

Memang, kepercayaan publik bahwa bahan dan teknologi nuklir digunakan dengan aman terkait erat dengan rekam jejak badan pengawas untuk menyediakan informasi dan aktivitas yang tepat, akurat, dan lengkap [1]. Namun, mengingat keterbukaan publik dengan adanya Undang-Undang No. 14 tahun 2008 tentang Keterbukaan Informasi Publik, dimana pada Pasal 4 ayat (1) disebutkan bahwa Setiap Orang berhak memperoleh Informasi Publik sesuai dengan ketentuan Undang-Undang ini [2].

Beberapa hal harus dipertimbangkan ketika informasi tersebut menyangkut bahan nuklir dan bahan radioaktif serta fasilitas dan kegiatan terkait. Terkait dengan hal ini, Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) selaku badan publik dan badan pengawas pemanfaatan tenaga nuklir di Indonesia telah menerbitkan Peraturan Kepala (Perka) BAPETEN No. 9 tahun 2012 tentang Standar Layanan Pengelolaan Informasi Publik di Lingkungan Badan Pengawas Tenaga Nuklir. Perka BAPETEN tersebut memiliki tujuan yaitu untuk menjamin pemenuhan hak warga negara untuk memperoleh akses Informasi Publik di BAPETEN dan dapat menjamin terwujudnya tujuan penyelenggaraan keterbukaan Informasi Publik. Sehingga warga negara dapat mengetahui kegiatan dan apa yang dikerjakan oleh BAPETEN sebagai badan publik [3]. Tidak semua informasi dapat diungkapkan untuk dilihat oleh publik. Juga tidak mungkin pemerintah menyembunyikan semua orang dalam ketidaktahuan terkait dengan informasi terkait keamanan nuklir.

1.2. Pokok Bahasan

Pengungkapan informasi sensitif karenanya harus dijaga dengan sangat ketat. Jika, misalnya, pihak yang tidak bertanggung jawab mengetahui informasi yang terkait dengan program proteksi fisik instalasi nuklir dan memiliki rencana untuk mencuri bahan nuklir atau mensabotase instalasi nuklir, maka pihak tersebut pasti akan mendapat manfaat dari informasi itu.

Adapun pokok permasalahan yang akan di dalam makalah ini adalah:

1. Siapakah yang bertanggung jawab untuk membuat kerangka kerja tentang bagaimana mengidentifikasi dan menangani informasi sensitif.
2. Bagaimana pengaturan penetapan batas-batas informasi yang dapat dibuka atau sensitif di Indonesia.
3. Apakah BAPETEN selaku badan pengawas dan badan publik telah melakukan klasifikasi dan perlindungan terhadap informasi sensitif.

1.3. Metodologi

Metodologi yang dilakukan dalam penulisan makalah ini adalah dengan melakukan studi pustaka terhadap beberapa dokumen *Nuclear Security Series* IAEA, dan regulasi atau praktek di negara lain, serta praktek yang telah dilakukan BAPETEN selama ini dalam melindungi informasi sensitif.

II. HASIL DAN PEMBAHASAN

2.1. Informasi Sensitif

Informasi sensitif adalah informasi yang dapat mengancam keamanan nuklir atau sebaliknya membantu dalam melaksanakan tindakan jahat terhadap fasilitas nuklir, organisasi atau pengangkutan berupa pengungkapan yang tidak sah (atau modifikasi, perubahan, penghancuran atau penolakan penggunaan) [4].

Lembaga yang menyimpan informasi itu, misalnya badan pengawas, pertama-tama harus dapat mengidentifikasi informasi apa yang dapat diklasifikasikan sebagai sensitif. Akses ke informasi sensitif dan objek informasi sensitif seharusnya tidak lebih luas dari yang diperlukan untuk menjalankan bisnis organisasi [5]. Oleh karena itu, kerahasiaan adalah masalah yang sangat penting. Harus ada langkah-langkah keamanan untuk memilih informasi sensitif dan aset sensitif (peralatan atau komponen, termasuk media, prosesnya, menangani, menyimpan atau mengirimkan informasi sensitif) untuk memastikan tidak jatuh ke tangan individu atau organisasi yang tidak sah, baik eksternal atau internal [6].

Suatu negara perlu membangun kerangka kerja untuk mengamankan informasi sensitif, yang meliputi:

1. memberikan tanggung jawab untuk memastikan keberadaan dan pengoperasian yang efektif dari rezim keamanan nuklir negara komprehensif kepada organisasi atau lembaga pemerintah;
2. menetapkan kerangka hukum dan peraturan untuk mengamankan informasi sensitif yang berlaku untuk semua kementerian, departemen, lembaga dan organisasi lain yang menangani masalah yang diidentifikasi perlu untuk keamanan nuklir nasional;

3. menyiapkan panduan nasional yang terdiri dari **panduan keamanan** yang menentukan jenis informasi apa yang negara ingin amankan dan menunjukkan bagaimana keamanan itu diterapkan, **panduan terperinci** (kebijakan klasifikasi) tentang apa yang merupakan informasi sensitif harus disediakan oleh pihak yang relevan. Pihak berwenang yang kompeten, **rencana keamanan organisasi** yang menjelaskan bagaimana informasi sensitif tertentu harus dilindungi sesuai dengan undang-undang dan peraturan nasional;
4. menetapkan kebijakan keamanan yang memberikan rincian tentang bagaimana persyaratan harus diterapkan pada fasilitas dan kegiatan yang melibatkan bahan nuklir dan bahan radioaktif lainnya; dan
5. menetapkan skema klasifikasi informasi untuk mengidentifikasi informasi mana yang merupakan informasi sensitif, dan tingkat keamanan mana yang diperlukan.

Skema klasifikasi yang mungkin untuk informasi sensitif, dengan kelas yang menunjukkan sensitivitas objek informasi tertentu, mungkin berisi tingkat berikut [7]:

1. RAHASIA;
2. KONFIDENSIAL; dan
3. TERBATAS.

Informasi atau materi yang diklasifikasikan RAHASIA antara lain:

- a) dapat meningkatkan ketegangan internasional;
- b) menyebabkan kerusakan serius pada hubungan antar pemerintah;
- c) mengancam kehidupan secara langsung, atau serius pada ketertiban umum, atau keamanan individu atau kebebasan;
- d) menyebabkan kerusakan material yang besar terhadap keuangan nasional atau kepentingan ekonomi dan komersial; dan
- e) dapat digunakan oleh individu atau kelompok yang merencanakan tindakan jahat yang dapat menyebabkan kerusakan parah pada fasilitas dengan, atau selama pengangkutan, bahan nuklir atau bahan radioaktif lainnya.

Informasi atau materi yang diklasifikasikan KONFIDENSIAL antara lain:

- a) merusak hubungan diplomatik;
- b) memprediksikan keamanan atau kebebasan individu;
- c) bekerja secara substansial melawan keuangan nasional atau ekonomi dan kepentingan komersial;
- d) menghambat penyelidikan atau untuk memfasilitasi komisi kejahatan serius; dan
- e) dapat digunakan oleh individu atau kelompok yang merencanakan tindakan jahat yang dapat menyebabkan kerusakan serius pada fasilitas

dengan, atau selama pengangkutan, bahan nuklir atau bahan radioaktif lainnya.

Informasi atau materi yang diklasifikasikan TERBATAS antara lain:

- a) mempengaruhi hubungan diplomatik secara negatif;
- b) menyebabkan distress substansial terhadap individu;
- c) menyebabkan kerugian finansial atau hilangnya potensi penghasilan untuk, atau untuk memfasilitasi keuntungan atau keuntungan yang tidak semestinya untuk, individu atau perusahaan;
- d) mengurangi investigasi kejahatan;
- e) memfasilitasi komisi kejahatan; dan
- f) dapat digunakan oleh individu atau kelompok yang merencanakan tindakan jahat yang dapat menyebabkan kerusakan signifikan pada fasilitas dengan, atau selama pengangkutan, bahan nuklir atau bahan radioaktif lainnya.

Tingkat yang disebutkan di atas mungkin memiliki nama yang berbeda di berbagai negara. Misalnya, di Amerika Serikat, informasi disebut "diklasifikasikan" jika telah ditetapkan salah satu dari tiga level: konfidensial, rahasia atau sangat rahasia [8]. Jika ada informasi yang tidak termasuk ke dalam salah satu dari ketiga level tersebut, maka akan diberi label "informasi yang tidak terklasifikasi".

Label informasi tambahan dapat menunjukkan pembatasan distribusi informasi yang muncul dari klasifikasinya, seperti [7]:

- a) Tidak ada distribusi lebih lanjut;
- b) Distribusi dikendalikan oleh penerbit (*originator*);
- c) Untuk penggunaan resmi;
- d) Distribusi terbatas;
- e) Tersedia untuk penggunaan publik.

Di Inggris, pengaturan Rantai Pasokan Industri Nuklir Sipil (*Civil Nuclear Industry's Supply Chain*), dan khususnya pemegang Informasi Nuklir Sensitif (*Sensitive Nuclear Information*) di luar fasilitas nuklir, berada di bawah Peraturan 22 dari Peraturan Keamanan Industri Nuklir (*Nuclear Industries Security Regulations*) 2003. Peraturan ini mengharuskan orang yang bertanggung jawab untuk mempertahankan standar keamanan, prosedur dan pengaturan yang diperlukan untuk tujuan meminimalkan risiko kehilangan, pencurian atau pengungkapan yang tidak sah, atau akses tidak sah ke informasi nuklir sensitif apa pun.

Informasi nuklir sensitif yang dapat menimbulkan konsekuensi merusak jika hilang, dicuri atau diungkapkan tanpa izin harus diklasifikasikan sebagai informasi nuklir sensitif: RESMI-SENSITIF. Informasi nuklir sensitif ini biasanya berlaku untuk informasi kurang rinci

mengenai Kategori I-III NM atau daerah vital yang hanya mungkin mempengaruhi satu lapis pertahanan secara mendalam dan/atau menjadi konsekuensi minimal terhadap efek keamanan secara keseluruhan.

Informasi nuklir sensitif di mana kompromi dapat secara serius merusak keamanan nuklir harus diberi tanda informasi nuklir sensitif: RAHASIA. Informasi nuklir sensitif ini biasanya berlaku untuk informasi yang sangat rinci dan dieksploitasi mengenai Kategori I-III NM dan daerah vital yang dapat memfasilitasi perencanaan serangan dengan mempengaruhi beberapa lapis pertahanan secara mendalam dan/atau membahayakan respons keamanan yang efektif [9].

2.2. Keamanan Informasi

Berbeda dengan keterbukaan informasi publik yang mana badan publik dituntut untuk melakukan transparansi informasi ke publik, informasi yang dikecualikan atau bersifat sensitif dapat ditutup/dirahasiakan dari publik. Hal ini sesuai dengan isi Pasal 6 Undang-undang Nomor 14 tahun 2008 tentang Keterbukaan Informasi Publik, dimana badan publik memiliki hak untuk menolak memberikan informasi yang dikecualikan atau informasi sensitif sesuai dengan ketentuan perundang-undangan yang berlaku.

Adapun informasi yang tidak dapat diberikan oleh badan publik adalah:

- a. Informasi yang dapat membahayakan negara;
- b. Informasi yang berkaitan dengan kepentingan perlindungan usaha dari persaingan usaha tidak sehat;
- c. Informasi yang berkaitan dengan hak-hak pribadi;
- d. Informasi yang berkaitan dengan rahasia jabatan; dan
- e. Informasi publik yang diminta belum dikuasai atau didokumentasikan.

Jenis informasi yang dikecualikan seperti informasi mengenai dokumen program proteksi fisik, bahan nuklir dan zat radioaktif serta pengangkutan adalah jenis informasi yang termasuk dalam kategori informasi yang dapat membahayakan pertahanan dan keamanan negara yang tidak dapat diumumkan atau diberikan karena alasan khusus sebagaimana diatur dalam Undang-undang Keterbukaan Informasi Publik karena apabila informasi tersebut jatuh ke tangan pihak yang tidak bertanggung jawab, mereka dapat mengambil keuntungan dan berkompromi terkait informasi keamanan nuklir tersebut dengan melakukan tindakan jahat yang dapat mengancam keamanan nuklir nasional dan global berdasarkan informasi tersebut. Jenis informasi ini dinyatakan oleh Pejabat Manajer Informasi dan Dokumentasi setelah melakukan pengujian konsekuensi.

Mengamankan informasi sensitif diperlukan karena mudah untuk mengakses sarana. Jika, misalnya, fasilitas atas dasar kekuatan proteksi dan perkiraan waktu yang diperlukan untuk memaksa untuk tiba di tapak. Mereka juga akan mengetahui target penting dalam fasilitas, lokasi dan langkah-langkah yang melindunginya. Demikian pula, jika musuh yang ingin mencuri bahan nuklir selama pengangkutan berhasil memperoleh perangkat yang memberikan akses ke informasi terperinci tentang pengangkutan yang direncanakan (karena perangkat tersebut tidak cukup aman) musuh dapat merencanakan serangan secara lebih efektif. Dengan demikian, kepemilikan informasi atau informasi aset oleh musuh akan meningkatkan kemungkinan keberhasilan mereka.

Akses ke informasi sensitif dan objek informasi sensitif seharusnya tidak lebih luas dari yang diperlukan untuk menjalankan bisnis organisasi. Implikasinya, penyebarannya harus dibatasi pada orang-orang yang diberi wewenang yang sesuai untuk akses dan hanya pada keadaan di mana mereka membutuhkan akses. Aturan 'perlu mengetahui' dan 'perlu untuk menahan' sangat penting untuk keamanan informasi sensitif. Aturan-aturan ini harus memandu manajemen dan kontrol hak akses informasi. Hak akses harus ditinjau secara berkala dan bila diperlukan.

Memastikan kerahasiaan tergantung pada penerapan langkah-langkah keamanan untuk memilih informasi sensitif dan aset informasi sensitif (peralatan atau komponen, termasuk media, prosesnya, menangani, menyimpan atau mengirimkan informasi sensitif) untuk memastikan bahwa informasi sensitif tidak jatuh ke tangan individu atau organisasi yang tidak sah, baik eksternal maupun internal.

Di Inggris, Regulasi keamanan di Industri Sipil telah mengalami transformasi yang signifikan, dengan beralih dari resolusi ke pendekatan yang lebih fokus dan objektif. Transformasi ini bertepatan dengan penerbitan Prinsip-Prinsip Penilaian Keamanan/*Security Assessment Principles* (SyAP).

Kantor untuk Peraturan Nuklir menggunakan SyAP, bersama dengan mendukung petunjuk penilaian teknis dan panduan inspeksi teknis, untuk memandu penilaian regulasi ketika melakukan penilaian pengaturan keamanan para pemegang tanggung jawab [9].

2.3. Upaya Perlindungan Informasi Sensitif di BAPETEN

Praktek di Indonesia, proses komunikasi antara BAPETEN selaku badan publik dan badan pengawas dengan publik dan pihak lain dipandu oleh kebijakan internal BAPETEN tentang Keterbukaan Informasi Publik. BAPETEN telah menerbitkan Perka BAPETEN No. 9 tahun 2012 tentang Standar Layanan Pengelolaan Informasi Publik. Perka BAPETEN ini disusun karena kewajiban lembaga

publik untuk memberikan informasi sebagaimana diatur dalam Undang-undang Nomor 14 tahun 2008 tentang Keterbukaan Informasi Publik. Perka BAPETEN No. 9 tahun 2012 tentang Standar Layanan Pengelolaan Informasi Publik di Lingkungan Badan Pengawas Tenaga Nuklir memberikan standar operasional bagi BAPETEN untuk melakukan pengelolaan dan layanan informasi publik yang pada akhirnya menjamin pembentukan keterbukaan informasi publik sebagaimana tercantum dalam Undang-Undang Keterbukaan Informasi Publik.

Untuk melakukan layanan informasi publik yang transparan dan akuntabel, Kepala BAPETEN membentuk Organisasi Layanan Informasi Publik dalam BAPETEN. Organisasi ini terdiri dari:

1. Dewan Pertimbangan Informasi (MPI)
2. Kepala Pejabat Pengelola Informasi dan Dokumentasi (Atasan PPID)
3. Pejabat Pengelola Informasi dan Dokumentasi (PPID)
4. Pejabat Informasi; dan
5. Petugas Informasi.

Dalam melakukan layanan informasi, BAPETEN menyediakan:

- a. Informasi yang harus tersedia dan diumumkan secara berkala;
- b. Informasi yang harus diumumkan sesegera mungkin;
- c. Informasi yang harus tersedia sepanjang waktu; dan
- d. **Informasi yang dikecualikan.**

Sejauh ini BAPETEN sebagai badan pengawas di Indonesia sudah melakukan upaya-upaya perlindungan terhadap informasi yang dianggap sensitif, diantaranya adalah melakukan klasifikasi terhadap informasi sensitif tersebut. Jenis-jenis informasi yang dikecualikan menurut Risalah Rapat Hasil Uji Nomor 1092A / BHO / X-2014 adalah [10]:

1. Informasi pengembangan RDBMS untuk SERASI, Perijinan FRZR, Inspeksi FRZR, Pekerja Radiasi, Evaluasi Dosis dan Perijinan IBN).
2. Informasi pengembangan RDBMS untuk B@lis Online.
3. Rencana penyelenggaraan inspeksi sewaktu-waktu.
4. Dokumen Laporan Hasil Inspeksi (LHI).
5. Dokumen data sumber radioaktif dan bahan nuklir.
6. Data sistem proteksi fisik / *security*.
7. Daftar informasi desain bahan nuklir (DIQ).
8. Informasi tentang jumlah dan kategori bahan nuklir.
9. Laporan Hasil Kajian (LHK) yang dapat mengakibatkan kerugian kepada pada pihak lain.

10. Dokumen Program Kedaruratan Nuklir pemegang izin.
11. Dokumen Laporan Analisis Keselamatan (LAK) pemegang izin terkait program kedaruratan nuklir.
12. Dokumen Program Jaminan Mutu (PJM) pemegang izin.
13. Dokumen dan data yang berhubungan dengan keamanan (proteksi fisik) dengan instalasi pemegang izin.
14. Dokumen hasil audit tingkat PJM pemegang izin.
15. Daftar Pelaksanaan Penilaian Pekerjaan (DP3).
16. Proses berita acara pemeriksaan hukuman disiplin pegawai.
17. Dokumen arsip personel pegawai.
18. Data hasil pemantauan kesehatan.
19. Proses Berita Acara Pertimbangan Jabatan dan Kepangkatan.

Dalam hal keamanan informasi sensitif, BAPETEN juga telah memberlakukan Perka BAPETEN No. 1 Tahun 2009 tentang Ketentuan Sistem Proteksi Fisik Instalasi dan Bahan Nuklir. Dimana pada Pasal 12 dinyatakan bahwa "Pemilik Instalasi Nuklir (PIN) wajib menyusun mekanisme untuk melindungi informasi yang bersifat rahasia terkait sistem proteksi fisik instalasi dan bahan nuklir.

III. KESIMPULAN

Dari hasil penelaahan terhadap beberapa dokumen *Nuclear Security Series* IAEA, dan regulasi atau praktek di negara lain, serta membandingkannya dengan praktek yang telah dilakukan di Indonesia oleh BAPETEN (selaku badan publik dan badan pengawas) terhadap informasi sensitif terkait klasifikasi dan perlindungan yang dilakukan. Maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Meskipun publik memiliki hak untuk memiliki informasi terkait materi dan teknologi nuklir untuk memastikan bahwa informasi tersebut digunakan dengan aman, adalah tanggung jawab pemerintah dan pemerintah juga bertanggung jawab untuk membuat kerangka kerja tentang bagaimana mengidentifikasi dan menangani informasi sensitif.
2. Pemerintah Republik Indonesia dalam Undang-Undang tentang Keterbukaan Informasi Publik, telah menetapkan batas-batas pada informasi apa yang dapat dibuka. Namun, peraturan tersebut belum mengatur lebih rinci mengenai sensitivitas informasi, sehingga tiap lembaga harus mengidentifikasi berdasarkan resiko keamanan terhadap manusia, aset, dan informasi.
3. BAPETEN sebagai badan pengawas dan badan publik telah melakukan upaya untuk mengklasifikasi dan melindungi serta

menjamin keamanan informasi sensitif dengan melakukan klasifikasi terhadap informasi sensitif sebagaimana dipaparkan pada subjudul 2.4 dan melalui kerangka regulasi berupa Peraturan Pemerintah dan Perka BAPETEN.

IV. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Carlton Stoiber, Alec Baer, Norbert Pelzer, Wolfram Tonhauser, *Handbook on Nuclear Law*, IAEA, Vienna, 2003, page 30
- [2] Lembar Negara (2008), Undang-Undang No. 14 tentang Keterbukaan Informasi Publik, Indonesia
- [3] BAPETEN (2012), Peraturan Kepala BAPETEN No. 9 tahun 2012 tentang Standar Layanan Pengelolaan Informasi Publik di Lingkungan Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Indonesia
- [4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Nuclear Security Series No. 23-G, *Security of Nuclear Information*, Vienna, 2015, page 4
- [5] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Nuclear Security Series No. 23-

- G, *Security of Nuclear Information*, Vienna, 2015, page 4
- [6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Nuclear Security Series No. 23-G, *Security of Nuclear Information*, Vienna, 2015, page 5
- [7] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Nuclear Security Series No. 23-G, *Security of Nuclear Information*, Vienna, 2015, page 11
- [8] The Wikipedia, *Classified Information in the US*, <https://en.wikipedia.org/wiki/Classified_information_in_the_United_States> at 2 September 2016
- [9] <<http://www.onr.org.uk/ocns/regulation-of-sensitive-nuclear-information-list-n.htm>> at 28 June 2018
- [10] Dedi Hermawan and Mohamad Mamat, *Tinjauan Komunikasi Badan Pengawas Tenaga Nuklir Dalam Peraturan di Indonesia*, Seminar Keselamatan Nuklir, Indonesia, 2015

Nama Penanya : Franky BB
Instansi : UNAIR
Nama Penyaji : M Mamat
Judul Makalah :

Kode Makalah : PB13

Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar

Apakah informasi yang dimaksud adalah informasi yang terbuka atau tertutup?
 Dalam UU KIP, informasi ini masuk dalam kategori apa?

Jawaban/Komentar dari Penyaji

Informasi sensitif yang dijelaskan pada makalah ini adalah jenis informasi yang bersifat tertutup. Dalam pasal 6, UU 14 tahun 2018 tentang KIP, badan-badan publik memiliki hak untuk menolak memberikan informasi yang masuk ke dalam informasi yang dikecualikan.

PB14
KARAKTERISASI PRODUK FISI FASILITAS UJI SUBCRITICAL ASSEMBLY FOR MO⁹⁹
PRODUCTION

Azizul Khakim¹, Suharyana², Riyatun²

¹Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN)

²Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam-Univ. Sebelas Maret

[e-mail: a.khakim@bapeten.go.id](mailto:a.khakim@bapeten.go.id)

ABSTRAK

SAMOP merupakan fasilitas uji yang bersifat subkritis yang diintegrasikan dengan reaktor Kartini untuk memproduksi Mo⁹⁹. Sebagai sistem larutan uranium, maka SAMOP harus bersifat *proliferation resistant*. Pembangkitan Pu²³⁹ merupakan salah satu indikatornya. Di samping itu, Pu²³⁹ yang merupakan pemancar radiasi alpha memiliki radiotoksitas yang tinggi jika terpapar ke manusia. Makalah ini bertujuan untuk menghitung produk Mo⁹⁹ dan Pu²³⁹ dari sistem SAMOP yang beroperasi selama 5 hari. Perhitungan inventori produk fisi dilakukan menggunakan code berbasis monte carlo MCNPX dengan hanya memodelkan geometri SAMOP (tanpa reaktor Kartini) dan input daya SAMOP. Selama 5 hari operasi, sistem uji SAMOP mampu memproduksi isotop Mo⁹⁹ sebesar 4,85 *6-day Ci*. Sedangkan Pu²³⁹ yang dihasilkan selama 5 hari dan 30 hari operasi masing-masing sebesar $1,6 \times 10^{-4}$ g dan $1,42 \times 10^{-3}$ g. Dengan demikian, sistem SAMOP terbukti *proliferation resistant*. Kata kunci: SAMOP, subkritis, Mo⁹⁹, Pu²³⁹, proliferation resistant.

ABSTRACT

SAMOP is subcritical experimental facility integrated to Kartini reactor to produce isotope Mo⁹⁹. As a system of uranium solution, SAMOP has to be naturally proliferation resistant. Generation of Pu²³⁹ is one of its indicators. In addition, Pu²³⁹ that emits alpha particles has high radio toxicity if exposed to human body. This paper was intended to calculate Mo⁹⁹ and Pu²³⁹ product from SAMOP system operating for 5 days. The calculations on fission product inventory employed Monte Carlo based MCNPX code by modeling SAMOP geometry only (without Kartini Reactor) and the fission power of SAMOP. During 5 days operation, SAMOP test facility could produce 4.85 *6-day Ci* of Mo⁹⁹ isotope. On the another hand, during 5 days and 30 days operation, it could produce 1.6×10^{-4} g and 1.42×10^{-3} g of Pu²³⁹, respectively. Therefore, SAMOP has been proven to be proliferation resistant.

Keywords: SAMOP, subcritical, Mo⁹⁹, Pu²³⁹, proliferation resistant.

PENDAHULUAN

Technetium-99m(Tc^{99m}) merupakan salah satu isotop yang paling banyak digunakan untuk bidang nuklir medis[1-2]. Tc^{99m} dihasilkan dari induknya Mo⁹⁹. Isotop Tc^{99m}, yang memiliki waktu paruh 6 jam dan energi yang dipancarkan 140 keV, menjadikannya sebagai agen untuk pengambilan gambar yang ideal. Penggunaannya terutama untuk mendapatkan gambar tulang dan otot jantung, tetapi juga untuk otak, tiroid, paru-paru, liver, ginjal dan lain-lain. Karena waktu paruhnya yang pendek, maka tidak memungkinkan untuk mengirim Tc^{99m} ke fasilitas medis, sehingga yang disuplai adalah induknya yaitu Mo⁹⁹ yang memiliki waktu paruh 66 jam, dalam bentuk Tc^{99m} generator.

Metode produksi Mo⁹⁹ dapat dilakukan melalui proses fisi U²³⁵, baik dengan reaktor kritis maupun subkritis. Metode yang umum untuk produksi Mo⁹⁹ adalah iradiasi target yang mengandung U²³⁵ pada teras reaktor riset. Proses fisi dapat juga dilakukan pada sistem subkritis dengan bantuan sumber neutron eksternal agar reaksi fisi dapat berlangsung secara berkesinambungan [3].

Belgia mengoperasikan *accelerator-driven subcritical reactor* bernama ADONIS yang berbahan bakar padat. Sistem ini mengandalkan siklotron berenergi dan berarus tinggi sebagai

sumber neutron eksternal. Berkas proton digunakan untuk menumbuk Tantalum untuk membangkitkan fluks neutron intensitas tinggi. Target dikelilingi oleh 4 lapis silinder terbuat dari target HEU. Moderator berupa berilium, dan target berada dalam air berat (D₂O) sebagai pendingin [4]. Sistem serupa bernama SHINE juga sedang dikembangkan oleh Amerika, namun bahan bakar yang dipakai adalah larutan uranium [5].

PSTA-BATAN telah mencanangkan proyek uji sistem larutan uranium subkritis yang bertujuan untuk memproduksi Mo⁹⁹ dengan nama SAMOP (*Subcritical Assembly for Mo⁹⁹ Production*). Sistem ini akan mendapatkan neutron eksternal dari salah satu beam port reaktor Kartini, sehingga merupakan utilisasi baru bagi reaktor tersebut.

Makalah ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik produk fisi dan distribusinya seperti Mo⁹⁹ dan Pu²³⁹ yang dihasilkan oleh fasilitas uji SAMOP. Isotop Pu²³⁹ merupakan salah satu indikator proliferation resistant dari suatu sistem berbahan nuklir. Di samping itu, isotop Pu²³⁹ adalah pemancar radiasi alpha yang memiliki radiotoksitas yang tinggi jika terpapar ke dalam tubuh manusia sebagai pengotor bersamaan dengan penggunaan Tc^{99m} di dunia medis. Analisis ini

merupakan kajian pengawasan yang dilakukan oleh Badan Pengawas dalam rangka proses perijinan.

METODOLOGI DAN MATERIAL

Geometri SAMOP dan model MCNP5

Fasilitas uji SAMOP merupakan sistem subkritis dari larutan uranyl nitrat ($UO_2(NO_3)_2$) yang dimasukkan dalam tabung yang dikelilingi dengan reflektor grafit. Karena sistem ini bersifat subkritis, maka SAMOP tidak dapat melangsungkan reaksi fisi secara berkesinambungan. Agar reaksi fisi tetap berlangsung, maka diperlukan sumber neutron tambahan yang berasal dari *beam port* reaktor Kartini.

Di samping uranyl nitrat, larutan bahan bakar yang sering menjadi pilihan adalah uranyl sulfat. Uranyl nitrat lebih mudah dalam preparasi, tetapi kenaikan pH yang tinggi selama iradiasi menuntut pengumpanan secara terus-menerus untuk menghindari pengendapan uranium dan produk fisi. Pengambilan / ekstraksi Mo^{99} lebih mudah pada media nitrat dari pada sulfat [6].

Gambar 1 menunjukkan teras 3D dan sistem pendingin fasilitas uji SAMOP yang terdiri dari tabung pusat yang dapat bergerak naik turun. Di luarnya terdapat tabung anular yang berisi larutan yang sama. Disisi periferal terdapat 6 lubang yang dapat diisi oleh tabung dengan larutan yang sama atau bisa juga diisidengan bahan bakar TRIGA. Pada tabung larutan uranyl nitrat di pusat, bagian atasnya terhubung dengan batang kendali yang terbuat dari boron. Pada operasi normal, larutan uranyl nitrat berada pada level yang sama dengan teras SAMOP. Sedang pada saat *shutdown*, batang boron akan menyisip pada teras SAMOP, dan larutan uranyl pusat yang berfungsi sebagai *fuel follower* berada di posisi bawah teras. Sistem larutan ini dikelilingi oleh grafit yang berfungsi sebagai reflektor neutron. Pada bagian reflektor grafit terdapat lubang kolimator yang menghubungkan teras SAMOP dengan *beam port* reaktor Kartini, dimana arus neutron akan bergerak dari teras Kartini menuju teras SAMOP [7].

Gambar 2 memperlihatkan tampak lintang mendatar dan tegak dari model geometri teras SAMOP dengan code MCNPX yang digunakan untuk perhitungan *burnup*.

Model Perhitungan Burnup

Sebelum dilakukan perhitungan *burnup*, yang terlebih dulu dilakukan adalah perhitungan daya fisi pada SAMOP. Perhitungan ini menggunakan code MCNP5 dengan menggabungkan antara geometri SAMOP dan geometri reaktor Kartini yang terhubung melalui salah satu *beam port* reaktor. Sebagian fluks neutron dari reaktor Kartini akan bergerak menuju sistem SAMOP melalui *beam port* tersebut, yang memungkinkan reaksi fisi dapat berlangsung secara berkesinambungan pada sistem SAMOP walaupun kondisinya subkritis. Tally F7 diterapkan pada

delapan tabung SAMOP, yang selanjutnya dilakukan normalisasi untuk mendapatkan pada daya masing-masing tabung dan daya totalnya, dengan menggunakan formula [8]:

$$P = F_7 S_s \left(\frac{1}{k_{eff}} \right) 1,6022 \cdot 10^{-13} \quad (1)$$

dimana P adalah deposisi energi fisi pada sel yang di-tally dalam satuan watt/g. Parameter P harus dikalikan dengan masa sel tersebut. Parameter S_s adalah kuat sumber yang didefinisikan sebagai:

$$S_s = \frac{P_{core} \nu}{1,6022 \cdot 10^{-13} w_f} \quad (2)$$

Dengan ν adalah jumlah neutron yang dihasilkan per fisi dan merupakan output dari MCNP5. Parameter w_f adalah energi yang dihasilkan per fisi yang besarnya sekitar 198 MeV/fisi untuk U^{235} .

Daya fisi hasil perhitungan MCNP5 digunakan sebagai input untuk perhitungan *burnup*. Dengan metode ini, perhitungan *burnup* cukup menggunakan geometri SAMOP saja, tanpa digabung dengan geometri reaktor Kartini. Hal ini akan mengurangi jumlah sel secara signifikan, yang pada akhirnya mempercepat proses perhitungan *burnup*.

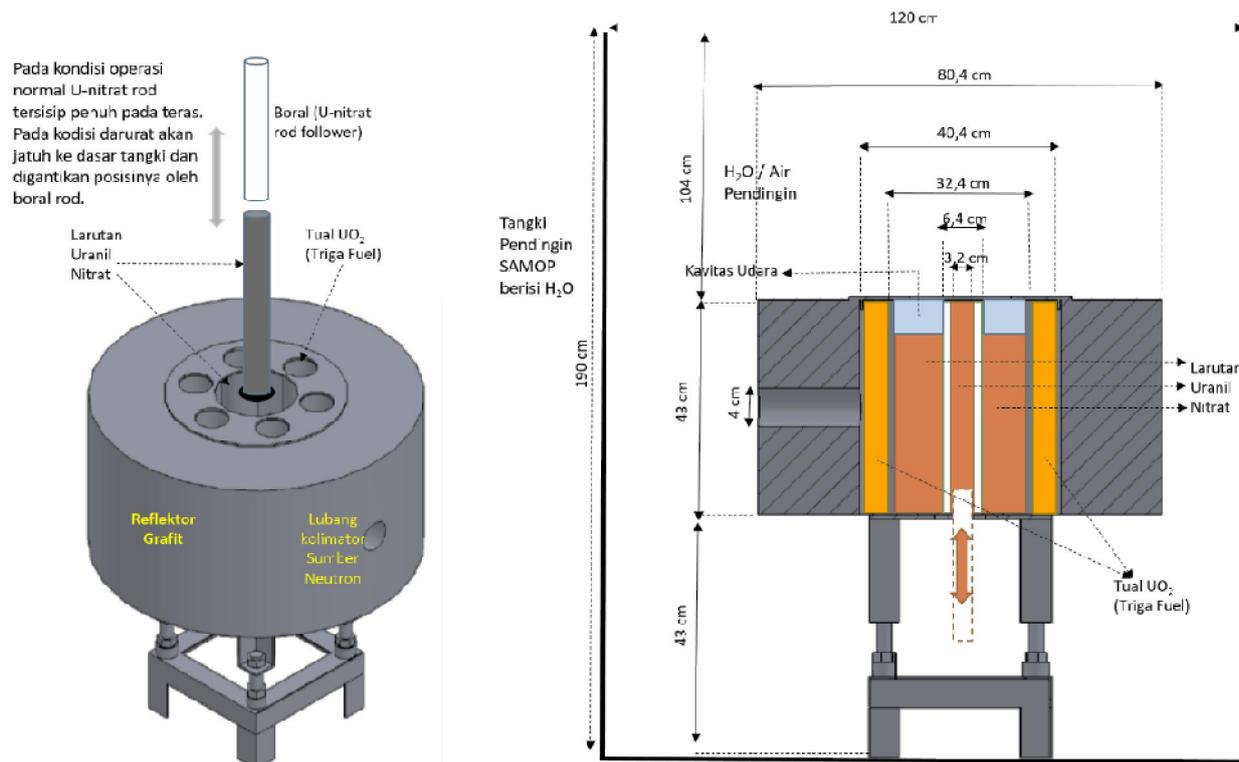
Perhitungan *burnup* dilakukan dengan menggunakan MCNPX 2.70 yang merupakan code transport partikel dengan kemampuan menghitung laju reaksi kondisi ajeg, parameter normalisasi, parameter neutronik dan juga fraksi bakar bahan bakar menggunakan CINDER90 untuk menghitung parameter gayut waktu [10]. Data nuklir yang digunakan adalah *Evaluated Nuclear Data File* (ENDF/B-VII). Tampang lintang $S(\alpha, \beta)$ diterapkan pada material yang memiliki efek thermal scattering seperti larutan uranyl nitrat, moderator air dan reflektor grafit. Mode KCODE digunakan untuk perhitungan parameter neutronik. Kartu BURN digunakan untuk perhitungan inventori produk fisi, yang antara lain mencakup parameter TIME, POWER, PFRAC, MAT, dan lain-lain [10]. Sesuai dengan rencana mode operasinya, dalam perhitungan ini diasumsikan SAMOP beroperasi selama 5 hari dengan *burnup step* selama 1 hari. Material yang mengandung bahan fisil dalam SAMOP ditandai sebagai material yang akan dihitung *burnup*-nya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

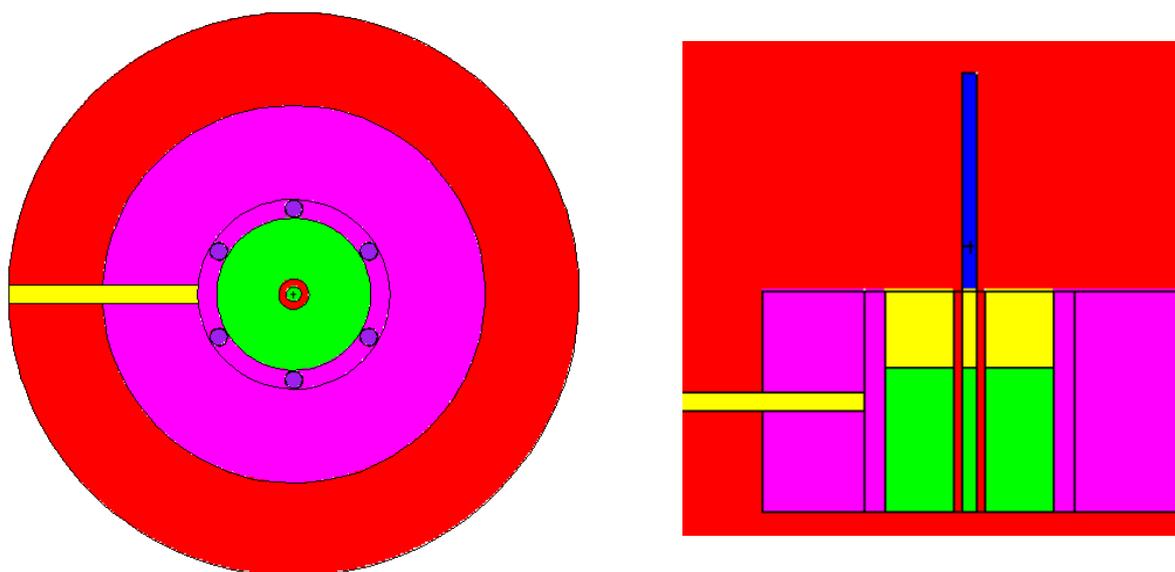
Ketika reaktor Kartini beroperasi pada daya nominal 100 kW, daya total pada SAMOP diperoleh sebesar 563 watt, sedangkan ketika beroperasi pada daya batas atas 110 kW (110 %), daya SAMOP adalah 613 watt.

Karena itu, selanjutnya untuk perhitungan *burnup* dengan code MCNPX didasarkan pada daya SAMOP 600 watt. Larutan bahan bakar memiliki densitas 300 gU/l dengan pengkayaan 19,75 % U^{235}

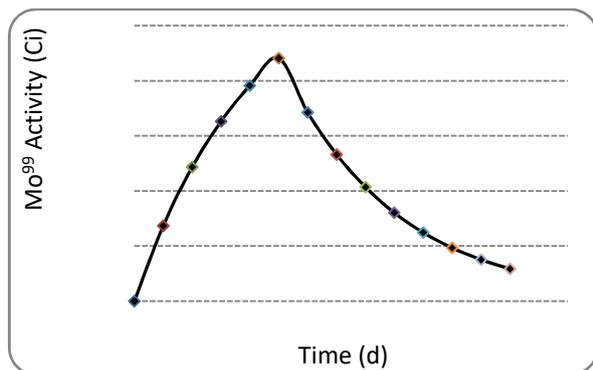
dan telah terbukti berada pada rentang *under-moderated* [7]. Gambar 3 menunjukkan grafik produksi Mo^{99} selama lima hari dan mengalami peluruhan selama delapan hari. Mo^{99} memiliki waktu paruh 66 jam. Secara keseluruhan sistem uji SAMOP dapat menghasilkan total aktivitas Mo^{99} sebesar 22,03 Ci. Dengan mempertimbangkan waktu untuk proses ekstraksi dan transportasi, maka aktivitas efektif yang dapat dimanfaatkan adalah sebesar 4,85 *6-day Ci*.



Gambar 1. Teras 3-D dan tangki sistem pendingin fasilitas uji SAMOP [7], [9]



Gambar 2. Model geometri MCNP5 untuk tampang lintang mendatar dan tegak teras SAMOP

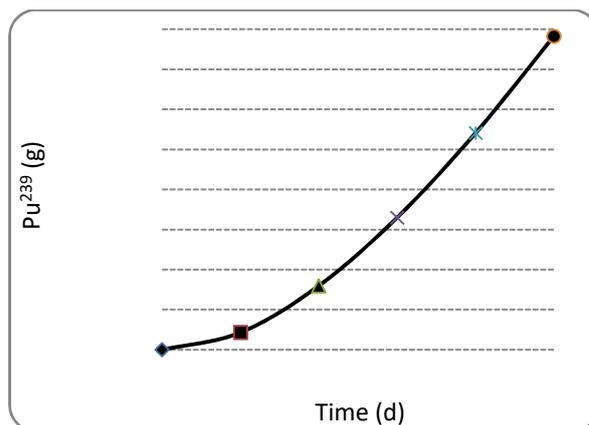


Gambar 3. Laju produksi dan peluruhan Mo^{99}

Tabel 1 menguraikan distribusi aktivitas Mo^{99} yang dihasilkan pada masing-masing tabung SAMOP. Tabung anular yang memuat paling banyak larutan uranyl nitrat membangkitkan daya paling besar yaitu 92,8 % atau 556,92 watt. Sedangkan tabung larutan yang di tengah membangkitkan daya 1,88 % atau 11,3 watt. Sementara enam tabung di posisi periferan membangkitkan tidak lebih dari 1.0 %.

Karena letaknya berada di tengah sehingga terpapar oleh fluks neutron paling tinggi, maka tabung tengah memberikan fraksi bakar (*burnup*), densitas daya dan aktivitas volumetrik Mo^{99} paling tinggi, yaitu masing-masing sebesar $8,30 \times 10^{-4}$ MWd/MTU, $4,986 \times 10^{-2}$ W/cm³ dan $1,827 \times 10^{-3}$ Ci/cm³. Dengan laju produksi Mo^{99} paling tinggi, maka tabung ini paling efektif sebagai penghasil Mo^{99} .

Untuk tabung anular karena volumenya yang besar sehingga menyimpan aktivitas Mo^{99} yang paling tinggi, yaitu 20,44 Ci. Perhitungan lain yang dilakukan oleh Syarip et al untuk SAMOP berbahan bakar larutan Thorium nitrat pada daya 1 kW selama 6 hari operasi menghasilkan 18,58 Ci Mo^{99} [11].



Gambar 2. Akumulasi Pu^{239} pada fasilitas SAMOP

Di samping jumlah Mo^{99} yang dihasilkan oleh sistem SAMOP, penting juga untuk mengetahui akumulasi Pu^{239} yang merupakan produk transformasi dari U^{238} yang menangkap neutron menjadi Pu^{239} . Hal ini diperlukan antara lain untuk menilai *proliferation resistant* dari sistem SAMOP. Pu^{239} juga merupakan penyumbang terbesar terhadap radiotoksistas [12]. Radiotoksistas menurut ICRP didefinisikan sebagai perkalian antara koefisien dosis efektif (dalam satuan Sv/Bq) dan aktivitas (dalam Bq) dari nuklida tersebut. Pu^{239} adalah pemancar radiasi alpha yang berbahaya jika masuk ke dalam tubuh manusia bersamaan dengan injeksi Tc^{99m} . Sehingga beberapa negara membatasi kemurnian Tc^{99m} dari pengotor alpha.

Selama lima hari operasi, sistem SAMOP secara total menghasilkan $1,6 \times 10^{-4}$ g Pu^{239} . Perhitungan dilakukan juga untuk 30 hari operasi yang menghasilkan $1,42 \times 10^{-3}$ g Pu^{239} . Karena terbentuknya dari transmudasi U^{238} , maka reaktor dengan pengkayaan yang rendah akan menghasilkan Pu^{239} yang lebih tinggi.

Tabel 1. Distribusi produk fisi Mo^{99} pada SAMOP

Larutan bahan bakar	Volume (cm ³)	Aktivitas Mo^{99} (Ci)	Fraksi daya (%)	Burnup (MWd /MTU)	Densitas daya (W/cm ³)	Aktivitas volumetrik Mo^{99} (Ci/cm ³)
Larutan tengah	226,0	0,413	1,878	$8,30 \times 10^{-4}$	$4,986 \times 10^{-2}$	$1,827 \times 10^{-3}$
Larutan anular	22382,0	20,440	92,820	$4,15 \times 10^{-4}$	$2,488 \times 10^{-2}$	$9,132 \times 10^{-4}$
Larutan periferan 1	287,5	0,195	0,873	$3,07 \times 10^{-4}$	$1,822 \times 10^{-2}$	$6,785 \times 10^{-4}$
Larutan periferan 2	287,5	0,196	0,885	$3,07 \times 10^{-4}$	$1,846 \times 10^{-2}$	$6,799 \times 10^{-4}$
Larutan periferan 3	287,5	0,197	0,897	$3,09 \times 10^{-4}$	$1,871 \times 10^{-2}$	$6,865 \times 10^{-4}$
Larutan periferan 4	287,5	0,196	0,890	$3,10 \times 10^{-4}$	$1,856 \times 10^{-2}$	$6,803 \times 10^{-4}$
Larutan periferan 5	287,5	0,196	0,877	$3,09 \times 10^{-4}$	$1,830 \times 10^{-2}$	$6,820 \times 10^{-4}$
Larutan periferan 6	287,5	0,197	0,885	$3,10 \times 10^{-4}$	$1,846 \times 10^{-2}$	$6,844 \times 10^{-4}$

Tanpa memperhitungkan laju peluruhan dan yang terkonsumsi oleh proses fisi, secara kasar untuk mendapatkan 8 kg Pu²³⁹ (batasan IAEA) dibutuhkan waktu 470000 tahun. Sementara massa kritis (*bare critical mass*) dari Pu²³⁹ adalah 14,8 kg [13]. Dengan sistem SAMOP terbukti *proliferation resistant*.

KESIMPULAN

Perhitungan inventori produk fisi pada fasilitas uji SAMOP telah dilakukan dengan menggunakan code MCNPX. SAMOP dapat menghasilkan Mo⁹⁹ sebesar 4,85 *6-day Ci*. Sedangkan Pu²³⁹ yang dihasilkan untuk 5 hari dan 30 hari operasi masing-masing sebesar $1,6 \times 10^{-4}$ g dan $1,42 \times 10^{-3}$ g. Dengan demikian sistem SAMOP terbukti *proliferation resistant*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada bapak Syarip dari PSTA-BATAN atas diskusinya tentang spesifikasi teknis fasilitas uji SAMOP.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Pietropaolo, L. Quintieri, A. Fazio, P. De Felice, M. Pillon, and A. Pizzuto, "Tc-99m by Mo-99 produced at the ENEA-FNG facility of 14 MeV neutrons," *Appl. Radiat. Isot.*, vol. 134, no. October 2017, pp. 105–107, 2018.
- [2] A. Isnaeni, M. S. Aljohani, T. G. Aboalfaraj, and S. I. Bhuiyan, "Analysis of Mo-99 Production Capacity in Uranyl Nitrate Aqueous Homogeneous Reactor using ORIGEN and MCNP," *Atom Indones.*, vol. 40, no. 1, pp. 40–43, 2014.
- [3] Z. Gholamzadeh, S. A. H. Fegghi, S. M. Mirvakili, and M. Alizadeh, "Computational Investigation of Mo-99, Sr-89, And I-131 Production Rates in a Subcritical UO₂(NO₃)₂ Aqueous Solution Reactor Driven by a 30-MeV Proton Accelerator," *Nucl. Eng. Technol.*, vol. 47, pp. 875–883, 2015.
- [4] S. M. Mirvakili, Z. Gholamzadeh, and A. Davari, "Neutronic and thermo hydraulic analysis of a modeled subcritical uranyl nitrate aqueous reactor driven by 30-MeV protons," *Ann. Nucl. Energy*, vol. 97, pp. 171–178, 2016.
- [5] A. J. Youker *et al.*, "SHINE Chemistry Overview," in *Topical Meeting on Molybdenum-99 Technological Development*, 2015.
- [6] A. J. Youker, S. D. Chemerisov, M. Kalensky, P. Tkac, D. L. Bowers, and G. F. Vandegrift, "A Solution-Based Approach for Mo-99 Production: Considerations for Nitrate versus Sulfate Media," *Sci. Technol. Nucl. Install.*, vol. 2013, pp. 1–10, 2016.
- [7] Khakim Azizul, Syarip, and Suharyana, "Karakteristik Neutronik Sistem SAMOP (Subcritical Assembly for Mo-99 Production)," in *Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir 2017*, 2017, pp. 113–119.
- [8] L. Snoj and M. Ravnik, "Calculation of Power Density with MCNP in TRIGA reactor," in *Int. conf. Nuclear Energy for New Europe*, 2006, pp. 1–6.
- [9] Syarip and T. Nugroho, "Analisis Termohidrolik Fasilitas Eksperimen SAMOP (Reaktor Subkritik Produksi Isotop Mo-99)," *J. Pengemb. Energi Nukl.*, vol. 19, no. 1, pp. 25–31, 2017.
- [10] D. B. Pelowitz, "MCNPX Ver.2.7.0 User's Manual." 2011.
- [11] Syarip, E. Togatorop, and Yassar, "Molybdenum-99 production calculation analysis of SAMOP reactor based on thorium nitrate fuel," *J. Phys.*, vol. 978, 2018.
- [12] R. J. Sheu, C. C. Chao, O. Feynberg, and Y. H. Liu, "A fuel depletion analysis of the MSRE and three conceptual small molten-salt reactors for Mo-99 production," *Ann. Nucl. Energy*, vol. 71, pp. 111–117, 2014.
- [13] Y. Kimura, M. Saito, and H. Sagara, "Evaluation of Proliferation Resistance of Plutonium Based on Decay Heat Evaluation of Proliferation Resistance of Plutonium Based on Decay Heat," *Nucl. Sci. Technol.*, vol. 48, no. 5, pp. 715–723, 2011.

PB15

**STUDI APLIKASI INERTING PADA PENGEMBANGAN KINERJA *APPARATUS CORROSION TEST*
BERPENDINGIN LOGAM CAIR STATIS PADA MATERIAL *STAINLESS STEEL SS316* :
*TOLACORE PROJECT***

M. David wahyu permadi¹, Muhammad irfan², Alip firmansah³, Fachri adya⁴, Muhammad ilham⁵, Asril pramutadi A.M.*

¹*Teknik kimia, Fakultas teknologi industri, Institut Teknologi Bandung, Bandung*

^{2,3,4,5,*}*Fisika, Fakultas matematika dan ilmu pengetahuan alam, Institut Teknologi Bandung, Bandung*

*) *corresponding*

e-mail: davidpermadi06@gmail.com

ABSTRAK

Struktur material pada konstruksi reaktor nuklir berperan penting dalam menjaga aspek keselamatan operasi. Besi baja berjenis *stainless steel* (SS316) merupakan material yang paling umum digunakan pada konstruksi reaktor nuklir. Reaktor spinnor (*small Pb-Bi cooled non-refuelling nuclear reactors*) memiliki sistem pendingin logam cair berupa alloy Pb-Bi. Pb-Bi memiliki titik leleh yang sangat rendah yakni 136°C dan kelarutan oksigen relatif rendah. Namun alloy ini dalam jangka panjang dapat menyebabkan korosi pada dinding reaktor yang sebagian besar terbuat dari material baja SS316. Terjadinya korosi pada material SS316 dapat beresiko menyebabkan kecelakaan berupa ledakan hingga kebocoran paparan zat radioaktif. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem (prototipe) reaktor nuklir berpendingin logam cair skala laboratorium. Untuk tahap awal, penelitian dilakukan dengan menguji sampel pada dua kondisi tanpa adanya logam pendingin Pb-Bi. Kondisi pertama pada ruang atmosferik (tanpa gas argon), sedangkan perlakuan kedua menggunakan gas argon. Kondisi operasi TOLACORE (WiThout fLOW Lead Alloys CORrosion) dijaga pada suhu 350°C selama 2 x 24 jam. Mikrostruktur oksida besi akibat adanya korosi pada permukaan sampel (*surface microstructure*) dianalisis menggunakan mikroskop digital. Dari analisis tersebut didapatkan bahwa sampel dengan perlakuan atmosferik lebih terkorosi dibandingkan dengan sampel perlakuan gas argon. Sampel kondisi atmosferik lebih pucat dan berwarna kecoklatan, hal ini mengindikasikan adanya akumulasi oksida besi pada permukaan SS316. Adanya penambahan gas argon (inerting) pada sistem uji dapat menghambat laju korosi. penambahan gas argon dapat mengeliminasi keberadaan gas oksigen sebagai senyawa aktivator korosi. TOLACORE dapat mencapai suhu hingga 350° celcius.

Kata kunci: korosi, mikrostruktur, SS316, TOLACORE.

ABSTRACT

Material structures in the construction of nuclear reactors play an important role in safeguarding the safety aspects of operations. Stainless steel (SS316) is the most common material used in the construction of nuclear reactors. Spinnor reactors (*small Pb-Bi cooled non-refueling nuclear reactors*) has liquid metal cooling configuration as we know Pb-Bi alloy. Pb-Bi has a very low melting point of 136°C and relatively low oxygen solubility. However, these alloys in the long run cause corrosion of the reactor wall, most of which is made of SS316 steel material. The occurrence of corrosion in SS316 material can be at risk of causing an explosion accident to leak exposure to radioactive substances. This study aims to develop a system (prototype) of stagnant cooled liquid metal Pb-Bi nuclear reactor in laboratory scale. For the initial phase, the study was conducted by testing the samples on two conditions in the absence of Pb-Bi cooling metal. The first condition is in the atmospheric space (without argon gas), whereas the second treatment uses argon gas. TOLACORE (WiThout fLOW Lead Alloys CORrosion) operating conditions are maintained at 350 ° C for 2 x 24 hours. The microstructure of iron oxide due to corrosion on the surface of the sample (*surface microstructure*) was analyzed using a digital microscope. From the analysis it was found that samples with atmospheric treatment were more corrosion than the argon gas treatment samples. The samples of atmospheric conditions are more pale and brownish, indicating the presence of iron oxide accumulation on the surface of SS316. The addition of argon gas (inerting) to the test system can inhibit the rate of corrosion. the addition of argon gas can eliminate the presence of oxygen gas as a corrosion activator compound. TOLACORE can reach temperatures up to 350° celcius.

Keywords: corrosion, microstructure, SS316, TOLACORE.

1. PENDAHULUAN

Keselamatan operasi suatu reaktor nuklir merupakan faktor yang sangat penting, karena kecelakaan yang terjadi pada suatu reaktor akan berakibat fatal bagi para teknisi dan masyarakat setempat. Belajar dari beberapa peristiwa kecelakaan reaktor, dimulai sejak kecelakaan reaktor TMI di Amerika, Chernobyl di Ukraina, serta yang terakhir Fukushima Daiichi di Jepang, maka dibutuhkan peningkatan kualitas keselamatan pada semua instalasi nuklir, bukan hanya pada reaktor nuklir [1].

Material konstruksi reaktor menjadi salah satu faktor utama dalam menentukan tingkat keselamatan sistem operasional reaktor nuklir [1]. Pada reaktor nuklir generasi keempat (Gen. IV) fokus memanfaatkan siklus bahan bakar yang lebih efisien, ramah lingkungan dan tahan lama (*non-refueling*) [1]. Tipe fluida pendingin yang digunakan berbagai macam mulai dari gas, air (*steam*), hingga alloy logam. Masing masing fluida pendingin diatas memiliki potensi membuat kerak oksida pada dinding reaktor melalui reaksi korosi.

Permasalahan akhir akhir ini lebih fokus pada reaktor nuklir generasi IV yakni menggunakan alloy logam sebagai fluida pendingin. Reaktor *Heavy liquid metal* (HLM) (Gen IV) menggunakan logam berat sebagai pendingin pada sistem pembuang panas [2]. Kemampuan konstruksi material penyusun reaktor merupakan parameter penting dalam desain reaktor. Salah satu contoh material besi baja martensit T91 merupakan besi yang tahan terhadap korosi yang disebabkan oleh logam pendingin dan iradiasi partikel neutron [3]. Rentang kerja temperatur (Gen IV) memiliki korelasi terhadap sifat mekanik material yang digunakan. *Strength, ductility, roughness, resistance scaling oxide* adalah sifat mekanik yang harus dioptimalkan [4].

Berdasarkan penelitian penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya [5], dapat disimpulkan bahwa HLM memiliki potensi korosi paling besar jika dibandingkan dengan fluida pendingin yang lain. Akan tetapi penggunaan logam berat timbal (Pb) sebagai fluida pendingin memiliki kelebihan diantaranya, sifat fisiknya yang *compatible* dengan struktur material reaktor, kelarutan terhadap oksigen cukup rendah, serta memiliki titik leleh yang relatif rendah [2-5].

Penyebab spesifik terjadinya korosi pada konstruksi material reaktor nuklir adalah adanya difusi oksigen (O_2) dari udara ke pendingin Pb cair sehingga oksigen ini dapat berkontak dengan material konstruksi reaktor dan menyebabkan kerak pada permukaan. Selain itu Pb sendiri akan bereaksi dengan oksigen membentuk oksidanya yakni PbO dan PbO₂. Adanya kerak oksida ini dapat menghambat efisiensi transfer panas antara reaktor ke cairan Pb. Serta dari cairan Pb ke boiler pembangkit uap (*steam*) [6].

Beberapa langkah untuk mengurangi oksida logam akibat adanya korosi diantaranya dengan cara, *welding* atau pengelasan pada material konstruksi dinding reaktor, akan tetapi cara ini relatif mahal [7]. Cara lain yang lebih murah adalah dengan melakukan proses inerting. Proses ini dilakukan dengan mengalirkan gas inert seperti gas argon atau helium didalam ruang operasi. Adanya gas inert akan mengurangi konsentrasi gas oksigen dalam ruangan sehingga korosi dapat berkurang [7-8].

Pada penelitian ini akan dilakukan aplikasi inerting pada TOLACORE menggunakan gas argon. Penambahan gas argon pada sistem ruang diharapkan mampu memberikan pengaruh perlambatan proses pembentukan oksida secara signifikan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini akan menguji unjuk kerja sistem prototip TOLACORE yang meliputi beberapa tahap penelitian diantaranya :

2.1 Tahap preparasi spesimen sampel

Sampel yang digunakan pada percobaan ini adalah material besi baja *stainless steel* SS316 yang telah disediakan dalam gudang bahan Laboratorium program studi Fisika, Fakultas matematika dan ilmu pengetahuan, Institut teknologi bandung. Sampel berbentuk tubular dengan diameter rata rata 1.5 cm dan panjang 3 cm serta tebal 0.2 mm pada gambar 2.1. Pemotongan sampel dengan alat pemotong berjenis *slow cutting* "Hardness HRC60-Sellery". Sampel disiapkan dengan sebanyak tiga buah masing masing ukuran identik. Sampel A merupakan sampel tanpa perlakuan sampel B untuk perlakuan atmosferik, dan sampel C untuk perlakuan inerting dengan gas argon. SS316 merupakan besi baja (Cr: 17.44, Ni: 12.33, Mo: 2.3, Mn: 1.82, Cu: 0.2, Si: 0.46, Co: 0.17, C: 0.024, N: 0.06 % berat) dibuat dengan cara *fully annealed* pada 20% *cold work*. Sampel berwarna silver (perak).



Gambar 2.1 Sampel uji

2.2 Prosedur percobaan utama (*corrosion test*)

Rangkaian percobaan utama dapat dibagi menjadi beberapa bagian diantaranya sebagai berikut :

2.2.1 Tahap persiapan

Pada tahap ini dilakukan persiapan dan mengkonfigurasi alat TOLACORE. Skema alat dan

model prototipe alat TOLACORE dapat dilihat pada gambar 2.2 adapun pada gambar 2.3 adalah bagian dalam TOLACORE, material *furnace* terbuat dari bahan keramik campuran MgO dan SiO₂ bahan ini tahan pada suhu maksimal 900°C. dan juga tabung gas argon. Sedangkan penyangga sampel dan logam pendingin terbuat dari besi baja jenis SS403 yang merupakan konduktor panas yang baik serta memiliki kekuatan mekanis tinggi seperti daya tahan terhadap suhu tinggi, modulus young dan *roughness* tinggi. terdapat tabung penyimpanan gas argon berisi gas argon bertekanan 3-7 atm. serta pompa vakum yang digunakan untuk mengeluarkan sebagian udara pengotor saat awal operasi dimulai sekitar 10 – 15 menit.



Gambar 2.2 Prototipe TOLACORE apparatus corrosion test



Gambar 2.3 tabung gas argon dan tungku *furnace* dari bahan keramik

2.2.2 Tahap percobaan utama (*running corrosion test*)

Sebelum memulai tahap ini, harus dipastikan terlebih dahulu bahwa alat secara keseluruhan sudah terpasang dengan benar serta seluruh sumber arus listrik yang terhubung sudah dipastikan dapat berfungsi dengan baik. Sistem transmisi wifi berupa modul pada TOLACORE sudah dapat terhubung dengan sistem kontrol pusat untuk pemantauan suhu secara *real time*.

Setelah semua komponen alat sudah siap serta bahan tiga sampel dan logam pendingin Pb dimasukkan dalam tungku. Langkah selanjutnya adalah menghidupkan *temperature controller* dan mengatur suhu *furnace* (*set point temperture*) pada suhu 100°C. pengaturan peningkatan suhu diatur

sedemikian rupa sehingga temperatur naik secara perlahan lahan, hal ini agar mencegah adanya *heat shock* pada sistem kontrol dan menghindari korsleting listrik.

Periode waktu percobaan ini dimulaipada tanggal 20 Februari 2018 pukul 14.00 WIB dan berakhir pada tanggal 22 pukul 15.00 WIB. Selama proses operasional berlangsung suhu dimonitor dalam ruangan kontrol yang memanfaatkan modul wifi pada arduino sebagai sumber tranmisi sinyal. Terpantau suhu mengalami fluktuatif.

2.2.3 Tahap *shutdown*

Setelah dilakukan proses utama, maka langkah selanjutnya adalah menurunkan suhu dari 350°C menjadi 300°C. Penurunan suhu 50°C dilakukan setiap 30 menit. Hal ini dilakukan untuk mencegah *heat shock* pada sistem pembakar *furnace*, apabila *furnace* langsung dimatikan. Setelah suhu berangsur-angsur turun hingga mencapai suhu 70-80°C. Ketiga sampel dikeluarkan dari *furnace* dan diletakan pada kondisi ruangan terbuka.

2.3 Karakterisasi mikrostruktur permukaan sampel

Karakterisasi mikrostruktur permukaan sampel (A, B dan C) setelah perlakuan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 40x. Mikroskop optik yang digunakan terintegrasi dengan kamera digital serta terhubung ke komputer, sehingga pada mikroskop tersebut dapat dilakukan pengambilan gambar dengan berbagai sudut. Ketercapaian photo sangat akurat sehingga butiran butiran oksida yang menempel pada permukaan sampel dapat teramati.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

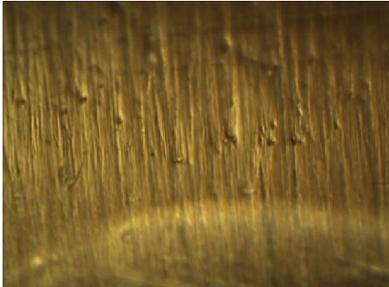
Korosi pada permukaan material SS316 merupakan suatu reaksi kimia pembentukan oksida dari logam penyusun pada permukaan material. Peristiwa ini sebenarnya berlangsung dalam jangka waktu yang lama, dapat mencapai waktu 3500 jam [9]. Namun pada penelitian ini dilakukan pada 2x24 jam, dikarenakan TOLACORE masih merupakan tahap uji pertama kali.

3.1 Unjuk kerja TOLACORE

Parameter unjuk kerja TOLACORE adalah *heating rate* diukur mulai dari awal *start-up* hingga proses *shutdown*. Pada saat awal *heating rate* cenderung naik seiring berjalannya waktu, saat sudah mencapai suhu 350°C suhu menjadi fluktuatif walaupun *set point* suhu pada angka tersebut, hal ini dikarenakan material keramik dari bahan *furnace* memiliki kapasitas panas yang tinggi sehingga lebih lambat panas. Selain itu skema *feedback* pada sistem kontrol temperatur *furnace* hanya memiliki tipe *proportional*. Sehingga sangat dinamis dan fluktuatif (*unstable*). Alat pemanas akan hidup jika belum mencapai *set point* (temperatur nyataada dibawah *set*

point) akan tetapi pemanas secara otomatis akan mati jika temperatur nyata berada diatas *set point* peristiwa inilah yang menjadi salah satu penyebab bahwa suhu operasi TOLACORE masih belum dapat stabil.

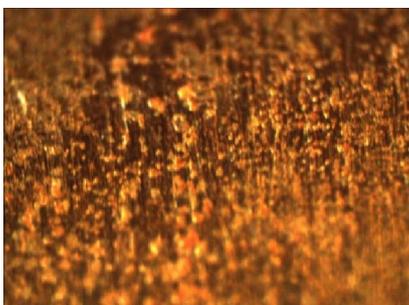
3.2 Struktur mikro pada permukaan sampel SS316



Gambar 3.1 struktur permukaan sampel A (tanpa perlakuan)



Gambar 3.2 Struktur permukaan sampel B (kondisi atmosferik)



Gambar 3.3 Struktur permukaan sampel C (kondisi ada gas argon)

Pada sampel A memiliki struktur mikro permukaan yang halus dan tidak terdapat akumulasi oksida, adapun sedikit goresan pada permukaan. Sementara sampel B terdapat oksida oksida yang terakumulasi di permukaan sampel, sedangkan terakhir sampel C menunjukkan adanya akumulasi oksida akan tetapi tidak setebal sampel B. Adapun kemungkinan bahwa unsur oksida pada sampel B adalah senyawa oksida besi yang merupakan unsur terbesar penyusun logam baja.

Aplikasi inerting pada kondisi sampel C, cukup signifikan dalam mengurangi oksida yang terjadi, hal ini diakibatkan dengan adanya gas argon maka konsentrasi gas oksigen menjadi semakin berkurang akibatnya proses korosi lambat terjadi

[10]. Pada kondisi statis dimana sampel dan logam pendingin tidak di alirkan, maka oksida besi hanya terletak pada area tertentu saja hal ini dikarenakan tidak ada aliran logam pendingin sehingga distribusi kontak dengan material uji tidak merata [10].

Lapisan luar dari sampel B, dan C merupakan tempat deposit logam berada, perbedaannya pada jumlah oksida yang menempel, sampel B lebih banyak mengandung deposit oksida besi. [10-11] lapisan oksida yang terbentuk dipermukaan merupakan *magnetite* (Fe_3O_4). Akibat adanya oksida jenis ini, lapisan memiliki banyak ruang kosong dan struktur mikro yang memiliki *porous* (pori pori) [11]. Sifat oksida *magnetite* menempati lapisan permukaan pada arah sejajar (*parallel*) dan tegak lurus (*perpendicular*).

Terbentuk kristal *magnetite* pada lapisan permukaan menjadikan bentuk seperti matriks-matriks yang terdiri dari butiran (*grain*) kecil [12]. Bentuk matriks dari sampel B dan sampel C juga berbeda. Pada sampel B lebih cenderung terakumulasi dalam suatu area tertentu sedangkan pada sampel C merata pada permukaan sampel. Akan tetapi dari segi ketebalan oksida, sampel B lebih tebal dibandingkan dengan sampel C. Fe_3O_4 merupakan oksida yang bersifat rapuh, dan merupakan senyawa antara terbentuknya Fe_2O_3 .

Perlu dilakukan analisis permukaan sampel lebih lanjut, seperti dengan menggunakan SEM dan EDX sehingga dapat diketahui berapa tebal oksida yang dihasilkan dan persebaran senyawa pada lapisan oksida.

KESIMPULAN

TOLACORE merupakan prototipe alat penguji korosi yang sedang dikembangkan. TOLACORE didesain tahan pada suhu tinggi (maks 900°C) sesuai dengan kapasitas bahan material yang akan digunakan. Dari hasil penelitian ini didapatkan pengaruh aplikasi inerting gas argon pada proses terbentuknya lapisan oksida cenderung menghambat laju korosi yang akan terjadi sehingga logam lebih tahan lama. Kita tahu semua bahwa oksida karat itu akan merugikan dari segi teknis dan ekonomi suatu instansi yang melibatkan material.

Unjuk kerja dari TOLACORE sendiri masih perlu peningkatan kembali mengingat pada temperatur tinggi 350°C, masih terjadi fluktuatif panas yang masuk dan keluar. Perbaikan sistem tiap alat juga harus ditambah (*maintenance* atau *tune up*) agar lebih efisien dalam pengoperasiannya.

Pemilihan jenis material merupakan hal yang paling penting dalam mendesain reaktor nuklir. Dengan mempertimbangkan segala aspek dan batasan antar material diharapkan kecelakaan akibat adanya korosi atau kerusakan sifat mekanik material yang tak terkendali dapat tertangani.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian merupakan kerjasama antar rumpun ilmu program studi teknik kimia dan fisika, saya mewakili tim TOLACORE proyek mengucapkan banyak terimakasih kepada para *stake holder* yang telah mendukung dan memberi masukan pada penelitian ini. Khususnya kepada Dr. Asril Pramutadi A.M yang senantiasa membimbing tim dalam melakukan riset. Turut kami ucapkan terimakasih kepada Laboratorium Fisika Nuklir telah menyediakan tempat dan fasilitas guna memperlancar projek TOLACORE ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdullah A.G, Su'ud Z (2012) ULOF Accident Analysis for 300 MWt Pb-Bi Cooled MOX Fuelled SPINNOR Reactor. Canadian Center of Science and Education, Vol.4 journal of Applied physic research.
- [2] Rubbia, C., Rubio, J.A., Buono, S., Carminati, F., (1995). Conceptual design of a fastneutron operated high power energy ampliyer, CERN/AT/95-44 (ET).
- [3] OECD, (2007). *Handbook on Lead–Bismuth Eutectic Alloy and Lead Properties, Materials Compatibility, Thermal-Hydraulics and Technologies*, ISBN:978- 92-64-99002-9. <http://www.nea.fr/html/science/reports/2007/nea195-handbook.html>.
- [4] [4] Alamo, A., Lambard, V., Averty, X., Mathon, M.H., (2004). Assessment of ODS-14%Cr ferritic alloy for high temperature applications. J. Nucl. Mater. 329–333, 333–433.
- [5] B.F. Gromov, Y.I. Orlov, P.N. Martynov, V.A. Gulevsky, (1998) in: Proceedings of Heavy Liquid Metal Coolants in Nuclear Technology, HLMC'98, October 5–9, 1998, Obninsk, Russia, 1999, pp. 87–100.
- [6] Kondo M, Takahashi M, (2005) METALLURGICAL STUDY ON ELECTRO-MAGNETIC FLOW METER AND PUMP FOR LIQUID LEADBISMUTH FLOW, Prog. Nucl. Eng. 2005; 47: 639-647
- [7] Andi mustari A.P , Takahashi M, (2011) Study on corrosion of welded steel for LBE-cooled fast reactors. Journal of Progress in Nuclear Energy 53 (2011) pg. 1073 – 1077.
- [8] Kurata Y. et all, (2002) Corrosion studies in liquid Pb-Bi alloy at JAERI : R&D program and first experimental results, Journal of nuclear materials 301 (2002) pg. 28-34.
- [9] Zhang W.H , Wang Z.B , Lu.K, (2018) Enhanced oxidation resistance of a reduced activation ferritic/ martensitic steel in liquid Pb-Bi eutectic alloy by preforming a gradient nanostructured surface layer, Journal of Nuclear Materials 507 (2018) 151 – 157.
- [10] Schroer, C., Konys, J., Furukawa, T., Aoto, K., 2010. Oxidation behaviour of P122 and a 9Cr–2W ODS steel at 550 °C/min oxygen-containing flowing lead–bismuth eutectic. J. Nucl. Mater. 398, 109–115.
- [11] Yaskiv, O.I., Fedirko, V.M., 2014. Oxidation/corrosion behavior of ODS ferritic/martensitic steels in Pb melt at elevated temperature. Int. J. Nucl. Energy 2014, 1–8.
- [12] Gabriele D.F et al, 2014, Corrosion behaviour of 12Cr-ODS steel in molten lead, Journal of Nuclear Engineering and design vol.280 pg.69-75.

PB16

KAJIAN NUMERIK PENGARUH FLUKS PANAS TERHADAP TEMPERATUR DAN KECEPATAN ALIRAN AIR PADA SISTEM PENDINGINAN TERAS SAMOP

Dina Wahyu Lestari¹, Suharyana¹, Riyatun¹, Diah Hidayanti²¹Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret²Badan Pengawas Tenaga Nuklir Indonesia

e-mail: suharyana61@staff.uns.ac.id

ABSTRAK

Aspek termohidrolik fasilitas *Subcritical Assembly for ⁹⁹Mo Production* (SAMOP) telah dianalisis dalam penelitian ini. Pemodelan dan simulasi numerik dilakukan untuk mengetahui kondisi kecepatan aliran air di kanal agar terpenuhinya kapabilitas pemindahan panas yang cukup akibat fisi dengan konveksi alamiah. Simulasi dilakukan menggunakan *Computational Fluid Dynamic* (CFD)-FLUENT. Nilai fluks panas divariasikan pada masing-masing dinding bahan bakar 251 sampai 651 W/m² untuk dinding tabung pusat, 815 sampai 1215 W/m² untuk dinding annular dalam, dan 815-1215 W/m² untuk dinding annular luar dengan kenaikan 100 W/m² sedangkan kecepatan aliran fluida secara konstan sebesar 1 cm/s. Hasil simulasi diperoleh nilai bilangan Ri dalam rentang 3,64 - 6,35. Temperatur rata-rata air pendingin adalah 300,0052 K. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa sistem SAMOP dengan desain pendinginan konveksi alamiah memiliki kapabilitas pemindahan panas hasil fisi yang sangat memadai.

Kata kunci: SAMOP, FLUENT, Konveksi Alamiah.

ABSTRACT

The thermohydraulic aspect of the Subcritical Assembly for ⁹⁹Mo Production (SAMOP) facility has been analyzed in this study. Modeling and numerical simulation was performed to determine the condition of the water flow at the center of the channels in order to obtain heat transfer capability due to fission with natural convection. The simulation was done using Computational Fluid Dynamic (CFD) -FLUENT. The heat flux values were varied on each fuel wall 251 to 651 W / m² for central tube wall, 815 to 1215 W / m² for inner annular wall, and 851-1215 W / m² for outer annular wall with an increase of 100 W / m² while fluid flow velocity is constant at 1 cm / s. The simulation results obtained the value of the Ri in the range 3.64 - 6.35. The average temperature of cooling water is 300,0052 K. Based on these results it can be concluded that the SAMOP system with natural convection cooling design has a very adequate fission heat transfer capability.

Keywords: SAMOP, FLUENT, natural convection.

PENDAHULUAN

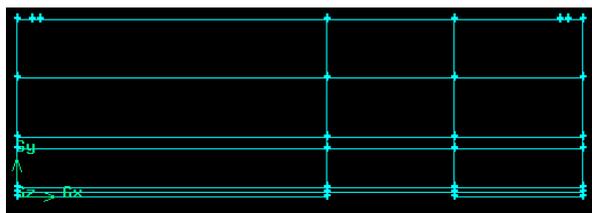
Pemanfaatan radioisotop untuk keperluan diagnostik telah banyak dilakukan dalam dunia medis. Salah satunya adalah Technisium-99 metastabil (^{99m}Tc). Isotop ^{99m}Tc berasal dari peluruhan isotop ⁹⁹Mo. Radioisotop tersebut dipilih karena ketika meluruh ke keadaan dasar (^{99g}Tc) memancarkan sinar γ berenergi 140 keV serta memiliki waktu paruh pendek yaitu 6 jam [1]. Permintaan dunia terhadap isotop ^{99m}Tc meningkat sejak tahun 1995. Menurut *The Nuclear Energy Agency* (NEA) dari *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD) yang berada di Perancis yang bergerak di bidang kerjasama ekonomi dan pembangunan memperkirakan bahwa permintaan akan ^{99m}Tc sebesar 10.000 Ci setiap minggunya di dunia [2].

Saat ini banyak negara di dunia melalui badan nuklir mereka sedang mengembangkan teknologi reaktor nuklir untuk memproduksi ⁹⁹Mo, tidak terkecuali Indonesia. Pengembangan teknologi nuklir tersebut diharapkan dapat meningkatkan

kemandirian bangsa di bidang kesehatan. Bangsa Indonesia, melalui BATAN dan BAPETEN terdorong untuk melakukan kajian keselamatan fasilitas sistem *Subcritical Assembly for ⁹⁹Mo Production* (SAMOP) yang merupakan tipe reaktor homogen atau biasa dinamakan *Aqueous Homogeneous Reactor* (AHR) [3].

Beberapa kajian keselamatan sudah dilakukan dari segi neutronik AHR dimana kondisinya sudah mencapai kritis dengan parameter variasi yakni konsentrasi uranium dalam bahan bakar uranil serta pengayaan uranium [4,5,6]. Namun, perkembangan penelitian saat ini telah diteliti kembali bahwa reaktor subkritis juga mampu menghasilkan ⁹⁹Mo jauh lebih aman. Nilai kritikalitas yang dicapai yaitu 0,99[7].

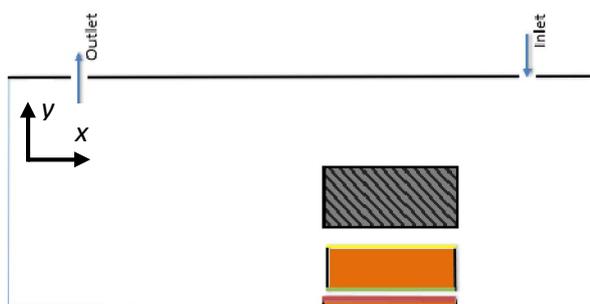
SAMOP dapat menghasilkan daya mulai 563,2 sampai 860,8 watt. Nilai daya tersebut sebagai dasar penetapan nilai fluks panas yang dapat digunakan untuk melakukan simulasi termohidrolik [8].



Gambar 2a. Geometri pada sistem SAMOP



Gambar 2b. Meshing Geometri Sistem SAMOP



Gambar 3. Model SAMOP 2 dimensi

Setiap warna pada garis oleh Gambar 3 menjelaskan bagian-bagian model geometri. Bagian-bagian teras yang telah dibuat, yakni:

- Merah : Dinding tabung pusat.
- Hijau : Dinding tabung annular dalam.
- Kuning : Dinding tabung annular luar.
- Hitam bergaris : Reflektor

Abjad A hingga D mewakili warna pada bagian-bagian geometri yang dibuat. Air mengalir ke dinding bahan bakar melalui kanal. Kanal 1 berada diantara A (merah) dan B (hijau), sedangkan kanal 2 diantara C (kuning) dan D (hitam).

Analisis yang digunakan pada FLUENT dengan asumsi bahwa aliran fluida laminar, kondisi *steady* dan *incompressible*. Material air yang digunakan dengan nilai densitas, c_p (panas spesifik), konduktivitas thermal, dan viskositas sebagai fungsi temperatur. Data masukannya yaitu temperatur masuk fluida 300 K dan pembangkitan panas dihitung berdasarkan persamaan berikut;

$$W = \frac{P}{(\sum Bb)(A)} \quad (1)$$

Dengan:

W : Pembangkitan daya

P : daya

Bb : bahan bakar

A : luas selubung bahan bakar

SAMOP dioperasikan pada daya P sebesar 563,2 sampai 860,8 watt. Jika SAMOP dioperasikan pada daya P 437,81 watt, maka dengan memasukkan ke persamaan 1, maka diperoleh harga pembangkitan daya W sebesar 251; 815; dan 815 W/m^2 untuk masing-masing dinding bahan bakar yaitu tabung pusat, annular dalam, dan annular luar. Penelitian dilakukan dengan memvariasi nilai fluks panas pada setiap dinding bahan bakar. Nilai fluks panas divariasi 251 sampai 651 W/m^2 untuk dinding tabung pusat, 815 sampai 1215 W/m^2 untuk dinding annular dalam dan dinding annular luar. Peningkatan fluks panas yang dimaksudkan adalah mengetahui kondisi aliran serta temperature terhadap perubahan konsentrasi uranil nitrat.

Kecepatan masuk air secara konstan sebesar 1 cm/s sehingga dengan diameter lubang inlet 2,54 cm maka debit air yang masuk sebesar 957,943 cm^3/s atau 0,95 lt/s. Untuk mengetahui sifat pendinginannya maka dihitung bilangan Richardsonnya yakni:[12]

$$Ri = \frac{Gr}{Re^2} \quad (2)$$

$$Gr = \left\{ \frac{\beta g d^3}{\nu^2} \right\} (T_{wall} - T_{bulk}) \quad (3)$$

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} \quad (4)$$

Keterangan :

Gr : Bilangan Grashof.

Re : Bilangan Reynolds.

- $Ri > 1$: Konveksi Alami
- $Ri = 1$: Konveksi Gabungan
- $Ri < 1$: Konveksi Paksa

Data yang digunakan untuk memasukkan temperatur dan kecepatan alir air (v) ke persamaan (3) dan (4) dihitung menggunakan computer code FLUENT 6.3.26. Program FLUENT dalam menyelesaikan aspek termohidrolika di dalam teras tersebut menggunakan persamaan-persamaan dasar: konservasi massa, momentum, dan energi:[12]

- Konservasi Massa

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho v_x) + \frac{\partial}{\partial r}(\rho v_r) + \frac{\rho v_r}{r} = S_m \quad (5)$$

x adalah koordinat aksial, r adalah koordinat radial, v_x adalah kecepatan aksial, v_r kecepatan radial.

- Konservasi momentum

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho v_x) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial x}(r \rho v_x v_x) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(\rho v_r v_x) \\ = -\frac{\partial p}{\partial x} \\ + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial x} \left[r \mu \left(\frac{\partial v_x}{\partial x} - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \vec{v}) \right) \right] \\ + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r \mu \left(\frac{\partial v_x}{\partial r} + \frac{\partial v_r}{\partial x} \right) \right] + F_x \end{aligned}$$

dan

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho v_r) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial x}(r \rho v_x v_r) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(\rho v_r v_r) = -\frac{\partial p}{\partial r} + \\ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial x} \left[r \mu \left(\frac{\partial v_r}{\partial x} + \frac{\partial v_x}{\partial r} \right) \right] + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r \mu \left(2 \frac{\partial v_r}{\partial r} - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \vec{v}) \right) \right] - \\ 2\mu \frac{v_r}{r^2} + \frac{2}{3} \mu (\nabla \cdot \vec{v}) + \rho \frac{v_r^2}{r} + F_r \end{aligned} \quad (6)$$

dimana

$$\nabla \cdot \vec{v} = \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_r}{r}$$

o Konservasi Energi

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla \cdot (\vec{v}(\rho E + p)) = -\nabla \cdot (\sum_j h_j J_j) + S_h \quad (7)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan dari nilai kecepatan masuk air 1 cm/s debit 0,95 lt/s, dan peningkatan nilai fluks panas diperkirakan bahwa pendinginan pada SAMOP bersifat konveksi alamiah. Nilai tersebut dibuktikan dengan perhitungan bilangan tak berdimensi, yakni Bilangan Richardson (Ri). Nilai bilangan Ri dalam rentang 3,64 – 6,35 yang dapat dilihat pada tabel 1. Nilai bilangan Ri lebih dari 1, sehingga proses pendinginan yang berlangsung alamiah.

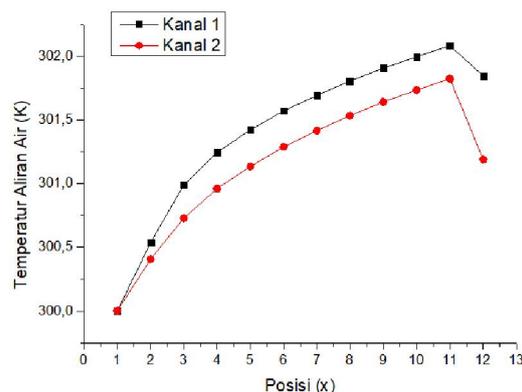
Hasil simulasi menunjukkan bahwa rata-rata temperatur air yang dicapai adalah 300,0052 K untuk semua variasi fluks panas. Ini berarti pada kondisi fluks panas yang tertinggi sebesar 651 untuk dinding tabung pusat, serta 1215 untuk annular dalam dan luar, sistem pendinginan SAMOP dapat mempertahankan tidak adanya pendidihan saat perpindahan panas dari bahan bakar ke pendingin. Pada Tabel 1 ditampilkan pula temperature dinding selama pendinginan berlangsung. Seiring dengan peningkatan fluks panas pada dinding bahan bakar maka temperaturnya juga semakin tinggi. Artinya air yang mengalir dapat memindahkan panas secara maksimal seiring meningkatnya daya di teras.

Tabel 1. Nilai temperatur dinding dan Bilangan Ri untuk beberapa variasi fluks panas

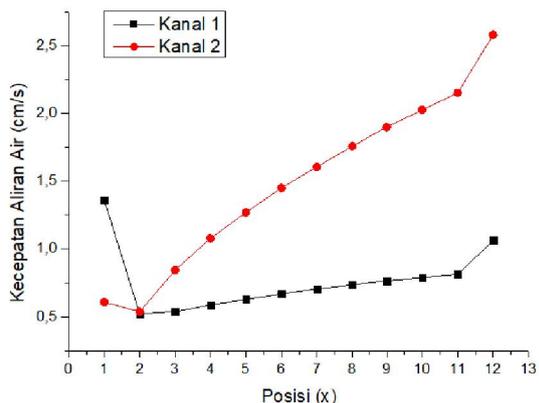
Fluks Panas Dinding			TA (K)	TB (K)	TC (K)	Ri
A	B	C				
251	815	815	300,94	302,68	302,67	3,64
351	915	915	301,23	302,92	302,92	4,71
451	1015	1015	301,52	303,18	302,18	5,25
551	1115	1115	301,78	303,41	303,41	5,55
651	1215	1215	302,04	303,65	303,65	6,35

Nilai laju total perpindahan panas beberapa variasi untuk tabung pusat dalam rentang sebesar 10,855 – 28,142 watt, annular dalam 70,490 – 105,045 watt, dan annular luar 356,858 – 531,789 watt. Kondisi aliran air pada kanal 1 dan 2, temperatur air, dan densitas air ditunjukkan oleh Gambar 3 dengan mengambil nilai fluks panas 651 watt/m² untuk dinding tabung pusat, serta 1215 watt/m² untuk dinding annular dalam dan luar.

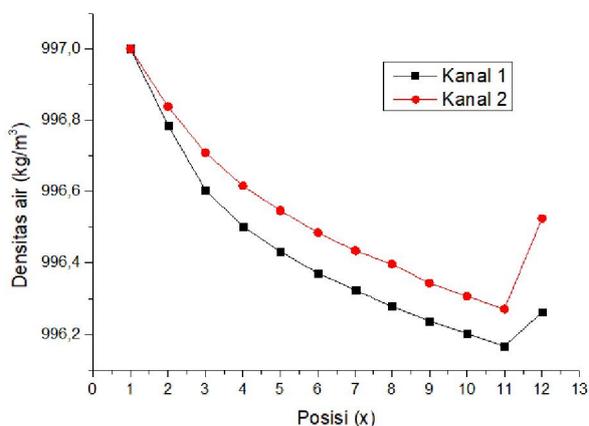
Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat mekanisme pergerakan air di masing-masing kanal pada teras. Ketika terjadi reaksi fisi timbul panas, karena terjadi perbedaan temperatur maka dinding bahan bakar mendapat panas. Panas dari dinding ini (temperatur lebih tinggi) akan mengalir menuju air (temperatur rendah). Pada Gambar 3a terjadi peningkatan temperature air terhadap meningkatnya posisi yang disebabkan terakumulasinya panas bahan bakar yang diberikan air. Terakhir temperature air tidak naik lagi karena air semakin naik dan semakin jauh dari pengaruh pembangkitan panas oleh bahan bakar. Proses pembangkitan panas juga menyebabkan kecepatan aliran air yang bergerak ke atas kanal terus meningkat karena densitas air semakin berkurang. Karena bergerak ke atas maka posisi air tadi digantikan oleh molekul air yang berada di sebelah atas. Demikian seterusnya hingga seluruh air yang berada pada tangki mendapat panas. Namun air yang bertemperatur tinggi tidak bisa langsung menuju atas hingga permukaan karena molekul air yang berada tepat di atasnya memiliki massa jenis yang lebih besar. Hal tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar 3b dan 3c.



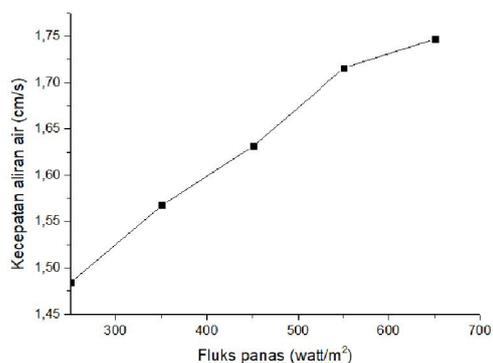
Gambar 3a. Pengaruh Fluks Panas terhadap Temperatur Air pada Kanal Teras



Gambar 3a. Pengaruh Fluks Panas terhadap Kecepatan Aliran Air pada Kanal Teras



Gambar 3a. Pengaruh Fluks Panas terhadap Densitas Air pada kanal teras

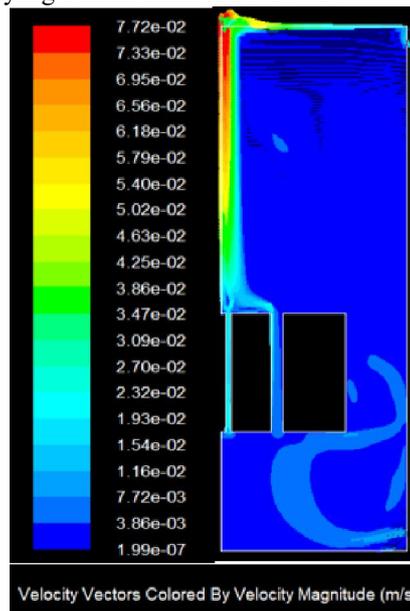


Gambar 4. Pengaruh Fluks Panas terhadap kecepatan air pada kanal SAMOP.

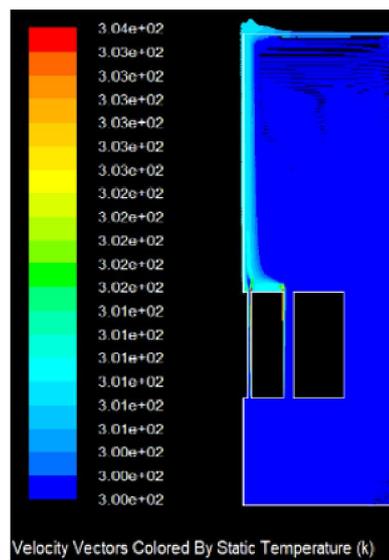
Pada Gambar 4 ditunjukkan pengaruh fluks panas terhadap kecepatan air pada kanal teras SAMOP. Grafik tersebut memberi gambaran bahwa fluks panas terus mengalami peningkatan dari kondisi minimum mengakibatkan kecepatan air yang melewati kanal semakin besar. Penjelasan adalah sebagai berikut fluks panas yang semakin meningkat, temperatur juga akan meningkat. Temperatur air bergantung dengan posisinya, semakin dekat dengan dinding maka temperaturnya semakin tinggi. Viskositas air bergantung pada

temperaturnya. Apabila temperatur air tinggi, maka viskositasnya lebih rendah. Dengan demikian, semakin dekat dengan dinding, maka viskositas air lebih rendah. Semakin rendah viskositas air, maka kecepatan air menjadi lebih besar.

Profil kecepatan air dengan nilai fluks panas tertinggi dapat dilihat pada Gambar 5. Profil temperatur pada SAMOP ditunjukkan pada Gambar 6. Kedua rentang nilai ditunjukkan oleh gradasi warna. Nilai tertinggi kecepatan air sebesar 0,0772 m/s ditunjukkan menuju permukaan air melewati sumbu putar. Nilai tertinggi temperatur air sebesar 304 K yang berada dekat annular luar.



Gambar 5. Kontur Profil kecepatan alir air sistem SAMOP



Gambar 6. Kontur distribusi temperatur sistem SAMOP

KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan pada penelitian bahwa nilai bilangan Ri dalam rentang

3,64 - 6,35. Temperatur rata-rata air pendingin untuk beberapa variasi fluks panas adalah 300,0052 K. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa sistem SAMOP dengan desain pendinginan konveksi alamiah mampu memindahkan panas hasil fisi tanpa terjadi proses pendidihan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Grup Riset Teori dan Komputasi UNS, khususnya bidang nuklir dan radiasi, hibah MRG 2018, serta P2STPIBN BAPETEN.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Avagyan, R., Avetisyan, A., Kerobyan, I., & Dallakyan, R. (2014). *Photo-production of $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ with electron linear accelerator beam. Nuclear Medicine and Biology*, 705–709.
- [2] IAEA. (2015). *Feasibility Of Producing Molybdenum-99 On A Small Scale Using Fission Of Low Enriched Uranium Or Neutron Activation Of Natural Molybdenum. Technical Reports 478*. Januari, Austria.
- [3] Prabudi, C., Widiharto, A., & Sihana. (2013). *Pengaruh Ketinggian Larutan Bahan Bakar pada Kekritisian Aqueous Homogeneous Reactor*. *TEKNOFISIKA*, 2 (2).
- [4] Khodijah, A., Riyatun, Suharyana, Azizul K, Isnaeni A. (2015). Analisis Produksi Radioisotop ^{99}Mo Pada Aqueous Homogeneous Reactor 6 Hari Burn-up Dengan Metode Komputasi. Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah – Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir.
- [5] Susanti, Suharyana, Riyatun, Azizul K, Isnaeni A. (2015). Pengaruh Variasi Konsentrasi Uranium Dalam Bahan Bakar Uranil Nitrat dan Uranil Sulfat Terhadap Nilai K_{eff} Aqueous Homogeneous Reactor (AHR). Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah – Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir.
- [6] Hakim, L, Suharyana, Riyatun, Azizul, K. (2016). Perbandingan aktivitas nuklida pemancar alfa hasil burn-up antara LEU dan HEU dalam Reaktor Homogen ARGUS. Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir 2016
- [7] Anggraini, Y, Riyatun, Azizul, K. (2013). Potensi Produksi Molybdenum-99 (^{99}Mo) Pada Reaktor Subcritical Assembly For Mo-99 Production (SAMOP). Digilib UNS.
- [8] Khakim, A. (2018). Regulatory assessment on a new utilization of SAMOP test facility: determination on fission power. BAPETEN.
- [9] Supriyanto, AA. (2016). Pengaruh Kecepatan Aliran Fluida Terhadap Distribusi Temperatur Permukaan Bahan Bakar Teras Reaktor. *Jurnal Simetris*, 7(2).
- [10] Syarip, N.T. (2017). *Analisis Termohidrolik Fasilitas Eksperimen SAMOP (Reaktor*

Subkritik Produksi Isotop ^{99}Mo). Jurnal Pengembangan Energi Nuklir, 19(1), 25 – 31.

- [11] Hasanah, A., Ismardi, A., & Kamajaya. (2015). Analisis Perpindahan Panas Konveksi Paksa Nanofluida air- Al_2O_3 Dalam Sub-Buluh Vertikal Segienam. E- Proceeding of Engineering, 4(1), 632
- [12] Incropera, F.P, dan DeWitt, D.P. (1985). *Fundamentals of heat and mass transfer second edition*. New York

Nama Penanya : Joko
Instansi : BAPETEN
Nama Penyaji : Dina Wahyu L
Judul Makalah : Kajian Numerik Pengaruh Fluks Panas Terhadap Temperatur Dan Kecepatan Alir Air pada Sistem SAMOP
Kode Makalah : PB16

Pertanyaan/Masukan/Saran/Komentar

Kenapa kecepatan alir air yang menuju permukaan tangka lebih besar?

Jawaban/Komentar dari Penyaji

Karena pemodelan dilakukan dalam 2D sehingga mengalami keterbatasan tampilan, seharusnya menggunakan 3D

PB17

STUDI PERHITUNGAN KEJADIAN SABOTASE SISTEM PROTEKSI FISIK PADA FASILITAS HIPOTETIK INSTALASI NUKLIR MENGGUNAKAN METODE EASI

Dwi Cahyadi¹, Dewi Prima Meiliasari,²

¹P2STPIBN- BAPETEN, ² DP2IBN-BAPETEN

e-mail: d.cahyadi@bapeten.go.id, d.meiliasari@bapeten.go.id

ABSTRAK

STUDI PERHITUNGAN KEJADIAN SABOTASE SISTEM PROTEKSI FISIK PADA FASILITAS HIPOTETIK INSTALASI NUKLIR MENGGUNAKAN METODE EASI. Kinerja dari Sistem Proteksi Fisik (SPF) harus didesain untuk melawan, membatasi kemampuan dan siasat musuh terhadap fasilitas nuklir. Sistem SPF selalu dievaluasi keefektifannya dengan menggunakan pendekatan berbasis kinerja, yang dilakukan terhadap fungsi setiap elemen PPS dan pengaruhnya pada efisiensi sistem secara keseluruhan. Perhitungan efektivitas SPF dapat dilakukan secara kuantitatif untuk menghitung nilai probabilitas keefektifan SPF ($P_E = P_I * P_N$). Penulisan makalah ini dilakukan untuk melakukan evaluasi efektivitas SPF fasilitas hipotetik terhadap kejadian sabotase instalasi nuklir dengan skenario sabotase pompa primer sebagai masukan dalam evaluasi SPF, menggunakan model EASI untuk penentuan probabilitas interupsi (P_I) dan probabilitas netralisasi (P_N) dihitung dengan modul analisa netralisasi. Probabilitas deteksi nilai waktu tunda untuk deteksi, penundaan tindakan pasukan perespon diukur sepanjang jalur sabotase musuh. Hasil evaluasi kinerja yang dilakukan akan dibandingkan dengan standar BATAN dan standar Hongaria sekaligus saran *upgrade* sistem proteksi fisik yang dapat dilakukan fasilitas. Dari perhitungan terhadap sebuah skenario sabotase pompa primer diperoleh hasil awal nilai efektivitas P_E SPF senilai 0,865 dan 0,623 dan dari hasil *upgrade* yang dilakukan diperoleh nilai akhir efektivitas P_E SPF 0,878 dan 0,863. Perhitungan menggunakan metode EASI ini merupakan penggunaan metode berbasis kinerja yang dapat melengkapi metode berbasis kepatuhan (*compliance*) yang dipakai di Indonesia. Kata kunci: Sistem Proteksi Fisik, Pendekatan berbasis Kinerja, EASI Model

ABSTRACT

STUDY OF HYPOTHETIC CALCULATIONS SABOTAGE PHYSICAL PROTECTION SYSTEM NUCLEAR FACILITIES USING EASI. The performance of the Physical Protection System (SPF) should be designed to counter, limit the ability and strategy of the enemy against nuclear facilities. The SPF system is always evaluated for its effectiveness by using a performance-based approach, which is performed on the function of each PPS element and its effect on overall system efficiency. The calculation of effectiveness of SPF can be done quantitatively to calculate the probability value of the effectiveness of SPF ($P_E = P_I * P_N$). The writing of this paper was conducted to evaluate the effectiveness of SPF hypothetical facilities on the occurrence of nuclear installation sabotage by applying a primary pump sabotage scenario used as input in SPF evaluation, using EASI model, for determination of interrupt probability (P_I) and neutralization probability (P_N) calculated with neutralization analysis module. The probability of detection and the value of time delay for detection, delay and action of the response forces are measured along the enemy's sabotage path. The results of the performance evaluation will be compared with BATAN standards and Hungarian standards as well as advice on upgrading physical protection system that can be done facility. From the calculation of a primary pump sabotage scenario obtained preliminary value of effectiveness of SPF SP value of 0.865 and 0.623 and from the upgraded results obtained the final value of the effectiveness of PE SPF 0.878 and 0.863. The calculation using EASI method is the use of performance-based method that can complement the compliance-based method used in Indonesia. *Keywords Physical Protection System , Performance Based Approach, EASI Model*

I. PENDAHULUAN

Melindungi fasilitas nuklir dari kemungkinan pemboman, sabotase dan pencurian merupakan keharusan untuk dilakukan. SPF harus memiliki kinerja yang cepat untuk mencapai waktu yang memadai agar tibanya pasukan perespon dan melengkapi pertahanan dalam fasilitas pada waktu yang memadai untuk menggagalkan musuh dan menetralsasinya. Fungsi dari sistem proteksi fisik harus memenuhi tiga elemen dasar yaitu deteksi, delay dan respon.^[1]

Kinerja dari SPF harus didesain untuk melawan dan membatasi kemampuan dan siasat dari musuh terhadap fasilitas nuklir dan senantiasa harus dilakukan evaluasi terkait keefektifan SPF tersebut. Ada banyak model komputer analitik kuantitatif yang dapat membantu analis mengevaluasi efektivitas SPF. Masing-masing teknik ini menggunakan ukuran efektivitas ketepatan deteksi. Model EASI dipilih sebagai model karena kesederhanaannya. EASI mudah digunakan, mudah diubah, dan secara kuantitatif menggambarkan efek terhadap perubahan parameter sistem proteksi fisik.^[2]

Penulisan makalah ini dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas SPF fasilitas hipotetik terhadap kejadian sabotase instalasi nuklir dengan skenario sabotase pompa primer sebagai masukan dalam evaluasi SPF menggunakan model EASI untuk penentuan probabilitas interupsi (P_I) dan probabilitas netralisasi (P_N) yang dihitung dengan modul analisa netralisasi. Perhitungan menggunakan metode EASI ini merupakan penggunaan metode berbasis kinerja (*performance*) yang dapat melengkapi metode berbasis kepatuhan (*compliance*) yang dipakai di Indonesia yang bergantung pada kesesuaian dengan kebijakan atau peraturan yang ditentukan. Ukuran keberhasilannya adalah tersedianya peralatan dan prosedur yang dipersyaratkan, sedangkan pada pendekatan berbasis kinerja, dilakukan evaluasi operasi tiap elemen SPF dan pengaruhnya terhadap efisiensi SPF secara keseluruhan.

II. METODOLOGI / LANDASAN TEORI

Metodologi yang digunakan dalam tulisan ini adalah menggunakan metode model EASI dalam melakukan evaluasi sistem proteksi fisik pada suatu fasilitas hipotetik dengan menerapkan suatu skenario sabotase. Metode EASI diadaptasi dari Sandia Laboratory. Nilai yang dihasilkan pada evaluasi ini akan dibandingkan dengan standar evaluasi proteksi fisik yang ada di BATAN yaitu SB009.1 BATAN: 2016 Tentang Penilaian Resiko Keamanan Nuklir merupakan dokumen standar yang dikeluarkan oleh BATAN dalam hal melakukan evaluasi / penilaian risiko keamanan nuklir dan standar yang digunakan oleh HAEA yaitu Guideline PP-9 HAEA-Hongaria sekaligus upgrade sistem proteksi fisik yang dapat dilakukan fasilitas.

Model EASI^[2]

EASI adalah model perhitungan sederhana secara kuantitatif yang mengilustrasikan dampak perubahan parameter proteksi fisik sepanjang jalur tertentu. EASI menggunakan fungsi deteksi, delay, respon, dan faktor komunikasi untuk menghitung nilai Probabilitas Interupsi (P_I). EASI merupakan model *path level* yang hanya dapat menganalisis satu alur atau skenario musuh pada suatu waktu, artinya model hanya menganalisa kinerja SPF pada satu kemungkinan jalur musuh atau satu skenario musuh saja.

Masukan pada Model EASI

Dalam model EASI, parameter input yang mewakili fungsi proteksi fisik dari deteksi, penundaan, dan respon yang diperlukan. Kemungkinan komunikasi sinyal alarm juga diperlukan dalam model. Fungsi deteksi dan komunikasi adalah dalam bentuk fungsi total probabilitas keberhasilannya. Input Penundaan dan respon dalam bentuk waktu rata-rata dan standar deviasi untuk setiap elemen. Semua input mengacu pada jalur musuh tertentu. Input EASI untuk fungsi deteksi adalah probabilitas deteksi (P_D) untuk setiap sensor yang dihadapi oleh musuh. Data waktu yang dimasukkan ke dalam EASI bisa dalam satuan detik atau menit, tetapi tidak keduanya. Penundaan dan Waktu Respon Pasukan (RFT) harus dalam satuan yang sama, perbedaan satuan akan mempengaruhi keakuratan output.

Hasil

Output dari model EASI adalah perkiraan probabilitas bahwa jumlah personel tanggap yang cukup akan menetralsasi musuh pada titik tertentu sebelum musuh menyelesaikan tindakan pencurian atau sabotase. Outputnya adalah probabilitas interupsi, P_I .

Penggunaan Model

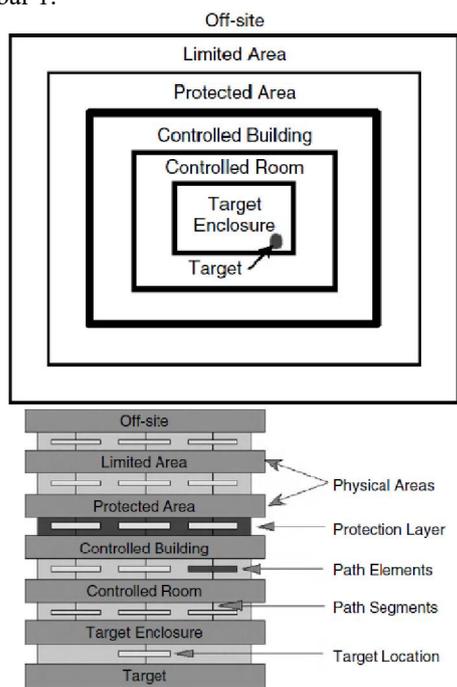
Untuk menggunakan EASI, langkah awal adalah pemilihan urutan aksi musuh. Pemilihan harus didasarkan pada pengetahuan mendalam tentang fasilitas dan asumsi tentang kekuatan musuh. Selanjutnya memilih jalur fisik musuh menuju aset yang sesuai dengan urutan yang dipilih. Visualisasikan aksi yang dilakukan musuh di sepanjang jalur itu, dan tentukan lokasi sensor. Kemudian diperoleh data yang dibutuhkan yaitu probabilitas deteksi dan komunikasi ; nilai rerata dan standar deviasi waktu aksi dan waktu respons. Akhirnya, masukkan data ke komputer dan dapatkan hasilnya. Analis dapat memiliki kesempatan untuk mengubah data input dan melihat apa pengaruhnya terhadap output.

Adversary Sequence Diagrams^[3]

Di fasilitas nuklir bisa terdapat opsi untuk mengalahkan lapisan proteksi yang berbeda. Misalnya, untuk menembus bangunan yang terkunci, musuh dapat menghancurkan pintu, jendela, dinding,

ataupun atap. Karena musuh dapat menyerang berbagai opsi di setiap lapisan, jumlah jalur ke fasilitas dengan mudah dapat berjumlah ratusan atau ribuan. Untuk menerapkan EASI ke fasilitas tersebut, analisis perlu beberapa metode sistematis untuk menggambarkan jalur ini. Metode yang digunakan disebut diagram urutan musuh (ASD).

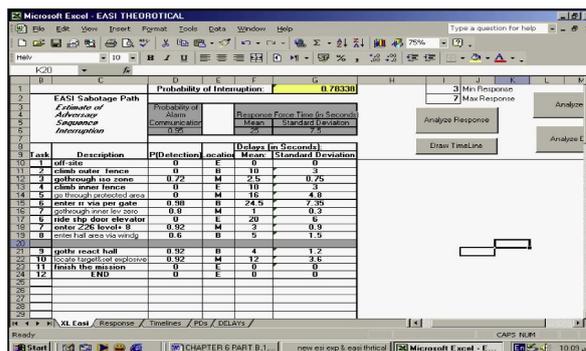
ASD adalah representasi grafis dari elemen sistem perlindungan yang digunakan untuk membantu mengevaluasi efektivitas SPF di fasilitas. ASD menunjukkan jalan yang dapat diikuti musuh untuk mencapai sabotase atau sasaran pencurian. Untuk SPF khusus dan ancaman khusus, jalur yang paling rentan (atau jalur dengan P_1 terendah) dapat ditentukan dengan menggunakan EASI. Jalur ini menetapkan keefektifan total SPF. Ada tiga langkah dasar dalam membuat ASD untuk instalasi tertentu yaitu pemodelan fasilitas dengan memisahkannya ke area fisik yang berdekatan; definisikan lapisan perlindungan dan elemen jalur antara daerah yang berdekatan; dan merekam nilai deteksi dan penundaan untuk setiap elemen. ASD memodelkan fasilitas dengan memisahkannya dalam area fisik yang berdekatan. Model ASD dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Model Adversary Sequence Diagram

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

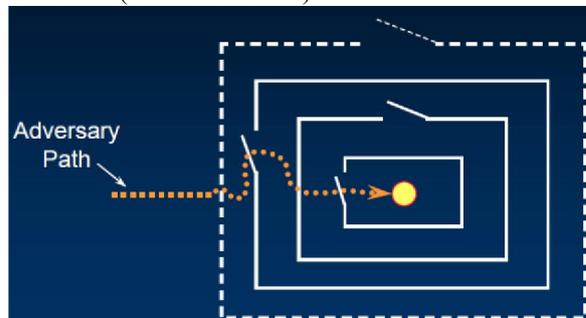
Dalam tulisan ini, skenario sabotase akan dibuat dan jalur-jalur musuh yang rentan telah ditetapkan. Dalam model EASI, diperlukan parameter input yang mewakili fungsi sistem keamanan deteksi, penundaan, dan respons. Semua input mengacu pada jalur musuh tertentu. Parameter berikut harus dimasukkan ke menu program EASI sebagai mana terlihat dalam gambar 2 .



Gambar 2. Model EASI dalam microsoft Excell

Fasilitas reaktor riset hipotetis [1]

Fasilitas Reaktor Riset Hipotetis (FRRH) adalah situs simulasi untuk mengimplementasikan proses desain dari sistem proteksi fisik. FRRH berisi Pintu Masuk Utama, Gedung Penelitian Reaktor, dan Pabrik Bahan Bakar Nuklir. Kompleks nuklir yang dikelilingi oleh pagar periferil ganda eksternal mempertimbangkan pagar perimeter pertama dan berisi zona isolasi. Situs FRRH memiliki satu akses masuk utama. Ini terdiri dari dua gerbang: gerbang gerbang pribadi dan gerbang kendaraan yang terletak di tengah sisi kiri pagar. Setelah Anda melewati gerbang, Anda berada di kawasan lindung. Reaktor risetnya adalah kategori II dan memiliki 29 pelat bahan bakar nuklir teradiasi yang terletak di dalam kolam utama dan 12 bahan bakar yang dibakar atau dihabiskan yang terletak di kolam tambahan (bahan radioaktif).



Gambar 3. Skenario Sabotase Pompa Primer

Skenario sabotase

Menurut identifikasi target, karakterisasi fasilitas, dan kategorisasi bahan nuklir dari FRRH, bahan nuklir di dalam kolam utama reaktor (29 pelat bahan bakar), kolam bahan bakar bekas dan pompa primer reaktor dipertimbangkan sebagai target sabotase musuh. Musuh akan mencoba untuk menemukan targetnya, dan menghancurkan target. Alur skenario sabotase dapat dilihat pada gambar 3 dan gambar 4.

Deskripsi Sabotage

Dari gambar 4 terlihat urutan jalur musuh. Musuh berniat menembus pagar, kemudian berlari ke arah pintu keluar. Setelah itu musuh melubangi pintu terluar, kemudian berlari ke arah tembok, lalu musuh berusaha menghancurkan tembok dan kemudian berlari menuju pintu dalam. Setelah itu pintu bagian

dalam akan dihancurkan dan setelah itu musuh berlari menuju target dan menghancurkan pompa reaktor.

- Waktu rata-rata dari setiap waktu tugas musuh yang berurutan merupakan asumsi dan digunakan sebagai data input ke dalam program EASI.
- Waktu pasukan respon = 40 detik ; 240 detik (asumsi) dan
- Opsi perbaikan dari SPF tersebut dalam hal ini digunakan dua opsi mengganti sensor dengan kinerja deteksi yang lebih tinggi dan menambahkan penghalang ke pompa primer sehingga waktu tunda bertambah ;



Gambar 4. Deskripsi Urutan Sabotase

Tabel 1 menjelaskan jenis penghalang dan tempat sensor proteksi fisik. Musuh harus melewati penghalang, area sensor yang mendeteksi gerakan musuh sesuai dengan ide teknis masing-masing jenis (sensor pasif atau aktif). Setiap jenis sensor memiliki probabilitas deteksi yang berbeda dari jenis sensor lainnya. P_D untuk semua jenis sensor didasarkan pada tabel yang diterbitkan oleh Sandia National Laboratories, USA [3].

Tabel 1. Jenis Penghalang dan Sensor

Aksi Musuh	Elemen Penghambat	Elemen Deteksi
Menembus Pagar	Pagar Kawat	Sensor Pagar Kawat
Lari Menuju Pintu Terluar	Jarak	Patroli Terjadwal
Menembus Pintu Terluar	Kekerasan Pintu	Sensor Pintu
Berlari Menuju Tembok	Jarak	Patroli Terjadwal
Melubangi Tembok	Kekerasan Tembok	Bising Yang didengar Personil
Lari Menuju Pintu Dalam	Jarak	Patroli Terjadwal
Menembus Pintu Dalam	Kekerasan Pintu	Sensor Pintu
Lari Menuju Target	Jarak	-
Menghancurkan Pompa Primer	Waktu yang diperlukan menghancurkan Target	Kehilangan Fungsi Pompa

Musuh akan memperoleh waktu tunda untuk menembus rintangan. Masing-masing hambatan fisik memiliki waktu tunda penetrasi yang berbeda sesuai

dengan jenis, bentuk dan ketebalan pembatas lainnya (dinding, pintu, dan lainnya).

Karena waktu tunda yang dibutuhkan oleh musuh (atau kekuatan pasukan respon) tidak akan selalu melakukan tugas dalam waktu yang sama. Misalnya, musuh dapat mengambil lebih banyak atau lebih sedikit waktu untuk melewati pintu atau kekuatan respons mungkin mengalami kesulitan memulai kendaraan. Untuk variasi yang diharapkan ini dalam interval waktu, deteksi dan waktu tunda nilai diukur tiga kali.

Nilai waktu tunda diperoleh, Waktu jarak tempuh dari area dalam akan diambil oleh kecepatan pasukan respon, waktu penilaian alarm penjaga, waktu komunikasi antara penjaga fasilitas dan pasukan respon. Waktu respon pasukan (RFT) meliputi persiapan, perjalanan, dan penyebaran. Tabel waktu penetrasi penghalang fisik untuk Dinding, Pintu, Gerbang dan Pagar yang diterbitkan oleh Sandia National Laboratories.

Jika TR adalah waktu yang tersisa untuk musuh untuk mencapai titik sabotase dan RFT adalah waktu respon dari pasukan keamanan, maka untuk mencegah dan menggagalkan sabotase lawan, diperlukan :

$$TR - RFT > 0.$$

Salah satu parameter penting dalam SPF adalah titik deteksi kritis (CDP) yaitu titik dimana penundaan minimal pada sisa jalur tertentu hanya melebihi sedikit waktu yang dibutuhkan oleh pasukan perespon. Dari tabel 2 diatas dapat kita tentukan apabila musuh dapat terdeteksi pada saat sebelum melubangi pintu daerah dalam maka sabotase yang dilakukan oleh musuh akan gagal.

Tabel 2. Perhitungan Crital Detection Point (CDP)

Aksi Musuh	Waktu Aksi (s)	Waktu Tunda Tersisa (s)	P_D
Menembus Pagar	6	347	0.1
Lari Menuju Pintu Terluar	10	341	0.02
Menembus Pintu Terluar	84	331	0.6
Berlari Menuju Tembok	5	247	0.02
Melubangi Tembok	120	242	0.7
Lari Menuju Pintu Dalam	5	122	0.02
Menembus Pintu Dalam	84	117	0.9
Lari Menuju Target	3	33	0.0
Menghancurkan Pompa Primer	30	30	1.0

Dalam istilah elemen SPF ; nilai Probabilitas P_I dihitung sebagai berikut :^[2]

$$P_I = 1 - \prod_{i=k}^{k-1} P_{NDi}$$

Dimana P_{NDi} adalah nilai gagal deteksi yang dari elemen sensor I , yaitu kemungkinan elemen sensor gagal mendeteksi aksi musuh, nilai ini merupakan lawan dari probabilitas deteksi P_D . Sebagai contoh probabilitas gagal deteksi senilai 0,2 berarti ada kemungkinan sebesar 20 % musuh gagal terdeteksi.

Sehingga kebalikannya ada kemungkinan 80% musuh dapat dideteksi. Penting untuk dipahami bahwa model analisis ini menggunakan probabilitas gagal deteksi P_{NDi} sedangkan P_D adalah kinerja deteksi dari suatu elemen sensor deteksi.

Tabel 3. Perhitungan P_1 pada RFT= 40 detik

Aksi Musuh	Waktu Aksi (s)	Waktu Tunda Tersisa (s)	P_D	Prob. Tak terdeteksi
Menembus Pagar	6	347	0.1	0.9
Lari Menuju Pintu Terluar	10	341	0.02	0.98
Menembus Pintu Terluar	84	331	0.6	0.4
Berlari Menuju Tembok	5	247	0.02	0.98
Melubangi Tembok	120	242	0.7	0.3
Lari Menuju Pintu Dalam	5	122	0.02	0.98
Menembus Pintu Dalam	84	117	0.9	0.1
Lari Menuju Target	3	33	0.0	1.0
Menghancurkan Pompa Primer	30	30	1.0	0.0

Sehingga nilai dari probabilitas gagal deteksi dari aksi musuh adalah berturut-turut adalah:

- Aksi Menembus pagar 1-0,1 = 0,9
- Aksi lari menuju pintu keluar 1-0,02 = 0,98
- Aksi menembus pintu luar 1-0,6 = 0,4
- Aksi berlari menuju tembok 1 - 0,02 = 0,98
- Aksi menembus tembok 1 - 0,7 = 0,3
- Aksi berlari menuju pintu dalam 1-0,02 = 0,98

Sehingga nilai

$\prod_{i=k}^{k-1} P_{NDi}$ adalah :
 $P_{NDi} = 0,9 \times 0,98 \times 0,4 \times 0,98 \times 0,3 \times 0,98 = 0,102$
 Dan nilai $P_1 = 1 - 0,102 = 0,898$.

Sekarang apabila kita menggunakan nilai waktu respon pasukan menjadi lebih besar yaitu 240 detik maka secara langsung nilai titik deteksi kritis akan berubah. Dengan menggunakan nilai RFT = 240 detik, maka CDP akan bergeser pada titik atau daerah dimana musuh telah berhasil menembus pintu luar namun sebelum berlari menuju tembok.

Tabel 4. Perhitungan P_1 pada RFT= 240 detik

Aksi Musuh	Waktu Aksi (s)	Waktu Tunda Tersisa (s)	P_D	Prob. Tak terdeteksi
Menembus Pagar	6	347	0.1	0.9
Lari Menuju Pintu Terluar	10	341	0.02	0.98
Menembus Pintu Terluar	84	331	0.6	0.4
Berlari Menuju Tembok	5	247	0.02	0.98
Melubangi Tembok	120	242	0.7	0.3
Lari Menuju Pintu Dalam	5	122	0.02	0.98
Menembus Pintu Dalam	84	117	0.9	0.1
Lari Menuju Target	3	33	0.0	1.0
Menghancurkan Pompa Primer	30	30	1.0	0.0

Sebagai mana hasil sebelumnya nilai dari probabilitas gagal deteksi dari aksi musuh adalah berturut-turut adalah :

- Aksi menembus pagar 1-0,1 = 0,9
- Aksi lari menuju pintu keluar 1-0,02 = 0,98
- Aksi menembus pintu luar 1-0,6 = 0,4

Sehingga nilai

$\prod_{i=k}^{k-1} P_{NDi}$ adalah :
 $P_{NDi} = 0,9 \times 0,98 \times 0,4 = 0,353$
 Dan nilai $P_1 = 1 - 0,353 = 0,647$.

Opsi Upgrade

Pada kasus dimana waktu untuk pasukan perespon membutuhkan waktu mencapai 240 detik, maka apabila diberikan peningkatan / upgrade dari sensor deteksi di pintu daerah terluar dengan mengganti kualitas sensor dengan kinerja deteksi senilai 0,9 (sebelumnya 0,6). Maka nilai P_1 diperoleh sebagai berikut:

- Aksi Menembus pagar 1-0,1 = 0,9
- Aksi lari menuju pintu keluar 1-0,02 = 0,98
- Aksi menembus pintu luar 1-0,9 = 0,1

Sehingga nilai

$\prod_{i=k}^{k-1} P_{NDi}$ adalah :
 $P_{NDi} = 0,9 \times 0,98 \times 0,1 = 0,0882$
 Dan nilai $P_1 = 1 - 0,0882 = 0,912$.

Tabel 5. P_1 saat upgrade sensor kinerja deteksi 0,9

Aksi Musuh	Waktu Aksi (s)	Waktu Tunda Tersisa (s)	P_D	Prob. Tak terdeteksi
Menembus Pagar	6	347	0.1	0.9
Lari Menuju Pintu Terluar	10	341	0.02	0.98
Menembus Pintu Terluar	84	331	0.9	0.1
Berlari Menuju Tembok	5	247	0.02	0.98
Melubangi Tembok	120	242	0.7	0.3
Lari Menuju Pintu Dalam	5	122	0.02	0.98
Menembus Pintu Dalam	84	117	0.9	0.1
Lari Menuju Target	3	33	0.0	1.0
Menghancurkan Pompa Primer	30	30	1.0	0.0

Selain menambahkan sensor, saran peningkatan kedua adalah, bisa juga dengan menggunakan tambahan pelindung pada pompa primer yang memberikan tambahan waktu tunda hingga menjadi 150 detik (sebelumnya hanya 30 detik).

Maka nilai P_1 diperoleh sebagai berikut:

- Aksi Menembus pagar 1-0,1 = 0,9
- Aksi lari menuju pintu keluar 1-0,02 = 0,98
- Aksi menembus pintu luar 1-0,6 = 0,4
- Aksi musuh berlari menuju tembok 1-0,02=0,98
- Aksi musuh melubangi tembok 1-0,7 = 0,3

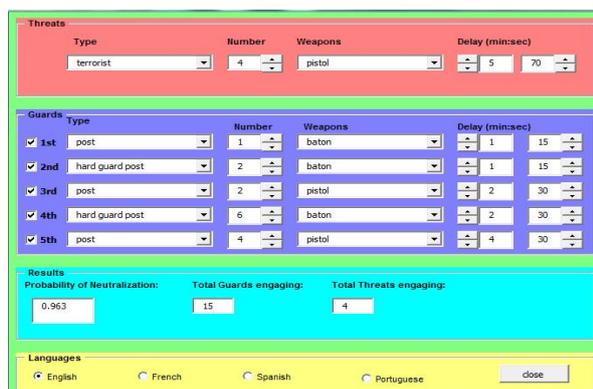
Tabel 6. P_1 saat upgrade pelindung pompa primer

Aksi Musuh	Waktu Aksi (s)	Waktu Tunda Tersisa (s)	P_D	Prob. Tak terdeteksi
Menembus Pagar	6	467	0.1	0.9
Lari Menuju Pintu Terluar	10	461	0.02	0.98
Menembus Pintu Terluar	84	451	0.9	0.1
Berlari Menuju Tembok	5	367	0.02	0.98
Melubangi Tembok	120	362	0.7	0.3
Lari Menuju Pintu Dalam	5	242	0.02	0.98
Menembus Pintu Dalam	84	237	0.9	0.1
Lari Menuju Target	3	153	0.0	1.0
Menghancurkan Pompa Primer	150	150	1.0	0.0

Sehingga nilai $\prod_{i=k}^{k-1} P_{NDi}$ adalah :
 $P_{NDi} = 0,9 \times 0,98 \times 0,4 \times 0,98 \times 0,3 = 0,104$
 Dan nilai $P_1 = 1 - 0,104 = 0,896$.

Perhitungan Probabilitas Netralisasi (P_N)

Model Neutralization ASSESS, adalah contoh metode numerik yang digunakan untuk meminimalkan masalah yang timbul dari penentuan pendapat oleh pakar, sebagaimana terlihat pada gambar 5. Model komputer ini menggunakan data probabilitas pembunuhan dari berbagai jenis senjata dan gambaran analisa postur penembakan, exposure dan faktor lain untuk mensimulasikan keterlibatan pada pertempuran perang tahun 1700-an. Para pasukan berdiri pada dibelakang suatu garis dan saling menembak satu sama lain. Keuntungan dari model ini adalah berbiaya rendah dan hasil keluaran yang sama pada nilai input yang sama. Analisis netralisasi membutuhkan data ancaman, pasukan perespon dan data SPF. Dari hasil skenario ini diperoleh nilai P_N sebesar 0,963.



Gambar 5. Model Neutralization ASSESS

Standar BATAN 2016^[4] dan HAEA Hongaria^[5] Dalam penilaian keefektifan SPF sedikitnya ada dua standar yang dapat dijadikan acuan. Acuan pertama pada tabel 7 yaitu SB 009.1 BATAN:2016 tentang Penilaian risiko keamanan nuklir, merupakan dokumen standar yang dikeluarkan oleh BATAN dalam hal melakukan evaluasi / penilaian risiko keamanan nuklir. Standar ini digunakan sebagai acuan bagi organisasi untuk menilai risiko keamanan secara sistematis di lingkup kerjanya dengan melakukan identifikasi, analisis dan evaluasi risiko keamanan dengan tetap mempertimbangkan persyaratan badan pengawas dan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Tabel 7. Efektivitas Sistem Keamanan

Efektivitas sistem keamanan (P_E)	Skala Kerentanan (V)
>0.8	1
>0.6 s/d 0.8	2
>0.4 s/d 0.6	3
>0.2 s/d 0.4	4
0 s/d 0.2	5

Selain itu standar yang dikeluarkan oleh HAEA menetapkan nilai efektif yang ketat terhadap nilai kejadian sabotase dapat diterima apabila nilai $P_1 * P_N$ untuk material kategori 1 senilai 0.99 dan untuk bahan nuklir kategori 2 senilai 0.95 sedangkan untuk bahan radioaktif kategori 1 senilai 0.95 dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Nilai kejadian sabotase dapat diterima

Target	Perkalian $P_1 * P_N$
Kategori Bahan I Nuklir	0.99
II	0.95
Kategori Bahan I Radioaktif	0.95

Berdasarkan standar BATAN dan HAEA didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 9. Hasil Perhitungan vs Standar

Skenario	RFT	$P_1 * P_N$	Standar BATAN	HAEA
Sabotase Pompa	40 detik	$0.898 \times 0,963 = 0,865$	0,80	0,99
	240 detik	$0,647 \times 0,963 = 0,623$		
Upgrade	240 detik	$0,912 \times 0,963 = 0,878$		
		$0,896 \times 0,963 = 0,863$		

Dari tabel 9 hasil diperoleh bahwa dari skenario sabotase, nilai efektivitas SPF akan mencapai nilai 0,865 pada kondisi RFT sebesar 40 detik, nilai ini melebihi standar BATAN namun masih dibawah standar hongaria. Untuk kondisi dimana RFT menjadi sebesar 240 detik maka nilai efektivitas SPF akan menurun menjadi senilai 0,623, menurun dari nilai yang ditetapkan oleh BATAN maupun Hongaria.

Ketika dilakukan peningkatan/upgrade dengan melakukan penambahan sensor pada titik pintu terluar menjadi nilai kinerja deteksi 0,9 maka terjadi peningkatan signifikan dalam nilai efektivitas P_E SPF yaitu menjadi senilai 0,878 melebihi standar yang ditetapkan oleh BATAN. Sedangkan dengan opsi upgrade kedua yaitu menambah waktu tunda pada pompa primer menjadi 150 detik maka kondisi nilai efektivitas P_E SPF nya menjadi 0,863.

IV. KESIMPULAN

Perhitungan dengan menggunakan metode EASI dapat dijadikan pilihan metoda untuk perhitungan efektifitas SPF, selain sederhana dan EASI mudah digunakan, diubah, dan secara kuantitatif menggambarkan efek perubahan parameter proteksi fisik. Dari perhitungan terhadap sebuah skenario sabotase pompa primer diperoleh hasil awal nilai efektivitas senilai 0,865 dan 0,623. Dari hasil upgrade yang dilakukan diperoleh nilai akhir 0,878 dan 0,863.

Perhitungan dengan menggunakan metode EASI ini merupakan salah satu cara dengan penggunaan metode berbasis kinerja yang telah disarankan dan dipakai oleh banyak negara dan dapat melengkapi metode berbasis kepatuhan (*compliance*) dimana secara garis besar penilaian ukuran keberhasilan SPF adalah tersedianya peralatan dan prosedur yang dipersyaratkan.

V. DAFTAR PUSTAKA

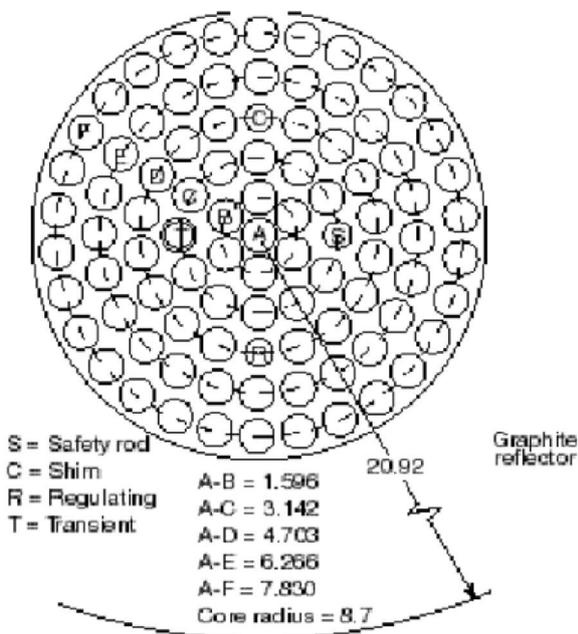
- [1] Physical protection evaluation process for nuclear facility via sabotage skenarios A.A. Wadoud, A.S. Adail, A.A. Saleh; 2017
- [2] The Design and Evaluation of Physical Protection Systems, Garcia, 2008
- [3] Vulnerability Assessment of Physical Protection Systems, Garcia 2006
- [4] SB009.1 BATAN: 2016 Tentang Penilaian Resiko Keamanan Nuklir.
- [5] Guideline PP-9 HAEA-Hongaria, September 2015

LAMPIRAN

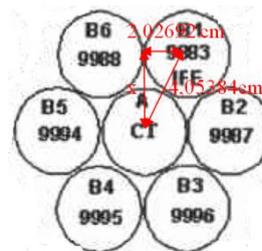
Perhitungan Posisi Pin Bahan bakar dan Batang kendali di dalam Teras Reaktor

Komposisi bahan bakar:

- Tipe 104, terdapat 69 buah
- Tipe 204, terdapat 2 buah



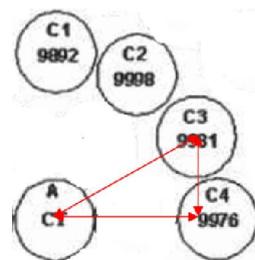
Gambar 10. Jari-jari ring A s.d F (dalam inch) [6].



Gambar 11. Konfigurasi Bahan Bakar di Teras Reaktor Kartini di Ring A

$$\begin{aligned} \cos 30^\circ &= x / 4,05384 \\ x &= 4,05384 \cos 30^\circ \\ &= 3,5107 \text{ cm} \end{aligned}$$

- Koordinat:
- B1 (2,02692 ; 3,5107; 0)
 - B2 (4,05384; 0 ; 0)
 - B3 (2,02692; -3,5107; 0)
 - B4 (-2,02692; -3,5107; 0)
 - B5 (-4,05384 ; 0 ; 0)
 - B6 (-2,02692; 3,5107; 0)

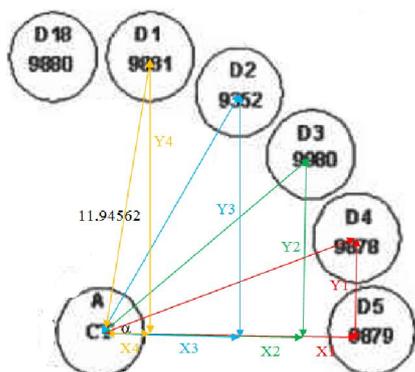


Gambar 12, Konfigurasi Bahan Bakar di Teras Reaktor Kartini pada Ring C

Jari-jari ring C = 3,142 inch = 7,98068 cm

$$\begin{aligned} x &= 7,98068 \cos 30 = 6,91147162 \\ y &= 7,98068 \sin 30 = 3,99034000 \end{aligned}$$

- Koordinat:
- C1 (0; 7,98068; 0)
 - C2 (3,99034000; 6,91147162; 0)
 - C3 (6,91147162; 3,99034000; 0)
 - C4 (7,98068; 0; 0)
 - C5 (6,91147162;-3,99034000; 0) → Batang Kendali
 - C6 (3,99034000;-6,91147162; 0)
 - C7 (0; -7,98068; 0)
 - C8 (-3,99034000;-6,91147162; 0)
 - C9 (-6,91147162;-3,99034000; 0) → Batang Kendali
 - C10 (-7,98068; 0; 0)
 - C11 (-6,91147162; 3,99034000; 0)
 - C12 (-3,99034000; 6,91147162; 0)



Gambar 13, Konfigurasi Bahan Bakar di Teras Reaktor Kartini pada Ring D

Jari-jari Ring C = 4,703 inch = 11,94562 cm

□□□□□□□□□□□□□□□□□□

$$X1 = 11,94562 \cos 20 = 11,22521096$$

$$X2 = 11,94562 \cos 40 = 9,15087582$$

$$X3 = 11,94562 \cos 60 = 5,97281000$$

$$X4 = 11,94562 \cos 80 = 2,07433514$$

$$Y1 = 11,94562 \sin 20 = 4,08564266$$

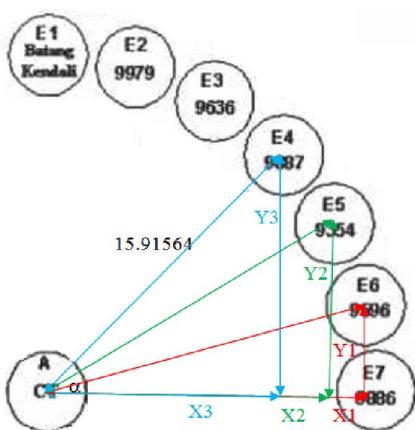
$$Y2 = 11,94562 \sin 40 = 7,67849653$$

$$Y3 = 11,94562 \sin 60 = 10,34521038$$

$$Y4 = 11,94562 \sin 80 = 11,76413919$$

Koordinat:

- D1 (2,07433514; 11,76413919; 0)
- D2 (5,97281000; 10,34521038; 0)
- D3 (9,15087582; 7,67849653; 0)
- D4 (11,22521096; 4,08564266; 0)
- D5 (11,94562; 0; 0)
- D6 (11,22521096; -4,08564266; 0)
- D7 (9,15087582; -7,67849653; 0)
- D8 (5,97281000; -10,34521038; 0)
- D9 (2,07433514; -11,76413919; 0)
- D10 (-2,07433514; -11,76413919; 0)
- D11 (-5,97281000; -10,34521038; 0)
- D12 (-9,15087582; -7,67849653; 0)
- D13 (-11,22521096; -4,08564266; 0)
- D14 (-11,94562; 0; 0)
- D15 (-11,22521096; 4,08564266; 0)
- D16 (-9,15087582; 7,67849653; 0)
- D17 (-5,97281000; 10,34521038; 0)
- D18 (-2,07433514; 11,76413919; 0)



Gambar 14, Konfigurasi Bahan Bakar di Teras Reaktor Kartini pada Ring E
Jari-jari Ring E = 6,266 inch = 15,91564 cm

□□□□□□□□□□□□□□□□□□

$$X1 = 15,91564 \cos 15 = 15,37332772$$

$$X2 = 15,91564 \cos 30 = 13,78334856$$

$$X3 = 15,91564 \cos 45 = 11,25405697$$

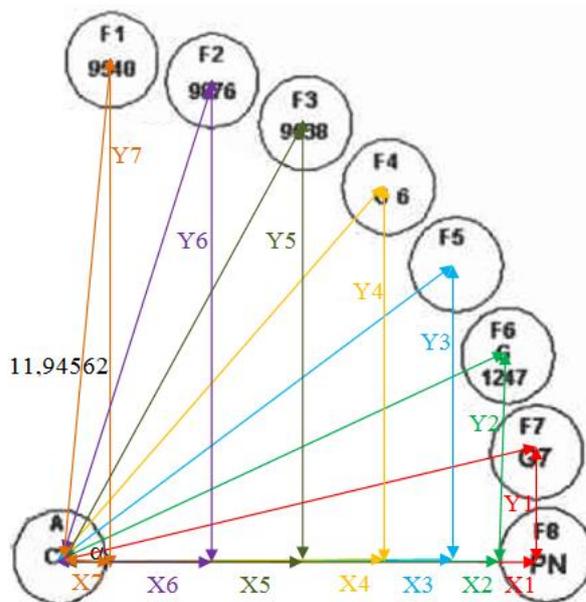
$$Y1 = 15,91564 \sin 15 = 4,11927075$$

$$Y2 = 15,91564 \sin 30 = 7,95782000$$

$$Y3 = 15,91564 \sin 45 = 11,25405697$$

Koordinat:

- E1 (0; 15,91564; 0) → Batang kendali
- E2 (4,11927075; 15,37332772; 0)
- E3 (7,95782000; 13,78334856; 0)
- E4 (11,25405697; 11,25405697; 0)
- E5 (13,78334856; 7,95782000; 0)
- E6 (15,37332772; 4,11927075; 0)
- E7 (15,91564; 0; 0)
- E8 (15,37332772; -4,11927075; 0)
- E9 (13,78334856; -7,95782000; 0)
- E10 (11,25405697; -11,25405697; 0)
- E11 (7,95782000; -13,78334856; 0)
- E12 (4,11927075; -15,37332772; 0)
- E13 (0; -15,91564; 0)
- E14 (-4,11927075; -15,37332772; 0)
- E15 (-7,95782000; -13,78334856; 0)
- E16 (-11,25405697; -11,25405697; 0)
- E17 (-13,78334856; -7,95782000; 0)
- E18 (-15,37332772; -4,11927075; 0)
- E19 (-15,91564; 0; 0)
- E20 (-15,37332772; 4,11927075; 0)
- E21 (-13,78334856; 7,95782000; 0)
- E22 (-11,25405697; 11,25405697; 0)
- E23 (-7,95782000; 13,78334856; 0)
- E24 (-4,11927075; 15,37332772; 0)



Gambar 15, Konfigurasi Bahan Bakar di Teras Reaktor Kartini pada Ring F

Jari-jari Ring F = 7,830 inch = 19,8882 cm

□□□□□□□□□□□□□□□□□□

$$X1 = 19,8882 \cos 12 = 19,45359511$$

$$X2 = 19,8882 \cos 24 = 18,16877477$$

$$X3 = 19,8882 \cos 36 = 16,08989179$$

$$X4 = 19,8882 \cos 48 = 13,30780333$$

$$X5 = 19,8882 \cos 60 = 9,94410000$$

$$X6 = 19,8882 \cos 72 = 6,14579179$$

$$X7 = 19,8882 \cos 84 = 2,07888298$$

$$Y1 = 19,8882 \sin 12 = 4,13498929$$

$$Y2 = 19,8882 \sin 24 = 8,08925970$$

$$Y3 = 19,8882 \sin 36 = 11,68999065$$

$$Y4 = 19,8882 \sin 48 = 14,77981292$$

$$Y5 = 19,8882 \sin 60 = 17,22368644$$

$$Y6 = 19,8882 \sin 72 = 18,91480221$$

$$Y7 = 19,8882 \sin 84 = 19,77925036$$

Koordinat:

$$F1 (2,07888298; 19,77925036; 0)$$

$$F2 (6,14579179; 18,91480221; 0)$$

$$F3 (9,94410000; 17,22368644; 0)$$

$$F4 (13,30780333; 14,77981292; 0)$$

$$F5 (16,08989179; 11,68999065; 0)$$

$$F6 (18,16877477; 8,08925970; 0)$$

$$F7 (19,45359511; 4,13498929; 0)$$

$$F8 (19,8882; 0; 0)$$

$$F9 (19,45359511; -4,13498929; 0)$$

$$F10 (18,16877477; -8,08925970; 0)$$

$$F11 (16,08989179; -11,68999065; 0)$$

$$F12 (13,30780333; -14,77981292; 0)$$

$$F13 (9,94410000; -17,22368644; 0)$$

$$F14 (6,14579179; -18,91480221; 0)$$

$$F15 (2,07888298; -19,77925036; 0)$$

$$F16 (-2,07888298; -19,77925036; 0)$$

$$F17 (-6,14579179; -18,91480221; 0)$$

$$F18 (-9,94410000; -17,22368644; 0)$$

$$F19 (-13,30780333; -14,77981292; 0)$$

$$F20 (-16,08989179; -11,68999065; 0)$$

$$F21 (-18,16877477; -8,08925970; 0)$$

$$F22 (-19,45359511; -4,13498929; 0)$$

$$F23 (-19,8882; 0; 0)$$

$$F24 (-19,45359511; 4,13498929; 0)$$

$$F25 (-18,16877477; 8,08925970; 0)$$

$$F26 (-16,08989179; 11,68999065; 0)$$

$$F27 (-13,30780333; 14,77981292; 0)$$

$$F28 (-9,94410000; 17,22368644; 0)$$

$$F29 (-6,14579179; 18,91480221; 0)$$

$$F30 (-2,07888298; 19,77925036; 0)$$

PC01
**KAJIAN FAKTOR-FAKTOR YANG PENTING DALAM REALISASI ANGGARAN KEGIATAN
 BAPETEN PERIODE TAHUN ANGGARAN 2015-2017**

Ronida

Badan Pengawas Tenaga Nuklir
 e-mail: r.carolina@bapeten.go.id

ABSTRAK

KAJIAN FAKTOR-FAKTOR YANG PENTING DALAM REALISASI ANGGARAN KEGIATAN BAPETEN PERIODE TAHUN ANGGARAN 2015-2017. Telah dilakukan suatu kajian untuk melihat faktor-faktor terpenting yang mempengaruhi pencapaian realisasi BAPETEN periode tahun anggaran 2015-2017, sehingga pada periode tahun berikutnya target realisasi dapat tercapai. Kajian ini menggunakan metode kualitatif. Data atau informasi diperoleh dari Unit Kerja dan diolah dengan cara mengidentifikasi faktor-faktor terpenting yang mempengaruhi pencapaian realisasi anggaran BAPETEN dengan menggunakan diagram fishbone dan diagram causal loop untuk mengurutkan faktor-faktor terpenting yang mempengaruhi pencapaian realisasi tersebut. Kajian ini mengacu pada Peraturan Menteri Keuangan, Peraturan Menteri PPN, dan Renstra BAPETEN. Dari kajian diperoleh kesimpulan bahwa realisasi anggaran kegiatan BAPETEN periode tahun anggaran 2015-2017 tidak tercapai; faktor-faktor penting yang mempengaruhinya adalah: Renstra, kebijakan, pengukuran (measurement), SDM, prosedur, dan perangkat (machine).

Kata kunci: realisasi anggaran, BAPETEN, diagram fishbone

ABSTRACT

ASSESSMENT OF IMPORTANT FACTORS OF BAPETEN'S BUDGET TARGET REALISATION FOR THE FISCAL YEAR 2015-2017. An assessment has been conducted to examine the most important factors affecting the achievement of BAPETEN realisation for the fiscal year 2015-2017, in order to achieve the target in the following year. This assessment used qualitative methods. All data or information received from working units are processed by identifying the most important factors which affect BAPETEN's budget target realisation. The results from this identification process are then analysed using fishbone and casual loop diagrams. This assessment is in accordance with the regulations of the Minister of Finance, Minister of Planning and National Development and BAPETEN's Strategic Plan. This assessment concludes that BAPETEN's budget target realisation for the fiscal year 2015-2017, is not achieved; the important factors affecting the realisation are: strategic plan, policy, measurement, human resources, procedures and machines.

Keywords: budget realisation, BAPETEN, fishbone diagram

PENDAHULUAN

Peraturan Menteri PPN/Kepala BAPPENAS mewajibkan setiap Kementerian/Lembaga (K/L) untuk menyusun Rencana Strategis (Renstra) [1]. Renstra adalah dokumen perencanaan K/L untuk periode lima tahunan. Renstra K/L memuat visi, misi, tujuan, strategi, kebijakan, program, kegiatan pembangunan, kerangka regulasi, dan kerangka kelembagaan sesuai dengan tugas dan fungsi K/L yang disusun berpedoman pada Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) dan bersifat indikatif [2]. Sehubungan dengan peraturan tersebut, BAPETEN telah menyusun Renstra Revisi 1 Tahun 2015-2019 [3]. Secara substantif Renstra BAPETEN berpedoman pada RPJMN dan menjadi salah satu dasar lembaga dalam menggunakan Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara (APBN) [4]. Renstra sebagai dokumen perencanaan, dalam kerangka pendanaan menyebutkan bahwa pelaksanaan koordinasi kebijakan di bidang pengawasan dan pemanfaatan tenaga nuklir, perlu didukung dengan komitmen pendanaan dengan Semua itu bertujuan untuk mencapai target realisasi anggaran kegiatan di

akhir tahun anggaran. Sesuai dengan Peraturan Menteri Keuangan [5], BAPETEN menargetkan persentase penyerapan anggaran paling sedikit sebesar 95% setiap tahun. Realisasi anggaran yang tidak sesuai target dapat dianggap menghambat pencapaian target pembangunan, penurunan pelayanan terhadap publik, serta tidak memperhatikan arah kebijakan penganggaran pada tahun anggaran berjalan. Pada kenyataannya, target realisasi tiga tahun pertama Renstra tersebut tidak tercapai. Hal itu terlihat dari capaian realisasi anggaran kegiatan dari 14 Unit Kerja yang ada di BAPETEN, periode tahun anggaran 2015-2017.

Ada berbagai alasan yang menjelaskan tidak tercapainya realisasi anggaran pada periode ini. Penyebab capaian realisasi yang tidak sesuai target dapat diidentifikasi dengan melakukan kajian terhadap faktor-faktor yang mempengaruhinya. Berdasarkan kajian yang dilakukan di lapangan, data menunjukkan bahwa selama 3 tahun penyerapan anggaran tidak optimal sehingga target tidak tercapai. Kajian ini perlu dilakukan untuk mengidentifikasi faktor-faktor penting yang mempengaruhi realisasi anggaran

kegiatan di BAPETEN periode tahun anggaran 2015-2017. Diharapkan melalui kajian tersebut, pada periode tahun berikutnya hal yang sama tidak terjadi lagi dan Unit Kerja dapat lebih mengoptimalkan penyerapan anggarannya masing-masing agar dapat mencapai target.

POKOK BAHASAN

Kajian dilakukan melalui tiga tahap. Tahap pertama dilakukan pemetaan masalah dengan membuat tabel realisasi anggaran periode tahun anggaran 2015-2017 dari 14 Unit Kerja. Tahap kedua dengan cara membuat diagram fishbone yang dilengkapi dengan informasi mengenai faktor-faktor penyebab tidak tercapainya target realisasi tersebut. Pada tahap terakhir dilakukan perbandingan antara faktor-faktor tersebut untuk menentukan urutan faktor yang paling penting atau paling berpengaruh dengan menggunakan *Causal Loop Diagram* (CLD). Kajian ini juga dilakukan dengan berlandaskan teori dan mengacu pada Peraturan Menteri Keuangan yang berlaku pada periode tahun tersebut, yang menjelaskan beberapa hal terkait dengan capaian realisasi anggaran kegiatan.

a. Perencanaan Anggaran

Kaufman (1972) mendefinisikan perencanaan adalah suatu proyeksi tentang apa yang perlu dilakukan dalam rangka mencapai tujuan absah dan bernilai. Dari definisi tersebut diatas, terkait dengan perencanaan anggaran, Unit Kerja harus dapat memproyeksikan atau membuat perkiraan terhadap usulan kegiatan yang akan dilakukan pada periode tahun berikutnya serta mengukur kemampuan dalam melaksanakan kegiatan yang telah diusulkan sehingga tujuannya tercapai dalam bentuk capaian realisasi dan capaian output yang sesuai target.

b. Pelaksanaan Anggaran

Dalam TOR dan RAB Unit Kerja, terdapat jumlah anggaran dari masing-masing kegiatan. Anggaran akan efektif apabila dalam penggunaannya didukung oleh pelaksanaan kegiatan yang baik sesuai dengan perencanaannya. Dengan kata lain anggaran harus selaras dengan kegiatan dengan memperhatikan waktu pelaksanaannya dalam tahun berjalan. Pelaksanaan anggaran harus memperhatikan penyerapan dan optimalisasinya dari triwulan I sampai dengan triwulan IV. Hal ini untuk mencegah agar tidak ada penumpukan anggaran pada akhir tahun, mengingat volume kegiatan yang masih tinggi dan batas waktu pelaksanaan anggaran yang akan segera berakhir.

c. Rencana Tindak kedepannya

Seperti telah disebutkan diatas, "anggaran harus selaras dengan kegiatan dengan memperhatikan waktu pelaksanaannya dalam tahun berjalan." Tetapi pada kenyataannya, pada akhir tahun berjalan penyerapan anggaran dari kegiatan tidak optimal sehingga capaian realisasi tidak sesuai target. Hal ini harus disikapi dengan membuat rencana tindak kedepannya, dengan tujuan agar periode tahun berikutnya realisasi tersebut dapat

mencapai target yang diinginkan. Setelah rencana tindak dilakukan, ternyata capaian masih belum sesuai target maka langkah berikutnya adalah melakukan kajian terhadap faktor-faktor penting dalam realisasi anggaran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam struktur organisasi [6], ada 14 Unit Kerja yang ada di BAPETEN. setiap Unit Kerja membuat usulan kegiatan yang dituangkan dalam TOR dan RAB. pada Bagaimana penyerapan anggaran kegiatan yang telah dilakukan pada periode tahun anggaran 2015-2017, dapat dilihat dari tabel dibawah ini:

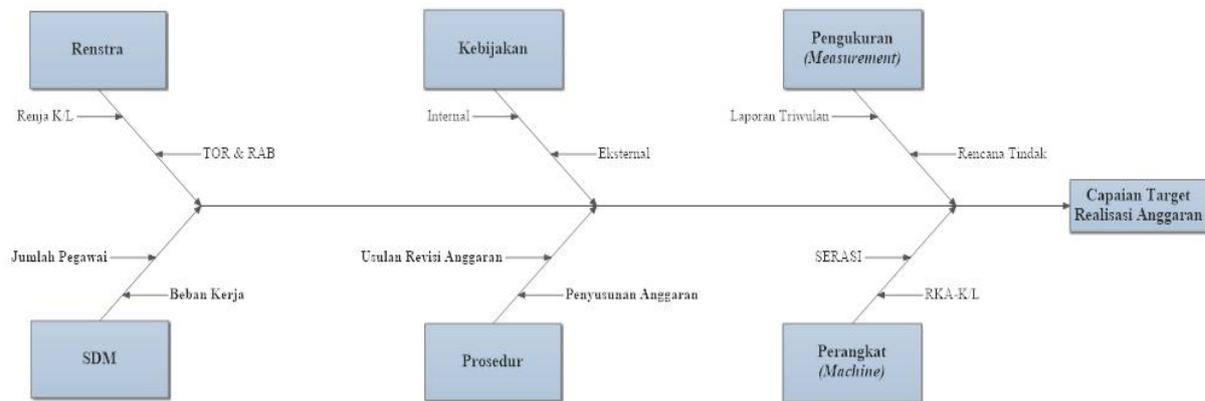
Tabel 1. Realisasi Anggaran Unit Kerja Periode Tahun 2015-2017

No. Unit Kerja	Kode Program	Realisasi Anggaran (%)		
		2015	2016	2017
1.	3562	94,45	91,80	93,16
2.	3563	90,52	95,65	92,36
3.	3564	92,47	91,34	95,74
4.	3565	86,01	95,72	96,06
5.	3566	87,11	95,97	98,43
6.	3567	92,93	98,63	---*)
	3568	87,15	94,80	92,49
7.	3569	98,64	98,48	88,14
8.	3570	85,51	94,82	96,06
9.	3573	94,44	94,38	87,55
10.	3574	98,30	97,34	96,11
11.	3571	98,02	95,13	96,17
12.	3572	93,05	96,25	97,7
13.	3575	90,73	93,09	95,13
14.	3576	97,22	79,59	94,18
TOTAL BAPETEN		88,84	94,03	94,77

Catatan: Program ini ditiadakan untuk TA 2017

Berdasarkan data pada tabel di atas, diketahui bahwa capaian realisasi anggaran dari setiap Unit Kerja pada periode tahun tersebut tidak memenuhi target 95%. Tidak tercapainya target realisasi anggaran dapat dianalisis lebih jauh dengan menggunakan diagram *fishbone* berdasarkan sistematika kerja yang ada di BAPETEN dan laporan realisasi kegiatan, seperti yang dijelaskan pada Gambar 1.

Dengan melihat gambar tersebut, maka beberapa hal penting yang mempengaruhi tercapainya target realisasi anggaran adalah Renstra, Kebijakan, Pengukuran (*Measurement*), SDM, Prosedur, Perangkat (*Machine*).



Gambar 4. Faktor-Faktor Yang Penting Dalam Realisasi Anggaran

RENSTRA: merupakan pedoman dalam rangka penyusunan Rencana Kerja (Renja) dan Rencana Kerja Anggaran (RKA) BAPETEN. Renstra menuliskan tentang target kinerja dan kerangka pendanaan, namun tidak menyebutkan target realisasi anggaran yang harus dicapai oleh setiap Unit Kerja. Renstra sebagai dokumen perencanaan, seharusnya mencantumkan capaian target realisasi anggaran kegiatan yang mengacu pada Peraturan Menteri Keuangan Republik Indonesia Nomor: 258/PMK.02/2015 untuk menjadi dasar dalam menetapkan target realisasi yang harus dicapai oleh setiap Unit Kerja.

Ada dua hal terkait dengan kebijakan yaitu: kebijakan internal dan kebijakan eksternal. Kebijakan internal menyangkut keputusan, pernyataan atau himbuan dari Manajemen/Pimpinan, dalam hal ini Kepala Lembaga, Sekretaris Utama, Deputy, dan Kepala Unit Kerja terhadap pengelolaan atau penggunaan anggaran di BAPETEN atau di masing-masing Satuan Kerja/Unit Kerja. Contohnya: himbuan efisiensi penggunaan akun 524 terkait belanja perjalanan dinas. Akibatnya, kegiatan yang menggunakan akun tersebut anggarannya harus diefektifkan dengan melakukan revisi RAB. Sedangkan kebijakan eksternal menyangkut keputusan dan peraturan yang dikeluarkan oleh Presiden, BAPPENAS, dan Kementerian Keuangan dalam tahun anggaran, misalnya: Perpres terkait penghematan APBN yang tentunya semua K/L akan melakukan penghematan sehingga akan berdampak terhadap pelaksanaan kegiatan yang telah direncanakan.

Dengan melihat diagram tersebut diatas, maka beberapa hal penting yang mempengaruhi Pengukuran: optimalisasi penyerapan anggaran setiap Unit Kerja dapat diketahui dari laporan triwulan. Dalam laporan tersebut disampaikan jumlah anggaran yang telah terpakai dan capaian realisasi sampai dengan saat itu. Namun dalam laporan triwulan tidak ada uraian atau penjelasan terkait dengan penyerapan

anggaran (target tercapai/tidak). Biasanya penjelasan mengenai detail penyerapan anggaran disampaikan pada rapat koordinasi Eselon I dan II yang dilakukan pada awal dan akhir tahun anggaran.

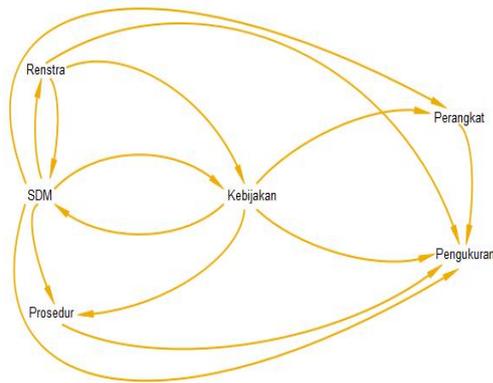
SDM: setiap Unit Kerja harus memperhitungkan jumlah SDM yang dimiliki. Mereka adalah pelaksana dari kegiatan yang ada di Unit Kerja. SDM tersebut tentunya memiliki beban kerja yang didelegasikan oleh atasannya masing-masing. Jika beban itu tidak sesuai dengan SDM yang ada tentunya pelaksanaan kegiatan tidak akan efektif yang ujungnya berdampak terhadap penyerapan anggaran. Saat ini ada beberapa Unit Kerja yang mengeluhkan kurangnya SDM yang mereka miliki karena berbagai alasan tertentu, seperti: sedang mengikuti tugas belajar, training/workshop, atau sebagai peserta yang diundang dalam kegiatan di Unit Kerja yang lain. Akibatnya, kegiatan yang ada di Unit Kerja itu sendiri tidak berjalan sesuai jadwal yang ditentukan.

Prosedur: dokumen ini penting sebagai pedoman bagi setiap Unit Kerja dalam hal penyusunan maupun dalam usulan revisi anggaran tahun berjalan. Unit Kerja harus mengikuti alur proses yang telah dibuat dalam dokumen tersebut. Semua aturan/batasan yang telah diatur dalam prosedur harus diikuti oleh semua pihak yang berkepentingan dalam pelaksanaan anggaran, terutama dalam hal waktu. Hal tersebut dapat dilihat pada Lampiran 1. Tabel Alur Proses. Dalam pelaksanaannya, pihak-pihak yang ikut berperan seperti yang tercantum dalam alur proses pada umumnya sering tidak mematuhi batas waktu yang telah ditentukan sehingga Unit Kerja pengusul tidak dapat segera merealisasikan anggarannya.

Perangkat: Ada banyak perangkat yang digunakan terkait dengan penggunaan anggaran yang dibuat dalam bentuk aplikasi. Salah satu contoh aplikasi Kementerian Keuangan adalah RKA-K/L sedangkan BAPETEN adalah SERASI, yang dalam penggunaannya kedua perangkat ini membantu Unit Kerja untuk melihat pagu anggaran dan sisanya serta

capaian realisasi. Berdasarkan kajian yang dilaksanakan di lapangan, ternyata diketahui bahwa data yang disajikan terkait dengan sisa dan capaian realisasi anggaran dalam SERASI tidak valid jika disandingkan dengan data yang ada pada bendahara. Hal ini harus diantisipasi untuk menghindari pagu minus dan monitoring terhadap capaian realisasi.

Dari keenam faktor yang teridentifikasi di atas, saling pengaruh antar faktor-faktor tersebut digambarkan dalam diagram CLD sebagai berikut:



Gambar 2. Pengaruh Antar Faktor-Faktor

Dengan memperhatikan diagram tersebut diatas, maka dapat dinilai bahwa faktor SDM dan kebijakan merupakan dua faktor yang terpenting. Karena, kedua faktor ini mempengaruhi semua faktor-faktor lainnya. Akan tetapi, SDM merupakan faktor terpenting karena SDM pula yang membuat kebijakan-kebijakan strategis terkait anggaran. Faktor terpenting ketiga adalah Renstra, sebab faktor ini mempengaruhi SDM, kebijakan, dan pengukuran realisasi. Faktor terpenting berikutnya adalah prosedur, karena berpengaruh terhadap pengukuran dari laporan realisasi anggaran. Faktor terpenting kelima adalah perangkat, karena berpengaruh terhadap pengukuran. Dan faktor terpenting terakhir adalah pengukuran. Faktor ini tidak mempengaruhi faktor-faktor yang lainnya, tetapi berpengaruh pada hasil laporan dari realisasi anggaran.

KESIMPULAN

Dari kajian di atas dapat disimpulkan bahwa: penyerapan anggaran pada periode tahun anggaran 2015-2017 tidak mencapai target 95% karena capaian realisasi anggaran BAPETEN jika dilihat dalam tiga tahun terakhir adalah 88,84; 94,03; dan 94,77. Target

realisasi anggaran tidak tercapai karena disebabkan oleh faktor-faktor penting: SDM, Kebijakan, Renstra, Prosedur, Perangkat, dan Pengukuran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Biro Perencanaan dan Kepala Bagian Program karena telah memberikan izin mengikuti Diklat Penulisan Karya Tulis Ilmiah ini. Kepada Balai Diklat sebagai penyelenggara dan kepada Bapak Reno Alamsyah sebagai pembimbing dalam penulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Peraturan Menteri PPN/Kepala BAPPENAS, Nomor: 5 Tahun 2014 Tentang Pedoman Penyusunan dan Penelaahan Rencana Strategis Kementerian/Lembaga (Renstra K/L) 2015-2019, Jakarta (2014)
- [2] Peraturan Menteri PPN/Kepala BAPPENAS, Nomor :5 Tahun 2014 Tentang Pedoman Penyusunan dan Penelaahan Rencana Strategis Kementerian/Lembaga (Renstra K/L) 2015-2019, Jakarta (2014)
- [3] BAPETEN, Rencana Strategis Revisi 1 Tahun 2015-2019, Jakarta (2017)
- [4] Peraturan Menteri PPN/Kepala BAPPENAS, Nomor: 5 Tahun 2014 Tentang Pedoman Penyusunan dan Penelaahan Rencana Strategis Kementerian/Lembaga (Renstra K/L) 2015-2019, Jakarta (2014)
- [5] Peraturan Menteri Keuangan Republik Indonesia Nomor: 258/PMK.02/2015, Tentang Tata Cara Pemberian Penghargaan dan Pengenaan Sanksi Atas Pelaksanaan Anggaran Belanja Kementerian Negara/Lembaga
- [6] BAPETEN, Keputusan Kepala Nomor: 11 Tahun 2008 Tentang Perubahan Atas Keputusan Kepala Nomor: 01 rev.2/K-OTK/V-04 Tentang Organisasi dan Tata Kerja, Jakarta (2008)

LAMPIRAN

Tabel Alur Proses

Uraian	Penanggung Jawab Kegiatan	PPK	Staf KPA Perencana	Staf KPA Verifikator	Staf KPA Sekretariat	APIP	ALB	KPA	Ket./Jk. Waktu
Penyusunan dan penyampaian Usulan Revisi Anggaran (Fr.03-PA/BP/04, Lampiran 4)									
Pemeriksaan atas Usulan Revisi Anggaran dalam jangka waktu paling lama 1 (satu) hari kerja									1 hk
Apabila tidak sesuai, Usulan Revisi Anggaran dikembalikan untuk dilakukan perbaikan									
Apabila sesuai, Usulan Revisi Anggaran ditandatangani dan disampaikan. Langkah selanjutnya butir 6.2.3.									
Disposisi Usulan revisi Anggaran untuk dilakukan pemeriksaan kesesuaian Usulan Revisi Anggaran									

Uraian	Penanggung Jawab Kegiatan	PPK	Staf KPA Perencana	Staf KPA Verifikator	Staf KPA Sekretariat	APIP	ALB	KPA	Ket./Jk. Waktu
Verifikasi kesesuaian usulan revisi anggaran: (lebih rinci akan diatur dalam instruksi kerja)									2 hk
Apabila tidak sesuai, Usulan Revisi Anggaran dikembalikan untuk dilakukan perbaikan.									
Apabila sesuai, penyampaian hasil verifikasi Usulan Revisi Anggaran beserta catatan verifikasi (Fr.04-PA/BP/04, Lampiran 5). Selanjutnya butir 6.2.5.									
Reviu atas Usulan Revisi Anggaran, selanjutnya hasil reviu beserta catatan hasil reviu (Fr.05-PA/BP/04, Lampiran 6) disampaikan. (lebih rinci akan diatur dalam instruksi kerja).									2 hk
Persetujuan atas Usulan Revisi Anggaran									2 hk
Apabila tidak disetujui, penyerahan Penolakan (Fr.07-PA/BP/04, Lampiran 8) Usulan Revisi Anggaran.									
Apabila disetujui, menandatangani persetujuan dan menyerahkan salinan Persetujuan (Fr.06-PA/BP/04, Lampiran 7). Langkah selanjutnya butir 6.2.7.									

Uraian	Penanggung Jawab Kegiatan	PPK	Staf KPA Perencana	Staf KPA Verifikator	Staf KPA Sekretariat	APIP	ALB	KPA	Ket./Jk. Waktu
Penyampaian revisi ADK RKA-KL									1 hk
Penyampaian revisi ADK RKA-KL									2 jam
Penyampaian pagu anggaran pada aplikasi keuangan selanjutnya hasil pemutakhiran dikoordinasikan.									3 jam
Pemutakhiran SERASI dan Pencetakan POK.									1 hk
Pencetakan dan penyampaian POK									1 hk
Penetapan dan penyerahan POK.									1 hk stlh diterima
Penyampaian POK yang telah ditetapkan									1 jam
Pelaksanaan kegiatan sesuai dengan POK yang telah ditetapkan.									

Lampiran 1. Alur Proses Prosedur Revisi Anggaran

PC02

TINJAUAN EFEKTIVITAS KERJA SAMA BILATERAL BAPETEN PERIODE 2012 - 2017

Astri Indriasih W.

Badan Pengawas Tenaga Nuklir

e-mail: a.indriasih@bapeten.go.id

ABSTRAK

TINJAUAN EFEKTIVITAS KERJA SAMA BILATERAL BAPETEN PERIODE 2012 – 2017. Telah dilakukan suatu kajian untuk mengevaluasi efektivitas kerja sama BAPETEN dengan institusi luar negeri yang dilakukan secara bilateral, sehingga nantinya kerja sama tersebut dapat bermanfaat bagi lembaga. Kajian ini menggunakan metode kualitatif. Data atau informasi diperoleh dari naskah kerja sama yang telah ditandatangani oleh BAPETEN dan institusi luar negeri. Kajian ini mengacu UU Nomor 10 Tahun 1997, Standar IAEA yang relevan (GSR Part 1), Perka BAPETEN, dan Renstra BAPETEN. Dari kajian ini diperoleh kesimpulan bahwa agenda kerja sama yang dilakukan antara BAPETEN, Uni Eropa, dan GRS sudah berjalan cukup efektif, sedangkan dengan beberapa institusi luar negeri lainnya tidak berjalan efektif; kerja sama tersebut tidak mendukung program prioritas yang ada di dalam Renstra.

Kata kunci: kerja sama, bilateral, BAPETEN

ABSTRACT

ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF BAPETEN'S BILATERAL COOPERATION. An assessment has been performed to evaluate the effectiveness of BAPETEN's cooperation with foreign institutions, so that future cooperation can be beneficial to BAPETEN. The assessment uses qualitative method. Data and information are obtained from MoUs signed by BAPETEN and foreign institutions. The assessment refers to Act No. 10 of 1997, relevant IAEA standard (GSR Part 1), BAPETEN's Chairman Regulation and BAPETEN's Strategic Plan (Renstra). The assessment concludes that the cooperation agenda currently in effect between BAPETEN, European Union and GRS are quite effective, whereas that with other foreign institutions are not effective and do not support the priority programs described in the Renstra.

Keywords: cooperation, bilateral, BAPETE

PC03
SISTEM PENGAMANAN NUKLIR PADA MAJOR PUBLIC EVENT DI ASIAN GAMES 2018
JAKARTA PALEMBANG

Diana Ratnasari¹, Alfa Gunawan Zulqarnain¹
Direktorat Keteknikan dan Kesiapsiagaan Nuklir
Badan Pengawas Tenaga Nuklir,
 e-mail: diannaratnasari@gmail.com¹; a.gunawan@bapeten.go.id¹

ABSTRAK

Maraknya tindakan terorisme dan gangguan keamanan pada beberapa dekade terakhir telah membuat berbagai negara di dunia semakin khawatir akan keselamatan warga negara dalam negeri maupun internasional. Tindakan terorisme yang terjadi belakangan terindikasi semakin menuju pada penggunaan radioaktif atau bahan nuklir, hal ini dikarenakan dalam melakukan serangannya, teroris menginginkan korban sebanyak-banyaknya. Target utama teroris adalah acara publik yang melibatkan banyak orang atau disebut juga *Major Public Event (MPE)*. Pada kasus MPE seperti halnya kompetisi olahraga, pertemuan para petinggi politik dunia, dan konser musik. Sistem pengamanan nuklir harus menjadi bagian penting dari rencana keamanan negara. Mengingat Indonesia telah ditunjuk sebagai tuan rumah Asian Games KE-18 tahun 2018, BAPETEN sebagai Badan Pengawas di Indonesia yang mempunyai tugas pengawasan pemanfaatan ketenaganukliran, akan ikut serta dalam pengamanan kegiatan Asian Games 2018 di beberapa kota di Indonesia seperti Jakarta, Palembang, Bandung, Bekasi, Cikarang, dan Cibinong. Makalah ini bertujuan untuk menggambarkan strategi nasional dalam perencanaan, kesiapan, dan pelaksanaan sistem pengamanan nuklir untuk mendukung acara publik besar (MPE) di Indonesia. Metode yang digunakan merujuk pada *Nuclear Security Systems and Measures for Major Public Event* dari International Atomic Energy Agency (IAEA) antara lain Pemetaan Background di area yang digunakan MPE dan lokasi strategis sekitarnya, Screening pada J-3 acara, Monitoring pada hari-H acara, dan Respon saat ditemukan bahan nuklir dan/atau zat radioaktif. Instrumen yang digunakan antara lain *Personal Radiation Detector (PRD)*, *Backpack* dan *Portable Radiation Scanner (PRS)*, *Radionuclide Identification Device (RID)*, dan *Alat Pelindung Diri (APD)* agar terhindar dari kontaminasi paparan radiasi. Sesuai dengan hasil dari *Nuclear Security Summit II* pada tahun 2012, pemerintah Indonesia menegaskan dukungan lebih lanjut atas keamanan nuklir di Indonesia. Sistem pengamanan nuklir yang digunakan BAPETEN bersama dengan satuan pengamanan negara dapat diterapkan pada Asian Games KE-18 2018 sebagai wujud komitmen Indonesia dalam menjaga keamanan global.

Kata kunci: Keamanan, Terorisme, Nuklir, *MPE*, *Asian Games*

ABSTRACT

The prevalence of acts of terrorism and security disturbances has an increasing annual trend in recent decades. It has made many countries in the world are concerned about the safety of citizens in national and international. Nowadays, the terrorist used a sophisticated methods including radioactives or nuclear materials of their terror. Most target of terrorism is a Major Public Event (MPE). In the case of MPE as well as sports competition, high level political meeting, and music concert. Nuclear security system should be an important thing of the national nuclear security plan. Considering that Indonesia as host country of the 18th Asian Games 2018, BAPETEN as the regulatory agency in Indonesia which has duties in supervising the utilization of nuclear power will participate in security supervision on Asian Games 2018 which's conducted in several city in Indonesia like Jakarta, Palembang, Bandung, Bekasi, Cikarang, and Cibinong. The purpose of this paper was to provide a national strategy for planning, preparedness and execution of a nuclear security system in support of a MPE in Indonesia. Methods used was refer to *Nuclear Security Systems and Measures for Major Public Event* from International Atomic Energy Agency (IAEA) are Background Mapping in venues and other strategic locations, Screening on H-3 events, Monitoring on the day events, and Responding when we found nuclear materials at the event. The tools used are Personal Radiation Detector (PRD), Backpack and Portable Radiation Scanner (PRS), Radionuclide Identification Device (RID), and Personal Protective Equipment to avoid contamination radiation exposure. As a results of the Nuclear Security Summit II in 2012, Indonesia's government affirms to give more support for nuclear security in Indonesia. The nuclear security system used by BAPETEN together with national security units can be applied to 18th Asian Games 2018 as Indonesia's commitment in maintaining global security.

Keywords: Security, Terrorism, Nuclear, MPE, Asian Games

PENDAHULUAN

Pemerintah Indonesia menyadari bahwa maraknya tindakan terorisme dan gangguan keamanan pada beberapa dekade terakhir telah membuat berbagai negara semakin khawatir akan keselamatan warga negara dan kestabilan keamanan dalam negeri maupun internasional[1].

Menurut *Central Intelligence Agency (CIA)*, terorisme sama dengan ancaman atau penggunaan kekerasan untuk tujuan politik yang dilakukan oleh individu atau kelompok, atas nama atau menentang pemerintah yang sah, dengan menakut-nakuti masyarakat yang lebih luas daripada korban langsung teroris[2].

Terorisme yang terjadi belakangan ini semakin canggih metodenya, karena para pelaku mampu mengikuti perkembangan teknologi serta kondisi sosial masyarakat terkini, sehingga tindakan terorisme mampu menciptakan rasa takut dalam benak masyarakat. Dilansir dari *www.tribunnews.com* bentuk terorisme nuklir yang telah terjadi di Indonesia pada tahun 2017 berlokasi di Antapani Bandung, Jawa Barat terdapat kelompok teror yang berencana meledakan Mako Brimob dan Istana Negara dengan menggunakan Thorium-232 (Th-232) yang terdapat dalam kaus petromak[3]. Th-232 merupakan unsur fertile karena dapat diubah menjadi Uranium-233 (U-233) bila menangkap neutron, U-233 sendiri merupakan bahan bakar yang digunakan dalam reaktor nuklir [4].

Sebagai bagian dari masyarakat Internasional, Pemerintah Indonesia berkomitmen untuk mendukung upaya penanggulangan tindakan terorisme, khususnya terorisme nuklir. Menurut UU Republik Indonesia No. 10 tahun 2014 yang mengacu pada pengesahan *International Convention for The Supression of Acts of Nuclear Terrorism*, yang dimaksud dengan terorisme nuklir tidak terbatas pada tindakan kekerasan nuklir atau ancaman menggunakannya terhadap pemerintah dan individu, tapi lebih luas dari itu semua yaitu, mencakup penyediaan, kepemilikan, kegiatan jual-beli, penyelundupan dan penggunaan bahan radioaktif serta senjata nuklir dan bahkan pemesanan terhadap barang berbahaya tersebut[5].

Risiko bahwa nuklir dan bahan radioaktif lain digunakan dalam kejahatan kriminal atau tindakan ilegal lainnya dengan implikasi keamanan nuklir yang tinggi, dapat dianggap sebagai ancaman serius bagi perdamaian dan keamanan internasional. Target utama pelaku terorisme mayoritas ialah acara publik yang melibatkan banyak orang yang dikenal dengan istilah *Major Public Event (MPE)*. Pada kasus MPE seperti halnya kompetisi olahraga atau pertemuan para petinggi politik dunia maupun konser musik. Pada kasus MPE, sistem pengamanan nuklir harus menjadi bagian penting dari rencana keamanan suatu negara[6]. Oleh karena itu, sangat penting bahwa setiap negara menerapkan keamanan nuklir yang tepat dan efektif untuk meningkatkan

upaya negara dan wilayah global dalam memerangi terorisme nuklir.

International Atomic Energy Agency (IAEA) mendefinisikan "keamanan nuklir" sebagai pencegahan dan deteksi (dan menanggapi) pencurian, sabotase, akses yang tidak sah, dan transfer ilegal atau tindakan jahat lainnya yang melibatkan bahan nuklir dan zat radioaktif[7]. Indonesia telah berpartisipasi dengan aktif dalam berbagai upaya kerja sama internasional di bidang keamanan nuklir antara lain dalam Konfrensi Tingkat Tinggi (KTT) Keamanan Nuklir II pada tahun 2012, pemerintah Indonesia menegaskan dukungan lebih lanjut atas keamanan nuklir[8]. Bentuk dukungan Indonesia lainnya dalam melakukan pengawasan keamanan nuklir terkait dengan *event-event* besar yang melibatkan banyak negara adalah pengamanan Asian Games KE-18 Tahun 2018 dimana Indonesia yang ditunjuk sebagai tuan rumah dalam acara besar ini. Asian Games merupakan acara bergengsi yang diorganisir oleh *Olympic Council of Asia*, dengan edisi ke-18 yang akan digelar pada tanggal 18 Agustus – 2 September 2018 di Jakarta-Palembang[9]. Kompetisi Olahraga terbesar ini akan berlangsung di beberapa kota besar di Indonesia seperti Jakarta, Palembang, Bandung, Bekasi, Cikarang, dan Cibinong.

Tantangan yang harus dihadapi Indonesia sebagai tuan rumah Asian Games KE-18 ialah memastikan semua berjalan dengan baik, baik akses transportasi, area publik, fasilitas olahraga, infrastruktur, serta yang terpenting ialah stabilitas keamanan negara. MPE merupakan permasalahan penting yang menjadi sorotan dunia internasional terkait keamanan negara Indonesia. Oleh karena itu makalah ini dibuat dengan tujuan sebagai gambaran strategi nasional dalam perencanaan, kesiapan, dan pelaksanaan sistem pengamanan nuklir untuk mendukung acara MPE.

BAPETEN sebagai badan pengawas di Indonesia yang mempunyai tugas dan fungsi dalam pengawasan pemanfaatan ketenaganukliran akan ikut serta dalam pengawasan keamanan pada kegiatan Asian Games KE-18 tahun 2018, sebagai bentuk kontribusi dalam penanganan terorisme nuklir. Nantinya BAPETEN tidak dapat bekerja sendiri, dibutuhkan bantuan dari satuan pengamanan negara dan pihak-pihak terkait untuk mendukung keberhasilan pengamanan Asian Games ke-18 dari terorisme nuklir.

POKOK BAHASAN

Pencegahan terhadap tindak kriminal atau terorisme yang melibatkan nuklir dan bahan radioaktif lainnya di sebuah acara publik besar adalah dengan konsep operasi sistem pengamanan nuklir yang mencakup tahapan sebagai berikut:

- 1) **Pemetaan radioaktivitas lingkungan/background** pada area MPE dan lokasi strategis sekitarnya

- 2) **Screening** area MPE dan lokasi strategi sekitar pada 3 jam sebelum acara dimulai
- 3) **Monitoring** pada hari-H acara hingga selesai
- 4) **Respon** dan tindakan, apabila terdapat deteksi radioaktif dan bahan nuklir yang dapat mengancam keberlangsungan acara.

Instrumen yang digunakan untuk deteksi dan pengukuran diantaranya:

- a) *Personal Radiation Detector (PRD)*, (Lihat Gambar 1a) adalah instrumen kecil dan ringan yang dirancang untuk mendeteksi keberadaan nuklir dan bahan radioaktif lainnya dengan cara mengukur laju paparan dosis yang berada di lingkungan sekitarnya.
- b) *Portable Radiation Scanner (PRS)* dan Backpack Detector Gamma dan Neutron, (Lihat Gambar 1b dan Gambar 1c) Alat ini terdiri dari spektrometer gamma otomatis dan perangkat lunak untuk identifikasi radionuklida, tipe PRS dengan backpack ini digunakan untuk survey area kecil atau area yang tidak terlalu luas.
- c) *Radionuclide Identification Device (RID)*, (Lihat Gambar 1d) adalah instrumen untuk mengidentifikasi jenis radionuklida yang ditemukan dengan cara mengukur energi dari emisi gama
- d) *Alat Pelindung Diri (APD)*, (Lihat Gambar 1e)

Terdiri dari alat pelindung pernapasan, sarung tangan, sepatu boot pelindung, dan/atau kacamata pelindung. APD digunakan untuk meminimalkan risiko kontaminasi paparan radiasi[10].



Gambar 1a dan 1b. Personal Radiation Detector (PRD) dan Portable Radiation Scanner (PRS) bagian dari backpack



Gambar 1c. Backpack Detektor Gamma - Neutron



Gambar 1d. Radionuclide Identification Device (RID)



Gambar 1e. Alat Pelindung Diri

Pemetaan radioaktivitas lingkungan/background digunakan sebagai data baseline untuk pengukuran radioaktivitas lingkungan. Lokasi pelaksanaan pemetaan antara lain: Stadion Wibawa Mukti di Cikarang, Stadion Si Jalak Harupat di Bandung, Stadion Pakansari di Cibinong, Stadion Patriot Candrabhaga di Bekasi, Kompleks Olahraga Jakabaring di Palembang, Stadion Utama Gelora Bung Karno (SUGBK) dan Wisma Atlet di Jakarta. Pengambilan data baseline dengan melakukan penyisiran ke semua titik lokasi penting seperti Area utama, Area Training, Area VIP, pintu masuk, Area Media, Akses jalan, Area parkir, dan Area acara khusus lainnya[11]. Area-area tersebut dipilih karena merupakan area penting yang membutuhkan pengawasan, area yang paling banyak dilalui orang-orang penting dalam penyelenggaraan Asian Games seperti tamu VIP, VVIP, *official*, atlet, keluarga atlet, *committee*, dll. Pemetaan radioaktivitas lingkungan ini menggunakan Backpack detector gamma-neutron PRS dan PRD, satuan yang dihitung ialah laju dosis paparan radiasi yang berada di sekitar lingkungan lokasi pengukuran. Pengukuran dimulai dengan melakukan penyisiran di beberapa titik menggunakan Backpack-PRS dan PRD yang akan membaca laju dosis paparan radiasi background, kemudian jika ditemukan laju dosis sebesar $>3x$ Background, cek nuklida menggunakan RID, selanjutnya akan diberlakukan prosedur oleh *Mobile Expert Supporting Team* (MEST) dari BAPETEN yang akan membuat catatan pada formulir pemetaan dan menyerahkan kepada POLRI terkait Berita Acara Pemetaan.

Screening, dilakukan pada 3 jam sebelum acara dimulai menggunakan data baseline yang diambil saat pemetaan background. Tahapan ini berfungsi untuk mensterilkan area-area berlangsungnya Asian Games 2018 agar “steril” dari radioaktif atau bahan nuklir yang dapat menjadi ancaman bagi keamanan nuklir. Jika alarm pada detektor aktif, yang harus dilakukan adalah mengecek apakah laju dosisnya >100 mikro Sv/jam pada jarak 1 meter. Jika “Ya” maka MEST BAPETEN akan melakukan tindakan keselamatan dengan mengisolasi dan/atau menginvestigasi alarm tersebut, apakah yang terjadi alarm tanda bahaya radioaktif, ataukah hanya “*innocent alarm*”. Innocent alarm berasal dari seseorang misalnya yang sedang menjalani pengobatan menggunakan radiofarmaka yang terdeteksi sebagai sumber radioaktif. Jika yang terjadi adalah “*innocent alarm*”, MEST BAPETEN akan melepaskan orang/barang sumber radioaktif dengan mendokumentasikan dan dikirim ke unsur pengamanan seperti POLRI dan Paspampres. Namun jika yang terjadi adalah “*non-innocent alarm*” atau alarm tanda bahaya, maka tindakan selanjutnya adalah melaksanakan prosedur Respon.

Monitoring dilakukan pada hari-H acara Asian Games 2018 dengan menggunakan data baseline pemetaan. MEST BAPETEN dibagi menjadi dua tim untuk melakukan deteksi di pintu masuk dan deteksi patroli di titik-titik yang telah diukur saat pemetaan. Alat yang digunakan seperti PRD digunakan untuk mendeteksi bahan radioaktif dan alarm, digunakan di pintu masuk stadion, dan untuk patroli keliling. Radionuclide Identification Device (RID) digunakan untuk mendeteksi, mencari, dan mengidentifikasi bahan radioaktif, dan untuk mengidentifikasi jenis zat radioaktif. Kemudian Backpack-PRS digunakan untuk mendeteksi, mengidentifikasi jenis zat radioaktif pada saat patroli keliling. Prosedur yang digunakan ialah melakukan deteksi menggunakan PRD. Jika ditemukan pada seseorang dimana PRD mendeteksi laju dosis meningkat, maka tim akan melakukan verifikasi perihal laju dosis radiasi tersebut, lalu melakukan deteksi ulang. Lalu screening dosis personal orang yang diduga sebagai sumber radiasi, kemudian memisahkan orang tersebut atau barang yang dibawa (Jika barang tersebut yang diduga sebagai sumber radiasi), kemudian melakukan lokalisasi orang/barang tersebut, lalu identifikasi menggunakan RID jenis zat radioaktif tersebut, lalu menyatakan apakah alarm tersebut innocent alarm ataukah non-innocent alarm.

Respon ialah tindakan yang dilakukan setelah dinyatakan alarm tanda bahaya radioaktif pada saat hari-H acara. Prosedur respon dibagi menjadi dua jenis yakni pada tahap persiapan dan tahap pelaksanaan. Tahap persiapan meliputi hal berikut:

1. Mengawasi sumber radioaktif tersebut agar tidak pindah tempat
2. Melakukan pengukuran laju paparan secara intensif
3. Mengaktivasi dan mengarahkan personil tanggap darurat lokal/setempat untuk memulai kegiatan respon awal
4. Menyediakan penghubung (Liaison Officer) dengan dinas kebakaran serta unit-unit respon darurat lainnya (misalnya tim bahan/zat berbahaya)
5. Meminta segera kehadiran dinas kebakaran, tim jihandak dan nubika, dan unit medis darurat

Tahap pelaksanaan merupakan hal yang paling penting mencakup tindakan penyelamatan, meliputi hal berikut:

1. Memulai menyebarkan informasi dan evakuasi orang-orang yang mungkin akan terkena dampak bahaya dari insiden radiologi
2. Menutup area sekitar dan tetapkan titik-titik masuk
3. Membuat perimeter pengendali/perimeter keselamatan
4. Mengendalikan dan minimalisasikan dampak langsung terhadap masyarakat, personel, peralatan dan lingkungan hidup dari kemungkinan bahaya yang timbul dari bahan radiologi
5. Mengaktifkan prosedur fasilitas pertolongan medis, triage dan dekontaminasi serta rumah sakit rujukan korban insiden radiologi (jika diperlukan)
6. Mengisolasi dan kendalikan kegiatan di lokasi kejadian dan kendali terhadap pergerakan orang dan lalu lintas transportasi
7. Mengarahkan korban yang terkena kontaminasi ke lokasi tempat pembilasan darurat
8. Melaksanakan pertolongan darurat untuk insiden radiologi
9. Melaksanakan prosedur penanganan sumber radioaktif
10. Melaksanakan dekontaminasi terhadap korban, personil Satgas, material dan area
11. Menetralsir peralatan radiologi dari adanya kontaminasi pada alat
12. Membuat laporan dan dokumentasi

Metode yang digunakan merujuk pada *Nuclear Security Systems and Measures for Major Public Events* yang dikeluarkan oleh IAEA sebagai Organisasi independen dibawah naungan PBB yang bertanggung jawab dalam hal pengawasan penggunaan zat radioaktif dan/atau bahan nuklir. Sistem pengamanan nuklir ini dilakukan dengan sangat sistematis dari mulai pemetaan radiasi background untuk mengetahui laju dosis paparan radiasi yang ada di alam seperti Radium misalnya yang terdapat di bahan bangunan seperti pasir, semen, atau batu pondasi. Kemudian tahapan

sterilisasi untuk memastikan bahwa titik-titik yang digunakan dalam acara Asian Games 2018 telah steril bebas dari radioaktif dan bahan nuklir yang dapat membahayakan dan mengancam keberlangsungan acara. Pada saat acara pun dilakukan Monitoring untuk memastikan acara berjalan dengan baik tanpa adanya gangguan teroris yang menggunakan bahan nuklir untuk mengganggu keamanan dan kenyamanan euforia pertandingan, jika terjadi kondisi terdeteksi atau ditemukan radioaktif berbahaya maka selanjutnya menerapkan tindakan Respon terhadap alarm detektor tanda bahaya dan melakukan tindakan penyelamatan dengan bantuan dari pihak keamanan yang ditugaskan lainnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sesuai dengan hasil dari Nuclear Security Summit II tahun 2012, pemerintah Indonesia menyatakan bahwa keamanan terhadap bahan nuklir dan radioaktif serta fasilitas nuklir sangat penting dilakukan guna mencegah bahan-bahan tersebut jatuh ke tangan teroris atau pihak-pihak yang tidak bertanggung jawab. Berkaca pada tahun 2017 mengenai teror bom Antapani Bandung yang menggunakan Thorium 232 dari kaus petromak, menunjukkan bahwa ancaman terorisme nuklir berpotensi terjadi terutama di Acara MPE sekelas Asian Games. Mengingat letak strategis Indonesia secara geografis, ekonomi, sosial dan budaya sangat berpotensi menjadi target utama teroris.

Sistem pengamanan nuklir yang diperlukan sesuai dengan rujukan dari IAEA ialah dengan melakukan Pemetaan background guna mendapat data baseline, Screening pada J-3 acara, Monitoring pada hari-H acara, serta Respon saat ditemukan zat radioaktif. Tahapan tersebut secara sistematis dikeluarkan IAEA sebagai panduan sistem pengamanan nuklir khusus untuk MPE menggunakan alat-alat pendeteksi radiasi yang handal. BAPETEN sebagai Badan Pengawas di Indonesia berperan aktif untuk meminimalkan risiko penyalahgunaan terhadap penggunaan radioaktif dan/atau bahan nuklir di Indonesia. Namun, sistem pengamanan nuklir yang digunakan BAPETEN juga harus bersama-sama dilakukan oleh semua satuan pengamanan di Indonesia. Satuan pengamanan tersebut diantaranya POLRI (khususnya Datasemen KBR), POLDA, TNI, BIN, BNPT, Paspampres dan Setmilpres (untuk tamu VVIP). Tujuan koordinasi ini juga sebagai upaya dan kemampuan dalam bidang keamanan nuklir dan kesiapsiagaan nuklir agar dapat dilaksanakan secara sinergis.

Koordinasi antar satuan pengamanan negara sangat diperlukan mengingat Asian Games KE-18 dilakukan di beberapa kota besar, diadakan di banyak tempat, bahkan berbeda pulau (Jakarta – Palembang), serta pemahaman akan urgensi pengamanan nuklir harus dipahami oleh semua

pihak. Koordinasi yang direncanakan BAPETEN kepada pihak-pihak tersebut adalah sebagai berikut:

1. Akses ke venue Asian Games untuk keperluan pemetaan Background, *screening* dan monitoring.
2. Akses monitoring ke area VIP dan VVIP
3. Koordinasi dengan POLRI untuk keperluan sterilisasi dan monitoring serta penegakan hukum saat monitoring:
 - POLRI Kewilayahan
 - Detasemen KBR Mabes, POLDA Jawa Barat dan SumSel.
 - AUR (Alat Ukur Radiasi) sebagai dukungan peralatan pada saat kegiatan dari IAEA ke BAPETEN dan Pelaksana Pengamanan di lapangan (POLRI, TNI, dll)
4. ID Pass untuk personel BAPETEN sepanjang perjalanan Asian Games untuk semua venue
5. Komunikasi, koordinasi (rapat dan sosialisasi) dan kerjasama dengan semua pemangku kepentingan.
6. Training penggunaan alat radioaktif ke pihak yang bertugas mengamankan area.
7. Audiensi dengan petinggi POLRI (Kapolda, As Ops).

KESIMPULAN

Gambaran strategi nasional dalam perencanaan, kesiapan, dan pelaksanaan sistem pengamanan nuklir untuk mendukung acara publik besar (MPE) di Indonesia dapat diterapkan pada Asian Games KE-18 tahun 2018 yang akan berlangsung pada 18 Agustus – 2 September 2018 di Jakarta, Palembang, Bandung, Bekasi, Cikarang, dan Cibinong. Sistem pengamanan nuklir yang diterapkan berupa Pemetaan radiasi background, Sterilisasi pada J-3 acara, Monitoring pada hari-H acara, dan Respon saat ditemukan bahan nuklir berbahaya. Tahapan ini merujuk pada *Nuclear Security Systems and Measures for Major Public Event* dari International Atomic Energy Agency (IAEA).

Kegiatan pengamanan nuklir dalam rangka Asian Games KE-18 tahun 2018 adalah pembuktian kepada dunia luar bahwa Indonesia merupakan negara yang aman dari teror nuklir dan radioaktif. Serta penerapan sistem pengamanan nuklir pada Asian Games KE-18 tahun 2018 ini menunjukkan bahwa Indonesia berkomitmen untuk menjaga keamanan global.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih penulis sampaikan kepada Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) Sub Direktorat Keteknikan Direktorat Keteknikan dan Kesiapsiagaan Nuklir

Terimakasih untuk *International Atomic Energy Agency* (IAEA) atas bantuan instrumen pendeteksi radiasi

Terimakasih penulis sampaikan kepada pihak kepanitiaan yakni INASGOC atas koordinasi yang apik dan baik

Terimakasih juga untuk elemen keamanan Republik Indonesia Mabes TNI, AsopsKapolri, Detasemen Deteksi, Paspampres, Setmilpres, Detasemen A Satuan KBR Pasukan Gegana POLRI, BNPT, BIN, dan Bais TNI [12].

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Penjelasan atas Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 10 (2014) Pengesahan International Convention for the Suppression of Acts of Nuclear Terrorism, Jakarta
- [2] https://www.twf.org/terrorism_definition by Central Intelligence Agency diakses pada tgl 3 Mei 2018 pkl 11.45 WIB
- [3] <https://www.tribunnews.com/teroris-Bandung-hampir-ciptakan-bom-nuklir>. Diakses pada 15 April 2018 pkl 20:22 WIB
- [4] American Scientist The Magazine of Sigma XI, The Scientific Research Society (2003) Thorium fuel for Nuclear Power Precludes Bomb-Making, USA Vol: 91 No. 5
- [5] Undang-Undang Republik Indonesia No. 10 (2014) Konvensi Internasional Penanggulangan Tindakan Terorisme Nuklir, Jakarta
- [6] IAEA Nuclear Security Series No. 18 (2012) Nuclear Security Systems and Measures for Major Public Events, Vienna
- [7] Boureston J, Ogilvie T (2010) Seeking Nuclear Security Through Greater International Coordination, USA
- [8] <https://www.voaindonesia.com/a/indonesia-bertekad-jaga-keamanan-nuklir> diakses pada 3 Mei 2018 pkl 11.55 WIB
- [9] <https://asiangames2018.id/about/profile> diakses pada tgl 25 April 2018 pkl 12.00 WIB
- [10] Rancangan Peraturan Kepala BAPETEN (2008) Keselamatan Radiasi dalam Penyimpanan *Technologically Enhanced Naturally Occuring Radioactive Material*, Jakarta
- [11] Nuclear Incident Policy and Cooperation, (2017) International Workshop on Nuclear Security Measures and Emergency Response Arrangements for Major Public Events, USA
- [12] Sosialisasi Pengamanan Keamanan Nuklir Major Public Event (MPE) Asian Games (2018) Sub Direktorat Keteknikaan Direktorat Keteknikaan dan Kesiapsiagaan Nuklir BAPETEN, Bandung

PC04

STRATEGI PENGEMBANGAN ARSITEKTUR DETEKSI KEAMANAN NUKLIR

Hermawan Puji Yuwana

Direktorat Pengaturan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif - BAPETEN

e-mail: h.puji@bapeten.go.id

ABSTRAK

STRATEGI PENGEMBANGAN ARSITEKTUR DETEKSI KEAMANAN NUKLIR. Kondisi geografis Indonesia yang luas dan berbentuk kepulauan menjadi tantangan dalam melakukan pengawasan salah satunya adalah aspek keamanan nuklir. Pengawasan aspek keamanan nuklir memerlukan integrasi sistem keamanan nuklir dan tindakan keamanan nuklir yang tepat yang tergambarkan dalam arsitektur deteksi keamanan nuklir. Dalam rangka untuk memastikan pengawasan rezim keamanan nuklir, menuntut pengawasan yang ketat di lapangan, seperti pengawasan di daerah lintas batas, bandara, atau pelabuhan. Saat ini Indonesia telah memasang RPM di beberapa pelabuhan yang berfungsi untuk mendeteksi dan memantau radiasi yang terpancar dalam barang muatan yang diangkut dari atau menuju ke pelabuhan. Tujuan dari strategi pengembangan arsitektur deteksi keamanan nuklir bertujuan untuk mengidentifikasi hal-hal yang perlu dipertimbangkan dalam strategi pengembangan arsitektur deteksi keamanan nuklir yang ada di Indonesia. Kajian dalam tinjauan ini menggunakan metodologi kajian literatur melalui peraturan perundang-undangan terkait dengan keamanan nuklir, panduan dari negara lain, dan/atau publikasi IAEA. Arsitektur deteksi keamanan nuklir adalah kerangka yang mengintegrasikan berbagai elemen teknis dan non-teknis yang diperlukan untuk mendeteksi peredaran gelap bahan nuklir dan sumber radioaktif lainnya. Kerangka tersebut meliputi integrasi peralatan, operasi, infrastruktur, dan administrasi yang mendukung kemampuan deteksi. Strategi pengembangan arsitektur deteksi keamanan nuklir dapat dilakukan dengan mempertimbangkan strategi deteksi nasional dan penilaian ancaman. Strategi deteksi nasional berisi lingkup dan prioritas yang harus ditetapkan, pentingnya sistem deteksi, tugas dan fungsi otoritas berwenang, kerjasama dan koordinasi antar otoritas berwenang lainnya, serta alokasi sumber daya. Strategi selanjutnya adalah penilaian ancaman yang dilakukan untuk mengetahui beberapa hal diantaranya adalah jumlah bahan nuklir dan sumber radioaktif, karakteristik musuh (atribut, kemampuan, dan taktik yang dapat digunakan), sasaran dan lokasi strategis, dan lokasi yang menjadi daerah keluar masuk bahan nuklir dan sumber radioaktif. Penilaian ancaman ini akan mempengaruhi faktor teknis dalam deteksi seperti investasi teknologi dan persyaratan operasi, penelitian dan pengembangan terhadap sistem deteksi, dan penggunaan sistem deteksi aktif dan pasif.

Kata kunci: strategi, deteksi, keamanan nuklir.

ABSTRACT

THE DEVELOPMENT STRATEGY OF NUCLEAR SECURITY DETECTION ARCHITECTURE. *The wide area of Indonesia's geographical condition is made up of islands and water (archipelagic country) becomes a challenge in conducting supervision, particularly from the aspect of nuclear security. This requires the integration of a nuclear security system and an appropriate nuclear security measures in which could be described in the nuclear security detection architecture. In order to ensure oversight of the nuclear security regime, require supervision in the field, such as surveillance in cross-border areas, airports, or ports. Indonesia has established RPMs in several main seaports used for the screening of individuals, vehicles, cargo or other entities for detection of illicit sources from or heading to the port. So we need a review to identify the things that need to be considered in the development strategy of nuclear security detection architecture in Indonesia. This review in development strategy of nuclear safety detection architecture uses literature review methodology through legislation related to nuclear security, guidance from other countries, and/or IAEA publications. Nuclear security detection architecture is a framework that integrates the various technical and non-technical elements necessary to detect the illegal activities of nuclear material and other radioactive sources. The framework includes integration of equipment, concept of operations, infrastructure, and administration that support detection capabilities. The development strategy of nuclear security detection architecture can be done by considering national detection strategy and threat assessment. The national detection strategy contains the scope and priorities to be defined, the importance of detection systems, roles and functions of competent authorities, cooperation and coordination among other competent authorities, as well as the allocation of resources. The next strategy is threat assessment to determine some of them are the amount of nuclear material and radioactive sources, enemy characterization (attributes, abilities, and tactics that can be used), strategic targets and locations, and locations that are in and out of nuclear material and radioactive sources. Threat assessment will affect technical factors in detection such as technology investments and operating requirements, research and development of detection systems, and the use of active and passive detection systems.*

Keywords: strategy, detection, nuclear security.

PENDAHULUAN

Negara Kepulauan adalah negara yang seluruhnya terdiri atas satu atau lebih kepulauan dan dapat mencakup pulau-pulau lain [1]. Indonesia merupakan negara kepulauan yang terdiri dari 16.056 pulau yang didaftarkan telah bernama dan berkoordinat. Besarnya wilayah kepulauan Indonesia berbanding lurus dengan besarnya tantangan dalam melakukan berbagai macam pengawasan, baik dari aspek keselamatan maupun aspek keamanan.

Pengaturan pengawasan ketenaganukliran tertuang dalam UU No. 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran. Salah satu amanat yang tertuang dalam UU No. 10 Tahun 1997 tersebut adalah pembentukan badan pengawas yaitu Badan Pengawas Tenaga Nuklir selanjutnya disingkat BAPETEN untuk melaksanakan pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir. Pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir dipastikan dengan memperhatikan aspek keselamatan, keamanan, dan seifgard. Pengawasan yang dilakukan oleh BAPETEN dilakukan melalui tiga pilar pengawasan, yaitu peraturan, perizinan, dan inspeksi [2].

Pengawasan aspek keamanan nuklir harus ditingkatkan dengan munculnya berbagai macam aksi terorisme yang terjadi saat ini. Potensi yang bisa muncul adalah pencurian bahan nuklir untuk membuat IND (*Improvised Nuclear Device*), pencurian zat radioaktif untuk membuat RDD (*Radiological Dispersal Devices*) dan RED (*Radiological Exposure Devices*), atau potensi sabotase fasilitas/ instalasi atau pengangkutan zat radioaktif atau bahan nuklir. Pengawasan tidak hanya menjadi perhatian BAPETEN tetapi juga menjadi perhatian dan perlu melibatkan berbagai institusi terkait, kementerian, dan lembaga pemerintah non kementerian.

Dalam rangka untuk memastikan pengawasan rezim keamanan nuklir, menuntut pengawasan yang ketat di lapangan, seperti pengawasan di daerah lintas batas, bandara, atau pelabuhan. Saat ini, Indonesia telah memasang RPM di beberapa pelabuhan. Pengawasan ini perlu mengintegrasikan sistem keamanan nuklir dan tindakan keamanan nuklir yang tergambarkan dalam arsitektur deteksi keamanan nuklir. Tinjauan makalah ini bertujuan untuk mengidentifikasi hal-hal yang perlu dipertimbangkan dalam strategi pengembangan arsitektur deteksi keamanan nuklir yang ada di Indonesia. Kajian dalam tinjauan strategi pengembangan arsitektur deteksi keamanan nuklir ini menggunakan metodologi kajian literatur melalui peraturan perundang-undangan terkait dengan keamanan nuklir, panduan dari negara lain, dan/ atau publikasi IAEA.

POKOK BAHASAN

Salah satu tujuan dari pengawasan ketenaganukliran sebagaimana yang tertuang dalam UU No. 10 Tahun 1997 adalah menjamin

keselamatan pekerja, masyarakat, dan lingkungan dalam hal kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir. Setiap kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir, baik di bidang fasilitas radiasi dan zat radioaktif maupun di bidang instalasi dan bahan nuklir, harus diatur dan diawasi oleh pemerintah. Ketentuan pengaturan keamanan nuklir di bidang fasilitas radiasi dan zat radioaktif tertuang dalam PP No. 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif. Sedangkan di bidang instalasi dan bahan nuklir tertuang dalam PP No. 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir. Keamanan nuklir adalah tindakan yang dilakukan untuk mencegah akses tidak sah atau perusakan, kehilangan, pencurian, dan/atau pemindahan tidak sah sumber radioaktif [3]. Keamanan instalasi nuklir ditujukan untuk [4]:

- a. mencegah penyimpangan terhadap pemanfaatan bahan nuklir dari tujuan damai; dan
- b. mencegah, mendeteksi, menilai, menunda, dan merespons tindakan pemindahan bahan nuklir secara tidak sah dan sabotase instalasi dan bahan nuklir.

Keamanan nuklir merupakan tindakan pencegahan dan pendeteksian, dan respons terhadap, pencurian, sabotase, akses tanpa izin, transfer ilegal atau tindakan berbahaya lainnya terhadap bahan nuklir, zat radioaktif lainnya, terkait fasilitas atau kegiatan [5]. IAEA juga telah menerbitkan beberapa publikasi tentang keamanan nuklir yang memberikan rekomendasi dan pedoman yang tercantum dalam *nuclear security series*.

Arsitektur deteksi keamanan nuklir adalah kerangka yang mengintegrasikan berbagai elemen teknis dan non-teknis yang diperlukan untuk mendeteksi peredaran gelap bahan nuklir dan sumber radioaktif lainnya. Kerangka tersebut meliputi integrasi peralatan, operasi, infrastruktur, dan administrasi yang mendukung kemampuan deteksi [6].

Implementasi arsitektur deteksi keamanan nuklir berkontribusi terhadap perlindungan orang, properti, masyarakat, dan lingkungan dari konsekuensi berbahaya dari suatu peristiwa nuklir dengan meningkatkan kapasitas Negara untuk memantau dan mengendalikan pergerakan bahan nuklir dan sumber radioaktif lainnya. Secara umum arsitektur deteksi keamanan nuklir terdiri dari [7]:

- a. Otoritas berwenang yang bertanggung jawab dalam sistem dan tindakan keamanan nuklir dalam fungsi deteksi, serta mekanisme pengaturan koordinasi dan komunikasi;
- b. Ketentuan untuk kerjasama internasional dan asistensi yang berkaitan dengan fungsi deteksi;
- c. Sistem keamanan nuklir dan tindakan keamanan nuklir dalam fungsi deteksi yang memberikan cakupan yang cukup bagi

Negara, fasilitas, dan lokasi strategis lainnya, termasuk:

1. peralatan deteksi yang lengkap (terpasang tetap dan/atau *mobile*) dengan prosedur operasi yang tepat.
2. sistem untuk pengumpulan dan penyebaran informasi yang tepat, data pemantauan kesehatan (terkait paparan radiasi), dan laporan ketidaksesuaian dari badan pengawas dan otoritas berwenang yang mengeluarkan persetujuan misalnya persetujuan pengangkutan, atau impor atau ekspor.

HASIL PEMBAHASAN

Hirarki peraturan ketenaganukliran di Indonesia yang menjadi dasar pengawasan ketenaganukliran berinduk pada UU No. 10 Tahun 1997. Peraturan pelaksana dari UU No. 10 Tahun 1997 terkait dengan keamanan nuklir tertuang dalam 2 PP yang berbeda yaitu PP No. 33 Tahun 2007 dan PP No. 54 Tahun 2012. Hanya saja jika dilihat kembali secara lebih mendalam peraturan-peraturan yang sudah ada memang tidak menjelaskan secara spesifik mengenai keamanan nuklir nasional dan bagaimana cara untuk mendeteksi berbagai macam ancaman yang muncul.

Untuk mendeteksi berbagai macam ancaman tersebut diperlukan sistem dan tindakan keamanan nuklir yang terintegrasi dalam suatu arsitektur deteksi keamanan nuklir. Arsitektur deteksi keamanan nuklir memiliki karakteristik yaitu:

- a. berisi informasi resiko dan bersifat efisien;

Sistem deteksi harus efektif dalam membatasi resiko ancaman nuklir dan radiologi, penggunaan sumber daya yang efisien, kompatibel dengan sistem pengukuran dan infrastruktur yang ada untuk mencegah pergerakan kargo berbahaya yang tidak sah.
- b. menggunakan prinsip *defence in depth*;
- c. menggunakan prinsip pendekatan bertingkat dan kesetimbangan;

Musuh dapat mengambil berbagai skenario dan rute. Pendekatan bertingkat digunakan untuk mengidentifikasi berbagai risiko, rute/jalur, skenario yang digunakan oleh musuh.
- d. didesain untuk beradaptasi dan berkembang seiring waktu;

Musuh, ancaman, dan teknologi dapat berkembang sewaktu-waktu. Teknologi yang digunakan juga berkembang seperti memungkinkan memiliki kemampuan baru atau modifikasi yang dapat mengurangi risiko, menghemat biaya operasi, meningkatkan ketepatan waktu, atau meningkatkan ketersediaan dan kualitas informasi. Kondisi sistem deteksi beroperasi dapat dipengaruhi oleh sistem ekonomi. Oleh

karena itu, sistem pendeteksian dan langkah-langkahnya harus dapat disesuaikan.

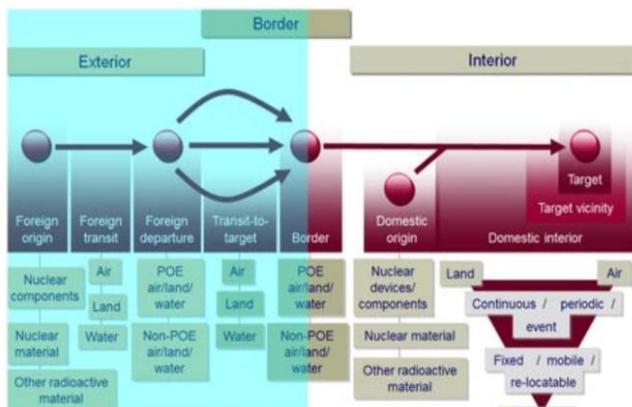
- e. menyajikan sesuatu hal yang tidak terduga (tidak terprediksi) oleh musuh;

Hal yang tidak terduga (tidak terprediksi) akan mengurangi kemampuan musuh untuk merencanakan, menganalisis, dan berlatih.
- f. tidak hanya mengandalkan peralatan deteksi radiasi;
- g. menekankan pada fleksibilitas operasional pelaksanaan deteksi; dan
- h. integrasi di tingkat nasional, regional, dan internasional.

Dengan memperhatikan karakteristik sebagaimana yang telah dijelaskan di atas, beberapa langkah yang dapat diambil dalam pengembangan arsitektur deteksi keamanan nuklir yaitu:

- a. tugas, fungsi, kewenangan, dan tanggung jawab koordinasi untuk mengimplementasikan arsitektur deteksi keamanan nuklir diantara semua institusi pemerintah yang terkait;
- b. pertimbangan terhadap beberapa asumsi seperti;
 1. jumlah bahan nuklir, sumber radioaktif, perangkat atau peralatan yang ada;
 2. tindakan kriminal dan tidak sah lainnya;
 3. rute pengangkutan;
 4. kemampuan dan tujuan dari individu dan kelompok;
 5. taktik dan kemampuan yang dapat digunakan dalam memperoleh, mengangkut dan menggunakan bahan nuklir dan sumber radioaktif untuk tindakan kriminal atau tidak sah;
 6. sasaran dan lokasi strategis yang mungkin diserang;
 7. kondisi di mana serangan mungkin terjadi.
- c. kriteria awal yang menjadi dasar sistem dan pengukuran deteksi;
- d. perbandingan asumsi ancaman dan kemampuan dasar, celah dan kerentanan dalam keamanan nuklir;
- e. pertimbangan berbagai macam opsi, termasuk sistem dan langkah-langkah pendeteksian, teknologi yang berpotensi mengurangi atau menghilangkan kerentanan;
- f. evaluasi manfaat pengurangan potensi resiko, biaya dan dampak lainnya;
- g. memprioritaskan pilihan yang tersedia sesuai dengan pengurangan resiko, biaya, dan dampak lainnya;
- h. identifikasi opsi pengurangan resiko jangka pendek untuk dimasukkan dalam sistem dan pengukuran deteksi jangka pendek;
- i. identifikasi opsi jangka panjang, seperti penelitian dan pengembangan teknologi, metode dan prosedur; dan

- j. evaluasi keefektifan dari implementasi sistem dan pengukuran serta identifikasi opsi dan rekomendasi tambahan (jika dibutuhkan).



Gambar 1. Struktur dan Komponen Sistem Deteksi [7]

Gambar 1 dimaksudkan untuk memberikan pandangan komprehensif tentang struktur dan komponen sistem deteksi untuk arsitektur deteksi keamanan nuklir secara global yang dapat dijadikan sebagai visi jangka panjang. Konsep 3 lapisan sebagaimana yang ada di gambar 1 menjelaskan lapisan-lapisan yang perlu dipertimbangkan dalam mendesain dan mengembangkan arsitektur deteksi keamanan nuklir yang meliputi eksterior (luar negeri), perbatasan, dan interior (dalam negeri). Meskipun dalam pendekatan 3 lapisan tersebut menuliskan lapisan eksterior dimana lapisan eksterior merupakan arsitektur deteksi keamanan nuklir di negara lain, hanya saja ketika merancang arsitektur deteksi keamanan nuklir nasional (interior), lapisan eksterior tetap harus dipertimbangkan.

Dalam merumuskan strategi pengembangan arsitektur deteksi keamanan nuklir perlu diperhatikan beberapa hal yaitu:

a. Strategi Deteksi Nasional

Penyusunan arsitektur deteksi keamanan nuklir harus didasarkan dari kebijakan strategi deteksi nasional yang ada. Pada kebijakan strategi deteksi nasional harus berisikan lingkup dan prioritas yang harus ditetapkan untuk desain dan pengembangan arsitektur deteksi keamanan nuklir. Tujuan pentingnya sistem deteksi, tugas dan fungsi, kerjasama dan koordinasi antar otoritas berwenang lainnya, serta alokasi sumber daya harus tergambar dalam strategi deteksi nasional.

Strategi deteksi nasional dapat tergambar dari peraturan perundang-undangan yang ada. Indonesia memiliki jumlah peraturan perundang-undangan yang sangat banyak dan melingkupi berbagai bidang. Peraturan perundang-undangan tersebut diantaranya bidang ketenaganukliran, keamanan, pertahanan, intelijen, energi, sumber

daya mineral, lingkungan, kesiapsiagaan dan penanggulangan bencana, dll. Peraturan perundang-undangan tersebut menjadi dasar dalam memberikan kewenangan terhadap suatu lembaga pemerintahan.

Sebagaimana telah dijelaskan bahwa terkait dengan pengawasan ketenaganukliran mengikuti ketentuan dalam UU No. 10 Tahun 1997. Hanya saja di dalam ketentuan UU No. 10 Tahun 1997 memang tidak dijelaskan bagaimana kebijakan dan strategi deteksi nasional terkait dengan keamanan nuklir. BAPETEN tidak bisa berdiri sendiri dalam melakukan hal tersebut karena dimungkinkan berurusan / saling bersinggungan dengan kewenangan dari lembaga pemerintah lainnya. Oleh karena itu perlunya mekanisme kerjasama dan koordinasi antar otoritas berwenang lainnya dalam membangun strategi deteksi nasional dalam rangka mengembangkan arsitektur deteksi keamanan nuklir.

Selain itu, strategi deteksi nasional yang diimplementasikan dalam arsitektur deteksi keamanan nuklir dapat tergambar dalam kerangka INSSP (*Integrated Nuclear Security Support Plan*) yaitu fungsi deteksi. INSSP merupakan suatu kerangka yang digunakan sebagai alat bantu oleh suatu negara dalam mengidentifikasi dan mengkonsolidasi tindakan keamanan nuklir yang akan dilaksanakan ke dalam suatu dokumen yang terintegrasi. INSSP memberikan informasi kegiatan yang sudah dilakukan dan direncanakan akan dilakukan oleh suatu negara dalam memperkuat rezim keamanan nuklir. Oleh karena itu, hubungan antara strategi deteksi nasional, arsitektur deteksi keamanan nuklir, dan kerangka INSSP saling terkait.

b. Penilaian Ancaman

Dalam penentuan arsitektur deteksi keamanan nuklir perlu dilakukan karakterisasi terhadap penilaian ancaman yang ditimbulkan dalam penggunaan bahan nuklir atau sumber radioaktif. Penilaian ancaman harus dilakukan dengan melibatkan semua pemangku kepentingan yang terlibat atau berurusan/ saling berhubungan dengan keamanan nuklir. Penilaian ancaman ini merupakan suatu dokumen yang dinamis, sehingga harus ditinjau secara berkala sesuai dengan perubahan kondisi dan informasi.

Kondisi geografis Indonesia yang berbentuk negara kepulauan menjadi tantangan tambahan dalam melakukan penilaian ancaman. Beberapa hal menjadi pertimbangan dalam melakukan penilaian ancaman diantaranya:

1. jumlah bahan nuklir dan sumber radioaktif, yang ada;
2. karakterisasi musuh (internal atau eksternal);
3. tindakan kriminal dan tidak sah lainnya;
 - kelompok kriminal atau teroris mencoba membangun atau membuat IND;

- kelompok kriminal atau teroris yang memperoleh dan / atau menggunakan nuklir atau sumber radioaktif lainnya, melalui pencurian atau cara lain yang digunakan membuat RED atau RDD atau menyabotase fasilitas/ instalasi atau pengangkutan zat radioaktif atau bahan nuklir; atau
 - berbagai kegiatan kriminal atau tidak sah lainnya, seperti transportasi yang tidak sah melalui wilayah Negara, kepemilikan tidak sah atau penggunaan nuklir atau bahan radioaktif dan perangkat lain di dalam Negara, serta persekongkolan dan tipuan atau penipuan di mana materi tersebut sebenarnya bukan nuklir. atau bahan radioaktif lainnya.
4. atribut, kemampuan, dan taktik yang dapat digunakan oleh musuh dalam memperoleh, mengangkut dan menggunakan bahan nuklir dan sumber radioaktif untuk tindakan kriminal atau tidak sah;
 5. sasaran dan lokasi strategis yang mungkin diserang; dan
 6. lokasi yang menjadi daerah keluar masuk (lintas batas, bandara, atau pelabuhan) bahan nuklir atau sumber radioaktif.

Hasil penilaian ancaman menjadi dasar dalam menentukan arsitektur deteksi keamanan nuklir yang didesain dan dikembangkan. Sehingga akan mempengaruhi dalam penentuan faktor teknis deteksi. Faktor teknis dalam deteksi dipengaruhi oleh:

1. investasi teknologi dan persyaratan operasi; Teknologi merupakan alat utama yang memungkinkan operator mendeteksi dan mengidentifikasi radiasi. Investasi teknologi yang digunakan harus didasarkan dari penilaian ancaman sebagai dasar untuk mendesain dan mengembangkan arsitektur deteksi keamanan nuklir. Sebagai contoh penempatan RPM sebagai salah satu peralatan deteksi, harus ditempatkan pada lokasi yang tepat dan sesuai dengan analisis kebutuhan yang sesuai. Dengan kondisi geografis wilayah Indonesia yang luas, memang kebutuhan peralatan deteksi sangat banyak. Hanya saja tetap harus dipertimbangkan nilai investasi yang harus dipersiapkan. Pemasangan dan penempatan peralatan deteksi yang tepat untuk meminimalkan investasi yang harus dikeluarkan dan dipersiapkan. Selain itu, investasi teknologi harus seimbang dengan investasi lainnya seperti penyiapan kemampuan sumber daya manusia, kemampuan intelijen, dan infrastruktur informasi.
2. penelitian dan pengembangan terhadap sistem deteksi;

Setelah investasi teknologi ditetapkan, mungkin perlu adanya penelitian dan pengembangan terhadap aspek teknis sistem deteksi seperti probabilitas, kemampuan identifikasi, jangkauan, dan mobilitas

dari sistem deteksi. Pengembangan dilakukan peningkatan kemampuan peralatan deteksi dengan mengintegrasikan antara perangkat lunak dan perangkat keras. Hanya saja harus mencerminkan pada pendekatan berbasis resiko terhadap kebutuhan dan persyaratan operasi.

3. penggunaan sistem deteksi aktif dan pasif; penggunaan sistem deteksi baik secara aktif maupun pasif harus ditentukan sesuai dengan tujuannya disesuaikan dengan tujuan pengukuran dan kemampuan sistem deteksi.

KESIMPULAN

Kondisi geografis Indonesia yang luas dan berbentuk kepulauan menjadi tantangan dalam melakukan pengawasan salah satunya adalah aspek keamanan nuklir. Pengawasan aspek keamanan nuklir memerlukan integrasi sistem keamanan nuklir dan tindakan keamanan nuklir yang tepat yang tergambar dalam arsitektur deteksi keamanan nuklir. Sehingga perlunya identifikasi terhadap hal-hal yang perlu dipertimbangkan dalam pengembangan arsitektur deteksi keamanan nuklir yang ada di Indonesia dengan melihat ketentuan peraturan perundangan-undangan terkait keamanan nuklir, panduan dari negara lain, dan/atau publikasi IAEA. Arsitektur deteksi keamanan nuklir adalah kerangka yang mengintegrasikan berbagai elemen teknis dan non-teknis yang diperlukan untuk mendeteksi peredaran gelap bahan nuklir dan sumber radioaktif lainnya. Kerangka tersebut meliputi integrasi peralatan, operasi, infrastruktur, dan administrasi yang mendukung kemampuan deteksi. Strategi pengembangan arsitektur deteksi keamanan nuklir dapat dilakukan dengan mempertimbangkan:

1. Strategi deteksi nasional; dan Strategi deteksi nasional berisi lingkup dan prioritas yang harus ditetapkan, pentingnya sistem deteksi, tugas dan fungsi, kerjasama dan koordinasi antar otoritas berwenang lainnya, serta alokasi sumber daya.
2. Penilaian ancaman. Penilaian ancaman dilakukan mengetahui beberapa hal diantaranya adalah jumlah bahan nuklir dan sumber radioaktif yang ada, karakterisasi musuh (atribut, kemampuan, dan taktik yang dapat digunakan), sasaran dan lokasi strategis, dan lokasi yang menjadi daerah keluar masuk bahan nuklir dan sumber radioaktif. Penilaian ancaman ini akan mempengaruhi faktor teknis dalam deteksi seperti investasi teknologi dan persyaratan operasi, penelitian dan pengembangan terhadap sistem deteksi, dan penggunaan sistem deteksi aktif dan pasif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Republik Indonesia (2014) Undang-undang Nomor Tahun 2014 tentang Kelautan. Setneg, Jakarta.

- [2] Republik Indonesia (1997) Undang-undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran. Setneg, Jakarta.
- [3] Republik Indonesia (2007) Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif. Setneg, Jakarta.
- [4] Republik Indonesia (2012) Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir. Setneg, Jakarta.
- [5] IAEA (2015) IAEA Nuclear Security Series Glossary. IAEA, Vienna.
- [6] US Department of Homeland Security (2009) Model Guidelines Document for Nuclear Detection Architecture. USDoHS, USA.
- [7] IAEA (2013) IAEA Nuclear Security Series No. 21: Nuclear Security Systems and Measures for the Detection of Nuclear and Other Radioactive Material out of Regulatory Control. IAEA, Vienna.

LAMPIRAN

1. Sambutan Kepala BAPETEN oleh Prof. Jazi Eko Istiyanto, M.Sc., IPU
2. Pembicara 1 (Kunci): International Basic Safety Standards: Key Issues in Radiation Protection oleh Tony Colgan, IAEA
3. Notulensi Sidang Pleno Pembicara Kunci: Tony Colgan (IAEA)
4. Pembicara 2: BAPETEN “Menyongsong Industrie 4.0” oleh Prof. Jazi Eko Istiyanto, M.Sc., IPU
5. Pembicara 3: Peran Perguruan Tinggi dalam Pengembangan Ketenaganukliran di Indonesia oleh Drs. Adi Susilo, M.Si., Ph.D (Dekan Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya)

Sambutan SKN 2018

Prof. Dr. Jazi Eko Istiyanto, M.Sc., IPU

Kepala

Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN)



Gedung Widyaloka, Universitas Brawijaya
Malang, Jawa Timur, 2 Agustus 2018





Dua LPNK Nuklir

- **Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN)**- menghasilkan **Teknologi Nuklir**
- **Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN)** menghasilkan **Teknologi Pengawasan Nuklir** (teknologi informasi, elektronika, instrumentasi keselamatan nuklir, dan lain-lain)
- **UU 10/1997 (Ketenaganukliran)** - dalam proses amandemen
- **BAPETEN** pengawasan nuklir melalui peraturan, perijinan, inspeksi, dan penegakan hukum





Tugas Pokok dan Fungsi BAPETEN

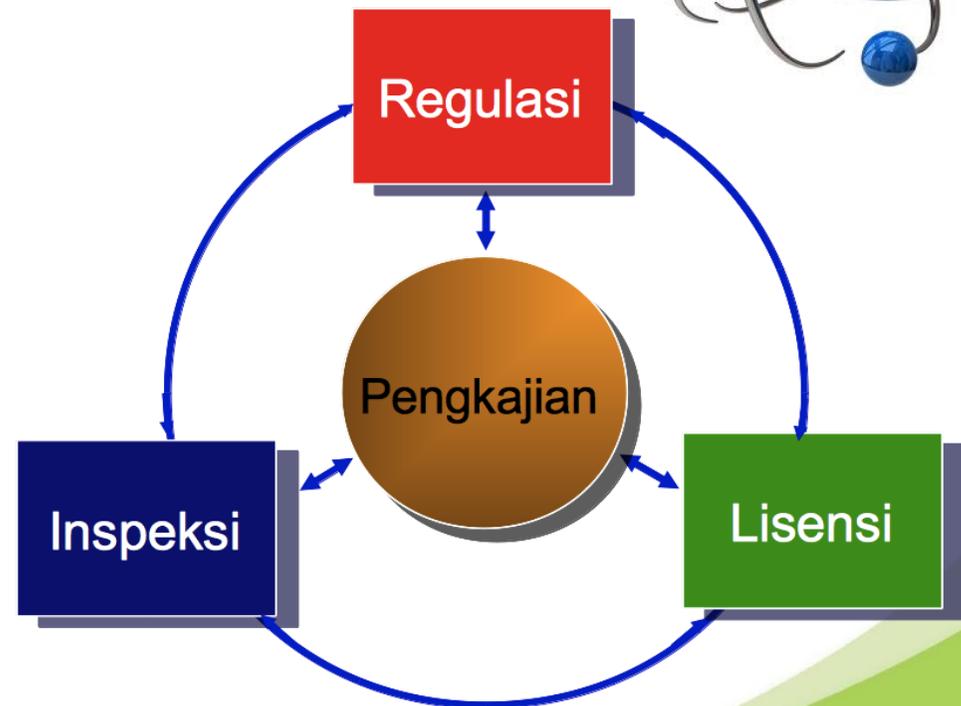
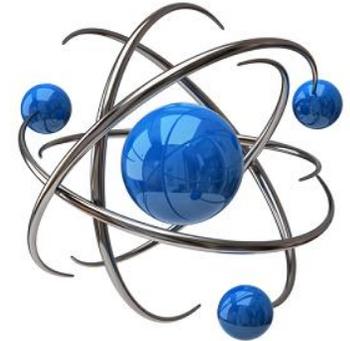
Berdasarkan UU No. 10 tahun 1997:
BAPETEN bertugas melaksanakan pengawasan terhadap segala kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir.

Tiga pilar pengawasan:

- Penyusunan regulasi
- Penerbitan izin
- Pelaksanaan inspeksi

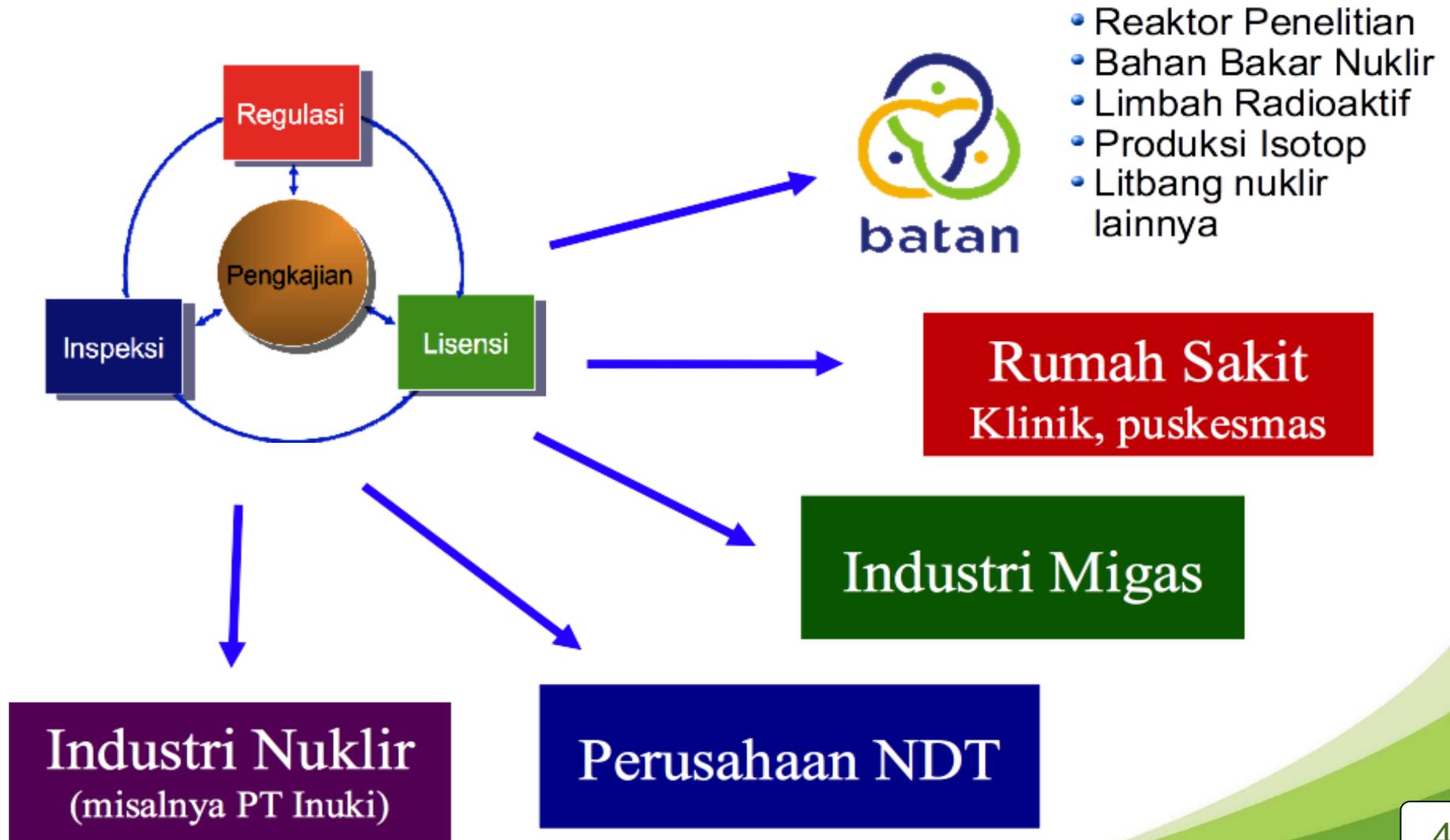
Didukung oleh fungsi:

- Pengkajian
- Kesiapsiagaan nuklir
- Pendidikan dan pelatihan
- Sistem informasi





Obyek Pengawasan





Pengguna Tenaga Nuklir



BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR
Nuclear Energy Regulatory Agency

Jumlah Izin:

- Industri: 7.371
- Kesehatan: 4.293
- Instalasi dan Bahan Nuklir: 460





David Sebagai Game Changer

**David and Goliath : Underdogs, Misfits, and the Art of Battling Giants,
Malcolm Gladwell (2013)**

David (pengembala kambing)

VS

Goliath (panglima perang)

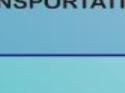
**David menang hanya memanfaatkan “potensi” yang
dimilikinya**

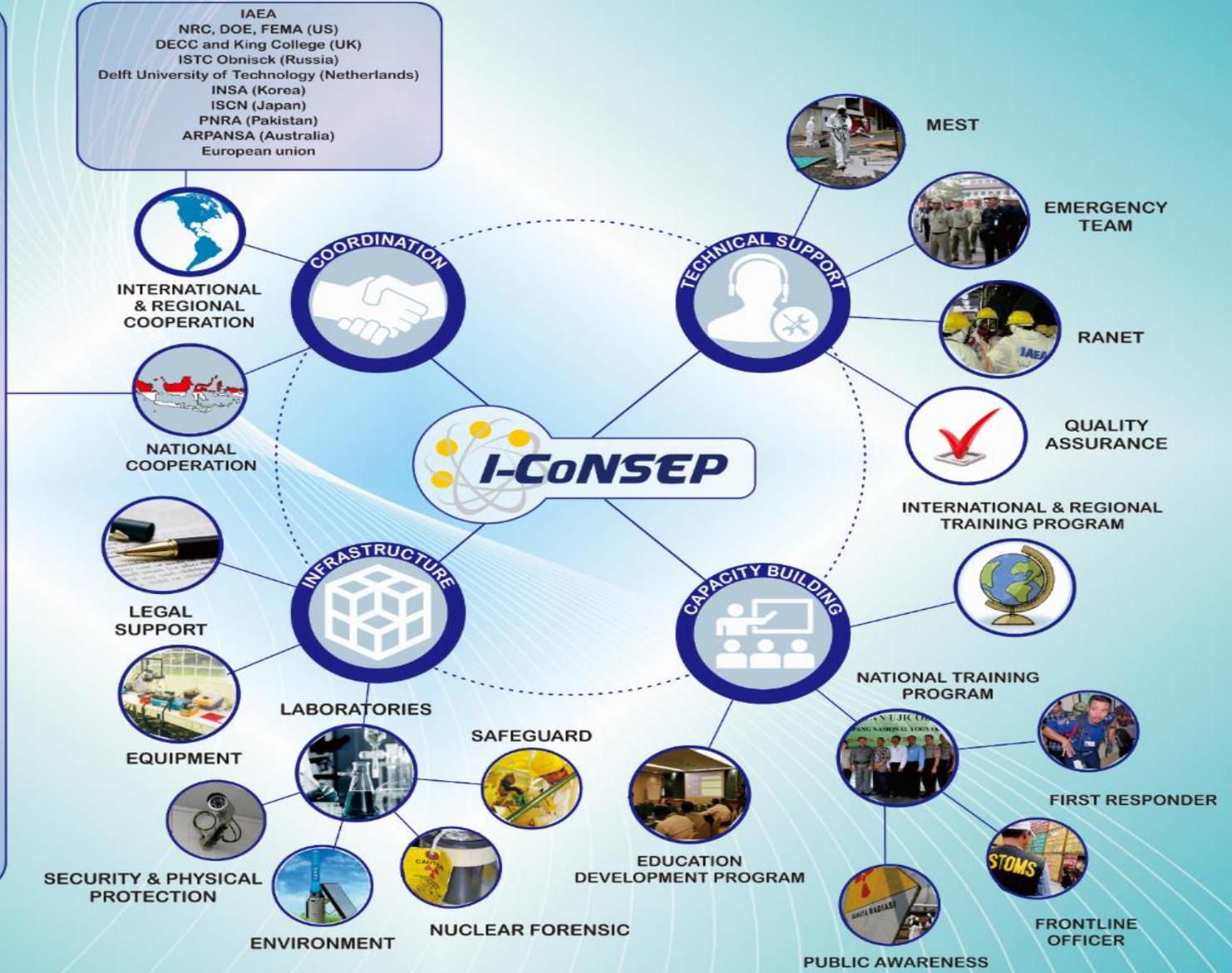
**Goliath kalah karena bermindset perang tradisional
(tidak mau berinovasi)**

Tantangan pasti selalu ada diluar yang diprediksikan

I-CONSEP

IAEA
 NRC, DOE, FEMA (US)
 DECC and King College (UK)
 ISTC Obnisk (Russia)
 Delft University of Technology (Netherlands)
 INSA (Korea)
 ISCN (Japan)
 PNRA (Pakistan)
 ARPANSA (Australia)
 European union

- 
BAPETEN
- 
BNPT
- 
MINISTRY OF FOREIGN AFFAIRS
- 
MINISTRY OF FINANCE
- 
POLICE
- 
BATAN
- 
TNI AD
- 
BAKAMLA
- 
MINISTRY OF HEALTH
- 
MINISTRY OF DEFENSE
- 
METEOROLOGY, CLIMATOLOGY AND GEOPHYSICS AGENCY
- 
BNPB
- 
STATE INTELLIGENCE AGENCY
- 
MINISTRY OF TRANSPORTATION





Thank you

The International Basic Safety Standards

Key Issues in Radiation Protection

National Seminar
Malang, Indonesia
2 August 2018

Tony Colgan
Head, Radiation Protection Unit



IAEA

International Atomic Energy Agency

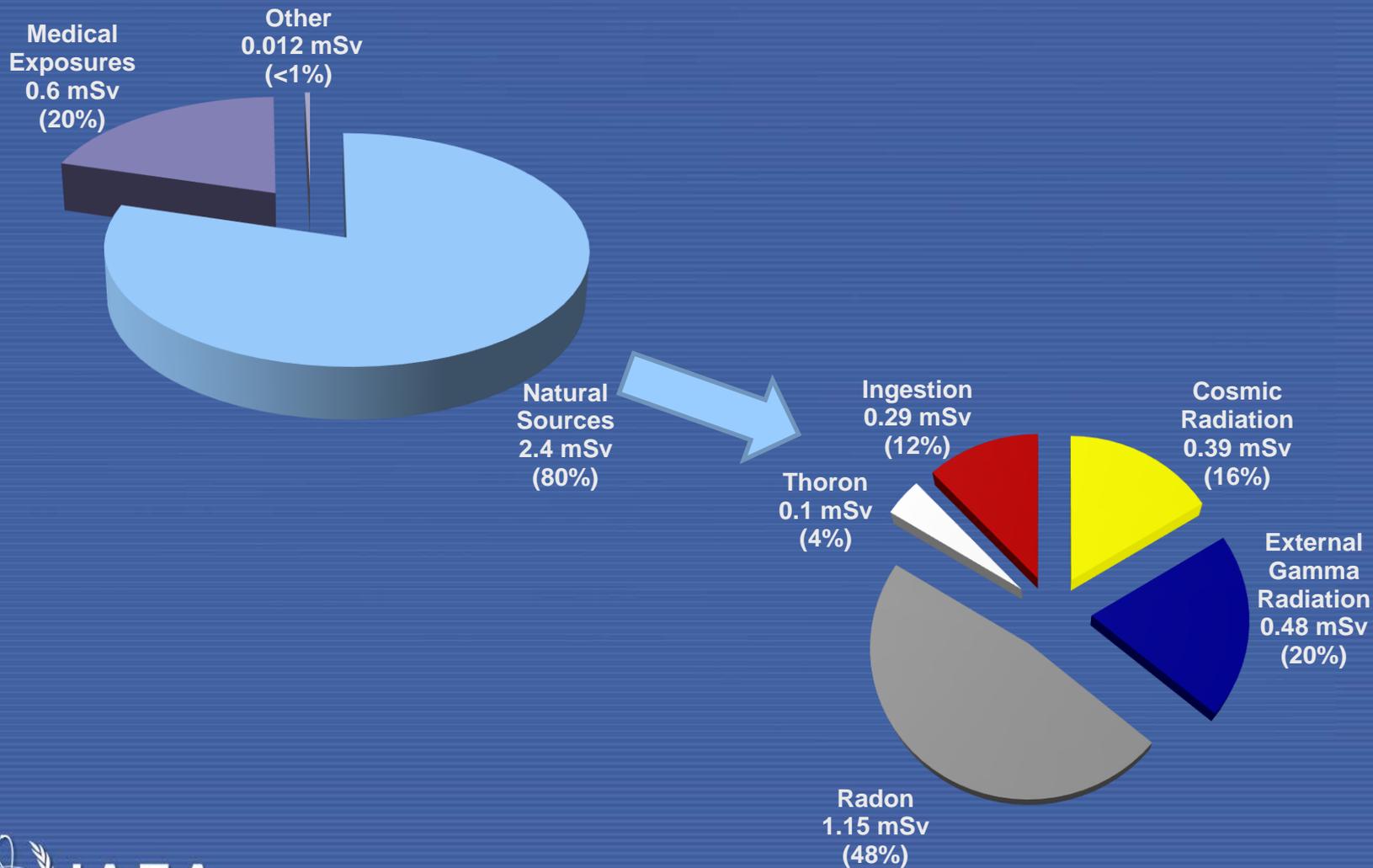
Structure of the Presentation

- Sources of Radiation Exposure
- The IAEA Safety Standards
- Some Key Issues in Radiation Protection

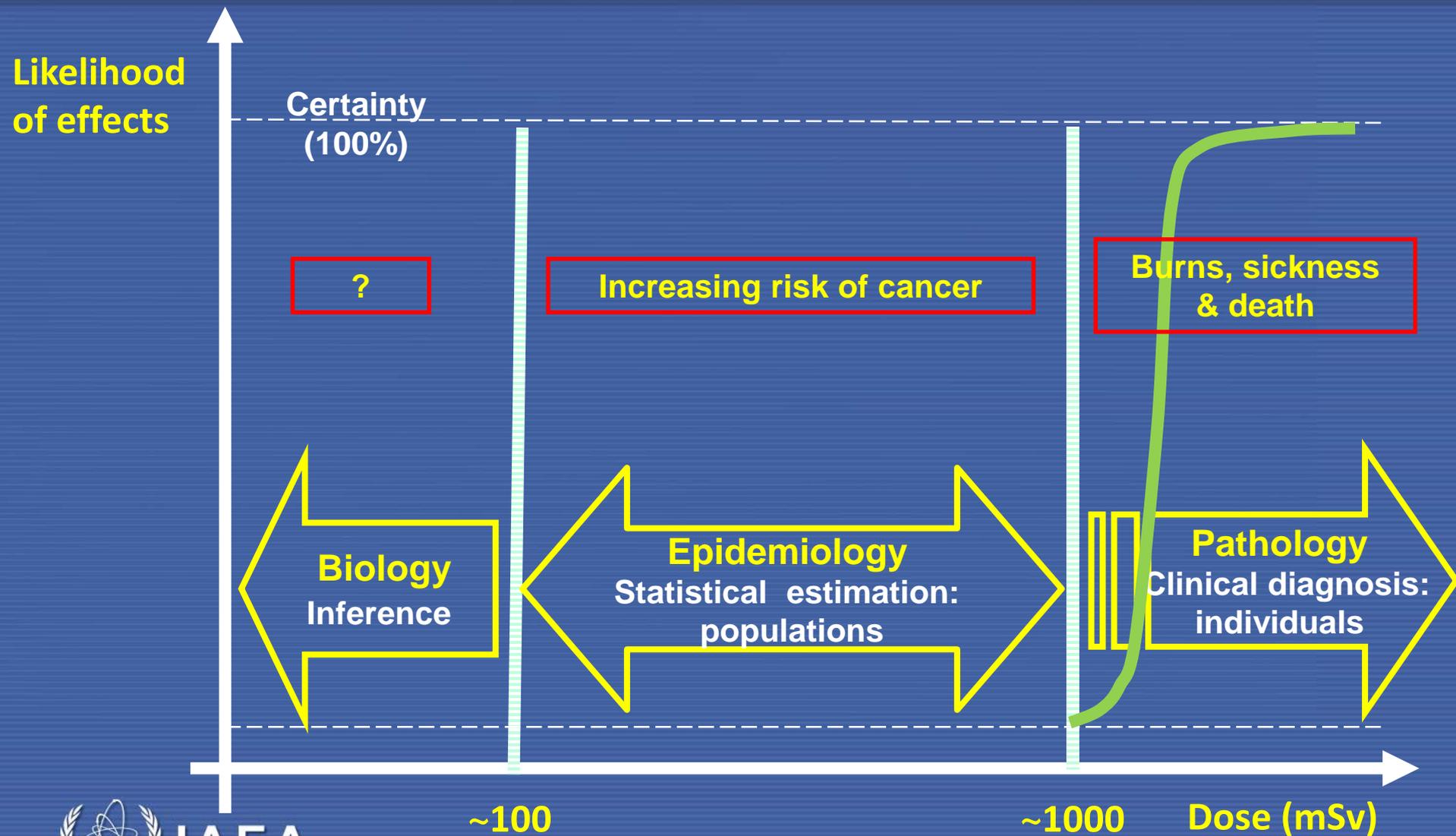
Structure of the Presentation

- Sources of Radiation Exposure
- The IAEA Safety Standards
- Some Key Issues in Radiation Protection

Distribution of Radiation Doses



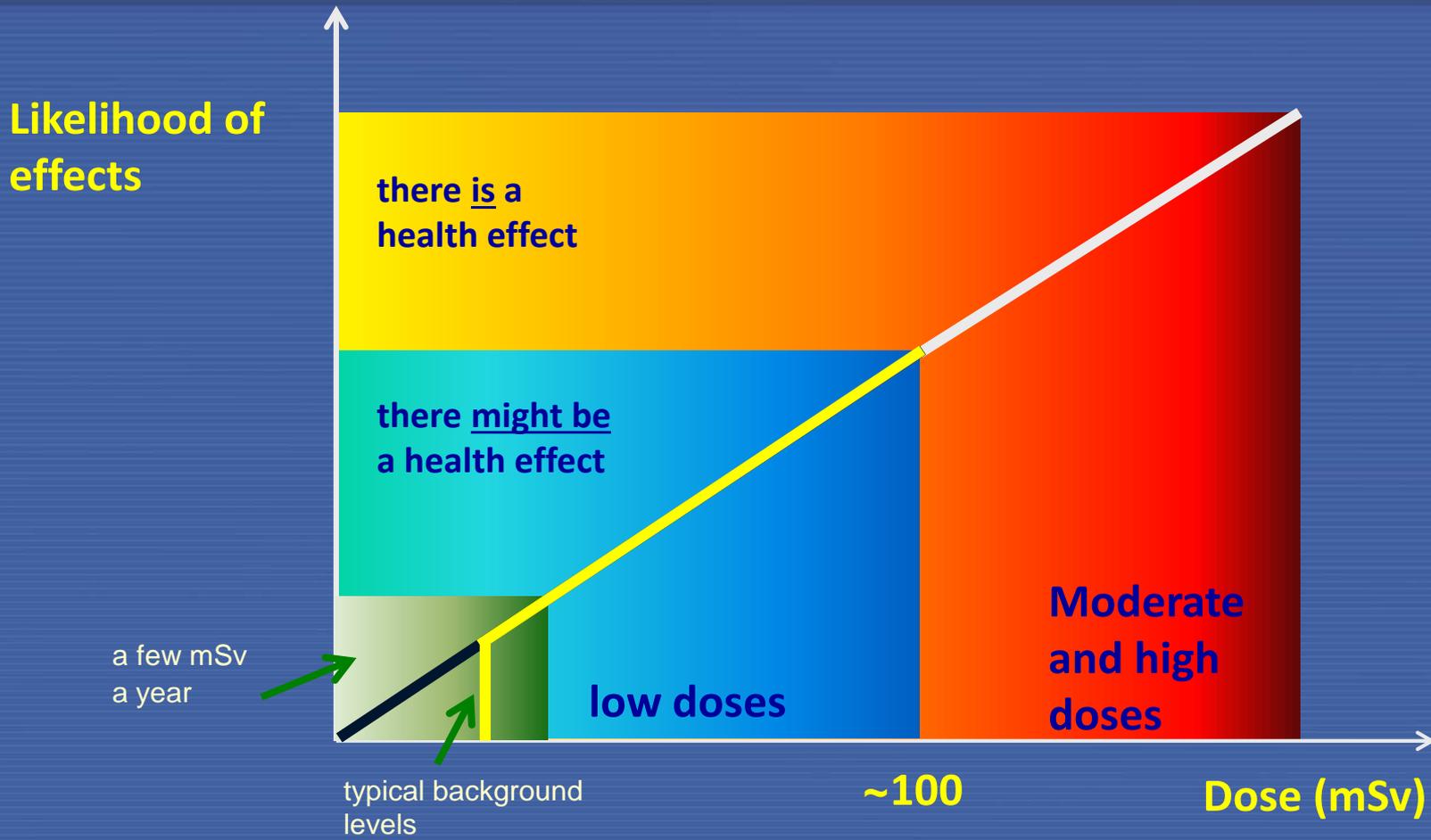
Radiation Risks



IAEA

Source: A. Gonzalez

Radiation Risks



Structure of the Presentation

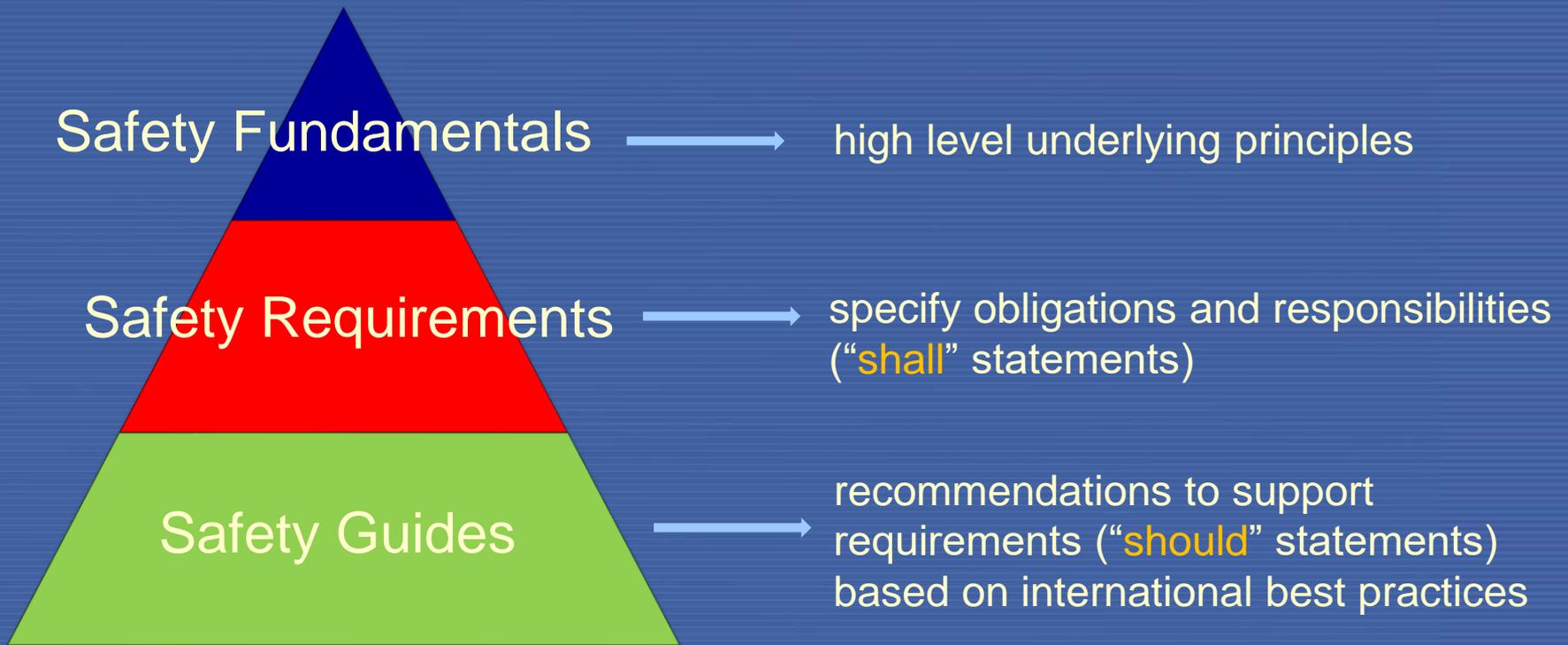
- Sources of Radiation Exposure
- The IAEA Safety Standards
- Some Key Issues in Radiation Protection

Mandate of IAEA

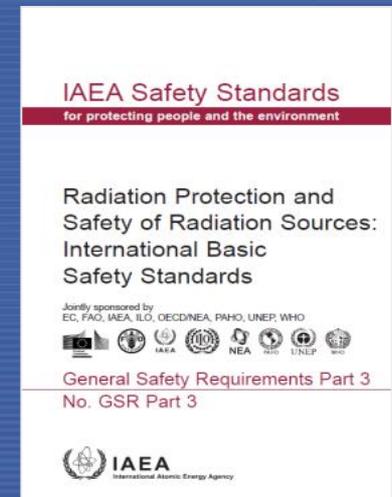
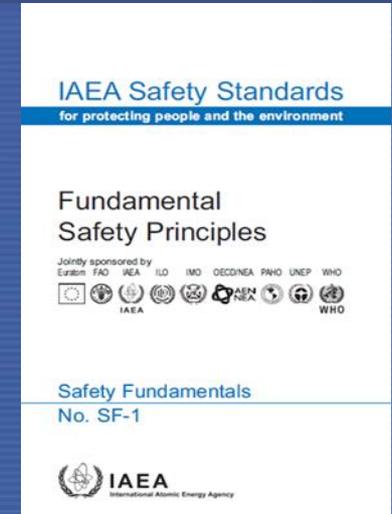
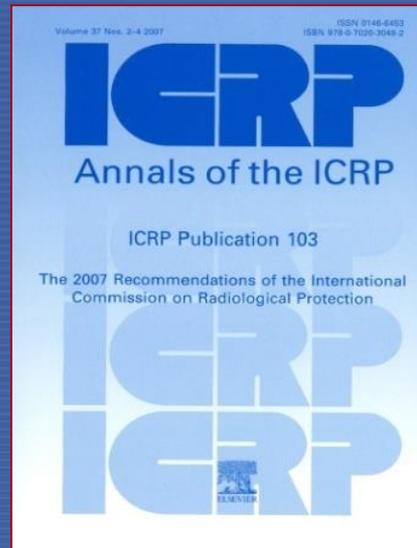
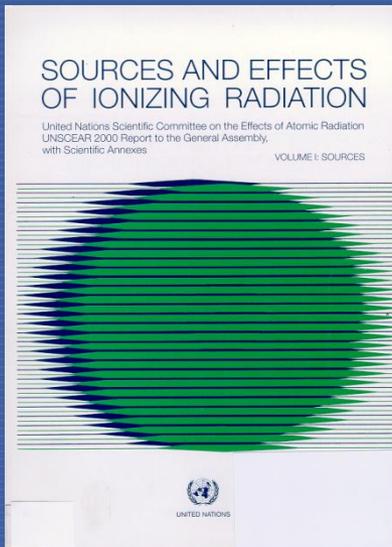
IAEA Statute (Article III.A.6)

6. To establish or adopt, in consultation and, where appropriate, in collaboration with the competent organs of the United Nations and with the specialized agencies concerned, standards of safety for protection of health and minimization of danger to life and property (including such standards for labour conditions), and to provide for the application of these standards to its own operation as well as to the operations making use of materials, services, equipment, facilities, and information made available by the Agency or at its request or under its control or supervision; and to provide for the application of these standards, at the request of the parties, to operations under any bilateral or multilateral arrangements, or, at the request of a State, to any of that State's activities in the field of atomic energy

IAEA Safety Standards



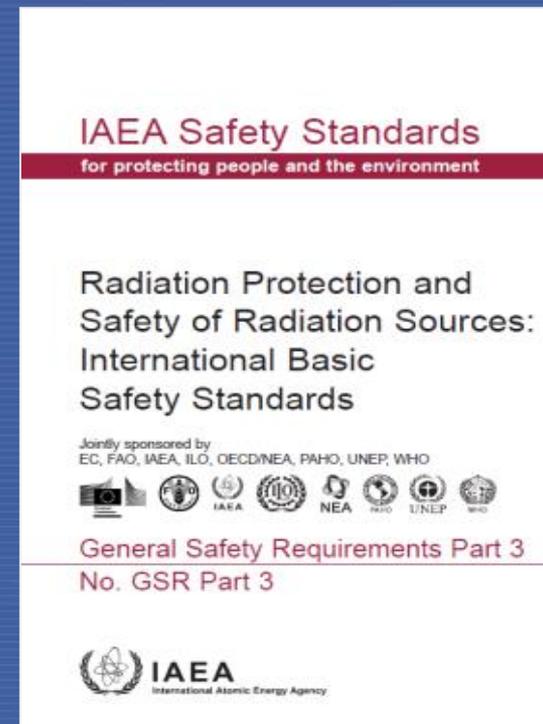
IAEA Safety Standards



International Basic Safety Standards

Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards published as GSR Part 3 in 2014

- Key safety requirements for radiation safety.
- Applies to all facilities and all activities.
- Covers all three exposure situations – planned, emergency and existing.
- Covers all categories of exposure – workers, patients, public and environment.
- Addresses both natural and man-made radioactivity.



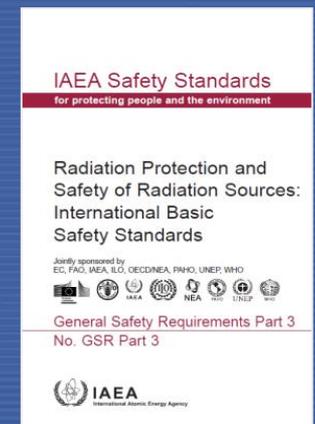
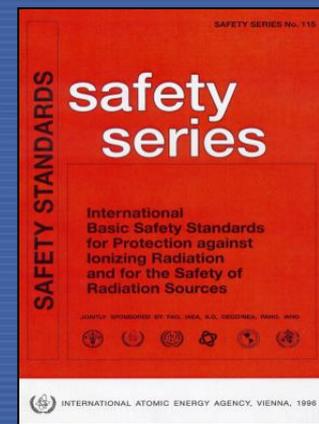
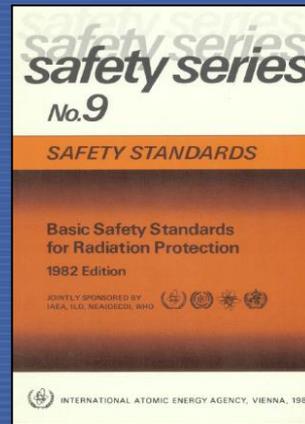
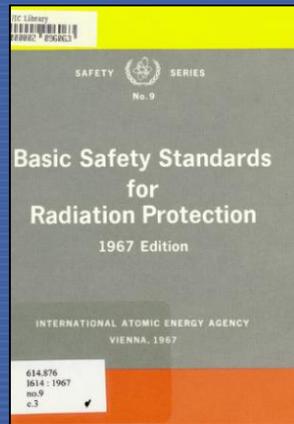
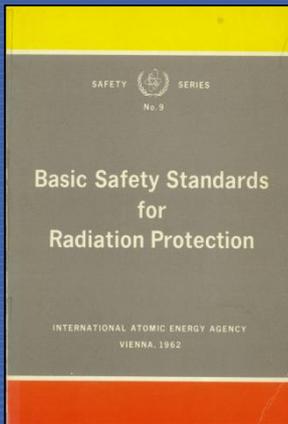
Basic Safety Standards

ICRP recommendations

- 1958 (“Publication 1”)
- 1966 (Publication 9)
- 1977 (Publication 26)
- 1990 (Publication 60)
- 2007 (Publication 103)

Basic Safety Standards

- 1962
- 1967
- 1982
- 1996
- 2014



International Basic Safety Standards



During the Board's consideration of measures to strengthen nuclear safety and security, the body approved the revised IAEA Safety Standards on the Safety of Nuclear Power Plants: Design (Safety Standards Series No. NS-R-1), as well as a revision of IAEA Safety Series No. 115, or Draft Safety Requirements: Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards.

IAEA Board of Governors September 2011

http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/p1531interim_web.pdf



Need for International Safety Standards

While radiation protection and safety is a national responsibility, international standards are aimed to:

- promote consistency.
- help to provide assurance that nuclear and radiation related technologies are used safely.
- facilitate international technical cooperation and trade.
- many safety standards are jointly sponsored by other international organizations

International Harmonization



IAEA

IAEA Safety Standards

**THE IAEA SAFETY STANDARDS:
A GLOBAL REFERENCE FOR PROTECTING
PEOPLE AND THE ENVIRONMENT**

Key Responsibilities

Government

To establish and maintain a legal, regulatory and organizational framework
Ensure the regulatory body is effectively independent

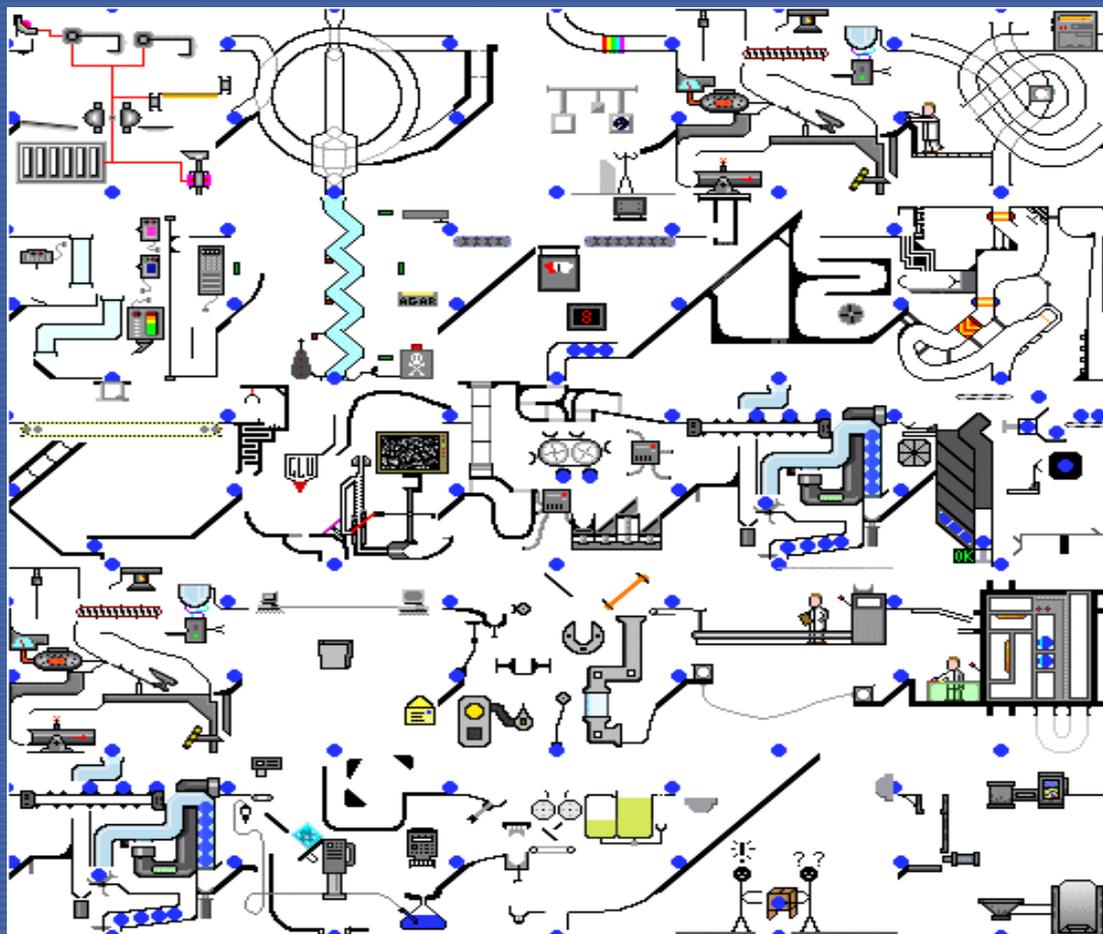
Regulatory body

To establish or adopt regulations and guides
To implement the regulatory system of authorization, inspection, enforcement etc.

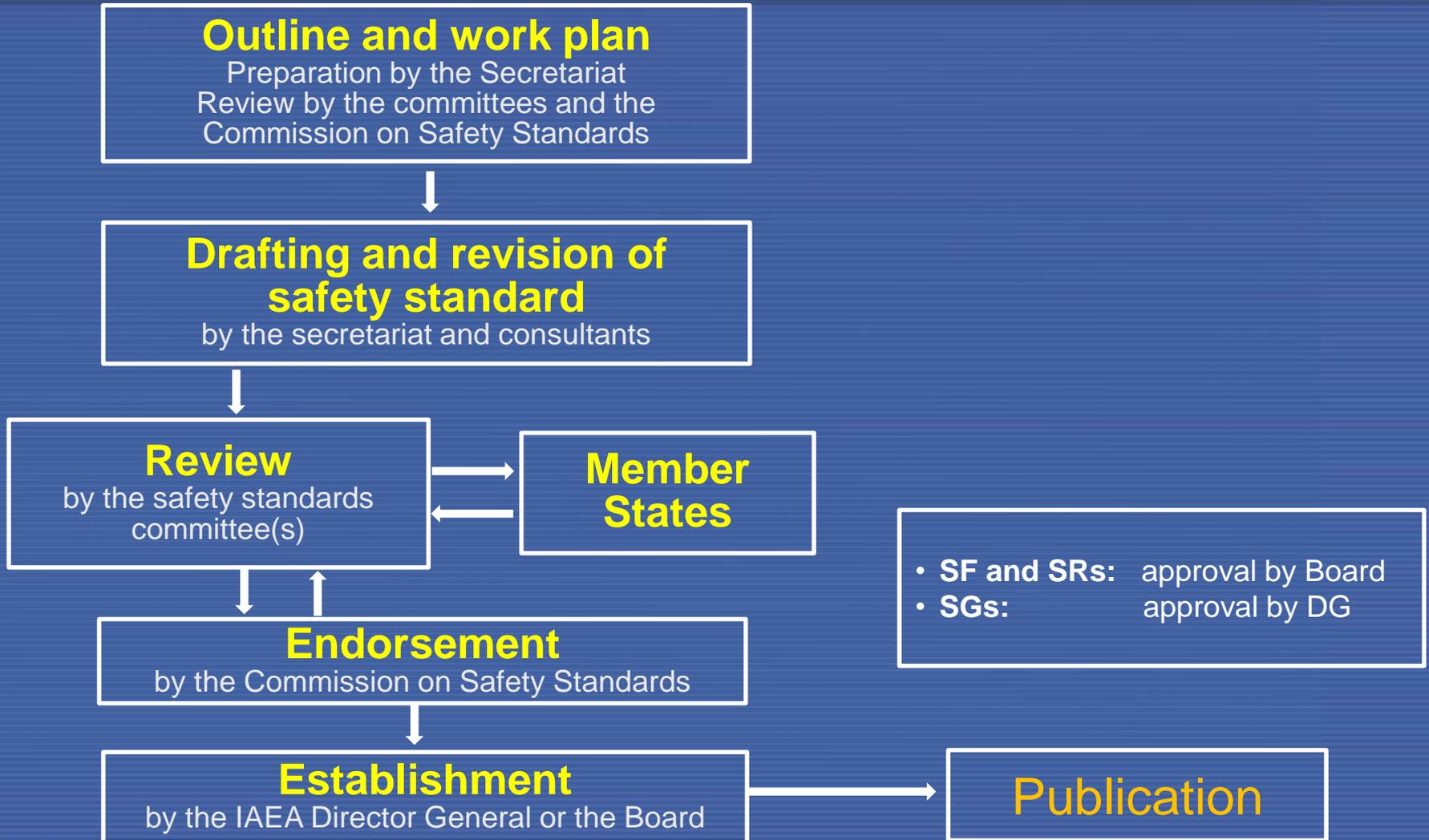
Registrants and Licensees

Retain the prime responsibility for protection and safety

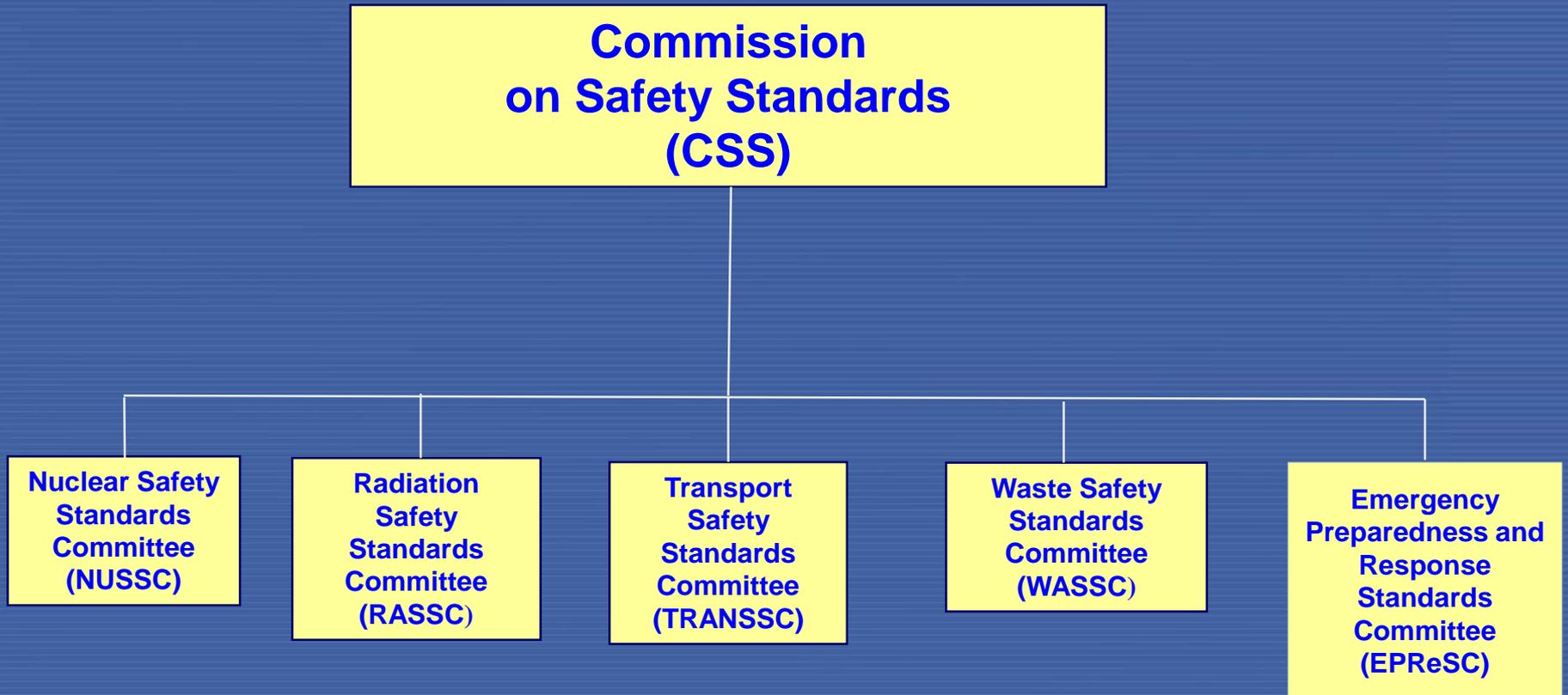
IAEA Safety Standards



IAEA Safety Standards



IAEA Safety Standards



Structure of the Presentation

- Sources of Radiation Exposure
- The IAEA Safety Standards
- Some Key Issues in Radiation Protection

Key Issues - 1

NATURAL RADIATION

This is the main source of radiation dose for most people

- Do we need to regulate some non-nuclear industries?
 - uranium and thorium mining always regulated
 - enhanced concentrations sometimes found in other mining operations
- Radon in homes
 - proven increase in the risk of lung cancer
 - synergistic relationship with smoking



Key Issues - 2

GRADED APPROACH TO REGULATION

This is a key issue in the IAEA Safety Standards

For a regulatory system or a safety system, the stringency of the control measures and conditions to be applied needs to be commensurate with the risks

- Applies to
 - regulatory body's own operations
 - conditions imposed on registrants and licensees



Key Issues - 3

NON-MEDICAL HUMAN IMAGING

Human imaging for purposes other than medical diagnosis or treatment

Two types of exposures:

- Those carried out by medical staff using conventional radiological equipment e.g. exposures for occupational, legal or insurance purposes without reference to clinical indications
- Exposures by non-medical staff e.g. security screening, screening of cargo



Key Issues - 4

JUSTIFICATION OF MEDICAL EXPOSURES

- Evidence that many individual medical procedures are lacking in justification and optimization, giving rise to a very significant unnecessary exposure of the world's population
- A substantial fraction (20% to 40%) of individual radiological examinations may be unnecessary
- Economics is often the key driver



Key Issue - 5

COMMUNICATION



Thank You!



Notulensi Sidang Pleno 1
Head of Radiation protection
Pembicara: Tony Colgan-IAEA
“Key issues in radiation protection”

1. Ada tiga isu spesifik yang kita bahas. Pekerjaan yang kita lakukan di IAEA. Bekerja di IAEA : pandangan global dari paparan radiasi, dari mana datangnya paparan radiasi dan efek dari paparan radiasi.
2. Sumber paparan radiasi : ada X-Ray, CT-Scan, sumber daya alam, radionuklida. Paparan medis telah meningkat dan itu merupakan paparan radiasi yang baik digunakan untuk penyembuhan. Sumber daya alam, semua orang terpapar radiasi dari jenis ini. Jumlah paparan radiasinya sangat kecil. Jangan meremehkan paparan radiasi dari kelompok ini. Sumber alam itu penting karena penggunaan untuk medis semakin meningkat. Untuk area alami itu merupakan area yang berbeda yang kami atur. Beberapa aspek tidak bisa dikendalikan.
3. Ruang angkasa : ketika kita terbang menggunakan pesawat/tetapi kita tidak bisa memilih untuk tidak terbang dengan pesawat karena itu merupakan hal yang alami.
4. Resiko radiasi : ini sepertinya tidak sebanyak seperti yang kita perkirakan. Anda tidak perlu menjadi seorang expert untuk mengetahui angka dan skalanya. 100 satuan paparan. 1000 satuan paparan. 20 Sievert (20.000 satuan paparan, resiko kematiannya 100 %). Sistem kekebalan tubuh tidak akan baik. Kita akan terkena infeksi. Resiko radiasi termasuk resiko yang moderat/sedang. 30% dari populasi di dunia meninggal karena kanker.
5. Resiko radiasi : efeknya. Bagaimana kita mengawasinya? Kita asumsikan resiko kesehatannya. Kita ekstrapolasikan. Bagaimana resiko radiasi jika dipengaruhi oleh dosis radiasi. Tingkat radiasi dipengaruhi oleh nilai ambang batas.
6. Undang-undang : wajib untuk mematuhi *safety standards*. Kami mengembangkan *safety standards* dan memiliki Negara anggota. Kami memiliki hierarki dalam command dan panduan, kode etik, dan bantuan hukum.
 - a. Safety Standards IAEA : safety standards mematuhi rekomendasi yang ada di dalam ICRP. Negara anggota menggunakan dan menerapkan safety standards, dan harus merujuk, mengacu kepada ilmu pengetahuan.
 - b. BSS internasional : Sangat terkenal. Meliputi pekerja, masyarakat umum, dan lingkungan. Sangat bersifat atomic, bukan nuklir.
 - c. Kaitan langsung antara ICRP dan *safety standards* IAEA : setiap kali ada masalah, maka akan ada *safety standards* yang baru. Disponsori oleh organisasi internasional.
 - d. Kenapa kita membutuhkan standards untuk radiasi ? karena kita memerlukan jaminan keselamatan radiasi, untuk mengembangkan konsistensi.
 - e. Harmonisasi internasional : untuk digunakan lagi dan lagi oleh organisasi anggota, mengingat banyak yang terjadi dan melibatkan banyak orang.
7. Masalah utama :
 - a. Di tempat tertentu, dosis radiasi tidak bisa dikendalikan. Maka penting bagi agency untuk terlibat dan menambah pengalaman.
 - b. Radiasi di dalam rumah di daerah Eropa tengah dan Amerika.
 - c. Masalah etika.
 - d. Masalah kedua : pendekatan berjenjang, sejalan dengan resiko radiasi. Beberapa aspek bisa jadi terlalu diawasi atau kurang diawasi. Ini merupakan masalah. Kita harus lebih bijaksana. Keselamatan radiasi itu tidak hanya mengenai kepemilikan sumber radiasi
 - e. Pencitraan pada objek bukan manusia : penggunaannya semakin meningkat. Orang semakin sering terpapar radiasi secara sadar , bukan untuk tujuan medis. Di penjara, di pusat perbelanjaan, dll. Hal ini membutuhkan interaksi dan justifikasi.
 - f. Paparan medik : berkembang ke berbagai penjuru dunia.
 - g. Komunikasi dengan masyarakat umum : radiasi digunakan hamper di manapun dan kebanyakan orang tidak mengetahui hal tersebut. Harus dijelaskan bahwa radiasi memberikan manfaat kepada masyarakat.

Diskusi:

Nama Penanya	Keterangan
Werdi Putra Daeng Beta-BAPETEN	Jelaskan perspektif anda dan IAEA terhadap <i>trivial dose</i> and <i>unnecessary exposure</i> . Bagaimana perspektif anda dan IAEA mengenai hal tersebut?
	Kami mempunyai pemahaman trivial 10 $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$ dari sumber radiasi. Ini menerapkan <i>graded approach</i> . Hal ini diatur karena kita butuh untuk mengawasi bukan karena harus. <i>Safety standard</i> memberikan fleksibilitas. Kami memiliki konsep dosis panduan, tapi di legislasi nasional hanya disebut limitasi. Kami ingin memberikan lebih sedikit batasan dan lebih banyak sampel. Dalam keselamatan radiasi, badan nasional harus bisa memberikan penilaian yang baik dalam menentukan peraturan.
Azhar	X-Ray and <i>body scanner</i> digunakan bandara and mall. Jumlah penggunaannya meningkat. Apakah IAEA memberikan panduan akan dosis radiasi per penggunaan?.
	Tidak dijustifikasi, ada pertimbangan ekonomi dan banyak isu yang terlibat dalam masalah itu. Tapi jika melibatkan masyarakat umum maka harus diatur. Banyak standar yang beredar di masyarakat menerapkan dosis yang rendah tapi perusahaan semakin beradaptasi dan mengikuti standar. Situasi sekarang sudah berubah. Kami memberikan panduan dosisnya tidak memberikan justifikasi spesifik akan penggunaannya
Bagiyono – BATAN	Dalam presentasi anda disebutkan bahawa kita menerima dosis radiasi tinggi dari radiasi sinar kosmik. Salah satu teman saya menunjukkan rekaman radiasi kosmik dari penerbangannya dari Jerman menuju Indonesia. Laju dosis diunduh dari dosimeter data logger. Estimasi bahwa kita mendapat dosis yang lebih tinggi dan resiko yang lebih tinggi. Saat ini orang menggunakan pesawat dan penggunaannya meningkat. Resiko naik pesawat sama dengan radiasi X-ray di airport, dosisnya tinggi saat naik pesawat. Adakah hasil riset mengenai radiasi kosmik saat menggunakan pesawat terbang dalam penerbangan yang panjang ?
	Tidak semua maskapai punya rekaman. Tidak ada kepastian akan dosis ini. Diperlukan modelling untk mengetahui dosis yang diterima. Untuk dosis saat naik pesawat, kami asumsi 6mSv/ tahun, tergantung jumlah jam naik pesawat terbang. Pesawat sekarang terbang di ketinggian yang lebih tinggi untuk menghemat biaya tapi resiko radiasi jadi lebih tinggi. Tidak ada bukti saintifik bahwa semakin tinggi ketinggian maka semakin tinggi resiko radiasinya.
As Natio Lasman	<i>Natural radiation</i> (radiasi alam). Ada daerah dengan tingkat radioaktivitas alam yang tinggi. Apa yang harus kami lakukan sebagai badan pengawas? Apakah ada pengalaman dari IAEA dalam menyediakan <i>safety guide</i> terkait radiasi alam yang tinggi?

	<p>Isunya adalah justifikasi. Jika kita menggunakan sumber radiasi. Aplikasinya harus terjustifikasi. Baik itu tidak hanya radiasi tapi juga etika, ekonomi, sosial. Nilai sosial sangat berbeda karena tiap negara punya standar sosial yang berbeda. <i>Graded approach</i>. Ada sesuatu yang bisa dikontrol dan tidak. Misal di rumah yang dibangun, maka ada tindakan preventifnya. Adalah yang memutuskan, tapi harus ada justifikasinya. Tergantung dari badan nasional yang berwenang.</p>
UB Fisika	<p>Perkembangan CT-scan dari 64 <i>slice</i> jadi 128 <i>slice</i>. Kami sebagai pasien tidak tahu RS menggunakan yang mana. Apakah IAEA ada peraturan mengenai batasan <i>slice</i> yang boleh didistribusikan.</p>
	<p>Saya bukan expert. Saya tidak akan memberikan saran spesifik yang bisa saja salah. Jika dokter percaya bahwa itu penting untuk diagnosa, maka lakukanlah. Dokter yang akan memandu berapa banyak yang diperlukan. Medical opinion. Tidak ada panduan spesifik dari IAEA.</p>
Rini Marini (UNAS)	<p>Basic standar ICRP itu ada bermacam-macam, kenapa nomornya tidak berurut? Apakah dari IAEA ada kerjasama dengan rumah sakit atau Dinkes seIndonesia karena RS interaksi langsung dengan pasien?</p>
	<p>Kami punya <i>review</i>. Untuk membahas radiasi, dengan banyak expert. Kami punya kerjasama dengan organisasi internasional. <i>Agency</i> punya kerjasama di Asia juga. Kami latih staf, iyu termasuk kerjasama dan kontak yang dekat dengan pada Negara anggota</p>
Endang Kunarsih	<p>Apakah ada saran untuk meningkatkan kesadaran personil terhadap implementasi pembatas dosis di fasilitas medik untuk optimisasi proteksi radiasi dalam konteks paparan kerja?</p>

BAPETEN

“Menyongsong Industrie 4.0”

Prof. Dr. Jazi Eko Istiyanto, M.Sc., IPU

Kepala

Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN)



Gedung Widyaloka, Universitas Brawijaya
Malang, Jawa Timur, 2 Agustus 2018





Dua LPNK Nuklir

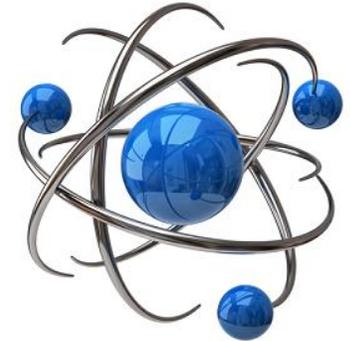
- **Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN)**- menghasilkan **Teknologi Nuklir**
- **Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN)**- menghasilkan **Teknologi Pengawasan Nuklir (teknologi informasi, elektronika, instrumentasi keselamatan nuklir)**
- **UU 10/1997 (Ketenaganukliran)** - dalam proses amandemen
- **BAPETEN** pengawasan nuklir melalui peraturan, perijinan, inspeksi, dan penegakan hukum





Tugas Pokok dan Fungsi BAPETEN

Berdasarkan UU No. 10 tahun 1997:
BAPETEN bertugas melaksanakan pengawasan terhadap segala kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir.

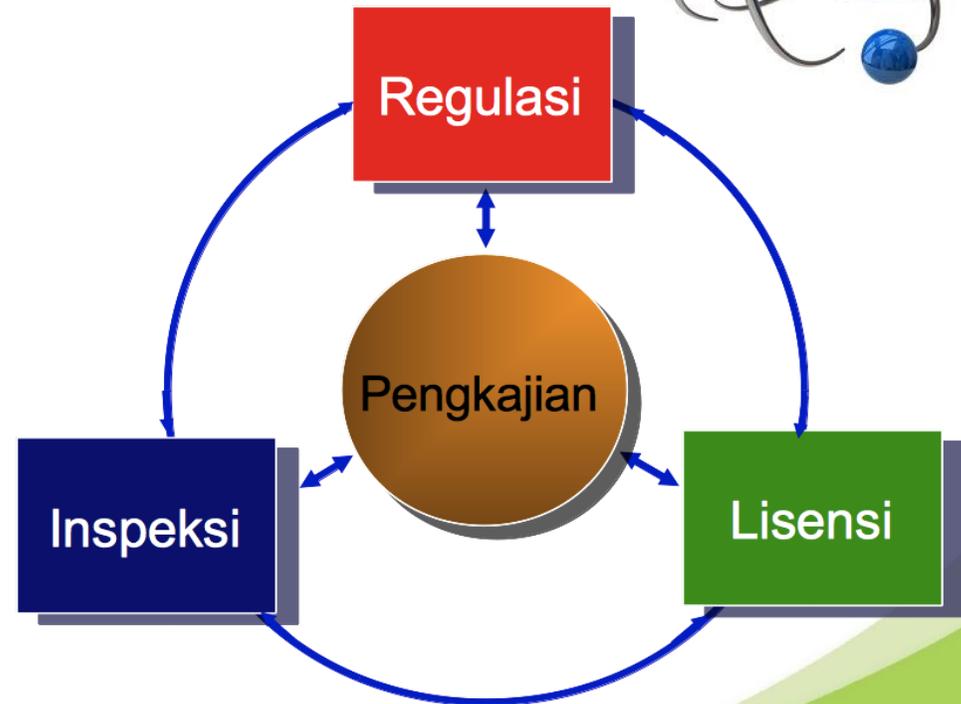


Tiga pilar pengawasan:

- Penyusunan regulasi
- Penerbitan izin
- Pelaksanaan inspeksi

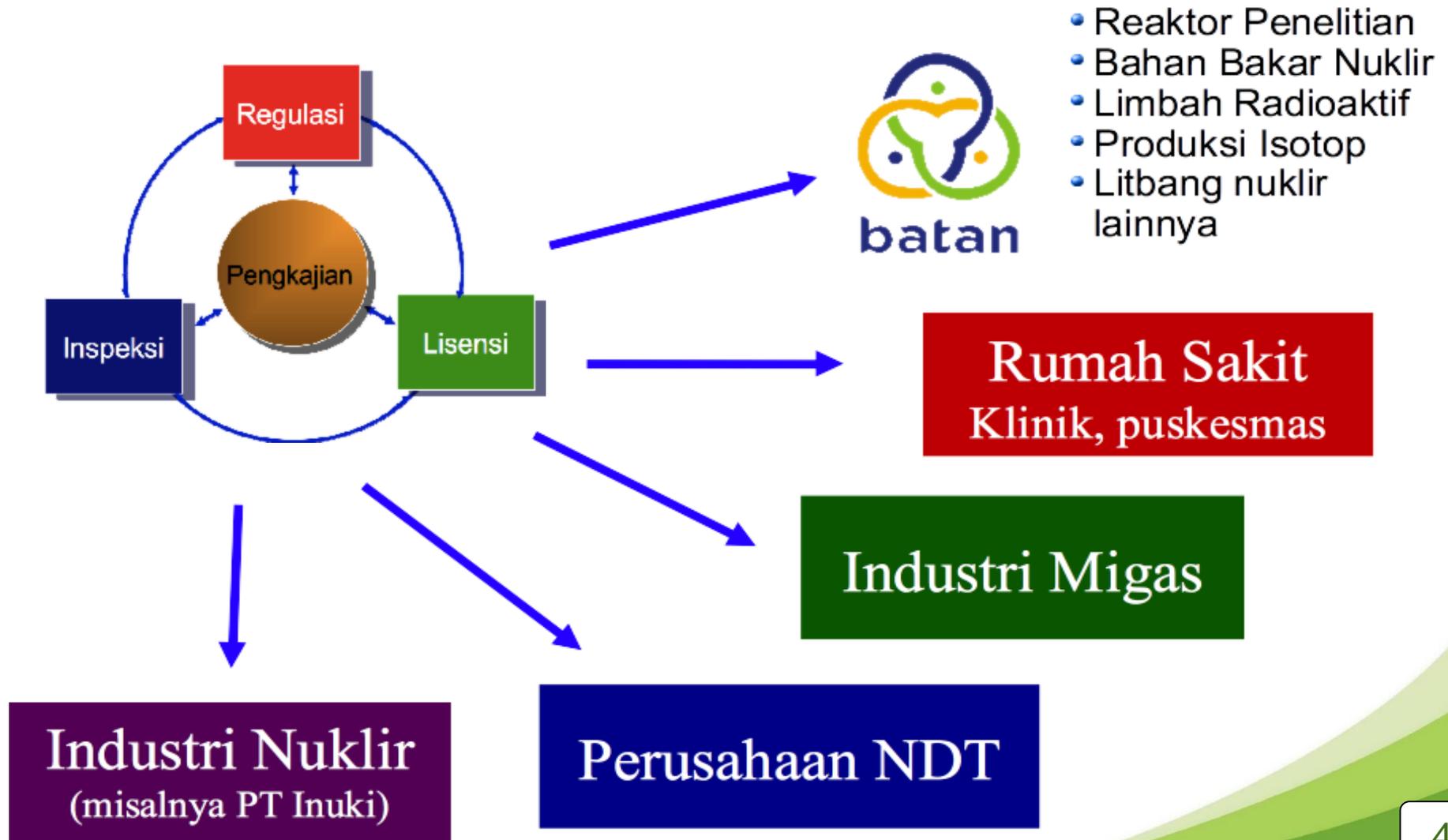
Didukung oleh fungsi:

- Pengkajian
- Kesiapsiagaan nuklir
- Pendidikan dan pelatihan
- Sistem informasi





Obyek Pengawasan





Pengguna Tenaga Nuklir



BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR
Nuclear Energy Regulatory Agency

Jumlah Izin:

- Industri: 7.371
- Kesehatan: 4.293
- Instalasi dan Bahan Nuklir: 460





Future Industry Trends

(Alec Ross, 2017, The industries of The Future, Simon & Schusters)

- **Code-ification of Money and Banking, Markets and Trust (Blockchain & bitcoins etc.)**
- **Weaponization of Code (Stuxnet etc.)**
- **Smart Offices, Smart Cities, Smart Governments**
- **Big Data Analytics – Raw Materials of Information Age**
- **Robots, Drones, Driverless Cars and Future Markets**

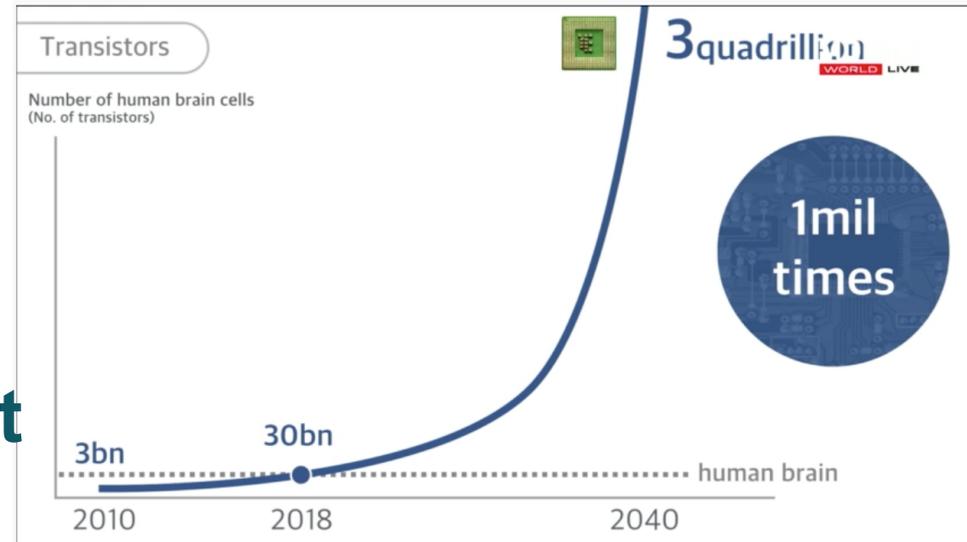




Future Industry Trends

Ray Kurzweil (matematikawan dan entrepreneur)

- Tren Weaponization of Code semakin sering terjadi
- Tahun 2045 akan terjadi “*singularity*” ketika robot menggantikan manusia (King, 2016).





Platform Examples

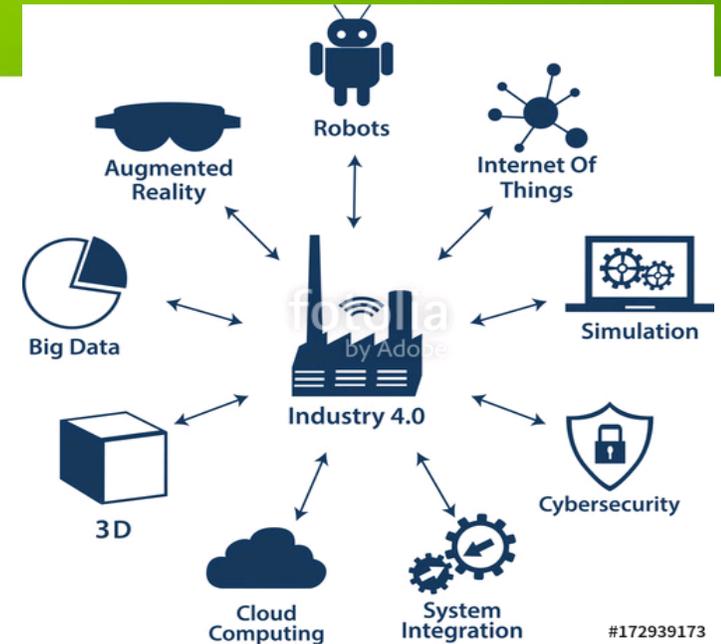
- **Airbnb** – owns no property
- **Uber** – owns no vehicle (taxi)
- **Facebook** – creates no content
- **Alibaba** – owns no inventory
- **RelayRides** – owns no car : menyewakan mobil yang seharusnya diparkir di bandara oleh flyer yang akan take off ke returning flyer yang landing





BAPETEN Sebagai Platform

- Industry 4.0
- Safety Culture
- Regulatory Culture
- Participative Inspection
- Not an Authority, but a Platform (authority is embedded; whoever uses the platform will automatically comply)
- Platform vs B@LIS = **B@LIS** (BALIS has to be regulation compliant)





OLD VS

YOUNG GENERATIONS

- **Generasi muda : “*downloading the future*”**
- **Generasi tua bernostalgia “*uploading the past*” (Fried, 2005)**
- **IT vs Birokrasi (von Clauswitz)**
- **IT Value = Data, Informasi, Knowledge, Wisdom**
- **Transparansi memudahkan Solusi**
- **Tidak hanya Reporting, tetapi Analytics**
- **Platform eg fb, WA, Uber, dsb**



Pengawasan Nuklir Oleh Masyarakat

- **Dana, SDM, Infrastruktur terbatas, tapi efektif. How?**
- **Solusi non-teknologi eg Local Wisdom**
- **Paguyuban, Asosisasi, Masyarakat Peduli Nuklir, dsb**
- **Insentif, Awards, Rekognisi Peran, dsb**
- **Hukum Metcalfe, value = $N*(N-1)/2$**
- **BAPETEN sebagai Platform, eg Smartphone Apps**



David Sebagai Game Changer

**David and Goliath : Underdogs, Misfits, and the Art of Battling Giants,
Malcolm Gladwell (2013)**

David (pengembala kambing)

VS

Goliath (panglima perang)

**David menang hanya memanfaatkan “potensi” yang
dimilikinya**

**Goliath kalah karena bermindset perang tradisional
(tidak mau berinovasi)**

Tantangan pasti selalu ada diluar yang diprediksikan



OSS

- **Efektif, Efisien, Cheaper, Better, Faster**
- **“Single Window” Licensing Policy**
- **Tidak hanya Perizinan Nuklir**
- **Memangkas Service Time, Meningkatkan Layanan, “Mendahsyatkan” Industri Nuklir**
- **Data, Data Analytics, Data Mining**
- **Reputasi Pemohon/Pemegang Izin**
- **Mengefisienkan Inspeksi Nuklir**
- **Meningkatkan Nuclear Safety Culture**



TANTANGAN ERA INDUSTRI 4.0

- **Keseragaman infrastruktur pendukung dan perbedaan kebutuhan tiap regional**
- **Tingginya biaya instalasi khususnya sensor-sensor detektor (RPM, RDMS, misalnya)**
- **Diperlukan stabilitas sumberdaya (listrik, energi, etc) dan stabilitas regulasi tiap wilayah**
- **Kontribusi Kita untuk ummat manusia**

I-CONSEP

IAEA
 NRC, DOE, FEMA (US)
 DECC and King College (UK)
 ISTC Obnisk (Russia)
 Delft University of Technology (Netherlands)
 INSA (Korea)
 ISCN (Japan)
 PNRA (Pakistan)
 ARPANSA (Australia)
 European union



- | | |
|------------------------------------|---|
| | |
| BAPETEN | BNPT |
| | |
| MINISTRY OF FOREIGN AFFAIRS | MINISTRY OF FINANCE |
| | |
| POLICE | BATAN |
| | |
| TNI AD | BAKAMLA |
| | |
| MINISTRY OF DEFENSE | MINISTRY OF HEALTH |
| | |
| BNPB | METEOROLOGY, CLIMATOLOGY AND GEOPHYSICS AGENCY |
| | |
| MINISTRY OF TRANSPORTATION | STATE INTELLIGENCE AGENCY |



Pertemuan Internasional Keamanan Nuklir

- IAEA Conference 1-5 Juni 2015, Kepala BAPETEN sebagai President of the Conference
- Cyber Attack dengan implikasi fisika (kerusakan fisik), tidak hanya kerugian finansial atau pencurian identitas
- Cyber-Physical Systems Security
- Bukan hanya nuclear safety, tetapi nuclear security





Keamanan Komputer Berdampak Kejadian Nuklir

2014 Presented multiple computer security events that had direct impact or relevance for Nuclear



**Monju NPP (Japan)
Compromise of control
room computer and
release of information**



**Korea Hydro and
Nuclear Power (KHNP)
Computer compromise
and release of NPP
documents**



**German Steel Mill Attack
Control system
compromise causing
physical damage. Hackers
had good understanding of
control system operation.**



Nuclear Accidents Events

Complex reactor, electrical, and system security faults events that also impact to Nuclear and Radiation Events



2006 - Forsmark, Sweden. Causes by maintenance fault in the adjacent high-voltage during accidentally shorting a two-phase circuit in equipment directly adjacent to the power plant



1992 - An accident at the Sosnovy Bor, Russian nuclear plant leaked radioactive gases and iodine into the air through a ruptured fuel channel.



2011 - Fukushima reactor flooded by tsunami and damaged the plant's 5 active reactors. Loss of backup electrical power led to overheating, meltdowns, and explosion



Drone Pengirim Bahan Radioaktif



- Incident using drone Drone 'containing radiation' lands on roof of Japanese PM's office (22/4/2015)

U.S. Nuclear Regulatory Committee's:

- **A DIRTY BOMB IS NOT A 'WEAPON OF MASS DESTRUCTION' BUT A 'WEAPON OF MASS DISRUPTION'**
- **"PUTTING IT IN A DIRTY BOMB IS A PRETTY SILLY IDEA"**
- **"IT'S ABOUT FEAR OR PANIC GENERATION... NOT ABOUT STRAIGHT OUT KILLING"**





Radiological Data Monitoring System Terpasang dan Rencana

- RDMS terpasang di 3 (tiga) reaktor riset BATAN (Serpong, Bandung, Yogyakarta) - ada 9 (sembilan) RDMS
- Rencana pemasangan RDMS di stasiun BMKG (126 lokasi)
- Tantangan : negara kepulauan lebih luas dari pada Uni Eropa atau Amerika Serikat
- Konsorsium RDMS (Ristek, Batan, PT LEN, UGM)





Thank you



SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2018

“Peningkatan Optimisasi Proteksi Radiasi dalam Pengawasan Ketenaganukliran yang Terpadu”

Widyaloka UB, 2 Agustus 2018

Diselenggarakan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) dan Universitas Brawijaya (UB)

PERAN PERGURUAN TINGGI DALAM PENGEMBANGAN KETENAGANUKLIRAN DI INDONESIA

Oleh:

Adi Susilo, Ph.D

Dekan Fakultas MIPA UB





SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2018



“Peningkatan Optimisasi Proteksi Radiasi dalam Pengawasan Ketenaganukliran yang Terpadu”

Widyaloka UB, 2 Agustus 2018

Diselenggarakan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) dan Universitas Brawijaya (UB)

PERAN PERGURUAN TINGGI DALAM PENGEMBANGAN KETENAGANUKLIRAN DI INDONESIA

OUTLINE

1. Perhatian Masyarakat Terhadap Ketenaganukliran di Indonesia
2. Kewajiban PT dalam Melaksanakan Tridharma Perguruan Tinggi
3. Peran UB dalam Ketenaganukliran di Indonesia
4. Tantangan bagi UB dalam Ketenaganukliran di Indonesia
5. Penutup

Perhatian Masyarakat Terhadap Ketenaganukliran di Indonesia



Sumber Gambar : <https://ezkhelenergy.blogspot.com/2011/07/pltn-solusi-atasi-krisis-energi-listrik.html>

Peraturan Pemerintah No.43/2006 tentang perizinan Reaktor Nuklir tertanggal 15 Desember 2006 (PLTN)



Masyarakat : NUKLIR = BOM



Perhatian Masyarakat Terhadap Ketenaganukliran di Indonesia

- Ketenaganukliran bukan hanya berkaitan dengan daya (PLTN), senjata (Bom nuklir)
- Ketenaganukliran mencakup semua aspek yang berkaitan dengan nuklir (RADIASI)
- Perlu diawasi

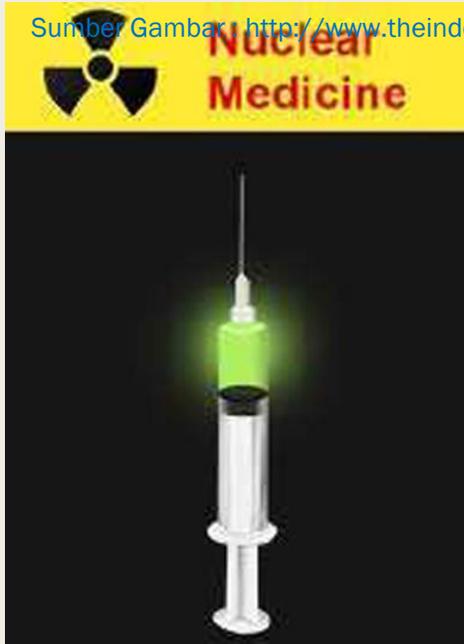


Tugas Pokok BAPETEN

Melaksanakan pengawasan terhadap segala kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir dengan menyelenggarakan peraturan, perizinan dan inspeksi.

BERKEMBANGNYA PERANGKAT MEDIS BERBASISKAN “NUKLIR” (RADIASI)

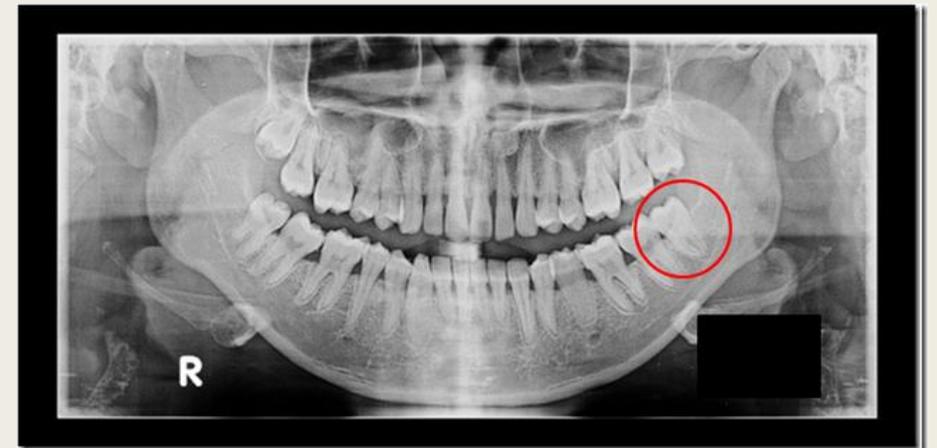
Sumber Gambar: <http://www.theindependentbd.com/arcprint/details/122623/2017-11-08>



POSITRON EMISSION TOMOGRAPHY (PET)
COMPUTED TOMOGRAPHY (CT)



RONTGENT SINAR-X



Perbandingan Jumlah Pasien dan Jumlah Perangkat ?

PENELITIAN BERBASISKAN “NUKLIR” (RADIASI)



PRAKTIKUM DI LABORATORIUM MENGGUNAKAN BAHAN RADIOAKTIF

BATAN



Pengetahuan terhadap Proteksi Radiasi ?

APLIKASI RADIASI DI INDUSTRI



- Masyarakat kurang perhatian terhadap Ketenaganukliran ?
 - Upaya Proteksi Radiasi ?

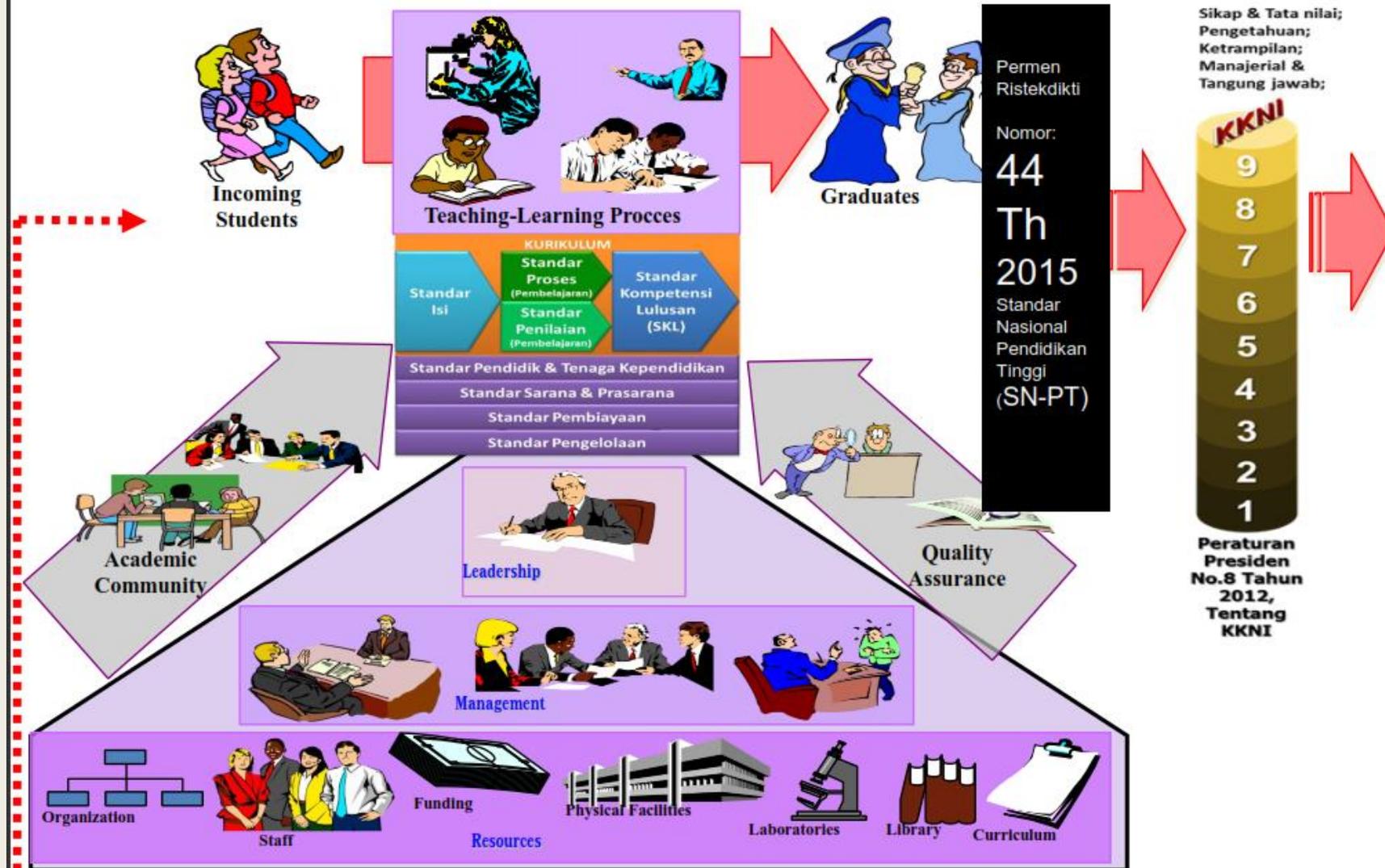


Kewajiban PT dalam Melaksanakan Tri Dharma Perguruan Tinggi

UU No. 12 Tahun 2012 :

- Tridharma adalah kewajiban Perguruan Tinggi untuk menyelenggarakan Pendidikan, penelitian, dan pengabdian kepada masyarakat.
- Pendidikan Tinggi berfungsi: mengembangkan Sivitas Akademika yang inovatif, responsif, kreatif, terampil, berdaya saing, dan kooperatif melalui pelaksanaan Tridharma;
- Perguruan Tinggi memiliki otonomi untuk mengelola sendiri lembaganya sebagai pusat penyelenggaraan Tridharma
- Perguruan Tinggi dapat berbagi sumberdaya dengan masyarakat untuk pelaksanaan Tridharma

Sistem Pendidikan Tinggi



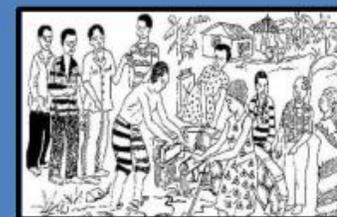
Tujuan Dikti



Intelektual, Ilmuwan, atau Profesional yang beriman bertaqwa, berakhlak mulia, berbudaya, kreatif, Berkarakter tangguh



Karya Penelitian untuk Kemaslahatan bangsa, negara, dan manusia



Pengabdian Kepada Masyarakat

Sumber : Sutrisna Wibawa, (Rapat Perencanaan Pengawasan Proses Bisnis Perguruan Tinggi Negeri), Yogyakarta, 29 Maret 2017.

Optimalisasi Peran Pendidikan Tinggi



**Mahasiswa
Sebagai Sumber
Daya Kreatif
Inovatif**



**Lulusan Kreatif
Inovatif**



**(Mahasiswa & Dosen)
Peningkatan Jumlah
dan Mutu Penelitian**

**Mendukung Iptek
sebagai kekuatan
utama
peningkatan
kesejahteraan
yang
berkelanjutan dan
peradaban bangsa**

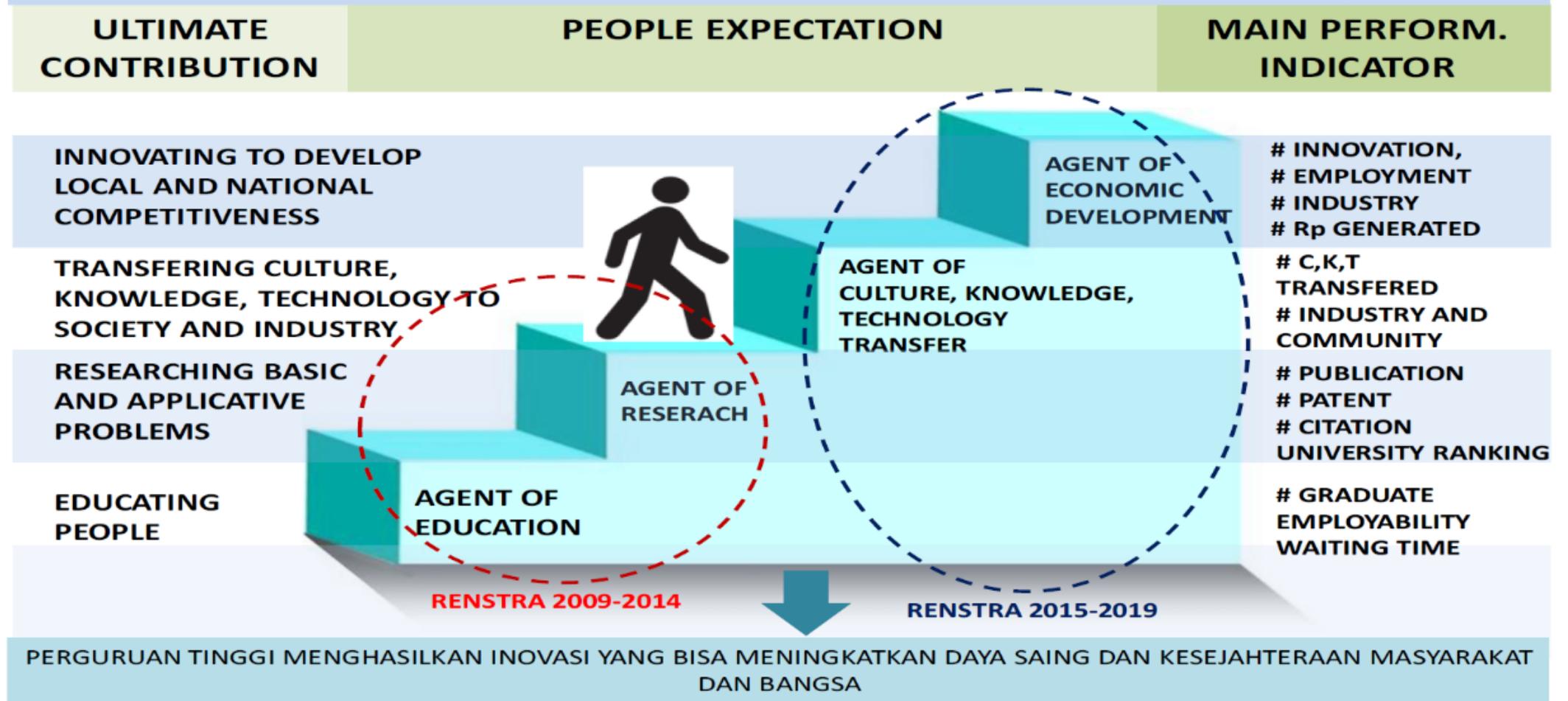
Meningkatkan
SDM Iptek
khususnya
ketercukupan
jumlah dosen,
ilmuwan, dan
perekayasa.

Pengembangan IPTEK

Penelitian-penelitian **Perguruan Tinggi** dihilirkan
untuk mendatangkan manfaat langsung kepada
masyarakat.

Optimalisasi Peran Pendidikan Tinggi

"...university encompasses a 'third-mission' of economic development in addition to research and teaching." Readings (1996)



Sumber : Sutrisna Wibawa, (Rapat Perencanaan Pengawasan Proses Bisnis Perguruan Tinggi Negeri), Yogyakarta, 29 Maret 2017.

Perguruan tinggi yang berdaya saing :

- 1 **Perubahan dan pembaruan pendidikan** yang mengkombinasikan **keunggulan akademiknya, kebutuhan pasar, dan kebutuhan masyarakat.**
- 2 **Keunggulan penelitian**, kreativitas, dan kegiatan entrepreneurial. Lulusan yang berdaya saing global (*hardskill* dan *softskill*)
- 3 Kerjasama/Sinergi dengan industri, pemerintah, asosisasi profesi, lembaga pendidikan dan pengujian di dalam dan luar negeri. Termasuk pertukaran dosen dan mahasiswa.
- 4 Penajaman **Kurikulum.**
- 5 **Akreditasi: Peningkatan mutu secara berkelanjutan (Akreditasi Nasional & Internasional) → *World Class University.***

Peran UB dalam Ketenaganukliran di Indonesia

- Upaya UB dalam melaksanakan TriDharma PT terkait Ketenaganukliran:
 - *Pendidikan* :
 - Memberikan pelatihan dan pendidikan bagi Dosen dalam upaya Proteksi Radiasi (TOT PPR Medik 2)
 - Menghasilkan lulusan yang berkaitan dengan ketenaganukliran: bidang keminatan Fisika Medis dan Biofisika

Peran UB dalam Ketenaganukliran di Indonesia

- Upaya UB dalam melaksanakan TriDharma PT terkait Ketenaganukliran:
 - *Penelitian* :
 - Penelitian yang berkaitan dengan aspek ketenaganukliran (mis: system proteksi radiasi, pengembangan detector radiasi)
 - Pengembangan penelitian dalam bidang Fisika Medis (mis: pengembangan medium berpotensi anti radikal bebas)

Peran UB dalam Ketenaganukliran di Indonesia

- Upaya UB dalam melaksanakan TriDharma PT terkait Ketenaganukliran:
 - *Pengabdian pada Masyarakat :*
 - Bekerja sama dengan instansi terkait (RSSA, BATAN) dalam pengembangan system deteksi radiasi dan pengukuran radiasi.



Tantangan bagi UB dalam Ketenaganukliran di Indonesia

A. Sesuai dengan RENSTRA KEMENRISTEK DIKTI 2015-2019 (Permenristek No.50 Tahun 2017) :

- *Universitas Brawijaya Harus Mampu Berperan Aktif dalam Penyempurnaan Undang Undang Ketenaganukliran sesuai dengan kebutuhan lingkungan strategis (Rancangan Undang-Undang tentang Perubahan atas Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran)*

Tantangan bagi UB dalam Ketenaganukliran di Indonesia

A. Sesuai dengan RENSTRA KEMENRISTEK DIKTI 2015-2019 (Permenristek No.50 Tahun 2017) :

- *Universitas Brawijaya harus ikut berkontribusi dalam penelitian, pengembangan, dan penerapan IPTEK (P3-IPTEK) bagi peningkatan daya saing sektor produksi, khususnya Layanan Pengawasan Tenaga Nuklir*

Tantangan bagi UB dalam Ketenaganukliran di Indonesia

A. Sesuai dengan RENSTRA KEMENRISTEK DIKTI 2015-2019 (Permenristek No.50 Tahun 2017) :

– *Layanan Pengawasan juga mencakup Layanan Pengawasan Tenaga Nuklir :*

- pengawasan penggunaan tenaga nuklir di industri, pertanian, kesehatan, dan energi dengan strategi meningkatkan pengawasan secara kredibel dan terpercaya,
- serta meningkatkan kapasitas dan kualitas pengawasan penggunaan tenaga nuklir

Tantangan bagi UB dalam Ketenaganukliran di Indonesia

B. Universitas Brawijaya harus mampu menjadikan lembaganya sebagai *Center of Excellent* :

- *Menyiapkan lembaga pendidikan dan pelatihan yang berkaitan dengan ketenaganukliran*
- *Lembaga tersebut menjadi Pusat Layanan Unggulan untuk ketenaganukliran.*
- *Civitas Akademik di Universitas Brawijaya berperan aktif dalam mengoptimalkan kesadaran akan proteksi radiasi di masyarakat, mis: Sosialisasi, dll*

Penutup

- Peningkatan pengetahuan masyarakat dalam hal proteksi radiasi (ketenaganukliran) harus melibatkan seluruh elemen yang ada
- Peran Perguruan Tinggi sangat dibutuhkan guna mendukung BAPETEN menjalankan Tugas Pokok dan Fungsinya.
- Universitas Brawijaya harus mampu menjadi *center of excellent* dalam ketenaganukliran di Indonesia.



Thank

you

