

Prosiding

SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR

2014



Tema:

“Penguatan Pengawasan untuk Ekosistem Ketenaganukliran yang Harmonis”

Badan Pengawas Tenaga Nuklir
(BAPETEN)

Jl. Gajah Mada No. 8 Jakarta Pusat 10120
Telp. (62-21) 63858269/70, Fa

PROSIDING SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2014
“Penguatan Pengawasan untuk Ekosistem Ketenaganukliran yang Harmonis”

Prosiding

SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2014



Tema:

“Penguatan Pengawasan untuk Ekosistem Ketenaganukliran yang Harmonis”

**Badan Pengawas Tenaga Nuklir
(BAPETEN)**

**Jl. Gajah Mada No. 8 Jakarta Pusat 10120
Telp. (62-21) 63858269/70, Fax. (62-21) 63858275
Website: <http://www.bapeten.go.id>**

SUSUNAN PANITIA SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2014 BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR

1. **Pengarah** : Kepala BAPETEN
Deputi PKN
Deputi PI
Sestama
2. **Penanggung Jawab** : Kepala P2STPFRZR
3. **Penyelenggara**
 - Ketua** : Rini Suryanti, M.Si
 - Sekretariat** : 1. Eny Erawati, ST
2. Intanung Syafitri, S.Si
3. Iswandarini
4. Anna Riefqi Chandra S., SE
 - Sie Persidangan**
 - Koordinator** : Drs. Soegeng Rahadhy, M.Eng.Sc
 - Anggota** : 1. Dra. Leily Savitri
2. Diella Ayudhya Susanti, ST
3. Lilis Susanti S.,ST
4. Zalfy Hendry Eka Putra, M.T
5. Putri Suryo Dinoto, ST
6. Liya Astuti, ST
7. Ardhiantoro Setya Purnomo, SST
8. Nurhadiansyah, ST
 - Sie Dokumentasi Ilmiah dan Prosiding**
 - Koordinator** : Rusmanto, M.Si
 - Anggota** : 1. Drs. Togap Marpaung, PGD
2. Muttaqin Margo Nirwono, M.Sc (Layout)
3. Gloria Doloressa, MKKK
4. M. Alfian, ST
5. Wawan Susanto, SST
6. Rini Setyaningsih, A.Md
4. **Penilai Makalah**
 - Koordinator merangkap Anggota:** Dr. Judi Pramono, M.Eng
 - Anggota Penilai** : 1. Dr. Eng. Abdul Waris (ITB)
2. Dr. Andang Widiharto, MT (UGM)
3. Prof. Dr. Djarwani (UI)
4. Dr. Syahrir (BATAN)
5. Dr. Setyanto (BATAN)
6. Dr. Eng. Yus Rusdian Akhmad
7. Drs. Azhar, M.Sc.
8. Ir. Budi Rochman M.Sc.
9. Ishak, M.Si

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena penyelenggaraan Seminar Keselamatan Nuklir (SKN) Tahun 2014 telah sukses terselenggara pada tanggal 25 Juni 2014 di Jakarta, dengan tema “Penguatan Pengawasan Untuk Ekosistem Ketenaganukliran yang Harmonis”. Dengan tema ini BAPETEN berharap, seluruh pemangku kepentingan, dan masyarakat profesional (ekosistem) ketenaganukliran dapat meningkatkan jalinan kerjasama dan menemukan pola komunikasi yang tepat untuk sama-sama mewujudkan tujuan pengawasan ketenaganukliran, sehingga diperoleh harmoni yang indah dalam sebuah ekosistem.

Seminar Keselamatan Nuklir Tahun 2014 ini, dihadiri oleh 250 peserta yang berasal dari berbagai universitas dan instansi pemerintah. Mereka merupakan pemangku kepentingan yang tersebar di Indonesia. Pada seminar ini dihadiri oleh pembicara kunci dari Kemenristek, pembicara tamu dari UGM dan ITB, 39 orang penyaji oral maupun poster dengan makalah sebanyak 41 makalah.

Makalah yang disajikan dalam prosiding ini dibagi menjadi pemakalah oral dan poster sesuai kelompok sebagai berikut:

1. Keselamatan dan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif (Kesehatan, Industri, Penelitian, Lingkungan), dan Keamanan Sumber Radioaktif.
2. Keselamatan dan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir (Reaktor Daya, Reaktor Riset, Penambangan Bahan Nuklir, Proses dan Pemanfaatan Bahan Nuklir, Pengelolaan Limbah Radioaktif, Introduksi PLTN) dan Keamanan Instalasi dan Bahan Nuklir.

Panitia mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah ikut berpartisipasi dan mensukseskan penyelenggaraan Seminar Keselamatan Nuklir ini serta mohon maaf atas segala kekurangan penyelenggaraan. Semoga Prosiding ini dapat menjadi sumber informasi dan acuan yang bermanfaat.

Jakarta, 25 Juni 2014



Rini Suryanti, M.Si
Ketua Panitia

AGENDA PELAKSANAAN SEMINAR KESELAMATAN NUKLIR 2014

JAKARTA, 25 JUNI 2014

Waktu	Agenda	Keterangan
08.00 – 08.30	Registrasi	Panitia
08.30 – 09.00	Pembukaan: 1. Laporan 2. Sambutan dan Pembukaan	1. Ketua Panitia 2. Kepala BAPETEN
09.00 – 09.30	Pembicara Kunci	Menteri Negara RISTEK
09.30 – 09.45	REHAT KOPI	
09.45 – 10.30	Presentasi Pembicara Tamu 1: Small and Medium Nuclear Power Plant	DR. Zaki Su'ud (ITB)
10.30 – 10.45	DISKUSI SESI 1	
10.45 – 11.30	Presentasi Pembicara Tamu 2: Harmonisasi Ekosistem Ketenaganukliran dalam Perspektif Nilai-Nilai Indonesia	Drs. Suparjan, M.Si (UGM)
11.30 – 11.45	DISKUSI SESI 2	
11.45 – 12.15	Pengantar Sidang Poster	
12.15 – 13.00	ISHOMA	
13.00 – 13.30	Presentasi Poster	
	Presentasi ORAL Sesi 1	
	Kelompok A (FRZR)	Kelompok B (IBN)
13.30 – 13.40	OA01: Suhaedi Muhammad	OB01: As Natio Lasman
13.40 – 13.50	OA02: Werdi Putra Daeng Beta	OB02: Anggoro Septilarso
13.50 – 14.00	OA03: BY Eko Budi Jumpeno	OB03: Bambang Eko Riyadi
14.00 – 14.15	Diskusi	Diskusi
14.15 – 14.25	OA04: Nanang Triagung Edihermawan	OB04: Donni Taufiq
14.25 – 14.35	OA05: Gloria Doloressa	OB05: Hermawan Puji Yuwana
14.35 – 14.45	Diskusi	Diskusi
14.45 – 15.00	REHAT KOPI	
	Presentasi ORAL Sesi 2	
	Kelompok A (FRZR)	Kelompok B (IBN)
15.00 – 15.10	OA06: Soegeng Rahadhy	OB06: Widia Lastana Istanto
15.10 – 15.20	OA07: Suhaedi Muhammad	OB07: Azizul Khakim
15.20 – 15.30	OA08: Togap Marpaung	OB08: Ainu Ibnu Khotob
15.30 – 15.45	Diskusi	Diskusi
15.45 – 15.55	OA09: Leily Savitri	OB09: Endang Susilowati
15.55 – 16.05	OA10: Vatimah Zahrawati	OB10: Dewi Apriliani
16.05 – 16.15	Diskusi	Diskusi
16.15 – 16.30	Penutupan : 1. Perumusan 2. Penutupan	1. Ketua Panitia 2. Deputi Pengkajian Keselamatan Nuklir BAPETEN

DAFTAR ISI

Susunan Panitia	ii
Kata Pengantar	iii
Agenda Pelaksanaan	iv
Daftar Pustaka	v

MAKALAH PENYAJI ORAL BIDANG FASILITAS RADIASI DAN ZAT RADIOAKTIF

Kajian Keselamatan Instalasi Produksi Radioisotop Berdasarkan Perka BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013	3
Suhaedi Muhammad, Rr. Djarwanti RPS, Farida T	
Pengembangan Sistem Inspeksi Keselamatan Radiasi terhadap Kegiatan Pengangkutan Zat Radioaktif	7
Nanang Triagung Edi Hermawan	
Komunikasi Efektif sebagai Kompetensi Inspektur Pengawasan Pemanfaatan Tenaga Nuklir di Indonesia	13
Gloria Doloressa	
Proteksi Radiasi Pasien pada Pemeriksaan CT-Scan	20
Soegeng Rahadhy, Intanung Syafitri	
Pengaruh Pola Aliran Udara Daerah Kerja di Instalasi Produksi Radioisotop dan Radiofarmaka bagi Kesehatan Pekerja Radiasi	25
Suhaedi Muhammad, Rr. Djarwanti RPS, Farida T	
Tinjauan Sanksi Administratif terkait Penegakan Hukum di Bidang Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif	29
Togap P. Marpaung	
Pengawasan Paparan Pekerja di Fasilitas Radiologi Intervensial	34
Leily Savitri, Wawan Susanto	
Kajian Perubahan IAEA Transport Safety Requirement TS-R-1 Tahun 2009 menjadi SSR-6 Tahun 2012 dalam Rangka Amandemen Peraturan Pemerintah Nomor 26 Tahun 2002	39
Vatimah Zahrawati	

MAKALAH PENYAJI ORAL BIDANG INSTALASI DAN BAHAN NUKLIR

Teknologi Reaktor Homogen dan Pengawasannya	47
As Natio Lasman	
Telaah Isi Laporan Penilaian Keselamatan Berkala Reaktor Nondaya	51
Anggoro Septilarso	
Identifikasi Ketentuan Keselamatan untuk Penyusunan Peraturan Kepala BAPETEN dalam Rangka Pembangunan Reaktor Nondaya Berbahan Bakar Cair	55
Bambang Eko Aryadi	
Penciptaan Kondisi Keamanan dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir: Sebuah Tinjauan Hukum	60
Donni Taufiq	
Pengembangan Pengaturan Persyaratan Laboratorium Uji Bungkusan Zat Radioaktif Berdasarkan Dokumen IAEA-SSR-6 Tahun 2012	64
Nanang Triagung Edi Hermawan, Hermawan Puji Yuwono, Nurhadiansyah	
Evaluasi Aspek Penuaan dalam Rangka Perpanjangan Izin Reaktor Nuklir	69
Widia Lastana Istanto	
Analisis Subkritisitas Fabrikasi Bahan Bakar UMo dan UZr	73
Azizul Khakim	

Konsep PLTN dengan Desain <i>Ball in Bowl</i>78	Ainul Ibnu Khotob, Belliany Dian Asmara Hadi, Khanif Pramusinto
Kontribusi Pengoperasian Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy dalam Pengembangan Reaktor Daya di Indonesia81	Endang Susilowati
Peran Forensik Nuklir dalam Investigasi Kejadian Keamanan Nuklir di Indonesia86	Dewi Apriliani

MAKALAH PENYAJI POSTER BIDANG FASILITAS RADIASI DAN ZAT RADIOAKTIF

Strategi Penyusunan Program Proteksi dan Keselamatan Radiasi di Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka Berdasarkan Perka BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 Kendala dan Alternatif Solusinya95	Rr. Djarwanti RPS, Arif Imam Nugroho, Eko Letariningsih
Analisis Tingkat Radioaktivitas Udara di STTN-BATAN Yogyakarta98	Zainal Abidin
Penggunaan Statistik untuk Evaluasi Implementasi Penggunaan Perlengkapan Proteksi Radiasi oleh Alumni STTN yang Bekerja Sebagai PPR di Industri 104	Supriyono, Ghalih Renai Kesuma, Toto Trikasjono
Konsep Pengaturan Produksi Barang Konsumen yang Mengandung Zat Radioaktif di Indonesia 109	Hesty Rimadianny, Ika Andesmawati
Membangun Strategi Nasional dalam Pengawasan <i>Orphan Source</i> 114	Aris Sanyoto, Wahyu Ramdhan, Ilham Hidayat
Usulan Dokumen Persyaratan Perijinan dan Penerapan Program Jaminan Mutu pada Konstruksi dan Operasi Iradiator Kategori I dan II 118	Anet Hayani, Nugraha Dwi Santosa
Optimasi Pembuatan Perunut PSA Total 122	Gina Mondrida, Sutari, Triningsih, Sri Setyowati, Puji Widayati, Agus Ariyanto, V. Yulianti S, Wening Lestari
Kajian Pelemahan Budaya Keselamatan di Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir BATAN 127	W. Prasud, Joko Nurhamid dan Asep Nana Sutresna
Memahami Penetapan Pasal 43 Ayat (1) Huruf b, Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2011 131	Togap P Marpaung

MAKALAH PENYAJI POSTER BIDANG INSTALASI DAN BAHAN NUKLIR

Analisis Kekritisitas Tabung Hidriding di IEBE dengan Menggunakan Program Komputer Scale6.1 137	Agus Waluyo
Studi Lahan Gambut dalam Evaluasi Tapak PLTN 141	Arifin M. Susanto, Akhmad Khusyairi
Studi Perbandingan Regulasi Ketentuan Penilaian Keselamatan Berkala Reaktor Nondaya di Indonesia 146	Niniek Ramayani, Amil Mardha, Syarip
Kajian Keandalan Material Tabung Pembangkit Uap PWR 149	S. Nitiswati, Alim Mardhi
Kajian Keselamatan <i>Storage</i> Uranium di IEBE Sebagai Tempat Simpan Bahan Bakar Nuklir 152	Nudia Barenzani, Ghaib Widodo, dan Nur Tri Harjanto
Evaluasi Desain Simulator PLTN Tipe PWR1000 156	Muhammad Subekti dan Muhammad Darwis Isnaini

Kinerja Code_Saturne pada Komputasi Paralel Multi Cores PC	161
Bintoro Aji, M. Tahril Aziz	
Kebijakan Pemerintah terhadap Keselamatan Reaktor Daya Komersial (PLTN)	165
Bambang Riyono, Yanuar Wahyu Wibowo, Yudi Pramono, Dahlia Cakrawati Sinaga	
Kompetensi Dasar untuk Kualifikasi Petugas Keselamatan Kekritisasi pada Instalasi Nuklir Nonreaktor	169
Imron, Ardiyani Eka P	
Verifikasi Pengaruh Kebocoran FPM terhadap Keselamatan Operasi Reaktor RSG-GAS.....	174
Daddy Setyawan	
Kajian Batasan Kandungan Mineral Ikutan Uranium dan Thorium dalam Pengolahan Hasil Tambang.....	179
Eko H. Riyadi & Bambang Eko Aryadi	
Tinjauan Mengenai Implementasi Sistem Informasi Manajemen Berbasis Digital Arsip dalam Rangka Peningkatan Mutu Pelayanan Perizinan Instalasi dan Bahan Nuklir	184
Widi Laksmono, Ardiyani Eka Patriasari	
Tinjauan Mengenai Implementasi Peraturan Dekomisioning Instalasi Nuklir di Indonesia.....	188
Wiryo, Gede Ardana Mandala, Nur Rahmad Yusuf, Ardiyani Eka Patriasari	



Seminar Keselamatan Nuklir 2014
Makalah Penyaji Oral
Bidang Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif

Prosiding
**Seminar
Keselamatan
Nuklir**
2014



Seminar Keselamatan Nuklir 2014 Makalah Penyaji Oral Bidang Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif

Prosiding
Seminar
Keselamatan
Nuklir
2014

KAJIAN KESELAMATAN INSTALASI PRODUKSI RADIOISOTOP BERDASARKAN PERKA BAPETEN NOMOR 4 TAHUN 2013

Suhaedi Muhammad¹, Rr. Djarwanti RPS², Farida T³

^{1,3}Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi-BATAN

²Pusat Tekonologi Radioisotop dan Radiofarmaka-BATAN

e-mail: suhaedi.muhammad62@gmail.com

ABSTRAK

KAJIAN KESELAMATAN INSTALASI PRODUKSI RADIOISOTOP BERDASARKAN PERKA BAPETEN NOMOR 4 TAHUN 2013. Sesuai dengan Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir, pemegang izin (PI) bertanggung jawab atas proteksi dan keselamatan radiasi di instalasinya. Untuk menerapkan Proteksi dan Keselamatan Radiasi, PI harus menyusun, melaksanakan, dan mengembangkan program proteksi dan keselamatan radiasi. Penyusunan program proteksi dan keselamatan radiasi ini salah satunya harus didasarkan atas kajian keselamatan. Sejak Peraturan Kepala BAPETEN 04/2013 berlaku sampai saat ini belum ada PI yang menyusun kajian keselamatan khususnya untuk Instalasi Produksi Radioisotop. Oleh karena itu tulisan ini bertujuan untuk memberikan informasi bagi PI dalam menyusun kajian keselamatan untuk Instalasi Produksi Radioisotop. Berdasarkan Peraturan Kepala BAPETEN 04/2013 Pasal 50, kajian keselamatan untuk instalasi produksi radioisotop di dalamnya berisi: sifat, besar dan kemungkinan terjadinya paparan potensial, batasan dan kondisi teknis untuk pengoperasian sumber, kemungkinan terjadinya kegagalan struktur, sistem dan komponen yang terkait dengan proteksi dan keselamatan radiasi yang mengarah pada terjadinya paparan potensial dan konsekuensinya jika terjadi kegagalan, kemungkinan terjadinya kesalahan prosedur operasi yang terkait dengan proteksi dan keselamatan radiasi dan konsekuensi jika terjadi kesalahan, perubahan rona lingkungan yang mempengaruhi proteksi dan keselamatan radiasi serta dampak dilakukannya modifikasi sumber terhadap proteksi dan keselamatan radiasi. Dengan adanya uraian tentang kajian keselamatan untuk instalasi produksi radioisotop ini diharapkan PI dapat melengkapi program proteksi dan keselamatan radiasi sehingga dapat diimplementasikan secara tepat dan benar.

Kata Kunci: kajian keselamatan, instalasi, radioisotop

ABSTRACT

SAFETY STUDY FOR RADIOISOTOPE INSTALLATION PRODUCTION BASED ON BCR NUMBER 4 YEAR 2013. In accordance with the Chairman Regulation of the Nuclear Energy Regulatory Agency (BAPETEN) No. 4 Year 2013 on Radiation Protection And Safety In Nuclear Energy Utilization, licensee (PI) is responsible for the protection and safety of radiation in installation. To implement the Safety and Radiation Protection, the PI must prepare, implement, and develop radiation protection and safety program. Preparation of radiation protection and safety program is one of them must be based on the safety assessment. Since the BCR No. 4 of 2013 BAPETEN force until now there has been no study of the safety of PI compiled specifically for Radioisotope Production Installation. Therefore, this paper aims to provide information for the PI in developing safety studies for Radioisotope Production Installation. Under this BCR Article 50, for the installation of safety assessment contains the radioisotope production: nature, great potential and the possibility of exposure, limits and technical conditions for the operation of the source, the possibility of failure of structures, systems and components associated with protection and safety of radiation exposure that leads to the occurrence and the potential consequences if a failure occurs, the possibility of errors associated with the operating procedures and safety radiation protection and the consequences if something goes wrong, the hue changes affecting environmental protection and safety of radiation sources and the impact of modifications done to the protection and radiation safety. With the description of the safety assessment for the installation of PI radioisotope production is expected to complement the radiation protection and safety program that can be implemented appropriately and correctly.

Keywords: safety assessment, installation, radioisotope

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir N 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir, pemegang izin (PI) dari sebuah instalasi yang memiliki dampak radiologi tinggi seperti instalasi produksi radioisotop bertanggung jawab atas proteksi dan keselamatan radiasi di instalasi yang dipimpinnya. Dalam menerapkan Proteksi dan Keselamatan Radiasi, PI harus menyusun, melaksanakan, dan mengembangkan program proteksi dan keselamatan radiasi. Penyusunan program proteksi dan keselamatan radiasi ini harus didasarkan atas evaluasi radiologik dan kajian keselamatan.

Sesuai dengan Perka BAPETEN 04/2013 Pasal 50, pemegang izin dalam menyusun kajian keselamatan paling sedikit harus meliputi: sifat, besar dan kemungkinan terjadinya paparan potensial, batasan dan kondisi teknis untuk pengoperasian sumber, kemungkinan terjadinya kegagalan struktur, sistem dan komponen yang terkait dengan proteksi dan keselamatan radiasi yang mengarah pada terjadinya paparan potensial dan konsekuensi jika terjadi kegagalan, kemungkinan kesalahan prosedur operasi yang terkait dengan proteksi dan keselamatan radiasi dan konsekuensi jika terjadi kesalahan, perubahan rona lingkungan yang mempengaruhi proteksi dan keselamatan radiasi serta dampak dilakukannya modifikasi sumber terhadap proteksi dan keselamatan radiasi.

2. METODOLOGI

Bahan-bahan yang digunakan dalam penyusunan tulisan tentang kajian keselamatan pada instalasi instalasi yang memiliki dampak radiologi tinggi seperti instalasi produksi radioisotop ini terdiri dari dokumen *Health Physics* dan *Preliminary Design volume* 1-8 yang dikeluarkan oleh *Medhi Physics*, Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007 Tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif, dan Perka BAPETEN 04/2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir [1,2,3].

Metode yang digunakan dalam penyusunan evaluasi radiologik pada pengoperasian instalasi produksi radioisotop ini adalah:

1. Kajian terhadap dokumen-dokumen tersebut di atas.
2. Kajian terhadap sistem pengoperasian dan perawatan instalasi produksi radioisotop.
3. Kajian penerapan Perka BAPETEN 4/2013 dalam penyusunan kajian keselamatan pada instalasi produksi radioisotop.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Sifat, Besar Dan Kemungkinan Terjadinya Paparan Potensial

Di instalasi produksi radioisotop, sumber paparan potensial dapat terjadi karena adanya kehilangan sumber daya, gangguan sistem VAC, gangguan pada fasilitas produksi dan kegagalan proses produksi [1,2,3].

3.1.1. Kehilangan Sumber Daya

Kehilangan sumber daya di fasilitas produksi radioisotop khususnya untuk peralatan-peralatan kritis seperti sistem ventilasi dengan kapasitas separuh dari total yang ada, fan keluar dengan kapasitas penuh, blower keluar *hot cell*, sistem monitor radiasi dan sistem alarm, jaringan listrik untuk pengoperasian peralatan keselamatan dan lampu-lampu penerangan darurat dan pompa pengisian bahan bakar gasoline untuk generator darurat dipandang sebagai salah satu potensi yang turut memberikan kontribusi terhadap terjadinya paparan potensial [1,2].

Jika sumber daya (baik normal maupun darurat) secara mendadak tidak berfungsi, maka akan mengakibatkan tidak berfungsinya sistem ventilasi, fan keluar, blower keluar *hot cell* (baik *hot cell* radioisotop maupun *hot cell* radiofarmaka), sistem monitor radiasi dan sistem alarm, jaringan listrik untuk pengoperasian peralatan keselamatan dan lampu-lampu penerangan darurat serta pompa pengisian bahan bakar gasoline.

Bila hal ini terjadi pada saat tengah berlangsungnya proses produksi radioisotop, maka diprediksi akan mengakibatkan terjadinya kontaminasi udara yang dapat berdampak terjadinya kenaikan paparan radiasi di daerah kerja yang mendekati atau bahkan melebihi nilai batas zonanya. Ini dikarenakan adanya material radioaktif yang keluar dari dalam *hot cell* [1,2].

3.1.2. Gangguan Sistem VAC.

Bila kondisi fasilitas produksi radioisotop khususnya sistem VAC sudah semakin tua maka dampaknya komponen sistem VAC yang ada sangat rentan rusak. Sistem VAC pada fasilitas produksi radioisotop umumnya terdiri dari sistem C-1 untuk suplai ruang *hot cell* dan sistem C-2 untuk suplai daerah kerja. Jika terjadi kerusakan pada sistem VAC ini bisa memberikan kontribusi terhadap terjadinya kenaikan paparan radiasi di fasilitas tersebut yang cukup signifikan [1,2].

Apabila terjadi gangguan pada sistem VAC, khususnya sistem C-1 yang mengakibatkan tekanan udara di dalam *hot cell* tidak lebih negatif dari luar *hot cell*, maka ventilasi *hot cell* akan tidak ber-

fungsi. Jika ini terjadi maka dapat mengakibatkan keluarnya bahan radioaktif (hasil fisi) dari dalam *hot cell* sehingga diprediksi dapat mengakibatkan terjadinya kenaikan tingkat kontaminasi udara yang dapat berdampak terjadinya kenaikan paparan radiasi yang cukup signifikan di daerah kerja yang mendekati atau bahkan melebihi nilai batas zonanya. Sedangkan bila terjadi gangguan pada sistem C-2, maka dapat mengakibatkan terganggunya pola aliran udara antara ruangan. Bila ruangan-ruangan yang terganggu pola aliran udaranya memiliki tingkat kontaminasi udara yang cukup tinggi, maka akan terjadi penyebaran kontaminasi udara antar ruangan yang juga dapat mengakibatkan terjadinya kenaikan paparan radiasi yang cukup signifikan di daerah kerja yang mendekati atau bahkan melebihi nilai batas zonanya [1,2].

3.1.3. Gangguan pada Fasilitas Produksi

Jika kondisi fasilitas produksi radioisotop sudah semakin menua, sementara frekuensi pemakaiannya relatif cukup sering, maka fasilitas produksi tersebut sangat rentan mengalami kerusakan. Gangguan fasilitas produksi yang memberikan kontribusi terhadap terjadinya kenaikan paparan radiasi yang cukup signifikan di daerah kerja adalah kerusakan sistem *master slave manipulator*, kerusakan sistem *conveyor* dan kerusakan sistem *plug door* (pintu belakang *hot cell*) [1,2].

3.1.3.1. Kerusakan Sistem Master Slave Manipulator

Bila terjadi kerusakan pada sistem *master slave manipulator* di mana untuk keperluan perbaikannya mengharuskan *master slave manipulator* dikeluarkan dari tempatnya pada *hot cell*, maka bisa memberikan kontribusi terhadap terjadinya kenaikan paparan radiasi yang cukup signifikan di sekitar lokasi *hot cell* yang mendekati atau bahkan melebihi nilai batas zonanya karena adanya lepasan material radioaktif yang menempel pada bagian lengan manipulator yang ada di dalam *hot cell* dan pada lubang tempat keluarnya lengan tersebut [1,2].

3.1.3.2. Kerusakan Sistem Conveyor.

Jika terjadi gangguan pada sistem *conveyor* yang mengakibatkan terganggunya sistem transfer barang antar *hot cell*, di mana untuk keperluan perbaikannya mengharuskan seorang pekerja radiasi masuk ke dalam *hot cell* (dengan mengikuti ketentuan proteksi radiasi), maka bisa memberikan kontribusi terhadap terjadinya kenaikan paparan radiasi yang cukup signifikan di sekitar lokasi belakang *hot cell* tersebut yang mendekati atau bahkan melebihi nilai batas zonanya [1,2].

3.1.3.3. Kerusakan Sistem Plug Door.

Adanya kegiatan buka-tutup *plug door hot cell* (pintu bagian belakang *hot cell*) baik untuk keperluan pemasukan dan pengeluaran barang dari dan ke dalam *hot cell* untuk keadaan tertentu yang sifatnya sangat terpaksa dapat memberikan kontribusi terhadap terjadinya kenaikan paparan radiasi yang cukup signifikan di belakang *hot cell*. Ini disebabkan permukaan lantai di bagian bawah meja *hot cell* memiliki tingkat kontaminasi permukaan yang jauh lebih tinggi dari lantai di area belakang *hot cell* yang mendekati atau bahkan melebihi nilai batas zonanya [1,2].

3.1.4. Kegagalan Proses Produksi

Kegagalan proses produksi radioisotop khususnya ^{99}Mo yang dapat mengakibatkan adanya paparan potensial ini umumnya terjadi pada tahap proses pelarutan di mana salah satunya disebabkan oleh adanya kebocoran wadah pelarutan. Pada saat pelarutan tekanan di dalam wadah akan naik mencapai 100 Psig atau lebih dengan suhu 1000°C. Perkiraan adanya kegagalan tersebut dapat terjadi lantaran kesalahan operator atau adanya kerusakan sistem peralatan. Kerusakan terjadi terutama sekali pada septum karet di ujung *T-section*. Bila terjadi kerusakan pada septum karet ini, maka

akan terjadi kebocoran dan pelepasan semua Yodium hasil belah, semua gas mulia hasil belah dan semua larutan hasil belah dalam bentuk *spray* [1,2].

Penyebaran radionuklida baik pada daerah kerja maupun di udara luar pada saat terjadi kecelakaan sangat ditentukan oleh karakteristik pola aliran udara di daerah kerja dan keadaan meteorologi di sekeliling gedung instansi produksi radioisotop. Pelepasan material radioaktif yang berasal dari Instalasi Produksi Radioisotop merupakan sumber paparan radiasi potensial baik untuk personil yang berada di dalam maupun di luar gedung instalasi [1,2].

3.2. Batasan dan Kondisi Teknis untuk Pengoperasian Sumber

Batasan dan kondisi teknis untuk pengoperasian sumber yang terkait dengan keselamatan di fasilitas produksi radioisotop meliputi untuk proses produksi radioisotop, sistem VAC, sistem catu daya dan sistem proteksi kebakaran.

Batasan dan kondisi teknis untuk proses produksi radioisotop di antaranya terdiri dari: waktu peluruhan sasaran hasil iradiasi ^{235}U yaitu selama 6 jam, waktu pendinginan target dengan nitrogen cair setelah peluruhan yaitu selama 30 menit, kondisi *T-section* sebelum proses produksi radioisotop hasil belah ^{235}U harus lolos uji kebocoran, tekanan di dalam wadah harus 100 Psig, suhu di dalam wadah harus 1000°C dan komponen yang sudah digunakan pada proses produksi radioisotop hasil belah ^{235}U (khususnya *T-section*) tidak boleh digunakan lagi [1,2].

Batasan dan kondisi teknis untuk sistem VAC di antaranya terdiri dari: batasan tekanan udara (zona I harus lebih negatif dari area perkantoran, zona II harus lebih negatif dari zona I, zona III harus lebih negatif dari zona II dan *hot cell* harus lebih negatif dari zona III), kecepatan aliran udara (pola aliran udara dari daerah dengan tekanan positif ke daerah dengan tekanan negatif, kecepatan aliran udara di *hot cell* pada kondisi daya normal sebesar $1,2\text{ m}^3/\text{detik}$, pada kondisi daya darurat $0,71\text{ m}^3/\text{detik}$ dan pada saat perawatan *hot cell* $1,1\text{ m}^3/\text{detik}$), pertukaran udara di *hot cell* (38,79 Pertukaran Udara Perjam), sistem pompa (pompa *chiller*: 4 buah masing-masing 50 HP, pompa domestik: 2 buah masing-masing 50 HP, pompa hydrant 2 buah: 50 HP dan 10 HP, pompa AHU 5 buah, 3 buah: 50 HP dan 2 buah: 30 HP, dan pompa *exhaust* 7 buah masing-masing 50 HP), sistem filter *hot cell* (pada kondisi daya normal: 2 unit operasi dan 1 unit *standby*, pada kondisi daya darurat: 1 unit operasi dan 2 unit *standby* dan pada kondisi perawatan *hot cell*: 2 unit operasi dan 1 unit *standby* dan pemanasan udara buang: $43,3^\circ\text{C}$), sistem filter utama (*Exhaust Fan hot cell*: kondisi daya normal 2 unit beroperasi, kondisi daya darurat 1 unit beroperasi, pada saat perawatan 2 unit beroperasi), *hepa filter*: 18 buah untuk tiap-tiap perangkat filter, filter karbon aktif: 1 buah untuk tiap-tiap perangkat filter, medium filter: 18 buah untuk tiap-tiap perangkat filter dan pemanasan udara buang $43,3^\circ\text{C}$), sistem *chiller* (dengan kapasitas 150 TR untuk C-1, 150 TR untuk C-2 dan 200 TR untuk C-4 dan suhu air keluar *chiller* 50°C) [1,2].

Batasan dan kondisi teknis untuk sistem catu daya di antaranya terdiri dari: transformator untuk daya normal: 1 unit operasi dan 1 unit *standby* dengan output 2.000 kVA dan 350 kVA, sumber daya darurat: 2 unit *standby* dengan output 700 kVA dan 350 kVA serta waktu respon 5 detik [1,2].

Batasan dan kondisi teknis untuk sistem proteksi kebakaran di antaranya terdiri dari: sistem deteksi kebakaran (*smoke detector*) ada 147 buah berfungsi dengan baik minimal 1 *smoke detector* tiap ruang, sistem pemadam kebakaran (APAR: ada 32 buah, *sprinkler* ada 147 buah dan berfungsi dengan baik minimal 1 *sprinkler* tiap ruang serta sistem hydrant (ada 3 buah masing-masing dengan kapasitas 50 HP dan 2 buah masing-masing dengan kapasitas 2 HP) [1,2].

3.3. Kemungkinan Terjadinya Kegagalan Struktur, Sistem dan Komponen.

Pada instalasi produksi radioisotop terjadinya kegagalan struktur, sistem dan komponen yang berdampak pada terjadinya paparan potensial di antaranya dapat berasal dari [1,2,3]:

1. Gangguan sistem VAC yang mengakibatkan terganggunya tekanan negatif antar ruangan. Jika ini terjadi maka akan mengakibatkan terjadinya kontaminasi udara di daerah kerja yang berdampak kontaminasi interna bagi pekerja radiasi.
2. Gangguan pada sistem transportasi target hasil radiasi melalui kanal yang mengakibatkan terhambatnya target masuk ke dalam *entry cell*. Jika ini terjadi dapat mengakibatkan adanya paparan radiasi secara terus menerus pada permukaan air kanal.
3. Kebocoran pada sambungan antara *T-section* dengan kapsul target hasil iradiasi pada saat proses pemanasan saat produksi radioisotop. Jika ini terjadi maka akan mengakibatkan terjadinya kontaminasi udara di daerah kerja yang berdampak kontaminasi interna bagi pekerja radiasi serta kenaikan paparan radiasi di daerah kerja yang bisa melebihi nilai batas zonanya.
4. Gangguan pada sistem *conveyor* di dalam *hot cell* yang mengakibatkan terganggunya pemindahan barang antar *hot cell*. Jika ini terjadi maka perbaikannya harus membuka pintu *hot cell* dan masuk ke bawah meja *hot cell*. Ini dapat mengakibatkan adanya kemungkinan penerimaan paparan radiasi yang cukup besar dan kontaminasi bagi pekerja radiasi.
5. Kerusakan sistem *master slave manipulator* di mana perbaikannya harus mengeluarkan lengan manipulator dari dalam *hot cell* bagian depan. Ini dapat mengakibatkan adanya kemungkinan penerimaan paparan radiasi yang cukup besar dan kontaminasi bagi pekerja radiasi.
6. Kerusakan sistem filter pada *hot cell* di mana perbaikannya harus mengeluarkan rumah filter dari dalam *hot cell* bagian atas. Ini dapat mengakibatkan adanya kemungkinan penerimaan paparan radiasi yang cukup besar dan kontaminasi bagi pekerja radiasi.

3.4. Kemungkinan Terjadinya Kesalahan Prosedur Operasi.

Kesalahan prosedur operasi pada proses produksi radioisotop berupa sering dilewatinya tahap pemeriksaan kondisi *T-section* dan karet septa serta pemeriksaan hasil sambungan antara *T-section* dengan kapsul sasaran hasil iradiasi ketika akan dimulainya proses produksi. Dampaknya pada saat tahap pemanasan akan terjadi lepasan gas mulia yang cukup besar bahkan bisa melebihi batas yang diizinkan. Kondisi ini dapat mengakibatkan terjadinya kenaikan paparan radiasi di daerah kerja, kontaminasi udara dan kontaminasi permukaan yang nilainya bisa jauh lebih besar dari nilai batas zona yang ditetapkan serta kontaminasi interna bagi pekerja radiasi [1,2,3].

3.5. Perubahan Rona Lingkungan

Terjadinya perubahan rona lingkungan di sekitar instalasi produksi radioisotop seperti arah dan kecepatan angin, suhu dan kelembaban udara sangat mempengaruhi pola dispersi zat radioaktif ke lingkungan pada berbagai jarak yang berasal dari lepasan cerobong dan besarnya dosis yang diterima baik oleh masyarakat maupun lingkungan [1,2,3].

3.6. Dampak Dilakukannya Modifikasi Sumber

Pada proses produksi radioisotop (khususnya ^{99}Mo) tidak ada modifikasi sumber karena produk hasil bentuknya cairan. Pengalaman dari sebuah instalasi produksi radioisotop, modifikasi terhadap komponen produksi seperti *T-section* dan *Hosneck* (hanya diganti dengan produk lokal) ternyata pada tahap pemanasan berakibat tingginya nilai lepasan gas mulia sampai melebihi batas yang diizinkan (80.000 cpm) [1,2,3].

4. KESIMPULAN

Dari uraian tersebut di atas dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sumber paparan potensial yang ada instalasi produksi radioisotop berasal dari adanya kehilangan sumber daya, gangguan sistem VAC, gangguan pada fasilitas produksi dan kegagalan proses produksi.
2. Batasan dan kondisi teknis yang ada di instalasi produksi radioisotop secara garis meliputi untuk proses produksi radioisotop, sistem VAC, sistem catu daya dan sistem proteksi kebakaran.
3. Kegagalan sistem struktur dan komponen di instalasi produksi radioisotop dapat berupa: gangguan sistem VAC, gangguan pada sistem transportasi target hasil radiasi melalui kanal, kebocoran pada sambungan antara *T-section* dengan kapsul target hasil iradiasi, gangguan pada sistem *conveyor* di dalam *hot cell*, kerusakan sistem *master slave manipulator* dan kerusakan sistem filter pada *hot cell*.
4. Kesalahan prosedur operasi pada proses produksi radioisotop khususnya pada tahap pemanasan dapat menyebabkan terjadinya kenaikan paparan radiasi, kontaminasi udara dan kontami-

nasi permukaan.

5. Perubahan rona lingkungan sangat mempengaruhi pola dispersi zat radioaktif dan besarnya dosis yang diterima baik oleh masyarakat maupun lingkungan.
6. Di instalasi produksi radioisotop tidak ada modifikasi sumber yang berdampak terhadap proteksi dan keselamatan radiasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] - (1987); *Health Physics*; Medhi Physics.
- [2] - (1987); *Preeliminary Design vol. 1-8*; Medhi Physics.
- [3] **BAPETEN**, (2013); *Peraturan Kepala BAPETEN N 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir*; BAPETEN, Jakarta.



Seminar Keselamatan Nuklir 2014

Makalah Penyaji Oral

Bidang Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif

Prosiding
Seminar
Keselamatan
Nuklir
2014

PENGEMBANGAN SISTEM INSPEKSI KESELAMATAN RADIASI TERHADAP KEGIATAN PENGANGKUTAN ZAT RADIOAKTIF

Nanang Triagung Edi Hermawan

Direktorat Pengaturan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif, Badan Pengawas Tenaga Nuklir
Jln. Gajah Mada No. 8 Jakarta Pusat
n.triagung@bapeten.go.id

ABSTRAK

PENGEMBANGAN SISTEM INSPEKSI KESELAMATAN RADIASI TERHADAP KEGIATAN PENGANGKUTAN ZAT RADIOAKTIF. Sebagai bagian dari pemanfaatan tenaga nuklir, kegiatan pengangkutan zat radioaktif harus dilaksanakan dengan memenuhi semua persyaratan keselamatan radiasi. Untuk memastikan semua persyaratan keselamatan radiasi tersebut terpenuhi di lapangan, perlu dilaksanakan kegiatan inspeksi terhadap kegiatan pengangkutan zat radioaktif. Telah dilakukan kajian untuk pengembangan sistem inspeksi keselamatan radiasi terhadap kegiatan pengangkutan zat radioaktif. Inspeksi terhadap pengangkutan zat radioaktif harus dilaksanakan melalui strategi dan pendekatan khusus dengan prioritas yang mempertimbangkan zat radioaktif, bungkusan, serta mobilitas penggunaan. Inspeksi dapat dilakukan pada tahap persiapan bungkusan, pelaksanaan pengiriman, maupun paska penerimaan bungkusan zat radioaktif. Untuk melakukan inspeksi secara sistematis, efektif, dan efisien, inspektur harus mengacu kepada form isian inspeksi yang mencakup semua informasi subyek hukum terkait, serta semua persyaratan administrasi dan teknis. Terhadap temuan pelanggaran persyaratan keselamatan radiasi pengangkutan zat radioaktif harus dilakukan tindakan penegakan hukum melalui mekanisme peringatan tertulis, pencabutan persetujuan pengiriman, hingga pembekuan dan pencabutan izin sesuai dengan mekanisme peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Kata kunci: inspeksi, pengirim, penerima, pengangkut, keselamatan radiasi, dan pengangkutan zat radioaktif.

ABSTRACT

THE DEVELOPMENT OF INSPECTION SYSTEM FOR RADIATION SAFETY ON TRANSPORT OF RADIOACTIVE MATERIALS ACTIVITIES. As part of the utilization of nuclear energy, the transport of radioactive materials activities should be carried out in compliance with radiation safety requirements. To ensure all safety requirements are implemented, inspection should be carried out to the transport of radioactive materials activities. Studies have been done for the development of radiation safety inspection system for the transport of radioactive materials activities. Inspection strategies for the transport of radioactive materials must be implemented through a special approach with considering the priority related to the kinds of radioactive materials, package, and their mobility uses. Inspection can be done at the stage of preparation package, shipment process, and post-admission of package. To perform a systematic, effective, and efficient inspection, the inspector must refer to a form of inspection that covers all subjects related to legal information, as well as all the administrative and technical requirements. For inspection findings or the violation of radiation safety requirements for transport of radioactive materials, law enforcements must be carried out through the mechanism of written warning, revocation of shipment approval up to suspension and revocation license based on regulation mechanism.

Keywords: inspection, consignor, consignee, carrier, radiation safety, and transport of radioactive materials.

1. PENDAHULUAN

Kegiatan pengangkutan zat radioaktif merupakan salah satu pemanfaatan tenaga nuklir [1]. Di samping mempersyaratkan bahwa pengirim dan penerima wajib memiliki izin pemanfaatan, kegiatan pengangkutan zat radioaktif harus mendapatkan persetujuan pengiriman dari Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) [2]. Seiring dengan jumlah kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir di bidang penelitian dan pengembangan, kesehatan, serta industri, maka penggunaan zat radioaktif juga mengalami peningkatan. Hal ini juga berdampak dengan meningkatnya jumlah zat radioaktif yang harus diangkut dari suatu tempat ke tempat lain, baik untuk pengadaan zat radioaktif baru pada fasilitas baru, penggunaan pada kegiatan yang memiliki mobilitas tinggi, ataupun pada saat pelibahan atau pengiriman kembali sumber bekas.

Di samping pengawasan kegiatan pengangkutan zat radioaktif melalui mekanisme administrasi dalam bentuk persetujuan pengiriman, untuk memastikan agar kegiatan pengangkutan zat radioaktif berlangsung dengan memenuhi semua persyaratan ke-

selamatan, BAPETEN memiliki kewenangan untuk melakukan inspeksi [3]. Secara umum kegiatan inspeksi keselamatan radiasi pada saat pengangkutan zat radioaktif di Indonesia belum dilakukan. Beberapa inspeksi pengangkutan yang pernah dilakukan masih terbatas terhadap pengangkutan bahan nuklir dan sumber radioaktif untuk iradiator. Kedua jenis zat radioaktif tersebut memang memiliki potensi risiko yang tinggi, baik dari sisi bahaya radiasi maupun aspek politis serta isu keamanan.

Berkaitan dengan tugas pokok BAPETEN untuk melakukan pengawasan terhadap semua pemanfaatan tenaga nuklir di tanah air guna menjamin tercapainya keselamatan, keamanan, maupun kedamaian serta kelestarian lingkungan hidup, maka aspek pengawasan melalui inspeksi untuk kegiatan pengangkutan zat radioaktif perlu dikembangkan. Kajian pengembangan sistem inspeksi keselamatan radiasi terhadap kegiatan pengangkutan zat radioaktif ini dilaksanakan dengan tujuan: mengidentifikasi kegiatan pengangkutan zat radioaktif yang memiliki prioritas untuk diinspeksi; pengembangan inspeksi pengangkutan zat radioaktif pada tahap persiapan pengiriman; pengembangan inspeksi pengangkutan zat

radioaktif pada tahap pelaksanaan pengiriman; pengembangan inspeksi pengangkutan zat radioaktif pasca pelaksanaan pengiriman; pengembangan form isian hasil inspeksi pengangkutan zat radioaktif; perumusan tindak lanjut terhadap hasil temuan inspeksi.

Ruang lingkup pembahasan makalah ini dibatasi hanya menyangkut aspek keselamatan radiasi. Hal tersebut lebih diprioritaskan untuk mengembangkan sistem inspeksi terhadap kegiatan pengangkutan zat radioaktif dikarenakan sistem dan persyaratan keselamatan radiasi untuk pengangkutan relatif sudah mapan penerapannya dibandingkan dengan persyaratan keamanan pengangkutan zat radioaktif.

2. METODOLOGI

Kajian pengembangan sistem inspeksi keselamatan radiasi terhadap kegiatan pengangkutan zat radioaktif ini dilakukan dengan metode diskriptif melalui studi pustaka dengan tahapan langkah meliputi pengumpulan literatur dan informasi pendukung, analisis, diskusi dan pembahasan, serta penyusunan laporan. Ruang lingkup kegiatan inspeksi dibatasi hanya terhadap aspek persyaratan keselamatan radiasi. Pokok bahasan dalam kajian ini meliputi pengenalan prinsip keselamatan pengangkutan, identifikasi prioritas inspeksi, pengembangan inspeksi pada tahap persiapan, pelaksanaan, dan pasca pengiriman zat radioaktif, serta tindak lanjut terhadap hasil temuan inspeksi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Prinsip Keselamatan Pengangkutan

Dalam setiap pelaksanaan pengangkutan zat radioaktif, kendaraan angkut akan melintas pada jaringan lalu lintas umum, baik di darat, laut, maupun udara. Kondisi tersebut menyebabkan adanya interaksi atau persinggungan langsung antara bungkusan zat radioaktif ataupun kendaraan angkut terhadap masyarakat umum. Hal ini tentu saja menimbulkan adanya potensi bahaya paparan radiasi, terlebih jika sampai terjadi kecelakaan yang mengakibatkan zat radioaktif terlepas dari kungkungan bungkusannya. Untuk mengantisipasi hal tersebut, bungkusan zat radioaktif didesain sedemikian rupa untuk mampu bertahan, baik dalam kondisi normal ataupun saat terjadinya kecelakaan, sehingga potensi paparan radiasi terhadap pekerja, masyarakat, dan lingkungan hidup tetap tidak membahayakan.

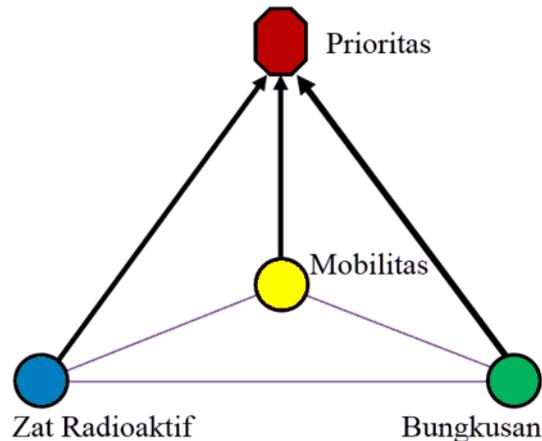
Prinsip utama keselamatan radiasi yang harus dipenuhi oleh bungkusan dalam kegiatan pengangkutan zat radioaktif, meliputi kemampuan bungkusan untuk [2,4]: mengungkung zat radioaktif dan paparan radiasi di dalam bungkusan; memastikan paparan radiasi di luar bungkusan dalam batas aman; untuk pengangkutan bahan nuklir, memastikan kondisi subkritis tetap terjaga; dan melepaskan panas yang ditimbulkan dari proses peluruhan zat radioaktif.

Untuk memastikan prinsip keselamatan sebagaimana tersebut di atas terpenuhi, maka setiap bungkusan harus didesain, diproduksi, dan diuji sesuai dengan ketentuan dan persyaratan keselamatan pengangkutan zat radioaktif yang berlaku.

3.2. Prioritas Inspeksi

Kegiatan pengangkutan zat radioaktif merupakan pergerakan bungkusan dari satu tempat ke tempat lain. Meskipun BAPETEN memberikan persetujuan pengiriman dalam jangka waktu tertentu, namun pemilihan hari dan waktu pelaksanaan pengiriman diserahkan sepenuhnya kepada pengirim dalam rentang waktu berlakunya persetujuan pengiriman. Dengan demikian kondisi di lapangan akan sangat dinamis. Hal ini tentu saja sangat mempengaruhi strategi perencanaan dan pelaksanaan inspeksi yang

efektif karena menyangkut dana dan sumber daya manusia yang diperlukan.



Gambar 1: Penentuan prioritas pelaksanaan inspeksi pengangkutan

Dengan memperhatikan dinamika keadaan di lapangan dan tingkat potensi bahaya radiasi yang mungkin ditimbulkan untuk setiap jenis bungkusan zat radioaktif, maka beberapa hal harus dipertimbangkan untuk menentukan prioritas inspeksi, di antaranya aktivitas zat radioaktif, tipe atau jenis bungkusan, serta frekuensi atau mobilitas zat radioaktif. Secara skematis, penentuan prioritas inspeksi diperlihatkan pada **Gambar 1**.

Berdasarkan **Gambar 1**, prioritas inspeksi terhadap kegiatan pengangkutan zat radioaktif merupakan akumulasi dari aspek zat radioaktif, tipe atau jenis bungkusan, serta tingkat mobilitas berkaitan dengan penggunaannya. Semakin besar aktivitas, semakin tinggi spesifikasi bungkusan yang dipergunakan, serta semakin tinggi mobilitas penggunaannya, maka kegiatan pengangkutan tersebut harus mendapatkan prioritas untuk diinspeksi terlebih dahulu atau lebih sering. Beberapa contoh pengangkutan zat radioaktif yang perlu mendapatkan prioritas inspeksi yang tinggi, di antaranya pengangkutan bahan nuklir, sumber radioaktif baru yang memiliki aktivitas tinggi, serta pengangkutan sumber radioaktif untuk kegiatan radiografi industri dan *well logging*.

3.3. Strategi Inspeksi

Sebagaimana telah diatur di dalam peraturan perundang-undangan, inspeksi terhadap kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir (termasuk pengangkutan zat radioaktif), dapat dilaksanakan secara berkala atau sewaktu-waktu, baik dengan atau tanpa pemberitahuan [3]. Kegiatan pengangkutan zat radioaktif merupakan kegiatan transaksional yang lebih khusus, sehingga memerlukan pendekatan strategi inspeksi yang khusus pula. Karena sifat transaksional tadi, maka inspeksi terhadap kegiatan pengangkutan zat radioaktif bukanlah inspeksi berkala atau rutin. Strategi inspeksi sewaktu-waktu, baik dengan atau tanpa pemberitahuan lebih sesuai diterapkan untuk pengangkutan.

Dalam pelaksanaan inspeksi sewaktu-waktu dengan pemberitahuan, meskipun diistilahkan sebagai inspeksi sewaktu-waktu tetapi pelaksanaan tetap dalam rentang waktu berlakunya persetujuan pengiriman yang diterbitkan BAPETEN. BAPETEN harus melakukan koordinasi dan komunikasi dengan pengirim, pengangkut, atau penerima. Hal ini sangat berkaitan dengan kapan dan di lokasi mana inspeksi pengangkutan akan dilaksanakan, pada saat persiapan pengiriman di tempat pengirim, selama di perjalanan, atau pasca pengiriman di tempat penerima.

Meskipun BAPETEN dapat melaksanakan inspeksi mendadak tanpa pemberitahuan, tetapi cara tersebut tidak mudah diterapkan. Dikarenakan pelaksanaan pengiriman dilakukan dalam rentang

waktu berlakunya persetujuan pengiriman sedangkan bungkusan juga dalam kondisi *mobile*, maka di mana dan kapan inspeksi dilaksanakan menjadi sangat spekulatif. Hal ini tentu saja memerlukan sumber daya yang lebih ekstra.

Untuk melaksanakan inspeksi terhadap kegiatan pengangkutan zat radioaktif, strategi yang paling efisien adalah inspeksi mendadak dengan pemberitahuan, baik kepada pengirim, pengangkut, atau penerima. Namun demikian, jika memang diperlukan inspeksi mendadak tanpa pemberitahuan khususnya jika berkaitan dengan pengangkutan lintas batas, maka BAPETEN dapat bekerja sama dan berkoordinasi dengan otoritas di lintas batas, seperti pihak bea dan cukai, atau pengelola pelabuhan/ bandara. Dengan demikian tim inspektor BAPETEN cukup bersiap siaga di titik lintas batas. Di samping inspeksi untuk kegiatan pengangkutan zat radioaktif dilaksanakan secara khusus, inspeksi juga dapat dilaksanakan bersamaan dengan inspeksi keselamatan nuklir yang lain, termasuk inspeksi safeguards untuk bahan nuklir. Hal ini dimaksudkan untuk menekan sumber daya yang harus dikeluarkan.

Secara umum daftar pemeriksaan persyaratan administrasi maupun teknis untuk memastikan semua persyaratan keselamatan radiasi yang harus dipenuhi oleh pengirim, pengangkut ataupun penerima dapat dilihat pada bagian Lampiran Makalah.

3.4. Inspeksi pada Tahap Persiapan Pengiriman

Inspeksi pada tahap ini dilakukan untuk memastikan pengirim memenuhi semua persyaratan bungkusan pada saat mempersiapkan bungkusan. Inspeksi akan lebih baik jika dilaksanakan langsung pada saat pengirim mempersiapkan bungkusan, mulai dari pemilihan kesesuaian antara isi zat radioaktif dan pembungkus, pengukuran paparan radiasi pada permukaan luar bungkusan, penentuan indeks angkutan dan/atau indeks keselamatan kekritisan, penentuan kategorisasi bungkusan, pemasangan tanda, label, dan/atau plakat di permukaan bungkusan, pembungkus luar ataupun kendaraan angkut, hingga pemuatan dan penempatan bungkusan di dalam kendaraan angkut. Di samping aspek teknis, aspek administrasi juga harus diperiksa, seperti persetujuan pengiriman dan kelengkapan dokumen pengangkutan, termasuk semua hal yang berkaitan dengan tanggung jawab dan kewajiban pengirim.

Apabila tim inspektor tidak dapat menyaksikan langsung kegiatan persiapan bungkusan, maka sebelum bungkusan diangkut atau sebelum kendaraan angkut diberangkatkan, semua persyaratan harus diperiksa secara seksama. Beberapa persyaratan utama yang harus dipertimbangkan untuk inspeksi pada saat persiapan pengiriman, di antaranya meliputi [5]:

1. manajemen di pihak pengirim dan/atau penerima memastikan terdapat personil yang berkualifikasi dan segala sumber daya untuk melaksanakan persiapan dan/atau pelaksanaan pengangkutan zat radioaktif sesuai dengan ketentuan peraturan;
2. manajemen di pihak pengirim dan/atau penerima memastikan terdapat pelatihan untuk setiap personil dalam melaksanakan pengangkutan untuk memenuhi ketentuan peraturan;
3. pengirim menggunakan tipe bungkusan yang sesuai dengan isi zat radioaktif yang akan diangkut;
4. pengirim mematuhi ketentuan paparan radiasi pada permukaan bungkusan, indeks keselamatan angkut dan/atau indeks keselamatan kekritisan, serta kategorisasi bungkusan secara benar;
5. pengirim memastikan pemasangan tanda, label, dan plakat dengan benar;
6. pengirim mempersiapkan semua dokumen pengangkutan, termasuk prosedur-prosedur yang diperlukan;
7. pengirim memastikan pengangkut memenuhi persyaratan pengangkutan secara umum sebagaimana diatur peraturan perundang-undangan di bidang perhubungan;
8. pengirim memastikan pengangkut memahami semua isi dokumen pengangkutan.

3.5. Inspeksi pada Tahap Pelaksanaan Pengiriman

Untuk kegiatan inspeksi terhadap pelaksanaan pengangkutan zat radioaktif pada saat pelaksanaan pengiriman, subyek hukum utama yang terlibat langsung adalah pengangkut. Untuk melaksanakan inspeksi secara efektif dan efisien, strategi inspeksi ini diprioritas untuk pelaksanaan pengangkutan zat radioaktif dengan penggunaan tunggal (*exclusive use*) melalui moda angkutan darat, baik kendaraan angkutan jalan raya atau kereta api.

Beberapa kondisi persyaratan pengangkutan zat radioaktif pada saat pelaksanaan pengiriman yang memerlukan perhatian utama, di antaranya:

1. pengangkut memiliki izin operasional kendaraan angkutan barang khusus atau barang berbahaya dan beracun dari instansi berwenang;
2. setiap kru pengangkut memiliki kompetensi untuk melaksanakan pengangkutan yang dibuktikan dengan surat izin personil dari instansi berwenang;
3. pengangkut menerima dan membawa semua dokumen pengangkutan yang diperlukan;
4. pengangkut menerima dan membawa instruksi atau prosedur kerja untuk penanganan, penyiapan, pemuatan, penyimpanan, penggunaan dan perawatan bungkusan;
5. pengangkut melaksanakan semua prosedur atau instruksi kerja;
6. pengangkut mematuhi ketentuan penandaan, pelabelan, dan pemasangan plakat dengan benar sesuai dengan ketentuan peraturan;
7. pengangkut melaksanakan segala hal yang terkait dengan bungkusan sesuai dengan ketentuan plakat, penempatan dan pemisahan bungkusan, khususnya pengendalian administratif dalam pengiriman dengan penggunaan tunggal ataupun pengawasan operasional tambahan sebagaimana ditentukan dalam persetujuan pengiriman dari Badan Pengawas;
8. prosedur yang ada harus mampu memperbaiki segala penyimpangan ketentuan peraturan yang terjadi di lapangan;

Agar dalam pelaksanaan inspeksi tidak menimbulkan gangguan arus lalu lintas, maka tim inspeksi harus bekerja sama dan berkoordinasi dengan pihak terkait, seperti kepolisian atau dinas perhubungan di tingkat pemerintah kota/kabupaten di mana lokasi inspeksi akan dilakukan.

3.6. Inspeksi Paska Pengiriman

Dalam keseluruhan kegiatan pengangkutan zat radioaktif, dari sudut pandang keselamatan radiasi, penerima merupakan subyek hukum yang memiliki beban tanggung jawab yang paling ringan. Pemeriksaan yang dilakukan untuk memastikan penerima melaksanakan semua kewajibannya, meliputi:

1. penerima melakukan pemeriksaan kondisi bungkusan pada saat menerimanya sesuai prosedur;
2. penerima memastikan berita acara serah terima antara pengangkut dan penerima yang ditandatangani oleh kedua belah pihak;
3. penerima melakukan pembongkaran bungkusan zat radioaktif sesuai dengan prosedur;
4. penerima memiliki dokumen rekaman setiap proses dan tahapan penerimaan bungkusan zat radioaktif.

Strategi inspeksi pasca pelaksanaan pengiriman dapat dilaksanakan secara langsung pada saat penerima menerima bungkusan zat radioaktif dari pengangkut, maupun jauh setelah peristiwa penerimaan berlangsung. Untuk langkah yang kedua, inspeksi dilaksanakan melalui pemeriksaan terhadap semua dokumen yang diperlukan pada saat pengangkutan maupun rekaman-rekaman kegiatan pengangkutan. Strategi ini akan lebih efisien jika dilakukan bersamaan dengan pelaksanaan inspeksi rutin untuk memeriksa fasilitas dan semua kegiatan yang berlangsung secara menyeluruh.

3.7. Pengembangan Form Inspeksi

Untuk melaksanakan inspeksi terhadap kegiatan pengangkutan zat radioaktif, selain peralatan dan perlengkapan inspeksi, inspektur juga harus dilengkapi dengan form isian inspeksi. Form ini berguna untuk memandu inspektur di lapangan dalam menggali data dan informasi yang berkaitan dengan penerapan semua persyaratan keselamatan radiasi pada saat pengangkutan. Dengan panduan tersebut, seorang inspektur akan dapat melaksanakan tugasnya secara sistematis dan berurutan sehingga pelaksanaan inspeksi akan dapat berlangsung secara efektif dan efisien.

Informasi umum yang harus diklarifikasi pada saat inspeksi meliputi pihak-pihak subyek hukum yang terlibat pada keseluruhan rangkaian kegiatan pengangkutan zat radioaktif, meliputi pengirim, penerima, dan pengangkut. Dalam informasi umum tersebut juga harus dicatat informasi tentang pelaksanaan inspeksi, mulai dari tim inspektur yang terlibat, tempat dan kapan dilakukannya inspeksi. Informasi umum sebagaimana dimaksud di atas secara rinci dapat dilihat di dalam **Tabel 1**.

Tabel 1: Informasi umum inspeksi pengangkutan zat radioaktif

1. Data Pengirim	
Nama Pengirim	: _____
Instansi Pengirim	: _____
Alamat Pengirim	: _____
2. Data Penerima	
Nama Penerima	: _____
Instansi Penerima	: _____
Alamat Penerima	: _____
3. Data Pengangkut	
Nama Personil Pengangkut	: 1. _____ 2. _____
Instansi Pengangkut	: _____
Alamat Instansi Pengangkut	: _____
4. Pelaksanaan Inspeksi	
Tim Inspektur	: 1. _____
Tempat Inspeksi	: _____
Tanggal Inspeksi	: _____

Setelah informasi umum didapatkan, maka tahapan inspeksi selanjutnya adalah menggali informasi lebih detail, baik berkaitan dengan persyaratan administrasi maupun teknis yang diperlukan pada sebuah kegiatan pengangkutan zat radioaktif. Kedua aspek persyaratan tersebut paling kurang meliputi informasi mengenai instansi atau perusahaan, moda angkutan, data zat radioaktif, pembungkus, bungkusan, penandaan, kendaraan angkut, personil, dokumentasi dan prosedur yang terkait. Secara detail dan rinci, data yang berkaitan dengan persyaratan administrasi dan teknis dapat dilihat di dalam **Tabel 2**.

3.8. Tindak Lanjut Temuan Inspeksi

Pelanggaran atau ketidaktaatan setiap ketentuan peraturan pengangkutan zat radioaktif yang ditemukan di lapangan pada saat inspeksi harus ditindaklanjuti oleh Badan Pengawas melalui tindakan penegakan hukum. Tindakan penegakan hukum merupakan setiap tindakan formal oleh Badan Pengawas terhadap setiap hasil temuan inspeksi. Tindakan penegakan hukum harus dilakukan sesuai dengan tingkat kerawanan aspek keselamatan maupun keamanan yang ditimbulkan akibat pelanggaran atau ketidaktaatan yang terjadi. Tindakan penegakan hukum dapat meliputi tindakan ataupun pemberian sanksi terhadap pengirim dan/atau penerima sebagai berikut [6]:

1. peringatan tertulis;
2. penghentian sementara pemanfaatan tenaga nuklir; dan
3. pencabutan izin pemanfaatan tenaga nuklir.

Peringatan tertulis diberikan berkenaan dengan pelanggaran, di antaranya dalam hal penentuan kategori bungkusan, indeks keselamatan kekritisan, pemberian tanda, label atau plakat pada bungkusan atau pembungkus luar oleh pihak pengirim.

Penghentian sementara kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir diberlakukan apabila pengangkutan dilakukan tanpa adanya persetujuan pengiriman dari BAPETEN. Dalam hal pelanggaran ini terulang kembali maka izin yang dimiliki pengirim atau penerima dapat dicabut.

Tabel 2: Data persyaratan administrasi dan teknis pengangkutan zat radioaktif

No	Data Administrasi/Teknis	Kesesuaian		Keterangan
		Ya	Tidak	
1.	Detail Instansi atau Perusahaan:			
	a. Izin pemanfaatan tenaga nuklir			
	Pengirim:			
	• Nomor:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	• Masa berlaku:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Penerima:			
	• Nomor:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Masa berlaku:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
b.	Persetujuan pengiriman:			
	• Nomor:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	• Masa berlaku:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
c.	Pelaksanaan pengiriman:			
	• Dari:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	• Tujuan:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2.	Moda Angkutan yang Digunakan:			
	• Darat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Jenis kendaraan:
	• Air	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	• Udara	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	• Penggunaan Tunggal (<i>Exclusive use</i>)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
• Penggunaan Bersama	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
3.	Data Zat Radioaktif:			
	• Radionuklida:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	• Tipe/No. Seri:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	• Aktivitas/Aktivitas Jenis:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	• Bentuk:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	• Sifat:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	• Sertifikat (<i>Special Form; Low Dispersible</i>):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Nomor:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Masa Berlaku:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	• Keterangan:			
4.	Pembungkus:			
	• Model:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	• No. Seri:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	• Kapasitas Maksimum:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5.	Bungkusan:			
	• Tipe/No. Seri:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	• Kategori:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	• Indeks Angkutan:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	• Paparan radiasi permukaan luar:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	• Indeks Keselamatan Kekritisan:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Khusus bahan fisil/UF ₆
	• Kesesuaian isi dan pembungkus:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Khusus bungkusan Tipe B, C, berisi bahan fisil/UF ₆
	Nomor Sertifikat:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Masa Berlaku:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	• Keterangan:			
6.	Kelengkapan Penandaan:			
	Tanda radiasi	<input type="checkbox"/> Ada <input type="checkbox"/> Tidak Ada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Pelabelan	<input type="checkbox"/> Ada <input type="checkbox"/> Tidak Ada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Plakat	<input type="checkbox"/> Ada <input type="checkbox"/> Tidak Ada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7.	Kendaraan Angkut:			Khusus pengguna tunggal
	Program perawatan	<input type="checkbox"/> Ada <input type="checkbox"/> Tidak Ada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Rekam perawatan	<input type="checkbox"/> Ada <input type="checkbox"/> Tidak Ada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Pemasangan plakat	<input type="checkbox"/> Ada <input type="checkbox"/> Tidak Ada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Muatan kendaraan			
8.	Penempatan bungkusan			
	Personil pengangkutan (Pengirim, Pengangkut, atau Penerima):			
	• Kecukupan pelatihan personil			
	• Kesesuaian pelatihan dengan program proteksi			
• Rekaman pelatihan	<input type="checkbox"/> Ada <input type="checkbox"/> Tidak Ada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9.	Dokumentasi:			
	• Kelengkapan dokumen pengangkutan			
	• Masa berlaku sertifikat zat radioaktif/bungkusan			
	• FC Sertifikat	<input type="checkbox"/> Ada <input type="checkbox"/> Tidak Ada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10.	Prosedur penanganan bungkusan:			
	• Penyiapan	<input type="checkbox"/> Ada <input type="checkbox"/> Tidak Ada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• Pemuatan	<input type="checkbox"/> Ada <input type="checkbox"/> Tidak Ada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• Penempatan di kendaraan angkut	<input type="checkbox"/> Ada <input type="checkbox"/> Tidak Ada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• Penempatan saat transit	<input type="checkbox"/> Ada <input type="checkbox"/> Tidak Ada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• Pembongkaran muatan	<input type="checkbox"/> Ada <input type="checkbox"/> Tidak Ada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• Serah terima	<input type="checkbox"/> Ada <input type="checkbox"/> Tidak Ada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• Kedaruratan	<input type="checkbox"/> Ada <input type="checkbox"/> Tidak Ada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	• Keterangan:			
	11.	Prosedur Penanganan Kedaruratan:		
		<input type="checkbox"/> Ada <input type="checkbox"/> Tidak Ada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4. KESIMPULAN

Inspeksi keselamatan radiasi terhadap kegiatan pengangkutan zat radioaktif harus dilaksanakan untuk memastikan semua keten-

tuan administrasi dan teknis yang telah dipersyaratkan dipenuhi di lapangan. Prioritas utama pelaksanaan inspeksi pengangkutan zat radioaktif harus mempertimbangkan faktor zat radioaktif dan bungkusan yang diangkut, serta frekuensi pengangkutan yang dilakukan. Inspeksi dapat dilaksanakan pada tahapan persiapan, pelaksanaan pengiriman, maupun pasca penerimaan bungkusan zat radioaktif. Untuk melakukan inspeksi secara sistematis, efektif, dan efisien, inspektur harus mengacu kepada form isian inspeksi yang mencakup semua informasi subyek hukum terkait, serta semua persyaratan administrasi dan teknis. Terhadap temuan pelanggaran persyaratan keselamatan radiasi pengangkutan zat radioaktif harus dilakukan tindakan penegakan hukum melalui mekanisme peringatan tertulis, pencabutan persetujuan pengiriman, hingga pembekuan dan pencabutan izin sesuai dengan mekanisme peraturan perundang-undangan yang berlaku.

TANYA JAWAB DAN DISKUSI

1. **Penanya :** Dida Nurlika (PT Berkat Jaya Mayandra)

Pertanyaan:

- Kualifikasi standar untuk pengangkutan dari aspek teknik apa saja?
- Apa ada standar khusus mengenai mobilitas atau alat transportasi?
- Apakah semua kendaraan bisa di pakai?
- Untuk kegiatan pengangkutan berkaitan dengan importasi ZRA, antara pihak importir dan pengguna? Siapa yang harus mengajukan persetujuan pengiriman?

Jawaban:

- Standar keselamatan radiasi dalam pengangkutan zat radioaktif mengacu kepada PP 26/2002 yang saat ini sedang dalam proses amendemen. Aspek teknis yang dipersyaratkan antara lain meliputi:
 - klasifikasi zat radioaktif yang akan diangkut;
 - kesesuaian antara zat radioaktif dan pembungkus;
 - klasifikasi bungkusan zat radioaktif;
 - penentuan Indeks Angkut dan Indeks Keselamatan Kekritisitas (khusus pengangkutan bahan nuklir);
 - pemasangan tanda, label, dan plakat pada bungkusan ataupun kendaraan angkut;
 - ketentuan penempatan dan pemisahan bungkusan di kendaraan angkut;
 - ketentuan mengenai transit kendaraan angkut.
- Ketentuan pengaturan alat transportasi atau kendaraan angkut diatur melalui peraturan-peraturan yang diterbitkan oleh Kementerian Perhubungan, termasuk bagaimana persyaratan kendaraan, pengemudi dan kru angkut.
- Secara prinsip pengangkutan zat radioaktif dapat dilakukan dengan moda angkutan darat, laut ataupun udara. Di PP 26/2002 (sedang diamandemen) diatur kondisi bungkusan yang boleh diangkut bersamaan barang kiriman lain ataupun harus dengan kendaraan khusus (*exclusive use*). Hal tersebut berkaitan dengan laju paparan radiasi pada permukaan bungkusan ataupun nilai Indeks Angkut. Untuk bungkusan dengan laju paparan di permukaan bungkusan antara 2-10 mSv/jam atau dengan Indeks Angkut lebih dari 10, harus diangkut dengan kendaraan khusus.
- Pengurusan persetujuan pengiriman menjadi tanggung jawab pengirim, untuk kegiatan importasi dimaksud siapakah yang dinyatakan dalam kontrak sebagai pengirimnya maka dialah yang harus mengajukan persetujuan pengiriman.

DAFTAR PUSTAKA

- Republik Indonesia** (1997); *Undang-undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran*; Setneg, Jakarta.
- Republik Indonesia** (2002); *Peraturan Pemerintah Nomor 26 Tahun 2002 tentang Keselamatan Pengangkutan Zat Radioaktif*; Setneg, Jakarta.
- Republik Indonesia** (2008); *Peraturan Pemerintah Nomor 29 Tahun 2008 tentang Perizinan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir*; Setneg, Jakarta.
- IAEA** (2012); *Regulation for the Safe Transport of Radioactive Material, SSR-6*; IAEA, Vienna.
- IAEA** (2009); *Compliance for the Safe Transport of Radioactive Material, TS-G-1.5*; IAEA, Vienna, 2009;
- BAPETEN** (2014); *Draf Rancangan Peraturan Pemerintah tentang Keselamatan Radiasi dan Keamanan dalam Pengangkutan Zat Radioaktif (Amandemen terhadap Peraturan Pemerintah No. 26 Tahun 2002 tentang Keselamatan Pengangkutan Zat Radioaktif)*; BAPETEN, Jakarta.

2. **Penanya :** Togap Marpaung (BAPETEN)

Pertanyaan:

- Siapa Subyek hukum yang dapat terkena sanksi apabila persyaratan keselamatan tidak dipenuhi?
- Agar dijelaskan penerapan sanksi administratif jika terjadi pelanggaran selama pengangkutan zat radioaktif sesuai dengan slide yang ditampilkan?

Jawaban:

- Subyek hukum pengaturan keselamatan pengangkutan zat radioaktif adalah pengirim dan penerima. Keduanya merupakan pemegang izin pemanfaatan tenaga nuklir dari BAPETEN. Penanggungjawab utama pengangkutan ZRA adalah pengirim, oleh karena itu sanksi yang bisa dikenakan terhadap pengirim berkaitan dengan ketentuan yang menjadi kewajibannya, seperti kesesuaian isi dan pembungkus, Indeks Angkut atau Indeks Keselamatan Kekritisitas, ketentuan tanda label & plakat, juga kendaraan pemilihan kendaraan angkut.

Adapun sanksi untuk penerima hanya berkaitan ketidakpatuhan terhadap ketentuan saat penerimaan bungkusan, seperti pemeriksaan bungkusan & berita acara serah terima.

Pengaturan lebih lanjut mengenai pengenaan sanksi terhadap temuan inspeksi pengangkutan zat radioaktif harus mengacu kepada peraturan pemerintah pengangkutan zat radioaktif yang saat ini dalam proses harmonisasi di Kementerian Hukum dan HAM.

- Kegiatan pengangkutan zat radioaktif pada umumnya merupakan proses transaksional sekali jalan, meskipun ada kegiatan penggunaan zat radioaktif tertentu yang memerlukan pengangkutan dengan mobilitas tinggi, seperti kegiatan radiografi industri dan well logging. KATUN yang dikeluarkan dalam rangka pengangkutan zat radioaktif berupa persetujuan pengiriman yang berbeda dengan tingkatan izin. Oleh karena itu pengenaan sanksi administratif dan penerapannya memerlukan strategi khusus.

Wacana wujud sanksi yang ditawarkan melalui makalah ini meliputi sanksi administratif berupa peringatan tertulis, pembekuan izin, dan pencabutan izin. Dikarenakan subyek hukum kegiatan pengangkutan zat radioaktif yang menjadi kewenangan pengawasan BAPETEN hanya Pengirim dan Penerima yang merupakan pemegang izin pemanfaatan tenaga nuklir, maka dua subyek hukum inilah yang dimungkinkan mendapatkan sanksi administratif apabila terdapat temuan inspeksi.

Sanksi peringatan tertulis diberikan terhadap kelalaian Pengirim dalam hal pemenuhan persyaratan kesesuaian bungkusan, penentuan Indeks Angkut dan/atau Indeks Keselamatan

Kekritisitas, serta pemasangan tanda, label dan plakat. Peringatan yang sama juga bisa diberikan terhadap Penerima terkait temuan tidak dipenuhinya ketentuan pemeriksaan bungkusan dan berita acara serah terima saat penerimaan bungkusan.

Sanksi pembekuan izin berkaitan dengan temuan akibat kelalaian ataupun kesengajaan Pengirim yang tidak memiliki persetujuan pengiriman, dan juga apabila terjadi insiden di lapangan yang menimbulkan bahaya radiasi. Adapun pencabutan izin dapat diberikan terhadap Pengirim yang melanggar ketentuan teknis, administratif persetujuan pengiriman, dan menimbulkan terjadinya kecelakaan yang membawa korban terpapar radiasi.

Mempertimbangkan pengangkutan yang bersifat transaksional tadi, mungkin bisa dipikirkan pemberian sanksi peringatan tertulis diberikan terhadap sejumlah temuan yang berturut-turut dalam beberapa kali inspeksi (bersifat akumulatif).

Sanksi administratif harus didasarkan pengaturan di tingkat peraturan pemerintah. Pada saat ini amandemen PP 26/2002 tentang Pengangkutan Zat Radioaktif sedang dalam proses harmonisasi di Kementerian Hukum dan HAM. Wacana mengenai sanksi administratif masih sangat dinamis didiskusikan. Namun demikian, hal yang harus selalu dikedepankan adalah kemampooterapan sanksi, mengingat kompleksitas dan kekhususan kegiatan pengangkutan zat radioaktif.



Seminar Keselamatan Nuklir 2014

Makalah Penyaji Oral

Bidang Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif

Prosiding
Seminar
Keselamatan
Nuklir
2014

KOMUNIKASI EFEKTIF SEBAGAI KOMPETENSI INSPEKTUR PENGAWASAN PEMANFAATAN TENAGA NUKLIR DI INDONESIA

Gloria Doloressa

Staf Bidang Penelitian dan Industri-P2STPFRZR-BAPETEN
Email : g.doloressa@bapeten.go.id

ABSTRAK

KOMUNIKASI EFEKTIF SEBAGAI KOMPENSI INSPEKTUR PENGAWASAN PEMANFAATAN TENAGA NUKLIR DI INDONESIA. Kemampuan Badan Pengawas dalam memenuhi tanggung jawabnya sangat bergantung pada kompetensi para pegawainya. Badan Pengawas harus mempertahankan efisiensi dan efektivitas dalam melaksanakan tanggung jawab dan fungsinya. Kegiatan inspeksi dan penegakan hukum meliputi semua bidang yang menjadi tanggung jawab Badan Pengawas. Badan Pengawas akan melakukan inspeksi untuk memastikan bahwa pemegang izin sudah memenuhi persyaratan keselamatan. Oleh karena itu inspeksi memiliki peran utama dalam memastikan telah dipatuhinya persyaratan keselamatan. Komunikasi merupakan keterampilan dasar seorang Inspektur, dan merupakan elemen penting dalam pelayanan, karena menyangkut kompetensi pengawas sebagai orang yang melayani. Komunikasi merupakan aktivitas inspektur mencurahkan waktunya untuk menginformasikan sesuatu dengan cara tertentu kepada pemegang izin dan personil yang terkait. Oleh sebab itu Inspektur dituntut agar dapat berkomunikasi secara efektif dengan semua pihak terutama pihak yang diawasi. Keberhasilan komunikasi merupakan kunci keberhasilan dalam mencapai tujuan, artinya bila Inspektur ingin berhasil dalam memberdayakan personil untuk berpartisipasi dalam mewujudkan keselamatan, maka kunci pertama yang harus dikuasai adalah kemampuan berkomunikasi. Kemampuan Inspektur mengembangkan komunikasi yang efektif merupakan salah satu keterampilan yang amat diperlukan dalam menciptakan fungsi pengawasan yang efektif.

Kata kunci : Inspektur, Kompetensi, Komunikasi Efektif

ABSTRACT

THE EFFECTIVENESS COMMUNICATION AS COMPETENCE OF REGULATORY INSPECTOR OF NUCLEAR ENERGY IMPLEMENTATION IN INDONESIA. The ability of the Regulatory Body in fulfilling its responsibilities very dependent on the competence of its employees. Regulatory Body must maintain the efficiency and effectiveness in carrying out responsibilities and functions. Inspection and enforcement activities cover all the areas that are the responsibility of the Regulatory Body. Regulatory Body will conduct inspections to ensure that the license holder has met the safety requirements. Therefore, the inspection has been a major role in ensuring compliance with safety requirements. Communication is a basic skill an inspector, and an important element in the service, because it involves the competence of inspectors as those who serve. Communication is the activity of inspectors devote time to inform something a certain way to permit holders and related personnel. Therefore, inspectors are required to be able to communicate effectively with all parties, especially those who regulated. The success of the communication is the key to success in achieving the goal, meaning that when the inspectors are to be successful in empowering personnel to participate in creating a safety, then the first key that must be mastered is the ability to communicate. Inspector ability to develop effective communication is one of the most necessary skills in creating an effective oversight function

Keywords : Inspector, Competence, Effective Communication.

1. PENDAHULUAN

Badan Pengawas harus menetapkan, menerapkan, menilai serta meningkatkan sistem manajemen yang selaras dengan tujuan keselamatan serta berkontribusi terhadap pencapaiannya. Badan Pengawas juga harus menetapkan dan menerapkan sistem manajemen yang memiliki proses secara terbuka dan transparan. Sistem manajemen Badan Pengawas harus dinilai dan ditingkatkan secara terus menerus. Badan Pengawas harus mempertahankan efisiensi dan efektivitas dari Badan Pengawas dalam melaksanakan tanggungjawab dan fungsinya. Badan Pengawas harus mempekerjakan sejumlah pegawai berkualitas dan kompeten dalam jumlah yang memadai, sebanding dengan sifat usaha serta banyaknya fasilitas dan kegiatan yang akan diregulasi, untuk menjalankan fungsi dan tanggungjawabnya.

Badan Pengawas harus mempunyai staf yang berkualitas dan kompeten secara tepat. Program sumber daya manusia harus dikembangkan yang menyatakan jumlah pegawai yang diperlukan

dan pengetahuan, keahlian serta kemampuan bagi mereka untuk melaksanakan seluruh fungsi regulasi yang diperlukan. Perencanaan sumber daya manusia bagi Badan Pengawas mencakup rekrutmen, serta rotasi pegawai dalam rangka untuk memperoleh pegawai dengan kompetensi dan keahlian yang tepat, serta mencakup strategi mengimbangi hengkangnya pegawai yang berkualitas.

2. POKOK BAHASAN

2.1. Kompetensi Pegawai Badan Pengawas

Badan Pengawas harus menstrukturisasi lembaganya dan mengelola sumberdayanya sehingga mampu melaksanakan tanggungjawab dan fungsinya secara efektif; hal ini harus dilakukan dengan cara yang sebanding dengan risiko radiasi yang terkait fasilitas dan kegiatan. Badan Pengawas harus mempekerjakan staf yang handal dan kompeten dalam jumlah yang memadai sebanding dengan

banyaknya fasilitas dan kegiatan yang diregulasi, sehingga mampu melaksanakan fungsinya secara bertanggung jawab.

Kemampuan Badan Pengawas dalam memenuhi tanggung jawabnya sangat bergantung pada kompetensi para pegawainya. Mengembangkan pengetahuan dan keahlian adalah merupakan investasi bagi setiap pegawai dan masa depan dari lembaga tersebut.

Persyaratan Keselamatan IAEA No. GSR Part. 1 tentang *Governmental, Legal and Regulatory Framework for Safety*; membahas tentang kompetensi Badan Pengawas dengan mensyaratkan bahwa: "Suatu proses harus dibentuk untuk mengembangkan dan mempertahankan kompetensi dan keahlian yang diperlukan oleh para staf Badan Pengawas, sebagai salah satu unsur penyelenggara manajemen pengetahuan. Proses tersebut harus mencakup pengembangan program pelatihan spesifik yang berdasarkan analisis kompetensi dan keahlian yang dibutuhkan. Program pelatihan tersebut harus mencakup beberapa prinsip, konsep dan aspek teknologi; serta prosedur yang harus diikuti oleh Badan Pengawas dalam menilai permohonan izin, pelaksanaan inspeksi dan penegakan hukum.

Badan Pengawas juga wajib untuk memiliki sistem manajemen dalam mengelola kegiatannya. Kompetensi manajemen harus terintegrasi ke dalam sistem manajemen. Transparansi dan auditabilitas, yang melekat pada sistem tersebut, memfasilitasi penilaian diri serta mendukung kepercayaan dari pihak yang berkepentingan dalam proses Badan Pengawas dan kompetensinya.

Mengelola kompetensi pegawai Badan Pengawas merupakan hal yang tidak mudah, disebabkan oleh pegawai yang pensiun serta tantangan dalam perekrutan dan penggantinya. Selain itu, berkurangnya kesempatan pendidikan yang lebih tinggi untuk bidang nuklir dan kondisi pasar yang kompetitif berdampak terhadap berkurangnya ketersediaan personil yang berkualitas bagi Badan Pengawas.

Dalam rangka untuk mengembangkan dan meningkatkan daya kompetensi Badan Pengawas untuk mencapai sasaran misinya secara efektif dan efisien, manajemen senior harus memastikan bahwa Badan Pengawas memiliki dan mempertahankan kompetensi yang sesuai dengan kebutuhannya. Belajar merupakan proses seumur hidup sehingga manajemen harus berkomitmen terhadap pengembangan yang berkelanjutan atas pegawai yang profesional, kompeten, fleksibel dan bermotivasi.

Dengan model kompetensi akan membuktikan bahwa penting bagi Badan Pengawas apalagi jika Badan Pengawas mengupayakan konsistensi kinerja pengawasan dan bagi pengembangan kualifikasi pegawai, perencanaan karir dan kemajuan profesional. Model kompetensi ini juga terbukti sebagai instrumen penting dalam mengarahkan Badan Pengawas untuk mewujudkan perubahan besar, khususnya bila sasaran strategis perlu disempurnakan dan seperangkat kompetensi yang baru diperlukan untuk menghadapi tantangan baru. Secara keseluruhan, suatu pendekatan yang berbasis kompetensi membentuk suatu inputan yang signifikan dalam proses pengembangan Badan Pengawas yang efektif dan tanggap terhadap lingkungan internal maupun eksternal, beserta tantangannya.

Sebagaimana diuraikan sebelumnya Kompetensi meliputi peringkat yang berbeda yaitu ilmu pengetahuan, keahlian dan sikap. Kompetensi memiliki satu atau lebih dari tingkatan, di antaranya yaitu tingkat dasar, terapan dan lanjutan pada bidang tertentu.

Setiap Badan Pengawas perlu menetapkan model kompetensi mereka sendiri, level kompetensi dan standar evaluasinya. Sebuah model kompetensi umum merupakan instrumen yang berharga bagi pengelolaan kompetensi di Badan Pengawas. Hal itu merupakan inputan berharga dalam pengembangan Badan Pengawas yang efektif yang tanggap terhadap lingkungan internal maupun eksternal, beserta tantangannya.

Setiap kuadran ditetapkan sekelompok kompetensi yang koheren dan konsisten didalam konteks masing-masing kuadran. Kuadran pertama mencakup kompetensi terkait dengan landasan hukum dan proses pengawasan yang memperkuat Badan Pengawas serta mengatur operasionalnya. Kompetensi yang terkait dengan ilmu dasar, terapan dan teknologi maju dikelompokkan dalam kuadran kedua. Kuadran ketiga mencakup kompetensi yang berkaitan dengan praktik pengawasan, seperti pengkajian, inspeksi, investigasi dan audit. Terakhir yaitu kompetensi yang terkait dengan kepribadian dan keefektifan interpersonal (umumnya dikenal dengan soft skills dan/atau faktor manusia) dimasukkan dalam kuadran keempat.

Komunikasi merupakan kompetensi yang melibatkan dialog yang efektif, representasi dan interaksi dengan pihak/orang lain (misalnya pemegang izin, kolega, dan masyarakat) melalui mendengar, berbicara, menulis atau penyampaian presentasi. Memahami kepentingan yang sebenarnya dari orang lain dan dapat dimengerti dalam menyampaikan pesan bermakna.

2.2. Inspeksi Sebagai Bagian dari Reviu dan Proses Penilaian Badan Pengawas

Dokumen TECDOC No. 1526 Tahun 2007 yang mengacu pada GS-R-1 mendefinisikan inspeksi sebagai sebuah kegiatan pemeriksaan, pengamatan, pengukuran atau pengujian yang dilakukan oleh Badan Pengawas untuk menilai struktur, sistem, material dan komponen, kegiatan operasional, proses, prosedur dan kompetensi personil.

Pelaksanaan inspeksi dapat dilakukan sebagai proses verifikasi dokumen yang disampaikan dalam permohonan perizinan. Inspeksi ini juga akan memberikan tambahan informasi dan data yang diperlukan oleh Badan Pengawas dalam melakukan reviu dan penilaian. Inspeksi sebagai bagian dari proses yang dilibatkan dalam melakukan reviu dan penilaian terhadap permohonan izin. Dalam keadaan tertentu Badan Pengawas akan memiliki detail kriteria umum persyaratan keselamatan radiasi untuk kegiatan pemanfaatan tertentu dan sumber radiasi. Peraturan kerja ditetapkan untuk memastikan kepatuhan terhadap pekerjaan dan nilai batas dosis masyarakat serta proteksi radiasi telah dioptimalkan. Kriteria ini pada umumnya diberikan kepada pemegang izin dalam bentuk kode peraturan atau pedoman. Dengan ketentuan bahwa program proteksi radiasi yang diajukan oleh pemohon izin dalam rangka perizinan adalah termasuk kegiatan pekerjaan yang sesuai dengan peraturan atau pedoman yang relevan, maka Badan Pengawas dapat memberikan izin tanpa inspeksi pra-operasional.

Bagian yang tidak terpisahkan dari pelaksanaan inspeksi yaitu penegakan hukum perlu diimplementasikan oleh Badan Pengawas untuk membenahi ketidakpatuhan pemegang izin dengan hukum yang relevan, peraturan-peraturan dan kondisi izin.

Kegiatan inspeksi dan penegakan hukum meliputi semua bidang yang menjadi tanggung jawab Badan Pengawas. Badan Pengawas akan melakukan inspeksi untuk memastikan bahwa pemegang izin sudah memenuhi persyaratan keselamatan. Kecelakaan atau insiden yang mengakibatkan paparan atau kontaminasi dengan dosis radiasi tinggi sering dikaitkan dengan kegagalan dalam mematuhi peraturan dan persyaratan keselamatan. Oleh karena itu inspeksi memiliki peran utama dalam memastikan telah dipatuhinya persyaratan keselamatan. Selain itu, Badan Pengawas harus mempertimbangkan kegiatan pemasok jasa dan produk untuk pemegang izin, misalnya perusahaan transportasi yang melakukan pengangkutan dan pengiriman sumber radioaktif, harus sesuai dengan peraturan pengangkutan. Badan Pengawas harus mempertimbangkan bahwa program penegakan hukum yang efektif adalah sebagai komponen kunci dari infrastruktur pengawasan untuk memastikan keberhasilan dari suatu tujuan keselamatan radiasi.

Tujuan utama dari inspeksi dan penegakan hukum, adalah untuk memastikan bahwa:

1. Fasilitas, peralatan dan prosedur kerja harus memenuhi semua persyaratan keselamatan. Sebagai contoh, desain fasilitas dan aspek operasional program proteksi radiasi yang berlaku seharusnya tidak diubah sehingga dapat membahayakan keselamatan radiasi. Ruangan berperisai atau modifikasinya harus sesuai dengan kriteria desain laju dosis eksternal serta tanda peringatan bahaya radiasi harus berada di tempat dan berfungsi dengan benar. Udara dan kontaminasi permukaan harus di bawah tingkat tertentu. Sumber radiasi meskipun tidak digunakan harus tersimpan di dalam kontennya masing-masing. Kalibrasi surveimeter dan detektor radiasi harus diperiksa secara rutin. Semua supervisor harus berada di tempat kerja selama jam kerja. Pelatihan berulang harus dilaksanakan sebagaimana yang ditetapkan dalam program proteksi radiasi. Prinsip optimisasi juga harus dipenuhi.
2. Dokumen dan instruksi yang memenuhi persyaratan keselamatan. Peraturan kerja lokal, terutama pada daerah kendali dan supervisi, harus tetap berlaku di setiap perubahan yang terjadi pada fasilitas ataupun personal. Inventarisasi sumber radiasi, logbook pemanfaatan sumber radioaktif, rekaman dosis perorangan, pemeriksaan kalibrasi detektor radiasi harus terus diperbaharui.
3. Orang-orang yang dipekerjakan oleh pemegang izin (termasuk kontraktor) memiliki kompetensi yang diperlukan untuk kinerja yang efektif dari fungsi mereka. Pekerja radiasi harus memiliki kualifikasi dan pelatihan keselamatan radiasi yang relevan dengan pekerjaan yang dilakukan. Rekaman pelatihan untuk setiap pekerja radiasi harus dipelihara.
4. Penyimpangan harus diidentifikasi dan diperbaiki tanpa penundaan waktu. Penyimpangan merupakan suatu kegagalan dalam mematuhi persyaratan keselamatan, misalnya penggunaan perisai yang tidak layak atau cacat. Penyimpangan lain dapat berupa kualifikasi dan pelatihan pekerja radiasi yang tidak memenuhi persyaratan keselamatan. Badan Pengawas harus memastikan bahwa setiap kekurangan atau penyimpangan telah terdeteksi pada inspeksi sebelumnya dan telah diperbaiki dengan jangka waktu yang telah ditetapkan.
5. Setiap pembelajaran sebagaimana mestinya harus diidentifikasi dan disebarluaskan kepada pemegang izin dan pemasok yang lain serta kepada Badan Pengawas. Badan Pengawas harus diberitahu mengenai insiden atau kecelakaan sehingga informasi mengenai kejadian semacam itu dapat dikomunikasikan kepada pemegang izin yang lain di mana kejadian tersebut terkait dengan keselamatan mereka.
6. Pemegang izin harus mengelola keselamatan secara memadai.

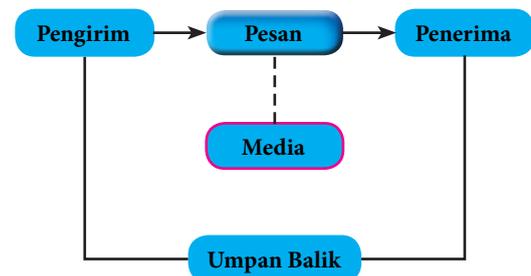
Fasilitas program proteksi radiasi harus diperbaharui sebagaimana yang diperlukan untuk mengakomodasi perubahan keadaan yang relevan dan harus diberitahukan kepada Badan Pengawas. Budaya keselamatan harus dibina dan dipertahankan.

Inspeksi seharusnya tidak mengurangi tanggung jawab utama pemegang izin terhadap keselamatan atau untuk menggantikan kegiatan pengendalian, supervisi dan verifikasi yang harus dilakukan oleh pemegang izin. Undang-undang akan menentukan hal-hal yang merupakan pelanggaran dan hukuman yang sepadan dengan pelanggaran tersebut. Dalam melaksanakan kewajiban dalam peraturan-perundangan maka Badan Pengawas :

- a. Harus melaksanakan inspeksi;
- b. Harus memastikan bahwa tindakan korektif akan dilakukan jika terdeteksi kondisi yang tidak aman atau berpotensi tidak aman; dan
- c. Harus mengambil tindakan hukum yang diperlukan dalam hal terjadinya pelanggaran persyaratan keselamatan.

2.3. Komunikasi Efektif

Komunikasi berasal dari perkataan “*Communicare*” yaitu yang di dalam bahasa latin mempunyai arti “berpartisipasi atau memberitahukan”, sedangkan perkataan “*Comunis*” berarti milik bersama ataupun “berlaku di mana-mana” atau juga berarti sama, sama di sini maksudnya sama makna. Jadi jika dua orang melakukan komunikasi misalnya dalam bentuk percakapan maka komunikasi akan berjalan atau berlangsung dengan baik selama ada kesamaan makna mengenai apa yang diperbincangkan. Collen McKenna mendefinisikan komunikasi sebagai proses pengiriman pesan kepada penerima dengan saling pengertian. Proses ini melibatkan beberapa komponen, yaitu pengirim pesan (*sender*), pesan yang dikirimkan (*message*), bagaimana pesan tersebut dikirimkan (*delivery channel* atau media), penerima pesan (*receiver*), dan unpan balik (*feedback*) yang diharapkan. *WHO say WHAT to WHOM in what CHANNEL*, yang disajikan dalam Gambar 1.



Gambar 1: Komunikasi efektif

2.4. Keterampilan Terpenting dalam Kepemimpinan

Kemampuan mengembangkan komunikasi yang efektif merupakan salah satu keterampilan yang amat diperlukan untuk pengembangan diri kita baik sebagai pemimpin maupun sebagai anggota sebuah tim. Paling tidak kita harus menguasai empat jenis keterampilan dasar dalam komunikasi, yaitu menulis, membaca (bahasa tulisan), mendengar, dan berbicara (bahasa lisan). Perhatikan, hampir setiap saat kita menghabiskan waktu untuk mengerjakan setidaknya salah satu dari keempat hal itu. Oleh karena itu, kemampuan untuk menguasai keterampilan dasar komunikasi dengan baik mutlak kita perlukan demi efektifitas dan keberhasilan kita.

Menurut Covey, komunikasi merupakan keterampilan terpenting dalam hidup kita. Kita menghabiskan sebagian besar waktu kita untuk berkomunikasi. Namun, sama seperti kita tidak pernah memperhatikan cara kita bernafas, komunikasi kita anggap sebagai hal yang otomatis terjadi begitu saja. Kita tidak memiliki kesadaran untuk melakukan komunikasi dengan efektif. Sebagai contoh, kita tidak pernah mempelajari bagaimana menulis efektif, bagaimana membaca cepat dan efektif, bagaimana berbicara secara efektif, dan bagaimana menjadi pendengar yang baik.

2.5. Integritas Sebagai Fondasi Utama Komunikasi Efektif

Covey menekankan konsep kesalingtergantungan untuk menjelaskan hubungan antar manusia. Menurut Covey, unsur terpenting pada komunikasi bukan sekedar pada apa yang kita tulis atau kita katakan, tetapi lebih pada karakter kita dan bagaimana kita menyampaikan pesan itu. Jika pesan yang kita sampaikan di bangun dari hubungan manusia yang dangkal, bukan dari diri kita yang paling dalam, orang lain akan melihat dan membaca sikap kita. Jadi syarat utama dalam komunikasi efektif adalah karakter yang kokoh yang dibangun dari fondasi integritas pribadi yang kuat.

Untuk memperjelas konsep ini, kita bisa menggunakan analogi sistem bekerjanya sebuah bank. Jika kita memdepositokan integritas kita di dalam rekening bank emosi orang lain melalui sopan

santun, kebaikan hati, kejujuran, dan memenuhi setiap komitmen kita, berarti kita menambah cadangan kepercayaan orang itu terhadap kita. Kepercayaan orang itu menjadi lebih tinggi. Ketika kepercayaan semakin tinggi, komunikasi pun mudah, cepat, dan efektif.

Dalam hubungan komunikasi yang efektif, kepercayaan merupakan dasar terciptanya *teamwork*. Kepercayaan ini hanya bisa muncul kalau kita mempunyai integritas, yang mencakup hal hal yang lebih dari sekedar kejujuran. Kalau kejujuran mengatakan kebenaran atau menyesuaikan kata kata kita dengan realitas, integritas menyesuaikan realitas dengan kata kata kita. Integritas bersifat aktif, sedangkan kejujuran bersifat pasif.

2.6. R.E.A.C.H : Lima Hukum Komunikasi Efektif

Setelah kita memiliki integritas sebagai fondasi utama dalam membangun komunikasi efektif, maka berikutnya kita perlu memperhatikan Lima Hukum Komunikasi Yang Efektif (*The 5 Inevitable Laes of Effective Communication*). Dalam buku *Make Yourself A Leader* yang ditulis oleh Aribowo Prijosaksono dan Ping Hartono Lima hukum ini dikembangkan dan dirangkum dalam satu kata yang mencerminkan esensi dari komunikasi, yaitu REACH, yang berarti merengkuh atau meraih. Pada dasarnya komunikasi adalah upaya kita untuk meraih perhatian, cinta kasih, minat, kepedulian, simpati, tanggapan, maupun respon positif dari orang lain.

2.6.1. Hukum#1 : Respect

Rasa hormat dan saling menghargai (*respect*) merupakan hukum pertama dalam kita berkomunikasi dengan orang lain. Kita harus ingat bahwa manusia selalu ingin dihargai dan dianggap penting. Jika kita harus mengkritik atau memarahi seseorang, kita bisa melakukan dengan penuh respek terhadap harga diri dan kebanggaan seseorang. Jika kita membangun komunikasi dengan rasa dan sikap saling menghargai dan menghormati, kita dapat membangun kerjasama yang menghasilkan sinergi yang akan meningkatkan efektifitas kinerja kita baik secara individu maupun secara keseluruhan sebagai sebuah tim.

Menurut Dale Carnegie dalam bukunya *How to Win Friends and Influence People*, rahasia terbesar yang merupakan salah satu prinsip dasar dalam berurusan dengan manusia adalah dengan memberikan penghargaan yang jujur dan tulus. Seorang ahli psikologi yang sangat terkenal William James juga mengatakan bahwa prinsip paling dalam pada sifat dasar manusia adalah kebutuhan untuk dihargai. Sifat ini merupakan rasa lapar manusia yang harus dipenuhi (bukan harapan atau keinginan yang bisa ditunda). Lebih jauh Carnegie mengatakan bahwa setiap individu yang dapat memuaskan kelaparan hati ini akan menggenggam orang dalam telapak tangannya.

2.6.2. Hukum #2 : Empathy

Empati adalah kemampuan kita untuk menempatkan diri pada situasi atau kondisi yang dihadapi oleh orang lain. Salah satu prasarat utama dalam memiliki sifat empati adalah kemampuan kita untuk mendengarkan atau mengerti terlebih dulu sebelum dide-ngarkan atau dimengerti oleh orang lain.

Secara khusus Covey menempatkan kemampuan mendengarkan sebagai salah satu dari tujuh kebiasaan manusia yang sangat efektif. Covey menyebutnya sebagai komunikasi empatik, yaitu kebiasaan untuk mengerti terlebih dahulu, baru dimengerti. Kita perlu memahami dan mendengar orang lain terlebih dahulu untuk dapat membangun keterbukaan dan kepercayaan dalam membangun sinergi dengan orang lain.

Rasa empati akan memungkinkan kita untuk menyampaikan pesan (*message*). Cara dan sikap empati juga akan memudahkan penerima pesan (*receiver*) menerima pesan yang kita sampaikan.

Dalam komunikasi untuk membangun kerjasama tim, rasa empati sangat memegang peranan. Dengan empati kita bisa me-

mahami perilaku anggota tim kita, seperti kebutuhan, keinginan, minat, harapan, dan kesenangan mereka. Rasa empati akan menimbulkan respek. Rasa respek akan membangun kepercayaan yang merupakan unsur utama dalam membangun *teamwork*.

Dalam membangun komunikasi dengan empati, kita harus mempunyai kemampuan untuk mendengar dan siap menerima masukan apa pun dengan sikap positif. Banyak di antara kita yang tidak mau mendengarkan saran, apalagi kritik dari orang lain. Padahal esensi dari komunikasi adalah aliran dua arah. Komunikasi satu arah tidak akan efektif manakala tidak ada umpan balik (*feedback*) yang merupakan arus balik dari penerima pesan.

2.6.3. Hukum #3: Audible

Pesan yang kita sampaikan harus audible, artinya pesan dapat diterima dan dimengerti oleh penerima pesan dengan baik. Untuk itu, pesan bisa disampaikan melalui berbagai media, seperti alat bantu audio visual.

Dari sisi media untuk penyampaian pesan, penggunaan teknologi bisa membantu melipatgandakan pancaran sinyal pesan yang kita sampaikan sehingga pesan bisa diterima oleh jauh lebih banyak orang. Sebagai contoh dengan menggunakan media internet, kita bisa berkomunikasi dengan mudah dan murah kepada banyak orang.

2.6.4. Hukum #4: Clarity

Hukum keempat dalam membangun komunikasi yang efektif adalah pesan yang kita sampaikan harus jelas sehingga tidak menimbulkan penafsiran yang berlainan. Pesan yang dapat menimbulkan berbagai penafsiran akan menimbulkan dampak yang tidak sederhana.

Clarity dapat pula berarti keterbukaan. Dalam berkomunikasi kita perlu mengembangkan sikap transparan sehingga dapat menimbulkan rasa percaya dari penerima pesan atau anggota tim kita. Keterbukaan akan mencegah timbulnya sikap saling curiga yang akan menurunkan semangat dan antusiasme tim kita.

2.6.5. Hukum #5: Humble

Hukum kelima dalam membangun komunikasi yang efektif adalah sikap rendah hati. Sikap ini merupakan unsur yang terkait dengan hukum pertama, yaitu *respect*. Untuk membangun rasa menghargai orang lain, biasanya didasari oleh sikap rendah hati yang kita miliki. Sikap rendah hati adalah sikap yang penuh melayani, sikap menghargai, mau mendengar dan menerima kritik, tidak sombong, tidak memandang rendah orang lain, berani mengakui kesalahan, rela memaafkan, lemah lembut dan penuh pengendalian diri, serta mengutamakan kepentingan yang lebih besar.

Jika kita membangun komunikasi berdasarkan pada lima hukum pokok komunikasi yang efektif ini, kita dapat menjadi seorang komunikator yang handal yang dapat membangun jaringan hubungan dengan orang lain dengan penuh penghargaan (*respect*), karena hal inilah yang dapat membangun hubungan jangka panjang yang saling menguntungkan dan saling menguatkan.

3. PEMBAHASAN

3.1. Komunikasi Pengawasan yang Efektif.

Pengawasan memiliki peran dan fungsi strategis dalam mendorong pencapaian tujuan keselamatan. Berbekal pengetahuan dan pengalaman yang dimiliki, para inspektur dapat memberikan inspirasi dan mendorong para pemegang izin dan personil terkait untuk terus mengembangkan profesionalisme dan meningkatkan kinerja mereka. Inspektur layaknya mitra tempat berbagi serta tempat meminta saran dan pendapat dalam pengelolaan program

dan kegiatan, sehingga para pengawas selayaknya menjadi konselor dan konsultan dalam memecahkan permasalahan dan meningkatkan kualitas kegiatan.

Inspektur dituntut memiliki kompetensi sosial, khususnya dalam menjalin mitra dengan para pemegang izin. Hal ini karena dalam bekerja inspektur bertemu banyak orang dengan berbagai latar belakang, kondisi, kepentingan serta persoalan yang dihadapi. Mereka juga harus mampu bermitra baik dengan individu maupun kelompok, selain itu pengawas juga berperan untuk mengembangkan jaringan kemitraan dengan berbagai pihak yang terkait dengan peningkatan mutu, dan mengembangkan tim kerjasama yang kokoh. Oleh sebab itu pengawas dituntut agar dapat berkomunikasi secara efektif dengan semua pihak terutama pihak yang diawasi. Kemampuan mengembangkan komunikasi yang efektif merupakan salah satu keterampilan yang amat diperlukan dalam menciptakan fungsi pengawasan yang efektif.

3.2. Kedudukan dan Fungsi Komunikasi

Komunikasi menjadi sangat penting karena merupakan aktivitas inspektur mencurahkan waktunya untuk menginformasikan sesuatu dengan cara tertentu kepada pemegang izin dan personal yang terkait.

Dalam memahami komunikasi menurut perilaku organisasi bahwa komunikasi adalah suatu proses antar orang atau antar pribadi yang melibatkan suatu usaha untuk mengubah perilaku. Perilaku yang terjadi dalam suatu organisasi adalah merupakan unsur pokok dalam proses komunikasi tersebut.

Keberhasilan komunikasi merupakan kunci keberhasilan dalam mencapai tujuan hubungan dengan masyarakat (*communication is a key to successful team effort*). Artinya kalau inspektur ingin berhasil dalam memberdayakan personal yang terkait dengan keselamatan untuk berpartisipasi dalam mewujudkan keselamatan, maka kunci pertama yang harus dikuasai adalah kemampuan berkomunikasi. Inspektur harus mampu membangun komunikasi efektif.

Komunikasi merupakan keterampilan dasar seorang Inspektur, dan merupakan elemen penting dalam pelayanan, karena menyangkut kompetensi pengawas sebagai orang yang melayani kepentingan dan kebutuhan, utamanya, Keterampilan dasar berkomunikasi bagi seorang Inspektur adalah:

- Mampu saling memahami kelebihan dan kekurangan individu
- Mampu mengkomunikasikan pikiran dan perasaan
- Mampu saling menerima, menolong, dan mendukung
- Mampu mengatasi konflik yang terjadi dalam komunikasi
- Saling menghargai dan menghormati

Mengembangkan keterampilan berkomunikasi bagi pengawas dapat dilakukan dengan memperhatikan:

- Manfaat dan pentingnya komunikasi
- Penguasaan perilaku individu
- Komponen-komponen komunikasi, praktek keterampilan berkomunikasi
- Bantuan orang lain
- Latihan yang terus-menerus
- Partner berlatih, untuk meningkatkan kemampuan adaptif berkomunikasi

Inspektur perlu membangun jaringan komunikasi yang sehat dan baik. Analisis jaringan komunikasi dapat dilakukan untuk mengetahui:

- Peranan individu (karyawan) dalam penyaluran informasi organisasi, yang sekaligus juga menunjukkan pola interaksi antara individu tersebut dengan individu lain,
- Bentuk hubungan atau koneksi orang-orang dalam organisasi dan kelompok tertentu,

- Keterbukaan/ketertutupan individu atau kelompok.
- Posisi atau peranan pengawas dalam jaringan arus informasi akan mempengaruhi, antara lain:
- Tingkat kekuasaan (*power*), hubungan sosial, atau pengaruh individual dalam organisasi. Partisipasi dalam pelaksanaan tugas (intensitas dan kuantitas kegiatan organisasi, yang dapat berimbas pada peningkatan keterampilan/keahlian).
- Kepuasan terhadap arus informasi.
- Konsep diri.

Keterampilan dan sikap dalam berkomunikasi akan sangat menentukan bagaimana pengembangan kualitas. Terutama dalam membentuk jaringan kemitraan dengan stakeholder. Jaringan kemitraan yang kuat dan saling menguntungkan yang dilayani oleh anggota tim kerjasama yang saling melayani, sudah pasti akan memperlancar pengembangan kualitas. Inspektur yang berpengalaman dan memiliki pengetahuan memadai dapat menyelesaikan berbagai masalah di lapangan.

3.3. Peningkatan Efektifitas Komunikasi Pengawasan (Diseminasi Informasi)

Kemampuan mengembangkan komunikasi yang efektif merupakan salah satu keterampilan yang amat diperlukan untuk pengembangan diri baik sebagai pemimpin maupun sebagai anggota sebuah tim. Oleh karena itu, kemampuan untuk menguasai keterampilan dasar komunikasi dengan baik mutlak kita perlukan demi efektifitas dan keberhasilan kita.

Unsur terpenting pada komunikasi bukan sekedar pada apa yang ditulis atau dikatakan, tetapi lebih pada karakter dan bagaimana cara menyampaikan pesan itu. Jika pesan yang disampaikan di bangun dari hubungan manusia yang dangkal, bukan dari diri kita yang paling dalam, orang lain akan melihat dan membaca sikap kita. Jadi syarat utama dalam komunikasi efektif adalah karakter yang kokoh yang dibangun dari fondasi integritas pribadi yang kuat. Ketika kepercayaan semakin tinggi, komunikasi pun mudah, cepat, dan efektif.

Dalam hubungan komunikasi yang efektif, kepercayaan merupakan dasar terciptanya teamwork. Kepercayaan ini hanya bisa muncul kalau kita mempunyai integritas, yang mencakup hal hal yang lebih dari sekedar kejujuran. Kalau kejujuran mengatakan kebenaran atau menyesuaikan kata kata kita dengan realitas, integritas menyesuaikan realitas dengan kata kata kita. Integritas bersifat aktif, sedangkan kejujuran bersifat pasif.

Setelah memiliki integritas sebagai fondasi utama dalam membangun komunikasi efektif, perlu memperhatikan Lima Hukum Komunikasi Yang Efektif yaitu REACH (*Respect, Emphaty, Audible, Clarity, Humble*) yang berarti merengkuh atau meraih. Pada dasarnya komunikasi adalah upaya kita untuk meraih perhatian, minat, kepedulian, simpati, tanggapan, maupun respon positif dari orang lain.

Pengawasan memiliki peran dan fungsi strategis dalam mendorong pencapaian tujuan program dan kegiatan. Pengawasan secara langsung ke lokasi kegiatan para pengguna/pemangku kepentingan biasanya dilakukan oleh para inspektur yang bertugas dalam suatu lembaga pengawas.

Berbekal pengetahuan dan pengalaman yang dimiliki, para inspektur dapat memberikan inspirasi dan mendorong para pengguna/pemangku kepentingan lainnya untuk terus mengembangkan profesionalisme dan meningkatkan kinerja mereka. Inspektur layaknya seperti mitra tempat berbagi serta tempat meminta saran maupun pendapat dalam pengelolaan program dan kegiatan, sehingga para inspektur selayaknya bisa memberikan petunjuk dan informasi yang tepat dalam memecahkan permasalahan dan meningkatkan kualitas kegiatan.

Inspektur dituntut memiliki kompetensi sosial, khususnya dalam menjalin mitra dengan para pengguna/pemangku kepentingan lainnya. Hal ini karena dalam bekerja inspektur bertemu banyak orang dengan berbagai latar belakang, kondisi, kepentingan serta persoalan yang dihadapi. Mereka juga harus mampu bermitra baik dengan individu maupun kelompok, selain itu inspektur juga berperan untuk mengembangkan jaringan kemitraan dengan berbagai pihak yang terkait dengan peningkatan mutu, dan mengembangkan tim kerjasama yang kokoh. Oleh sebab itu inspektur dituntut agar dapat berkomunikasi secara efektif dengan semua pihak terutama pihak yang diawasi.

Komunikasi merupakan keterampilan dasar seorang inspektur, dan merupakan elemen penting dalam pengawasan, karena menyangkut kompetensi inspektur sebagai orang yang melayani kepentingan dan kebutuhan utamanya. Keterampilan dasar berkomunikasi bagi seorang inspektur adalah:

- Mampu saling memahami kelebihan dan kekurangan individu
- Mampu mengatasi konflik yang terjadi dalam komunikasi
- Mampu saling menerima, menolong, dan mendukung
- Saling menghargai dan menghormati

Keterampilan dan sikap dalam berkomunikasi akan sangat menentukan bagaimana pengembangan kualitas. Terutama dalam membentuk jaringan kemitraan dengan stakeholder. Jaringan kemitraan yang kuat dan saling menguntungkan yang dilayani oleh anggota tim kerjasama yang saling melayani, sudah pasti akan memperlancar pengembangan kualitas. Inspektur yang berpengalaman dan memiliki pengetahuan memadai dapat menyelesaikan berbagai masalah di lapangan.

Keberhasilan komunikasi merupakan kunci keberhasilan dalam mencapai tujuan hubungan dengan masyarakat (*communication is a key to successful team effort*). Artinya kalau inspektur ingin berhasil dalam memberdayakan para pengguna/pemangku kepentingan untuk berpartisipasi dalam penyelenggaraannya, maka kunci pertama yang harus dikuasai adalah kemampuan berkomunikasi. Inspektur yang berkompeten harus mampu membangun komunikasi efektif.

4. KESIMPULAN

Badan Pengawas harus mempertahankan efisiensi dan efektivitas dari Badan Pengawas dalam melaksanakan tanggungjawab dan fungsinya. Badan Pengawas harus memperkerjakan staf yang handal dan kompeten dalam jumlah yang memadai sebanding dengan banyaknya fasilitas dan kegiatan yang diregulasi, sehingga mampu melaksanakan fungsinya secara bertanggung jawab. Kemampuan Badan Pengawas dalam memenuhi tanggung jawabnya sangat bergantung pada kompetensi para pegawainya. Mengembangkan pengetahuan dan keahlian adalah merupakan investasi bagi setiap pegawai dan masa depan dari lembaga tersebut.

Dokumen TECDOC No. 1526 Tahun 2007 yang mengacu pada GS-R-1 mendefinisikan inspeksi sebagai sebuah kegiatan peme-

riksaan, pengamatan, pengukuran atau pengujian yang dilakukan oleh Badan Pengawas untuk menilai struktur, sistem, material dan komponen, kegiatan operasional, proses, prosedur dan kompetensi personil. Kegiatan inspeksi dan penegakan hukum meliputi semua bidang yang menjadi tanggung jawab Badan Pengawas. Badan Pengawas akan melakukan inspeksi untuk memastikan bahwa pemegang izin sudah memenuhi persyaratan keselamatan. Kecelakaan atau insiden yang mengakibatkan paparan atau kontaminasi dengan dosis radiasi tinggi sering dikaitkan dengan kegagalan dalam mematuhi peraturan dan persyaratan keselamatan. Oleh karena itu inspeksi memiliki peran utama dalam memastikan telah dipatuhinya persyaratan keselamatan.

Komunikasi menjadi sangat penting karena merupakan aktivitas inspektur mencurahkan waktunya untuk menginformasikan sesuatu dengan cara tertentu kepada pemegang izin dan personil yang terkait.

Keberhasilan komunikasi merupakan kunci keberhasilan dalam mencapai tujuan hubungan dengan masyarakat (*communication is a key to successful team effort*). Artinya kalau inspektur ingin berhasil dalam memberdayakan personil yang terkait dengan keselamatan untuk berpartisipasi dalam mewujudkan keselamatan, maka kunci pertama yang harus dikuasai adalah kemampuan berkomunikasi. Seorang Inspektur harus mampu membangun komunikasi efektif.

Komunikasi merupakan keterampilan dasar seorang Inspektur, dan merupakan elemen penting dalam pelayanan, karena menyangkut kompetensi pengawas sebagai orang yang melayani.

Inspektur dituntut memiliki kompetensi sosial, khususnya dalam menjalin mitra dengan para pemegang izin. Hal ini karena dalam bekerja inspektur bertemu banyak orang dengan berbagai latar belakang, kondisi, kepentingan serta persoalan yang dihadapi. Mereka juga harus mampu bermitra baik dengan individu maupun kelompok, selain itu inspektur juga berperan untuk mengembangkan jaringan kemitraan dengan berbagai pihak yang terkait dengan peningkatan mutu, dan mengembangkan tim kerjasama yang kokoh. Oleh sebab itu inspektur dituntut agar dapat berkomunikasi secara efektif dengan semua pihak terutama pihak yang diawasi. Kemampuan mengembangkan komunikasi yang efektif merupakan salah satu keterampilan yang amat diperlukan dalam menciptakan fungsi pengawasan yang efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Prijosaksono, Aribowo dan Ping Hartono, (2002); *Make Yourself A Leader*; PT Elex Media Komputindo. Jakarta, 2002.
- [2] IAEA (20--); *GSR Part.1 Governmental, Legal and Regulatory Framework for Safety*; IAEA, Vienna.
- [3] P2SPTFRZR (2011); *Laporan Hasil Kajian P2STPFRZR, Kajian Pengembangan Kebijakan Pengawasan Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif*; BAPETEN, Jakarta.

tersebut belum menjamin bahwa semua pengguna dapat memahami peraturan tersebut secara jelas dan benar.

Oleh karena itu maka dalam melakukan diseminasi informasi tersebut para inspektur harus memahami cara berkomunikasi yang efektif agar informasi yang disampaikan oleh inspektur dapat dipahami oleh para pengguna secara jelas dan benar.

Melalui tulisan ini pula diharapkan agar para inspektur dapat memahami bahwa komunikasi merupakan hal penting dan bukanlah sesuatu yang sepele. Sesuai dengan kuadran keempat pada Kuadran Kompetensi Staf Badan Pengawas yang tercantum dalam IAEA SRS No. 79 menyatakan bahwa komunikasi merupakan salah satu kompetensi yang harus dimiliki oleh setiap staf Badan Pengawas.

TANYA JAWAB DAN DISKUSI

1. Penanya : Rr. Djarwanti RPS

Pertanyaan:

- a) Bagaimana inspektur mengkomunikasikan peraturan agar mendapatkan pengertian yang jelas dan mudah dimengerti oleh pengguna peraturan/Perka?

Jawaban:

Selama ini BAPETEN telah mengadakan sosialisasi khusus terhadap peraturan-peraturan yang terkait dengan ketenaganukliran. Begitupula saat melaksanakan inspeksi para inspektur juga melakukan diseminasi informasi tentang peraturan ketenaganukliran kepada para pengguna. Namun, apa yang dilakukan BAPETEN

2. **Penanya :** *Togap Marpaung*

Pertanyaan:

- a) Agar dijelaskan peran Pusat Kajian di BAPETEN, apakah sebagai “*supporting*” dari 3 unit lini utama (peraturan, perzinan dan inspeksi) seperti yang dipahami selama ini? Karena slidennya berbeda dengan yang ditayangkan sebelumnya oleh Pimpinan BAPETEN?

Jawaban:

Unit Pengkajian bertugas untuk melakukan Review and Assessment terhadap peraturan (standar dan pedoman internasional) dan iptek terkini terkait ketenaganukliran. Sebagai “*supporting*” maka unit Pengkajian di BAPETEN harus mempunyai SDM yang

berkualitas dengan kompetensi multidisiplin ilmu. Walaupun unit Pengkajian bertugas sebagai “*supporting*” namun keberadaannya adalah sangat penting dalam menunjang proses pengawasan keselamatan ketenaganukliran dan tidak boleh diremehkan. Walaupun unit Pengkajian bertugas sebagai “*supporting*” namun kedudukan unit Pengkajian adalah sama dengan unit-unit kerja teknis lainnya, sehingga harus mendapat perlakuan yang sama pula.

Menurut peraturan IAEA, sebagai negara yang ingin membangun PLTN maka *Review and Assessment* adalah hal yang utama dan penting, tidak boleh tidak. Dalam hal ini yang lebih tepat melakukannya adalah unit Pengkajian.



Seminar Keselamatan Nuklir 2014

Makalah Penyaji Oral

Bidang Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif

Prosiding
Seminar
Keselamatan
Nuklir
2014

PROTEKSI RADIASI PASIEN PADA PEMERIKSAAN CT-SCAN

Soegeng Rahadhy, Intanung Syafitri

P2STPFRZR BAPETEN, Jakarta
e-mail: rahadianovich@gmail.com

ABSTRAK

PROTEKSI RADIASI PASIEN PADA PEMERIKSAAN CT-SCAN. Dalam Pasal 36 Ayat (2) Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional dinyatakan bahwa penerapan optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi harus diupayakan sedemikian rupa sehingga pasien menerima dosis radiasi sesuai dengan yang dosis diperlukan guna mencapai tujuan diagnostik. Namun pada kenyataannya, informasi yang terekam dalam konsul CT-Scan mengisyaratkan bahwa lebih dari 50% rumah sakit yang melakukan tindakan penyinaran dengan modalitas CT-Scan terhadap *organ head*, abdomen dan *chest* telah memberikan kontribusi dosis melebihi tingkat panduan yang diperkenankan untuk pasien. Perlindungan pasien terhadap besarnya dosis radiasi yang diterima tersebut dapat ditindaklanjuti salah satunya dengan membatasi penerimaan paparan medik pada pasien. Untuk mengurangi atau membatasi dosis pasien terhadap tindakan diagnostik dengan CT-Scan dapat dilakukan dengan cara mengoptimalkan peran operator, pabrik, dokter dan radiologis.

Kata kunci: dosis pasien, Computed Tomography Dose Index (CTDI), CT-Scan, Sinar-X

ABSTRACT

RADIATION PROTECTION OF PATIENT IN CT-SCAN CHECK-UP. In the Article 36 verse (2) of BAPETEN Chairman Regulation No. 8 Year 2011 on Radiation Safety in the Use of X-ray Equipment in Diagnostic and Interventional Radiology stated that the application of optimization of radiation protection and safety should be pursued so that the patient receives a radiation dose according to the dose required to achieve diagnostic purposes. In fact, the information recorded in the consul of CT-Scan suggests that more than 50% of hospitals which perform irradiation with CT-Scan to the head, abdomen and chest have contributed a dose that exceeds the allowed dose for the patient. Protection of patients against the magnitude of the radiation dose received can be followed one by restricting admission to the medical exposure of patients. To reduce or limit the dose to the patient's on diagnostic purpose with a CT-Scan can be done by optimizing the role of operators, manufacturers, physicians and radiological.

Keywords: patient dose, Computed Tomography Dose Index (CTDI), CT-Scan, X-rays

1. PENDAHULUAN

Di dalam Pasal 36 Ayat (2) Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional, yang selanjutnya disebut Perka 8/2011, dinyatakan bahwa penerapan optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi harus diupayakan sedemikian rupa sehingga pasien menerima dosis radiasi sesuai dengan yang dosis diperlukan guna mencapai tujuan diagnostik. Sementara tujuan diagnostik yang dimaksud adalah mendapatkan citra radiografi secara optimal sehingga diperoleh informasi diagnostik yang diperlukan oleh dokter dengan selalu mengupayakan pasien menerima paparan radiasi atau dosis yang paling rendah sesuai dengan Prinsip ALARA. Penerapan prinsip optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi meliputi tingkat panduan paparan medik untuk pasien dan pembatas dosis untuk pekerja radiasi dan anggota masyarakat [1]. Pernyataan tersebut menggiring ke arah upaya perlindungan pasien terhadap tindakan medik yang diterimanya.

Seperti yang telah dinformasikan oleh UNSCEAR 2000, CT-Scan merupakan modalitas pemeriksaan diagnostik yang berkontribusi memberikan dosis kolektif pemeriksaan diagnostik di dunia lebih dari 34% dibandingkan dengan modalitas pemeriksaan diagnostik lainnya. Bahkan dalam penggunaannya di negara-negara maju, kontribusi dosis kolektif pemeriksaan diagnostik yang diberikan oleh CT-Scan mencapai rentang 50%–70% [2]. Selain hal tersebut, perkembangan penggunaan CT-Scan yang cenderung meningkat di seluruh dunia termasuk di Indonesia patut dicermati

secara mendalam dan hati-hati oleh lembaga pengawas pemanfaatan tenaga nuklir.

Namun demikian, peningkatan aspek teknis dan klinis dalam pemanfaatan CT-Scan tersebut ternyata belum mampu menyebabkan pengurangan dosis pasien pada setiap tindakan medis yang dilakukan.

2. RUANG LINGKUP

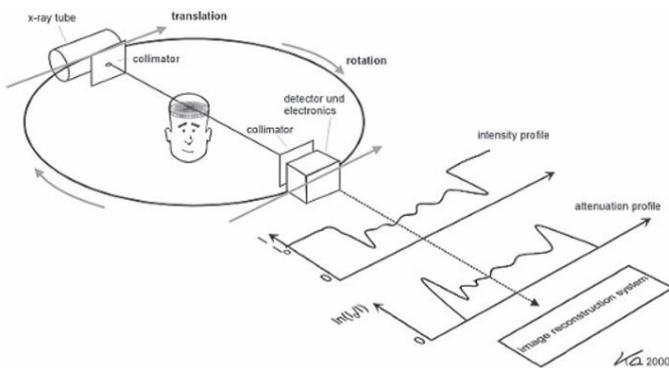
Lingkup pembahasan tulisan ini adalah hasil kajian terhadap CT-Scan dan data pasien yang berasal dari *Computed Tomography Dose Index* (CTDI) di rumah sakit yang menjadi objek pengambilan data paparan medik, terlepas apakah CT-Scan tersebut telah lakukan Uji Kesesuaian oleh Lembaga Pengujian Berkualifikasi [3].

3. METODOLOGI

Tulisan ini disusun dari hasil kajian dan studi literatur yang analisa berdasarkan teori dan praktik di lapangan. Hasil analisa tersebut dibandingkan dengan referensi yang tersedia sehingga dapat terlihat data yang diambil di lapangan dengan kondisi ideal yang seharusnya diterapkan pada CT-Scan.

Data yang digunakan dalam tulisan ini adalah data yang terekam pada konsul/panel kontrol CT-Scan berupa data CTDI dan DLP, khususnya $CTDI_{vol}$ untuk jenis pemeriksaan *head*, abdomen dan *chest*. Untuk setiap jenis pemeriksaan tersebut menggunakan

paling sedikit 10 data pasien. Pengambilan data tersebut diperoleh dari 12 (dua belas) CT-Scan di masing-masing rumah sakit yang berbeda yang berasal dari 5 (lima) fabrikasi CT-Scan.



Gambar 1: Diagram sederhana pada pembentukan profil atenuasi dalam CT-scan. Catatan bahwa scanner modern menggunakan berkas fan untuk memperoleh profil atenuasi dalam satu penyinaran.

4. DASAR TEORI

CT-Scan merupakan prosedur penggunaan sinar-X yang menggabungkan banyak gambar sinar-X dengan bantuan komputer untuk menghasilkan tampilan cross-sectional dan dapat pula menampilkan gambar tiga dimensi dari organ-organ internal dan struktur tubuh. CT-Scan digunakan untuk mendefinisikan keadaan normal dan abnormal dari struktur dalam tubuh dan/atau membantu dalam prosedur penanganan yang akurat untuk memandu penempatan instrumen atau membantu penanganan perawatan pasien [4].

Untuk mendapatkan gambar cross-sectional, berkas dibatasi untuk membentuk sebuah tanda di pasien (dalam arah x-y) antara ketebalan 0,5 mm dan 10 mm untuk menghasilkan gambar dengan slice tunggal dalam arah aksial (z). Ratusan profil atenuasi diciptakan dalam setiap revolusi dari tabung sinar-X di sekitar pasien. Profil tersebut kemudian direkonstruksi untuk membentuk gambar melintang yang dibutuhkan (**Gambar 1**).

4.1. Pinsip kerja alat CT-Scan [4]

Berkas radiasi yang melalui suatu materi akan mengalami pengurangan intensitas secara eksponensial terhadap tebal bahan yang dilaluinya. Pengurangan intensitas yang terjadi disebabkan oleh proses interaksi radiasi dalam bentuk hamburan dan serapan yang probabilitas terjadinya ditentukan oleh jenis bahan dan energi radiasi yang dipancarkan. Dalam CT-Scan, untuk menghasilkan citra obyek, berkas radiasi yang dihasilkan sumber akan dilewatkan melalui suatu bidang obyek dari berbagai sudut. Radiasi terusan ini dideteksi oleh sistem detektor untuk dicatat dan dikumpulkan sebagai data input yang selanjutnya diolah menggunakan komputer untuk menghasilkan citra dengan suatu yang disebut sebagai rekonstruksi. Proses pengumpulan data intensitas radiasi terusan pada bidang irisan obyek dari berbagai sudut tersebut dinamakan scanning atau pemayaran.

4.2. Bagian penting CT dan fungsinya [4]

Secara umum, CT-Scan terdiri atas empat bagian pokok, yaitu sumber radiasi, sistem deteksi, manipulator mekanis, dan komputer beserta layar monitor. Sumber radiasi pada CT-Scan merupakan generator sinar-X yang berfungsi menghasilkan sinar-X. Untuk mendeteksi radiasi yang disebabkan oleh sinar-X maka diperlukan suatu sistem deteksi radiasi. Sistem deteksi yang digunakan ditentukan berdasarkan jenis radiasi yang digunakan. Salah satu contoh detektor yang sering digunakan dalam CT-Scan adalah

kristal Natrium Iodida yang “dikotori” dengan Talium atau yang dikenal dengan kristal NaI(Tl).



Gambar 2: Salah satu jenis CT-Scan

Manipulator mekanis berfungsi menentukan geometris gerak scanning yang bergantung pada kedudukan CT-Scan. Sedangkan bagian terakhir adalah komputer dan layar monitor. Komputer berfungsi mengolah dan mengumpulkan data yang kemudian ditayangkan pada layar monitor sehingga diperoleh gambar irisan tampak lintang dua dimensi atau peta distribusi internal tiga dimensi obyek yang di-scan. Hasil pembacaan tersebut dapat dicetak melalui digital printer yang diciptakan khusus untuk mencetak hasil obyek yang sudah di-scan.

Penggunaan CT-Scan bermaksud untuk mengetahui banyaknya dosis radiasi yang diperoleh pasien dalam sekali tindakan diagnosis atau yang lebih dikenal dengan paparan medik. Secara definisi, seperti yang telah disebutkan dalam Perka 8/2011, maka paparan medik didefinisikan sebagai paparan yang diterima oleh pasien sebagai bagian dari diagnosis atau pengobatan medik, dan orang lain sebagai sukarelawan yang membantu membantu pasien. Mengingat lingkup pembahasannya adalah paparan yang diterima pasien dalam tindakan menggunakan CT-Scan, maka data yang digunakan diambil dari beberapa aspek CT-Scan yaitu data *Computed Tomography Dose Index* (CTDI), *Dose Length Product* (DLP) dan *slice thickness* yang terekam dalam konsul/panel kontrol.

Series	Type	Scan Range (mm)	CTDIvol (mGy)	DLP (mGy-cm)	Phantom (cm)
1	Scout	-	-	-	-
2	Helical	163.250-560.500	54.99	776.48	Head 16
Total Exam DLP:				776.48	

Gambar 3: Contoh data CTDI_{vol} dan DLP pada konsul CT-Scan

Pengukuran dosis radiasi untuk pasien atau paparan medik dapat dilakukan dengan berbagai metoda. Metoda yang sering digunakan dalam praktik ini adalah metoda estimasi dosis, yang dilakukan dengan mengukur dosis organ pasien dengan menggunakan *phantom*. Namun sebenarnya masih terdapat cara lain untuk mengukur estimasi dosis tersebut yaitu dengan mendapatkan pola energi deposisi pada pasien yang menjalani pemeriksaan menggunakan modalitas CT melalui perhitungan memakai Monte Carlo. Namun metoda pengolahan data yang dilakukan dalam tulisan ini adalah menggunakan pengukuran dengan cara yang pertama.

Seperti yang telah disebutkan di atas bahwa estimasi dosis menjadi pilihan dalam pengolahan data tulisan ini. Estimasi dosis dapat

didefinisikan sebagai pengukuran besarnya dosis efektif dikalikan dengan faktor konversi yang diasumsikan dengan menggunakan *phantom* untuk bagian tubuh tertentu.

Jadi sebenarnya, perhitungan paparan medik merupakan perhitungan besarnya dosis efektif yang diterima oleh pasien selama tindakan diagnosis. Dosis efektif harus memperhitungkan banyaknya radiasi yang diterima oleh jaringan individu, serta sensitivitas radiasi relatif jaringan tersebut.

Dosis efektif dapat didefinisikan sebagai besaran dosis yang khusus digunakan dalam proteksi radiasi yang nilainya adalah jumlah perkalian dosis ekuivalen yang diterima jaringan dengan faktor bobot jaringan [1]. Satuan dosis efektif adalah Sieverts (Sv) atau milisieverts (mSv). Sedangkan dosis ekuivalen adalah besaran dosis yang khusus digunakan dalam proteksi radiasi untuk menyatakan besarnya tingkat kerusakan pada jaringan tubuh akibat terserapnya sejumlah energi radiasi dengan memperhatikan faktor yang mempengaruhinya (dosis dan jenis radiasi serta faktor lain) [1].

Dalam kasus penggunaan CT-Scan, dosis efektif dapat dituliskan sebagai hasil perkalian antara DLP dan faktor k. Dosis efektif penting untuk mengetahui karena potensi efek biologis dari radiasi tidak hanya tergantung pada dosis radiasi ke jaringan atau organ, tetapi juga pada kepekaan biologis dari jaringan atau organ yang diiradiasi. Dosis efektif juga merupakan ukuran yang paling baik digunakan untuk mengoptimalkan pemeriksaan dan membandingkan resiko antara pemeriksaan yang dianjurkan.

Untuk dapat memberikan proteksi radiasi terhadap pasien, maka diperlukan suatu tahapan yang dapat memberikan gambaran besarnya dosis yang diterima pasien sehingga dosis tersebut dapat dijadikan acuan untuk pertimbangan dalam pengambilan tindakan proteksi pasien.

Tabel 1: Nilai-nilai dosis efektif untuk beberapa pemeriksaan pencitraan yang biasa dilakukan.

Nilai dosis efektif untuk CT (mSv)	
Head CT	1-2
Chest CT	5-7
Abdomen CT	5-7
Pelvis CT	3-4
Abdomen dan Pelvis CT	8-14
Coronary artery calcium CT	1-3
Coronary CT angiography	5-15

Catatan: Rata-rata radiasi background di Amerika Serikat untuk sumber alami = 3,0 mSv (rentang 1-10 mSv) [6,7].

Tabel 2: Dosis efektif normal per DLP untuk pasien dewasa (fisik standar) dan pasien pediatrik dari berbagai usia dengan berbagai bagian tubuh.

Bagian Tubuh	k (mSv mGy ⁻¹ cm ⁻¹)				
	0 Tahun	1 Tahun	5 Tahun	10 Tahun	Dewasa
Kepala dan leher	0,013	0,085	0,0057	0,0042	0,0031
Kepala	0,011	0,067	0,0040	0,0032	0,0021
Leher	0,017	0,012	0,0110	0,0079	0,0059
Chest	0,039	0,026	0,0180	0,0130	0,0140
Abdomen & pelvis	0,049	0,030	0,0200	0,0150	0,0150
Badan (Trunk)	0,044	0,028	0,0190	0,0140	0,0150

Catatan: Faktor konversi untuk kepala dan leher pasien dewasa, dan pasien pediatrik diasumsikan menggunakan phantom dose CT kepala (16 cm), semua faktor konversi diasumsikan menggunakan phantom badan CT dengan diameter 32 cm

Untuk meminimalkan kontroversi dari perbedaan nilai dosis efektif yang murni dari hasil metodologi perhitungan dan sumber data, maka *European Working Group for Guidelines on Quali-*

ty Criteria in Computed Tomography mengeluarkan rekomendasi estimasi secara umum. Nilai dosis efektif dihitung dari koefisien organ Monte Carlo NRPB yang dibandingkan dengan nilai DLP untuk pemeriksaan klinis yang sesuai untuk menentukan koefisien k. Nilai k tergantung hanya pada bagian tubuh yang di-scan (*head/* kepala, leher, thorax, abdomen, atau pelvis) seperti dalam **Tabel 2**. Dengan menggunakan metodologi ini, maka E dapat diestimasi dari DLP seperti yang dilaporkan pada banyak sistem CT-Scan:

$$E(mSv) \approx k \times DLP$$

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Estimasi dosis pasien CT-Scan

Dalam pengambilan data primer, informasi yang digunakan sebagai estimasi dosis pasien yang menggunakan CT-Scan adalah data pasien yang terekam dalam konsol tersebut. Data-data pasien yang terekam meliputi jenis kelamin, usia, jenis pemeriksaan, kondisi penyinaran (tegangan, beban tabung, waktu penyinaran, tebal dan jumlah *slice*, panjang scan), CTDI_{vol} dan DLP. Setelah dilakukan pengolahan terhadap data-data pasien maka hasil pengambilan data primer dapat disajikan dalam informasi yang terangkum pada **Tabel 3** sesuai dengan kondisi penyinaran yang dilakukan.

CTDI_{vol} (kolom 3 **Tabel 3**) yang merupakan representasi dari besarnya dosis radiasi yang diterima pasien per tindakan diagnosa dijadikan sebagai acuan dalam membandingkan apakah dosis pasien per tindakan masih dalam batasan yang diperkenankan sesuai dengan peraturan yang berlaku. Sementara dalam lampiran Perka 8/2011, besaran dosis yang digunakan untuk tingkat panduan CT-Scan merupakan dosis rata-rata untuk pasien yang diperoleh dari ukuran sumbu perputaran pada *phantom* yang setara air dengan panjang 15 cm dan 16 cm untuk kepala serta 30 cm untuk lumbal dan abdomen dalam diameter.

Perhitungan jenis pemeriksaan disajikan pada **Tabel 3** di setiap rumah sakit dengan menggunakan kuartil 3 dapat dianalisis sebagai berikut:

Head:

	> 50 mGy	≤ 50 mGy
Jumlah RS	9	2

Dari 11 rumah sakit yang mempunyai data pasien untuk tindakan pada *organ head*, setelah dilakukan perhitungan ternyata terdapat 9 (sembilan) atau 81,8% rumah sakit melakukan tindakan yang menyebabkan pasien, dalam hal ini terwakili oleh data CTDI_{vol} menerima dosis lebih dari batas yang diperkenankan sesuai Perka 8/2011.

Abdomen:

	> 25 mGy	≤ 25 mGy
Jumlah RS	6	5

Sedangkan tindakan dilakukan terhadap abdomen, sebanyak 6 (enam) atau 54,5% rumah sakit memberikan kontribusi penyinaran terhadap pasien melebihi dari batas yang diperbolehkan yaitu 25 mGy per tindakan.

Chest:

	> 21 mGy	≤ 21 mGy
Jumlah RS	4	4

Sementara perlakuan penyinaran pasien untuk organ *chest*, 50% rumah sakit mempunyai andil dalam memberikan sumbangan dosis pasien yang melebihi dari dosis yang diperbolehkan. Untuk kasus organ *chest*, batasan dosis yang diperkenankan untuk dosis pasien mengacu pada *the National Council on Radiation Protection and Measurements* (NCRP) No. 172 tahun 2012 sebesar 21 mGy per tindakan [6].

Tabel 3: Estimasi dosis pasien CT-Scan dengan $CTDI_{vol}$ dan dosis pasien yang diperkenankan.

Fabrikan CT-Scan	Jenis Pemeriksaan	Kuartil 3		Perka 8/2011 (mGy)	NCRP 172 (mGy)
		$CTDI_{vol}$ (mGy)	DLP (mGy.cm)		
A	Head	58.75	910.63	50	
	Abdomen	20.22	936.00	25	
B	Head	55.78	1372.90	50	
	Chest	54.99	837.33		21
C	Head	62.22	1589.80	50	
	Abdomen	22.78	1298.90	25	
	Chest	13.43	577.50		21
A	Head	57.34		50	
	Abdomen	30.03		25	
	Chest	22.22			21
D	Head	72.00	1681.10	50	
	Abdomen	288.10	2357.50	25	
	Lumbal	117.90	3111.35	35	
C	Head	64.14	1858.58	50	
	Abdomen	63.41	2155.28	25	
	Chest	33.60	1201.68		21
B	Head	71.34	909.03	50	
	Abdomen	36.09	1242.70	25	
A	Head	47.00	951.75	50	
	Abdomen	6.70	160.62	25	
	Chest	6.49	223.39		21
E	Head	58.56		50	
	Abdomen	71.84		25	
	Chest	55.58			21
A	Head	126.41	983.00	50	
	Abdomen	25.04	1020.00	25	
A	Abdomen	11.40	653.50	25	
	Chest	9.12	386.25		21
A	Head	26.50	422.72	50	
	Abdomen	15.27	447.35	25	
	Chest	7.94	233.93		21

Berdasarkan perhitungan dan analisis estimasi dosis pasien di atas, boleh dikatakan bahwa besarnya dosis yang diterima pasien dalam sekali tindakan pada organ tubuh kepala, abdomen dan *chest* di rumah sakit yang dijadikan model pengambilan data primer melebihi dari dosis radiasi yang diperkenankan diterima oleh pasien di setiap tindakan diagnosis. Hal seperti ini yang seharusnya menjadi perhatian badan pengawas untuk melindungi pasien agar tidak mendapatkan dosis radiasi yang lebih besar dari yang seharusnya diterima, terutama dalam pemeriksaan diagnostik yang menggunakan CT-Scan sehingga setiap pasien selalu mendapatkan perlindungan yang optimal dalam setiap tindakan medis yang diterimanya.

Pembatasan tersebut dapat dilakukan melalui tindakan-tindakan optimisasi dosis pasien CT-Scan yang dilakukan oleh operator, pabrikan, dokter dan radiologis.

5.1.1. Operator

Dalam melaksanakan tugasnya, operator dapat membatasi volume obyek yang akan di scan, mengurangi nilai kuat arus dan waktu yang digunakan (mAs), serta menggunakan pelindung organ *superficial* seperti tiroid, *chest*, lensa mata dan gonad terutama

pada anak-anak dan remaja. Operator juga dapat menggunakan penyinaran atau protokol khusus untuk anak-anak yang diyakini dapat mengurangi dosis 5 kali atau lebih. Pemilihan parameter rekonstruksi citra yang tepat juga merupakan pilihan lain untuk mengurangi dosis yang diterima pasien.

5.1.2. Pabrikan

Dalam mendesain modalitas, pabrikan dapat memasukkan fitur keselamatan untuk mencegah dosis yang tidak diperlukan. Selain itu, pabrikan juga dapat memberikan perhatian pada pengguna untuk memilih protokol tersendiri terutama pasien pediatrik.

5.1.3. Dokter dan radiologis

Prinsip justifikasi harus diterapkan oleh dokter atau radiologis guna memastikan pasien menerima dosis sesuai dengan dosis yang harus diterimanya. Setelah pemeriksaan terjustifikasi, radiologis mempunyai tanggung jawab utama untuk memastikan bahwa pemeriksaan dilakukan dengan teknik yang baik. Di lain pihak, pemeriksaan dengan CT-Scan tidak boleh diulang tanpa justifikasi klinik dan harus dibatasi pada objek yang menjadi target pemeriksaan. Secara khusus, dokter mempunyai tanggung jawab untuk berkomunikasi dengan radiologis mengenai pemeriksaan pasien CT-Scan sebelumnya.

6. KESIMPULAN

Mempelajari hasil perhitungan dan analisis data terhadap tindakan yang dilakukan pada organ tubuh head, abdomen dan *chest* di rumah sakit yang dijadikan model pengambilan data primer, hasilnya menunjukkan bahwa lebih dari 50% memberikan kontribusi lebih terhadap dosis yang seharusnya diterima oleh pasien dalam setiap tindakan. Besaran tersebut dinyatakan berlebih jika disandingkan dengan nominal yang terdapat dalam Perka 8/2011 dan NCRP No. 172 tahun 2012.

Badan pengawas mempunyai kepentingan untuk melindungi pasien agar tidak mendapatkan dosis radiasi yang lebih besar dari yang seharusnya diterima. Perlindungan pasien terhadap besarnya dosis radiasi yang diterima tersebut dapat ditindaklanjuti salah satunya adalah dengan membatasi penerimaan paparan medik pada pasien. Untuk mengurangi atau membatasi dosis pasien terhadap tindakan diagnostik dengan CT-Scan dapat dilakukan dengan mengoptimalkan peran operator, pabrikan, dokter dan radiologis.

Mengingat tulisan ini hanya memanfaatkan data yang tersedia pada konsul/panel kontrol CT-Scan, maka Penulis memberi catatan bahwa hasil yang telah diperoleh tersebut sebaiknya perlu diverifikasi dengan pengukuran $CTDI_{vol}$ yang menggunakan *phantom* untuk memastikan data $CTDI_{vol}$ panel kontrol sesuai dengan dosis yang diterima pasien.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kepala P2STPFRZR, Kepala Bidang Pengkajian Kesehatan (BPK) dan rekan-rekan di BPK, khususnya Sdr. Rusmanto dan Sdr. Wawan Susanto yang telah memperbolehkan Penulis menggunakan data dan referensinya untuk melengkap dan menyempurnakan tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BAPETEN (2011); Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional; BAPETEN, Jakarta.
- [2] <https://rpop.iaea.org>
- [3] BAPETEN (2011); Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 9 Tahun 2011 tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi

Diagnostik dan Intervensional; BAPETEN, Jakarta.

[4] <http://www.duniaalatkedokteran.com>

[5] IAEA (2012); *Human Health Series No. 19: Quality Assurance Programme For Computed Tomography: Diagnostic and Therapy Applications*; IAEA, Vienna.

[6] NCRP (2012); *The National Council on Radiation Protection and Measurements Recommendation No. 172*; NCRP.

TANYA JAWAB DAN DISKUSI

1. Penanya : Mukhlisin (BAPETEN)

Pertanyaan:

- a) Apakah nilai dosis yang terbaca pada monitor (CTDI & DLP) valid? Mengingat detektor CT-Scan tidak terkalibrasi.
- b) Upaya optimasi yang dapat dilakukan oleh operator apakah penurunan kV dan mA. Bagaimana dengan kualitas citra? Dikaitkan dengan informasi citra dalam penegakan diagnosa.

Jawaban:

- a) Data yang diperoleh dari konsul merupakan data yang dapat dianggap valid, meskipun detektornya tidak terkalibrasi secara resmi. Namun perlu diingat bahwa setiap tahun selalu diadakan maintenance terhadap CT-Scan tersebut oleh Pabrikan. Maintenance tersebut juga meliputi detektor, yang artinya detektor tersebut selalu mendapatkan perawatan secara berkesinambungan. Untuk hasil yang lebih baik maka data CTDI dan DLP perlu divalidasi dengan menggunakan phantom untuk jenis pemeriksaan yang dilakukan.

- b) Salah satu cara yang dilakukan oleh operator untuk tindakan optimasi adalah dengan melakukan adjustable pada kV-mA. Tindakan ini tentunya dapat mempengaruhi kualitas citra yang dihasilkan karena kV berpengaruh pada intensitas sedangkan mA berpengaruh pada dosis yang diterima pasien. Namun untuk mengurangi dosis maka tindakan ini perlu dilakukan. Citra yang dihasilkan dari adjustable pada kV-mA ini dapat disiasati dengan pengaturan citra pada saat pemrosesan dengan alat digital imaging. Untuk tindakan di masa depan, seperti yang diusulkan pada makalah ini, maka Pabrikan dapat mendesain fitur keselamatan tambahan pada CT-Scan untuk kV-mA sehingga citra yang dihasilkan dapat dijadikan pendukung untuk penegakan diagnosa sesuai dengan kondisi pasien, baik dari jenis kelamin maupun usia.



Seminar Keselamatan Nuklir 2014

Makalah Penyaji Oral

Bidang Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif

Prosiding
Seminar
Keselamatan
Nuklir
2014

PENGARUH POLA ALIRAN UDARA DAERAH KERJA DI INSTALASI PRODUKSI RADIOISOTOP DAN RADIOFARMAKA BAGI KESEHATAN PEKERJA RADIASI

Suhaedi Muhammad¹, Rr. Djarwanti RPS², Farida T³

^{1,3}Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi-BATAN

²Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka-BATAN

e-mail: suhaedi.muhammad62@gmail.com

ABSTRAK

PENGARUH POLA ALIRAN UDARA DAERAH KERJA DI INSTALASI PRODUKSI RADIOISOTOP DAN RADIOFARMAKA BAGI KESEHATAN PEKERJA RADIASI. Kontaminasi udara yang terjadi di daerah kerja di lingkungan instalasi produksi radioisotop dan radiofarmaka (IPRR) merupakan salah satu potensi bahaya yang dapat mengakibatkan terjadinya dampak radiologi baik bagi pekerja radiasi itu sendiri maupun bagi lingkungan dan masyarakat. Penyebaran kontaminasi udara di daerah kerja dapat terjadi karena adanya perubahan pola aliran udara khususnya dari daerah dengan potensi kontaminasi tinggi. Ada beberapa faktor yang menjadi penyebab perubahan pola aliran udara di daerah kerja di antaranya adalah tidak sempurnanya fungsi sistem VAC dan sistem filtrasi serta terbukanya jendela dan pintu juga lubang outlet lainnya karena ketidakdisiplinan pekerja radiasi. Terjadinya penyebaran kontaminasi di daerah kerja akan berpengaruh pada kesehatan pekerja radiasi yang ada di daerah tersebut. Sejumlah zat kontaminan khususnya ¹³¹I akan terhirup masuk ke tubuh pekerja radiasi. Jika terjadinya perubahan pola aliran udara ini bersamaan dengan saat berlangsungnya proses produksi radioisotop, maka sejumlah gas nobel akan terhirup masuk ke tubuh pekerja radiasi. Khusus untuk ¹³¹I, jika dari hasil pemeriksaan dengan *whole body counting* (WBC) aktivitasnya di dalam tubuh pekerja radiasi mencapai nilai 140 nCi, maka yang bersangkutan harus diistirahatkan dari bekerja di daerah radiasi dan/atau kontaminasi. Pekerja radiasi ini baru diizinkan bekerja kembali apabila dari hasil pemeriksaan WBC nilai aktivitas ¹³¹I di dalam tubuhnya kurang dari 70 nCi. Untuk kontaminasi interna oleh ¹³⁷Cs sebesar 10 nCi, pekerja radiasi baru boleh bekerja kembali jika dari hasil pemeriksaan WBC aktivitas ¹³⁷Cs yang terdeteksi besarnya 1,5 nCi.

Kata Kunci : Pola aliran udara, kontaminasi udara, pekerja radiasi

ABSTRACT

THE AIR FLOW PATTERN EFFECT IN THE AREA OF RADIOISOTOPE AND RADIOPHARMACEUTICAL PRODUCTION INSTALLATION FOR RADIATION HEALTH WORKERS. Air contamination that occurred in the area of environmental work in radioisotope and radiopharmaceutical production installations (IPRR) is a potential hazard that could result in impacts radiologi both radiation workers themselves as well as for the environment and society. Deployment of air contamination in the work area may occur because of changes in the pattern of air flow, especially from areas with high contamination potential. There are several factors that cause changes in the pattern of air flow in the work area such as imperfect system function VAC and filtration system as well as opening the windows and doors are also opening another outlet for indisciplin radiation workers. The spread of contamination in the work area will affect the health of radiation workers in the area. A number of contaminants especially ¹³¹I will be breathed into the body of radiation workers. If a change in the pattern of air flow, together with the radioisotope during the production process, then the amount of the nobel gas will be breathed into the body of radiation workers. Especially for ¹³¹I, if the results of the examination by whole body counting (WBC) activity in the body radiation workers reached a value of 140 nCi, the subject must be rested from the work in the area of radiation and/or contamination. The new radiation workers were allowed to work again if the value of the results of WBC activity ¹³¹I in his body less than 70 nCi. For internal contamination enumerated by ¹³⁷Cs at 10 nCi, new radiation workers should work again if the results of the examination WBC ¹³⁷Cs activity was detected value of 1.5 nCi.

Keywords: air flow patterns, air contamination, radiation workers

1. PENDAHULUAN

Dalam menjalankan kegiatan operasinya Instalasi Produksi Radioisotop dan Radiofarmaka (IPRR) di manapun adanya di seluruh dunia berpotensi menimbulkan dampak radiologi baik bagi pekerja, masyarakat maupun lingkungan.

Salah satu potensi bahaya yang dapat menimbulkan dampak radiologi adalah kontaminasi udara di daerah kerja. Kontaminasi udara ini dapat terjadi di lingkungan fasilitas produksi radioisotop, fasilitas produksi radiofarmaka maupun fasilitas kendali kualitas.

Untuk mengetahui ada tidaknya kontaminasi udara di daerah kerja, petugas proteksi radiasi biasanya melakukan kegiatan pe-

mantauan rutin minimal tiga kali dalam sepekan dan pemantauan pada saat adanya kegiatan produksi radioisotop (sebelum, pada saat maupun setelah proses produksi).

Kontaminasi udara di daerah kerja dapat terjadi karena sistem VAC dan sistem filtrasi pada *hot cell* tidak berfungsi dengan sempurna. Kegagalan fungsi sistem VAC dan sistem filtrasi mengakibatkan terganggunya tekanan negatif baik ruangan maupun *hot cell* sehingga terjadi perubahan pola aliran udara antar ruang yang berdampak terjadinya penyebaran kontaminasi zat radioaktif [1,2].

Jika kontaminasi udara di daerah kerja nilainya melebihi batas yang diizinkan, maka dapat mempengaruhi kesehatan baik pekerja

radiasi maupun lingkungan di sekitar instalasi produksi radioisotop dan radiofarmaka.

2. METODOLOGI

Bahan-bahan yang digunakan dalam penyusunan tulisan tentang pengaruh pola aliran udara daerah kerja di IPRR terhadap kesehatan pekerja radiasi ini terdiri dari : dokumen Health Physics yang diterbitkan oleh Medhi Physics, dokumen Preliminary Design volume 1-8 terbitan Medhi Physics tahun 1987, dokumen laporan analisis keselamatan IPRR revisi 4 tahun 2011, Peraturan Pemerintah Nomor 33 tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion Dan Keamanan Sumber radioaktif dan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi Dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Renega Nuklir [1,2,3,4,5].

Sedangkan metode yang digunakan terdiri dari :

1. Kajian dan penerapan terhadap dokumen-dokumen tersebut di atas.
2. Tinjauan pengalaman berkaitan dengan pengoperasian instalasi produksi radioisotop dan radiofarmaka.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Daerah Kerja Di IPRR [1,2,3].

Daerah kerja di hampir semua IPRR yang ada di beberapa negara umumnya terbagi ke dalam zona radiasi dan zona kontaminasi. Zona radiasi terbagi ke dalam empat kategori, yaitu zona radiasi I (daerah kerja dengan paparan radiasi $\leq 0,5$ mR/jam), zona radiasi II (daerah kerja dengan paparan radiasi $\leq 2,5$ mR/jam), zona radiasi III (daerah kerja dengan paparan radiasi ≤ 200 mR/jam) dan zona radiasi IV (daerah kerja dengan paparan radiasi > 200 mR/jam).

Sedangkan zona kontaminasi terbagi menjadi: zona kontaminasi A (daerah kerja yang tidak ada kontaminasi), zona kontaminasi B (daerah kerja dengan potensi kontaminasi rendah), zona kontaminasi C (daerah kerja dengan potensi kontaminasi sedang) dan zona kontaminasi D (daerah kerja dengan potensi kontaminasi tinggi) [1,2,3,4,5].

Berdasarkan pembagian zona daerah kerja tersebut di atas, maka *hot cell* termasuk ke dalam kategori zona radiasi IV dan zona kontaminasi D.

3.2. Sistem Ventilasi Di IPRR [1,2,3]

Sistem ventilasi yang ada di instalasi produksi radioisotop dan radiofarmaka (IPRR) umumnya terdiri dari :

a. Unit Pendingin Udara (Sistem VAC).

Setiap unit terdiri dari alat ukur (*demister*), filter, pendingin air dan blower (*exhaust fan*) masing-masing unit mempunyai kecepatan aliran udara sebesar $15,1$ m³/detik, $3,8$ m³/detik, $2,3$ m³/detik dan $13,0$ m³/detik.

b. Filter.

Terdiri dari prefilter, *Hepa filter*, karbon aktif (*charcoal*). Filter ini bisa dijumpai pada unit pendingin udara, *glove box*, *hot cell* dan main *hepa filter* baik berada secara bersama-sama atau secara sendiri-sendiri.

c. Saluran Udara (*Duct*).

Saluran udara dari daerah kontaminasi dan non-kontaminasi bermuara di dua saluran yang berbeda menuju ke cerobong (*stack*).

Udara dari daerah kontaminasi seperti *hot cell*, ruangan *glove box*, ruangan reparasi manipulator, laboratorium binatang percobaan, dsb, setelah melalui prefilter dan *hepa filter* terus ke cerobong yang dilengkapi dengan monitor cerobong. Sistem sampling udara setelah melewati filter *hot cell* (*hepa filter*, karbon aktif), bertemu

dalam satu terminal dengan saluran lain *hepa filter* utama, selanjutnya dihubungkan dengan cerobong.

Udara dari daerah non-kontaminasi seperti ruang perkantoran membentuk terminal-terminal dalam satu saluran lain menuju ke cerobong.

Secara umum operasi sistem VAC di IPRR dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu :

1. Sistem satu jalur yang menggunakan 100% udara luar untuk menahan kondisi di dalam. Semua udara dari sistem ini dikeluarkan ke udara luar untuk mencegah jangkitan sampai terjadi kontaminasi akibat sirkulasi.
2. Sistem sirkulasi yang menggunakan udara ruangan yang disirkulasikan kembali (di dalam area yang tidak terkontaminasi) untuk mengurangi beban pada pendingin ruangan dan menahan kenaikan suhu dan mengontrol kelembaban.

Sistem VAC di IPRR memiliki 5 buah sistem suplai udara dan 3 buah sistem udara keluar (*exhaust*) serta fan-fan untuk mengeluarkan udara dari ruangan perkantoran.

Tekanan relatif dari setiap area distabilkan dengan pengaturan damper dan blower untuk menyeimbangkan semua sistem. Tekanan relatif ini menjaga aliran udara sesuai dengan yang telah direncanakan guna menjamin keselamatan dan kesehatan pekerja radiasi.

Selama sistem beroperasi dalam keadaan normal, tekanan absolut bisa saja berubah (disebabkan oleh kegiatan-kegiatan membuka pintu dan sebagainya), tetapi perbedaan tekanan relatif ini akan selalu dipertahankan tetap. Jika terjadi pemutusan daya dari sumber normal, maka sumber daya darurat akan bekerja secara otomatis dan pada kondisi ini fan-fan pensuplai ventilasi tidak berjalan namun fan-fan untuk mengeluarkan udara dari area kontaminasi potensial tetap beroperasi dengan kapasitas 50%, sehingga secara umum akan tetap menjaga tekanan negatif di area-area tersebut.

Ventilasi udara keluar gedung IPRR dapat dikategorikan berdasarkan kepada tingkat kontaminasi dan dikeluarkan oleh sistem udara ke luar *hot cell*, sistem udara keluar HEPA utama atau sistem udara keluar biasa. Udara keluar sistem filter *hot cell* dan sistem Hepa utama dimonitor tingkat kontaminasi radioaktifnya melalui stack monitor sebelum dibuang ke lingkungan (batas pelepasan yang diizinkan: untuk Iodine 35.000 cpm, untuk *particulate* 180.000 cpm dan untuk noble gas 80.000 cpm). Sistem alarm yang ada pada stack monitor akan berbunyi bila ada lepasan dengan laju pembuangan sebesar 5 m³/detik yang melebihi nilai-nilai batas tersebut. Pada operasi normal, sistem ini terdiri dari dua filter Hepa/*charcoal* aktif dengan kapasitas 100% dan tiga fan masing-masing berkapasitas 50% dan beroperasi secara bersamaan. Dua fan dari fan-fan tersebut beroperasi untuk satu perangkat filter. Fan-fan tersebut dilengkapi dengan pengatur kecepatan yang variabel. Satu perangkat filter dipersiapkan untuk pengganti yang selalu siap beroperasi bila salah satu dari kedua perangkat filter tersebut tidak berjalan.

Penyeimbangan udara di dalam gedung IPRR dan pengaturan tekanan negatif di dalam *hot cell* memerlukan pengontrolan volume udara keluar yang konstan. Ini dilakukan dengan baik oleh adanya sensor volume pada bagian atas aliran udara fan. Pengatur kecepatan variabel fan akan mengatur kecepatan fan, apabila terjadi perubahan tekanan sistem udara keluar akibat terakumulasinya kotoran pada filter. Untuk tetap mempertahankan efisiensi daya serap *charcoal*, maka kelembaban udara yang rendah harus tetap dipertahankan. Untuk menjaga kelembaban ini, sistem ini dilengkapi dengan pemanas listrik yang dapat menaikkan suhu udara keluar sampai $43,3^{\circ}\text{C}$ sebelum udara tersebut mencapai filter *charcoal*.

3.3. Pola Aliran Udara Di IPRR [1,2,3]

Pada saat operasi normal ketika sistem ventilasi berfungsi dengan sempurna, maka di dalam gedung IPRR udara bergerak menuju ke ruangan dengan tekanan yang jauh lebih negatif. Udara

mengalir dari daerah dengan potensi kontaminasi rendah menuju ke daerah dengan potensi kontaminasi yang lebih tinggi.

Umumnya di IPRR di manapun adanya, pola aliran udara ini terbagi ke dalam dua kategori yaitu berdasarkan disain dan berdasarkan hasil pengukuran. Pada tulisan ini tidak akan dicantumkan nilai batas kecepatan aliran udara antar ruang berdasarkan disain karena untuk masing-masing IPR di beberapa negara menetapkan nilai yang berbeda namun patokannya adalah penyimpangan antara hasil pengukuran dengan nilai disain tidak boleh lebih dari 15%.

Berikut ini akan diberikan beberapa contoh pola aliran udara untuk beberapa ruangan yang ada di dalam IPRR yang sangat berpengaruh sebagaimana diberikan pada Tabel 1. Faktor yang Mempengaruhi Pola Aliran Udara antar Ruang di IPRR [1,2,3,4,5]

Perubahan pola aliran udara antar ruang di IPRR dari yang ditetapkan dapat terjadi karena beberapa faktor, yaitu :

1. Gangguan pada beberapa komponen dari sistem VAC seperti: retak atau pecahnya bearing, kondisi as yang bengkok sehingga gerakannya tidak seimbang dan sudah kendornya van belt.
2. Terbukanya jendela dan pintu serta lubang outlet lainnya.
3. Tidak berfungsinya sistem damper dan blower secara sempurna.
4. Tidak berfungsinya sistem filtrasi karena kondisi filter yang sudah jenuh dan kotor.
5. Rusaknya sensor volume pada bagian atas aliran udara fan.
6. Rusaknya pengatur kecepatan yang ada pada fan. Pengaruh Pola Aliran Udara Bagi Kesehatan Pekerja Radiasi [1,2,3]

Jika terjadi perubahan pola aliran udara yang sangat signifikan khususnya pada daerah yang memiliki potensi kontaminasi tinggi (*hot cell* dan ruang analisa sampel) maka akan mengakibatkan terjadinya penyebaran kontaminasi ke daerah sekitarnya.

Apabila perubahan pola aliran udara tersebut terjadi secara berurut hingga ke ruangan yang kontak langsung ke arah luar gedung IPRR, maka akan mengakibatkan terjadinya penyebaran kontaminasi pada lingkungan di sekitar IPRR.

Terjadinya penyebaran kontaminasi di daerah kerja di lingkungan IPRR jelas akan berpengaruh pada kesehatan pekerja radiasi yang ada di daerah tersebut. Sejumlah zat kontaminan khususnya I-131 akan terhirup masuk ke tubuh pekerja radiasi. Jika terjadinya perubahan pola aliran udara tersebut bersamaan dengan saat berlangsungnya proses produksi radioisotop, maka sejumlah gas nobel akan terhirup masuk ke tubuh pekerja radiasi.

Besarnya dosis yang diterima oleh pekerja radiasi yang sedang berada di suatu ruangan jika terjadi penyebaran kontaminasi dari ruangan lain akibat menghirup I-131 dapat ditentukan dengan persamaan berikut [1,2,3,5]:

$$D = 2,834 \times 10^{-4} (x/Q) X t \text{ mRem} \quad (1)$$

Di mana :

- X : Konsentrasi gas iodium, $\mu\text{Ci}/\text{cc}$.
 (x/Q) : Faktor dispersi antar ruangan, detik/ m^3 .
 t : lama waktu hisap, menit.
 $2,834 \times 10^{-4}$: Faktor konversi

Sedangkan besarnya dosis yang diterima oleh pekerja radiasi akibat menghirup gas nobel dapat ditentukan dengan persamaan [1,2,3,5] :

$$D = 1,266 \times 10^{-8} (x/Q) X t \text{ mRem} \quad (2)$$

Di mana :

- X : Konsentrasi gas nobel, $\mu\text{Ci}/\text{cc}$.
 (x/Q) : Faktor dispersi antar ruangan, detik/ m^3 .
 t : lama waktu hisap, menit.
 $1,266 \times 10^{-8}$: Faktor konversi

Tabel 1: Contoh Pola Aliran Udara Di IPRR

No	Lokasi	Ketentuan Pola Aliran Udara
A. Area Lobi Dan Sekitarnya		
1.	Lobi depan gedung IPRR	Dari luar ke lobi
2.	Lorong ruang keselamatan	Dari lobi masuk ke lorong ruang keselamatan
3.	Ruang keselamatan.	Dari lobi masuk ke ruang keselamatan.
		Dari lorong masuk ke ruang keselamatan.
4.	Ruang ganti pakaian radioisotop.	Dari lorong masuk ke ruang ganti pakaian radioisotop
5.	Ruang ganti pakaian radiofarmaka.	Dari lobi masuk ke ruang ganti pakaian radiofarmaka.
B. Area Radioisotop dan Sekitarnya		
1.	Depan <i>gallery hot cell</i> .	Masuk ke ruang <i>gallery hot cell</i>
2.	<i>hot cell service area</i> radioisotop	Dari ruang <i>gallery hot cell</i> masuk ke <i>hot cell service area</i> radioisotop.
		Dari ruang <i>truck bay</i> masuk ke <i>hot cell service area</i> radioisotop
3.	Ruang <i>Hot cell</i>	Dari <i>hot cell service area</i> radioisotop masuk ke ruang <i>hot cell</i> .
C. Area Radiofarmaka		
1.	Ruang perakitan Generator	Dari ruang ganti pakaian radiofarmaka masuk ke ruang perakitan Generator.
2.	<i>hot cell service area</i> radiofarmaka.	Dari ruang perakitan Generator masuk ke <i>hot cell service area</i> radiofarmaka.
3.	<i>hot cell Generator</i> .	Dari <i>hot cell service area</i> radiofarmaka masuk ke <i>hot cell Generator</i> .

Guna mengetahui apakah pekerja radiasi terkena kontaminasi interna atau tidak, maka yang bersangkutan harus melakukan pemeriksaan *whole body counting* (WBC). Jika dari hasil pemeriksaan diperoleh nilai aktivitas ^{131}I sebesar 140 nCi, maka yang bersangkutan harus diistirahatkan sementara dari bekerja di daerah radiasi dan/atau daerah kontaminasi sampai hasil pemeriksaan WBC berikutnya jumlah aktivitas ^{131}I di dalam tubuhnya kurang dari 70 nCi [6]. Agar kandungan aktivitas ^{131}I di dalam tubuh pekerja radiasi cepat berkurang, maka yang bersangkutan diharuskan minum tablet Kalium Iodida (diberikan per oral dengan dosis 130 mg KI) sebanyak dua kali dalam sehari masing-masing satu tablet begitu diketahui dari hasil pemeriksaan WBC ada kandungan ^{131}I dengan aktivitas sebesar 140 nCi [6].

Sedangkan jika hasil pemeriksaan WBC terdeteksi adanya ^{137}Cs sebesar 10 nCi, maka yang bersangkutan harus diistirahatkan sementara dari bekerja di daerah radiasi dan/atau daerah kontaminasi sampai hasil pemeriksaan WBC berikutnya jumlah aktivitas ^{137}Cs di dalam tubuhnya kurang dari 1,5 nCi. Untuk mengurangi kandungan ^{137}Cs di dalam tubuh, maka yang bersangkutan harus meminum larutan Frussian Blue yang dicampur dengan 1 sendok air dengan dosis : mula-mula 1 gram, 4 jam kemudian 5 gram dan 4 jam berikutnya 5 gram lagi [7]

4. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian tersebut di atas, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Kontaminasi udara di daerah kerja di lingkungan IPRR merupakan salah satu potensi bahaya yang dapat mengakibatkan terjadinya dampak radiologi baik bagi pekerja radiasi, lingkungan maupun masyarakat.
2. Kontaminasi udara di daerah kerja dapat terjadi di antaranya karena sistem VAC dan sistem filtrasi pada *hot cell* tidak berfungsi dengan sempurna.

3. Kondisi di IPRR sekarang ini sudah tidak sesuai lagi dengan di-sain awal sehingga pola aliran udara antar ruang rentan untuk berubah.
4. Untuk mencegah keselamatan dan kesehatan pekerja radiasi, maka pola aliran udara di daerah kerja di IPRR harus bergerak dari daerah dengan kontaminasi rendah menuju ke daerah dengan kontaminasi tinggi.
5. Faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan pola aliran udara adalah tidak sempurnanya fungsi sistem VAC dan sistem filtrasi.
6. Perubahan pola aliran udara khususnya di daerah dengan potensi kontaminasi tinggi akan sangat berpengaruh pada keselamatan dan kesehatan baik bagi pekerja radiasi, lingkungan maupun masyarakat.
7. Untuk menjaga agar pola aliran udara antar ruang di IPRR sesuai dengan yang ditetapkan, maka perawatan dan perbaikan sistem VAC dan sistem filtrasi harus dilakukan sesuai dengan jadwal yang telah disahkan oleh Satuan Jaminan Kualitas.
8. Pekerja radiasi yang terkena kontaminasi interna ^{131}I dengan aktivitas 140 nCi baru boleh bekerja kembali apabila aktivitas ^{131}I yang terdeteksi dari hasil pemeriksaan WBC kurang dari 70 nCi.
9. Pekerja radiasi yang terkena kontaminasi interna ^{137}Cs dengan aktivitas 10 nCi baru boleh bekerja kembali apabila aktivitas ^{137}Cs

yang terdeteksi dari hasil pemeriksaan WBC nilainya 1,5 nCi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] **Medhi Physics** (1987); *Health Physics*; Medhi Physics.
- [2] **Medhi Physics** (1987); *Preliminary Design volume 1-8*; Medhi Physics.
- [3] **PT Batan Teknologi [Persero]** (2011); *Laporan Analisis Keselamatan Instalasi Produksi Radioisotop dan Radiofarmaka (IPRR) Revisi 4*; Serpong.
- [4] **Republik Indonesia** (2007); *Peraturan Pemerintah No. 33 tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif*; Setneg, Jakarta.
- [5] **BAPETEN** (2013); *Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi Dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaata Tenaga Nuklir*; BAPETEN, Jakarta.
- [6] **Colard, J.F., Verly, W.G., Henry, J.A., Boulenger, R.R.** (1965); *Health Physics, 11th Edition*, p.23.
- [7] **Richmond, C.R.** (1968); *Accelerating The Turnover of Internally Deposited Radiocaesium⁹⁰, Diagnosis and Treatment of Deposited Radionuclides* (Kornberger, H.A., Norwood, W.D., eds); Excerpta Medica Foundation, New York, p.315.

TANYA JAWAB DAN DISKUSI

1. **Penanya** : W. Parsuad (BATAN)

Pertanyaan:

- a) Apakah pada cabang-cabang aliran udara tidak dipasang sensor elektronik, sehingga alarm akan berbunyi. Jika ada telusur negatif.

Jawaban:

Agar pola aliran tetap harus dikontrol secara rutin. Sistem VAC untuk mencegah kontaminasi. Disiplin pekerja radiasi sangat diperlukan. Penggantian filter harus diganti secara rutin.



Seminar Keselamatan Nuklir 2014

Makalah Penyaji Oral

Bidang Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif

Prosiding
Seminar
Keselamatan
Nuklir
2014

TINJAUAN SANKSI ADMINISTRATIF TERKAIT PENEGAKAN HUKUM DI BIDANG FASILITAS RADIASI DAN ZAT RADIOAKTIF

Togap P. Marpaung

Koordinator Penyusunan PP No. 33 Tahun 2007 dan PP No. 29 Tahun 2008
BAPETEN, Jl. Gajah Mada No. 8 Jakarta 10120, email: t.marpaung@bapeten.go.id

ABSTRAK

TINJAUAN SANKSI ADMINISTRATIF TERKAIT PENEGAKAN HUKUM DI BIDANG FASILITAS RADIASI DAN ZAT RADIOAKTIF, BAPETEN telah melaksanakan amanat dari Peraturan Pemerintah (PP) terhadap sanksi administratif dalam pemanfaatan tenaga nuklir di bidang Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif (FRZR). Sanksi administratif yang diatur dalam PP 33/2007, sebagai berikut: (a) tiga kali peringatan tertulis; (b) penghentian sementara beroperasinya instalasi; dan/atau (c) pencabutan izin. Sedangkan PP 29/2008 sanksi administratif meliputi: (a) dua kali peringatan tertulis; atau (b) pencabutan izin. Meskipun kedua PP tersebut didedikasikan secara khusus untuk kendali pengawasan dalam bidang FRZR akan tetapi mekanisme penegakan hukum yang diatur berbeda sehingga hal itu menimbulkan pertanyaan bagi pihak pemegang izin. Inspektur BAPETEN juga menanyakan 2 (dua) poin, yaitu: (1) mengapa hal itu terjadi?; dan (2) PP yang mana akan diterapkan jika ada pelanggaran administratif? Perbedaan tersebut disebabkan masukan dari Dirjen Peraturan Perundang-undangan, Kementerian Hukum dan HAM, yaitu "pengawasan nuklir harus diatur lebih ketat dan tegas, tidak perlu penghentian sementara, langsung izin dicabut setelah diperingati sampai 2 kali". Menurut ketentuan, PP yang diterapkan adalah yang terbit belakangan. Kesimpulan: meskipun ada perbedaan dalam dua PP akan tetapi tidak mempengaruhi secara signifikan sistem kendali pengawasan jika ada pelanggaran hukum terkait aspek keselamatan radiasi dan keamanan sumber radioaktif. Mekanisme penegakan hukum akan diputuskan tergantung hasil penilaian Kepala BAPETEN yang didasarkan pada laporan investigasi oleh inspektur.

Kata kunci: peraturan pemerintah, sanksi administratif, radiasi.

ABSTRACT

REVIEW OF ADMINISTRATIVE SANCTIONS RELATED WITH LAW ENFORCEMENT IN RADIATION AND RADIOACTIVE SUBSTANCES FACILITY, BAPETEN has executed administrative sanctions of the Government Regulation (GR) in the utilization of nuclear energy in the field of radiation and radioactive substances facility. Administrative sanctions stipulated in GR No 33 Year 2007, covering: (a) three written warnings; (b) the suspension of the operation of the installation; and/or (c) the revocation of license. While the GR. 29 Year 2008 the following administrative sanctions: (a) two written warnings; or (b) revocation of license. Although both the GR is dedicated specifically for regulatory controlling in FRZR field but enforcement mechanisms are set differently so it begs the question to the licensee. Inspector BAPETEN also asked two (2) points, namely: (1) why does it happen?; and (2) which GR will be applied if there is an administrative violation? The difference is due to the input of the General Director of Legislation, Ministry of Law and Human Right, namely: "regulatory nuclear must be regulated more strictly and firmly, do not need a temporary suspension, license revoked immediately after the warning letter until 2 times". According to regulations, the GR will be implemented is published later. Conclusion: although there are differences in the two GR but do not significantly affect the regulatory control system if there is a violation of law related aspects of radiation safety and security of radioactive sources. Enforcement mechanism will be decided depending on the results of the assessment are based on the Chairman of BAPETEN investigative report by the inspector.

Keywords: government regulation, administrative sanction, radiation.

1. PENDAHULUAN

1.1. Umum

Ada 2 (dua) Peraturan Pemerintah (PP) yang menjadi sangat strategis dalam penegakan hukum terkait pelanggaran sanksi administratif di bidang Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif (FRZR). Kedua PP tersebut meliputi: PP 33/2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif; dan (2) PP 29/2008 tentang Perizinan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir.

Namun demikian, jika dicermati sanksi administratif yang ditetapkan dalam dua PP maka terkesan kurang konsisten karena ada perbedaan dalam hal mekanisme penegakan hukumnya. Adapun yang dimaksud pemanfaatan tenaga nuklir di bidang FRZR meliputi sejumlah kegiatan untuk kesehatan (medik), industri dan penelitian sebagaimana diatur dalam PP 29/2008.

1.2. Latar Belakang

Ada 3 (tiga) hal yang menjadi latar belakang penulisan makalah ini, yaitu:

1. Pertanyaan yang diajukan oleh pemegang izin dan salah satu peserta rapat koordinasi (rakor) inspektur BAPETEN, pada tanggal 23-24 Juli 2013 dan 27-28 November 2013 di Gd. B, Lt. 8, BAPETEN, Jakarta, tentang:
 - ♦ perbedaan sanksi administratif yang diatur dalam PP 33/2007 dan PP 29/2008; dan
 - ♦ PP yang akan diterapkan jika terjadi pelanggaran sanksi administratif.
2. Sumber daya manusia (SDM), yaitu insan pengawas tenaga nuklir merasa cukup sulit memahami secara legal dan teknis materi kedua PP tersebut, termasuk peraturan pelaksanaannya,

yaitu Peraturan Kepala (Perka) BAPETEN yang jumlahnya cukup banyak.

- Adanya beberapa kekeliruan dalam PP dan Perka BAPETEN, misalnya: pasal yang diacu, sanksi yang tidak diatur, sistematisa penulisan dan nilai batas dosis

1.3. Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan makalah ini adalah untuk memberikan uraian lebih rinci dan jelas terkait sanksi administratif berdasarkan hasil studi literatur dan diskusi sehingga penegakan hukum dalam pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir semakin lebih baik ke depan.

2. METODE PENULISAN

Penulis menggunakan metode studi literatur berdasarkan data-data yang diperoleh dari dokumen BAPETEN, buku, diskusi dan pengalaman yang terlibat langsung sebagai Koordinator Tim Penyusunan beberapa PP, antara lain PP 33/2013 dan PP 29/2008.

3. PEMBAHASAN

3.1. Catatan Penetapan Sanksi Administratif

Ada satu catatan penting terkait penetapan sanksi administratif ketika rapat koordinasi (rakor) harmonisasi RPP tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir tahun 2008. Catatan penting yang dimaksud adalah dokumen Tim Peraturan BAPETEN mengenai sanksi administratif yang ditetapkan dalam RPP tersebut adalah sama seperti Pasal 81 PP 33/2007. Model drafting ini dibuat sama dengan sanksi administratif yang diatur dalam Pasal 14 dan 15 PP 64/2000 yang menjadi rujukan. Akan tetapi, ketika rakor terbatas (terdiri dari: KEMENKUMHAM, BAPETEN, SEKAB dan SETNEG) Bapak Dirjen Perundang-undangan KEMENHUMKAM menegaskan: “pengawasan nuklir harus diatur lebih ketat dan tegas, tidak perlu penghentian sementara beroperasinya instalasi, langsung izin dicabut setelah diperingati sampai 2 (dua) kali, jadi tidak perlu diperingati 3 (tiga) kali”. Rakor terbatas tersebut diselenggarakan pada awal tahun 2008 di kantor KEMENKUMHAM,

Tidak dapat dipungkiri bahwa konsekuensi atau implikasi adanya perbedaan dari ketentuan yang mengatur sanksi administratif dalam kedua PP tersebut menimbulkan dua opsi jika pemegang izin melanggar ketentuan keselamatan radiasi atau keamanan sumber radioaktif yang menjadi persyaratan izin. Pertanyaan yang diajukanpun menjadi relevan, PP yang mana di antara keduanya akan diterapkan jika ada pelanggaran terkait persyaratan keselamatan radiasi dan/atau keamanan sumber radioaktif? Pertanyaan ini merupakan tantangan yang harus disikapi dengan bijak dalam menerapkan sanksi administratif karena menurut kelajiman, PP yang terakhirlah (PP 29/2008) yang dianggap lebih tepat.

Untuk menyempurnakan *legal drafting*, Tim Peraturan BAPETEN memperhatikan UU 10/2004 tentang Pembentukan Peraturan Perundang-undangan. Juga menyerap aspirasi pemangku kepentingan pada saat konsultasi publik RPP di Jakarta dan beberapa ibukota provinsi lain.

3.2. Mekanisme Sanksi Administratif

Sanksi administratif akan diatur kemudian setelah persyaratan keselamatan radiasi dan atau keamanan sumber radioaktif ditetapkan secara lengkap, yang jumlah pasalnya cukup banyak. Untuk lebih jelasnya, perbedaan mekanisme sanksi administratif yang diatur dalam PP di bidang FRRZ, diberikan pada [Tabel 1](#).

Tabel 1: Mekanisme Sanksi Administratif

PP 64/2000 Pasal 14 [1]	PP 33/2007 Pasal 81 [2]	PP 29/2008 Pasal 80 [3]
a. tiga kali peringatan tertulis; b. pembekuan izin; dan c. pencabutan izin.	a. tiga kali peringatan tertulis; b. penghentian sementara beroperasinya instalasi; dan/atau c. pencabutan izin.	a. dua kali peringatan tertulis; atau b. pencabutan izin.

Jika memperhatikan pasal-pasal yang berpotensi untuk dilanggar oleh pemegang izin, cukup banyak kasus yang akan ditindaklanjuti oleh BAPETEN. Akan tetapi mengingat pemanfaatan tenaga nuklir dikelompokkan berdasarkan pada tingkat risiko bahaya radiasi sebagaimana yang diatur dalam PP 29/2008, yang terdiri dari kelompok pemanfaatan A, B dan C, maka sanksi administratif lebih berpotensi untuk kelompok pemanfaatan A. Dalam hal ini, kelompok pemanfaatan A lebih berisiko daripada B dan kelompok pemanfaatan C yang risikonya sangat kecil.

Pengelompokan pemanfaatan A, B dan C berdasarkan pada:

- potensi bahaya radiasi;
- tingkat kerumitan fasilitas dan/atau sumber radiasi pengion;
- jumlah dan kompetensi personil yang bekerja;
- potensi dampak kecelakaan radiasi terhadap keselamatan, kesehatan pekerja dan anggota masyarakat, dan lingkungan hidup; dan
- potensi ancaman terhadap sumber radioaktif.

Satu hal yang menjadi perhatian adalah diantara sesama kelompok pemanfaatan A sekalipun juga terdapat perbedaan tingkat risiko bahaya. Berdasarkan publikasi IAEA dalam *Lesson Learned from Radiological Accidents*, dalam bidang FRZR kegiatan industri yang cukup sering terjadi kecelakaan radiasi adalah kamera radiografi dan iradiator kategori IV, untuk kegiatan kesehatan (medik) adalah radioterapi [5,6].

3.3. Penerapan Sanksi Administratif Dapat Berbeda

Meskipun temuan inspeksi sama (misal surveymeter tidak ada di lokasi karena sesuatu hal) untuk jenis kegiatan berbeda (misal radiografi industri dan gauging) maka penerapan sanksi administratif bisa berbeda. Penjelasan adalah alat ukur radiasi (surveymeter) merupakan persyaratan izin baik untuk penggunaan radiografi industri maupun gauging. Akan tetapi jika tidak ada surveymeter tersedia di lapangan maka pekerjaan radiografi industri tidak boleh dilakukan karena tingginya potensi kecelakaan radiasi. Sedangkan untuk gauging, surveymeter yang tidak ada di lokasi masih dapat dipahami untuk sementara waktu karena potensi kecelakaan radiasi jauh lebih kecil dibandingkan radiografi industri.

Di negara-negara maju yang sudah menerapkan komitmen “Budaya Keselamatan”, maka “**No Surveymeter, No Job**”. Oleh karena pada hakikatnya kecelakaan radiasi tidak mungkin dapat diantisipasi jika tidak ada surveymeter, prinsip ini telah diteladani.

Penerapan sanksi administratif merupakan pelanggaran terhadap persyaratan keselamatan radiasi dan/atau keamanan sumber radioaktif. Sedangkan mekanisme penindakan hukumnya didahului dengan peringatan tertulis sampai 3 kali dan penghentian sementara operasi hingga pencabutan izin. Penghentian sementara operasi apalagi pencabutan izin merupakan tindakan yang tidaklah mudah untuk dilaksanakan.

Dalam menerapkan sanksi administratif, ada 2 (dua) hal mendasar yang menjadi perhatian, yaitu: (1) kategori dan tingkat temuan; dan (2) sumber daya manusia.

3.4. Kategori dan Tingkat Temuan

Untuk mempermudah pelaksanaan tindakan sanksi administratif ini, Direktorat Inspeksi FRZR, BAPETEN sebagai unit pe-

laksana penegakan hukum telah membuat kategori dan tingkat temuan inspeksi berdasarkan UU 10/1997 dan PP 33/2007 dan PP 29/2008, diberikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2: Kategori dan Tingkat Temuan [8]

Kategori Temuan	Tingkat	Sanksi
Pelanggaran Peraturan (UU) <ul style="list-style-type: none"> ◦ tidak memiliki izin peman-faatan ◦ tidak memiliki SIB 	I Berat	Pidana: denda, kurungan
Pelanggaran terhadap Batas Keselamatan (PP) <ul style="list-style-type: none"> ◦ membahayakan keselamatan masyarakat, pekerja dan lingkungan (paparan/kontaminasi berlebih) ◦ terjadinya kecelakaan ◦ pemanfaatan berbeda dengan izin 	II Sedang	Administrasi: Penghentian sementara operasi, pencabutan izin
Pelanggaran terhadap Batas Kondisi Operasi dan/atau Persyaratan Perizinan (PP, Perka) <ul style="list-style-type: none"> ◦ tidak melakukan pemeriksaan kesehatan ◦ tidak melakukan pemantauan dosis ◦ tidak membuat rekaman 	III Ringan	Administrasi: peringatan, pencabutan izin

Mencermati **Tabel 2**, maka pelanggaran yang dikenakan sanksi administratif yang diatur dalam PP merupakan Kategori Temuan Tingkat II (Sedang) dan Tingkat III (Ringan). Sedangkan Tingkat I (Berat) hanya jika tidak memiliki izin atau tidak memiliki SIB yang diatur dalam UU 10/1997 [4].

Kategori dan tingkat temuan dalam **Tabel 2** kurang tepat jika disatukan antara pelanggaran PP dengan UU dikarenakan pelanggaran UU sudah pasti masuk ke tindak pidana, sedangkan pelanggaran PP belum tentu dikenakan sanksi pidana. Jika masalahnya mengenai tidak memiliki izin dengan tidak memiliki PPR disandingkan, kedua kasus itu masih cukup relevan karena sama-sama sanksi pidana.

Pelanggaran yang diatur dalam PP yang berimplikasi pada potensi kecelakaan atau terjadinya kecelakaan yang relevan dibuat tingkat pelanggarannya. Untuk menetapkan kategori dan tingkat temuan maka kecelakaan radiasi dan faktor kontribusi penyebab kecelakaan merupakan indikator yang menjadi pertimbangan pokok Kepala BAPETEN dalam menerapkan sanksi administratif sehingga kebijakan berupa tindakan yang diputuskan menjadi tepat sasaran.

3.4.1. Kecelakaan Radiasi

Potensi kecelakaan radiasi merupakan risiko yang dapat terjadi dalam setiap pemanfaatan tenaga nuklir kapan dan di mana saja. Risiko adalah konsekuensi dikalikan probabilitas kejadian. Kejadian yang dimaksud adalah terkait dengan penerimaan paparan radiasi yang dapat diartikan sebagai akibat terjadinya kecelakaan radiasi. Mencermati secara baik yang dimaksud dengan kecelakaan radiasi tidaklah mudah apalagi masalah tentang radiasi bukanlah pengetahuan yang sederhana.

Ada banyak persepsi mengenai risiko seseorang terpapar radiasi, sebagai contoh seseorang dapat menjadi mandul jika bekerja sebagai radiografer medik di rumah sakit. Hingga sekitar sepuluh tahun yang lalu, faham itu masih menghantui sebagian radiografer medik dan masih menjadi stigma yang menakutkan. Akan tetapi pemahaman yang benar sudah dipahami dengan baik, yaitu seseorang menjadi mandul tidak mungkin kecuali diakibatkan oleh dosis radiasi yang amat sangat besar. Jelas bahwa mandul adalah hal yang tidak mungkin bagi pekerja radiasi jika bekerja sesuai prosedur keselamatan.

Menurut IAEA-BSS No. 115 Tahun 1996, kecelakaan adalah kejadian tak disengaja, termasuk di dalamnya kesalahan operasi, kegagalan alat atau kecelakaan kecil lainnya, yang konsekuensi atau potensi konsekuensinya tidak dapat diabaikan dari segi proteksi dan keselamatan. Jadi makna suatu kecelakaan radiasi tidak harus berakibat sangat fatal (misalnya mandul, organ tubuh diamputasi atau meninggal).

Kecelakaan juga dapat diartikan sebagai penerimaan paparan radiasi yang rendah meskipun konsekuensinya terhadap kesehatan tidak signifikan, kejadian seperti ini dinyatakan sebagai insiden (*minor accident*). Penerimaan paparan radiasi meskipun kecil tetapi dalam jangka waktu yang lama (puluhan tahun), tidak boleh sebab peluang terjadinya efek stokastik harus dipertimbangkan, yaitu kanker.

3.5. Sanksi Terkait Kecelakaan Radiasi

Pasal 82 Huruf c PP 29/2008 merupakan ketentuan yang mengatur bahwa izin pemanfaatan sumber radiasi pengion langsung dicabut oleh Kepala BAPETEN, jika diketahui pemegang izin: "karena kegiatannya menimbulkan kecelakaan radiasi". Agar tidak salah dalam menerapkan pasal tersebut maka selain memahami pengertian kecelakaan radiasi, alangkah baiknya juga penyebab terjadinya kecelakaan radiasi ditelaah lebih mendalam.

Sesuai dengan bahan kuliah yang disampaikan oleh IAEA ketika mengikuti pendidikan (*Post Graduate Diploma in Radiation Protection* di Universiti Kebangsaan Malaysia, tahun 2002-2003), kecelakaan radiasi dalam pemanfaatan tenaga nuklir di bidang FRZR, khususnya penggunaan kamera radiografi industri dapat disebabkan oleh 6 (enam) faktor, sebagai berikut:

1. Tidak ada atau kurangnya pelatihan
2. Kurang berfungsinya badan pengawas
3. Ketidak sesuaian atau tidak adanya program keselamatan
4. Tidak mengikuti prosedur keselamatan
5. Kegagalan alat
6. Kegagalan penggunaan surveymeter

Maksud dari poin nomor 2 adalah Program pengawasan nasional tidak eksis atau tidak efektif mencakup: (1) Badan pengawas tidak mempunyai otoritas atau sumber daya yang cukup; (2) Proses perizinan tidak eksis atau tidak efektif; (3) Kegiatan inspeksi di lapangan juga tidak eksis atau tidak efektif; dan (4) Tindak-lanjut inspeksi tidak sesuai [7].

3.6. Sumber Daya Manusia (SDM)

Salah satu komponen pengawasan yang menjadi perhatian serius Pimpinan BAPETEN adalah SDM, tidak hanya insan inspektur tetapi juga evaluator perizinan maupun *lawyer* BAPETEN yang terlibat dalam penegakan hukum. Oleh karena itu, SDM harus memenuhi kualifikasi sesuai dengan tugas dan perannya. Terutama, Inspektur Utama sebagai Ketua Tim pada saat melaksanakan tugas penegakan hukum harus siap dan kompeten, baik dari aspek teknis maupun legal.

Pengetahuan teknis yang dimaksud, lingkup keilmuannya cukup luas dan kompleks karena ada sejumlah permasalahan teknis yang berpotensi pada kecelakaan radiasi jika prinsipnya tidak dipahami dengan baik. Salah satu catatan penting pada saat rakor inspektur 18-19 Februari 2014 di Lt. 8, Gd. B, BAPETEN terkait pengetahuan teknis adalah pernyataan, sebagai berikut:

1. inspektur tidak mungkin terpapar sumber neutron jika tidak pernah ke reaktor.
2. laboratorium dosimetri yang mengevaluasi pemantauan dosis perorangan, yaitu *thermo luminescence dosimeter* (TLD) yang terindikasi sumber neutron dituduh ceroboh karena inspektur tidak pernah ke reaktor.
3. poin nomor 1 tersebut barangkali suatu anomali dalam pemanfaatan tenaga nuklir.

Pernyataan tersebut adalah keliru karena sumber neutron tidak hanya digunakan di reaktor nuklir bidang IBN tetapi juga untuk *well logging* dan *gauging* di bidang FRZR, yaitu amerisium-berilium (Am-Be) dan californium (²⁵²Cf).

Oleh karena itu, jangan sampai menggunakan surveymeter yang lazim digunakan di bidang FRZR, yaitu surveymeter jika

sumber radiasinya pemancar neutron. Dalam hal ini, inspektur bisa keliru karena mengira tidak ada paparan radiasi yang terdeteksi, (makalah akan ditulis tentang “Kajian Pengawasan Sumber Radiasi Pemancar Neutron di Bidang FRZR”).

Dengan aspek legal, inspektur (meskipun bukan sebagai Penyidik Pegawai Negeri Sipil-PPNS) tetapi perannya dapat menjadi saksi ahli jika terjadi penegakan hukum. Terlebih lagi jika ada pertanyaan dari pemegang izin mengenai peraturan perundang-undang ketenaganukliran yang dianggap keliru.

Ada beberapa kekeliruan dalam PP dan Perka BAPETEN yang menjadi perhatian, di antaranya:

- yang diacu dalam sanksi administratif (Pasal 20 dikaitkan ke Pasal 83 dan 40 Ayat (5) PP 33/2007. Juga Pasal 66 Ayat (2) PP 29/2008);
- sanksi yang tidak diatur (Pasal 19 dan 27 PP 33/2007);
- sistematika penulisan (Pasal 14 dan penjelasan Huruf di PP 29/2008); dan
- nilai batas dosis (NBD).

Dalam Pasal 14 Ayat (1) PP 29/2008 ditetapkan persyaratan teknis terdiri atas:

- prosedur operasi;
- spesifikasi teknis sumber radiasi pengion yang digunakan, sesuai dengan standar keselamatan radiasi;
- perlengkapan proteksi radiasi dan/atau peralatan keamanan sumber radioaktif;
- program proteksi dan keselamatan radiasi dan/atau program keamanan sumber radioaktif;
- laporan verifikasi keselamatan radiasi dan/atau keamanan sumber radioaktif;
- hasil pemeriksaan kesehatan pekerja radiasi yang dilakukan oleh dokter yang memiliki kompetensi, yang ditunjuk pemohon izin, dan disetujui oleh instansi yang berwenang di bidang ketenaga-kerjaan; dan atau
- data kualifikasi personil, yang meliputi petugas proteksi radiasi dan personil lain yang memiliki kompetensi;
- personil yang menangani sumber radiasi; dan/atau
- petugas keamanan sumber radioaktif.

Poin a, yaitu prosedur operasi seharusnya diganti dengan fasilitas atau instalasi karena prosedur adalah bagian dari program proteksi radiasi dan fasilitas atau instalasi merupakan urutan pertama yang disyaratkan sesuai dengan sistematika persyaratan teknis. Fasilitas/instalasi adalah suatu tempat di mana sumber radiasi dipasang atau dioperasikan.

Demikian halnya penjelasan Pasal 14 Huruf d PP 29/2008, program proteksi dan keselamatan radiasi antara lain, berisi tentang:

- penyelenggara keselamatan radiasi;
- personil yang bekerja di fasilitas atau instalasi;
- pembagian daerah kerja;
- pemantauan paparan radiasi dan/atau kontaminasi radioaktif di daerah kerja;
- pemantauan radioaktivitas lingkungan di luar fasilitas atau instalasi;
- program jaminan mutu proteksi dan keselamatan radiasi;
- rencana penanggulangan keadaan darurat;
- uraian mengenai barang konsumen, penggunaan dan manfaat produk, fungsi dan radionuklida yang terkandung dalam barang konsumen; dan/atau
- aktivitas radionuklida yang akan digunakan dalam barang konsumen.

Sistematikanya keliru, seharusnya mulai huruf a sampai dengan g saja. Huruf h dan i termasuk huruf a yang ditetapkan dalam Pasal 14 ayat (1) adalah bagian dari persyaratan teknis untuk Kelompok Pemanfaatan C, misalnya barang konsumen.

Sedangkan kekeliruan NBD yang diatur dalam Perka BAPETEN 4/2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir, sebagai berikut:

- Pasal 15 Huruf c, NBD untuk pekerja radiasi dengan ketentuan: dosis ekuivalen untuk lensa mata rata-rata sebesar 20 mSv/th dalam periode 5 tahun dan 50 mSv dalam 1 tahun tertentu.
- Pasal 16 Huruf b, NBD pekerja magang untuk pelatihan kerja, pelajar atau mahasiswa yang berumur 16 tahun sampai dengan 18 tahun dengan ketentuan: dosis ekuivalen untuk lensa mata sebesar 50 mSv/th [11].

Berdasarkan IAEA GSR Part 3 yang diacu dari ICRP No. 103, seharusnya Pasal 16 Huruf b PP 29/2008 NBD adalah 20 mSv [10]. Secara logika, NBD pekerja magang untuk pelatihan kerja, pelajar atau mahasiswa yang berumur 16 tahun sampai dengan 18 tahun tidak boleh lebih besar daripada NBD untuk pekerja radiasi. Oleh karena pekerja radiasi sudah dijamin hak dan kewajibannya secara penuh sesuai peraturan-perundang-undangan yang usianya di atas 18 tahun. Hal yang sama dengan NBD anggota masyarakat harus lebih kecil dari pekerja magang atau mahasiswa dan pekerja radiasi. Kekeliruan tersebut berpotensi terjadinya penerimaan paparan berlebih yang mengarah terjadinya kecelakaan radiasi sebagaimana diatur dalam Perka BAPETEN 4/2013.

Masalah lain terkait NBD pekerja radiasi adalah adanya perbedaan NBD untuk lensa mata. Dalam beberapa Perka BAPETEN (terbit sebelum Perka BAPETEN 4/2003), NBD lensa mata adalah 150 mSv dalam 1 (satu) tahun. Selanjutnya NBD diturunkan menjadi 20 mSv dalam Perka BAPETEN 4/2013 sesuai rekomendasi IAEA. Perubahan nilai NBD yang signifikan ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan untuk para praktisi medik sebagai pekerja radiasi di bagian kardiologi. Namun, Perka BAPETEN 8/2011, 17/2012 dan 3/2013 yang terkait kesehatan, NBD adalah 150 mSv.

Untuk memahami suatu PP secara utuh maka penjelasan PP harus juga diperhatikan. Adalah sesuai ketentuan bahwa suatu penjelasan pasal-pasal dinyatakan “cukup jelas, akan tetapi bisa jadi belum jelas. Hal itu dilakukan dengan berbagai faktor: (1) perdebatan yang berkepanjangan; (2) keterbatasan waktu dan biaya; dan (3) hal-hal yang belum jelas dapat diakomodir dalam peraturan turunannya (Peraturan Menteri atau Peraturan Kepala Badan). Bahkan diuraikan lagi dalam Pedoman yang lebih rinci serta tulisan yang dituangkan dalam makalah. Sebagai contoh, Pasal 35 dan 36 PP 33/2007 yang mengatur pembatas dosis (*dose constraint*). Pada bagian penjelasan disebutkan bahwa Pasal 35 dan 36 dinyatakan “cukup jelas”. Faktanya, makna dan penerapan pembatas dosis hingga saat ini masih diperdebatkan dan ditulis dalam makalah [8].

Untuk itu, Tim Inspektur harus kompeten dalam hal proteksi dan keselamatan radiasi, dan melengkapi dirinya dengan membawa himpunan peraturan dan pedoman penegakan hukum terkait sanksi administratif.

3.7. Penegakan Hukum Sanksi Administratif

Dari data Direktorat Inspeksi FRZR, BAPETEN, ada 3 (tiga) kasus penegakan hukum terkait sanksi administratif yang ditindak-lanjuti, diberikan **Tabel 3** [9].

Dalam hal penegakan hukum ini, Kepala BAPETEN dapat langsung mengenakan pencabutan izin tanpa penghentian sementara beroperasinya instalasi di bidang FRZR. Tindakan ini semata-mata didasarkan pada dampak radiologik yang diakibatkan oleh kecelakaan radiasi. Izin penggunaan akan dicabut oleh Direktorat Perizinan FRZR berdasarkan hasil penilaian Kepala BAPETEN yang dokumennya diperoleh dari hasil investigasi inspektur yang dikordinir oleh Direktorat Inspeksi FRZR. Izin yang dicabut tersebut akan diterbitkan kembali jika persyaratan keselamatan radiasi dan/atau kewanaman sumber radioaktif dipenuhi sesuai ketentuan.

Tabel 3: Penegakan Hukum Terkait Sanksi Administratif [8]

Kasus 1	Kasus 2	Kasus 3
Pelanggaran Pasal 79, PP 29/2008	Pelanggaran Pasal 82, PP 29/2008	Pelanggaran Pasal 81, PP 29/2008
Fasilitas melebihi batas keselamatan (dosis berlebih atau paparan daerah kerja di atas ketentuan atau ruangan tidak sesuai ketentuan). Penghentian sementara selama 30 hari untuk menindak-lanjuti temuan.	Peralatan proteksi radiasi tidak memadai (tidak memiliki <i>surveymeter</i> , pemantau dosis, tidak memantau kesehatan, termasuk tidak memiliki pelindung organ dan pesawat sinar-X tidak handal). Penghentian sementara selama 30 hari untuk menindak-lanjuti temuan.	Temuan Kategori III. Peringatan tertulis 2 kali @ 10 hari. Pencabutan izin atau Izin tidak diperpanjang selama temuan belum ditindak-lanjuti.

Sanksi administratif yang diatur dalam PP tersebut dapat ditingkatkan statusnya menjadi sanksi pidana yang diatur dalam UU 10/1997 jika memenuhi unsur pelanggaran yang lebih lanjut. Sebagai contoh, izin penggunaan kamera radiografi industri telah dibekukan hingga dicabut oleh Kepala BAPETEN tetapi pihak pemilik sumber radioaktif masih tetap menggunakan alat tersebut, maka Kepala BAPETEN dapat mengadukan pihak pemilik sumber radioaktif ke penegak hukum agar dikenakan tindak pidana.

4. KESIMPULAN

1. Sanksi administratif yang diatur dalam PP 33/2007 berbeda dengan PP 29/2008 dan sanksinya semakin tegas dikarenakan masukan yang disampaikan oleh Dirjen Peraturan Perundang-undangan, pada saat rakor terbatas RPP, pada tahun 2008 di kantor KEMENKUMHAM, Jakarta. Dasar pertimbangan adalah mengingat pemanfaatan tenaga nuklir dapat mengakibatkan kecelakaan radiasi yang fatal jika tidak diawasi secara ketat melalui penegakan sanksi administratif yang tegas, sebagaimana diatur dalam Pasal 82 PP 29/2008.
2. Jika suatu pasal terkait keselamatan radiasi dilanggar, misalnya *surveymeter* tidak tersedia di lapangan maka tindakan sanksi administratif tidak boleh dibuat sama untuk jenis penggunaan berbeda, meskipun kelompok pemanfaatan sama, misalnya penggunaan kamera radiografi dan *gauging*.
3. Menurut ketentuan, PP yang berlaku adalah yang terbit belakangan. Akan tetapi, perbedaan dalam dua PP tidak mempengaruhi secara signifikan sistem pengawasan jika ada pelanggaran hukum terkait aspek keselamatan radiasi dan keamanan sumber radioaktif. Mekanisme penegakan hukum akan diputuskan tergantung hasil penilaian Kepala BAPETEN yang didasarkan pada laporan investigasi oleh inspektur.

UCAPAN TERIMA KASIH

1. Bapak Werdi Putra Daeng Beta, M.Si, Staf Direktorat Inspeksi FRZR.

TANYA JAWAB DAN DISKUSI

1. **Penanya:** W. Prasud (PSTBM-BATAN)

Pertanyaan:

- a) Apakah tidak dilakukan kaji ulang manajemen, terkait adanya indikasi pelemahan pada inspektur BAPETEN?

Jawaban:

Inspektur sudah dibekali melalui rakor inspektur, inspektur punya kode etik yang diatur dalam Peraturan Kepala BAPETEN

Menanyakan sanksi administratif yang diatur dalam PP 33/2007 berbeda dengan PP 29/2008 saat Rakor Inspektur, 23-24 Juli 2013 dan 27-28 November 2013, sehingga penulis termotivasi untuk menulis makalah.

2. Bapak Dr. Khoirul Huda, Deputi PKN, BAPETEN

Menghimbau agar tetap semangat menulis topik yang dapat dipersembahkan bagi generasi muda sebagai bahan pembelajaran.

3. Bapak Muhammad Saptamurti, SH., LL.M., M.Kn, Dep. Bid PUU, SETNEG.

Memberikan pengetahuan bagaimana peraturan harus dibuat secara cermat dengan memperhatikan berbagai hal, antara lain, prosedur *legal drafting* dan menekankan betapa pentingnya kerjasama tim

4. Ibu Ardhien Nissa, SH., LL.M, Kabid SDA dan LH, SETNEG.

Mengingatkan dengan cara serius tapi santai betapa pentingnya orang yang berlatarbelakang pendidikan teknis mau belajar mengenai semua hal terkait penyusunan peraturan jika mengemban tugas di Unit Peraturan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BAPETEN (2001); *Peraturan Pemerintah No. 64 Tahun 2000 tentang Perizinan Pemanfaatan Tenaga Nuklir*; BAPETEN, Jakarta.
- [2] BAPETEN (2008); *Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif*; BAPETEN, Jakarta.
- [3] BAPETEN (2008); *Peraturan Pemerintah No. 29 Tahun 2008 tentang Perizinan Sumber Radiasi Pengion dan bahan Nuklir*; BAPETEN, Jakarta.
- [4] BAPETEN (2014); *Pengembangan Sistem Inspeksi Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif "Kerangka Inspeksi dan Penegakan Hukum"*; BAPETEN, Jakarta.
- [5] P. Ortiz, M. Oresgun, J. Wheatley (2002); *Lessons from Major Radiation Accidents*; IAEA, Vienna.
- [6] Togap Marpaung (2001); *Kecelakaan Radiasi yang Terkait dengan Peralatan Radioterapi*; BAPETEN, Jakarta.
- [7] Togap Marpaung (2013); *Penerapan Graded Approach Terkait Kendali Pengawasan Keselamatan Radiasi dan Keamanan Sumber Radioaktif*; Jakarta.
- [8] Togap Marpaung (2011); *Aspek Pengawasan Terkait Kecelakaan Radiasi dalam Penggunaan Kamera Radiografi Industri*; BAPETEN, Jakarta.
- [9] IAEA (2011); *Safety Standards, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources, International Basic Safety Standards, GSR Part 3*; IAEA, Vienna.
- [10] BAPETEN (2013); *Peraturan Kepala BAPETEN No. 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir*; BAPETEN, Jakarta.
- [11] Togap Marpaung (2012); *Kajian Mengenai Penerapan Konsep Pembatas Dosis Merupakan Amanat Pasal 35 dan 36 PP No. 33 Tahun 2007*; Jakarta.

serta komitmen dalam melaksanakan tugas yang dinyatakan dalam tribarata, yaitu :

Satya, Utama dan Legowo.

Jika ada masalah dengan inspektur terkait tugasnya di lapangan maka Pimpinan BAPETEN akan melakukan pembinaan berupa teguran atau sanksi tergantung dari tingkat pelanggaran.



Seminar Keselamatan Nuklir 2014
Makalah Penyaji Oral
Bidang Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif

Prosiding
Seminar
Keselamatan
Nuklir
2014

PENGAWASAN PAPARAN PEKERJA DI FASILITAS RADIOLOGI INTERVENSIONAL

Leily Savitri, Wawan Susanto

Pusat Pengkajian Sistem Dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi Dan Zat Radioaktif
e-mail: l.savitri@bapeten.go.id; w.susanto@bapeten.go.id

ABSTRAK

PENGAWASAN PAPARAN PEKERJA DI FASILITAS RADIOLOGI INTERVENSIONAL. Telah dilakukan pengukuran dosis ekivalen (H) per tindakan pada pekerja radiologi intervensional (dokter, perawat dan radiografer) dengan menempatkan TLD *chips* pada daerah leher luar tiroid Pb, gonad balik apron, dan gonad luar apron masing-masing satu paket TLD (3 *chips*). Survei dilakukan pada 7 rumah sakit yang memanfaatkan pesawat sinar-X angiografi dengan 19 tindakan intervensional (12 diagnostik dan 7 terapi) yang dilakukan oleh 2 Dokter Spesialis Radiologi (DSR), 11 Dokter Spesialis Kardiologi (DSK), 7 Residen DSR, 8 Residen DSK, 15 perawat dan 1 radiografer dengan waktu tindakan fluoroskopi berkisar antara 0,1-68,95 menit. Hasil pengukuran dosis ekivalen pekerja per tindakan diperoleh dosis rata-rata di leher luar tiroid Pb 0,060 mSv; gonad balik apron 0,024 mSv dan gonad luar apron 0,103 mSv. Hasil pengukuran dosis ekivalen per tindakan pada pekerja sangat bervariasi dapat disebabkan karena beberapa hal, yaitu: lamanya tindakan atau waktu fluoroskopi dalam setiap tindakan sangat bervariasi, posisi pekerja selama tindakan berlangsung, penggunaan peralatan proteksi radiasi yang melekat pada pesawat, seperti: tabir kaca Pb yang menggantung dan tirai meja Pb. Dari hasil kajian perkiraan dosis ekivalen lensa mata per tindakan paling besar didapat oleh DSR sebesar 0,109 mSv, dengan beban kerja DSR/DSK mulai dari 50-1041 tindakan/tahun. Dosis ekivalen rerata untuk lensa mata per tindakan 0,037 mSv dan median 0,03 mSv, maka perkiraan dosis ekivalen lensa mata yang diterima oleh DSK adalah 1,85-38,52 mSv/th. Jika dengan masa kerja untuk seorang DSK misal 40 tahun, maka bisa diperkirakan nilai dosis kumulatif di masa pensiun akan mendapat 800 mSv yang berpotensi mengakibatkan katarak. Sedangkan dosis ambang *tissue reaction* untuk katarak sebesar 0,5 Sv terlampaui. Dosis efektif rata-rata untuk staf/pekerja intervensional antara 0,014-0,035 mSv. Jika beban kerja DSR/DSK mulai dari 50-1041 tindakan/tahun sehingga dapat memungkinkan penerimaan dosis efektif melebihi NBD Pekerja radiasi per tahun. Berdasarkan hal tersebut di atas, diperlukan pengawasan yang lebih optimal di antaranya dengan memastikan ketersediaan dan penggunaan peralatan protektif radiasi serta dilaksanakan pelatihan proteksi radiasi bagi pekerja di fasilitas radiologi intervensional.

Kata kunci: dosis ekivalen, radiologi intervensional, dosis ekivalen lensa mata, dosis efektif

ABSTRACT

CONTROLLING OCCUPATIONAL EXPOSURE IN INTERVENTIONAL RADIOLOGY FACILITIES. Measurement of dose equivalent (H) per procedure in interventional radiology radiation workers (cardiologists, radiologists, nurses and radiographers) have been carried out by placing the TLD chips on neck area outside the Pb thyroid, gonads back apron and gonads outside apron of each package TLD (3 chips). The survey was conducted in 7 hospitals that use angiography X-ray with 19 interventional procedures (12 diagnostic and 7 therapy) performed 2 radiologists, 11 cardiologists, 7 residence radiologists, 8 residence cardiologists, 15 nurses and 1 radiographer with fluoroscopy time ranged action from 0,1 to 68,95 minutes, the average dose obtained in the neck area outside the Pb thyroid 0,060 mSv, gonads back apron 0,024 mSv and gonads outside apron 0,103 mSv. The results of measurement of dose equivalent per procedure on worker vary greatly because of several factors, such as the length of time measures or fluoroscopy in each procedure varies, the position of workers during procedure, and the use of radiation protective equipment attached to the X-ray machine, such as: screens and curtains Pb. From the results of the survey estimate the lens dose equivalent per procedure, maximum dose obtained by radiologist/cardiologist 0,109 mSv, with workload from 50 to 1041 procedure/year. The average equivalent lens dose per procedure 0,037mSv and median 0,03 mSv, then the approximate equivalent lens dose received by cardiologist 1,85 to 38,52 mSv per year. If working duration of a cardiologist example 40 years, it can be estimated cumulative dose values at retirement would receive 800 mSv, while the threshold dose of tissue reaction for cataract of 0,5 Sv exceeded. The average effective dose for staff/workers interventional radiology between 0.014 to 0.035 mSv. If the workload DSR/DSK ranging from 50-1041 procedure/year, the probability effective dose receive by DSR/DSK would exceeds radiation worker dose limit per year. Based on the conditions above, the necessary optimum supervision by ensuring the availability and use of radiation protective equipment and conducted radiation protection training in interventional radiology facility.

Keywords: dose equivalent, interventional radiology, lens dose equivalent, effective dose

1. PENDAHULUAN

Radiologi Intervensional yang lazim juga disebut kateterisasi, adalah prosedur pencitraan sinar-X untuk diagnose dan atau tanpa terapi yang menggunakan kateter sebagai pemandu. Saat ini pemanfaatan radiologi intervensional sudah semakin luas, hal ini ditunjukkan dengan banyaknya rumah sakit yang sudah menggunakan radiologi intervensional untuk beberapa kasus sehingga

tidak melakukan pembedahan dalam menangani pasien dan tidak diperlukan rawat inap. selain memberikan manfaat, tindakan radiologi intervensional juga mempunyai potensi risiko radiasi yang signifikan bagi pasien dan pekerja. Hal ini dapat terjadi pada jenis tindakan yang rumit dan kompleks, sehingga menggunakan waktu fluoroskopi yang lama serta laju dosis tinggi. Beberapa kasus yang ada, pasien sering kali harus mengalami tindakan radiologi intervensional yang berulang. Selain itu kurangnya jaminan mutu

sinar-X, maka dapat mengakibatkan efek deterministik di kulit pasien pada rentang iritasi kulit sampai pada kematian jaringan kulit (*necrosis*). Begitu pula dengan pekerja yang melakukan tindakan, sehingga dosis pekerja dapat mencapai batas dosis yang mengakibatkan efek deterministik pada mata mulai dari rentang gejala katarak sampai katarak akut.

Sebagai wujud pengawasan, P2STPFRZR- BAPETEN pada tahun 2006 telah melakukan kajian mengenai potensi risiko radiologi intervensional untuk pekerja. Dari hasil kajian diperoleh informasi bahwa dosis ekuivalen yang diterima oleh pekerja radiologi intervensional pada tangan sebesar 16,33-488,20 mSv/th (3-98% dari 500 mSv) dan pada lensa mata sebesar 32,50-133,86 mSv/th (22-89% dari NBD 150 mSv). Dosis efektif yang diterima pekerja radiologi intervensional sebesar 28,97-82,66 mSv/th (58-165% dari 50 mSv).

Pada Tahun 2011, ICRP mengeluarkan rekomendasi baru mengenai nilai batas dosis ekuivalen untuk lensa mata, yaitu 20 mSv/th rata-rata selama lima tahun berturut-turut dan tidak boleh dalam setahun melebihi 50 mSv. Rekomendasi tersebut akan memberikan implikasi yang sangat besar untuk para pekerja radiologi intervensional.

Oleh karena itu, pada tahun 2013 dilakukan kembali kajian mengenai dosis pekerja radiologi intervensional di Indonesia.

Kajian ini dilaksanakan bertujuan untuk mengetahui gambaran profil atau potret lapangan dan memberikan gambaran perkembangan pengawasan BAPETEN mengenai pemantauan dosis pekerja serta mendukung kebijakan BAPETEN dalam rangka penerapan Nilai Batas Dosis di fasilitas radiologi intervensional.

2. METODOLOGI

Dosis permukaan (*surface dose*) dan dosis dalam (*depth dose*) adalah jumlah dosis yang tercatat pada dosimeter perorangan. Dosis permukaan merupakan perkiraan dosis ekuivalen jaringan yang diterima kulit sedangkan dosis dalam untuk perkiraan dosis ekuivalen jaringan pada kedalaman 1 cm. Pada umumnya, dosis dalam dapat dianggap sebagai dosis efektif dengan perkiraan sangat konservatif

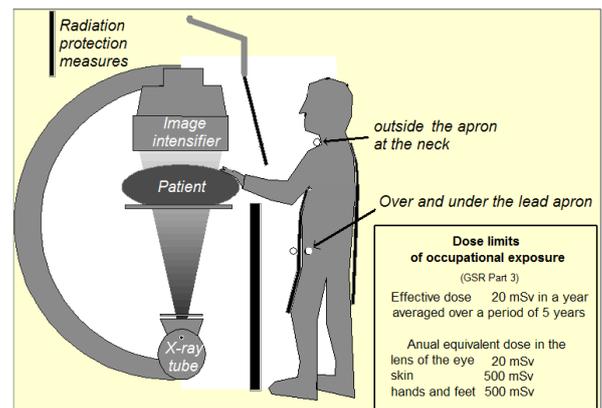
Pada kasus individu yang terpapar dalam radiologi intervensional, dosis efektif diperkirakan dengan satu atau dua alat ukur dosis perorangan yang ditempatkan di luar dan/atau di balik apron. Jika alat ukur dosis ditempatkan pada bagian luar apron, perkiraan dosis yang terukur dapat 10-20 kali lebih tinggi dibanding dosis efektif. Jika alat ukur dosis hanya dikenakan di balik apron, dosis yang terukur belum dapat digunakan untuk memperkirakan dosis efektif, sebab beberapa organ dan jaringan tidak sepenuhnya tertutup apron.

Pedoman internasional merekomendasikan penggunaan dua alat ukur dosis untuk mengevaluasi dosis efektif pada medan radiasi yang tidak homogen dan kompleks, yaitu:

1. Dipakai di luar apron di depan leher untuk memantau dosis tiroid dan lensa mata.
2. Dipakai di balik apron di daerah pinggang.

Pengukuran dosis ekuivalen (H) per tindakan pada pekerja radiologi intervensional (dokter, perawat dan radiografer) dilakukan dengan menempatkan TLD *chips* pada daerah leher luar tiroid Pb, gonad balik apron, dan gonad luar apron masing-masing satu paket TLD (3 *chips*).

Survei dilakukan pada 7 rumah sakit yang memanfaatkan pesawat sinar-X angiografi dengan 19 tindakan (12 diagnostik dan 7 terapi) yang dilakukan oleh 2 Dokter Spesialis Radiologi (DSR), 11 Dokter Spesialis Kardiologi (DSK), 7 Residen DSR, 8 Residen DSK, 15 perawat dan 1 radiografer dengan waktu tindakan fluoroskopi berkisar antara 0,1-68,95 menit.



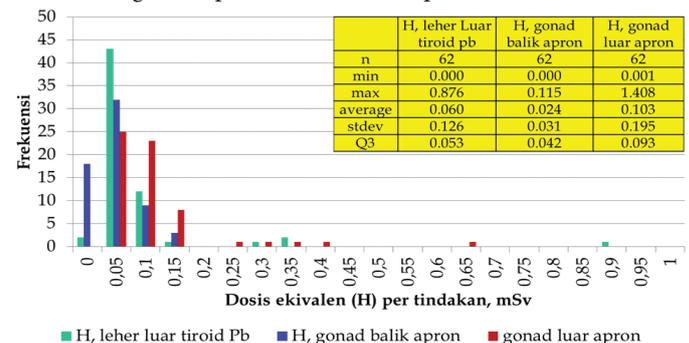
Gambar 1: Lokasi penempatan TLD pada survei lapangan [10]

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran TLD *chips* pada daerah leher luar tiroid Pb, gonad balik apron, dan gonad luar apron masing-masing satu paket TLD (3 *chips*), diperoleh:

3.1. Dosis Ekuivalen Pekerja per tindakan

Berikut gambar profil dosis ekuivalen per tindakan.



Gambar 2: Profil dosis ekuivalen per tindakan pekerja radiologi intervensional

Pada Gambar 2 diketahui bahwa dosis yang diperoleh dari survei sangat bervariasi. Dari rentang dan standar deviasi dapat diketahui gambaran mengenai keragaman dosis. Perolehan data dosis tersebut dapat disebabkan karena beberapa hal, yaitu:

1. lamanya tindakan atau waktu fluoroskopi dalam setiap tindakan berbeda
2. posisi pekerja selama tindakan berlangsung.
3. penggunaan peralatan proteksi radiasi yang melekat pada pesawat, seperti: *screen* dan tirai Pb.

Gambar 2 menunjukkan bahwa dosis ekuivalen per tindakan yang diterima oleh pekerja pada lokasi pemasangan:

1. Leher luar pelindung tiroid Pb

Pada posisi pemasangan TLD pada daerah leher di luar pelindung Pb dapat digunakan untuk sebagai representasi dosis ekuivalen yang diterima tiroid dan lensa mata.

Dosis ekuivalen leher luar tiroid Pb berkisar 0-0,876 mSv. Dengan nilai dosis rerata 0,060 mSv, standar deviasi 0,126 mSv dan dosis pada kuartil 3 (Q3) 0,053 mSv.

2. Gonad balik apron

Posisi pemasangan TLD daerah gonad balik apron untuk memperkirakan besarnya dosis efektif dengan asumsi bahwa dosis yang terukur di balik apron dapat dianggap sebagai dosis efektif.

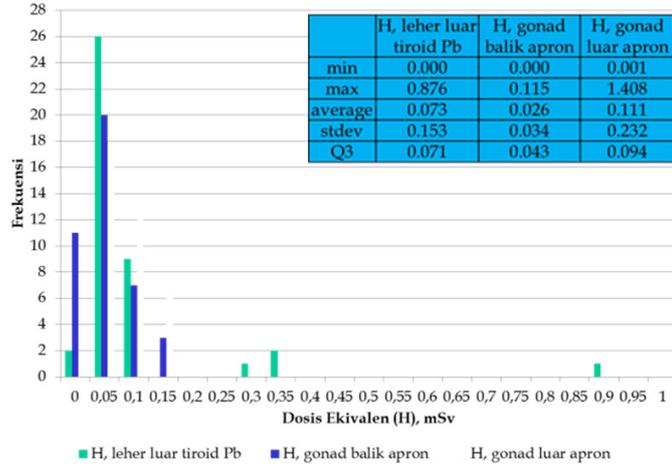
Pada **Gambar 2** menunjukkan dosis ekuivalen berkisar 0-0,115 mSv dengan nilai dosis rerata 0,024, standar deviasi 0,031 mSv dan dosis pada quartil 3 sebesar 0,042 mSv.

3. Gonad luar apron

Posisi pemasangan TLD daerah gonad luar apron untuk memperkirakan dosis ekuivalen yang diterima pada daerah gonad apabila pekerja tidak memakai apron yaitu TLD yang dipasang di luar apron.

3.2. Dosis Ekuivalen per Tindakan Diagnostik

Berikut gambar profil dosis ekuivalen per tindakan Diagnostik.

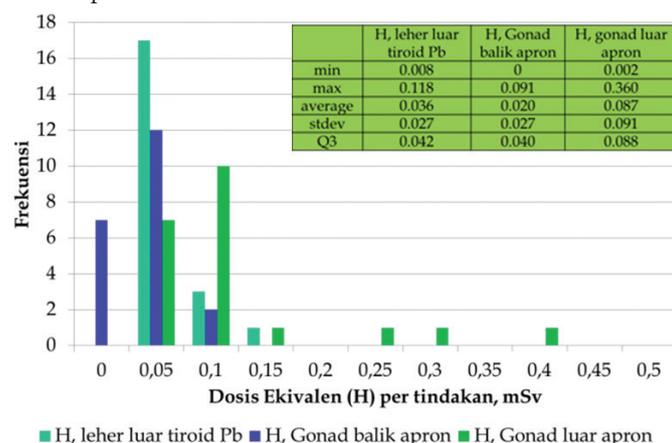


Gambar 3: Profil dosis ekuivalen per tindakan diagnostik

Tindakan Diagnostik kateterisasi yang dilakukan survei adalah tindakan DSA, Cath, PAC, Arteriografi, dan CA. Dari hasil gambar 3 diperoleh nilai dosis ekuivalen rata-rata leher luar tiroid Pb 0,073 mSv; gonad balik apron 0,026 mSv dan gonad luar apron 0,111 mSv.

3.3. Profil Dosis Ekuivalen per tindakan Diagnostik dan Terapi

Berikut gambar profil dosis ekuivalen per tindakan diagnostik dan terapi.



Gambar 4: Profil dosis ekuivalen per tindakan diagnostik dan terapi

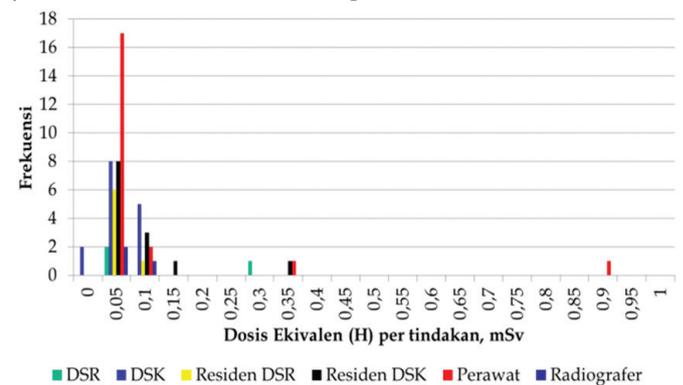
Tindakan diagnostik dan terapi kateterisasi yang dilakukan survei adalah tindakan PTCA, PCI, Ablasi, dan PICC. Dari hasil gambar 4 diperoleh nilai dosis ekuivalen rata-rata leher luar tiroid Pb 0,036 mSv; gonad balik apron 0,020 mSv dan gonad luar apron 0,087 mSv.

3.4. Perkiraan Dosis Ekuivalen Lensa Mata per Tindakan

Gambar 5 menyajikan profil perkiraan dosis ekuivalen lensa mata per tindakan.

Tabel 4 menyajikan posisi pemasangan TLD pada daerah tiroid di luar pelindung Pb dapat digunakan untuk memantau dosis tiroid dan lensa mata [10].

Dari hasil yang disajikan dalam **Tabel 4** di atas rata-rata nilai dosis ekuivalen paling besar didapat oleh DSR sebesar 0,109 mSv. Contoh kasus: dari hasil kajian, dengan beban kerja DSR/DSK mulai dari 50-1041 tindakan/tahun. Jika, dosis ekuivalen rerata utk lensa mata per tindakan 0,037 mSv dan median 0,03 mSv maka perkiraan dosis ekuivalen lensa mata yang diterima oleh DSK adalah 1,85-38,52 mSv/th. Jika dibandingkan dengan EU dalam ORAMED project (2008-2011) : Dosis lensa mata dari 10 μ Sv-4 mSv/tindakan (nilai median 60 μ Sv). Dosis lensa mata kumulatif per tahun mulai dari < 1 mSv sampai 150 mSv. *Belgian ExDos project* (2008-2011) : Dosis lensa mata dari 10 μ Sv-836 μ Sv/tindakan (nilai median 34 μ Sv). Dosis lensa mata kumulatif per tahun < 1 mSv-61 mSv.



Gambar 5: Profil perkiraan dosis ekuivalen lensa mata per tindakan

Tabel 4: Tabulasi Perkiraan dosis ekuivalen lensa mata per tindakan (mSv) tahun 2013

	DSR	DSK	Residen DSR	Residen DSK	Perawat	Radiografer
n	3	15	7	13	21	3
min	0.006	0.000	0.004	0.001	0.002	0.007
max	0.293	0.094	0.063	0.331	0.876	0.073
average	0.109	0.037	0.029	0.061	0.083	0.042
median	0.030	0.026	0.026	0.019	0.025	0.047
stdev	0.159	0.031	0.018	0.089	0.196	0.033
Q3	0.161	0.053	0.033	0.081	0.041	0.060

Melihat contoh kasus di atas bahwa nilai perkiraan untuk lensa mata DSK dengan beban kerja tersebut bisa melampaui NBD untuk lensa mata. Jika dengan masa kerja untuk seorang DSK misal 40 tahun, maka bisa diperkirakan nilai dosis kumulatif di masa pensiun akan mendapat 800 mSv yang berpotensi mengakibatkan katarak (dosis ambang terjadinya katarak 0,5 Sv).

Nilai batas Dosis bisa terlampaui disebabkan oleh kesadaran pekerja radiasi terhadap penerapan proteksi radiasi masih sangat kurang, seperti:

- tidak menutup pintu masuk ruang tindakan dan pintu penghubung antara ruang tindakan dan ruang operator saat tindakan berlangsung
- hanya menggunakan satu monitor perorangan.
- tidak memanfaatkan tabir kaca Pb yang menggantung dan tirai meja Pb yang ada di samping meja pasien
- sebagian besar pekerja tidak menggunakan kacamata Pb
- Ketersediaan peralatan protektif radiasi belum memadai sesuai dengan dan penggunaannya juga belum terlaksana dengan baik.
- Belum mengikuti pelatihan proteksi radiasi.
- Pada umumnya pesawat radiologi intervensional (angiografi) berada di unit atau departemen kardiologi yang terpisah dengan unit radiologi sehingga koordinasi antar unit terkait dan organisasi proteksi radiasi tidak berjalan dengan baik.

3.5. Dosis Ekuivalen per Tindakan Dibalik Apron

Dari hasil analisis data didapatkan data dosis ekuivalen per tindakan dibalik apron tahun 2013 seperti dalam tabel berikut.

Tabel 5: Dosis ekuivalen per tindakan dibalik apron kajian Tahun 2013

	DSR	DSK	residen DSR	Residen DSK	Perawat	Radiografer
n	3	15	7	13	21	3
min	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
max	0.013	0.092	0.043	0.067	0.115	0.052
average	0.009	0.031	0.016	0.011	0.030	0.035
stdev	0.007	0.031	0.018	0.021	0.040	0.030
Q3	0.013	0.048	0.027	0.01	0.045	0.052

Nilai dosis ekuivalen per tindakan dibalik apron didapatkan rata-rata paling besar adalah radiografer sebesar 0,035 mSv dan terkecil DSR sebesar 0,09 mSv. Kemungkinan nilai dosis ekuivalen besar tersebut didapat karena radiografer berada dekat dengan sumber radiasi.

Berikut data dosis ekuivalen dibalik apron kajian 2006 sebagai perbandingan dengan tahun 2013.

Tabel 6: Dosis ekuivalen per tindakan dibalik apron kajian 2006

	Dosis ekuivalen (mSv/tindakan)				
	Kardiolog	Radiolog	Perawat	Radiografer	Pekerja lain
Rentang	0,04 - 0,18	0,08 - 0,26	0,05 - 0,16	-	0,11 - 0,16
Average	0,11	0,17	0,11		0,13
stdev	0,04	0,08	0,04		0,03

Dari hasil perbandingan untuk dosis ekuivalen per tindakan di balik apron tahun 2013 dengan 2006 dapat dilihat bahwa nilai rata-rata untuk semua pekerja lebih kecil bagi perolehan survei 2013, namun untuk beban kerja yang sama dosis nya masih cukup besar.

3.6. Dosis Efektif Pekerja per Tindakan

Dengan menggunakan formula dari Niklason didapatkan kalkulasi dosis efektif untuk staf pekerja intervensional sebagai berikut:

$$E = 0,06(D_{Over} - D_{Under}) + D_{Under}$$

Tabel 7: Dosis efektif pekerja per tindakan

	DSR	DSK	residen DSR	Residen DSK	Perawat	Radiografer
min	0	0	0	0	0	0
max	0.030	0.092	0.044	0.083	0.161	0.054
average	0.015	0.031	0.017	0.014	0.033	0.035
stdev	0.017	0.031	0.018	0.025	0.049	0.030
Q3	0.022	0.049	0.028	0.014	0.045	0.053

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa nilai dosis efektif rata-rata untuk staf/pekerja radiologi intervensional berkisar antara 0,014-0,035 mSv. Contoh kasus jika seorang pekerja dengan beban kerja mulai dari 50-1041 tindakan/tahun. sehingga dapat memungkinkan penerimaan dosis efektif melebihi NBD Pekerja radiasi per tahun.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil survei yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Profil dosis ekuivalen pekerja per tindakan diperoleh dosis rata-rata di leher luar tiroid Pb 0,060 mSv; gonad balik apron 0,024 mSv; dan gonad luar apron 0,103 mSv.

Perkiraan dosis ekuivalen lensa mata per tindakan paling besar didapat oleh DSR sebesar 0,109 mSv, dengan beban kerja DSR/DSK mulai dari 50-1041 tindakan/tahun. Dosis ekuivalen rerata untuk lensa mata per tindakan 0,037 mSv dan median 0,03 mSv, maka perkiraan dosis ekuivalen lensa mata yang di-

terima oleh DSK adalah 1,85-38,52 mSv/th > NBD 20 mSv/th. Jika dengan masa kerja untuk seorang DSK misal 40 tahun, maka bisa diperkirakan nilai dosis kumulatif di masa pensiun akan mendapat 800 mSv yang berpotensi mengakibatkan katarak (dosis ambang terjadinya katarak 0,5 Sv).

2. Dosis efektif rata-rata untuk staf/pekerja intervensional antara 0,014-0,035 mSv. Jika beban kerja DSR/DSK mulai dari 50-1041 tindakan/tahun sehingga dapat memungkinkan penerimaan dosis efektif melebihi NBD Pekerja radiasi per tahun.

5. SARAN

Berikut ini beberapa saran yang dapat diberikan dalam rangka pengembangan sistem pengawasan keselamatan radiasi bagi BAPETEN maupun untuk peningkatan keselamatan radiasi bagi pengguna khususnya di fasilitas radiologi intervensional, yaitu:

1. Profil paparan kerja untuk personil radiologi intervensional secara kontinyu diperlukan untuk mendukung profil pengawasan.
2. Perlu segera dibuat program pelatihan proteksi radiasi bagi pekerja radiasi intervensional mengingat kurangnya kesadaran pekerja radiasi terhadap pentingnya keselamatan radiasi bagi dirinya dan pasien.
3. BAPETEN perlu melakukan kerjasama dengan organisasi profesi dan institusi pendidikan untuk memasukkan pengetahuan proteksi radiasi dalam kurikulum pendidikan/pelatihan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] **P2STPFRZR** (2006); *Laporan Hasil Kajian (LHK) "Pengkajian Sistem Pengawasan tentang Proteksi Radiasi di Fasilitas Radiologi Intervensial"*, Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif; BAPETEN, Jakarta.
- [2] **P2STPFRZR** (2013); *Laporan Hasil Kajian (LHK) sementara "Kajian Pengawasan Paparan Pekerja Di Fasilitas Radiologi Intervensial"*, Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif; BAPETEN, Jakarta.
- [3] **Faulkner K, Vañó A, Ortiz P, Ruiz R.** (2000); "Practical Aspects of Radiation Protection in Interventional Radiology", In: *The 10th International Congress of the International Radiation Protection Association (IRPA), 14-19 Mei 2000, Hiroshima*; The International Radiation Protection Association, 2000.
- [4] **BAPETEN** (2011); "Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensial", PerKa BAPETEN No. 8 Tahun 2011; BAPETEN, Jakarta.
- [5] **Food and Drug Administration** (1994); *Avoidance of Serious X-Ray-Induced Skin Injuries to Patients During Fluoroscopically-Guided Procedures*; FDA USA, 4 September 1994.
- [6] **Vano, E.** (2003); "Radiation Exposure to Cardiologists: how it could be reduced", *Heart Journal 2003 Vol. 89*; BMJ Publishing Group & British Cardiac Society.
- [7] **Nakamura, H., Y. Narumi, Murakami., T. Johkou** (-); "Radiological Protection in Interventional Radiology", *Department of Radiology*; Osaka University Medical School Suita City, Osaka.
- [8] **Niklason, L.T., Marx, M.V., Chan, HP.** (1993); "Interventional Radiologist: Occupational Radiation Doses and Risk", *Medical Physics, Volume 187 Number 3 Radiology*; Juni 1993
- [9] **International Commission on Radiological Protection** (2000); *ICRP Publication 85, "Avoidance of Radiation Injuries from Medical Interventional Procedures"*. *Annals ICRP 2000*; Pergamon, Elsevier Science Ltd, Oxford
- [10] **European Commission** (2002); "MARTIR (Multimedia and Audiovisual Radiation Protection Training in Interventional Radiology)", *CD-ROM, Radiation Protection 119*; European Commission Directorate General Environment, Nuclear

- Safety and Civil Protection. Luxembourg.
- [11] **Michel Rhene, Perle Sandy** (2001); *Application of Occupational Dose Estimates in Diagnostic Radiology with Multiple Dosimeters*; RSO Magazine Vol 6 No. 1.
- [12] **Vano E, González L, Guibelalde E, Fernandez JM, Ten JI.** (1998); *Radiation Exposure to Medical Staff in Interventional and Cardiac Radiology*”; Br J Radiol, 71:54-60.
- [13] **Vano, E., Gonzalez, L., Beneytez, F., Moreno, F.** (1998); *Lens Injuries Induced by Occupational Exposure in Non-optimized Interventional Radiology Laboratories, The British Journal of Radiology* No. 71; p.728-733.
- [14] **Niklason, L.T., Marx, M.V., Chan, HP.** (1994); *The Estimation of Occupational Effective Dose in Diagnostic Radiology with Two Dosimeters*”, Abstract; Health Physics, 67 (6) : 611-615, Desember 1994.
- [15] **Vano, E., Gonzalez, L., Fernandez, J.M., Alfonso, F., Macaya, C.** (2006); *Occupational Radiation Doses in Interventional Cardiology: a 15-year follow-up*; The British Journal of Radiology No. 79, p.383-388.



Seminar Keselamatan Nuklir 2014 Makalah Penyaji Oral Bidang Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif

Prosiding
Seminar
Keselamatan
Nuklir
2014

KAJIAN PERUBAHAN IAEA TRANSPORT SAFETY REQUIREMENT TS-R-1 TAHUN 2009 MENJADI SSR-6 TAHUN 2012 DALAM RANGKA AMANDEMEN PERATURAN PEMERINTAH NOMOR 26 TAHUN 2002

Vatimah Zahrawati

Direktorat Pengaturan dan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif-BEPETEN
e-mail: v.zahrawati@bapeten.go.id

ABSTRAK

KAJIAN PERUBAHAN IAEA TRANSPORT SAFETY REQUIREMENT TS-R-1 TAHUN 2009 MENJADI SSR-6 TAHUN 2012 DALAM RANGKA AMANDEMEN PERATURAN PEMERINTAH NOMOR 26 TAHUN 2002. BAPETEN sebagai badan pengawas menyadari akan perkembangan publikasi atau standar internasional terkait dengan keselamatan pengangkutan zat radioaktif. Hal ini menjadi salah satu faktor perlunya Amandemen Peraturan Pemerintah Nomor 26 tahun 2002 tentang Keselamatan dalam Pengangkutan Zat Radioaktif. Proses amandemen mulai dilakukan pada tahun 2009. *Safety Standards on Regulations for the safe transport of radioactive material 2009 Edition Safety Requirement No.* TS-R-1 merupakan referensi standar internasional tentang keselamatan pengangkutan zat radioaktif yang menjadi acuan pada saat penyusunan konsepsi amandemen. Namun proses penyusunan amandemen berjalan cukup lama, sampai pada tahun 2012, *International Atomic Energy Agency* (Badan Tenaga Atom Internasional) mengeluarkan standar keselamatan pengangkutan zat radioaktif terbaru menggantikan TS-R-1 tahun 2009, yaitu *Specific Safety Requirement No.* SSR-6. Dengan dikeluarkannya standar terbaru ini maka referensi yang diacu dalam penyusunan draft amandemen beralih ke standar terbaru tersebut. Untuk melakukan penyesuaian dengan standar terbaru ini, diperlukan telaah dan kajian perbedaan serta perubahan yang terdapat dalam SSR-6 tahun 2012 dibandingkan dengan TS-R-1 tahun 2009. Dari hasil kajian dapat disimpulkan bahwa perlu beberapa penyesuaian dalam rancangan amandemen PP 26/2002, antara lain penyesuaian terhadap definisi bahan fisil, desain, penambahan UN Number (Nomor PBB), penambahan jenis zat radioaktif yang memerlukan sertifikat persetujuan desain, dan penambahan objek peti kemas dalam penentuan kategori. Namun beberapa perubahan dalam SSR 6 tahun 2012 bersifat sangat teknis, sehingga tidak berpengaruh pada rancangan amandemen PP 26 tahun 2002 tentang Keselamatan dalam Pengangkutan Zat Radioaktif.

Kata kunci: perubahan, TSR, SSR, amandemen.

ABSTRACT

THE ASSESSMENT OF REVISION OF IAEA TRANSPORT SAFETY REQUIREMENT TS-R-1 YEAR 2009 BECOME SSR-6 YEAR 2012 IN THE FRAMEWORK OF REVISION OF GOVERNMENT REGULATION NUMBER 26 YEAR 2002. BAPETEN as the regulatory body aware of the development of publication or international standards relating to the safety for transport of radioactive materials. This is one factor the need for amendment of Government Regulation No. 26 year 2002 on the Safety in Transport of Radioactive Material. Amendment process was started in 2009. *Safety Standards on Regulations for the safe transport of radioactive material 2009 Edition, Safety Requirement No.* TS-R-1 is an international standard on the safety of transport of radioactive materials reference for drafting the amendment conception. But the process of drafting amendments walk quite a long time, until the year 2012, the *International Atomic Energy Agency* issued latest standards for safety of transport of radioactive materials replace TS-R-1 in 2009, ie *Specific Safety Requirement No.* SSR-6. After this latest issued, the reference preparation of the draft amendment switch to the latest standards. To make adjustments to the latest standards, required review and study the differences and changes contained in the SSR-6 year 2012 compared with TS-R-1 year 2009. From the results of the study it can be concluded that need some adjustments in the draft amendments of Government Regulation No. 26 year 2002, such as adjustments to the definition of fissile material, the design, the addition of UN Number, the addition of radioactive material which require the certificate of design approval, and the addition of object freight container in the determination of the category. However, some changes in SSR 6 in 2012 are very technical, so it has no effect on the draft amendments of Government Regulation No. 26 year 2002 on the Safety in Transport of Radioactive Material.

Keywords: changes, TSR, SSR, amendment.

1. PENDAHULUAN

Pengangkutan zat radioaktif merupakan isu yang kompleks. Pengangkutan zat radioaktif melingkupi tidak saja saat pengiriman berlangsung, namun juga dimulai dari tahap desain zat radioaktif dan bungkus, pembungkusan, persiapan, pelaksanaan pengiriman, sampai barang kiriman sampai ditempat tujuan dan diterima oleh penerima. Dipandang dari segi objek yang diangkut, pengangkutan zat radioaktif melingkupi semua jenis zat radioaktif mulai dari zat radioaktif dengan tingkat resiko rendah sampai tingkat resiko yang tinggi.

Mengingat potensi risiko timbulnya bahaya radiasi dan seiring dengan peningkatan terhadap penggunaan zat radioaktif, serta pentingnya keutamaan untuk menjamin pengangkutan zat radioaktif yang selamat dan aman, *International Atomic Energy Agency* (Badan Tenaga Atom Internasional) sejak masa berdirinya telah memulai dan terus mengembangkan publikasi atau standar internasional mengenai keselamatan pengangkutan zat radioaktif yang dapat dijadikan acuan atau standar bagi negara-negara anggotanya dalam menetapkan kerangka hukum nasional yang mengatur mengenai hal tersebut. Publikasi atau standar internasional mengenai keselamatan pengangkutan zat radioaktif yang diterbitkan oleh

Badan Tenaga Atom Internasional memiliki sejarah implementasi yang cukup panjang hingga akhirnya saat ini diterapkan sama hampir di seluruh negara. Negara-negara maju dan beberapa organisasi internasional yang menangani berbagai moda transportasi menggunakan publikasi tersebut sebagai landasan persyaratan bagi aturan-aturan yang mereka tetapkan. [1]

Hingga saat ini telah dilakukan tujuh kali revisi dan penyempurnaan terhadap rekomendasi mengenai keselamatan pengangkutan zat radioaktif tersebut, yaitu versi tahun 1967, 1973, 1985, 1996, 2005, 2009 dan terakhir 2012. Seluruh versi yang diterbitkan tersebut mempertimbangkan perkembangan atau kemajuan aspek teknis yang ada, pengalaman pelaksanaan pengangkutan, penilaian atau telaah terhadap informasi baru mengenai kecelakaan dalam pengangkutan termasuk pengkajian terhadap risiko, dan prinsip proteksi radiasi terkini.

Pengangkutan zat radioaktif merupakan salah satu kegiatan yang sangat mengglobal, sehingga hampir seluruh negara secara aktif melakukannya, termasuk Indonesia. Dalam pelaksanaan pengangkutan zat radioaktif sangat diperlukan landasan hukum yang bersifat unifikasi, selaras, dan harmonis dengan standar, rekomendasi atau konsensus internasional. [1]

Kegiatan Pengangkutan zat radioaktif di Indonesia telah berlangsung cukup lama sejalan dengan pemanfaatan zat radioaktif. Pasal 16 Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenagakuatan menjadi dasar penyusunan Peraturan Pemerintah Nomor 26 Tahun 2002 tentang Keselamatan Pengangkutan Zat Radioaktif. Akan tetapi setelah berlaku selama tujuh tahun, PP 26/2002 tidak lagi sesuai dengan perkembangan standar internasional yang pada saat itu. Pada tahun 2009 dimulailah proses amandemen yang diawali dengan perumusan konsepsi.

Pada tahap konsepsi salah satu faktor yang menjadi latar belakang perlunya amendemen terhadap PP 26/2002 dari segi keselamatan adalah perubahan dan perkembangan mendasar dalam publikasi internasional yang menjadi acuan dalam praktik pengangkutan zat radioaktif yang lazim di dunia. Publikasi dimaksud adalah IAEA *Safety Standards* No. TS-R-1 tahun 2009 (*Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, 2009 Edition*) berikut dokumen-dokumen pendukungnya. Namun seiring dengan berjalannya proses penyusunan draft Amandemen Peraturan Pemerintah ini, standar keselamatan pengangkutan zat radioaktif mengalami perkembangan. Pada tahun 2012 Badan Tenaga Atom Internasional mengeluarkan *Specific Safety Standards* No. SSR-6 tentang *Regulation for the safe transport of radioactive material, 2012 edition*.

Dengan dikeluarkannya standar terbaru ini maka referensi yang diacu dalam penyusunan draft amandemen beralih ke standar terbaru tersebut.

Untuk melakukan penyesuaian dengan standar terbaru ini perlu dilakukan telaah dan kajian terhadap perbedaan serta perubahan yang mendasar dari kedua standar keselamatan tentang pengangkutan zat radioaktif ini. Tujuan dari dilakukan telaah dan kajian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui perubahan pengaturan internasional terkait dengan keselamatan pengangkutan zat radioaktif yang diakomodir dalam IAEA safety standards SSR-6 tahun 2012; dan
2. Mengetahui perubahan-perubahan yang perlu dilakukan dalam draft amandemen untuk menyesuaikan dengan IAEA safety standards SSR-6 tahun 2012.

2. LANDASAN TEORI/POKOK BAHASAN

Kajian dalam makalah ini akan menggunakan metodologi kajian literatur terhadap Standar IAEA mengenai Keselamatan Pengangkutan Zat Radioaktif yaitu IAEA *Safety Standards* No. TS-R-1 tentang *Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material,*

2009 Edition dan IAEA *Safety Standards* No. SSR-6 tentang *Regulation for the safe transport of radioactive material, 2012 edition*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perubahan SSR-6 Tahun 2012 Dibandingkan dengan TS-R-1 Tahun 2009

Ada beberapa pengaturan baru dalam SSR-6 2012 ini yang sebelumnya pada TS-R-1 2009 belum diatur. Berikut uraian beberapa perbedaan dan perubahan mendasar pada kedua standar keselamatan tersebut. Penambahan *UN Number* untuk pengangkutan Zat Radioaktif Uranium Hexafluorida

Dalam TS-R-1 tahun 2009 dalam paragraf 419, ada 2 *UN Number* untuk pengangkutan zat radioaktif uranium heksafluorida, yaitu *UN Number* 2922 (pengangkutan zat radioaktif, uranium heksafluorida, fisil) dan *UN Number* 2978 (pengangkutan zat radioaktif, uranium heksafluorida, bukan bahan fisil atau fisil yang dikecualikan.) [2]

Namun dalam SSR-6 tahun 2012 dalam paragraf 419, ada penambahan *UN Number* baru selain yang sebelumnya sudah ada di TS-R-1 tahun 2009, yaitu *UN Number* 3507, (uranium heksafluorida, zat radioaktif, bungkus dikecualikan, berisi kurang dari 0,1 kg per bungkus, bukan bahan fisil atau bahan fisil dikecualikan). [3]

Ini jelas sekali bahwa SSR 6 mengakomodir pengangkutan zat radioaktif uranium heksafluorida kurang dari 0,1 kg kedalam bungkus dikecualikan, yang dalam TS-R-1 tahun 2009 hanya mengatur tentang pengangkutan uranium heksafluorida dengan massa lebih dari 0,1 kg.

3.1.1. Penambahan Jenis Bungkus Dikecualikan

Dalam TS-R-1 tahun 2009 paragraf 422, bungkus dikecualikan dibagi atas 4 bungkus dikecualikan, yaitu:

1. Pembungkus kosong yang pernah digunakan untuk mengangkut zat radioaktif;
2. Bungkus yang berisi peralatan atau perlengkapan dengan kuantitas terbatas sebagaimana batasan yang terdapat dalam tabel;
3. Bungkus yang berisi perlengkapan yang diproduksi dari uranium alam, uranium susut kadar (terdepleksi) atau thorium alam; atau
4. Bungkus yang berisi zat radioaktif dalam batasan kuantitas sebagaimana terdapat dalam **Tabel 5**. [2]

Sedangkan dalam SSR-6 tahun 2012 paragraf 422 terdapat penambahan jenis bungkus dikecualikan yaitu bungkus yang berisi uranium heksafluorida kurang dari 0,1 kg dan tidak melebihi batas aktivitas sebagaimana dalam **Tabel 4**. [3]

Ini berarti SSR menambah satu jenis bungkus dikecualikan yaitu bungkus yang berisi uranium heksafluorida kurang dari 0,1 kg dan tidak melebihi batas aktivitas sebagaimana dalam **Tabel 4** yang terdapat dalam dokumen SSR 6 tahun 2012.

3.1.2. Penentuan Kategori

Dalam TS-R-1 tahun 2009 paragraf 527 tentang Kategori menyebutkan bahwa penentuan kategori hanya untuk untuk bungkus dan pembungkus luar.

Dalam SSR-6 tahun 2012 paragraf 529 tentang kategori bahwa kategori diperuntukan untuk bungkus, pembungkus luar, dan peti kemas.

SSR 6 memberi kejelasan bahwa kategori diperuntukan untuk bungkus, pembungkus luar, dan peti kemas.

Sedangkan dalam TS-R-1 tahun 2009 terdapat ketidakkonsistensi dalam hal objek yang harus ditentukan kategorinya dan objek

yang harus dipasang/diberi label, di mana informasi kategori terdapat dalam label. Dalam penentuan kategori hanya ditujukan untuk bungkusan dan pembungkus luar, sedangkan dalam pemasangan label ditujukan untuk 3 objek yaitu bungkusan, pembungkus luar, dan peti kemas. Sehingga ketidakkonsistenan ini diperbaiki oleh SSR 6 tahun 2012.

3.1.3. Definisi Bahan Fisil

Dalam TS-R-1 tahun 2009 paragraf 222, bahan fisil didefinisikan sebagai berikut:

Bahan Fisil merupakan bahan yang mengandung nuklida fisil. Tidak termasuk dari definisi bahan fisil adalah: uranium alam atau depleted uranium yang tidak diiradiasi; dan uranium alam atau depleted uranium yang telah diiradiasi hanya dalam reaktor termal.

Dalam SSR-6 tahun 2012 terdapat penambahan dua jenis bahan (huruf c dan huruf d) yang tidak termasuk dari definisi bahan fisil, yaitu:

- Uranium alam atau depleted uranium yang tidak diiradiasi;
- Uranium alam atau depleted uranium yang telah diiradiasi hanya dalam reaktor termal;
- Bahan dengan nuklida fisil kurang dari 0,25 gr; dan
- Kombinasi dari point a, b, dan c.

Dari paragraf ini dalam SSR-6 tahun 2012 terdapat penambahan bahan yang tidak termasuk dalam definisi bahan fisil antara lain adanya ketegasan ketentuan batasan massa nuklida fisil yang menyebabkan suatu bahan dapat diklasifikasi menjadi bahan fisil atau tidak.

3.1.4. Rincian Bahan Fisil dikecualikan

Dalam TS-R-1 2009 paragraf 417 dijelaskan bahwa bungkusan berisi bahan fisil harus diklasifikasikan dalam *UN Number* yang sesuai dengan daftar *UN Number* dalam table 1 TS-R-1 tahun 2009 untuk bahan fisil, kecuali kondisi dalam paragraf 672 dan salah satu kondisi dibawah ini dipenuhi:

- Batas massa per barang kiriman, dengan dimensi luar terkecil dari masing-masing Bungkusan tidak kurang dari 10 cm, antara lain:

$$\frac{m_{U-235}(g)}{x} + \frac{m_{\text{nuklida fisil lain}}(g)}{x} < 1$$

Di mana X dan Y adalah batas massa yang didefinisikan di tabel 4 dalam TS-R-1 tahun 2009, dengan ketentuan bahwa:

- Masing-masing bungkusan mengandung tidak lebih dari 15 gr nuklida fisil, untuk bahan yang tidak dibungkus, batasan kuantitas harus diterapkan pada barang kiriman selama pengangkutan dalam atau di atas kendaraan angkut; atau
- Bahan fisil yang merupakan larutan hydrogenous homogen atau campuran di mana rasio dari nuklida fisil terhadap hidrogen kurang dari 5% massa; atau
- Terdapat tidak lebih dari 5 gr nuklida fisil dalam 10 L volume dari bahan/material.

Berilium tidak terdapat dalam jumlah lebih dari 1% dari batas massa barang kiriman yang berlaku yang terdapat dalam **Tabel 4** kecuali di mana konsentrasi dari berilium dalam bahan tidak melebihi 1 gr berilium dalam 1000 gr.

Deuterium juga tidak terdapat dalam jumlah melebihi 1% dari batas massa barang kiriman yang berlaku yang terdapat dalam tabel 4 TS-R-1 tahun 2009 kecuali deuterium terjadi sampai dengan konsentrasi alami dalam hidrogen. Uranium yang diperkaya dalam ^{235}U sampai maksimum 1% massa, dan dengan total kandungan plutonium dan ^{233}U tidak melebihi 1% massa dari ^{235}U , dengan ketentuan bahwa nuklida fisil yang ter-

distribusi pada dasarnya homogen seluruh materi. Selain itu, jika ^{235}U dalam bentuk logam, oksida atau karbida, tidak akan membentuk susunan kisi.

- Larutan cair dari uranyl nitrat yang diperkaya dalam ^{235}U maksimum 2% massa, dengan total kandungan plutonium dan ^{233}U tidak melebihi 0,002% dari massa uranium, dan dengan minimum rasio atom nitrogen terhadap uranium (N/U) sama dengan 2.
- Plutonium yang mengandung tidak lebih dari 20% dari nuklida fisil dengan massa sampai dengan maksimum 1 kg Plutonium per barang kiriman. Pengiriman dalam pengecualian ini harus diangkut dengan penggunaan eksklusif.

Berikut **Tabel 4** dalam TS-R-1 Tahun 2009:

Tabel 1: Batas Massa Barang kiriman untuk pengecualian dari persyaratan untuk Bungkusan yang berisi bahan fisil

Nuklida Fisil	Massa Nuklida Fisil (gr) dicampur dengan zat yang memiliki densitas hidrogen rata-rata kurang dari atau sama dengan air	Massa Nuklida fisil (gr) dicampur dengan zat yang memiliki densitas hidrogen rata-rata lebih besar dari air
$^{235}\text{U}(X)$	400	290
Nuklida fisil lainnya (Y)	250	180

Sedangkan dalam SSR-6 tahun 2012 Paragraf rincian tentang kondisi bahan fisil yang dikecualikan dijelaskan lebih rinci yang terdiri atas 6 ketentuan antara lain:

- Uranium yang diperkaya dalam ^{233}U sampai maksimal 1% massa, dan dengan total kandungan plutonium dan ^{233}U , dengan ketentuan bahwa nuklida fisil yang terdistribusi pada dasarnya homogen seluruh bahan. Dengan tambahan, jika ^{235}U dalam bentuk metalik, oksida atau karbide, ini tidak boleh berbentuk susunan kisi.
- Larutan cair dari uranyl nitrate yang diperkaya dalam ^{235}U maksimum 2% massa, dengan total kandungan plutonium dan ^{233}U tidak melebihi 0,002% massa uranium. Dan dengan minimum rasio atom nitrogen pada uranium (N/U) sama dengan 2. Uranium dengan maksimum uranium yang diperkaya dari 5% massa ^{235}U dengan ketentuan:
 - Terdapat tidak lebih dari 3,5 gr ^{235}U per Bungkusan.
 - Total kandungan plutonium dan ^{233}U tidak melebihi 1% dari massa ^{235}U per Bungkusan.
 - Pengangkutan Bungkusan mengikuti batas barang kiriman sebagaimana ketentuan paragraf 570 (c). Nuklida fisil dengan total massa tidak lebih besar dari 2,0 gr per Bungkusan, dengan ketentuan Bungkusan yang diangkut mengikuti batas barang kiriman sebagaimana ketentuan paragraf 570 (d). Nuklida fisil dengan total massa tidak lebih dari 45gr, baik bungkusan atau tanpa dibungkus, mengikuti batas sesuai dengan ketentuan dalam paragraf 570 (e). Bahan fisil yang memenuhi persyaratan paragraf 570 (b), 606 dan 820.

Dari paragraf ini terlihat perbedaan dari uraian bahan fisil dikecualikan dari kedua standar ini. Namun huruf b dan c dalam TS-R-1 tahun 2009 sama dengan huruf a dan b pada SSR-6 tahun 2012. Perubahan terhadap rincian bahan fisil dikecualikan menyebabkan perubahan pengaturan dalam paragraf-paragraf berikutnya. Selain itu juga terdapat bagian baru untuk mengakomodir pengaturan bahan fisil dikecualikan, terutama pengaturan untuk paragraf 417 (f).

3.1.5. Definisi Desain

Dalam TS-R-1 tahun 2009 paragraf 220 definisi desain adalah uraian tentang zat radioaktif bentuk khusus, zat radioaktif sulit menyebar, bungkus atau pembungkus yang memungkinkan barang-barang tersebut dapat diidentifikasi sepenuhnya. Uraian tersebut dapat meliputi spesifikasi, gambar teknik, laporan yang menunjukkan kepatuhan terhadap peraturan, dan dokumen lain yang terkait.

Definisi desain dalam paragraf 220:

Sedangkan dalam SSR-6 tahun 2012 paragraf 220, desain adalah uraian tentang bahan fisil dikecualikan dalam paragraf 417 (f), zat radioaktif bentuk khusus, zat radioaktif sulit menyebar, bungkus atau pembungkus yang memungkinkan barang-barang tersebut dapat diidentifikasi sepenuhnya. Uraian tersebut menunjukkan kepatuhan terhadap peraturan, dan dokumen lain yang terkait.

Dari hal ini dapat terlihat ada perbedaan definisi desain antara TS-R-1 tahun 2009 dengan SSR-6 tahun 2012, di mana dalam SSR 6 2012 ada penambahan design untuk bahan fisil yang dikecualikan sesuai dengan paragraf 417 (f).

3.1.6. Persyaratan dan pengendalian untuk pengangkutan zat radioaktif AJR dan BTP dalam Bungkus Industri atau tanpa dibungkus

Dalam TS-R-1 2009 paragraf 518 tentang persyaratan dan pengendalian untuk pengangkutan zat radioaktif AJR dan BTP dalam Bungkus Industri atau tanpa dibungkus.

Dalam paragraf ini dijelaskan bahwa AJR I dan BTP I boleh diangkut tanpa dibungkus antara lain dengan kondisi seluruh zat yang tidak terbungkus selain bahan galian yang hanya mengandung radionuklida alam (NORM) harus diangkut dengan kondisi pengangkutan rutin sedemikian sehingga tidak memungkinkan keluarnya/terlepasnya zat radioaktif dari kendaraan pengangkut maupun hilangnya perisai/penahan radiasi. Setiap kendaraan pengangkut harus digunakan dalam penggunaan eksklusif, kecuali jika hanya pada saat pengangkutan BTP-I dengan tingkat kontaminasi pada permukaan yang dapat terakses dan tidak terakses tidak melebihi 10 (sepuluh) kali nilai sebagaimana ditetapkan dalam paragraf 214; dan untuk BTP-I yang diduga terdapat kontaminasi tak lekat pada permukaan yang tidak terakses yang melebihi nilai sebagaimana ditetapkan dalam paragraf 241 huruf a angka 1, maka harus dilaksanakan tindakan yang memastikan bahwa zat radioaktif tidak tertinggal di dalam kendaraan pengangkut.

Sedangkan dalam SSR-6 tahun 2012 paragraf 520 dijelaskan bahwa AJR I dan BTP I boleh diangkut tanpa dibungkus antara lain dengan kondisi seluruh zat yang tidak terbungkus selain bahan galian yang hanya mengandung radionuklida alam (NORM) harus diangkut dengan kondisi pengangkutan rutin sedemikian sehingga tidak memungkinkan keluarnya/terlepasnya zat radioaktif dari kendaraan pengangkut maupun hilangnya perisai/penahan radiasi. Setiap kendaraan pengangkut harus digunakan dalam penggunaan eksklusif, kecuali jika hanya pada saat pengangkutan BTP-I dengan tingkat kontaminasi pada permukaan yang dapat terakses dan tidak terakses tidak melebihi 10 (sepuluh) kali nilai sebagaimana ditetapkan dalam paragraf 214; untuk BTP-I yang diduga terdapat kontaminasi tak lekat pada permukaan yang tidak terakses yang melebihi nilai sebagaimana ditetapkan dalam paragraf 241 huruf a angka 1, maka harus dilaksanakan tindakan yang memastikan bahwa zat radioaktif tidak tertinggal di dalam kendaraan pengangkut; dan Bahan fisil tanpa dibungkus yang memenuhi kriteria 417 (e).

Dalam paragraf 417 (e) dijelaskan bahwa bahan fisil yang dimaksud adalah bahan fisil dengan massa tidak lebih dari 45 gram dengan memenuhi ketentuan paragraf 570 (e) yaitu bahwa harus diangkut dengan penggunaan eksklusif.

Definisi penggunaan Eksklusif terdapat dalam paragraf 221 yaitu penggunaan tunggal kendaraan angkut atau Peti Kemas besar

oleh satu Pengirim di mana untuk keperluan seluruh pemuatan dan pembongkaran awal, antara, dan akhir dilaksanakan sesuai dengan petunjuk Pengirim atau Penerima.

3.1.7. Persyaratan untuk bahan yang dikecualikan dari klasifikasi fisil

Ada bagian baru tentang persyaratan untuk bahan yang dikecualikan dari klasifikasi fisil yang merupakan bagian yang muncul karena penambahan dan perubahan rincian klasifikasi bahan fisil dikecualikan yang terdapat pada paragraf 417.

Bagian ini berisi satu paragraf yaitu paragraf 606 yang kemudian mengacu keparagraf lainnya di bab 7.

Berikut kutipan dari paragraf 606:

REQUIREMENTS FOR MATERIAL EXCEPTED FROM FISSION CLASSIFICATION

606. A fissile material excepted from classification as "FISSION" under para. 417 (f) shall be subcritical without the need for accumulation control under the following conditions:

- a) The conditions of para. 673 (a);
- b) The conditions consistent with the assessment provisions stated in paras 684 (b) and 685 (b) for packages;
- c) The conditions specified in para. 683 (a), if transported by air. [3]

3.1.8. Persetujuan dan persyaratan administratif

Dalam TSR 2009 bab 8 tentang persetujuan dan persyaratan administrative dinyatakan pada paragraf 802 point a bahwa Persetujuan Badan Pengawas diperlukan untuk hal-hal sebagai berikut:

- a. desain:
 - i. zat radioaktif bentuk khusus (lihat paragraf 803, 804, dan 821);
 - ii. zat radioaktif sulit menyebar (lihat paragraf 803 dan 804);
 - iii. bungkus yang berisi 0,1 kg atau lebih uranium heksafluorida (lihat paragraf 805)
 - iv. seluruh bungkus yang berisi Bahan Fisil, kecuali bungkus tersebut dikecualikan dari persyaratan sebagaimana ditetapkan dalam paragraf 672 (lihat paragraf 812-814, 819-820);
 - v. bungkus Tipe B(U) dan Tipe B(M) (lihat paragraf 806-811, 816, dan 817);
 - vi. bungkus Tipe C (lihat paragraf 806-808). Pengaturan khusus (lihat paragraf 824-826);
- b. pengiriman tertentu (lihat paragraf 820-823);
- c. program proteksi radiasi untuk kapal penggunaan khusus (lihat paragraf 572 huruf a); dan
- d. perhitungan nilai radionuklida yang tidak tercantum dalam **Tabel 2** Lampiran I (lihat paragraf 403). [2]

Sedangkan dalam SSR 2012 bab 8 tentang persetujuan dan persyaratan administrative dinyatakan pada paragraf 802 point a bahwa Persetujuan Badan Pengawas diperlukan untuk desain:

- a. desain untuk:
 - i. zat radioaktif bentuk khusus (lihat paragraf 803, 804, dan 823);
 - ii. zat radioaktif sulit menyebar (lihat paragraf 803 dan 804);
 - iii. Bahan Fisil yang dikecualikan dari ketentuan paragraf 417 (f) (lihat paragraf 805 dan 806)
 - iv. bungkus yang berisi 0,1 kg atau lebih uranium heksafluorida (lihat paragraf 807)
 - v. bungkus yang berisi Bahan Fisil, kecuali bungkus tersebut dikecualikan dari persyaratan sebagaimana ditetapkan dalam paragraf 417, 674 atau 675 (lihat paragraf 814-816, dan 820);
 - vi. bungkus Tipe B(U) dan Tipe B(M) (lihat paragraf 808-813, dan 820);
 - vii. bungkus Tipe C (lihat paragraf 808-810);
- b. pengaturan khusus (lihat paragraf 829-831);

- c. pengiriman tertentu (lihat paragraf 825-828);
 - d. program proteksi radiasi untuk kapal penggunaan khusus (lihat paragraf 576 huruf a); dan
 - e. perhitungan nilai radionuklida yang tidak tercantum dalam **Tabel 2** Lampiran I (lihat paragraf 403 (a)).
 - f. perhitunganbatas aktivitas alternatifuntuk pengiriman dikecualikan dari peralatan atau produk (lihat paragraf 403 (b)). [3]
- Dari kutipan paragraf di atas dapat ditarik kesimpulan:
1. Ada penambahan poin untuk desain yang memerlukan persetujuan Badan Pengawas yaitu Bahan Fisil yang dikecualikan dalam paragraf 417 (f) Sehingga dalam paragraf 805 dan 806 ditambahkan ketentuan tentang Persetujuan bahan yang dikecualikan dari klafisikasi bahan fisil.
 2. Pada SSR 6 tahun 2012 juga ditambahkan satu hal yang memerlukan persetujuan badan pengawas yang sebelumnya tidak ada di TS-R-1 tahun 2009 yaitu perhitungan batas aktivitas alternative untuk pengiriman dikecualikan dari peralatan atau produk.

3.1.9. *Ketentuan tentang persetujuan bahan yang dikecualikan dari klasifikasi fisil*

Dalam SSR-6 tahun 2012, ada bagian baru tentang persetujuan bahan yang dikecualikan dari klasifikasi fisil, yang berkaitan dengan paragraf 417 (f) tentang bahan fisil dikecualikan.

Berikut kutipan dari paragraf 805:

APPROVAL OF MATERIAL EXCEPTED FROM FISSILE CLASSIFICATION

805. The design for a fissile material excepted from "FISSILE" classification in accordance with Table 1, under para. 417 (f) shall require multilateral approval. An application for approval shall include:

- a) A detailed description of the material; particular reference shall be made to both physical and chemical states.*
- b) A statement of the tests that have been carried out and their results, or evidence based on calculative methods, to show that the material is capable of meeting the requirements specified in para. 606.*
- c) A specification of the applicable management sys-*

tem as required in para. 306.

- d) A statement of specific actions to be taken prior to shipment. [3]*

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa:

1. Perlu dilakukan beberapa penyesuaian pengaturan dalam rancangan amandemen PP 26/2002 tentang Keselamatan dalam Pengangkutan Zat Radioaktif;
2. Beberapa perbedaan ataupun perubahan yang terdapat dalam SSR-6 tahun 2012 dibandingkan TS-R-1 tahun 2009 merupakan hal-hal yang bersifat sangat teknis dan rinci, sehingga tidak berpengaruh terhadap rancangan amandemen PP 26/2002 tentang Keselamatan dalam Pengangkutan Zat Radioaktif;
3. Beberapa penyesuaian yang perlu dilakukan antara lain perubahan definisi Bahan Fisil, Desain, penambahan *UN Number*, penambahan jenis zat radioaktif yang memerlukan persetujuan desain dan penambahan objek peti kemas dalam penentuan kategori.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] **BAPETEN** (2009); *Konsepsi Amendemen Peraturan Pemerintah Nomor 26 Tahun 2002 tentang Keselamatan Pengangkutan Zat Radioaktif*; BAPETEN, Jakarta.
- [2] **IAEA** (2009); *IAEA Safety Standards Regulation for the Safe Transport of Radioactive Material No. TS-R-1, 2009 edition*; IAEA, Vienna.
- [3] **IAEA** (2012); *IAEA Safety Standards Regulation for the Safe Transport of Radioactive Material No. SSR-6, 2012 edition*; IAEA, Vienna.



Seminar Keselamatan Nuklir 2014
Makalah Penyaji Oral
Bidang Instalasi dan Bahan Nuklir

Prosiding

**Seminar
Keselamatan
Nuklir**

2014



Seminar Keselamatan Nuklir 2014 Makalah Penyaji Oral Bidang Instalasi dan Bahan Nuklir

Prosiding
Seminar
Keselamatan
Nuklir
2014

TEKNOLOGI REAKTOR HOMOGEN DAN PENGAWASANNYA

As Natio Lasman

P2STPIBN BAPETEN
email: asnatio@bapeten.go.id

ABSTRAK

TEKNOLOGI REAKTOR HOMOGEN DAN PENGAWASANNYA. AHR (*Aqueous Homogeneous Reactor*) adalah termasuk kelompok Reaktor Homogen yang didesain menggunakan bahan bakar cair dengan tujuan tidak hanya untuk berlangsungnya reaksi berantai namun juga hasil reaksi fisinya diambil guna keperluan produksi radioisotop. Pemanfaatan bahan bakar cair ini memungkinkan bagi AHR untuk produksi radioisotop dalam keadaan on power, daya rendah, temperatur dan tekanan rendah, serta ukuran reaktor nuklir yang relatif kecil. Dalam perkembangannya reaktor homogen di-desain pula sebagai pembangkit energi listrik. Beberapa hal terkait dengan korosi material, pelepasan gas hasil reaksi fisi adalah masih merupakan pertanyaan. Untuk mendukung pengawasannya maka teknologi ini perlu dicermati dalam segi keselamatan, keamanan, dan seifgardnya.

Kata kunci: AHR, bahan bakar cair, radioisotop, pengawasan

ABSTRACT

HOMOGENEOUS REACTOR TECHNOLOGY AND ITS CONTROL. AHR (*Aqueous Homogeneous Reactor*) is belong into the homogeneous reactor group designed to use the fluid fuel with the aims not only for getting the chain reaction but also for radioisotope production. The use of fluid fuel gives the possibility to produce the radioisotope in on power condition, low reactor power, low temperature and pressure, and relatively small size of nuclear reactor. In the development of homogeneous reactor (HR) is also designed for electricity generation. Some issues related to material corrosion, fission product gas release, are still in questions. To support the oversight of this technology needs to be carefully reviewed in field of safety, security, and safeguards.

Kata kunci: AHR, bahan bakar cair, radioisotop, pengawasan

1. PENDAHULUAN

Teknologi reaktor homogen yang pertama kali muncul adalah AHR, tercatat dimulai pada awal tahun 1940-an di Amerika Serikat. Pada tahun tsb kegiatan proyek Manhattan sedang berlangsung. Dengan demikian patut diperkirakan, bahwa pada awalnya teknologi AHR digunakan sebagai salah satu upaya untuk mengambil radioisotop tertentu. Negara lain yang kemudian mengembangkan teknologi ini adalah Rusia dan China [1]. Dalam hal perhitungan, maka beberapa negara telah melakukannya, a.l. Perancis, Jerman, Jepang, Belanda, bahkan juga Indonesia.

Penggunaan bahan bakar cair, apakah itu HEU (*high enriched uranium*) ataukah LEU (*low enriched uranium*) akan mempengaruhi besar kecilnya reaktor nuklir, atau lebih tepatnya *core reactor*-nya. *Core reactor* dengan bahan bakar HEU lebih kecil daripada *core reactor* dengan bahan bakar LEU. Namun melalui Program RERTR (*Reduced Enrichment for Research and Test Reactors*) pemanfaatan HEU sangat dibatasi.

Untuk memenuhi radioisotop, khususnya ^{99m}Tc , adalah diperoleh dari ^{99}Mo dan biasanya diperoleh dari hasil fisi ^{235}U dengan *yield* sebesar 6,1%. Radioisotop ^{99m}Tc secara luas banyak digunakan dalam bidang kedokteran. Pemanfaatan AHR untuk memproduksi ^{99}Mo dimungkinkan dengan mengoperasikan AHR pada daya rendah dibandingkan dengan cara meradiasi target Uranium yang memerlukan daya jauh lebih tinggi.

Dalam konsep yang lain, HR dimanfaatkan untuk membangkitkan energi listrik [3]. Dalam desain tersebut AHR didesain untuk membangkitkan energi listrik sebesar 5 MWe. Bahan bakar cair yang digunakan adalah NAF-BeF₂-UF₄ dengan Uranium berpengayaan rendah (19,75%). Dalam desain ini, meskipun terdapat

2 buah *hot cell*, namun tidak secara eksplisit dinyatakan sekaligus sebagai reaktor untuk produksi isotop.

2. DESAIN TERAS AHR

Antara tahun 1940–1950 telah dibangun dan dioperasikan sekitar 30 buah AHR [2]. Dalam beberapa desain AHR, bahan bakar cairnya dapat berupa (misalnya) UO₂SO₄, UO₂(NO₃)₂, UO₂F₂ [4]. Model teras reaktornya pun ada 2 macam, ada yang menggunakan batang kendali dan ada yang tanpa batang kendali. Temperatur teras reaktor diusahakan berada di bawah 100°C, namun ada juga HR yang didesain pada temperatur operasi reaktor di atas 100°C guna dimanfaatkan sebagai pembangkit tenaga listrik [3].

Pada umumnya HR didesain dalam volume reaktor nuklir yang relatif kecil dibandingkan dengan teras reaktor non-HR, mempunyai koefisien temperatur negatif, dan daya reaktor yang rendah. Permasalahan pengelolaan limbah radioaktif dan korosi material masih menjadikan perhatian pengembangan penelitian. Distribusi temperatur yang tidak merata, sebagai fungsi dari bentuk fluks neutron, akan berdampak pada reaktivitas reaktor.

Dalam hal AHR untuk produksi radioisotop maka bahan bakar cair di dalam reaktor tersebut sekaligus adalah merupakan target untuk produksi radioisotop. Dengan demikian secara periodik perlu menambahkan jumlah bahan bakar cair di dalam reaktor di dahului dengan pengurangan sejumlah tertentu bahan bakar cair yang telah sekian lama berada di dalam teras reaktor. Volume di dalam teras reaktor dipertahankan tetap.

Pengambilan radioisotop cukup dengan memompakan bahan bakar cair tersebut ke peralatan pemisah radioisotop. Setelah dilakukan pemisahan radioisotop kemudian bahan bakar cair tersebut

dipompakan kembali untuk masuk ke dalam teras reaktor. Dengan cara ini maka, dibandingkan dengan model reaktor non-AHR, tidak perlu transport khusus ke tempat pemrosesan target iradiasi untuk diambil radioisotopnya. Bahkan, model AHR ini dapat digunakan untuk memproduksi radioisotop tanpa harus memamatkan operasi reaktor nuklir (*on power*).

Selain hal yang terkait dengan reaksi berantai, pengembangan ke arah menaikkan efisiensi pengambilan radioisotop yang diperlukan pada sistem proses bahan bakar cair tersebut maka radiasi tinggi yang berasal dari bahan bakar cair LEU tersebut merupakan hal yang perlu diperhatikan selain masalah korosi material. Tercatat hingga saat ini telah didesain ataupun dioperasikan antara 0,3 kW/liter (reaktor SILENE, Perancis) hingga 1 kW/liter (reaktor ARGUS, Rusia, HEU). Ke depan AHR didesain hingga 2,5 kW/liter. Bahkan untuk tujuan pembangkitan tenaga listrik reaktor homogen didesain hingga mempunyai kerapatan daya 18 kW/liter.

3. HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Meskipun reaktor jenis ini telah ada dan dioperasikan pada awal tahun 1940-an, namun data tentang reaktor ini tidaklah sebanyak reaktor jenis non-HR. Reaktor nuklir pertama jenis AHR dioperasikan di Amerika Serikat, pada waktu yang bersamaan ketika proyek Manhattan dilaksanakan. Dengan demikian diperkirakan bahwa tujuan awal AHR ini adalah untuk keperluan non-damai. Hal ini diperkuat adanya himbauan dari PBB pada medio 1950-an bahwa tenaga nuklir hanya untuk tujuan damai, dan kemudian ditindaklanjuti dengan pembentukan IAEA (*International Atomic Energy Agency*) pada tahun 1957.

Tercatat bahwa setidaknya-tidaknya ada 3 negara dari 5 negara yang mempunyai hak veto yang telah mengoperasikan AHR, yakni Amerika Serikat, Perancis, Rusia, dan kemudian China yang telah mendesainnya pula pada dekade awal tahun 2000 ini. Produksi radioisotop dengan menggunakan AHR memang dapat memotong mata-rantai produksi radioisotop dibandingkan dengan non-AHR. Tentu saja hal ini menjadi menarik dalam lingkup bahasan produksi radioisotop.

Pemanfaatan HR bahkan kemudian dikembangkan untuk memproduksi energi listrik. Meskipun masih dalam taraf desain, setidaknya hal ini yang muncul di permukaan karena telah dipresentasikan dalam forum internasional, namun setidaknya keunggulan dari HR ini karena dapat dioperasikan secara terus-menerus dan dengan sistem *on power fuel loading*.

Pengawasan ketenaganukliran, baik pengawasan untuk reaktor homogen maupun heterogen, termasuk pemanfaatannya, haruslah memenuhi kriteria *safety* (keselamatan), *security* (keamanan), dan *safeguards*. Untuk itu maka ke-3 aspek tsb perlu dijadikan rujukan sehingga pengawasan terhadap pemanfaatan tenaga nuklir dapat dilaksanakan dengan baik sehingga dapat dijamin keselamatan dan kesehatan pekerja, anggota masyarakat, dan perlindungan terhadap lingkungan hidup.

3.1. Safety

Pengawasan teknologi HR, dalam lingkup keselamatan (*safety*) yang perlu diperhatikan adalah:

4. Korosivitas antara bahan bakar cair terhadap tangki reaktor. Hal ini dapat berakibat kerapuhan tangki reaktor terhadap kemungkinan pelepasan gas hasil reaksi fisi ataupun radiolisis keluar tangki reaktor.
5. Tataletak detektor nuklir sehingga dapat merepresentasikan secara akurat fenomena fisika teras reaktor nuklir.
6. Perlu diperhitungkan penanganan gas hasil reaksi fisi. Selain hal jumlah gas yang terjadi, maka perlu diperhitungkan kemungkinan lolosnya gas hasil reaksi fisi melalui berbagai seal yang ada pada sistem HR, selain yang dapat terjadi karena ko-

rosi tangki reaktor (butir 1)

7. Pada saat operasi reaktor, bilamana pemasukan bahan bakar ke dalam teras dilakukan melalui beberapa kanal (inlet), maka perlu diperhitungkan homogenitas teras reaktor dalam perhitungan neutroniknya, karena pemasukan bahan bakar ke dalam teras reaktor tidak akan sekaligus menjadikan densitas bahan bakarnya menjadi homogen. Hal ini dapat menyebabkan beberapa bagian teras reaktor menjadi lebih tinggi temperaturnya daripada bagian yang lain, sehingga kemungkinan munculnya gelembung bisa lebih banyak daripada bagian-bagian yang lain. Perlu diingat bahwa semakin banyak gelembung akan menghasilkan perubahan reaktivitas.
8. Pada AHR, perubahan pH larutan bahan bakar perlu diperhitungkan sebagai akibat dekomposisi larutan tsb. Kondisi ini tentu saja dapat mempengaruhi hasil perhitungan neutronik.
9. Pada AHR perlu dilihat secara jeli antara faktor moderasi neutron dengan faktor penyerapan neutron dalam larutan bahan bakar tsb. Bilamana faktor penyerapan neutron lebih dominan daripada faktor moderasinya, maka timbulnya gelembung dalam larutan bahan bakar tersebut dapat berdampak reaktivitas teras AHR menjadi positif. Hal ini dapat saja mempunyai korelasi dengan butir 5 di atas.

Sejauh ini ada 2 buah tipe AHR, yakni AHR tanpa batang kendali dan AHR yang dilengkapi dengan batang kendali. Batang kendali dimanfaatkan untuk mengendalikan reaksi fisi di dalam teras AHR. Kedua tipe AHR ini, dalam konteks pengawasan ketenaganukliran, perlu dicermati dengan seksama.

3.1.1. Untuk AHR tanpa batang kendali

Reaktor ini tentunya didesain dalam keadaan sub-kritis. Kekritisannya diperoleh dengan cara memasukkan sumber neutron ke dalam teras reaktor. Sebaliknya, bilamana sumber neutron dikeluarkan dari teras reaktor maka reaktor menjadi sub-kritis kembali.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk AHR tanpa batang kendali ini adalah:

- *engineering factor* yang perlu diperhitungkan untuk mengantisipasi kemelesetan dari:
- tingkat pengayaan Uranium, yakni apabila pengayaan Uranium dalam bahan bakar cair tersebut melebihi dari desain perhitungannya.
- besaran sumber neutron, yakni apabila sumber neutron yang dimasukkan ke dalam teras reaktor mempunyai intensitas yang lebih besar daripada perhitungan desain teras AHR. Perlu diingat, bahwa di dunia ini tidak ada sumber neutron murni, adanya adalah (baissanya) penembakan partikel alfa pada material tertentu sehingga menghasilkan neutron, misalnya saja gabungan antara Am-Be. Dan sesuai berjalannya waktu, maka sumber neutron ini akan berkurang hasilnya.
- jumlah Uranium untuk setiap liter cairan bahan bakar itu sendiri. Selain faktor pengayaan, maka jumlah Uranium dalam bentuk larutan (misal) sulfat maupun nitrat ini bisa saja tidak sesuai dengan perhitungan desainnya. Hal ini akan mempengaruhi reaksi fisi yang terjadi di dalam teras reaktor.

Untuk itu maka *engineering factor* ini tentu saja harus dianalisis dalam/pada hasil perhitungan neutronik teras reaktor.

- antisipasi sistem keselamatan bilamana sumber neutron terlepas dan terjatuh di dalam teras reaktor sehingga dapat menyebabkan kekritisasi dan boleh jadi berlangsung kondisi super kritis.
- kompatibilitas *housing* sumber neutron terhadap bahan bakar cair, karena isu korosi adalah merupakan hal yang perlu diperhatikan dalam AHR.

3.1.2. Untuk AHR dengan batang kendali

Reaktor ini dilengkapi dengan batang-batang kendali, biasanya digunakan B₄C, yang digunakan untuk mengendalikan reaksi fisi

di dalam teras AHR. Beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk AHR yang dilengkapi dengan batang kendali ini adalah:

- Kemungkinan lolosnya gas hasil reaksi fisi, apalagi bilamana gas-gas tersebut termasuk dalam golongan inert gas.
- Kompatibilitas antara B₄C atau kelongsong (*housing*)nya terhadap larutan bahan bakar nuklir.

Hingga analisis ini dibuat tidak ada informasi yang diperoleh terkait dengan peningkatan radioaktivitas di dalam ruangan di mana AHR ditempatkan. Sistem AHR adalah lebih sederhana daripada non-AHR, artinya dari segi biaya tentu jauh lebih kompetitif daripada non-AHR, pertanyaannya adalah mengapa tidak/belum banyak negara yang memfaatkannya?

3.2. Security

Isu *security* (keamanan) nuklir semakin menguat, terutama setelah Konferensi Tingkat Tinggi Keamanan Nuklir (NSS-*nuclear security summit*) telah dilaksanakan selama 3 kali, yakni NSS-I di Washington DC, NSS-II di Seoul, dan NSS-III di Den Haag. *Security* di sini tidak hanya terkait dengan bahan bakar nuklir, namun juga termasuk zat-zat radioaktif, bahkan termasuk keamanan dari segi IT dst. Terkait dengan HR, maka 2 hal yang perlu diperhatikan adalah *security* terhadap bahan-bahan nuklir, dan *security* terhadap zat-zat radioaktif sebagai hasil ekstraksi bahan bakar cair dari teras HR.

Pengawasan ketenaganukliran dalam aspek *security* perlu secara baik dan efektif dilakukan, sehingga semua akses dari dan ke luar sistem HR, ataupun sebaliknya, dapat dipantau dan dikendalikan dengan baik. Semua sistem *security* tidak boleh hanya tergantung dari satu sumber tenaga listrik saja. Termasuk dalam perhatian dalam lingkup *security* adalah kontrol yang efektif untuk segenap lalu-lalang kendaraan ke lokasi HR. Perlu diingat, bahwa kelemahan pada sistem keamanan HR dan bilamana terjadi hal-hal yang tidak diinginkan akan menjadi isu pada tingkat nasional, regional, maupun global. Hal ini sejalan dengan perhatian Pemerintah Indonesia dalam hal *security*, baik melalui IAEA maupun melalui kehadiran Pimpinan Negara pada ke-3 NSS tsb di atas.

3.3. Safeguards

Diawali dari Manhattan project pada awal tahun 1940-an, yang memang didedikasikan untuk menghasilkan bom nuklir, AHR dikembangkan. Bahkan Indonesia memetik keuntungan dari Manhattan project ini, yakni dengan takluknya Jepang karena bom nuklir yang dijatuhkan di Hiroshima dan Nagasaki, maka Indonesia merdeka.

Sesuai dengan himbauan PBB, maka pada era tahun 1950 diinginkan tenaga nuklir hanya untuk tujuan damai. Setelah IAEA dibentuk oleh 18 negara (termasuk Indonesia yang diwakili oleh Dubes Soedjarwo Tjondronegoro) pada tahun 1957 maka berbagai langkah pemanfaatan nuklir untuk tujuan damai dikemas dalam NPT (*non proliferation treaty*) dan untuk selanjutnya lebih diperlukan lagi dengan AP (*additional protocol*) yang melengkapi NPT

Hingga saat ini tercatat bahwa yang telah mengoperasikan reaktor-reaktor tersebut adalah negara-negara besar, meskipun diperkirakan bahwa *initial cost* AHR adalah jauh di bawah reaktor-reaktor

non-AHR, namun mengapa untuk memproduksi radioisotop yang memanfaatkan teknologi tersebut adalah negara-negara besar saja. Bahkan, Kanada -yang dikenal sebagai salah satu produsen terbesar radioisotop untuk (terutama) keperluan kedokteran- tetap memproduksi radioisotopnya dengan reaktor non-HR. Terlepas dari tinjauan tersebut, maka inspeksi dalam bidang *safeguards* harus dilakukan dengan lebih cermat, sehingga tidak terjadi wanprestasi dalam inspeksi tsb.

Dalam hal pemanfaatan HR untuk pembangkit tenaga listrik, hingga makalah ini ditulis, belum ada data yang tersedia guna dijadikan rujukan. Namun yang perlu dicermati adalah temperatur yang tinggi di dalam teras HR akan menyebabkan:

- Pemuatan bahan bakar cair sehingga dapat saja terjadi percepatan korosi terhadap semua maerial yang bersinggungan langsung dengan bahan bakar cair tersebut.
- Desain 5 MWe [3] kiranya perlu dicermati (sebagaimana tertulis) antara average fuel temperature sebesar 600°C dan *fluid melting* temperature sebesar 350°C serta tekanan operasi reaktor (tertulis *atmospheric pressure at high operating temperature*) karena terdapat ketidak-konsistensian makna fisiknya.

Meskipun masih ada beberapa pertanyaan atas HR terkait sebagai pembangkit tenaga listrik, namun pemikiran ke arah tersebut perlu mendapatkan apresiasi.

4. KESIMPULAN

1. Untuk produksi radioisotop teknologi AHR cukup menjanjikan. Meskipun demikian hal-hal yang terkait dengan korosivitas, pelepasan produk fisi ke luar sistem AHR, merupakan pertanyaan-pertanyaan yang perlu mendapatkan tanggapan yang memadai.
2. Hingga saat ini data terkait AHR, barangkali sesuai dengan jumlah AHR yang ada, tidak banyak ditemui.
3. Pengawasan terhadap AHR agar senantiasa memenuhi aspek 3S (*safety, security, dan safeguards*) perlu dan harus dilaksanakan dengan benar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IAEA (2008); IAEA TECDOC 1601, *Homogeneous Aqueous Solution Nuclear Reactors for the Production of ⁹⁹Mo and other Short Lived Radioisotope*; IAEA, Vienna.
- [2] IAEA (2010); IAEA-CRP, *Feasibility Evaluation of the Use of Low Enriched Uranium Fuelled Homogeneous Aqueous Solution Nuclear Reactors for the Production of Short Lived Fission Product Isotopes*; IAEA, Vienna.
- [3] Bakri Arbie et al (2013); *A 5 MWe MOLTEN SALT DEMONSTRATION PLANT Strategic Step Toward Molten Salt Reactor Deployment*; IAEA Technical Meeting Chengdu, China, 2-4 September 2013.
- [4] M.V. Huisman (2013); *Medical Isotope Production Reactor, Reactor design for a small sized AHR for Producing ⁹⁹Mo for Regional Demand*; TU Delft, NERA-131-2013-005, 3 July 2013.

Pelepasan produk fisi, bilamana sistemnya adalah sebagaimana dijelaskan, adalah tidak dapat dihindari. Penumpukan produk fisi menjadi semakin banyak sesuai dengan fungsi waktu operasi AHR. Data yang bisa diakses tidak menjelaskan masalah ini, begitu juga tidak menjelaskan berapa besar radioaktivitas yang ada pada ruang kerja AHR. Sebagai Badan Pengawas maka perlu direview bagaimana sistem keteknikannya dalam menanggulangi kemungkinan pelepasan zat radioaktif hasil fisi tsb, dan dalam prakteknya harus senantiasa dipantau, melalui tugas inspeksi, agar NBD tidak terlampaui.

TANYA JAWAB DAN DISKUSI

1. Penanya : Daddy Setiawan (P2STPIBN-BAPETEN)

Pertanyaan:

- a) Terkait adanya pelepasan zat hasil fisi di AHR adakah strategi untuk menghindari hal ini?
Mohon saran, apakah untuk menjawab keselamatan terkait produk fisi?

Jawaban:

2. **Penanya :** *Endang Susilowati* (PRSG-BATAN)

Pertanyaan:

- a) Kenapa produk fisi sampai lolos, apakah ada keretakan bahan bakar?

Jawaban:

Keretakan bahan bakar tentu tidak terjadi, karena bahan bakarnya cair. Namun kemungkinan produk fisi dapat lolos melalui celah-celah antara batang kendali dengan bejana reaktornya.

3. **Penanya :** *Diah Hidayanti* (BAPETEN)

Pertanyaan:

- a) Bagaimana pengaturan reaktivitas untuk AHR dengan bahan bakar terlarut dalam coolant dan tidak menggunakan batang kendali?
- b) Kesiapan universitas dan lembaga penelitian dalam mendukung badan pengawas dalam mengkaji aspek keselama-

tan AHR khususnya dari aspek termohidrolik mengingat sejauh ini hanya kajian neutronik yang ditemukan diliteratur. (note: AHR untuk fuel yang terlarut dalam *coolant*)

Jawaban:

- a) Secara teoritis, bila tidak menggunakan batang kendali maka teras AHR didesain dalam kondisi sub-kritis. Untuk mengkritiskannya maka diperlukan sumber neutron yang memainkan peranan dalam mengkritiskan AHR tsb.
- b) Memang benar, aspek termohidroliknya boleh dikatakan tidak ditemukan dalam berbagai literatur, kecuali aspek neutroniknya, boleh jadi karena daya yang dibangkitkan oleh AHR adalah relatif rendah (0,3 kW/liter (reaktor SILENE, Perancis) hingga 1 kW/liter (reaktor ARGUS, Rusia, HEU)) dan tidak terjadi perubahan fase, sehingga bukan menjadi bahasan utama.



TELAAH ISI LAPORAN PENILAIAN KESELAMATAN BERKALA REAKTOR NONDAYA

Anggoro Septilarso

Direktorat Perizinan Instalasi & Bahan Nuklir BAPETEN
a.septilarso@bapeten.go.id

ABSTRAK

TELAAH ISI LAPORAN PENILAIAN KESELAMATAN BERKALA REAKTOR NONDAYA. Telah dilakukan telaah mengenai Isi Laporan Penilaian Keselamatan Berkala Reaktor Nondaya. Laporan Penilaian Keselamatan Berkala merupakan dokumen yang dipersyaratkan dalam Peraturan Kepala BAPETEN No. 2 Tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Operasi Reaktor Nondaya akan tetapi hingga saat ini belum ada ketentuan mengenai format dan isi Laporan Penilaian Keselamatan Berkala. Dalam makalah ini, penulis berusaha menyusun isi dari Laporan Penilaian Keselamatan Berkala untuk reaktor nondaya berdasarkan NSG 2.10 dan SSG 25. Hasil studi ini mengusulkan aspek-aspek penting yang harus diuraikan dalam Laporan Penilaian Keselamatan Berkala Reaktor Nondaya yaitu: 1) Organisasi dan Administrasi, 2) Prosedur, 3) Dokumen Keselamatan Instalasi Terkini, 4) Umpan Balik Pengalaman Operasi dan Pembelajaran yang Diperoleh dari Suatu Kejadian, 5) Kondisi SSK, 6) Kualifikasi Peralatan, 7) Kinerja Keselamatan, 8) Program Kesiapsiagaan Nuklir, 9) Program Manajemen Penuaan, 10) Program Proteksi Radiasi, 11) Sistem Manajemen, 12) Data dan Informasi Petugas Instalasi dan Bahan Nuklir, dan 13) Lepas Efluen radioaktif ke Lingkungan dan Penanganan Limbah Radioaktif. Diharapkan usulan isi Laporan Penilaian Keselamatan Berkala Reaktor Nondaya ini dapat memudahkan penyusunan Laporan Penilaian Keselamatan Berkala bagi Pemegang Izin Operasi Reaktor Nondaya dan evaluasi laporan tersebut oleh Badan Pengawas.

Kata kunci: Laporan Penilaian Keselamatan Berkala, Reaktor Nondaya

ABSTRACT

REVIEW OF THE CONTENTS OF PERIODIC SAFETY REVIEW REPORT FOR RESEARCH ReactorS. Study has been done on the contents of Periodic Safety Review for Research Reactors. Periodic Safety Review Report is required by BAPETEN Chairman Regulation No. 2 Year 2011 on Safety of Non Power Reactor Operation, but there is no provision about the format and contents of this report. In this paper, the contents of Periodic Safety Review Report composed based on the NSG 2.10 and SSG 25. The result of this study propose important aspects that should be outlined in the Periodic Safety Review Report for Research Reactors: 1) Organization and Administration, 2) Procedures, 3) Status of Recent Safety Documents, 4) Operating Experience Feedback and Lessons Learned from Other Installations, 5) The Condition of SSCs, 6) Equipment Qualification, 7) Safety Performance, 8) Nuclear Preparedness Program, 9) Aging Management Program, 10) Radiation Protection Program, 11) System Management, 12) Data and Information of Personel, and 13) Radioactive Effluents to The Environment and Radioactive Waste Management. Results of this study provide the proposed content of Periodic Safety Review Report for Research Reactor that is expected to facilitate the preparation of Periodic Safety Review Report by the operator and evaluation of the report by the regulator.

Keywords: Periodic Safety Review Report, research reactor

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Peraturan Kepala BAPETEN No. 02 Tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Operasi Reaktor Nondaya dan Peraturan Pemerintah No. 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir telah mengamanatkan pemegang izin operasi reaktor nondaya di Indonesia untuk menyusun Laporan Penilaian Keselamatan Berkala (PKB). Hingga saat ini isi Laporan Penilaian Keselamatan Berkala untuk reaktor nondaya belum ditetapkan oleh BAPETEN sedangkan mulai tahun ini pemegang izin operasi reaktor nondaya telah diwajibkan untuk menyampaikan Laporan Penilaian Keselamatan Berkala kepada Kepala BAPETEN. Oleh karena itu sangat penting bagi BAPETEN dan pemegang izin operasi reaktor nondaya untuk memiliki kesepakatan bersama tentang isi Laporan Penilaian Keselamatan Berkala. Makalah ini disusun untuk menjembatani kekosongan tersebut.

1.2. Batasan Masalah

Makalah ini membahas isi Laporan Penilaian Keselamatan Berkala yang harus disusun oleh pemegang izin operasi reaktor nondaya.

1.3. Tujuan

Makalah ini ditujukan untuk memberikan usulan isi Laporan Penilaian Keselamatan Berkala untuk reaktor nondaya yang sesuai dengan Peraturan Kepala BAPETEN 02/2011 tentang Ketentuan Keselamatan Operasi Reaktor Nondaya dan PP 54/2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir.

2. POKOK BAHASAN

Dalam menyusun makalah ini, penulis melakukan studi literatur terhadap isi Dokumen *N.S.G. 2.10 Periodic Safety Review of Nuclear Power Plants* beserta revisinya (*SSG-25 Periodic Safety Review for Nuclear Power Plants*). Dalam melakukan penapisan isi

dokumen tersebut penulis menggunakan pendekatan bertingkat (*graded approach*).

3. STUDI LITERATUR

3.1. N.S.G. 2.10 Periodic Safety Review of Nuclear Power Plants [1] dan SSG-25: Periodic Safety Review for Nuclear Power Plants [2]

Dokumen *Safety Guide NS-G-2.10* ditujukan untuk memberikan pedoman dalam pelaksanaan Penilaian Keselamatan Berkala bagi PLTN. Namun demikian, dengan menggunakan pendekatan bertingkat, isi dokumen ini juga bisa diterapkan untuk reaktor nondaya.

Dalam *Safety Guide* ini, IAEA memberikan rekomendasi mengenai hal-hal penting, yang disebut dengan istilah *Safety Factor*, yang harus ada dalam Laporan Penilaian Keselamatan Berkala yaitu: 1) *Plant Design*; 2) *Actual Condition of System, Structures and Components Important to Safety*; 3) *Equipment Qualification*; 4) *Ageing*; 5) *Deterministic Safety Analysis (DSA)*; 6) *Probabilistic Safety Analysis (PSA)*; 7) *Hazard Analysis*; 8) *Safety Performance*; 9) *Use of Experience from Other Plants and Research Findings*; 10) *Organization, Management System and Safety Culture*; 11) *Procedures*; 12) *Human factors*; 13) *Emergency Planning*; 14) *Radiological Impact on The Environment*; dan 15) *Global Assessment*.

3.2. Peraturan Kepala BAPETEN No. 2 Tahun 2012 tentang Ketentuan Keselamatan Operasi Reaktor Nondaya [4]

Pada Pasal 14 telah disebutkan bahwa pemegang izin operasi reaktor nondaya harus melaksanakan penilaian keselamatan secara berkala secara menyeluruh terhadap semua permasalahan pengoperasian dan kegiatan yang berkaitan dengan keselamatan paling sedikit sekali dalam 5 (lima) tahun. Penilaian keselamatan tersebut harus mencakup: a) organisasi dan administrasi; b) prosedur; c) dokumen keselamatan instalasi terkini; d) umpan balik pengalaman operasi dan pembelajaran yang diperoleh dari insiden atau kejadian; e) kondisi struktur, sistem dan/atau komponen; f) kualifikasi peralatan; g) kinerja keselamatan; h) program kesiapsiagaan nuklir; i) program manajemen penuaan; program proteksi radiasi; k) sistem manajemen; l) data dan informasi terkait supervisor reaktor, operator reaktor, supervisor perawatan, dan teknisi perawatan meliputi pelatihan, pelatihan penyegaran dan mutasi; dan m) lepasan efluen radioaktif ke lingkungan dan penanganan limbah radioaktif.

3.3. Peraturan Pemerintah No. 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir [5]

Pada pasal 39 disebutkan bahwa pemegang izin operasi instalasi nuklir harus melaksanakan verifikasi dan penilaian keselamatan secara berkala yang meliputi penilaian terhadap: a) desain instalasi nuklir; b) kondisi struktur, sistem, dan komponen; c) kualifikasi peralatan; d) penuaan; e) kinerja keselamatan dan umpan balik pengalaman operasi; f) manajemen keselamatan dan program kesiapsiagaan nuklir; dan g) dampak radiologi pada lingkungan hidup.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Cakupan penilaian keselamatan berkala yang disebutkan dalam Perka BAPETEN 2/2011 memiliki sedikit perbedaan bila dibandingkan dengan cakupan yang ada pada PP 54/2012. Menurut penulis, hal ini bisa dipahami mengingat PP 54/2012 ditujukan untuk instalasi nuklir secara umum sehingga apa yang tertulis dalam PP 54/2012 masih bersifat umum. Akan tetapi, karena PP 54 tahun 2012 ini lebih baru dan memiliki kekuatan hukum yang lebih tinggi daripada Peraturan Kepala BAPETEN 2/2011, penulis mengambil keputusan untuk menggunakan kerangka dari penilaian keselamatan berkala yang ada dalam PP 54 tahun 2012.

Tabel 2: Perbandingan Perka BAPETEN, PP, dan NSG 2.10/SSG 25

Perka BAPETEN 2/2011	PP 54/2012	N.S.G 2.10/SSG 25
3. Organisasi dan Administrasi 4. Prosedur 5. Dokumen Keselamatan Instalasi Terkini 6. Umpan Balik Pengalaman Operasi dan Pembelajaran yang Diperoleh dari Suatu Kejadian 7. Kondisi SSK 8. Kualifikasi Peralatan 9. Kinerja Keselamatan 10. Program Kesiapsiagaan Nuklir 11. Program Manajemen Penuaan 12. Program Proteksi Radiasi 13. Sistem Manajemen 14. Data dan informasi terkait supervisor reaktor, operator reaktor, supervisor perawatan, dan teknisi perawatan, meliputi pelatihan, pelatihan penyegaran dan mutasi; 15. Lepasn Efluen radioaktif ke Lingkungan dan Penanganan Limbah Radioaktif	1. Desain instalasi nuklir 2. Kondisi terkini SSK 3. Kualifikasi peralatan 4. Penuaan 5. Kinerja keselamatan dan umpan balik pengalaman operasi 6. Manajemen keselamatan dan program kesiapsiagaan nuklir 7. Dampak radiologi pada lingkungan hidup	1. <i>Plant design</i> 2. <i>Actual condition of SSC</i> 3. <i>Equipment qualification</i> 4. <i>Ageing</i> 5. <i>Deterministic safety analysis</i> 6. <i>Probabilistic Safety Assessment</i> 7. <i>Hazard analysis</i> 8. <i>Safety performance</i> 9. <i>Use of experience from other plants and research findings</i> 10. <i>Organization and Administration</i> 11. <i>Procedures</i> 12. <i>Human factors</i> 13. <i>Emergency planning</i> 14. <i>Radiological impact on the environment</i>

Lingkup penilaian keselamatan berkala yang diamanatkan dalam Peraturan Kepala BAPETEN 2/2011 memiliki banyak persamaan dengan NSG 2.10. Di sini memang ada sedikit perbedaan aspek (*Safety Factor*) yang menjadi perhatian dalam penilaian keselamatan berkala dari sudut pandang peraturan Kepala BAPETEN dan SSG-25 (NSG 2.10), akan tetapi bila kita lihat ke dalam masing-masing aspek, sebenarnya aspek yang tertulis di SSG-25 (NSG 2.10) tetapi tidak tertulis dalam peraturan Kepala BAPETEN bisa dimasukkan ke dalam aspek lain yang ada di peraturan Kepala BAPETEN. Misalnya, aspek '*Plant design*, DSA, PSA, dan *Hazard Analysis*' yang tercantum dalam SSG-25 (NSG 2.10) bisa diwadahi dalam aspek 'dokumen keselamatan instalasi terkini' yang ada dalam peraturan Kepala BAPETEN.

Berdasarkan uraian di atas, penulis mengambil keputusan untuk mengadopsi dan mengadaptasi isi dari SSG-25 (NSG 2.10) untuk menjadi isi dari cakupan penilaian keselamatan berkala yang diamanatkan dalam PP 54 Tahun 2012. Untuk perbandingan cakupan aspek penilaian keselamatan berkala yang disebutkan dalam peraturan Kepala BAPETEN 2/2011 dengan PP 54 Tahun 2012 dan N.S.G. 2.10 dapat dilihat dalam **Tabel 1**. Sedangkan isi dari dokumen AERB/FE&BE-FCF/SG-1 yang mana identik dengan NSG 2.10 dengan penyederhanaan untuk keperluan instalasi nuklir nonreaktor juga dijadikan pertimbangan dalam usulan isi penilaian keselamatan berkala reaktor nondaya ini. Paling tidak dokumen AERB/FE&BE-FCF/SG-1 bisa dijadikan patokan sedemikian hingga usulan isi penilaian keselamatan berkala reaktor nondaya ini memiliki tingkat kerumitan yang berada di antara AERB/FE&BE-FCF/SG-1 dan SSG-25 (NSG 2.10).

Dalam tulisan ini, penulis menggunakan kerangka PKB sebagaimana disebutkan dalam PP 54 Tahun 2012. Untuk mengisi kerangka PKB ini penulis melakukan penapisan isi dari SSG-25 (NSG 2.10) dengan pendekatan *graded approach* (membuang bagian yang dianggap tidak diperlukan) untuk diterapkan dalam kerangka PKB Reaktor Nondaya sebagaimana diuraikan di bawah ini:

1. *Plant design*

Isi dari bagian ini adalah menguraikan deskripsi desain reaktor secara rinci dan keseluruhan sehingga bagian ini bisa diterapkan untuk PKB reaktor nondaya, dalam hal ini bisa masuk pada Butir 1 Desain Instalasi Nuklir, PP 54 Tahun 2012.

2. *Actual condition of SSC*

Isi dari bagian ini menguraikan secara rinci dan jelas mengenai kondisi Struktur, Sistem dan Komponen yang penting untuk keselamatan. Hal ini merupakan salah satu poin terpenting dalam PKB sehingga sudah selayaknya masuk ke dalam PKB reaktor nondaya, dalam hal ini masuk ke dalam Butir 2 Kondisi Terkini SSK, PP 54 Tahun 2012.

3. *Equipment qualification*

Isi dari bagian ini adalah uraian dari seluruh program terkait kualifikasi peralatan dalam keperluannya untuk memantau dan merawat peralatan agar selalu sesuai dengan kualifikasinya. Hal ini merupakan salah satu poin terpenting dalam PKB sehingga sudah selayaknya masuk ke dalam PKB reaktor nondaya, dalam hal ini masuk ke dalam Butir 3 Kualifikasi Peralatan, PP 54 Tahun 2012..

4. *Ageing*

Isi dari bagian ini adalah uraian dari program manajemen penuaan reaktor untuk melihat keefektifan program manajemen penuaan dalam mempertahankan SSK yang penting untuk keselamatan (dalam lingkungan kritis) agar tetap bisa memenuhi fungsinya. Hal ini merupakan salah satu poin terpenting dalam PKB dan merupakan masukan penting bagi bab-bab lainnya sehingga sudah selayaknya masuk ke dalam PKB reaktor nondaya, dalam hal ini masuk ke dalam Butir 4 Penuaan, PP 54 Tahun 2012.

5. *Deterministic safety analysis*

Bagian ini memang merupakan hal penting dalam keselamatan pengoperasian PLTN, akan tetapi untuk reaktor nondaya bab ini tidak perlu menjadi bab tersendiri. Bagian ini bisa diakomodasi dalam Butir 5 Kinerja Keselamatan dan Umpan Balik Pengalaman Operasi, PP 54 Tahun 2012.

6. *Probabilistic Safety Assessment (PSA)*

Untuk reaktor nondaya, sejauh ini peraturan dari BAPETEN belum menjadikan PSA sebagai bagian dalam analisis keselamatan reaktor nondaya. Oleh karena itu bagian ini belum perlu masuk dalam PKB Reaktor Nondaya.

7. *Hazard analysis*

Bagian ini juga merupakan bagian dari analisis keselamatan yang ada dalam laporan analisis keselamatan reaktor nondaya, sehingga bagian ini bisa terakomodasi dalam Butir 5 Kinerja Keselamatan dan Umpan Balik Pengalaman Operasi, PP 54 Tahun 2012.

8. *Safety performance*

Bagian ini pada dasarnya menceritakan kejadian terkait keselamatan yang pernah dialami oleh reaktor. Dalam pengoperasian reaktor nondaya kegiatan pencatatan kejadian terkait keselamatan selalu dilaporkan secara rutin dalam laporan operasi. Hal ini merupakan masukan penting bagi bab-bab lainnya, sehingga sudah selayaknya masuk ke dalam PKB reaktor nondaya, dalam hal ini masuk ke dalam Butir 5 Kinerja Keselamatan dan Umpan Balik Pengalaman Operasi, PP 54 Tahun 2012.

9. *Use of experience from other plants and research findings*

Bagian ini ditujukan untuk menggali informasi dari suatu kejadian terkait keselamatan yang pernah dialami oleh instalasi nuklir lainnya agar bisa menjadi pelajaran dan masukan dalam pengoperasian reaktor nondaya. Bagian ini bisa diakomodasi dalam Butir 5 Kinerja Keselamatan dan Umpan Balik Pengalaman Operasi, PP 54 Tahun 2012.

10. *Organization and Administration*

Bagian ini memberikan informasi mengenai struktur organisasi pengoperasi. Bagian ini bisa diakomodasi dalam Butir 6 Manajemen keselamatan dan program kesiapsiagaan nuklir PP 54 Tahun 2012.

11. *Procedures*

Bagian ini memberikan informasi mengenai ketercukupan prosedur yang ada dalam menjamin keselamatan reaktor. Bagian ini bisa diakomodasi dalam Butir 6 Manajemen keselamatan dan program kesiapsiagaan nuklir PP 54 Tahun 2012.

12. *Human factors*

Pada PLTN, *human factors* merupakan salah satu bagian terpenting dan memerlukan perhatian khusus. Akan tetapi untuk reaktor nondaya, khususnya di Indonesia, hal ini belum perlu diberikan persyaratan seketat untuk PLTN. Dengan melihat peraturan BAPETEN terkait petugas instalasi nuklir, sudah cukup untuk mengakomodasi bagian ini dengan menyampaikan informasi terkait petugas instalasi dan bahan nuklir sebagaimana yang diminta dalam peraturan Kepala BAPETEN terkait dalam Butir 6 Manajemen keselamatan dan program kesiapsiagaan nuklir PP 2 Tahun 2014;

13. *Emergency planning*

Bagian ini menguraikan kemampuan organisasi dalam menghadapi kedaruratan nuklir termasuk kerjasamanya dengan organisasi lainnya. Kegiatan ini telah diamanatkan dalam peraturan Kepala BAPETEN dan sudah menjadi kegiatan rutin setiap instalasi nuklir di Indonesia. Bagian ini bisa diakomodasi dalam Butir 6 Manajemen keselamatan dan program kesiapsiagaan nuklir PP 54 Tahun 2012.

14. *Radiological impact on the environment*

Bagian ini menguraikan dampak radiologis PLTN terhadap lingkungan termasuk ketercukupan program yang dimiliki organisasi dalam memantau lepasan ke lingkungan. Hal ini telah diwajibkan dalam peraturan BAPETEN dan sudah menjadi kegiatan rutin setiap instalasi nuklir di Indonesia. Bagian ini bisa diakomodasi dalam Butir 7 Dampak Radiologi pada Lingkungan Hidup, PP 54 Tahun 2012.

Setelah melakukan penapisan terhadap dokumen SSG-25 (NSG 2.10) sebagaimana diuraikan di atas, penulis mengusulkan isi dokumen laporan penilaian keselamatan berkala reaktor nondaya paling tidak memberikan penilaian (reviu) pemegang izin terhadap hal-hal sebagai berikut:

Judul: Laporan Penilaian Keselamatan Berkala Reaktor X

Bab I. Pendahuluan

Berisi latar belakang dan tujuan dilakukannya PKB.

Bab II. Desain Reaktor Nondaya

Isi secara garis besar:

- Persyaratan umum desain
- Persyaratan khusus desain

Bab III. Kondisi Terkini SSK

Berisi uraian penilaian kondisi terkini SSK yang penting untuk keselamatan reaktor nondaya.

Bab IV. Kualifikasi Peralatan

berisi uraian penilaian terhadap kualifikasi peralatan untuk menentukan apakah peralatan instalasi yang penting untuk keselamatan telah memenuhi ketentuan keselamatan reaktor nondaya termasuk untuk kondisi lingkungan.

Bab V. Penuaan

Berisi uraian penilaian terhadap pelaksanaan program manajemen penuaan untuk menentukan aspek penuaan yang memengaruhi SSK kritis dikelola secara efektif sehingga semua fungsi keselamatan yang diperlukan berfungsi selama umur reaktor.

Bab VI. Kinerja Keselamatan dan Umpan Balik Pengalaman Operasi

Berisi uraian analisis keselamatan, penilaian kinerja keselamatan dan umpan balik pengalaman operasi untuk menentukan indikator kinerja keselamatan dan rekaman pengalaman operasi menunjukkan adanya kebutuhan untuk perbaikan keselamatan.

Bab VII. Manajemen Keselamatan dan Program Kesiapsiagaan Nuklir Hal-hal yang dinilai:

- Tanggung jawab Pemegang Izin
- Pelaksanaan Sistem Manajemen
- Faktor Manusia
- Program Kesiapsiagaan Nuklir

Bab VII. Dampak Radiologi pada Lingkungan Hidup

Berisi uraian penilaian dampak radiologi pada lingkungan hidup yang

dilaksanakan sesuai dengan rencana pemantauan lingkungan hidup dan rencana pengelolaan lingkungan hidup.

Bab VIII. Kesimpulan

Berisi penilaian secara keseluruhan berdasarkan bahasan pada bab-bab sebelumnya.

Bab IX. Rekomendasi dan Rencana Tindak Lanjut

Berisi rekomendasi perbaikan dan rencana tindak lanjut yang akan dilakukan oleh pemegang izin.

5. KESIMPULAN

Secara umum, usulan ini bisa diaplikasikan sebagai isi dari dokumen laporan penilaian keselamatan berkala yang diamanatkan dalam Peraturan Pemerintah 54/2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir.

TANYA JAWAB DAN DISKUSI

1. **Penanya :** Endang Susilowati (PRSG-BATAN)

Pertanyaan:

- a) Beda prinsipial antara Reviu LAK dan Kajian Berkala dan Apa manfaatnya?
- b) Kesiapan BAPETEN dalam hal tersebut?

Jawaban:

- a) PKB ini sebenarnya dapat dipandang sebagai suatu media untuk memutakhirkan data dokumen keselamatan, termasuk LAK. Manfaatnya: kegiatan reviu terhadap keselamatan (dan pemutakhiran dokumen keselamatan) dapat lebih terstruktur dan menyeluruh.

DAFTAR PUSTAKA/REFERENSI

- [1] **IAEA** (-); *N.S.G. 2.10 Periodic Safety Review of Nuclear Power Plants*; IAEA, Vienna.
- [2] **IAEA** (-); *SSG-25 Periodic Safety Review for Nuclear Power Plant*; IAEA, Vienna.
- [3] **AERB/FE&BE-FCF/SG-1** (-); *Renewal of Licence for Operation of Nuclear Fuel Cycle Facilities Other Than Nuclear Power Plants and Research Reactors*.
- [4] **BAPETEN** (2011); *Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 02 Tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Operasi Reaktor Nondaya*; BAPETEN, Jakarta.
- [5] **Republik Indonesia** (2012); *Peraturan Pemerintah No. 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir*; Setneg, Jakarta.

- b) Peraturan Kepala BAPETEN tentang Format dan Isi Penilaian Keselamatan Berkala saat ini sedang dalam tahap penyusunan di Direktorat Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir. Sementara ini Direktorat Perizinan Instalasi dan Bahan Nuklir menggunakan SSG-25 (yang didiskusikan terlebih dahulu dengan pemegang izin) sebagai panduan.



IDENTIFIKASI KETENTUAN KESELAMATAN UNTUK PENYUSUNAN PERATURAN KEPALA BAPETEN DALAM RANGKA PEMBANGUNAN REAKTOR NONDAYA BERBAHAN BAKAR CAIR

Bambang Eko Aryadi

Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN
Email: b.aryadi@bapeten.go.id

ABSTRAK

IDENTIFIKASI KETENTUAN KESELAMATAN UNTUK PENYUSUNAN PERATURAN KEPALA BAPETEN DALAM RANGKA PEMBANGUNAN REAKTOR NONDAYA BERBAHAN BAKAR CAIR. Pada tahun 2013 sebuah BUMN bidang nuklir telah menyampaikan rencananya untuk membangun reaktor nondaya yang akan untuk memproduksi radioisotop ^{99}Mo kepada BAPETEN. Reaktor yang akan dibangun merupakan reaktor berbahan bakar cair/*Aqueous Homogenous Reactor* (AHR). AHR dapat menggunakan $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ atau UO_2SO_4 sebagai bahan bakarnya dan ^{99}Mo dihasilkan dengan memisahkannya dari larutan bahan bakar ini. BAPETEN selama ini telah menerbitkan peraturan-peraturan untuk pengaturan desain, pembangunan, dan pengoperasian reaktor nondaya dengan menggunakan dokumen standar keselamatan IAEA sebagai pedomannya. Peraturan yang diterbitkan BAPETEN tersebut umumnya baru mempertimbangkan reaktor berbahan bakar padat. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian terhadap kemampooterapan peraturan Kepala BAPETEN yang akan digunakan dalam mengatur/mengawasi pembangunan AHR. Kajian awal yang sementara ini telah dilakukan menunjukkan bahwa perlu ditetapkan ketentuan keselamatan yang lebih spesifik untuk mengatur kegiatan desain, pembangunan, dan pengoperasian AHR tersebut mengingat perbedaan fenomena-fenomena yang terjadi dalamnya.

Kata kunci: identifikasi, pembangunan, reaktor nondaya, bahan bakar cair, AHR.

ABSTRACT

*THE IDENTIFICATION OF Safety PROVISION FOR ESTABLISHMENT OF BAPETEN CHAIRMAN REGULATION RELATED TO THE CONSTRUCTION OF SOLUTION REAKTOR. In 2013 a state-owned company has submitted to BAPETEN the plans to build a non-power reactors to produce radioisotop ^{99}Mo . The reactor which will be built is a liquid-fueled reactors/*Aqueous homogeneous Reactor* (AHR). AHR can use $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ or UO_2SO_4 as fuel and ^{99}Mo produced by separating it from the fuel solution. For regulating the design, construction, and operation of non-power reactors BAPETEN been issued regulations governing such matters using the IAEA safety Standards document as guidelines. Regulations issued generally consider solid fuel reactor. It is therefore necessary to study the applicability of the BAPETEN Chairman regulations to be used in regulating the construction of AHR. Initial assessment has shown that there is a need to set more specific safety provisions to regulate the activities of design, construction, and operation of the AHR considering the difference in the phenomena that occur therein.*

Keywords: identification, construction, non-power reactors, liquid-fuel, AHR

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan radioisotop untuk keperluan diagnosa penyakit semakin meningkat. Sampai saat ini mayoritas radioisotop diproduksi di reaktor nondaya dengan mengiradiasi target berupa uranium diperkaya.

Seiring berkembangnya teknologi, kini radioisotop dapat diproduksi menggunakan reaktor nondaya homogen/*Aqueous Homogenous Reactor* (AHR). Penggunaan AHR untuk memproduksi radioisotop dinilai menguntungkan karena beberapa pertimbangan, antara lain: berbiaya rendah, masa kritis yang kecil, keselamatan pasif yang inherent, dan karakteristik penanganan, pemrosesan, dan purifikasi bahan bakar yang lebih sederhana.

Produksi isotop dapat dilakukan dengan menggunakan satu atau lebih reaktor produksi isotop medis/*medical isotope production reactors* (MIPRs) yang berukuran kecil dan berdaya daya rendah (dalam rentang 50–200 kW).

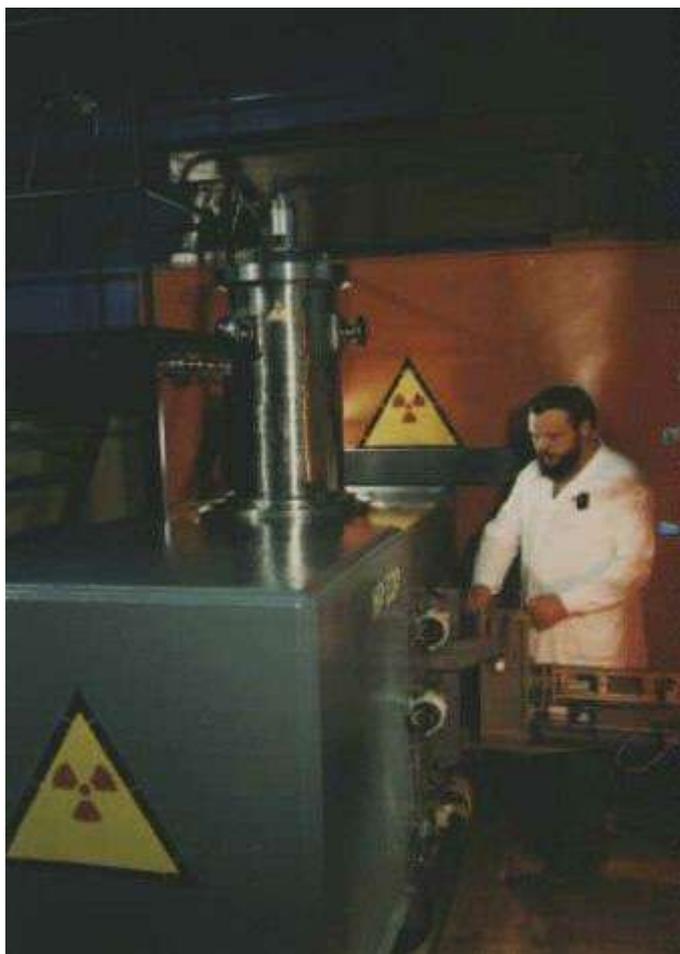
MIPRs saat ini sedang dikembangkan di Cina, Federasi Rusia dan Amerika Serikat. Dua teknologi mendasar telah dipatenkan di Eropa, Federasi Rusia dan Amerika Serikat yaitu teknologi reaktor

yang menggunakan larutan LEU dari (a) garam uranil nitrat dan (b) garam uranil sulfat sebagai bahan bakar.

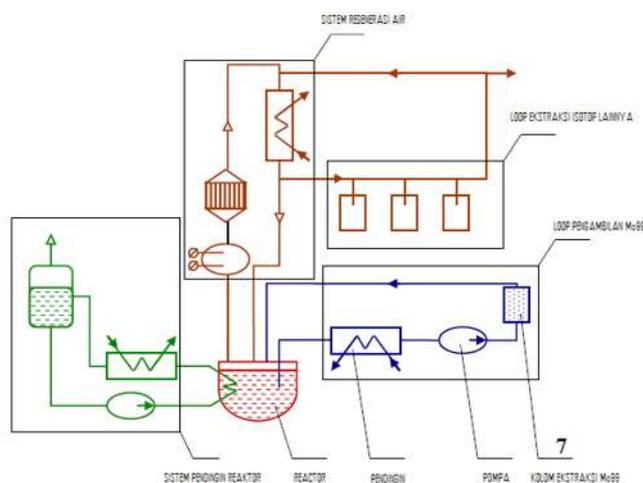
Kurchatov Institute di Rusia telah menggunakan Reaktor ARGUS berdaya 20 kW(th) dan berbahan bakar larutan uranium diperkaya tinggi (HEU) dalam penelitian untuk menghasilkan radioisotop ini.

Larutan bahan bakar hasil operasi dari reaktor ini diproses untuk memisahkan dan memurnikan ^{99}Mo memenuhi standar pharmacopeia Eropa dan AS.

Dari beberapa desain AHR yang diuraikan dalam Tecdoc 1601, dapat diketahui bahwa fasilitas ekstraksi/pemisah ^{99}Mo dari larutan bahan bakar terhubung dengan reaktor ini. Secara lebih detail, dari skema desain *Solution Reactor–Radio Nuclide/SR-RN Reactor* yang dikembangkan oleh *Institute of Physics and Power Engineering* (IPPE) Russia terlihat bahwa desain AHR dapat terdiri dari: reaktor, sistem pendingin reaktor, sistem regenerasi air, loop pengambilan ^{99}Mo , pendingin loop pengambil ^{99}Mo , pompa, kolom ekstraksi ^{99}Mo , kolom ekstraksi isotop yang lain [^{89}Sr , ^{133}Xe , dan (^{131}I , ^{132}I , ^{133}I)].



Gambar 6: Reaktor ARGUS



Gambar 7: Skema Reaktor SR-RN

Berkaitan dengan penyampaian rencana tersebut, BAPETEN sebagai lembaga yang mengawasi pemanfaatan tenaga nuklir di Indonesia perlu mempersiapkan infrastruktur pengawasan baik yang berupa peraturan, perizinan, dan inspeksi untuk mengawal pelaksanaan pembangunan AHR ini. Dalam hal peraturan, saat ini BAPETEN telah mempunyai perangkat peraturan untuk reaktor nondaya antara lain:

- Peraturan Kepala BAPETEN No. 8 Tahun 2012 tentang Penyusunan LAK RND;
- Peraturan Kepala BAPETEN No. 1 Tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Desain RND;
- Peraturan Kepala BAPETEN No. 2 Tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Operasi RND;

Dari literatur dapat diketahui bahwa sebagian fenomena-fenomena yang terjadi pada AHR berbeda dengan yang terjadi di reaktor berbahan bakar padat. Oleh karena itu diperlukan kajian untuk mengidentifikasi ketentuan keselamatan apa saja yang perlu ditetapkan dalam peraturan Kepala BAPETEN yang akan digunakan untuk mengatur kegiatan pendesainan dan pengoperasian AHR. Ketentuan keselamatan hasil kegiatan kajian ini dapat ditambahkan dalam revisi atas peraturan terkait reaktor nondaya yang sudah ada atau dimuat dalam peraturan Kepala BAPETEN baru yang khusus mengatur reaktor nondaya berbahan bakar bukan padat.

2. METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam identifikasi ketentuan keselamatan untuk penyusunan peraturan kepala BAPETEN dalam rangka pembangunan reaktor nondaya berbahan bakar cair ini adalah studi literatur menggunakan dokumen teknis dari IAEA dan NRC. Tahapan kajian meliputi pengumpulan literatur standar dan peraturan yang kemudian dilanjutkan dengan pengumpulan informasi.

3. PEMBAHASAN

Ketentuan keselamatan untuk AHR diidentifikasi dari struktur, sistem, dan komponen sebagai berikut:

1. Bahan Bakar;
2. Sistem manajemen gas;
3. Reaktivitas lebih;
4. Sistem pendingin primer;
5. kejadian awal terpostulasi;
6. Sistem pengalir bahan bakar;
7. Sistem pemindah N_2 serta penambah asam;
8. Sistem *shutdown* darurat;
9. Keselamatan radiologi.

Dari uraian di atas, seperti halnya pada reaktor nondaya heterogen, AHR dilengkapi dengan sistem pendingin primer dan sistem *shutdown*. Sedangkan fitur yang berbeda dari reaktor nondaya heterogen adalah penggunaan sistem pengalir bahan bakar dan sistem pemindah N_2 serta penambah asam.

3.1. Bahan Bakar

Pada reaktor berbahan bakar padat bahan bakar nuklir berada dalam kelongsong bahan bakar. Kelongsong bahan bakar berfungsi menahan produk fisi yang dihasilkan selama pengoperasian reaktor.

Pada AHR larutan bahan bakar berfungsi sebagai bahan bakar, moderator dan target. Tidak ada kelongsong bahan bakar yang digunakan dalam desain AHR, sehingga, konsep penghalang produk fisi yang dilakukan oleh kelongsong tidak berlaku lagi. Peran kelongsong kini dilakukan oleh bejana reaktor dan batas-batas dari setiap penetrasi (koil pendingin, kanal batang kendali, dan pipa pengalir larutan bahan bakar) dalam bejana reaktor.

AHR dapat menggunakan uranil nitrat [$UO_2(NO_3)_2$] atau uranil sulfat [UO_2SO_4] sebagai larutan bahan bakar untuk menghasilkan radioisotop. Pada penggunaan uranil sulfat dalam pengoperasian reaktor akan terbentuk H_2 dan O_2 akibat proses radiolisis dalam larutan bahan bakar. Gas-gas yang terbentuk akan terkumpul di *cover gas space*. Gas yang terbentuk ini berpotensi menyebabkan terbentuknya campuran gas yang mudah meledak. Gas ini dapat diubah menjadi air menggunakan *heated catalyst bed* dan air yang terkondensasi dialirkan kembali ke larutan bahan bakar.

Pada penggunaan uranil nitrat akibat dekomposisi larutan bahan bakar akan terbentuk gas nitrogen dan oksida nitrogen (NO_x). Gas yang terbentuk ini berpotensi menyebabkan kebakaran pada *off-gas activated charcoal beds* dan gas ini dapat menyebabkan terkumpulnya

iodine dalam *off-gas*. Juga karena gas NO_x bersifat asam, ia dapat meningkatkan pH larutan bahan bakar. Jika pH melebihi 3 maka pengendapan/presipitasi uranium dan gas hasil fisi akan terjadi.

Dari uraian di atas dapat diidentifikasi ketentuan keselamatan yang perlu ditetapkan adalah:

- Penggunaan bejana yang gas-tight;
- Penggunaan sistem manajemen gas;
- aspek keselamatan di lokasi preparasi larutan bahan bakar;
- aspek keselamatan dalam metode preparasi larutan bahan bakar;
- pengaruh parameter material (temperatur peleburan, pelunakan/*softening*, atau pengelembungan/*blistering*; korosi; erosi; and faktor mekanik seperti pembengkakkan/*swelling*, pembengkakan/*bending*, pemutarbalikan/*twisting*, kompresi, dan *shearing*) terhadap bejana teras, integritas koil pendingin, kanal kendali, dan pipa pengalir bahan bakar.
- Optimasi pH untuk menjaga agar korosi yang terjadi di bejana reaktor dan material struktur pendukung tetap rendah; pH yang terlalu rendah juga akan menyebabkan resin penukar ion kurang efisien.
- Besar konsentrasi garam uranium yang perlu ditentukan karena hal ini akan mempengaruhi densitas larutan bahan bakar sehingga akan mempengaruhi terbentuk atau hilangnya gelembung/*bubble* gas akibat radiolisis;

3.2. Sistem manajemen gas

Pada pengoperasian reaktor nondaya heterogen dapat terbentuk gas yang bersifat radioaktif antara lain: isotop N-16 yang terbentuk di daerah teras reaktor akibat reaksi (n,p) dengan O-16 yang terkandung di dalam air pendingin reaktor dan gas Argon akibat neutron thermal dan epithermal. Untuk memberikan proteksi terhadap petugas yang bekerja di sekitarnya teras reaktor tersebut didesain berada di dalam kolam pada kedalaman tertentu dan dapat juga dilengkapi dengan sistem keselamatan aktif seperti warm water layer dan pipa peluruh aktivitas N-16 (seperti pada RSG-GAS).

Pada AHR hidrogen, oksigen dan NO_x akibat radiolisis larutan bahan bakar selama reaktor beroperasi ditangani oleh Sistem Manajemen Gas. Desain sistem manajemen gas dapat terdiri dari pemisah air, pemisah iodine, pemanas listrik, penyatu/*synthesizer* H₂ dan O₂, kondensor, tangki larutan pendingin dan pipa baja tahan karat/*stainless steel*. Rekombinasi hidrogen dan oksigen merupakan reaksi eksotermik maka rekombiner membutuhkan sistem pendingin tersendiri.

Ketentuan yang diperlukan terkait:

- Analisis yang menunjukkan bahwa sistem manajemen gas dapat menghilangkan gas hasil radiolisis dan produk fisi dari teras reaktor dan *cover gas* sehingga reaktor dapat dioperasikan dengan aman dan sesuai dengan kriteria rilis ke lingkungan sesuai ketentuan yang berlaku;
- Tersedianya sistem pendingin untuk sistem manajemen gas;

3.3. Reaktivitas lebih

Kecelakaan yang dipicu oleh reaktivitas akibat kemungkinan penarikan batang kendali harus dianalisis. Kecelakaan penyisipan reaktivitas tanpa *scram* akan menyebabkan kenaikan tekanan di dalam tangki reaktor.

Ketentuan keselamatan yang perlu ditetapkan:

- Desain sistem kendali harus cukup fleksibel untuk mengkompensasi reaktivitas lebih yang diperkirakan;
- Tangki reaktor harus didesain tahan terhadap kenaikan tekanan akibat kecelakaan yang dipicu reaktivitas lebih;
- Reaktor harus dilengkapi dengan tangki penjaga/*guard reactor* yang berfungsi menahan larutan bahan bakar bila tangki reaktor pecah akibat adanya kenaikan tekanan.

3.4. Sistem pendingin primer

Pada reaktor nondaya heterogen sistem pendingin reaktor terdiri dari sistem pendingin primer, sistem pendingin sekunder, dan sistem pendingin kolam reaktor. Pendinginan menggunakan air demineraliser untuk mencegah terjadinya korosi.

Pada AHR pendinginan dilakukan oleh koil pendingin (berisi air demineraliser) yang terendam di dalam larutan bahan bakar. Sama halnya dengan reaktor heterogen sistem pendingin ini berfungsi menjaga temperatur larutan bahan bakar dengan mengalirkan panas yang dibangkitkan ke sistem pendingin sekunder melalui penukar panas. Desain sistem pendingin primer AHR dapat terdiri dari dua pompa, satu penukar panas dan pipa yang terkait, katup, instrument. Dasar desain dari sistem pendingin primer adalah menjaga integritas bejana dan *barrier* bahan bakar serta mencegah pendidihan larutan bahan bakar.

Selama operasi normal pembangkitan panas terjadi di teras. Panas sisa dibangkitkan oleh dua sumber :

1. Oleh produk peluruhan dapat larut/tidak dapat larut yang tetap berada di dalam teras; dan
2. Oleh gas produk peluruhan dan produk peluruhan lainnya yang terbawa/*entrained* oleh gas tersebut ke dalam ruang gas di atas teras *reactor*.

Pada sistem pendingin primer dapat terjadi kegagalan suplai air ke koil pendingin yang dibarengi dengan kegagalan regulator otomatis yang mengaktifkan sistem *scram*.

Ketentuan keselamatan yang ditetapkan:

- Penyediaan sistem pembuangan panas peluruhan yang berbeda untuk tiap sumber panas yang berbeda seperti tersebut di atas;
- Ketentuan penggunaan material pipa pendingin tahan korosi;
- Sistem suplai air yang andal;

3.5. Kejadian awal terpostulasi

Berdasarkan lampiran Perka BAPETEN 1/2011 tentang Ketentuan desain Reaktor Nondaya, pemilihan kejadian awal terpostulasi dapat diidentifikasi dari 8 (delapan) kelompok kejadian awal yaitu:

1. Kehilangan catu daya listrik;
2. Pemasukan/insersi/penyisipan reaktivitas lebih;
3. Kehilangan aliran pendingin;
4. Kehilangan pendingin;
5. Kesalahan penanganan atau kegagalan peralatan atau komponen;
6. Kejadian internal;
7. Kejadian eksternal; dan
8. Kesalahan manusia.

Pada AHR pertimbangan untuk pemilihan kejadian awal adalah sebagai berikut:

- a. Kecelakaan Hipotesis Maksimum (*Maximum Hypothetical Accident* [MHA]).

MHA untuk AHR bisa berupa salah satu atau kombinasi dari peristiwa berikut:

- a) Penyebaran dari isi *boundary* primer dengan memotong dari setiap kapasitas *scrubbing* (misalnya dengan kolam yang mengelilingi bejana bahan bakar);
 - b) Detonasi hidrogen di-rekombiner yang mengakibatkan kegagalan tangki gas buang dan pelepasan sebagian atau seluruh isi produk fisi dan bahan bakar dalam bentuk aerosol;
 - c) Hilangnya seluruh bahan bakar (misalnya bejana pecah);
- Kemungkinan MHA untuk fasilitas AHR dengan multi-reaktor bisa berupa salah satu atau kombinasi dari kejadian berikut:
- a) kejadian eksternal akibat ulah manusia yang melewati/*breaches boundary* utama lebih dari satu unit;
 - b) kejadian eksternal besar di fasilitas yang melewati/*breaches* berbagai sistem yang mengandung cairan radioaktif

b. Penyisipan reaktivitas lebih.

Untuk AHR, kejadian berikut yang menyebabkan penyisipan reaktivitas harus dipertimbangkan :

- ♦ Tekanan dari larutan bahan bakar;
- ♦ Pendinginan berlebihan akibat kerusakan sistem pendingin;
- ♦ Penambahan Moderator akibat kerusakan sistem pendingin (misalnya pipa pendingin pecah);
- ♦ Injeksi bahan bakar;
- ♦ Terjadinya perubahan geometri yang merugikan;
- ♦ Penyisipan Reaktivitas akibat efek penggumpalan moderator/moderator lumping;
- ♦ Penambahan bahan lain ke dalam larutan bahan bakar secara tidak disengaja;

Berkurangnya pendingin.

- ♦ Pengaruh berkurangnya pendingin harus dipertimbangkan.
- ♦ Sistem pendingin mencakup semua sistem dan komponen yang menghilangkan panas dari bejana reaktor dan gas fisi.
- ♦ Sistem pendingin terdiri dari koil pendingin di dalam bejana, kolam yang menyediakan pendinginan eksternal untuk bejana, dan sistem pendingin dalam sistem penanganan *off-gas* untuk menghilangkan panas dari gas yang dihasilkan dalam proses fisi.
- ♦ Penurunan pendinginan akibat kejadian awal seperti kehilangan daya listrik, kegagalan komponen aktif dalam sistem pembuangan panas, pecahnya pipa koil pendingin atau penukar panas, obstruksi aliran pada penukar panas, dll dapat menyebabkan kenaikan suhu atau efek kimia merugikan berikutnya, stres termal yang berlebihan, atau akibat penyisipan reaktivitas yang pada akhirnya bisa membahayakan integritas *boundary* utama.

c. Kesalahan penanganan atau kerusakan larutan bahan bakar.

Pemicu berikut perlu dipertimbangkan dalam kategori kejadian ini :

- ♦ Kegagalan untuk mengontrol pH larutan bahan bakar, misalnya, dengan tidak menambahkan bahan kimia yang tepat ke larutan bahan bakar pada waktu yang ditentukan
- ♦ Kegagalan untuk mengontrol suhu larutan, misalnya, pendinginan berlebihan bahan bakar selama operasi *off-normal*, yang mengakibatkan kristalisasi atau pengendapan bahan bakar
- ♦ Kegagalan untuk mengontrol tekanan larutan, misalnya, bejana utama terekspos dengan kondisi vakum sehingga memicu pendidihan bahan bakar

d. Kehilangan daya listrik normal.

e. Kejadian eksternal.

Dampak dari perubahan geometri larutan bahan bakar akibat pengaruh seismik harus dipertimbangkan

f. Kesalahan penanganan atau kerusakan peralatan.

- ♦ Pemohon izin harus mempertimbangkan konsekuensi dari kesalahan penanganan atau kerusakan peralatan yang dapat mengakibatkan tumpahan atau kebocoran cairan yang terkontaminasi;
- ♦ Selain itu, karena gas produk fisi tidak berada dalam bahan bakar untuk AHR, pemohon izin harus mempertimbangkan kebocoran atau pelepasan gas fisi

g. Osilasi Daya tidak teredam yang besar.

- ♦ Desain AHR diperkirakan akan mengalami umpan balik suhu dan kepadatan yang kuat.
- ♦ LAK harus menguraikan analisis tentang kondisi-kondisi yang dapat menyebabkan umpan balik positif dan mengakibatkan osilasi daya yang besar dan tidak teredam. Osilasi daya yang besar dan tidak teredam tersebut dapat membahayakan integritas penghalang utama.
- ♦ Pemohon izin harus mengevaluasi perilaku sistem instalasi dalam menentukan stabilitas reaktor.

h. Detonasi dan deflagrasi.

Pemohon izin harus mengidentifikasi dan mengevaluasi konsekuensi dari kejadian deflagrasi (pembakaran dalam waktu singkat) dan ledakan terpostulasi.

i. Reaksi kimia eksotermik yang tidak diperkirakan selain detonasi.

- ♦ Kelompok kecelakaan ini ditandai dengan reaksi dari gas yang tidak diperkirakan selain reaksi hidrogen/oksigen yang dapat menimbulkan bahaya bagi integritas *boundary* utama.

j. Kejadian interaksi fasilitas-sistem.

Pemicu di kelompok kejadian ini antara lain:

- 1) kegagalan penyebab umum yang mempengaruhi beberapa unit;
- 2) propagasi dari sebuah kegagalan untuk kemudian mempengaruhi unit lain (misalnya sabetan pipa/*pipe-whip*)

3.6. Sistem pengalir bahan bakar

Produksi ^{99}Mo pada reaktor heterogen menggunakan target uranium yang diiradiasi, sehingga desain reaktor nondaya heterogen tidak dilengkapi dengan sistem pengalir bahan bakar.

Pada AHR fungsi dari sistem sistem pengalir bahan bakar adalah mengalirkan larutan bahan bakar dari teras reaktor ke fasilitas penyimpanan/*storage pot* untuk memisahkan isotop ^{99}Mo . Sistem pengalir bahan bakar dapat terdiri dari satu *storage pot*, dua *extraction beds*, pipa-pipa dan katup-katup.

Ketentuan keselamatan yang ditetapkan:

- ♦ Penyediaan sistem pengalir bahan bakar.

3.7. Sistem pengambilan N_2 dan penambah asam

Pada reaktor heterogen terbentuknya gas-gas produk fisi maupun akibat aktivasi neutron tidak mempengaruhi operasi reaktor sehingga desain reaktor nondaya heterogen tidak dilengkapi dengan sistem pengambilan N_2 dan penambah asam.

Pada AHR selama operasi reaktor H_2O and NO_3 akan mengalami dekomposisi yang berakibat sifat kimia bahan bakar akan berubah dan pH nya akan meningkat. Oleh karena itu diperlukan:

1. Penambahan asam nitrat yang diambil dari tangki asam untuk diinjeksikan ke dalam reaktor secara otomatis sampai pH dan konsentrasi larutan bahan bakar berada dalam rentang yang diharapkan;
2. Pengambilan gas N_2 dan mengalirkannya ke tangki penyimpanan dimaksudkan untuk menstabilkan tekanan gas.

Ketentuan keselamatan yang ditetapkan:

- ♦ Penyediaan sistem pengambilan N_2 dan penambah asam.

3.8. Sistem *shutdown* darurat

Reaktor heterogen umumnya dilengkapi oleh lebih dari satu batang kendali untuk memadamkan reaktor. Hal ini membuat sistem *shutdown* reaktor tersebut dapat mengakomodasi kegagalan sebagian batang kendalinya. Sebagai contoh pada RSG-GAS sistem *shutdown*nya didesain dapat mengakomodasi kejadian *one stuck rod* pada batang kendali.

Pada AHR, jika batang kendali gagal memadamkan reaktor, akumulasi gas H_2 di dalam sistem akan menimbulkan resiko bahaya. Untuk mencegah terjadinya resiko tersebut digunakan sistem penghisap/*discharge* larutan bahan bakar dari bejana reaktor untuk memadamkan reaktor secara otomatis. Sistem *shutdown* darurat merupakan sistem sekunder.

Ketentuan keselamatan yang perlu ditetapkan:

- ♦ Penyediaan sistem penghisap larutan bahan bakar dari bejana reaktor.

3.9. Keselamatan radiologi

Untuk mengkaji konsekuensi kecelakaan radiologi terhadap pekerja dan masyarakat yang mungkin terjadi, dapat dipertimbangkan dua skenario kecelakaan terpostulasi, yaitu:

1. Pecahnya bejana reaktor diikuti dengan bocornya semua larutan bahan bakar dan kemudian menguap karena bersentuhan dengan permukaan moderator grafit yang panas;
2. Pecahnya pipa di kotak kolom penyerapan dalam proses pemompaan larutan bahan bakar di mana pompa tersebut juga gagal dihentikan pengoperasiannya. Hal ini berakibat bocornya larutan bahan bakar ke kotak kolom penyerapan.

Skenario kecelakaan [1] berpotensi memberikan dampak radiologi tinggi terhadap masyarakat, sementara skenario [2] dapat memberikan dampak paparan radiasi terhadap pekerja.

Ketentuan keselamatan yang perlu ditetapkan:

1. Penggunaan desain bejana yang anti bocor;
2. Penempatan produk yang bersifat radioaktif didalam pelindung/*barrier* pada semua kondisi kecelakaan;
3. Penempatan peralatan dan komponen radioaktif di dalam *hot cells*;
4. Penggunaan sistem ventilasi yang mempunyai filter yang efektif;
5. Penggunaan sistem manajemen yang efektif untuk penanganan limbah padat, cair, dan gas yang bersifat radioaktif;
6. Monitoring kondisi radiologi yang berkesinambungan di dalam *reactor hall* dan di sekitar tapak;
7. Pengoperasian reaktor hanya oleh petugas yang terlatih/kompeten.

TANYA JAWAB DAN DISKUSI

1. **Penanya :** Budi Rohman (BAPETEN)

Pertanyaan:

- a) Terkait dengan persetujuan desain yang harus diberikan oleh BAPETEN terhadap izin baru, kira-kira sampai seberapa besar porsi aturan yang ada (misal: Perka tentang Desain RND) dapat diterapkan dalam evaluasi dokumen persetujuan desain?

4. KESIMPULAN

Dengan diajukannya rencana untuk membangun AHR yang akan digunakan untuk memproduksi radioisotop telah dilakukan kajian untuk mengidentifikasi ketentuan keselamatan yang perlu dimuat dalam peraturan Kepala BAPETEN untuk reaktor nondaya berbahan bakar cair.

Hasil kajian ini diharapkan dapat membantu memudahkan Direktorat Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir dalam menyusun peraturan terkait desain, operasi, dan ketentuan keselamatan reaktor nondaya berbahan bakar cair.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IAEA (2008); IAEA *TECDOC 1601: Homogeneous Aqueous Solution Nuclear Reactors for the Production of ⁹⁹Mo and other Short Lived Radioisotopes*; IAEA, Vienna.
- [2] **Nuclear Science and Technology Department** (December 2010); *Aqueous Homogeneous Reactor Technical Panel Report*; Brookhaven National Laboratory.
- [3] **Nuclear Regulatory Commission** (1996); *NUREG-1537 Part 1 (1996), Guidelines for Preparing and Reviewing Applications for the Licensing of Non-Power Reactors (Format and Content)*; NRC, USA.

Jawaban:

Porsi peraturan BAPETEN (antara lain: Perka tentang desain Reaktor Nondaya) yang dapat diterapkan dalam evaluasi dokumen persetujuan desain akan dapat diketahui setelah proses review/kajian terhadap peraturan tersebut selesai dilakukan. Pada akhir tahun diharapkan P2STPIBN sudah dapat melaporkan hasil kajian ini kepada unit kerja yang berekepentingan (DP2IBN dan DPIBN). Identifikasi ketentuan keselamatan ini akan menjadi bekal dalam mereviu peraturan-peraturan terkait RND yang akan digunakan mengevaluasi persetujuan desain.



Seminar Keselamatan Nuklir 2014 Makalah Penyaji Oral Bidang Instalasi dan Bahan Nuklir

Prosiding
Seminar
Keselamatan
Nuklir
2014

PENCIPTAAN KONDISI KEAMANAN DALAM PEMANFAATAN TENAGA NUKLIR: SEBUAH TINJAUAN HUKUM

Donni Taufiq

Direktorat Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir
Email: d.taufiq@bapeten.go.id

ABSTRAK

PENCIPTAAN KONDISI KEAMANAN NUKLIR DALAM PEMANFAATAN TENAGA NUKLIR; SEBUAH TINJAUAN HUKUM. Pemanfaatan tenaga nuklir yang semakin berkembang luas mengakibatkan perlu adanya pengaturan yang lebih komprehensif baik dalam pengaturan hukum internasional maupun pengaturan hukum nasional. Penggunaan nuklir untuk kesejahteraan dan kebaikan umat manusia menjadi latar belakang bagaimana penggunaan nuklir harus didasarkan kepada Kondisi Keamanan Nuklir. Hukum sebagai alat perekayasa sosial harus mampu meyakinkan masyarakat bahwa manfaat tenaga nuklir jauh lebih besar daripada bahaya yang dapat ditimbulkan.

Kata Kunci: Tenaga Nuklir, Keamanan, Hukum

ABSTRACT

THE CREATION OF NUCLEAR SECURITY CONDITION IN THE UTILIZATION OF NUCLEAR ENERGY; A LEGAL REVIEW. The utilization of nuclear energy that is growing extensively requires the much more comprehensive regulations, either in international or national regulations. The utilization of nuclear energy for the prosperity and goodness of humankind becomes the main reason why it must be based on Nuclear Security. Law as a tool of social engineering must be able to ensure the public that the utilization of nuclear energy is much larger than its risk.

Keywords: Nuclear Energy, Security, Legal

1. PENDAHULUAN

Indonesia dianugerahi Tuhan dengan berbagai macam sumber daya alam. Sumber daya alam tersebut dapat ditemukan dalam bentuk sumber daya alam hayati atau sumber daya mineral. Khusus untuk sumber daya mineral, dalam bumi Indonesia dapat ditemukan berbagai macam bentuk energi mineral, seperti: minyak bumi, gas bumi, batubara, dan terakhir sumber daya mineral termasuk mineral radioaktif/bahan galian nuklir.

Sumber daya nuklir dapat dimanfaatkan terutama untuk mengatasi krisis energi. Nuklir dapat dimanfaatkan untuk dijadikan sumber pembangkit listrik. Energi nuklir sudah memiliki peranan vital dalam memasok listrik dunia dan merupakan sumber listrik utama pada sejumlah negara. Tercatat per 2006 443 PLTN beroperasi di dunia dan 25 buah sedang dalam tahap pembangunan [1]. Energi nuklir lebih menguntungkan jika ditinjau dari segi kelestarian/perlindungan lingkungan hidup karena tidak menghasilkan unsur berbahaya, seperti logam berat (cadmium, plumbum, arsen, argentum/perak, vanadium), emisi gas SO₂, NO_x, dan VHC. Dalam hal ini PLTN dapat membantu mengurangi hujan asam dan pembatasan emisi gas rumah kaca.

Indonesia dapat memanfaatkan energi nuklir sebagai solusi atas krisis energi yang sedang dihadapi. Pemanfaatan energi nuklir sebagai sumber energi dapat dilakukan mengingat Indonesia memiliki sumber daya bahan baku nuklir yang sangat besar. Berdasarkan catatan yang ada, Indonesia memiliki cadangan 70 ribu ton uranium dan 117 ribu ton thorium [2].

Selain untuk mengatasi krisis energi, nuklir juga dapat digunakan di bidang-bidang lainnya, seperti untuk kesehatan, pangan, dan industri. Nuklir untuk bidang pangan telah berhasil membantu manusia untuk menciptakan bibit tumbuhan yang memiliki keunggulan, yakni tanaman padi/kedelai dengan masa tanam pendek

dan tahan terhadap hama dan kekeringan. Penggunaan nuklir di bidang kesehatan telah membantu para tenaga medis dalam memberikan diagnosa maupun terapi berbagai jenis penyakit.

Nuklir dapat membawa kebaikan terhadap hidup umat manusia dan dalam pemanfaatannya untuk kesejahteraan masyarakat dan pengembangan teknologinya perlu diawasi sehingga risiko bahaya radiasi yang ditimbulkannya tidak membahayakan individu, masyarakat dan lingkungan hidup. Aspek pengawasan yang harus diperhatikan meliputi aspek:

- Keselamatan;
- Keamanan; dan
- Safeguards*.

Semua hal tersebut perlu diwujudkan agar pemanfaatan tenaga nuklir memenuhi kondisi operasi yang sesuai, memperhitungkan pencegahan kecelakaan dan memitigasi konsekuensi kecelakaan, memasukkan aspek pencegahan, deteksi, dan respon terhadap tindakan tidak sah terhadap zat radioaktif dan bahan nuklir seperti pencurian dan sabotase, serta pencegahan penyalahgunaan bahan nuklir untuk tujuan non damai seperti senjata nuklir [3,4].

Salah satu jenis pemanfaatan tenaga nuklir adalah penambahan bahan galian nuklir. Eksplorasi dan eksploitasi bahan galian nuklir harus mempunyai dasar hukum yang kuat agar bahan galian nuklir tersebut dapat digunakan sebaik-baiknya bagi kesejahteraan rakyat Indonesia. Produk peraturan perundang-undangan yang jelas yang dapat menopang keberadaan dan pemanfaatan tenaga nuklir. Tanpa adanya produk perundang-undangan tersebut potensi penyalahgunaan tenaga nuklir sangatlah besar dan akibat dari penyalahgunaan tersebut tidak dapat dibayangkan.

Dalam makalah ini akan dibahas tinjauan hukum terhadap penciptaan situasi keamanan nuklir dalam pemanfaatan tenaga

nuklir. Tujuan dari penulisan makalah ini agar pada nantinya dalam proses penyusunan RUU Keamanan Nuklir para legislator di DPR RI dapat mengerti bagaimana membentuk sebuah legislasi di bidang ketenaganukliran yang sesuai dengan tujuan yuridis, sosiologis, dan filosofis hukum nuklir sehingga dapat menjadi paket peraturan perundang-undangan yang mampu terap.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Makalah ini disusun dengan menggunakan kajian literatur. Kajian difokuskan terhadap rekomendasi-rekomendasi IAEA khususnya yang mengatur mengenai Kondisi Keamanan Nuklir untuk kemudian ditinjau dari segi ilmu hukum. Kemudian dalam Bab III.3 juga sedikit diulas mengenai teori-teori hukum pidana untuk diharapkan bisa diatur dalam RUU Keamanan Nuklir.

3. PEMBAHASAN

3.1. Kondisi Keamanan Nuklir

Penggunaan nuklir untuk kesejahteraan dan kebaikan umat manusia harus ditunjang dengan sebuah sistem pengawasan tenaga nuklir. Sistem pengawasan ditujukan terhadap obyek-obyek tenaga nuklir, seperti reaktor nuklir untuk penelitian termasuk produksi radioisotop, reaktor nuklir untuk menghasilkan daya/energi (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir), serta instalasi pegas hasil elemen-elemen bahan bakar nuklir, instalasi pendaur ulang bahan bakar nuklir dan pengelolaan bahan bakar bekas nuklir [5]. IAEA *Nuclear Security Series* No. 15 menyatakan bahwa tujuan aturan keamanan nuklir sebuah negara adalah untuk melindungi warga negara, harta, tatanan masyarakat, dan lingkungan dari akibat yang dapat mencelakakan yang timbul dari Kejadian Keamanan Nuklir. Oleh karena itu negara anggota IAEA harus membuat, mengimplementasikan, dan menegakkan aturan tersebut untuk mencegah, menemukan, dan menindaklanjuti jika terjadi Kejadian Keamanan Nuklir [6]. Untuk membantu negara-negara anggotanya, IAEA menciptakan *Nuclear Security Programme* dan *Nuclear Security Series* sebagai bahan pertimbangan dan bimbingan.

Penggunaan nuklir untuk kesejahteraan dan kebaikan umat manusia menjadi latar belakang bagaimana penggunaan nuklir harus didasarkan kepada Kondisi Keamanan Nuklir. IAEA mendefinisikan Keamanan Nuklir sebagai, “tindakan pencegahan dan deteksi, dan tindakan reaksi atas, pencurian, sabotase, akses tanpa izin, memindahkan secara melawan hukum, dan tindakan-tindakan berbahaya lain yang melibatkan bahan nuklir, atau bahan radioaktif lainnya, atau fasilitas pendukungnya”.

Tujuan dari aturan Keamanan Nuklir, sebagaimana tercantum dalam *Nuclear Security Recommendation*, tersebut dapat dilihat dari tercapainya beberapa indikator. Indikator-indikator tersebut adalah:

1. Perangkat peraturan yang lengkap dan menyeluruh yang menyediakan mekanisme administrasi dan penegak hukum kepada pejabat yang berwenang di dalam negara, agar mereka dapat melaksanakan wewenang mereka secara efektif.
2. Peraturan yang cukup dan sumber daya yang berkelanjutan kepada pejabat yang kompeten yang memungkinkan mereka untuk melaksanakan fungsi mereka, yang antara lain:
 - a) melakukan tindakan pencegahan atas tindak pidana atau tindakan pelanggaran yang berakibat pada keamanan nuklir yang menggunakan bahan nuklir atau bahan radioaktif-radioaktif lainnya yang tidak sesuai dengan aturan pengendalian;
 - b) deteksi, hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan instrumen peringatan atau pemberitahuan akan keberadaan atau indikasi adanya tindak pidana atau tindakan pelanggaran yang berakibat pada situasi keamanan nuklir yang menggunakan bahan nuklir atau bahan radioaktif lainnya

yang tidak sesuai dengan aturan pengendalian, dan khususnya untuk:

- (1) mengembangkan strategi nasional;
 - (2) membangun sistem deteksi;
 - (3) membuat sebuah dugaan awal yang dikeluarkan oleh instrumen peringatan guna menentukan apakah Kejadian Keamanan Nuklir telah terjadi.
- c) menindaklanjuti Kejadian Keamanan Nuklir, khususnya dengan cara:
- (1) menyampaikan informasi kepada aparat yang berwenang;
 - (2) memperkirakan validitas dan kemungkinan risiko yang timbul dari Kejadian Keamanan Nuklir;
 - (3) mencari, mengenali, mengkategorikan, dan mengkarakteristik nuklir atau bahan radioaktif lainnya;
 - (4) mengamankan bahan-bahan tersebut dan melakukan tindakan lain yang berhubungan dengan Kejadian Keamanan Nuklir, seperti menetralkan alat-alat dan/atau instalasi;
 - (5) mengambil, menahan, atau menyita bahan-bahan tersebut di bawah pengawasan regulatory control;
 - (6) mengumpulkan, menjaga, menyimpan, memindahkan, dan menganalisa bukti-bukti, termasuk melakukan tindakan nuklir forensik, terhadap suatu tindak pidana atau tindakan pelanggaran yang memiliki implikasi bahwa tindakan tersebut berkaitan dengan Kejadian Keamanan Nuklir;
 - (7) menahan dan kemudian menghukum dan/atau mengekstradisi pelaku.

Oleh karena itu mempunyai perangkat peraturan yang mengatur mengenai Kejadian Keamanan Nuklir merupakan langkah awal dalam mencapai sebuah kondisi Keamanan Nuklir.

Indonesia dalam hal ini sudah mempunyai dasar yang cukup untuk mencapai kondisi Keamanan Nuklir karena Indonesia pada saat ini telah memiliki UU Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran. Akan tetapi UU Ketenaganukliran hanya mengatur soal pengelolaan tenaga nuklir di Indonesia. UU Ketenaganukliran tidak mengatur bagaimana sebuah keadaan Keamanan Nuklir bisa tercapai dan reaksi atas sebuah Kejadian Keamanan Nuklir. Untuk itulah saat ini sedang disusun Rancangan Undang-Undang (RUU) Keamanan Nuklir yang diharapkan dapat masuk ke Program Legislasi Nasional (Prolegnas) 2015–2019 yang akan datang.

3.2. Peranan Hukum dalam Menciptakan Kondisi Keamanan Nuklir

Eksistensi nuklir sebagai sebuah solusi dalam berbagai aspek bidang kehidupan manusia tidak dapat dipungkiri lagi. Oleh karena itu hukum, melalui berbagai produk peraturan perundang-undangan, harus dapat mengakomodir eksistensi nuklir tersebut. Hal ini sejalan dengan pandangan bahwa tujuan utama (kaum realisme) hukum adalah untuk membuat hukum menjadi lebih responsif terhadap kebutuhan sosial [7].

Demikian juga dengan pendapat Roscoe Pond bahwa fungsi hukum adalah salah satunya adalah sebagai alat perekayasa sosial. Pemikiran ini memfokuskan bahwa hukum harus berorientasi pada masa depan, maka tugas hukum dalam hal ini adalah untuk mempersiapkan norma-norma baru yang dapat mengubah pola pikir suatu masyarakat yang lama menjadi rezim masyarakat baru

Karena peristiwa Hiroshima dan Nagasaki tenaga nuklir menjadi sesuatu yang sangat ditakuti. Hal ini diperparah dengan kecelakaan PLTN di Chernobyl yang berdampak sangat luas dan jauh melewati batas-batas yurisdiksi Uni Sovyet pada saat itu. Di sini lah fungsi hukum sebagai alat rekayasa sosial sangat dibutuhkan. Dalam bahasa sederhananya adalah bahwa rekayasa sosial dalam hukum merupakan seperangkat kebijakan dan peraturan perun-

dangundangan yang dibuat dapat merubah pola pikir masyarakat akan manfaat nuklir.

Oleh karena mengingat keberadaan nuklir dalam masyarakat, hukum membentuk satu cabang ilmu baru di dalam dirinya, yaitu hukum nuklir (*Nuclear Law*). Hukum Nuklir adalah cabang khusus dalam norma hukum yang mengatur kegiatan manusia atau badan hukum yang berkaitan dengan materi fusi, radiasi ion, atau paparan sumber daya radiasi [8]. Hukum Nuklir mempunyai ciri khusus yang membedakan dirinya dari produk peraturan perundang-undangan lainnya. Hukum Nuklir sebagai produk peraturan harus memuat beberapa prinsip, yaitu:

- a. **The safety principle**, Hukum Nuklir harus mencantumkan bagaimana tindakan-tindakan pencegahan untuk menghindari terjadinya kerusakan atau meminimalisir kerugian yang terjadi akibat penyalahgunaan atau kecelakaan.
- b. **The security principle**, Hukum Nuklir harus menjamin bahwa nuklir akan digunakan untuk tujuan-tujuan damai sehingga Kondisi Keamanan Nuklir dapat terwujud.
- c. **The responsible principle**, prinsip ini mewajibkan pengidentifikasian yang jelas terhadap pihak yang bertanggung jawab atas kerugian yang timbul akibat penyalahgunaan atau kecelakaan tersebut.
- d. **The permission principle**, setiap kegiatan yang berkaitan dengan nuklir harus berdasarkan izin yang dikeluarkan oleh lembaga yang berwenang.
- e. **The continuous control principle**, walaupun tindakan-tindakan yang berkaitan dengan nuklir harus berdasarkan izin tetapi lembaga yang mengeluarkan izin tersebut harus secara terus menerus memantau kegiatan tersebut.
- f. **The compensation principle**, adanya ganti rugi yang sesuai jika ada kerusakan dan/atau kerugian yang timbul akibat kegiatan yang berkaitan dengan nuklir tersebut.
- g. **The sustainable principle**, kegiatan yang berkaitan dengan nuklir harus mendukung daya dukung lingkungan hidup.
- h. **The compliance principle**, kerusakan yang timbul akibat nuklir dapat dirasakan dampaknya oleh negara lain oleh karena itu negara harus memasukan ketentuan dalam hukum internasional (atau kebiasaan yang berkembang) dalam produk hukum nasional.
- i. **The independence principle**, lembaga pengawasan kegiatan nuklir harus dijamin independensinya, wewenang dan pendapat profesionalnya, manakala keselamatan dan keamanan kondisi nuklir terancam.
- j. **The transparency principle**, setiap negara harus transparan dalam pengembangan teknologi nuklirnya. Hal ini untuk menjamin bahwa nuklir yang dimiliki oleh negara tersebut digunakan untuk tujuan damai.
- k. **The international cooperation principle**, untuk mewujudkan nuklir yang berguna untuk umat manusia dan untuk menciptakan kondisi keamanan nuklir global maka dibutuhkan kerja sama antar negara untuk mewujudnyatakan hal-hal tersebut.

IAEA sebagai organisasi internasional yang mengurus tenaga nuklir telah mengeluarkan serangkaian konvensi dan juga panduan-panduan bagi Negara anggotanya dalam menciptakan situasi kondisi keamanan nuklir. IAEA menyatakan, “*States are expected to adopt within their national legal order such legislation and measures as may be necessary to fulfil effectively their international obligations*” [9]. Bahkan lebih lanjut IAEA menjelaskan bahwa setiap tindakan yang melibatkan bahan nuklir yang dilakukan oleh setiap orang (orang maupun badan hukum) yang dilakukan dalam yurisdiksi negara anggotanya harus berdasarkan prinsip-prinsip umum dan hukum kebiasaan yang berlaku secara internasional sebagai tambahan dari peraturan perundang-undangan nasional yang berlaku.

Safety Standards dan *Security Series* yang dikeluarkan oleh IAEA, walaupun tidak secara hukum mengikat, didesain untuk menjadi prinsip umum dalam hukum internasional. Salah satu sumber hukum internasional adalah kebiasaan internasional. Ke-

biasaan, dalam terminologi hukum, adalah suatu adat istiadat yang telah memperoleh kekuatan hukum [10]. Kaidah-kaidah dalam kebiasaan internasional yang berasal dari adat istiadat atau praktek-praktek yang dikembangkan dalam, kurang lebih 3 hal, yaitu: hubungan diplomatik antar Negara, praktek dalam organisasi internasional, dan perundang-undangan Negara [11].

Safety Standards dan *Security Series* yang dikeluarkan oleh IAEA dapat dinyatakan sebagai hukum kebiasaan internasional karena memenuhi 2 unsur kumulatif yaitu:

1. Unsur Faktual;

Yang dimaksud unsur faktual disini adalah adanya praktik umum negara-negara anggota IAEA untuk menerapkan *Safety Standards* dan *Security Series* dalam perangkat hukum nasional mereka secara bersama-sama, terus menerus dan dalam jangka waktu yang lama.

2. Unsur Psikologis (*opinio juris* *in necessitate*);

Untuk menguji keberadaan hukum kebiasaan internasional tidak cukup hanya dengan melihat praktik negara-negara saja, tapi perlu juga diketahui alasan mereka mempraktikkannya. Dalam hal ini *Safety Standards* dan *Security Series* diikuti oleh negara-negara anggota IAEA karena adanya keyakinan bahwa apa yang mereka praktikkan tersebut merupakan suatu kewajiban hukum untuk menjamin keselamatan dan keamanan pemanfaatan tenaga nuklir di negara mereka masing-masing.

3.3. Ketentuan Pidana

Kejahatan atau tindak kriminal merupakan salah satu bentuk dari perilaku menyimpang yang selalu ada dan melekat pada masyarakat, tidak ada masyarakat yang sepi dari kejahatan [12]. Bahkan Kongres PBB di Jenewa tahun 1975 menyatakan bahwa kuantitas dan kualitas kejahatan semakin meningkat. Peningkatan jumlah dan kualitas tersebut mengakibatkan Phillippe de Seynes menyatakan bahwa kejahatan pada saat ini telah diakui sebagai masalah sosio-politik, yang tidak hanya menuntut tindakan-tindakan yang bersifat teknis tetapi memerlukan tindakan luas yang disusun pada tingkatan politik tertinggi. Hal ini berarti bahwa untuk mencegah tindak kriminal dibutuhkan undang-undang yang mengatur soal pencegahan dan penindakan atas tindak kriminal tersebut. Hal ini didasarkan pada pemikiran bahwa undang-undang merupakan produk politik di tataran paling tinggi, yakni DPR dan Presiden.

Salah satu usaha penanggulangan tindak kejahatan adalah dengan menggunakan hukum pidana. Hukum pidana adalah cara negara untuk melindungi warga negaranya apabila haknya, yang diatara dalam undang-undang, dilanggar oleh warga negara yang lainnya [13]. Pidanaaan didasarkan pada dua syarat [14]:

- a. Pidana ditujukan pada pengenaan penderitaan terhadap orang yang bersangkutan;
- b. Pidanaaan adalah bentuk pernyataan pencelaan terhadap perbuatan si pelaku.

Ketentuan pidana memang sudah tercantum dalam ketentuan yang termaktub di KUHP akan tetapi itu tidak menghalangi ketentuan pidana dalam undang-undang yang bersifat khusus. Akan tetapi dalam membentuk sebuah ketentuan pidana dalam undang-undang yang bersifat khusus tersebut, pembentuk undang-undang harus mengerti betul maksud atas ketentuan pidana dalam undang-undang tersebut. Harus dimengerti betul bahwa pidanaaan adalah bentuk pencegahan dan bukan sebagai bentuk balas dendam. Oleh karena itu pengaturan pidanaaan dalam pembuatan undang-undang harus memperhatikan tujuannya dan hanya dibuat untuk itu.

Selain daripada itu ketentuan pidana dalam RUU Keamanan Nuklir perlu juga memperhatikan ketentuan pidana yang ada pada peraturan perundang-undangan lainnya. Hal ini untuk menjamin kepastian hukum dalam menciptakan situasi Keamanan Nuklir.

Kesesuaian tersebut juga untuk menghindari *loop hole* yang timbul dari ketidaksesuaian tersebut.

RUU Keamanan Nuklir yang sedang disusun juga akan mengatur tentang ketentuan pidana. Hal ini sangat diperlukan sekali mengingat UU 10/1997, menurut pandangan penulis, sangat lemah mengatur tentang ketentuan pidana. Meskipun dalam penjelasan umum dan batang tubuh banyak disebut aspek-aspek perlindungan lingkungan, namun ketentuan pidana di dalamnya tidak mencerminkan perlindungan terhadap ekosistem, termasuk kesehatan dan keselamatan manusia.

Apabila melihat ketentuan pidana dalam UU 10/1997 maka menurut penulis ditafsirkan bahwa pengaturan terkait kerugian nuklir, termasuk kematian maupun cacat perlu diperjelas ketentuan pidananya bagi pihak penanggung. Hal ini tentu menjadi suatu masalah mengingat undang-undang ini mengatur kegiatan yang sangat beresiko terhadap kesehatan, nyawa manusia dan ekosistem namun tidak mengatur ancaman pidana bagi penyebab kerugian nuklir.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Indonesia memiliki potensi nuklir yang cukup untuk mengatasi berbagai masalah khususnya di bidang energi, kesehatan dan industri. Akan tetapi penggunaan nuklir harus bertujuan untuk kebaikan umat manusia. Untuk mencapai tujuan tersebut maka dalam penggunaan sumber daya nuklir maka perlu tercipta kondisi keamanan nuklir.

Hukum sebagai alat social engineering mempunyai peranan penting untuk menciptakan kondisi keamanan nuklir. Hukum dapat memainkan peranan tersebut dengan menciptakan perangkat peraturan dan lembaga pengawasan. Fokus penciptaan perangkat peraturan tersebut dapat berpedoman kepada *Safety Standards* dan *Security Series* yang dikeluarkan oleh IAEA. *Safety Standards* dan *Security Series* dapat diadaptasi ke dalam peraturan nasional karena dianggap sebagai sebuah kebiasaan umum yang diterapkan dalam ruang lingkup internasional. Adaptasi *Safety Standards* dan *Security Series* sangatlah penting mengingat kebaikan umat manusia yang dimaksud di dalam makalah ini juga berkaitan dengan kepentingan negara-negara lain dan juga agar berkesesuaian dengan IAEA *Safety Standard*.

Adapun saran yang dapat penulis berikan adalah dalam rangka penyusunan RUU Keamanan Nuklir harus diperhatikan juga klausul-klausul dalam UU 10/1997 tentang Ketenaganukliran agar jangan sampai banyak terjadi tumpang tindih. Hal ini supaya tidak terjadi kerancuan hukum dan penafsiran yang terlalu luas sehingga pada gilirannya menjadi celah bagi orang-orang yang berniat jahat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] <http://www.batan.go.id/FAQ/#PLTN01>
- [2] <http://www.antaraneews.com/berita/375792/indonesia-miliki-cadangan-uranium-70000-ton>
- [3] Sinaga, D.C. (2014); "Pengawasan Pemanfaatan Tenaga Nuklir", *Konsultasi Publik Peraturan Perundang-undangan Bidang Instalasi dan Bahan Nuklir*; Medan.
- [4] Pramono, Y. (2014); "Pengawasan Ketenaganukliran di Indonesia", *Sosialisasi Kelembagaan BAPETEN*; Bangka Belitung.
- [5] Irawan B.S. (2004); *Non Proliferasi Nuklir*.
- [6] IAEA (2011); IAEA NSS No. 15, *Nuclear Security Recommendations on Nuclear and Other Radioactive Material out of Regulatory Control*; IAEA, Vienna. p.5.
- [7] Nonet, Philippe; Selznick, Philip (2008); *Hukum Responsif* (terj. Raisul Muttaqien).
- [8] Carlton Stoiber, et al, (2003); *Handbook on Nuclear Law*; IAEA, Vienna.
- [9] IAEA (diakses 2014); *IAEA Safety Standard*, www-ns.iaea.org
- [10] Charles Viner (1742); *A General Abridgment of Law and Equity*.
- [11] JG Starke (1992); *Pengantar Hukum Internasional, ed kesepuluh* (terj: Bambang Iriana Djajaatmadja).
- [12] Sadli, Saparinah (1976); *Persepsi Sosial Mengenai Perilaku Menyimpang*; p.56.
- [13] Bammelen, Van (1979); *Ons Strafrecht 1, het materiele strafrecht deel, Zesde herziene druk*; p.21–22.
- [14] Roos, Alf (1975); *On Guilt, Responsibility and Punishment*.
- [15] Sefriani (2009); *Hukum Internasional: Satu Pengantar*.
- [16] Mauna, Boer (2000); *Hukum Internasional: Pengertian, Peranan dan Fungsi dalam Era Dinamika Global*.

TANYA JAWAB DAN DISKUSI

1. Penanya : Dewi Prima Meiliasari (BAPETEN)

Pertanyaan:

- a) 1. Bagaimana caranya dalam keadaan/kondisi Pemilu pada saat ini, keamanan nuklir dapat terlihat sebagai alat perekayasa sosial?
- b) Komentar: Sebagai CPNS Doni hebat bisa menjadi Penyaji, apalagi penyaji oral.

Jawaban:

Keamanan nuklir dalam keadaan/kondisi menghadapi pemilu saat ini adalah dengan bagaimana pemerintah dapat memberikan rasa aman kepada masyarakat, mengingat rentannya ancaman terorisme pada saat-saat krusial seperti saat ini. Hukum sebagai alat perekayasa sosial tidak dapat terlihat namun dapat dirasakan (*invisible hands or law*), bagaimana masyarakat dapat merasakan jaminan keamanan itulah parameter berhasilnya fungsi hukum sebagai alat perekayasa sosial.



Seminar Keselamatan Nuklir 2014 Makalah Penyaji Oral Bidang Instalasi dan Bahan Nuklir

Prosiding
Seminar
Keselamatan
Nuklir
2014

PENGEMBANGAN PENGATURAN PERSYARATAN LABORATORIUM UJI BUNGKUSAN ZAT RADIOAKTIF BERDASARKAN DOKUMEN IAEA- SSR-6 TAHUN 2012

Nanang Triagung Edi Hermawan¹, Hermawan Puji Yuwono², Nurhadiansyah³

^{1,2}Direktorat Pengaturan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif

³Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif

BAPETEN–Jln. Gajah Mada No. 8 Jakarta Pusat

n.triagung@bapeten.go.id, h.puji@bapeten.go.id, n.nurhadiansyah@bapeten.go.id

ABSTRAK

PENGEMBANGAN PENGATURAN PERSYARATAN LABORATORIUM UJI BUNGKUSAN ZAT RADIOAKTIF BERDASARKAN DOKUMEN IAEA-SSR-6 TAHUN 2012. Bungkusan zat radioaktif sangat menentukan tercapainya keselamatan radiasi dalam kegiatan pengangkutan zat radioaktif. Untuk memastikan kehandalan bungkusan zat radioaktif, bungkusan harus diuji di laboratorium uji bungkusan yang terakreditasi atau mendapat penunjukan dari Badan Pengawas Tenaga Nuklir. Pengaturan persyaratan laboratorium uji bungkusan zat radioaktif yang ada pada saat ini memiliki beberapa kelemahan, diantaranya ruang lingkup terbatas untuk bungkusan Tipe A dan Tipe B, kriteria lolos uji belum diatur, serta terdapat beberapa parameter atau kondisi pengujian yang sudah tidak sesuai lagi dengan standar internasional. Telah dilakukan telaah terhadap dokumen *International Atomic Energy Agency-Specific Safety Requirements No. 6 Regulation for the Safe Transport of Radioactive Material* dalam rangka proses revisi dan pengembangan peraturan yang telah ada. Revisi dan pengembangan terhadap peraturan yang ada perlu dilakukan mencakup persyaratan laboratorium uji bungkusan industri, Tipe A, Tipe B, Tipe C, bungkusan berisi bahan fisil dan bungkusan berisi UF₆, pengaturan kriteria lolos uji untuk setiap jenis pengujian dan bungkusan tertentu, adopsi parameter atau kondisi pengujian sesuai dengan standar internasional yang terbaru, termasuk kesesuaian pemenuhan standar persyaratan laboratorium uji bungkusan. Di samping itu perlu pengaturan yang jelas mengenai penatalaksanaan pengajuan penunjukan laboratorium uji bungkusan zat radioaktif. Dengan demikian akan terbentuk suatu peraturan yang lebih komprehensif, mampu laksana, dan menjamin kehandalan bungkusan zat radioaktif sehingga kegiatan pengangkutan zat radioaktif dapat berlangsung secara selamat dan aman.

Kata kunci: bungkusan zat radioaktif, uji bungkusan, laboratorium uji bungkusan, dan pengaturan.

ABSTRACT

THE DEVELOPMENT OF REGULATION ON REQUIREMENTS FOR TESTING LABORATORY OF RADIOACTIVE MATERIAL PACKAGE BASED ON IAEA-SSR-6 (2012). Package of radioactive material is crucial to achieve radiation safety in transport of radioactive material. To ensure the reliability of radioactive package, it must be tested at an accredited testing laboratory or that get designation from Indonesian Nuclear Energy Regulatory Agency. The requirements on the existing regulation has some weakness, such as limited scope only for Type A and Type B package, pass criteria for passing the test has not been set, and there are some test parameters or conditions that are no longer in line with international Standards. The review has been conducted to International Atomic Energy Agency-Specific Safety Requirements No. 6, Regulation for the Safe Transport of Radioactive Material (IAEA-SSR-6) in the framework of the revision and development of existing regulation. The revision and development of existing regulation is necessary to include the requirements for industrial, Type A, Type B, Type C package, and a package containing fissile material or Uranium Hexafluoride, the pass criteria requirements for each type of test or package, the adoption of testing parameter or condition in accordance with IAEA-SSR-6, including compliance with Standards on testing laboratory. Besides the obvious requirements, it's needed the procedure arrangement of submission as testing laboratory for radioactive package. By this development process, it will be formed the more comprehensive, applicable, and guarantee the reliability of radioactive package, so the transport of radioactive material can take place safely and securely.

Keywords: radioactive package, test of package, laboratory for test of package, and regulation.

1. PENDAHULUAN

Kegiatan pengangkutan zat radioaktif merupakan pemindahan zat radioaktif dari satu tempat menuju ke tempat lain dengan menggunakan moda transportasi darat, air, atau udara [1]. Komponen terpenting yang sangat menentukan keselamatan radiasi dalam kegiatan pengangkutan zat radioaktif adalah bungkusan zat radioaktif. Bungkusan zat radioaktif merupakan satu kesatuan antara zat radioaktif sebagai isi bungkusan dengan pembungkusnya. Pembungkus berguna untuk mengungkung zat radioaktif. Secara umum bungkusan harus memenuhi beberapa kriteria kegunaan, seperti sebagai bahan penyerap (*absorbent material*), kerang-

ka (*spacing structure*), peralatan perawatan dan perbaikan (*service equipment*), peredam guncangan (*shock absorbent*), penangganan dan pengikat (*handling and tie-down capability*), pengisolasi panas (*thermal insulation*), pengungkung (*containment*), serta penyungkup (*confinement*) [2].

Untuk memastikan bungkusan memenuhi kriteria kegunaan sebagaimana tersebut di atas, bungkusan harus lolos dari proses pengujian bungkusan. Uji bungkusan zat radioaktif meliputi uji semprot air, jatuh bebas, tumpuk, tembus, mekanik, termal, rendam, rendam bertekanan, tumbuk, serta termal lanjut [2]. Jenis uji yang diberlakukan terhadap suatu bungkusan sangat bergantung dengan desain tipe bungkusan.

Pengujian bungkusan harus dilakukan pada fasilitas laboratorium uji bungkusan yang terakreditasi. Dalam hal mekanisme akreditasi belum dapat dilaksanakan, Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) dapat melakukan penunjukan laboratorium uji bungkusan zat radioaktif. Penunjukan laboratorium uji bungkusan dilakukan oleh BAPETEN mengacu kepada Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 03P Tahun 2003 tentang Persyaratan Laboratorium Uji Bungkusan Tipe A dan Tipe B [3].

Seiring dengan dilakukannya amandemen terhadap Peraturan Pemerintah Nomor 26 Tahun 2002 tentang Keselamatan Pengangkutan Zat Radioaktif, serta perubahan standar internasional yang telah diterbitkan oleh *International Atomic Energy Agency* (IAEA), maka dipandang perlu untuk menelaah, mengkaji, dan mengembangkan perangkat pengaturan persyaratan laboratorium uji bungkusan zat radioaktif yang telah ada berdasarkan perkembangan-perkembangan tersebut.

Kajian pengembangan pengaturan persyaratan laboratorium uji bungkusan zat radioaktif berdasarkan dokumen IAEA-SSR-6 Tahun 2012 ini dilaksanakan dengan tujuan:

- menelaah muatan pengaturan Perka BAPETEN 03P/2003;
- mengidentifikasi kelemahan dan kekurangan Perka BAPETEN 03P/2003;
- mengidentifikasi pengembangan muatan pengaturan berdasarkan dokumen IAEA-SSR-6 Tahun 2012;
- merumuskan konsep pengaturan untuk rancangan peraturan yang baru.

Pembahasan dalam makalah ini dibatasi terhadap persyaratan teknis yang berhubungan dengan jenis, cara, dan kriteria lolos uji untuk bungkusan industri, Tipe A, Tipe B, Tipe C, maupun bungkusan yang berisi bahan fisil atau UF₆.

2. METODOLOGI

Kajian pengembangan pengaturan persyaratan laboratorium uji bungkusan zat radioaktif berdasarkan dokumen IAEA-SSR-6 Tahun 2012 ini dilakukan dengan metode diskriptif melalui studi

pustaka dengan tahapan langkah meliputi pengumpulan literatur dan informasi pendukung, analisis, diskusi dan pembahasan, serta penyusunan laporan. Pokok bahasan dalam kajian ini meliputi muatan pengaturan, serta kelemahan dan kekurangan Perka BAPETEN 03P/2003, standar internasional pengangkutan zat radioaktif, pengembangan pengujian bungkusan zat radioaktif, dan konsep pengembangan peraturan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Muatan Pengaturan Perka BAPETEN No. 03P Tahun 2003

Perka 03P/2003 mengatur tentang Persyaratan Laboratorium Uji Bungkusan Zat Radioaktif Tipe A dan Tipe B. Untuk persyaratan teknis, muatan pengaturan yang terkandung hanya terbatas pada jenis pengujian bungkusan, sarana dan fasilitas uji bungkusan serta kriterianya. Pengujian bungkusan Tipe A, meliputi uji semprot air, jatuh bebas, tumpuk, dan tembus. Adapun pengujian bungkusan Tipe B, meliputi uji semprot air, uji tumpuk, tembus, mekanik, panas dan rendam. Keterangan mengenai persyaratan teknis pengujian bungkusan yang telah diatur dapat dilihat pada **Tabel 1** [3].

3.2. Kelemahan dan Kekurangan Perka BAPETEN No. 03P Tahun 2003

Dengan mencermati persyaratan pengujian bungkusan pada **Tabel 1**, terlihat beberapa kelemahan ataupun kekurangan pengaturan, diantaranya ruang lingkup obyek uji terbatas bungkusan Tipe A dan Tipe B, kondisi pengujian tidak diatur secara lengkap, dan tidak ada kriteria keberterimaan atau lolos uji bungkusan.

Perkembangan kegiatan pengangkutan di lapangan maupun rekomendasi dunia internasional, juga kebutuhan hukum di kalangan praktisi telah mendorong dipergunakannya berbagai jenis atau tipe bungkusan dalam kegiatan pengangkutan zat radioaktif, mulai bungkusan industri, Tipe A, Tipe B, Tipe C, bungkusan berisi bahan fisil atau UF₆.

Tabel 1: Persyaratan pengujian bungkusan Tipe A dan Tipe B dalam Perka BAPETEN 03P/2003

Jenis Pengujian	Sarana atau Peralatan	Kriteria Peralatan	Kondisi Pengujian
Uji Semprot Air	Sumber air Selang semprot Tiang penyangga Saluran pembuangan air	Cukup tersedia selama pengujian Menyemprotkan air dengan baik - Mencegah penggenangan	Simulasi curah hujan 5 cm/jam
Uji Jatuh Bebas	Sasaran uji jatuh Alat angkat/kontrol	Plat baja lunak+beton datar dan rata, massa 10x, luas tiap sisi 0,5 m lebih, tebal min 4 cm Mampu mengangkat untuk berat dan tinggi ttn	
Uji Tumpuk	Lempeng baja/papan keras Bata timbal	Mampu menahan berat bungkusan dan beban uji	
Uji Tembus	Batangan baja Tiang penyangga	Kuat dan tidak mengalami perubahan Massa 6 kg, ϕ 3,2 cm, ujung bentuk lingkaran r 1,6 cm Mengarahkan agar batang baja jatuh tegak lurus terhadap bungkusan	Batang baja jatuh tegak lurus terhadap bungkusan yang diuji
Uji Mekanik	Sasaran uji jatuh Fasilitas penjatuhan Alat pencatat/perekam Batangan baja Beban plat baja	Plat baja lunak+beton datar dan rata, massa 10x, luas tiap sisi 0,5 m lebih, tebal min 4 cm Alat angkat mampu mengangkat bungkusan untuk berat dan tinggi ttn Tersedia pengukur laju percepatan, tegangan, perubahan bentuk secara otomatis/fotografik Bahan baja lunak, $\phi = 15 \pm 0,5$ cm panjang 20 cm, field stress 150–280 MPa, rasio stress max. 0,6. Plat baja padat ukuran 1x1 m, massa 500 kg	Penjatuhan bungkusan pada kec. 13,4 m/s
Uji Panas	Sumber api Sistem penyangga Tabir angin Tungku api	Bhn bakar hidrokarbon atau minyak bumi (distilasi max. 330°C, titik bakar 46°C, harga kalor s.d.9 MJ/kg) Mampu menyangga bungkusan dgn jarak 0,6–1 m dari kobaran api Memperkecil perpindahan kobaran api Sumber api dan tanki minyak	Hidrokarbon dlm minyak bumi dgn kerapatan 829 kg/m ³ Kuat dan tahan panas Ukuran tempat pembakaran 1–3 m lebih besar dari ukuran bungkusan Kecepatan angin max.2 m/s Pasokan bahan bakar kontinyu dan memadai sehingga panas merata
Uji Rendam	Kolam/bak air	Kedalaman 15 m, mampu memberikan tekanan 150 kPa atau 1,5 kg/cm ²	

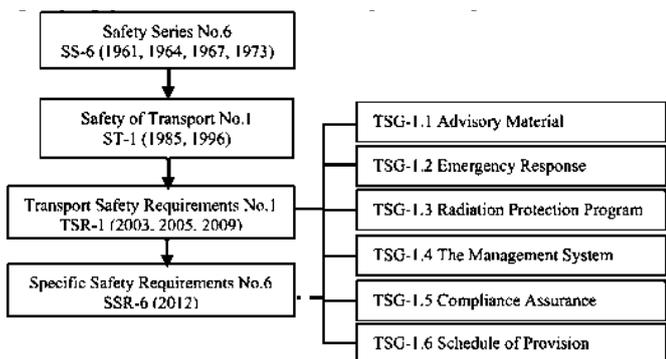
Kondisi pengujian merupakan pemenuhan persyaratan kehandalan sarana dan prasarana yang dipergunakan dalam pelaksanaan pengujian bungkusan sehingga mampu merepresentasikan kondisi lingkungan pengujian yang dipersyaratkan. Meskipun telah diatur persyaratan masing-masing peralatan, sarana dan prasarana, tetapi pada saat masing-masing peralatan, sarana dan prasarana tersebut digabung menjadi suatu sistem pengujian maka harus dipastikan juga bahwa kondisi lingkungan pengujian memenuhi persyaratan.

Setelah sebuah bungkusan menjalani proses atau serangkaian proses pengujian, kondisi beberapa parameter unjuk kerja bungkusan harus dibandingkan dengan suatu parameter lolos uji. Jika parameter lolos uji dapat dipenuhi, dapat diartikan bahwa bungkusan lolos pengujian dan dinyatakan memenuhi persyaratan desain bungkusan sesuai dengan jenis atau tipenya. Parameter lolos uji memiliki peranan yang sangat penting untuk memastikan keselamatan radiasi dalam penggunaan bungkusan untuk kegiatan pengangkutan zat radioaktif dapat tercapai.

Beberapa hal tersebut di atas menuntut perlunya dilakukan pengembangan peraturan persyaratan laboratorium uji bungkusan dengan memperluas ruang lingkup objek bungkusan yang diuji, melengkapi pengaturan kondisi pengujian serta kriteria lolos uji.

3.3. Standar Internasional Pengangkutan Zat Radioaktif

Secara internasional, IAEA telah menerbitkan dokumen serial rekomendasi keselamatan radiasi untuk kegiatan pengangkutan zat radioaktif. Secara historis, pengembangan standar mengenai keselamatan radiasi dalam pengangkutan zat radioaktif diperlihatkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1: Historis perkembangan standar IAEA dalam pengangkutan zat radioaktif

Berdasarkan informasi dari **Gambar 1**, terlihat bahwa dokumen standar keselamatan radiasi untuk kegiatan pengangkutan zat radioaktif yang terkini adalah SSR-6 yang diterbitkan pada 2012. Sebagai seri panduan yang melengkapi SSR-6, beberapa dokumen Transport Safety Guide yang mengacu TSR-1 masih berlaku hingga saat ini. Khusus persyaratan yang berkaitan dengan pengujian bungkusan zat radioaktif, secara detail dan menyeluruh diatur di dalam SSR-6 ataupun TSG-1.1 Bab 6 dan 7. Bungkusan yang harus menjalani proses pengujian, meliputi bungkusan industri (II dan III), Tipe A, Tipe B(U), Tipe B(M), Tipe C, serta bungkusan yang berisi bahan fisil atau UF₆.

3.4. Pengembangan Pengujian Bungkusan Zat Radioaktif

Dengan memperhatikan rekomendasi IAEA-SSR-6, ruang lingkup pengujian bungkusan zat radioaktif harus diperluas, meliputi bungkusan industri (II dan III), Tipe A, Tipe B(U), Tipe B(M), Tipe C, serta bungkusan yang berisi bahan fisil atau UF₆. Adapun jenis pengujian untuk masing-masing tipe bungkusan beserta dengan kriteria lolos uji untuk setiap jenis atau tipe bungkusan zat radioaktif dapat dilihat di dalam **Tabel 2**.

Tabel 3: Jenis pengujian bungkusan dan kriteria lolos uji

No.	Tipe Bungkusan	Jenis Pengujian	Kriteria Lolos Uji
1.	Industri I Industri II	uji jatuh, uji tumpuk uji jatuh, uji tumpuk, uji semprot air, uji tumbuk	Tidak terjadi kebocoran/lepasan zat radioaktif; Peningkatan laju radiasi di permukaan luar bungkusan tidak lebih dari 20%.
2.	Tipe A	uji semprot air, uji jatuh bebas, uji tumpuk, uji tembus	Tidak terjadi kebocoran/lepasan zat radioaktif; Peningkatan laju radiasi di permukaan luar bungkusan tidak lebih dari 20%.
3.	Tipe B(U) Tipe B(M)	uji semprot air, uji jatuh, uji tumpuk, uji tembus, uji mekanik (jatuh I, II, dan III), uji panas, uji rendam	Kebocoran/lepasan zat radioaktif tidak lebih dari 10 ⁻⁶ A ₂ per jam.
4.	Tipe C	uji semprot air, uji jatuh, uji tumpuk, uji tembus, uji mekanik (jatuh I dan III), uji panas lanjut, uji tumbuk	Kebocoran/lepasan zat radioaktif tidak lebih dari 110 ⁻⁶ A ₂ per jam Untuk isi maksimum, paparan radiasi pada jarak 1 m dr permukaan bungkusan tidak lebih 10 mSv/h
5.	Berisi bahan fisil	uji kebocoran air, uji mekanik, uji panas, uji rendam	Perubahan bentuk maksimum 10 cm; Pemasukan zat dari luar maksimum 10 cm ³
6.	Berisi UF ₆	uji tekanan internal	Kondisi tekanan negatif tidak berubah

Di samping perluasan objek bungkusan yang diuji, perlu ditambahkan pula pengaturan mengenai kriteria umum yang harus dipenuhi untuk setiap produk bungkusan yang akan diuji, kondisi pengujian, termasuk beberapa parameter pengujian yang belum diatur secara detail dan lengkap.

Kriteria umum setiap produk bungkusan zat radioaktif sebelum menjalani proses pengujian, meliputi [3]:

1. desain bentuk, massa, dan volume harus mudah ditangani dan diangkut secara selamat;
2. desain komponen tambahan untuk bongkar pasang tidak mudah rusak, jikapun rusak tidak mempengaruhi pemenuhan persyaratan keselamatan yang lain;
3. desain komponen tambahan untuk bongkar pasang harus mempertimbangkan massa bungkusan;
4. desain permukaan bungkusan harus kedap cairan dan mudah didekontaminasi;
5. desain permukaan bungkusan harus dapat mencegah terakumulasinya air dan tahan air;
6. fitur tambahan yang dipasang pada saat pengangkutan yang bukan merupakan bagian dari bungkusan, tidak boleh mengurangi tingkat keselamatan;
7. bungkusan didesain stabil terhadap pengaruh percepatan, vibrasi atau resonansi vibrasi;
8. bahan, komponen dan struktur bungkusan secara fisika dan kimia harus sesuai satu sama lain, termasuk terhadap isi bungkusan;
9. semua keran atau akses zat radioaktif yang dapat dilepas harus diproteksi dari tindakan yang tidak diperkenankan/diizinkan;
10. desain harus mempertimbangkan kondisi temperatur dan tekanan lingkungan utk kondisi rutin pengangkutan;
11. memperhitungkan sifat bahaya yang lain.

Di samping kriteria umum sebagaimana dimaksud di atas, khusus untuk bungkusan yang akan diangkut melalui pesawat udara, juga harus memenuhi persyaratan tambahan, diantaranya:

1. temperatur permukaan bungkusan tidak melebihi 50°C dalam temperatur lingkungan 38°C;

2. kondisi temperatur lingkungan pada rentang -40°C s.d. 55°C , tidak mempengaruhi integritas bungkusan;
3. tekanan internal maksimum untuk pengoperasian normal yang dihasilkan harus memiliki perbedaan minimal 95 kPa dari tekanan lingkungan.
4. Adapun pengembangan parameter atau kondisi pengujian bungkusan zat radioaktif yang dapat diidentifikasi dari SSR-6 dapat dilihat di dalam Tabel 3.

Tabel 4: Pengembangan kondisi/parameter pengujian bungkusan [2]

No.	Jenis Pengujian	Pengembangan Kondisi/ Parameter Pengujian
1.	Uji semprot air	Lama penyemprotan 1 jam
2.	Uji jatuh bebas	Ketinggian jatuh sesuai massa bungkusan Bungkusan rectangular fibreboard dgn massa kurang 50 kg, ketinggian jatuh 0,3 m Bungkusan cylindrical fibreboard dgn massa kurang 100 kg, ketinggian jatuh 0,3 m Sasaran jatuh berupa permukaan datar horisontal
3.	Uji tumpuk	Massa beban max 5x massa bungkusan Tekanan setara 13 kPa x proyeksi luas vertical Lama pembebanan 24 jam
4.	Uji tembus	Ketinggian penjatuhan batang 1m (1,7m untuk bungkusan berisi cairan atau gas)
5.	Uji mekanik	Uji jatuh I: ketinggian jatuh 9 m Uji jatuh II: ketinggian jatuh 1 m, target berupa batang kaku dipasang tegak lurus Uji jatuh III: dijatuhkan beban 500 kg berukuran 1×1 m dari ketinggian jatuh 9 m
6.	Uji panas	Panas lingkungan pengujian 800°C Lama pengujian 30 menit
7.	Uji Rendam	Kedalaman 15 m, setara tekanan 150 kPa Lama pengujian 8 jam Untuk isi bungkusan lebih 10^5A_2 : Kedalaman 200 m, setara tekanan 2 MPa Lama pengujian 1 jam

Berkaitan dengan kriteria lolos uji, untuk masing-masing jenis atau tipe bungkusan memiliki kriteria keberterimaan yang sedikit berbeda. Namun demikian, parameter yang diacu senantiasa berhubungan dengan besaran kebocoran radiasi dan peningkatan laju paparan radiasi maksimum pada permukaan luar bungkusan.

3.5. Konsep Pengembangan Pengaturan

Di samping mengatur secara lebih detail, menyeluruh dan mampu laksana proses pengujian bungkusan zat radioaktif, peraturan yang ada juga harus dikembangkan sebagai payung hukum terhadap semua rangkaian kegiatan yang berkaitan dengan pengujian bungkusan zat radioaktif, termasuk keberadaan laboratorium uji bungkusan. Oleh karena itu selain mengacu terhadap referensi IAEA-SSR-6 *Regulation for the Safe Transport of Radioactive* [2], dalam pengembangan peraturan pengujian bungkusan juga menelaah secara mendalam dokumen ISO/IEC 17025 *General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories* [4] yang memberikan panduan mengenai kriteria suatu laboratorium pengujian yang memenuhi standar internasional.

Bungkusan harus diuji oleh laboratorium uji bungkusan yang telah terakreditasi sesuai dengan mekanisme peraturan perundang-undangan yang berlaku. Dalam hal tidak atau belum terdapat laboratorium uji bungkusan yang terakreditasi, BAPETEN dimungkinkan untuk melakukan penunjukan laboratorium uji bungkusan.

Persyaratan penunjukan laboratorium uji bungkusan paling kurang harus mencakup persyaratan administrasi, persyaratan manajemen, dan persyaratan teknis. Persyaratan administrasi, meliputi antara lain:

1. data identitas pemohon;
2. fotokopi akta pendirian badan hukum atau badan usaha;
3. fotokopi izin atau persyaratan yang ditetapkan oleh instansi lain;
4. data dan informasi mengenai lokasi laboratorium uji bungkusan.

Untuk persyaratan manajemen, pemohon penunjukan sebagai laboratorium uji bungkusan harus melampirkan dokumen yang berisi informasi mengenai [4]:

1. organisasi laboratorium uji bungkusan;
2. penetapan dan pelaksanaan sistem manajemen;
3. prosedur pengendalian dokumen, termasuk rekaman;
4. prosedur pengaturan subkontrak kepada pihak lain;
5. prosedur pengadaan alat dan bahan untuk menunjang proses pengujian bungkusan;
6. prosedur pelayanan pelanggan;
7. prosedur pengendalian ketidaksesuaian pengujian;
8. pengembangan pengujian, termasuk tindakan pencegahan dan perbaikan.

Sedangkan persyaratan teknis yang harus dipenuhi untuk mendapatkan persetujuan sebagai laboratorium uji bungkusan zat radioaktif, meliputi informasi tentang [4]:

1. fasilitas laboratorium uji bungkusan zat radioaktif;
2. kriteria bungkusan yang akan diuji;
3. prosedur atau tata cara pengujian bungkusan;
4. kriteria lolos uji untuk setiap jenis pengujian;
5. ketertelusuran proses dan kriteria pengujian terhadap standar internasional.

Hal yang tidak kalah penting untuk diatur dalam rancangan peraturan yang baru adalah proses penatalaksanaan permohonan penunjukan sebagai laboratorium uji bungkusan zat radioaktif. Pada bagian ini harus diatur dengan jelas prosedural permohonan penunjukan mulai pada saat penyerahan berkas persyaratan penunjukan, pengecekan kelengkapan dokumen, proses evaluasi dokumen, hingga diterbitkannya penunjukan menjadi laboratorium uji bungkusan. Di samping tahapan proses yang jelas, perlu juga ditetapkan berapa lama masing-masing proses harus dijalankan. Dengan demikian pemohon penunjukan dapat mengetahui secara pasti kapan ia dinyatakan telah melengkapi dokumen persyaratan yang diperlukan, kapan proses evaluasi dilaksanakan, hingga kapan penunjukan diterbitkan. Hal ini sangat berkaitan dengan prinsip transparansi, keterbukaan, serta pelayanan prima yang harus dilaksanakan oleh BAPETEN.

4. KESIMPULAN

Pengujian bungkusan zat radioaktif sangat menentukan kehandalan bungkusan untuk menjamin keselamatan radiasi dalam kegiatan pengangkutan zat radioaktif. Pengaturan persyaratan laboratorium uji bungkusan zat radioaktif yang ada pada saat ini memiliki beberapa kelemahan, diantaranya ruang lingkup terbatas untuk bungkusan Tipe A dan Tipe B, kriteria lolos uji belum diatur, serta terdapat beberapa parameter atau kondisi pengujian yang sudah tidak sesuai lagi dengan standar internasional. Pengembangan atau revisi terhadap peraturan yang ada perlu dilakukan mencakup persyaratan laboratorium uji bungkusan industri, Tipe A, Tipe B, Tipe C, bungkusan berisi bahan fisil dan bungkusan berisi UF_6 , pengaturan kriteria lolos uji untuk setiap jenis pengujian dan bungkusan tertentu, adopsi parameter atau kondisi pengujian sesuai dengan IAEA-SSR-6, termasuk kesesuaian pemenuhan standar persyaratan laboratorium uji bungkusan sebagaimana direkomendasikan dalam ISO/IEC 17025. Di samping itu perlu pengaturan yang jelas mengenai penatalaksanaan pengajuan penunjukan laboratorium uji bungkusan zat radioaktif. Dengan demikian akan terbentuk suatu peraturan yang lebih komprehensif, mampu laksana, dan menjamin

kehandalan bungkusan zat radioaktif sehingga kegiatan pengangkutan zat radioaktif dapat berlangsung secara selamat dan aman.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] **Republik Indonesia** (2002); *Peraturan Pemerintah Nomor 26 Tahun 2002 tentang Pengangkutan Zat Radioaktif*; Setneg, Jakarta.
- [2] **IAEA** (2012); *IAEA.SSR-6 Regulation for the Safe Transport of Radioactive Material*; IAEA, Vienna.
- [3] **BAPETEN** (2003); *Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 03P Tahun 2003 tentang Persyaratan Laboratorium Uji Bungkusan*

Tipe A dan Tipe B; BAPETEN, Jakarta.

- [4] **ISO/IEC** (2005); *General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories, ISO/IEC 17025*; Switzerland.

TANYA JAWAB DAN DISKUSI

1. **Penanya** : *Ismail* (BAPETEN)

Pertanyaan:

- a) Produk akhir dari pengembangan peraturan tersebut?

Jawaban:

Produk pengembangan peraturan ini berupa Peraturan Kepala BAPETEN tentang Persyaratan Lab. Uji Bungkusan yang merupakan perubahan dari Perka 03P/2003. Pengembangannya mencakup persyaratan laboratorium uji bungkusan industri, Tipe A, Tipe B, Tipe C, bungkusan berisi bahan fisil dan bungkusan berisi UF6, pengaturan kriteria lolos uji untuk setiap jenis pengujian dan

bungkusan tertentu, adopsi parameter atau kondisi pengujian sesuai dengan IAEA-SSR-6, termasuk kesesuaian pemenuhan standar persyaratan laboratorium uji bungkusan sebagaimana direkomendasikan dalam ISO/IEC 17025. Di samping itu perlu pengaturan yang jelas mengenai penatalaksanaan pengajuan penunjukan laboratorium uji bungkusan zat radioaktif. Dengan demikian akan terbentuk suatu peraturan yang lebih komprehensif, mampu dilaksanakan, dan menjamin kehandalan bungkusan zat radioaktif sehingga kegiatan pengangkutan zat radioaktif dapat berlangsung secara selamat dan aman.



EVALUASI ASPEK PENUAAN DALAM RANGKA PERPANJANGAN IZIN REAKTOR NUKLIR

Widia Lastana Istanto

DPIBN-BAPETEN, Jl. Gajah Mada No. 8 Jakarta 10120
email: w.lastana@bapeten.go.id

ABSTRAK

EVALUASI ASPEK PENUAAN DALAM RANGKA PERPANJANGAN IZIN OPERASI REAKTOR NUKLIR. Indonesia memiliki 3 (tiga) Reaktor Nuklir yang telah beroperasi lebih dari 20 tahun dan akan berakhir izin operasinya dalam beberapa tahun yang akan datang. Apabila Pemegang Izin ingin memperpanjang izin operasi Reaktor Nuklir untuk periode berikutnya, salah satu aspek yang harus dipertimbangkan adalah penuaan (*ageing*). Makalah ini berisi tinjauan mengenai evaluasi aspek penuaan dalam rangka perpanjangan izin operasi Reaktor Nuklir. Studi literatur dilakukan terhadap persyaratan perpanjangan izin operasi Reaktor Nuklir yang ditentukan dalam Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir, khususnya dokumen yang memuat aspek penuaan, yaitu Laporan Penilaian Keselamatan Berkala, Laporan Kajian Penuaan dan Program Manajemen Penuaan. Dokumen tersebut harus disampaikan kepada BAPETEN untuk dievaluasi guna memastikan bahwa efek dari penuaan dikelola dengan baik dan efektif, sehingga semua fungsi keselamatan yang diperlukan akan dipertahankan sepanjang umur Reaktor Nuklir (selama perpanjangan masa operasi). Untuk mendukung pelaksanaan evaluasi tersebut, BAPETEN harus menyusun instruksi kerja evaluasi yang memuat ruang lingkup dan kriteria keberterimaan, serta menyediakan sumber daya manusia yang memiliki kompetensi dan pengetahuan yang lebih mendalam di bidang penuaan. Penyusunan instruksi kerja tersebut mengacu pada ketentuan yang tercantum dalam peraturan perundang-undangan yang berlaku dan pedoman/standar dari IAEA.

Kata Kunci: evaluasi, penuaan, perpanjangan izin operasi, Reaktor Nuklir

ABSTRACT

EVALUATION OF THE AGEING ASPECT IN THE OPERATING LICENSE RENEWAL FOR NUCLEAR REACTOR. Indonesia has three Nuclear Reactors, specially research reactors which has operated for more than 20 years and the operating license will expired in the next few years. If the Licensee wants to extend the operating license for next period, one aspect that should be considered is ageing. This paper contains an overview of evaluation of ageing aspect in the operating license renewal for Nuclear Reactor. Literature study has been conducted on the requirements of operating license renewal for Nuclear Reactor determined in Government Regulation No. 2 year 2014 on Licensing for Nuclear Installation and Utilization of Nuclear Material, especially the documents related ageing aspect, such as Periodic Safety Review Report, Ageing Assesment Report and Ageing Management Program. The documents must be submitted to BAPETEN to be evaluated to ensure that the effects of ageing is managed well and effectively, so that all the necessary safety functions can be maintained over the life time of Nuclear Reactor (during operating license renewal). To support an implementation of these evaluation, BAPETEN should establish the work instructions for evaluation that containing a scope and acceptance criteria, as well as providing a human resources with competence and in-depth knowledge in the field of ageing aspects. The establishment of the work instruction refers to the provisions contained in the Regulations and IAEA guidance/Standards.

Keywords: evaluation, ageing, operating license renewal, Nuclear Reactor

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki 3 (tiga) Reaktor Nuklir (Reaktor Nondaya) yang dioperasikan oleh Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). Reaktor tersebut adalah Reaktor Kartini di Yogyakarta (100 kW), Reaktor TRIGA 2000 Bandung (2000 kW) dan Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy/RSG-GAS (30 MW). Ketiga Reaktor tersebut telah beroperasi selama lebih dari 20 tahun dan akan berakhir dalam beberapa tahun ke depan, yaitu Reaktor TRIGA 2000 Bandung (2016), Reaktor Kartini (2019), dan RSG-GAS (2020).

Berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir, apabila izin operasi Reaktor Nuklir akan berakhir maka Pemegang Izin (PI) memiliki 2 (dua) opsi, yaitu: (1) memperpanjang izin operasi, atau (2) mengajukan permohonan izin dekomisioning. Permisian perpanjangan izin operasi atau dekomisioning Reaktor Nuklir harus diajukan ke Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN)

dalam jangka waktu paling singkat 3 (tiga) tahun sebelum berakhirnya izin operasi Reaktor Nuklir. Dalam hal PI mengajukan permohonan perpanjangan izin operasi, maka terdapat banyak aspek yang harus dipertimbangkan, baik yang terkait dengan keselamatan, keamanan, lingkungan maupun ekonomi. Untuk memperoleh perpanjangan izin operasi, PI harus menyampaikan sejumlah dokumen persyaratan yang antara lain memuat aspek-aspek teknis yang harus dinilai/dievaluasi oleh BAPETEN untuk menjamin keselamatan pengoperasian Reaktor Nuklir selanjutnya.

Salah satu aspek penting yang menjadi pertimbangan dalam perpanjangan izin operasi Reaktor Nuklir adalah aspek penuaan (*ageing*). Aspek ini harus dipertimbangkan sejak awal dalam pembangunan dan pengoperasian Reaktor Nuklir. Setelah masa operasi yang cukup lama, dapat dipastikan bahwa struktur, sistem dan komponen (SSK) yang penting untuk keselamatan telah mengalami proses penuaan. Adapun pengaruh dari penuaan adalah terjadinya degradasi

SSK yang pada akhirnya akan menyebabkan penurunan kinerja dari SSK tersebut dalam melaksanakan fungsi keselamatannya.

Aspek penuaan harus dievaluasi oleh BAPETEN dalam rangka perpanjangan izin operasi Reaktor Nuklir, untuk memastikan bahwa efek dari penuaan SSK dikelola dengan baik dan efektif sehingga semua fungsi keselamatan yang diperlukan akan dipertahankan sepanjang umur Reaktor Nuklir (selama perpanjangan masa operasi).

2. POKOK BAHASAN

Makalah ini berisi tinjauan mengenai aspek penuaan dalam evaluasi dokumen permohonan perpanjangan izin operasi Reaktor Nuklir. Pembahasan mencakup persyaratan perpanjangan izin operasi Reaktor Nuklir menurut PP 2/2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir, khususnya dokumen yang terkait aspek penuaan, pertimbangan aspek penuaan dalam pembangunan dan Pengoperasian Reaktor Nuklir berdasarkan PP 2/2014 dan PP 54/2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir. Tinjauan juga dilakukan terhadap peraturan perundang-undangan yang berlaku, yang menjadi dasar/acuan dalam menetapkan ruang lingkup dan kriteria keberterimaan untuk melaksanakan evaluasi aspek penuaan, antara lain PP 2/2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir, PP 54/2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir, dan Perka BAPETEN 8/2008 tentang Ketentuan Keselamatan Manajemen Penuaan Reaktor Nondaya, serta pedoman/standar IAEA yaitu SSG-10, "Ageing Management for Research Reactor," SSG-25, "Periodic Safety Review for Nuclear Power Plants," dan NS-G-2.12, "Ageing Management for Nuclear Power Plants".

Untuk melaksanakan evaluasi terhadap aspek penuaan dalam rangka perpanjangan izin operasi Reaktor Nuklir, khususnya Reaktor Nondaya yang ada di Indonesia, BAPETEN perlu menyiapkan infrastruktur yang diperlukan untuk mendukung pelaksanaan evaluasi tersebut. Infrastruktur tersebut antara lain berupa Instruksi Kerja (IK) evaluasi yang memuat ruang lingkup dan kriteria keberterimaan evaluasi yang jelas dan rinci, serta sumber daya manusia (SDM) yang memiliki kompetensi dan pengetahuan yang mendalam mengenai aspek penuaan.

Dengan adanya IK evaluasi dokumen perpanjangan izin operasi Reaktor Nuklir, khususnya dokumen terkait penuaan yang disusun berdasarkan peraturan perundang-undangan yang berlaku maupun pedoman/standar IAEA, maka diharapkan evaluasi terhadap dokumen terkait penuaan dapat dilaksanakan dengan standar yang baku, sehingga dapat menjamin kualitas dan keseragaman hasil evaluasi sesuai dengan persyaratan/ketentuan yang telah ditetapkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penuaan adalah proses perubahan karakteristik SSK sebagai fungsi waktu dan/atau akibat pemanfaatan pada kondisi operasi yang menyebabkan degradasi material [1]. Penuaan merupakan proses alami dan tidak dapat dihindari yang dapat terjadi pada setiap SSK yang ada di instalasi, baik itu instalasi nuklir maupun instalasi non nuklir. Material suatu SSK akan mengalami degradasi seiring dengan berjalannya waktu pemakaian/pengoperasian dan adanya pengaruh dari lingkungan selama pengoperasian, misalnya suhu, tekanan, kelembaban, kimia, atau radiasi. Degradasi tersebut dapat menyebabkan terjadinya korosi, erosi, keretakan atau kelelahan (*fatigue*) pada material, yang pada akhirnya akan menurunkan kinerja SSK atau bahkan dapat menyebabkan kegagalan SSK dalam menjalankan fungsinya.

Pada instalasi nuklir, termasuk Reaktor Nuklir, kegagalan SSK yang penting untuk keselamatan dalam menjalankan fungsinya tentu saja dapat menyebabkan paparan radiasi kepada pekerja, masyarakat maupun lingkungan. Oleh karena itu, aspek penuaan

menjadi hal yang sangat penting untuk diperhatikan dalam pembangunan dan pengoperasian Reaktor Nuklir, dan terutama pada saat akan memperpanjang masa pemakaian/pengoperasian.

3.1. Persyaratan Perpanjangan Izin Operasi Reaktor Nuklir

Berdasarkan ketentuan pasal 48 PP 2/2014, perpanjangan izin Operasi Reaktor Nuklir diajukan kepada Kepala BAPETEN dalam jangka waktu paling singkat 3 (tiga) tahun sebelum berakhirnya izin operasi dengan melampirkan dokumen:

- laporan analisis keselamatan;
- laporan penilaian keselamatan berkala;
- laporan operasi; dan
- laporan kajian penuaan.

Adapun jangka waktu bagi BAPETEN untuk melakukan penilaian terhadap dokumen permohonan perpanjangan izin operasi tersebut adalah paling lama 2 (dua) tahun sejak dokumen diterima.

Dari keempat dokumen perpanjangan izin operasi Reaktor Nuklir tersebut, paling tidak terdapat dua dokumen yang berisi laporan terkait aspek penuaan, yaitu laporan penilaian keselamatan berkala dan laporan kajian penuaan. Menurut penjelasan Pasal 48 PP 2/2014, laporan penilaian keselamatan berkala antara lain memuat:

- desain Reaktor Nuklir;
- kondisi terkini struktur, sistem, dan komponen;
- kualifikasi peralatan;
- penuaan;
- kinerja keselamatan dan umpan balik pengalaman operasi;
- manajemen keselamatan dan program kesiapsiagaan nuklir; dan
- dampak radiologi pada lingkungan hidup.

Sedangkan laporan kajian penuaan antara lain memuat:

- penentuan kinerja terkini dan kondisi struktur, sistem, dan komponen kritis, termasuk evaluasi setiap umur terkait kegagalan atau indikasi degradasi material yang signifikan; dan
- perkiraan dan justifikasi kinerja, proses penuaan masa datang, dan umur operasi yang tersisa dari komponen.

Selain kedua dokumen tersebut di atas, terdapat dokumen lain yang terkait dengan aspek penuaan yang harus disampaikan oleh PI untuk dievaluasi oleh BAPETEN, yaitu dokumen Program Manajemen Penuaan. Berdasarkan Pasal 26 PP 54/2012, PI seharusnya telah menetapkan dan melaksanakan Program Manajemen Penuaan pada saat Reaktor Nuklir mulai beroperasi, serta melakukan evaluasi secara berkala terhadap pelaksanaan Program Manajemen Penuaan tersebut. Hasil evaluasi tersebut nantinya akan diperlukan dalam rangka melakukan penilaian keselamatan berkala dan kajian penuaan pada saat akan mengajukan perpanjangan izin operasi.

3.2. Pertimbangan Aspek Penuaan dalam Pembangunan dan Pengoperasian Reaktor Nuklir

Dengan diterbitkannya PP 2/2014, maka aspek penuaan menjadi salah satu pertimbangan yang penting tidak hanya dalam rangka perpanjangan izin operasi, namun juga dalam tahap pembangunan dan pengoperasian Reaktor Nuklir. Berdasarkan Pasal 9 ayat (1) PP 2/2014, salah satu persyaratan teknis untuk memperoleh izin konstruksi Reaktor Nuklir adalah Program Manajemen Penuaan. Sedangkan menurut Pasal 4 ayat (1) Perka 8/2008, PI harus melaksanakan manajemen penuaan SSK yang penting bagi keselamatan mulai dari tahap desain sampai dengan tahap operasi. Adapun menurut Pasal 18 ayat (1) PP 54/2012, PI wajib menetapkan rencana deteksi penuaan SSK sebelum kegiatan komisioning dimulai. Demikian pula disebutkan dalam Pasal 10 dan 11 PP 54/2012 tersebut, bahwa PI wajib menjamin terpenuhinya persyaratan desain sejak konstruksi sampai dengan dekomisioning, di mana salah satu persyaratan umum desain adalah desain untuk meminimalkan pe-

nuaan. Hal ini menunjukkan bahwa aspek penuaan harus dipertimbangkan sedini mungkin dalam pembangunan dan pengoperasian Reaktor Nuklir.

Pada tahap operasi, PI wajib menetapkan Program Manajemen Penuaan dan melaksanakan Program Manajemen Penuaan tersebut pada SSK kritis. PI juga berkewajiban melakukan evaluasi secara berkala terhadap pelaksanaan Program Manajemen Penuaan tersebut. [2]

3.3. Ruang Lingkup dan Kriteria Keberterimaan Evaluasi

Dalam melaksanakan penilaian/evaluasi terhadap dokumen permohonan perpanjangan izin operasi Reaktor Nuklir, khususnya evaluasi terhadap dokumen yang terkait aspek penuaan, Direktorat Perizinan Instalasi dan Bahan Nuklir (DPIBN) yang bertanggung jawab melaksanakan evaluasi perlu menyusun Instruksi Kerja (IK) evaluasi yang memuat ruang lingkup dan kriteria keberterimaan yang akan digunakan oleh evaluator dalam melakukan evaluasi terhadap dokumen perpanjangan izin operasi Reaktor Nuklir. Penyusunan IK tersebut bertujuan untuk menetapkan standar evaluasi guna memastikan kualitas dan keseragaman pelaksanaan evaluasi terhadap dokumen perpanjangan izin operasi Reaktor Nuklir. Oleh karena itu, penetapan ruang lingkup dan kriteria keberterimaan didasarkan pada ketentuan yang terdapat dalam PP dan/atau Perka BAPETEN. Dalam beberapa hal yang tidak/belum diatur dalam PP dan/atau Perka BAPETEN, maka ruang lingkup dan kriteria keberterimaan evaluasi dapat mengacu pada pedoman/standar IAEA terkini.

3.3.1. Laporan Penilaian Keselamatan Berkala

Sebagaimana disebutkan dalam Pasal 39 PP 54/2012 dan penjelasan Pasal 98 PP 2/2014, salah satu bagian dari Laporan Penilaian Keselamatan Berkala adalah penilaian terhadap aspek penuaan. Saat ini belum ada Perka BAPETEN yang secara khusus mengatur tentang pedoman penyusunan Laporan Penilaian Keselamatan Berkala sebagaimana diamanatkan oleh PP 54/2012.

Untuk mengevaluasi aspek penuaan di dalam Laporan Penilaian Keselamatan Berkala Reaktor Nuklir, ruang lingkup dan kriteria keberterimaan evaluasi dapat mengacu pada pedoman/standar IAEA, misalnya dokumen SSG-25, "*Periodic Safety Review for Nuclear Power Plants*." Namun demikian, mengingat dokumen SSG-25 merupakan pedoman untuk PLTN, maka pendekatan pemeringkatan sangat penting untuk diterapkan dalam menentukan ruang lingkup dan kriteria keberterimaan yang disesuaikan dengan jenis dan karakteristik Reaktor Nondaya.

Menurut dokumen SSG-25 tersebut, tujuan dari penilaian terhadap aspek penuaan adalah untuk menentukan apakah aspek penuaan yang mempengaruhi SSK yang penting untuk keselamatan dikelola secara efektif, dan apakah program manajemen penuaan yang efektif telah tersedia sehingga semua fungsi keselamatan yang diperlukan akan dipertahankan sepanjang umur instalasi, dan untuk perpanjangan izin operasi. Penilaian terhadap aspek penuaan meliputi aspek Program Manajemen Penuaan dan aspek teknis. Penilaian terhadap aspek Program Manajemen Penuaan mencakup:

- Deteksi dan mitigasi mekanisme penuaan dan/atau pengaruh penuaan berdasarkan waktu;
- Kelengkapan program manajemen penuaan, misalnya apakah semua SSK yang penting untuk keselamatan telah dicakup dalam program;
- Keefektifan kebijakan dan/atau prosedur pengoperasian dan perawatan untuk mengelola penuaan terhadap komponen yang dapat diganti;
- Evaluasi dan dokumentasi dari degradasi material yang potensial yang dapat mempengaruhi fungsi keselamatan SSK yang penting untuk keselamatan;
- Pengelolaan pengaruh penuaan terhadap bagian-bagian instalasi yang diperlukan untuk keselamatan setelah operasi instalasi dihentikan, misalnya fasilitas penyimpanan bahan bakar

- bekas atau limbah;
- indikator kinerja; dan
- Pemeliharaan rekaman.

Sedangkan lingkup penilaian terhadap aspek teknis adalah:

- Metodologi manajemen penuaan;
- Pemahaman organisasi pengoperasian terhadap fenomena dan mekanisme penuaan yang dominan, termasuk pengetahuan mengenai margin keselamatan aktual;
- Ketersediaan data untuk menilai/mengkaji degradasi penuaan, termasuk data dasar dan riwayat pengoperasian dan perawatan;
- Kriteria keberterimaan dan margin keselamatan yang dipersyaratkan untuk SSK kritis yang penting untuk keselamatan;
- Petunjuk pengoperasian yang bertujuan untuk mengendalikan dan/atau memperlambat laju degradasi penuaan;
- Metode untuk pemantauan penuaan dan untuk mitigasi efek penuaan;
- Pemantauan terhadap kondisi fisik SSK kritis yang penting bagi keselamatan dan fitur-fitur yang dapat membatasi umur layanan;
- Pemahaman dan pengendalian penuaan dari semua bahan dan SSK yang dapat mempengaruhi fungsi keselamatan; dan
- Keunggulan teknologi yang digunakan pada instalasi.

3.3.2. Laporan Kajian Penuaan

Ruang lingkup dalam melakukan evaluasi terhadap dokumen Laporan Kajian Penuaan dapat mengacu pada Lampiran II Perka 8/2008 yang memuat format dan isi Laporan Kajian Penuaan untuk reaktor nondaya. Berdasarkan Lampiran Perka tersebut, ruang lingkup evaluasi terdiri dari:

- Bab I Pendahuluan
- Bab II Penapisan SSK
- Bab III Program Surveilans
- Bab IV Pengumpulan Data
- Bab V Hasil Dan Evaluasi Kajian
- Bab VI Kesimpulan

Sedangkan kriteria keberterimaan evaluasi didasarkan pada ketentuan yang terdapat dalam Perka 8 Tahun 2008. Di samping itu juga dapat mengacu pada dokumen pedoman/standar IAEA, yaitu NS-G-2.12, *Ageing Management for Nuclear Power Plants*.

3.3.3. Program Manajemen Penuaan

Untuk mengendalikan pengaruh dari penuaan terhadap SSK yang penting untuk keselamatan, khususnya pada SSK kritis, maka perlu dilakukan manajemen penuaan. Menurut PP 54/2012, Manajemen Penuaan adalah kegiatan rekayasa, operasi, dan perawatan untuk mengendalikan agar pengaruh penuaan pada SSK kritis masih dalam batas yang dapat diterima. Adapun ketentuan keselamatan dalam melaksanakan manajemen penuaan Reaktor Nuklir diatur dalam Perka 8/2008.

Untuk melaksanakan evaluasi terhadap dokumen Program Manajemen Penuaan, ruang lingkup evaluasi dapat ditentukan berdasarkan Lampiran I Perka 8 Tahun 2008 yang mengatur format dan isi dari Program Manajemen Penuaan Reaktor Nondaya. Ruang lingkup evaluasi tersebut terdiri dari:

- Bab I. Pendahuluan
- Bab II. Organisasi
- Bab III. Manajemen Penuaan
 - A. Penapisan SSK
 - B. Identifikasi Penuaan
 - C. Strategi Manajemen Penuaan
 - D. Pelaksanaan Surveilans Penuaan
 - E. Pengumpulan Data Dan Informasi
 - F. Evaluasi Penuaan
- Bab IV. Dokumentasi Dan Rekaman

Adapun kriteria keberterimaan evaluasi selain didasarkan pada ketentuan yang terdapat dalam Perka 8 Tahun 2008, juga dapat mengacu pada dokumen pedoman/standar IAEA, antara lain SSG-10, *Ageing Management for Research Reactors* dan NS-G-2.12, *Ageing Management for Nuclear Power Plants*. Meskipun demikian, hal penting yang harus diperhatikan dalam menetapkan kriteria keberterimaan evaluasi berdasarkan standar IAEA tersebut adalah dengan melakukan pendekatan pemeringkatan (*grading approach*) yang disesuaikan dengan jenis Reaktor Nuklir.

3.4. Tantangan dalam Pelaksanaan Evaluasi

Dengan diterbitkannya PP 2/2014 dan PP 54/2012, maka aspek penuaan menjadi salah satu pertimbangan yang sangat penting dalam rangka perpanjangan izin operasi Reaktor Nuklir. Penyusunan dokumen persyaratan perpanjangan izin operasi Reaktor Nuklir, khususnya yang terkait dengan aspek penuaan yaitu laporan penilaian keselamatan berkala dan laporan kajian penuaan merupakan pengalaman yang pertama bagi fasilitas, demikian juga bagi BAPETEN dalam melakukan evaluasi terhadap dokumen tersebut. Sedangkan untuk Program Manajemen Penuaan, Reaktor Kartini dan RSG-GAS telah menyampaikan dokumen tersebut dan saat ini sedang dievaluasi oleh BAPETEN. Hal tersebut menjadi tantangan bagi BAPETEN dalam melaksanakan evaluasi terhadap dokumen yang terkait aspek penuaan dalam rangka perpanjangan izin operasi Reaktor Nuklir pada saat ini dan di masa yang akan datang, mengingat hasil evaluasi tersebut akan sangat menentukan dalam pengambilan keputusan apakah permohonan perpanjangan izin operasi Reaktor Nuklir disetujui atau ditolak oleh BAPETEN.

Tantangan lainnya adalah dalam hal SDM, di mana terdapat keterbatasan jumlah maupun kompetensi SDM evaluator di BAPETEN, khususnya yang menguasai aspek penuaan SSK reaktor.

Untuk menjawab tantangan tersebut, maka BAPETEN perlu menyiapkan dan/atau memperkuat infrastruktur yang diperlukan dalam mendukung pelaksanaan evaluasi perpanjangan izin operasi Reaktor Nuklir, khususnya evaluasi terhadap aspek penuaan. Hal ini dapat diwujudkan melalui kegiatan pengembangan sistem perizinan Reaktor Nuklir yang telah, sedang dan akan dilakukan, antara lain dengan menyusun IK evaluasi yang di dalamnya memuat ruang lingkup dan kriteria keberterimaan yang jelas dan rinci berdasarkan PP dan/atau Perka BAPETEN serta referensi lain (misalnya pedoman/standar IAEA). Pada saat menetapkan ruang lingkup dan kriteria keberterimaan evaluasi berdasarkan referensi yang ada, diperlukan pendekatan pemeringkatan yang disesuaikan dengan jenis dan tingkat daya dari masing-masing Reaktor Nuklir. BAPETEN juga perlu membuat pedoman penyusunan dokumen perpanjangan izin operasi Reaktor Nuklir yang sangat berguna bagi pemohon izin dalam menyiapkan dokumen perpanjangan izin operasi dengan baik dan benar.

Di samping itu, hal penting lainnya yang perlu disiapkan oleh BAPETEN adalah SDM evaluator yang memiliki kompetensi dan pengetahuan yang lebih mendalam di bidang penuaan. Hal ini hanya dapat dipenuhi dengan memperbanyak keikutsertaan evaluator dalam pelatihan/workshop di bidang penuaan, atau dengan

mengirimkan evaluator untuk mengikuti *on the job training* (OJT) untuk mendalami aspek penuaan Reaktor Nuklir, baik di dalam maupun di luar negeri.

4. KESIMPULAN

Aspek penuaan merupakan salah satu pertimbangan yang sangat penting dalam evaluasi terhadap dokumen perpanjangan izin operasi Reaktor Nuklir, guna memastikan bahwa efek dari penuaan dikelola dengan baik dan efektif, sehingga semua fungsi keselamatan yang diperlukan akan dipertahankan sepanjang umur Reaktor Nuklir (selama perpanjangan masa operasi).

Untuk melaksanakan evaluasi terhadap dokumen yang terkait aspek penuaan yaitu Laporan Penilaian Keselamatan Berkala, Laporan Kajian Penuaan, dan Program Manajemen Penuaan, BAPETEN perlu menyusun Instruksi Kerja (IK) evaluasi yang disusun berdasarkan ketentuan yang terdapat dalam peraturan perundang-undangan yang berlaku maupun pedoman/standar IAEA, serta memuat ruang lingkup dan kriteria keberterimaan yang jelas dan rinci. Dalam menetapkan ruang lingkup dan kriteria keberterimaan tersebut, perlu dilakukan pula pendekatan pemeringkatan (*grading approach*) yang disesuaikan dengan jenis dan tingkat daya Reaktor Nuklir yang dievaluasi.

Di samping itu, BAPETEN juga perlu menyiapkan SDM evaluator yang memiliki kompetensi dan pengetahuan yang lebih mendalam di bidang penuaan melalui keikutsertaan dalam pelatihan/workshop di bidang penuaan, atau dengan mengirimkan evaluator untuk mengikuti *on the job training* (OJT) untuk mendalami aspek penuaan Reaktor Nuklir, baik di dalam maupun di luar negeri.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BAPETEN (2008); *Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2008 tentang Ketentuan Keselamatan Manajemen Penuaan Reaktor Nondaya*; BAPETEN, Jakarta.
- [2] Republik Indonesia (2012); *Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir*; Setneg, Jakarta.
- [3] Republik Indonesia (2014); *Peraturan Pemerintah Nomor 2 tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir*; Setneg, Jakarta.
- [4] IAEA (-); *IAEA SSG-10, Ageing Management for Research Reactors*; IAEA, Vienna.
- [5] IAEA (-); *IAEA SSG-25, Periodic Safety Review for Nuclear Power Plants*; IAEA, Vienna.
- [6] IAEA (-); *IAEA NS-G-2.12, Ageing Management for Nuclear Power Plants*; IAEA, Vienna.

TANYA JAWAB DAN DISKUSI

1. Penanya : Endang Susilowati (PRSG-BATAN)

Pertanyaan:

- a) Berdasarkan beberapa Perka yang disebutkan, *Acceptance Criteria* (secara *physic*) yang dipersyaratkan mohon dijelaskan?

Jawaban:

Acceptance Criteria yang disusun berdasarkan Perka-Perka BAPETEN memuat persyaratan minimum (minimum requirements) yang harus dipenuhi oleh pemegang izin (PI) dan bersifat kualitatif. Adapun ketentuan/kriteria secara fisik (kuantitatif) tidak

diatur dalam Perka BAPETEN. Sebagai contoh: PI harus melakukan kajian penuaan beserta analisis atau evaluasi terhadap tangki reaktor. Untuk memenuhi acceptance criteria tsb, PI dapat menentukan sendiri metode analisis dan nilai-nilai parameter degradasi tangki reaktor berdasarkan kode-kode standard yang berlaku sebagai dasar dalam menentukan batasan degradasi tangki reaktor. PI juga dapat menjustifikasi bahwa degradasi yang terjadi tidak akan mempengaruhi tangki reaktor dalam melaksanakan fungsi keselamatannya. Hal-hal tersebut akan dievaluasi oleh BAPETEN untuk menentukan apakah nilai parameter dan justifikasi yang disampaikan dapat diterima sesuai dengan kode dan standar serta peraturan perundang-undangan yang berlaku.



ANALISIS SUBKRITIKALITAS FABRIKASI BAHAN BAKAR UMo DAN UZr

Azizul Khakim

Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN)
Jl. Gajah Mada 8 Jakarta, Indonesia
e-mail: a.khakim@bapeten.go.id

ABSTRAK

ANALISIS SUBKRITIKALITAS FABRIKASI BAHAN BAKAR UMo DAN UZr. Tahap *hydriding* pada proses pembuatan bahan bakar UMo dan UZr memiliki potensi terjadinya kecelakaan kekritisan. Analisis terhadap harga faktor perlipatan neutron (*keff*) dilakukan untuk menentukan tingkat margin terhadap kondisi kritis. Perhitungan dilakukan terhadap tabung tunggal yang berisi UMo atau UZr pada kondisi *voided* maupun *flooded*. Analisis kekritisan minimum juga dilakukan untuk menentukan jumlah tabung minimum yang memungkinkan terciptanya kondisi kritis dengan mengkombinasikan konfigurasi, kondisi sekitar dan *pitch* optimum yang memberikan *keff* maksimum. Kondisi kritis minimum tercapai pada 23 jumlah tabung yang tersusun dengan konfigurasi kisi segi empat, jarak antar tabung (*pitch*) 4,6 cm dan terendam dalam air.

Kata Kunci: UMo dan UZr; *voided*; *flooded*; kritis minimum; konfigurasi optimum; *pitch* optimum

ABSTRACT

SUBCRITICALITY ANALYSIS ON UMo AND UZr FUEL FABRICATIONS. *Hydriding phase of UMo and UZr fuel fabrication process potentially leads to criticality accident. Analysis on neutron multiplication factor (keff) was done to determine the level of margin toward a critical condition. Calculations were done for single cylinder containing UMo or UZr at voided and flooded condition. Analysis on minimum criticality was also done to identify the minimum number of cylinders that could lead to a critical condition by combining the optimum configuration, distance between cylinders (pitch) and surrounding bulk condition that provide maximum keff. The minimum critical condition was achieved for 23 cylinders arranged in square lattice array, pitch 4.6 cm and flooded with water.*

Keywords: UMo and UZr; *voided*; *flooded*; minimum criticality; optimum configuration; optimum pitch.

1. PENDAHULUAN

Penelitian terhadap material bahan bakar berdensitas tinggi terus dilakukan para peneliti di seluruh dunia guna mendapatkan umur teras yang lebih panjang. Hal ini akan berdampak positif pada operasi reaktor yang lebih ekonomis, mengingat harga bahan bakar reaktor menyumbang porsi biaya operasional yang tinggi. Umur teras reaktor yang panjang dapat dicapai antara lain dengan menggunakan bahan bakar nuklir dengan pengkayaan dan densitas yang tinggi. Namun pengkayaan ^{235}U pada material bahan bakar nuklir dibatasi tidak melebihi 20%, sesuai dengan kesepakatan pengalihan penggunaan bahan bakar nuklir pengkayaan tinggi ke pengkayaan rendah yang dicanangkan di Amerika Serikat pada tahun 1978. Sehingga alternatif yang tersisa adalah menggunakan material yang memiliki densitas yang tinggi. Beberapa paduan uranium yang telah dan sedang dikembangkan antara lain UAlx, U6Mn, U3Fe, U3S2, U-Mo, U-Zr, UN dan lain-lain [3].

Pengalaman BUMN nasional yang telah memproduksi elemen bakar nuklir tipe plat dengan material $\text{U}_3\text{O}_8\text{Al}$ dan $\text{U}_3\text{Si}_2\text{Al}$ dengan densitas uranium 2,96 gU/cm³ dan telah digunakan di RSG GAS secara rutin, telah mendorong BATAN untuk melakukan penelitian dan pengembangan bahan bakar dispersi menggunakan paduan UMo dan UZr dalam matriks Al dengan densitas yang lebih tinggi. Paduan UMo dan UZr ini memiliki densitas uranium yang cukup tinggi, masing-masing 16,3 g/cm³ dan 17,27 g/cm³. Di samping itu logam Mo dan Zr memiliki tampang lintang serapan neutron yang rendah. Paduan uranium bersifat ulet sehingga untuk mengubah dari *ingot* ke serbuk tidak bisa dilakukan dengan cara mekanik

seperti yang telah digunakan dalam fabrikasi bahan bakar U_3Si_2 saat ini. Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka pembuatan serbuk paduan uranium dilakukan melalui proses *hydriding-dehydriding* dan dilanjutkan proses *milling*.

Kajian keselamatan terhadap terjadinya kekritalitas bertujuan untuk menentukan kuantitas minimum dan konfigurasi tabung yang mungkin, yang mengarah pada terjadinya kekritisan. Analisis ini dilakukan dengan code MCNP5 dengan data nuklir ENDF/B-VI [1]. Code ini telah divalidasi terhadap kekritisan pertama reaktor RSG GAS dan memberikan akurasi yang sangat baik [2].

2. SPESIFIKASI DAN GEOMETRI

Terdapat dua tabung reaksi yang digunakan selama proses *hydriding*, yaitu tabung besar dan tabung kecil. Tabung tersebut terbuat dari material kwarsa dan pyrex.

Tabel 1: Spesifikasi tabung reaksi

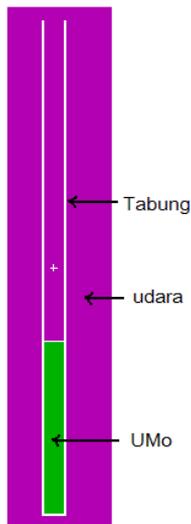
Spesifikasi	Tabung besar	Tabung kecil
Tinggi tabung, cm	59,5	47,2
Jari-jari luar tabung, cm	1,4	1,0
Jari-jari dalam tabung, cm	1,22	0,91
Material	Kwarsa	Pyrex

Pada **Tabel 1** menunjukkan spesifikasi tabung besar dan tabung kecil yang dipakai sebagai wadah UMo dan UZr.

Tabel 2: Spesifikasi material tabung reaksi

Spesifikasi	Kwarsa	Pyrex
Kerapatan, g/cm ³	2,648	2,23
Komposisi		4,0052 w/o B; 53,9562 w/o O; 2,8191 w/o Na; 1,1644 w/o Al; 37,722 w/o Si dan 0,3321 w/o K

Tabel 2 merinci komposisi dan densitas material tabung. Kerapatan UMo yang dipakai dalam perhitungan adalah 16,366 g/cm³. Dalam analisis keselamatan ini, batasan keff tidak boleh melebihi 0,95% dk/k. Untuk analisis kritikalitas tabung tunggal, kondisi batas terluar meliputi 1 m radius dari pusat tabung, 1 m di atas bibir atas tabung dan 1 m di bawah dasar tabung.

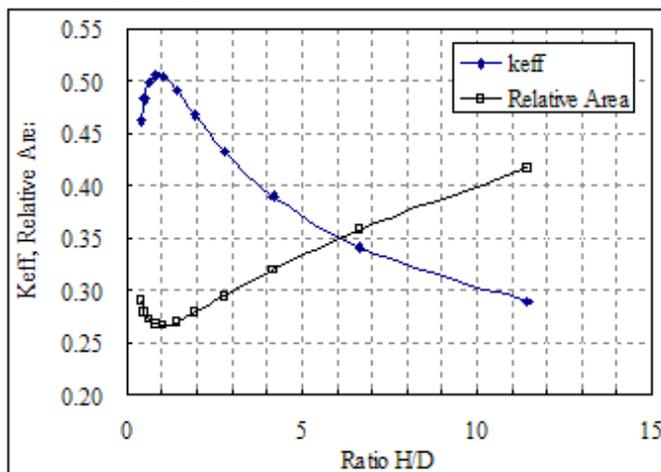
**Gambar 1:** Model geometri MCNP5 untuk tabung terisi sebagian

Gambar 1 menunjukkan model geometri MCNP5 untuk tabung tunggal yang terisi sebagian dan sekelilingnya dkitari oleh udara.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

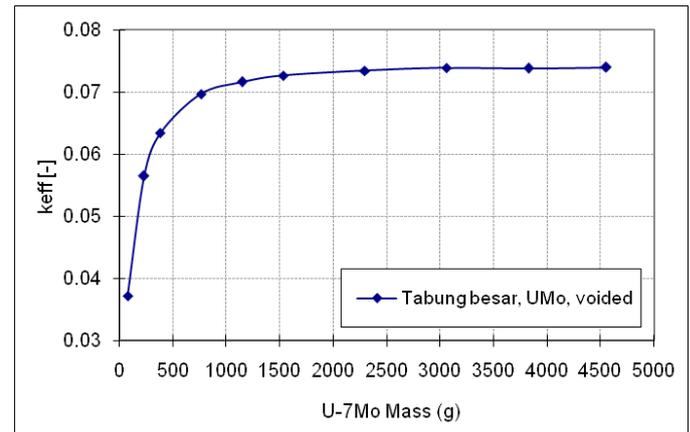
3.1. Efek rasio H/D terhadap keff

Karena penanganan material UMo dan UZr dilakukan dalam wadah berbentuk silinder, maka perlu dilakukan analisis bentuk tabung dan efeknya terhadap harga keff, sehingga diperoleh pemahaman tentang bentuk tabung yang efektif untuk meminimalkan terjadinya kecelakaan kekritisan. Studi parametrik dilakukan terhadap silinder dengan volume, material dan pengkayaan konstan pada berbagai tinggi dan diameter silinder.

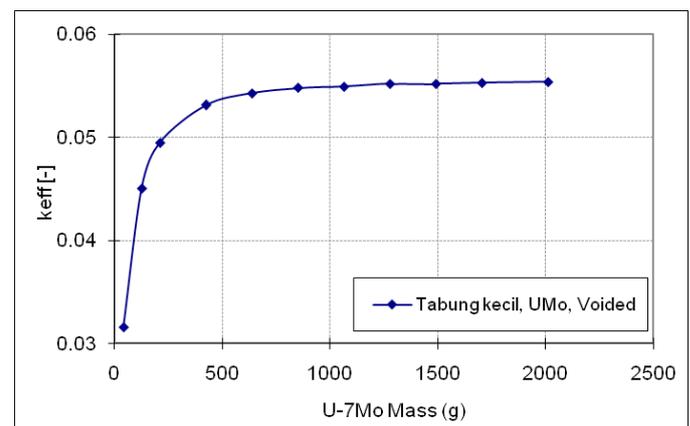
**Gambar 2:** Pengaruh rasio H/D terhadap harga keff

Rasio tinggi terhadap diameter (H/D) silinder sebagai wadah uranium memberikan keff yang berbeda. **Gambar 2** menunjukkan efek rasio terhadap harga keff. Untuk volume yang sama, rasio H/D yang besar (silinder kurus) memberikan harga keff yang kecil. Harga keff mencapai maksimum pada rasio H/D = 1,0; dan turun secara drastis pada rasio H/D < 1,0. Harga keff pada geometri silinder terkait dengan laju kebocoran neutron melalui permukaan. Silinder dengan rasio H/D besar mempunyai luas permukaan yang besar, sehingga laju kebocoran neutron juga lebih besar. Hal ini mengakibatkan harga keff bernilai kecil. Pada rasio H/D = 1,0 luas permukaan silinder minimum, akibatnya kebocoran neutron juga minimum. Dengan demikian, silinder yang tinggi (kurus) atau pipih efektif mengurangi probabilitas terjadinya kekritisan.

3.2. Subkritikalitas silinder tunggal

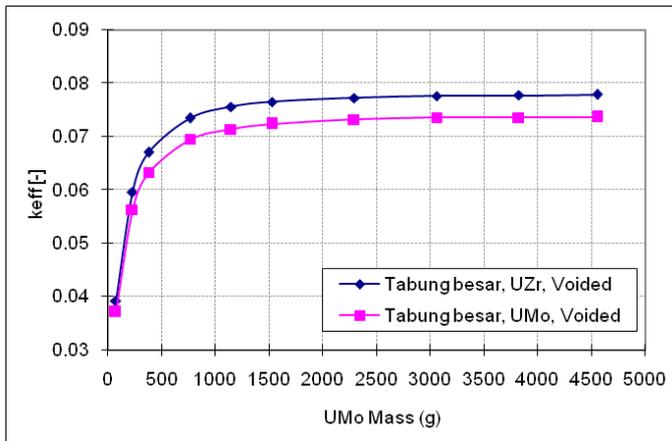
**Gambar 3:** Subkritikalitas tabung besar berisi UMo kondisi voided

Gambar 3 menunjukkan harga keff hasil perhitungan untuk tabung besar yang berisi UMo di mana tabung tersebut dkitari oleh udara (voided). Harga keff tersebut merupakan jumlah dari harga keff rata-rata dan 3σ (deviasi standar). Perhitungan dilakukan untuk tabung yang terisi sebagian hingga terisi penuh. Harga keff naik sangat drastis di permulaan penambahan UMo, namun kemudian bergerak landai pada harga yang hampir konstan. Hal ini berarti penambahan masa UMo, tidak meningkatkan geometri kritis bahkan menambah area kebocoran neutron.

**Gambar 4:** Subkritikalitas tabung kecil berisi UMo kondisi voided

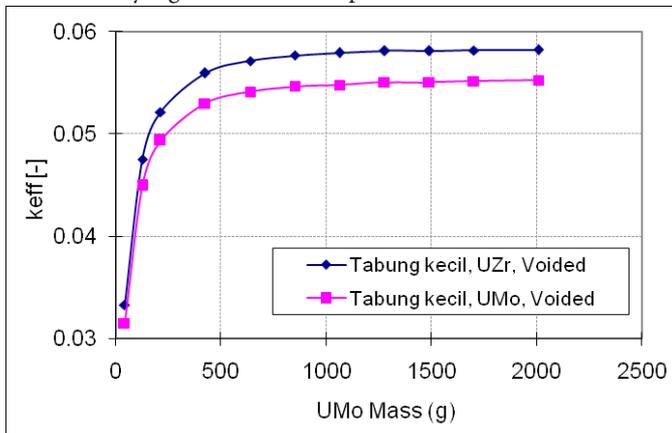
Gambar 4 menunjukkan perbandingan harga keff hasil perhitungan untuk tabung kecil yang sekelilingnya dkitari oleh udara bebas.

Hasil tersebut menunjukkan keduanya masih jauh di bawah nilai batas keff = 0,95; yang berarti baik tabung besar maupun kecil tidak akan mengarah pada kekritisan yang tak dikehendaki sekali pun tabung tersebut terisi penuh.



Gambar 5: Subkritikalitas tabung besar berisi UMo dan UZr kondisi voided

Perbandingan harga keff antara UMo dan UZr pada tabung besar dan tabung kecil masing-masing diperlihatkan pada **Gambar 5** dan **Gambar 6** untuk kondisi sekitar berupa udara. Pada kedua grafik tersebut terlihat bahwa untuk massa yang sama, UZr memberikan keff yang lebih besar dari pada UMo.



Gambar 6: Subkritikalitas tabung kecil berisi UMo dan UZr kondisi voided

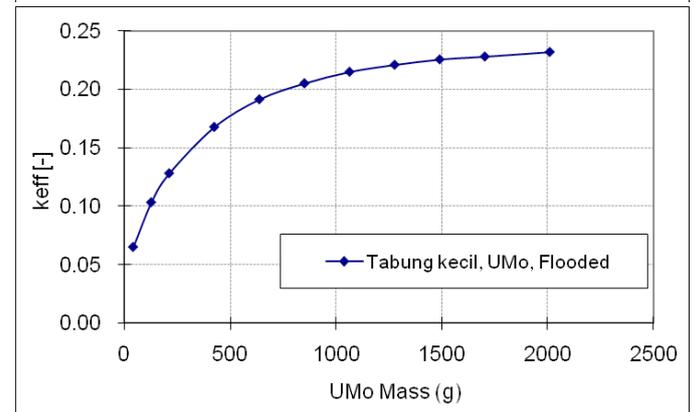
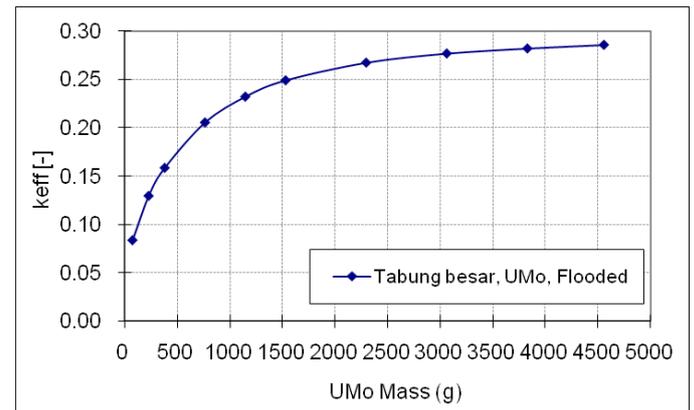
Gambar 7 menunjukkan harga keff tabung kecil dan besar yang berisi UMo di mana di sekelilingnya dikitari oleh air, misalnya akibat faktor kesalahan manusia tabung tersebut dicelupkan ke dalam ember besar berisi air. Dari grafik tersebut terlihat bahwa harga keff meningkat empat kali lebih besar dari pada dikitari oleh udara (**Gambar 4** dan **Gambar 6**).

3.3. Identifikasi kekritisan minimum

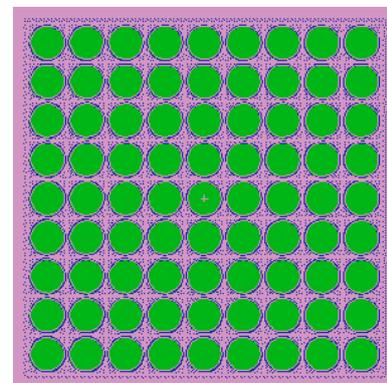
Perhitungan awal untuk mengidentifikasi kekritisan pertama dilakukan terhadap konfigurasi tabung yang tersusun membentuk kisi segi empat (square lattice) yang saling menempel atau $P/D = 1,0$ ($P = pitch$ dan $D = diameter$ tabung), sebagaimana terlihat pada **Gambar 8**. $Pitch$ adalah jarak terdekat antar pusat tabung atau silinder. Dipilihnya konfigurasi tabung yang saling menempel ini didasari pada pemikiran bahwa semakin besar fraksi volume bahan bakar, maka akan semakin besar keff yang diperoleh. Konfigurasi tabung ini terendam di dalam air yang bertindak sebagai moderator neutron. Analisis dilakukan terhadap kisi 5×5 (25 tabung), 7×7 (49 tabung), 8×8 (64 tabung), 9×9 (81 tabung seperti **Gambar 8**) dan 97 tabung.

Gambar 9 menunjukkan harga keff pada berbagai jumlah tabung besar yang saling menempel dengan konfigurasi segi empat. Tabung tersebut terisi penuh oleh material UMo yang akan dipakai

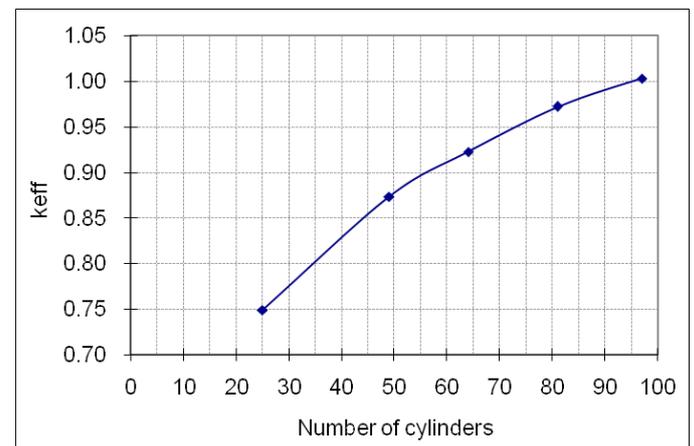
untuk produksi elemen bakar. Dari grafik tersebut terlihat kondisi kritis dapat tercapai pada jumlah tabung 97, di mana keff = 1.



Gambar 7: Subkritikalitas tabung kecil dan besar berisi UMo pada kondisi flooded

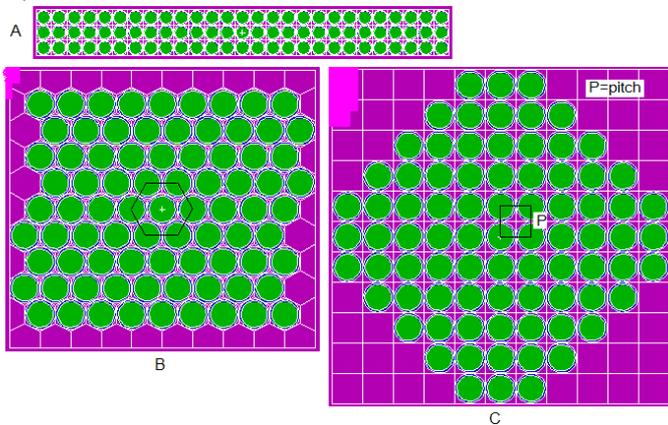


Gambar 8: Konfigurasi tabung kisi segi empat 9×9



Gambar 9: Harga keff vs jumlah tabung dengan jarak $pitch = 0$ cm

Fraksi volume bahan bakar juga ditentukan oleh jenis konfigurasi tabung dalam cluster. Analisis sensitivitas dilakukan terhadap harga keff pada beberapa konfigurasi dengan 81 tabung, seperti kisi segi empat 9×9 (Gambar 8), kisi segi empat 3×27 (Gambar 10.A), kisi heksagonal (Gambar 10.B) dan kisi segi empat circular-like array (Gambar 10.C).

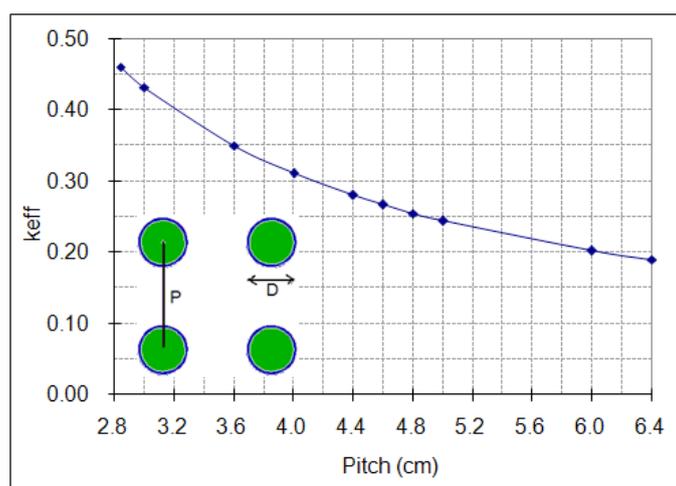


Gambar 10: Variasi konfigurasi untuk 81 tabung

Hasil analisis sensitivitas dirangkum pada Tabel 3. Konfigurasi *circular-like array* memberikan kebocoran neutron yang paling kecil, sehingga menghasilkan keff terbesar. Sebaliknya konfigurasi 27×3 array menghasilkan kebocoran neutron paling besar, sehingga memberikan keff terkecil. *Hexagonal array* menghasilkan fraksi volume moderator terendah, yang berefek pada rendahnya efektivitas moderator. Jadi jika dibanding 9×9 array, *hexagonal array* memberikan keff yg lebih rendah dari pada 9×9 array.

Tabel 3: keff pada berbagai konfigurasi untuk 81 tabung

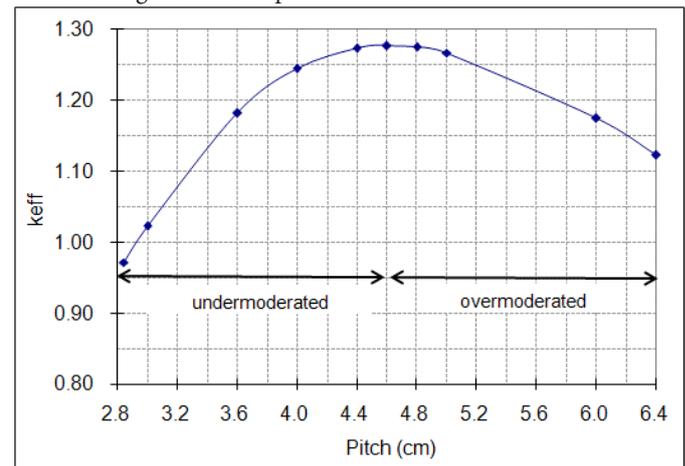
Konfigurasi	keff	Standar deviasi
9×9 array	0,96465	0,00019
27×3 array	0,84227	0,00017
Circular-like array	0,97165	0,00016
Hexagonal array	0,90450	0,00017



Gambar 11: Pengaruh *pitch* terhadap keff pada cluster tabung dikitari udara

Gambar 11 menunjukkan perubahan harga keff terhadap perubahan *pitch*. Perhitungan dilakukan untuk 81 tabung berisi UMo penuh yang dikitari udara dengan konfigurasi *circular-like array*, yang memberikan harga keff terbesar sebagaimana disajikan pada Tabel 3. Dari **Gambar 11** terlihat bahwa harga keff akan turun seiring dengan semakin renggangnya jarak antar tabung (*Pitch*) yang dikitari oleh udara.

Analisis lain dilakukan terhadap kasus serupa di atas namun tabung-tabung tersebut terendam dalam air. **Gambar 12** menunjukkan karakteristik harga keff yang berbeda dari **Gambar 11**. Harga keff naik seiring dengan semakin renggangnya *pitch* (fraksi volume moderator), yang mengindikasikan efek moderasi yang meningkat. Namun pada titik tertentu harga keff malah turun kembali. Hal ini terjadi karena kebocoran neutron dan penyerapan neutron oleh air lebih dominan dari pada efek moderasi. Daerah di mana harga keff meningkat seiring dengan naiknya fraksi volume moderator (*pitch*) disebut daerah *under-moderated*. Sebaliknya, rentang di mana harga keff turun dengan naiknya fraksi volume moderator disebut daerah *over-moderated*. Titik balik dari daerah *under-moderated* ke *over-moderated* terjadi pada *pitch* = 4,6 cm, di mana harga keff mencapai nilai maksimum.



Gambar 12: Pengaruh *pitch* terhadap keff pada cluster tabung terendam air

Tabel 4: keff pada berbagai jumlah tabung dengan *pitch* = 4,6 cm

Jumlah tabung	keff + 3σ
17	0,92156
21	0,98648
22	0,99658
23	1,00595
25	1,02460

Untuk menentukan kondisi kritis minimum, yaitu kondisi kritis yang dapat dicapai dengan jumlah tabung paling sedikit, maka dua parameter yang memberikan harga keff maksimum dikombinasikan dalam satu model perhitungan. Sehingga perhitungan dilakukan untuk konfigurasi *circular-like array* (berdasarkan Tabel 3) dengan jarak antar tabung *pitch* = 4,6 cm (berdasarkan Gambar 12) dimulai dengan 17 tabung berisi UMo penuh yang terendam dalam air. Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 4. Dari tabel tersebut terlihat bahwa kritis minimum terjadi pada jumlah tabung 23, namun untuk memberi margin yang memadai maka diambil batas keff = 0,95, maka jumlah silinder tidak boleh melebihi 18 buah untuk menjaga agar keff < 0,95.

4. KESIMPULAN

Perhitungan kekritisan minimum terhadap material UMo dan UZr dalam tabung reaksi telah dilakukan dengan code MCNP5, baik untuk skenario tabung tunggal maupun kumpulan tabung untuk mengidentifikasi kondisi minimum yang mengakibatkan kekritisan. Dari perhitungan tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Satu tabung besar tidak akan mencapai kondisi kritis, walaupun terisi penuh dan terendam dalam air yang bertindak sebagai moderator.

2. Kondisi kritis minimum tercapai pada konfigurasi 23 tabung besar terisi penuh yang masing-masing berjarak 4.6 cm dan terendam air.
3. Untuk mencegah kekritisian ($k_{eff} \leq 0.95$) jumlah cluster maksimum yang diperbolehkan adalah 18 tabung terisi penuh.

DAFTAR PUSTAKA

[1] **MCNP** (2003); *MCNP5, MCNP- A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5: User's Guide*; April 24,

2003.

- [2] **Azizul Khakim** (2012); *Perhitungan Kritikalitas Gudang Uranium Fasilitas Instalasi Pabrikasi Elemen Bakar Reaktor Riset (IPEBRR), Proceedings Seminar Nasional ke-18 Teknologi dan Keselamatan PLTN serta Fasilitas Nuklir*; UPI-Bandung, 29 September 2012.
- [3] **IAEA** (2011); *Research Reactor Application for Materials under High Neutron Fluence, IAEA-TECDOC-1659: Proceedings of an IAEA Technical Meeting (TM-34779)*; IAEA, Vienna.

TANYA JAWAB DAN DISKUSI

1. **Penanya** : M. Subekti (BATAN)

Pertanyaan:

- a) Bagaimana kondisi bahan bakar pada saat pitch berimpitan dan air masuk karena kejadian tsunami dan gempa bumi?

Jawaban:

Kondisi yang memungkinkan terjadinya kekritisian adalah ketika jumlah bahan bakar lebih dari 23 tabung dengan konfigurasi *circular-like array* dengan pitch = 4,6 cm dan terendam dalam air. Namun demikian walaupun terendam air dan tabung saling berimpit tidak akan terjadi kekritisian jika jumlah tabung kurang dari 97 buah.



Seminar Keselamatan Nuklir 2014

Makalah Penyaji Oral

Bidang Instalasi dan Bahan Nuklir

Prosiding
Seminar
Keselamatan
Nuklir
2014

KONSEP PLTN DENGAN DESAIN *BALL IN BOWL*

Ainul Ibnu Khotob, Belliany Dian Asmara Hadi, Khanif Pramusinto

Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang
e-mail: ainulibnukhotob@st.fisika.undip.ac.id

ABSTRAK

KONSEP PLTN DENGAN DESAIN *BALL IN BOWL*. Semakin meningkatnya konsumsi energi nasional mendesak pemerintah untuk segera beralih ke energi baru terbarukan (EBT) dalam rangka pemenuhan energi nasional, khususnya energi listrik. Salah satu opsi untuk memenuhi kebutuhan energi listrik nasional adalah dengan membangun pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN). Akan tetapi, sebagai salah satu dari beberapa negara yang terletak di kawasan Zona Seismic Asia Tenggara, Indonesia termasuk dalam negara yang paling banyak aktifitas *seismic*-nya dan merupakan yang paling aktif di dunia. Meninjau dari kondisi geografis Indonesia yang rentan akan bencana gempa dan tsunami, dibutuhkan desain khusus untuk bangunan PLTN. Tujuan penulisan dari makalah ini adalah untuk merumuskan ide mengenai konsep PLTN dengan desain *Ball in Bowl*. Desain *Ball in Bowl* merupakan desain berbentuk cekungan menyerupai mangkuk (*bowl*) pada permukaan tanah dengan *reactor* nuklir yang umumnya berbentuk bola (*ball*), berada di bagian tengah. Desain ini adalah konsep bangunan PLTN dengan sistem modifikasi aliran udara yang berfungsi untuk meminimalisir sebaran zat radioaktif apabila terjadi kebocoran reaktor, serta memberikan proteksi terhadap dampak fisik dari bencana gempa dan tsunami. Dengan dibangunnya PLTN dengan desain *Ball in Bowl*, maka akan tersedia PLTN yang tidak hanya mampu memenuhi kebutuhan listrik nasional, tetapi juga memiliki sistem proteksi tinggi pada kasus kebocoran radiasi yang diakibatkan bencana gempa dan tsunami.

Kata kunci: Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir, desain *Ball in Bowl*, gempa bumi, tsunami.

ABSTRACT

CONCEPTUAL OF NUCLEAR POWER PLANT USING *BALL IN BOWL* DESIGN. The increasing national energy consumption urged the government to settle into renewable energy immediately (EBT) in order to fulfill national energy consumption, especially electrical energy. One of the options to fulfill the national electrical energy needed is by building a nuclear power plant (NPP). But, As one of the countries that located in Seismic Zone region of Southeast Asia, Indonesia has the most seismic activity in the world. Reviewing of Indonesia's geographical conditions that are vulnerable to earthquake and tsunami, it is necessary to make special design for nuclear power plant building. This paper aims to formulate the idea of a nuclear reactor with *Ball in Bowl* design. *Ball in Bowl* is a basin-shaped design resembles a bowl on the surface of the soil with a nuclear reactor which is generally spherical located in the central part. This design is arranged such that radiation protection devices can work effectively. *Ball in Bowl* is the concept of nuclear power plant building, with the wind flow modification system, it is useful to minimize the spread of radioactive substances released when a nuclear leak and also serves as the reactor protection system to the impacts caused by the earthquake and tsunami. With the construction of nuclear power plant design with *Ball in Bowl*, it will be available nuclear power plants are not only able to meet national electricity needs, but also has a high protection system in case of a radiation leak caused by the earthquake and tsunami

Keywords: Nuclear Power Plant, *Ball in Ball* design, earthquake, tsunami

1. PENDAHULUAN

Energi merupakan salah satu kekuatan suatu bangsa (*power of nation*), terpenuhinya kebutuhan energi akan menjamin pertumbuhan ekonomi, ketahanan dan kemandirian suatu bangsa. Peningkatan jumlah penduduk, standar hidup dan ekonomi berdampak pada pertumbuhan kebutuhan energi suatu negara [1].

Sesuai dengan Undang Undang No. 17 Tahun 2007 serta Perpres tahun 2010 tentang Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN) 2010–2014, maka salah satu pilihan yang patut dipikirkan untuk pemenuhan kebutuhan energi listrik di Indonesia adalah dengan memanfaatkan energi nuklir [2].

Sebagai salah satu dari beberapa negara yang terletak di kawasan Zona Seismic Asia Tenggara, Indonesia termasuk dalam negara yang paling banyak aktifitas *seismic*-nya dan merupakan teraktif di dunia. Dikelilingi oleh lempeng Indo-Australia dan Pelat Laut Filipina yang meretas di bawah lempeng Eurasia, dengan lima pulau besar dan beberapa semenanjung, Indonesia telah mengalami

ribuan gempa bumi dan ratusan tsunami pada rentang empat ratus tahun terakhir [3].

Meninjau dari kondisi geografis Indonesia yang rentan terhadap bencana gempa dan tsunami, tentu diperlukan adanya desain khusus dalam program pembangunan PLTN. Hal ini dimaksudkan sebagai langkah antisipasi terjadinya kebocoran reaktor nuklir, khususnya yang diakibatkan oleh bencana gempa maupun tsunami.

2. POKOK BAHASAN

PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir) merupakan stasiun pembangkit listrik termal (panas) di mana panas diperoleh dari satu atau dua reaktor nuklir. Reaktor nuklir adalah tempat atau perangkat di mana reaksi nuklir berantai dibuat, diatur dan dijaga kesinambungannya pada laju yang tetap [4].

Di banyak Negara maju, PLTN telah dijadikan sebagai penyuplai utama energi listrik. Hal ini dilakukan karena PLTN menghasilkan lebih banyak energi listrik yang lebih jauh lebih murah dibandingkan dengan energi fosil dan energi alternatif lainnya.

Akan tetapi di samping memiliki manfaat yang besar dalam rangka pemenuhan energi listrik, PLTN juga memiliki resiko kebocoran reaktor yang dapat memberi dampak buruk bagi manusia. Namun, resiko kebocoran *reactor* dapat dicegah dan diminimalisir melalui sistem operasi dan teknologi proteksi yang handal. Sehingga pembangunan PLTN dapat berjalan dengan baik dan dapat memberi manfaat bagi masyarakat luas.

Salah satu kasus kebocoran *reactor* nuklir yang menyita banyak perhatian masyarakat adalah peristiwa meledaknya dua reaktor di PLTN Fukushima Dai-ichi, Jepang akibat bencana gempa dan tsunami di tahun 2011. Kecelakaan ini terjadi karena tidak berfungsinya sistem pendingin reaktor.

Sebagai Negara dengan potensi bencana gempa dan tsunami yang cukup besar, tentunya Indonesia memerlukan desain proteksi PLTN khusus sebagai langkah antisipasi kebocoran dan kecelakaan nuklir akibat bencana gempa dan tsunami.

Dengandemikian, kasus kebocoran reaktor nuklir akibat bencana gempa dan tsunami dapat dicegah sehingga menciptakan rasa aman dan nyaman di masyarakat

Dalam rangka antisipasi kebocoran reaktor nuklir akibat bencana gempa dan tsunami, beberapa solusi yang digunakan:

- Sistem Bangunan reaktor berlapis dan tahan gempa
- Sistem pemadaman reaktor secara otomatis
- Penggunaan *dust inhibitor* sebagai pengikat debu yang mengandung zat radioaktif
- Penggunaan Calcium Phosphate dalam penanganan kasus pencemaran zat radioaktif dalam air
- Penggunaan senyawa Timbal, Bismut, maupun Polonium sebagai bahan pelindung radiasi [5]

3. PEMBAHASAN

Desain *Ball in Bowl* bertujuan untuk meminimalisir peluang kebocoran reaktor serta sebaran zat radioaktif apabila terjadi kebocoran. Dalam desain ini, setiap komponen PLTN ditata sedemikian rupa sehingga perangkat proteksi radiasi dapat bekerja dengan efektif.

Ball in Bowl merupakan desain berbentuk cekungan menyerupai mangkuk (*bowl*) pada permukaan tanah dengan *reactor* nuklir yang umumnya berbentuk bola (*ball*), berada di bagian tengah (**Gambar 1**).

Berbagai keunggulan dari model ini dalam aplikasi desain PLTN adalah sebagai berikut:

3.1. Modifikasi Arah Angin

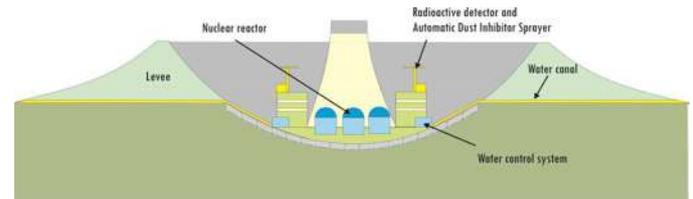
Dalam kasus kebocoran reaktor nuklir, lepasan zat radioaktif biasanya akan menempel pada debu dan menyebar melalui aliran angin. Kami merancang desain ini agar dapat memodifikasi aliran angin sekitar reaktor yang bertujuan untuk meminimalisir potensi penyebaran zat radioaktif melalui angin saat terjadi kebocoran reaktor (**Gambar 2**).

Sifat cekung pada bangunan juga menyebabkan aliran angin akan menuju ke bawah jika terjadi kebocoran nuklir (**Gambar 3**). Ini terjadi karena saat terjadi kebocoran, udara sekitar reaktor akan lebih panas dari udara di atasnya, sehingga udara akan bergerak dari atas ke bawah. Tipe aliran angin ini memiliki prinsip yang sama pada fenomena angin gunung dan angin lembah (**Gambar 3**). Pola aliran udara ke bawah akan mempermudah proses kontrol zat radioaktif khususnya menggunakan pengikat debu (*dust inhibitor*).

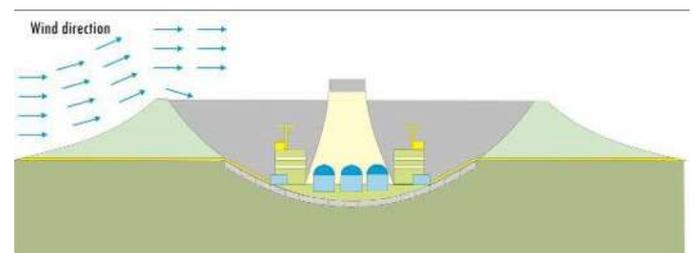
3.2. Proteksi Fisik Terhadap Gempa dan Tsunami

Dalam hal antisipasi kerusakan akibat gempa, selain menggunakan konstruksi bangunan yang tahan gempa, PLTN berdesain *Ball in Bowl* memiliki sistem cekungan beton pada tanah. Desain ini akan efektif mengurangi dampak kerusakan yang ditimbulkan

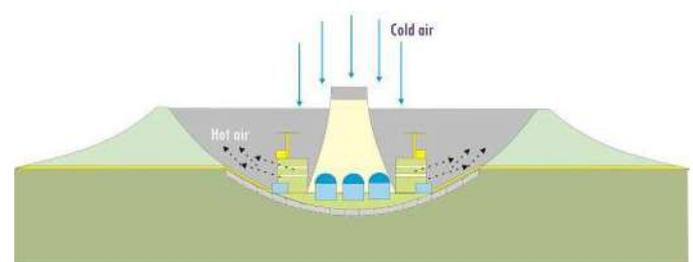
saat terjadi gempa. Cekungan beton berguna menyalurkan getaran gempa secara merata keseluruh bagian sehingga meminimalisir kerusakan fisik pada reaktor (**Gambar 4**).



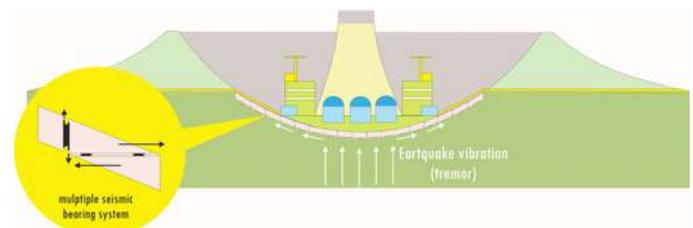
Gambar 1: Desain PLTN Ball in Bowl



Gambar 2: Skema Modifikasi Arah Angin Sekitar Reaktor



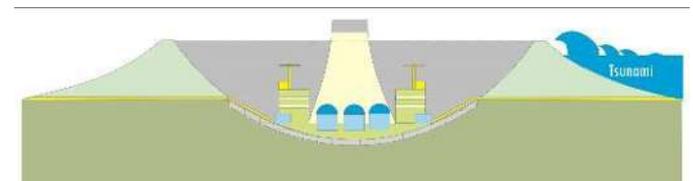
Gambar 3: Perubahan Arah Angin Saat Terjadi Kebocoran Nuklir



Gambar 4: Sistem Antisipasi Bencana Gempa

Untuk menghindari terjadinya retakan pada lapisan beton dasar, maka digunakan *multiple seismic bearing system*. Sistem ini memungkinkan adanya gerakan lantai yang mengikuti arah getaran gempa. Saat ini, teknologi *Seismic bearing system* telah banyak diaplikasikan pada berbagai jenis bangunan.

Sistem tanggul pada desain ini tidak hanya berguna memodifikasi arah angin tetapi juga melindungi PLTN jika terkena bencana tsunami. Tanggul berfungsi menghalangi gelombang tsunami agar tidak merusak reaktor dan fasilitas di PLTN (**Gambar 5**).



Gambar 5: Sistem Antisipasi Bencana Tsunami

4. KESIMPULAN

Gagasan PLTN dengan desain *Ball in Bowl* pada dasarnya merupakan penggabungan antara metode proteksi yang telah ada dengan gagasan antisipasi penyebaran radioaktif menggunakan metode modifikasi aliran udara. Tidak hanya meminimalisir penyebaran radioaktif ketika terjadi kebocoran, desain *Ball in Bowl* juga berperan sebagai system proteksi terhadap dampak fisik dari bencana gempa dan tsunami.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] **Anggoro, Y. D., Lumbanraja, S. M.,** (2012); *Studi Pendekatan Kontrak Pembangunan PLTN di Provinsi Bangka Belitung, Prosiding Seminar Nasional ke-18 Teknologi dan Keselamatan PLTN serta Fasilitas Nuklir*; BATAN, Bandung. ISSN: 0854-2910
- [2] **Vijayan, P.K., Kamble, M.T., Nayak, A., Vaze, K.K., &**

Sinha R.K., (2013); *Safety Features in Nuclear Power Plants to Eliminate The Need Emergency Planning in Public Domain. Indian Academy of Science Journal*, Vol. 38(5); p.925-943

- [3] **Aydan, O.,** (2008); *Seismic and Tsunami Hazard Potential in Indonesia with a special emphasis on Sumatra Island, Journal of The School of Marine Science and Technology, Tokai University, Vol. 6 No. 3; Tokai, p.19-38*
- [4] **Widayati, S., Andriani, Y., Elfida,** (2009); *Kajian Awal Sistem Proteksi Radiasi PLTN., Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah VII Pusat Teknologi Limbah Radioaktif*; BATAN, Jakarta.
- [5] **Tepco** (2014); *Plan & Action-Mid-long term road map towards the decommissioning.* <http://www.tepco.co.jp/en/decommission/planaction/index-e.html>; Diakses pada 15 Maret 2014 pukul 20:15

TANYA JAWAB DAN DISKUSI

1. **Penanya : Dedi Sunaryadi** (BAPETEN)

Pertanyaan:

- a) Untuk konsep ini apakah dipertimbangkan aspek-aspek Tapak PLTN seperti hidrologi yang belum diacu, misal kalau ada banjir dari air hujan?

Jawaban:

Untuk desain ini air yang masuk ke wilayah reaktor baik dari hujan, buangan sistem pendingin dipompa ke luar melalui sistem water control system dan dialirkan melalui kanal air. Konsep water control system ini juga diharapkan dapat meminimalisir pencemaran zat radioaktif oleh keluaran air dari PLTN karena pada setiap sistem kontrol diberi pemantau zat radioaktif. Dengan konsep penanganan dan distribusi air yang terpusat ini, diharapkan kontrol terhadap air dapat lebih efektif.



KONTRIBUSI PENGOPERASIAN REAKTOR SERBA GUNA G.A. SIWABESSY DALAM PENGEMBANGAN REAKTOR DAYA DI INDONESIA

Endang Susilowati

Pusat Reaktor Serba Guna-BATAN
Email: endang@batan.go.id

ABSTRAK

KONTRIBUSI PENGOPERASIAN REAKTOR SERBA GUNA G.A.SIWABESSY DALAM PENGEMBANGAN REAKTOR DAYA DI INDONESIA. Pengembangan reaktor riset dan reaktor daya, keduanya memerlukan perencanaan yang hati-hati dan komitmen jangka panjang berkaitan dengan penyediaan infrastruktur dan sumber daya manusia guna menyiapkan pembangunan, pengoperasian, perawatan, dekomisioning dan penyimpanan limbah ke tempat penyimpanan lestari. Perbedaan yang ada hanyalah pada ukurannya. Kemampuan manajemen reaktor riset langsung atau tidak langsung berkontribusi terhadap pengoperasian reaktor daya. Makalah ini mendiskusikan peranan reaktor serba guna GA Siwabessy (RSG_GAS) dalam kaitannya dengan persiapan pengembangan reaktor daya di Indonesia. Lingkup yang dibahas meliputi beberapa aspek meliputi aspek keselamatan, keamanan dan seifgard yang merupakan elemen pokok dalam penyiapan dan pengembangan instalasi nuklir. Kebutuhan untuk menjamin keselamatan, keamanan dan seifgard untuk pengembangan reaktor daya telah berhasil diterapkan di dalam pengoperasian reaktor RSG-GAS dan dipercaya sangat berguna bagi pengembangan reaktor daya. Diharapkan hasil pembahasan dapat dijadikan sebagai salah satu acuan maupun modal pengetahuan dan pengalaman bagi keberhasilan pengembangan infrastruktur pembangunan reaktor daya di Indonesia yang saat ini sedang dalam pertimbangan pihak pemerintah.

Kata kunci: pengoperasian reaktor RSG-GAS, reaktor daya, keselamatan-keamanan-seifgard.

ABSTRACT

CONTRIBUTION OF THE G.A. SIWABESSY REACTOR OPERATION TO THE POWER REACTOR DEVELOPMENT IN INDONESIA. Development of both research reactor and power reactor require cautious and long term commitment relate to infrastructures and human resources to prepare construction, operation, maintenance including decommissioning and waste disposal to a waste repository. The differences between them are their size. Capability of research reactor management either directly or indirectly contributes to the development of power reactor. This paper discusses a role of the G.A. Siwabessy research reactor associate to the development of power reactor in Indonesia. Assurances of safety, security and safeguards have been exercising in the RSG-GAS reactor operation and act as modality to convince fruitfulness of power reactor development. Scope of this paper covering safety, security and safeguards aspects having been successfully applied to the RSG-GAS Reactor and deemed it will have contribution to the power reactor development. Result of discussion will benefit as a reference of infrastructures development of power reactor in Indonesia currently been considered by the government

Key words: the GA Siwabessy reactor operation, power reactor, safety-security-safeguards

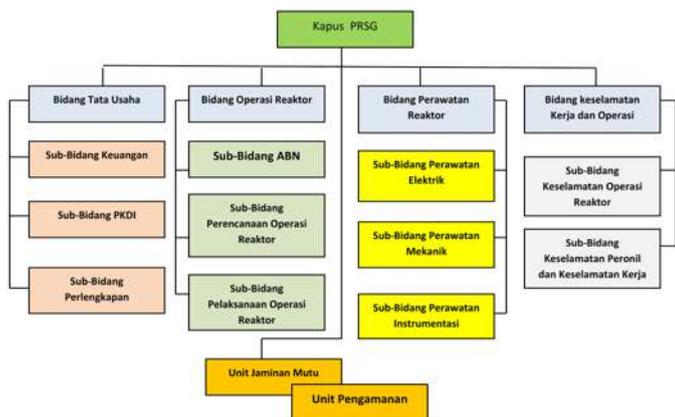
1. PENDAHULUAN

Fondasi politis suatu negara dalam mengembangkan reaktor daya akan sangat berbeda dengan fondasi mengembangkan suatu reaktor riset. Pada reaktor riset dukungan dari pemerintah dan masyarakat akan mengalir. Lain halnya dengan reaktor daya, banyak pihak yang tidak setuju. Kesamaannya adalah bahwa keduanya memerlukan perencanaan yang hati-hati dan komitmen jangka panjang berkaitan dengan penyediaan infrastruktur dan sumber daya manusia guna menyiapkan pembangunan, pengoperasian, perawatan, dekomisioning dan penyimpanan limbahnya ke tempat penyimpanan lestari [1]. Ditinjau dari aspek ekonomi perbedaan antar keduanya adalah dari segi pendanaan. Pendanaan reaktor daya meskipun jauh lebih besar dari pendanaan reaktor riset, reaktor daya mampu menghasilkan listrik dan menghasilkan keuntungan yang dapat digunakan untuk mengembalikan modal. Sementara reaktor riset menggunakan dana dari pemerintah secara terus menerus.

Meskipun pembangunan atau tersedianya reaktor riset bukan merupakan prasyarat untuk pembangunan reaktor daya, infrastruktur yang dibutuhkan untuk membangun, mengoperasikan, merawat sampai tahap dekomisioning termasuk proses persetujuan regulasi reaktor riset oleh badan pengawas dapat membantu suatu

negara dalam mengintroduksi reaktor daya. Perbedaan yang ada hanyalah pada ukurannya. Kemampuan manajemen reaktor riset langsung atau tidak langsung berkontribusi terhadap pengoperasian reaktor daya. Sebagai contoh adalah dalam hal mengelola siklus bahan nuklir, mengembangkan budaya keselamatan dan keamanan akan sulit dicapai tanpa adanya pelaksanaan program yang nyata. Kebutuhan untuk menjamin keselamatan, keamanan dan seifgard untuk pengembangan reaktor daya telah diterapkan di dalam pengoperasian reaktor riset

Keselamatan nuklir berkaitan dengan pencapaian kondisi operasi suatu instalasi nuklir sesuai desain, pencegahan terjadinya kecelakaan atau memitigasi akibat kecelakaan untuk melindungi pekerja, masyarakat dan lingkungan dari bahaya radiasi yang tidak diharapkan [2]. Keamanan nuklir adalah suatu tindakan pencegahan dan deteksi serta respon terhadap pencurian, sabotase, akses atau transfer ilegal atas bahan nuklir dan bahan radioaktif dengan mengaitkan unsur proteksi fisik bahan dan fasilitas nuklir [2]. Seifgard adalah suatu tindakan untuk memverifikasi kepatuhan suatu negara, berkaitan dengan penggunaan bahan nuklirnya hanyalah untuk kepentingan damai.



Gambar 1: Struktur Organisasi Pusat Reaktor Seba Guna GA Siwabessy 3)

Makalah ini mendiskusikan peranan Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) dalam kaitannya dengan persiapan pengembangan reaktor daya di Indonesia. Lingkup yang di bahas meliputi beberapa aspek meliputi aspek keselamatan, keamanan dan seifgard yang telah diterapkan di rektor RSG-GAS. Lebih lanjut pelatihan, keahlian dan pengalaman yang tersedia pada manajemen reaktor riset dapat dijadikan modal yang berarti

Diharapkan pemaparan aspek-aspek tersebut dapat dijadikan sebagai acuan dalam merencanakan pengembangan dan pengoperasian reaktor daya di Indonesia.

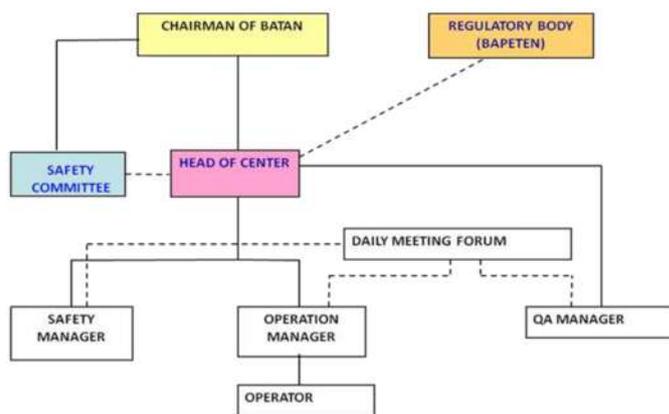
2. MANAJEMEN ORGANISASI DAN PENERAPAN ASPEK KESELAMATAN

Sejak awal operasinya RSG-GAS telah berhasil dioperasikan dengan selamat. Sebagai yang ditunjukkan dalam struktur organisasinya, **Gambar 1**, semua fungsi manajemen mempunyai tugas dan tanggung jawab yang jelas. Pusat Reaktor Serba Guna (PRSG) bertanggung jawab atas pengoperasian reaktor yang selamat. Setiap tindakan berkaitan dengan keselamatan harus mengacu kepada prosedur yang sah di mana program jaminan kualitas yang efektif dan budaya keselamatan terintegrasi di dalam keseluruhan prosedur pengoperasian. Batas kondisi operasi direfleksikan ke dalam semua parameter keselamatan yang terdapat di dalam Laporan Analisis Keselamatan (LAK) RSG-GAS. Oleh sebab itu semua aktivitas secara terus menerus dijamin keselamatannya

Unit jaminan mutu bertugas meriviu dan mengaudit semua aktivitas dan secara langsung bertanggung jawab kepada Kepala PRSG. Pengoperasian dan pemanfaatan reaktor didukung oleh para pekerja yang kompeten dan tersertifikasi. Pelatihan utama yang dilaksanakan meliputi pengoperasian reaktor untuk operator, keselamatan nuklir dan keselamatan radiasi terutama untuk pekerja radiasi dan pelatihan proteksi radiasi untuk semua pekerja. Sertifikasi pelatihan diterbitkan oleh badan pengawas (BAPETEN).

Panitia keselamatan (PK) RSG-GAS yang diketuai oleh Kepala Pusat PTRKN dan terdiri dari berbagai keahlian berjumlah 17 personil dengan komposisi 40% staf PRSG dan sisanya dari satuan kerja lain bertindak sebagai grup yang independen secara periodik mengadakan pertemuan dan memberikan rekomendasi kepada Kepala PRSG berkaitan dengan segala aspek keselamatan pengoperasian dan pemanfaatan reaktor dan melaporkan hasil rekomendasinya kepada Ka. BATAN

Unit Jaminan Mutu beserta program jaminan mutunya yang saat ini telah direvisi sembilan kali bertanggung jawab melaksanakan pengendalian dan meriviu semua dokumen termasuk prosedur sebelum diserahkan kepada kepala PRSG untuk disahkan.



Gambar 2: Diagram Hubungan Wewenang dan tanggung jawab Organisasi Keselamatan RSG-GAS 4)

Proses pengendalian dokumen yang digunakan untuk mengelola reaktor dilaksanakan melalui beberapa tahapan riviur, dokumen disiapkan, dicek, diriviu dan disahkan oleh Ka PRSG dan selanjutnya didistribusikan ke bidang/unit terkait. Instruksi kerja yang merupakan dokumen tingkat ketiga (tingkat pertama adalah laporan analisis keselamatan RSG-GAS, dokumen tingkat dua adalah prosedur) telah mengintegrasikan persyaratan keselamatan yang mudah dipahami oleh operator. Unit jaminan mutu juga berperan sebagai saksi ketika *reshuffling* bahan bakar dikerjakan pada setiap permulaan siklus operasi.

Pengkajian keselamatan dilaksanakan secara berkala dan juga ketika sistem reaktor dimodifikasi atau adanya eksperimen baru, dengan tujuan untuk mempertahankan agar bahaya radiasi tetap terjaga tidak lepas ke lingkungan. Penuaan komponen dipertimbangkan sebagai masalah penting yang perlu dikaji guna menyiapkan secara dini perlunya perawatan dan perbaikan terhadap semua komponen reaktor sebelum komponen tersebut gagal berfungsi. Jadwal perawatan dilaksanakan secara bulanan/kuartalan dan tahunan dan juga apabila pihak manajemen memandang perlu. Secara berkala badan pengawas (BAPETEN) melakukan inspeksi ke reaktor RSG-GAS untuk memastikan bahwa persyaratan keselamatan telah dipenuhi.

Persyaratan keselamatan sebagai yang disebutkan di dalam LAK RSG-GAS dikomunikasikan ke pekerja reaktor melalui penerapan prosedur dan instruksi kerja. Untuk memastikan bahwa pekerja reaktor telah memahami persyaratan keselamatan, secara berkala BAPETEN mengevaluasi dan menguji kembali pengetahuan dan kompetensi operator. Pengujian kembali dilaksanakan dalam rangka memperbaharui Surat Ijin Bekerja (SIB). Ada berbagai macam SIB diantaranya adalah SIB pengoperasian reaktor, SIB perawatan reaktor, SIB akuntansi bahan nuklir, SIB proteksi radiasi dsb.

Semua dokumen keselamatan harus mendapat persetujuan dari BAPETEN sebelum digunakan. Laporan operasi reaktor disiapkan dan dibuat pada setiap akhir siklus operasi dan setelah diriviu PK RSG-GAS diserahkan ke BAPETEN sebagai informasi bukan sebagai persyaratan perijinan. Adanya anomali, *incident* dan *accident* harus dilaporkan ke BAPETEN dalam periode waktu 24 jam melalui telepon, faximili atau melalui komunikasi lain yang efektif. Laporan rinci yang menjelaskan tentang penyebab kejadian dan tindakan untuk memitigasi harus dilaporkan ke BAPETEN dalam periode waktu 3 hari.4)

Ketika diketahui bahwa ada tanda-tanda/kondisi yang menyimpang, sesuai peraturan, operator reaktor harus menuliskannya di log book operasi reaktor dan melaporkannya ke supervisor. Secepatnya, supervisor wajib mengambil tindakan yang tepat untuk memitigasi akibat kejadian dan melaporkan ke pihak manajemen. Peristiwa ini selanjutnya didiskusikan di rapat harian untuk diketahui para karyawan lain dan sekaligus mendapatkan masuk-

an-masukan yang bermanfaat. Rapat harian diketuai oleh bagian perencanaan operasi, dilaksanakan setiap pagi sekitar jam 8 merupakan forum diskusi untuk mengevaluasi, meriviu jalannya operasi reaktor dan merencanakan kegiatan selanjutnya. Rapat dihadiri oleh semua elemen penting pengoperasian reaktor meliputi bagian operasi, perawatan, keselamatan, jaminan mutu dan pengamanan.

Layanan proteksi radiasi dilaksanakan oleh bidang keselamatan operasi. Pengendalian akses ke tempat radiasi mengacu kepada prosedur baku dan dilengkapi dengan pemasangan kamera dan juga diverifikasi oleh unit pengamanan dibagian depan reaktor dan diriviu oleh operator di ruang kendali utama

Pajanan radiasi yang disebabkan pengoperasian RSG-GAS dijaga serendah mungkin dengan memfungsikan ciri desain proteksi radiasi ke instalasi reaktor dan program proteksi radiasi bagi pekerja, masyarakat dan lingkungan. Sampel tanah dan udara yang diam dari lokasi sekeliling tapak reaktor dimonitor untuk memverifikasi pelepasan zat radioaktif yang tidak terdeteksi.

3. PENERAPAN ASPEK SEIFGARD

Seifgard bahan nuklir yang dilaksanakan oleh Badan Tenaga Atom Internasional (IAEA) ke fasilitas nuklir yang tersebar di seluruh negara anggota pada intinya ditujukan untuk menghindari pengembangan senjata nuklir. Tindakan seifgard dipenuhi dengan mengaudit akuntansi bahan nuklir, mengukur bahan nuklir, memasang peralatan seifgard, mengambil sampel lingkungan dan tindakan lain yang dianggap penting dan mendukung pelaksanaan seifgard.

Dasar hukum pelaksanaan sistem *safeguards* IAEA adalah *Comprehensive Safeguards Agreement*, INFCIRC/153 (CSA), *Voluntary Offer Safeguards Agreement*, VOA (hanya untuk negara bersenjata nuklir), *Item Specific Safeguards Agreement*, ISSA, INFCIRC/66 (India, Pakistan dan Israel) dan *Additional Protocol to Safeguards Agreement*, INFCIRC/5405). Masing-masing perjanjian tersebut mempunyai ciri yang spesifik. CSA menitik beratkan tindakannya kepada keakuratan (*correctness*) bahan nuklir yang dideklarasikan saja di mana instrumen pokoknya adalah akuntansi bahan nuklir. VOA berlaku untuk negara bersenjata nuklir yang secara sukarela menyerahkan sebagian/seluruh bahan nuklirnya untuk di *safeguards*. ISSA hanya berlaku untuk negara India, Pakistan dan Israel. Ketiga negara tersebut hanya mau menyerahkan sebagian bahan nuklirnya untuk di *safeguards*. Yang terakhir atau yang terbaru adalah *additional protocol* (AP), yang diintegrasikan ke CSA. Integrasi AP ke CSA melahirkan sistem *integrated safeguards*. Tindakan verifikasi pada AP yang menekankan unsur *completeness*, yaitu bahwa keseluruhan program nuklir negara diverifikasi, mengakomodasikan kekurangan yang ada di CSA.5)

Bahan nuklir yang dikenai *safeguards* adalah ^{235}U diperkaya, natural U depleted U, plutonium serta ^{233}U . ^{235}U diperkaya, plutonium serta ^{233}U merupakan bahan nuklir yang secara langsung dapat digunakan sebagai bahan pembuat senjata nuklir.

Bahan nuklir yang ada di RSG-GAS adalah uranium pengkayaan rendah < 20% dalam bentuk perangkat bahan bakar digunakan untuk operasi reaktor. Ada 3 fasilitas penyimpanan bahan bakar meliputi :

1. penyimpanan bahan bakar segar di lantai +8m gedung reaktor
2. teras reaktor lantai +13m, gedung reaktor
3. kolam penyimpanan bahan bakar bekas, lantai +13m, berdampingan dengan kolam reaktor, lantai +13m gedung reaktor.

Seifgard IAEA di RSG-GAS dilaksanakan dengan kombinasi beberapa kegiatan meliputi pemeriksaan akuntansi bahan nuklir, pemasangan peralatan surveillance DSOS, pemasangan ATPM pengambilan sampel usap/*environmental sampling* di *hot cell* dan verifikasi *design information questionnaire* (DIQ)

Verifikasi inventori fisik dilaksanakan pada saat inspeksi tahunan (PIV). Inspeksi mendadak dilaksanakan tidak menentu tergantung kebutuhan IAEA, tetapi biasanya 1 kali dalam 1 tahun. Pada pendekatan seifgard yang baru akuntansi bahan nuklir masih merupakan *corner stone* pelaksanaan seifgard. C/S merupakan komponen pendukung dan sekaligus berfungsi untuk mengamati pergerakan bahan nuklir atau mempertahankan continuity of knowledge pengganti kehadiran inspektur.

Pada saat PIV, semua bahan bakar di gudang bahan bakar segar, di teras reaktor dan di kolam penyimpanan bahan bakar bekas diverifikasi secara random dengan metoda tidak merusak (non destructive assay, NDA) untuk memastikan bahwa semua bahan bakar tidak ada yang dipalsukan.

Sampel usap lingkungan merupakan salah satu tindakan *safeguards* IAEA yang sangat efektif dan cangih untuk mendeteksi keberadaan bahan/aktivitas nuklir baik yang dideklarasikan maupun yang mungkin tidak dideklarasikan. Sehingga kepatuhan suatu negara terhadap perjanjian *safeguards* yang telah disetujui dapat dievaluasi. Sampel yang berupa debu dapat diperoleh dengan mengusapnya dengan cotton usap. Partikel yang menempel pada cotton dianalisa dan dievaluasi untuk mendeteksi kemungkinan adanya bahan/aktivitas nuklir yang tidak dideklarasikan

Ditinjau dari pihak fasilitas, pendekatan seifgard yang diberlakukan oleh IAEA di RSG-GAS tidak mengganggu kegiatan operasi reaktor. Konsekuensi logis yang harus diterima oleh operator adalah bahwa dokumen dokumen seifgard harus selalu siap diperiksa karena secara mendadak inspektur IAEA akan datang memeriksa dokumen dan mengambil data dari peralatan yang dipasangnya. Bagi operator yang selalu memenuhi perjanjian seifgard dan protokol tambahan, pendekatan seifgard yang dilakukan oleh IAEA tidak menimbulkan kesulitan. Bagi operator yang berniat melakukan proliferasi inspeksi mendadak dan pengambilan sampel usap dapat mmbongkar dan menggagalkan rencana tersebut.

4. PENERAPAN ASPEK KEAMANAN NUKLIR

Keamanan nuklir memfokuskan tindakan pada pencegahan, deteksi dan respon terhadap aksi kriminal atau tindakan melawan hukum yang melibatkan bahan nuklir atau bahan radioaktif lain, fasilitas dan kegiatan nuklir. Tujuan dari rezim keamanan nuklir adalah untuk melindungi manusia, properti, masyarakat dan lingkungan dari tindakan yang tidak bertanggung jawab terkait bahan nuklir dan bahan radioaktif lain 6). Rezim proteksi fisik yang merupakan komponen penting dari rezim keamanan nuklir mempunyai lingkup : Memproteksi pemindahan ilegal bahan nuklir terhadap pencurian dan tindakan melawan hukum lainnya, melokalisasikan, serta menemukan kembali bahan nuklir yang berpindah secara tidak sah dengan cara yang tepat dan cepat, memproteksi bahan dan fasilitas nuklir dari tindakan sabotase, memitigasi konsekuensi radiologi akibat sabotase 6). Tujuan tersebut dicapai dengan melaksanakan langkah-langkah :

1. Menghalangi (*deter*)
2. Mendeteksi (*detect*)
3. Menilai (*assess*)
4. Menunda (*delay*)

RSG-GAS adalah reaktor riset yang menggunakan bahan nuklir untuk pengoperasiannya. Berdasarkan Surat Keputusan Kepala Bapeten No. 02-P/Ka-BAPETEN/VI-99, bahan nuklir yang ada di RSG-GAS termasuk Bahan Nuklir Golongan II. RSG-GAS berada di dalam Kawasan Puspipstek, Cisauk, Tangerang. Dari sisi lokasi, pengamanan dilakukan dalam 4 (empat) tahap dengan penjagaan selama 24 jam sehari, yaitu 7):

1. Pos Pengamanan Puspipstek

Pos pengaman ini dikelola oleh Pengelola Keamanan dan Keselamatan Kawasan Puspipstek (PK3P), bertanggung jawab atas Kawasan Puspipstek (*Cold Area* atau *Limited Area*) yang dibatasi dengan pagar yang mengelilingi Kawasan Puspipstek

2. Pos Pengamanan Batan

Pos pengaman ini dikelola oleh Unit Pengamanan Nuklir Pusat Kemitraan Teknologi Nuklir (UPN PKTN) yang bertanggung jawab atas daerah Batan

3. Pos Pengamanan MGS (*Main Gate Station*)

Pos pengaman ini dikelola oleh Unit Pengamanan Pusat Kemitraan Teknologi Nuklir (UPN PKTN) yang bertanggung jawab atas daerah pagar kuning (*Hot Area* atau *Protected Area*).

4. Pos Pengamanan PRSG

Pos pengaman ini dikelola oleh UPN PRSG yang bertanggung jawab atas daerah fasilitas nuklir RSG-GAS (*Closed Area* atau *Inner Area*) yang dibatasi dengan pagar yang mengelilingi RSG-GAS Untuk memasuki reaktor, selain harus melalui Pos Pengamanan PRSG, harus sepengetahuan operator yang ada di RKU.

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kerangka kerja keselamatan, keamanan dan seifgard telah diterapkan di RSG-GAS, dan secara kontinyu ditingkatkan. Sepuluh Prinsip Pokok Keselamatan berikut standar keselamatan yang direkomendasikan IAEA dianut dalam pengoperasian RSG-GAS. Suatu kenyataan bahwa RSG-GAS telah berhasil dioperasikan dengan selamat dan aman dalam artian bahwa tidak ada pelepasan zat radioaktif ke lingkungan selama reaktor dioperasikan, merupakan konsekuensi logis dari keberhasilan penerapan standar keselamatan.

Pusat Reaktor Serba Guna (PRSG) sebagai organisasi yang mengoperasikan reaktor riset mempunyai tugas dan fungsi yang jelas dan bertanggung jawab penuh atas keselamatan reaktor yang dioperasikannya. Pembagian tugas dan tanggung jawab ditunjukkan pada **Gambar 1**. Kerangka kerja keselamatan, keamanan dan seifgard berlaku juga untuk pengoperasian reaktor daya. Oleh sebab itu pengalaman dan keberhasilan PRSG dalam mengoperasikan dan memanfaatkan RSG-GAS dapat dijadikan acuan/model dalam mengembangkan infrastruktur reaktor daya di Indonesia. Proses perijinan dan pengawasan yang dilaksanakan oleh pihak badan pengawas (Bapeten) dapat membentuk suatu kerangka kerja di mana PRSG dapat secara terbuka dan transparan memberikan informasi bahwa kriteria budaya keselamatan telah dipenuhi dan diterapkan sesuai dengan standar keselamatan yang berlaku. Suatu keuntungan bahwa dengan dibangun dan dioperasikannya reaktor riset RSG-GAS, beberapa traktat/perjanjian/konvensi/standar nasional dan internasional yang berkaitan dengan keselamatan, keamanan dan seifgard telah ditanda tangani oleh Indonesia. Sehingga untuk menuju ke era reaktor daya hanya diperlukan sedikit modifikasi terhadap infrastruktur yang sudah tersedia. Knowledge dan pengalaman pada penerapan budaya keselamatan di RSG-GAS, telah menjadi komitmen para pekerja/operator, manajemen dan organisasi. Sebagai contoh adalah bahwa rapat harian yang dilakukan setiap pagi hari merupakan wadah untuk menerapkan dan meningkatkan budaya keselamatan. Operator reaktor diberi kesempatan untuk menyampaikan anomali/penyimpangan terutama yang berkaitan dengan keselamatan yang dia ketahui untuk didiskusikan dan mendapatkan solusi yang tepat. Kebiasaan ini dapat dipandang sebagai best practice dalam menerapkan dan meningkatkan budaya keselamatan.

Ditinjau dari ragam sistem operasi dan sistem keselamatan reaktor yang berada didalam lokasi kungkungan gedung reaktor, pada hakekatnya keduanya (reaktor riset dan reaktor daya) mempunyai ragam sistem, struktur dan komponen (SSK) yang sama..

Perbedaan utamanya adalah bahwa pada sistem sekunder reaktor daya (bagian non-*nuclear island*) terdapat sistem untuk menghasilkan energi listrik, turbin generator berikut sistem penunjangnya. Oleh sebab itu perlakuan keselamatan yang diterapkan ke semua sistem keselamatan dan sistem yang berkaitan dengan keselamatan akan tidak jauh berbeda antara reaktor riset dan reaktor daya.

Dari banyak persamaan baik teknis maupun administratif antara reaktor riset dan reaktor daya, pengoperasian reaktor riset mempunyai kontribusi kuat atau dapat dijadikan model dalam pengembangan kerangka infrastruktur reaktor daya

Dari segi keandalan sumber daya manusia (SDM), PRSG telah membentuk dan mempertahankan SDM yang kompeten dan berkualitas yang secara kontinyu keahlian dan keterampilannya di *up-date* melalui training, workshop, *coaching*, *lesson-learned* dengan mendatangkan tenaga ahli dari negara yang telah maju teknologi nuklirnya dan melalui cara lain yang dipandang efektif. Pengelolaan manajemen yang efektif dan di landasi oleh undang-undang/instrument hukum nasional dan internasional serta dilengkapi dengan infrastruktur organisasi yang komprehensif seharusnya diadopsi dan dilibatkan.

Dalam hal keamanan dan seifgard bahan dan aktifitas nuklir, Indonesia telah meratifikasi *Convention on Physical Protection dan perjanjian Non Proliferation Treaty*, bahkan sejak 2004, Seifgard Terintegrasi (Pelaksanaan Protokol Tambahan yang diintegrasikan di dalam perjabjian Komprehensif Seifgard) telah diberlakukan oleh IAEA di semua fasilitas nuklir di Indonesia. *Subsidiary Arrangement* (SA) antara IAEA dengan Indonesia (diwakili Bapeten), menjelaskan tentang instalasi nuklir terkena seifgard beserta tata cara pelaksanaan seifgard sudah tersedia. Dengan dibangunnya reaktor daya di Indonesia, SA cukup dimodifikasi. Demikian juga dengan penyediaan dokumen *Design Information Questionnaire* (DIQ) berisi tentang informasi disain fasilitas dan dokumen *Facility attachment* (FA) berisi tentang pendekatan seifgard yang akan diberlakukan IAEA, dilaksanakan mengacu kepada proses yang pernah dilakukan terhadap instalasi RSG-GAS karena sama-sama instalasi reaktor. Persyaratan dan pelaksanaan seifgard telah dipahami oleh SDM PRSG. Sistem pertanggungjawaban bahan nuklir untuk reaktor riset dan reaktor daya adalah similar, yang membedakan adalah inventori bahan nuklirnya, reaktor daya mempunyai inventori bahan nuklir yang lebih besar. Demikian juga organisasi SSAC (*State System on Accounting for and Control of Nuclear Material*) tingkat fasilitas dan tingkat nasional telah tersedia. Kerangka seifgard untuk reaktor daya dapat ditetapkan dengan memodifikasi kerangka seifgard yang telah tersedia untuk reaktor RSG-GAS.

Aspek keamanan bahan, fasilitas dan aktifitas nuklir direalisasikan dengan mengimplementasikan Sistem Proteksi Fisik. Program Proteksi Fisik diwujudkan mengacu kepada Ancaman Dasar Design (ADD) yang dimungkinkan terjadi di reaktor RSG-GAS. Selama ini, PRSG telah mensosialisasikan persyaratan proteksi fisik di lingkungan PRSG dan diluar PRSG (*off site*) dengan cara mempraktekkan program kedaruratan nuklir dan non-nuklir. Kerja sama dengan pemerintah setempat, rumah sakit, kepolisian, TNI dan pihak Bapeten telah ditetapkan dan mendapat respon yang kondusif. Pengalaman ini akan mempermudah kedepannya dalam mengembangkan reaktor daya karena kerangka kerja keamanan/proteksi fisik telah tersedia meskipun perlu modifikasi. SDM yang kompeten dan terlatih (minimal pelatihan kedaruratan dilaksanakan 1 tahun 1 kali) juga telah memenuhi persyaratan.

Pengembangan program keselamatan, keamanan dan seifgard reaktor daya akan lebih mudah difahami dengan mempelajari *hand-on experience* atau *practical experience*. Infrastruktur yang tersedia di reaktor RSG-GAS dapat berkontribusi/dilibatkan. Dengan kata lain keberadaan reaktor RSG-GAS dengan segenap sum-

ber daya dan infrastrukturnya memberikan modal dasar dalam mengembangkan program reaktor daya

6. KESIMPULAN

Pengoperasian reaktor RSG-GAS dengan pendekatan elemen-elemen pokok meliputi keselamatan, keamanan dan seifgard merupakan modal yang sangat berarti bagi Indonesia di masa depan dalam mendukung keberhasilan pembangunan dan pengoperasian reaktor daya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IAEA. (2012); *Working Material, The Role of Research Reactor In Introducing Nuclear Power Reactor*; IAEA, Vienna.
 [2] **Batra, A., Nelson, P.** (2012); *Safety Safeguard and Security In*

Indian Nuclear Facilities”, *Nuclear Security Science and Policy Institute*; A Davidson of the Texas Engineering Experiment Station.

- [3] **Pusat Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy** (2014); *“Renstra PRSG 2015–2019”*; PRSG, Tangerang Selatan.
 [4] **FNCA Safety Management System Project**, (2010); *Self Assessment–Peer Review of The G.A.Siwabessy Multi Purpose Reactor*.
 [5] **IAEA**, (2005); *“IAEA Safeguard”*; IAEA, Vienna.
 [6] **IAEA** (2011); *IAEA Nuclear Security Series No. 13, “Nuclear Security Recommendations on Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facility, INFCIRC/225/Rev.5*; IAEA Vienna
 [7] **Kadarusmanto** (2007); *“Proteksi Fisik dan Kendali Bahan Nuklir”*, *Pelatihan Penyegaran Operator dan Supervisor RSG-GAS*; BATAN, Serpong.

TANYA JAWAB DAN DISKUSI

1. **Penanya** : M. Subekti (BATAN)

Pertanyaan:

- a) Apakah dalam sistem managementreaktor RSG-GAS memungkinkan melakukan *press release* pada saat terjadi *accident* yang signifikan?

Jawaban:

BATAN menugaskan BHHK (Biro Hukum Humas dan Kerjasama) untuk merelease berita/informasi/kebijakan ke masyarakat/press termasuk bila terjadi kecelekaan di RSG-GAS.

2. **Penanya** : Eko Riyadi (BAPETEN)

Pertanyaan:

- a) Tentang desain PLTN *Ball In Bowl*:
 > Apakah desain sudah diuji degan eksperimen baik secara prototipe atau melakukan pemodelan dengan simulator?
 > Kalau sudah bagaimana hasilnya?

Jawaban:

Untuk sementara, kami baru melakukan tinjauan pustaka, desain sederhana dari logis dan konsultasi pakar. Kami masih belum melakukan pemodelan maupun *prototype*. Jadi baru meninjau dari konsep fisika yang dasar.



Seminar Keselamatan Nuklir 2014

Makalah Penyaji Oral

Bidang Instalasi dan Bahan Nuklir

Prosiding
Seminar
Keselamatan
Nuklir
2014

PERAN FORENSIK NUKLIR DALAM INVESTIGASI KEJADIAN KEAMANAN NUKLIR DI INDONESIA

Dewi Apriliani

Badan Pengawas Tenaga Nuklir
E-mail: d.apriliani@bapeten.go.id

ABSTRAK

Telah dilakukan suatu kajian terhadap kemampuan forensik nuklir yang ada di Indonesia dibandingkan dengan persyaratan dokumen IAEA *Nuclear Security Series No. 2: Technical Guide "Nuclear Forensic Support"*. Kajian bertujuan untuk mengidentifikasi kesenjangan yang ada terkait peran forensik nuklir dalam investigasi kejadian keamanan nuklir. Selanjutnya dibuat rekomendasi untuk mengisi kesenjangan yang ada, sehingga forensik nuklir di Indonesia dapat berperan secara maksimal dalam investigasi kejadian keamanan nuklir dan sebagai instrumen untuk berperan aktif di dalam komunitas forensik nuklir internasional. Rekomendasi meliputi: penguatan koordinasi dan kerjasama antar instansi dan lintas keahlian, mulai dari respon kejadian sampai dengan analisa barang bukti untuk mendapatkan kesimpulan akhir yang bisa digunakan untuk keperluan penegakan hukum; peningkatan kompetensi staf melalui pendidikan dan pelatihan secara reguler dan kontinu; peningkatan infrastruktur forensik nuklir dan peningkatan kerja sama forensik nuklir regional dan internasional.

Kata kunci: kejadian keamanan nuklir, forensik nuklir, investigasi

ABSTRACT

A study on the capability of nuclear forensics in Indonesia compared with the requirements of the IAEA Nuclear Security Series documents No. 2: Technical Guide "Nuclear Forensic Support" has conducted. The aims to identify the existing gaps related to nuclear forensic role in nuclear security events investigations. Furthermore, a recommendation was made to fill the gaps, in order to enhance nuclear forensics role in nuclear security events investigation, and also as an instrument to contribute in the international nuclear forensics community. Recommendations include: strengthen coordination and cooperation among agencies and expertise, ranging from incident response to evidence analysis in order to obtain a final conclusion to be used for law enforcement purposes; improvement staff competency through education, regular and continuous training programmed; improvement of nuclear forensics infrastructure and increasing nuclear forensics cooperation both regional and international.

Keywords: nuclear security event, nuclear forensics, investigation

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Keamanan nuklir telah menjadi isu global, sehingga kewajiban menjamin keamanan nuklir menjadi tanggung jawab setiap negara, tidak terkecuali Indonesia. Indonesia adalah negara kepulauan yang terletak di pertengahan bumi utara dan selatan, secara internasional dilalui jalur lalu lintas perdagangan dunia, dan secara nasional jalur lalu lintas perdagangannya banyak melalui jalur laut. Indonesia banyak memiliki akses keluar masuk melalui pelabuhan, baik pelabuhan besar untuk perdagangan internasional maupun pelabuhan kecil untuk keperluan domestik. Meskipun demikian, tidak semua pelabuhan di Indonesia memiliki *real portal monitor*. Keadaan ini memungkinkan perpindahan sumber *illicit trafficking* dari satu pulau ke pulau lainnya ataupun memungkinkan Indonesia sebagai tempat tujuan atau tempat transit sumber *illicit trafficking* internasional ke negara lainnya.

Kejadian kegagalan keamanan nuklir tidak hanya dapat berasal dari dalam negeri, melainkan juga dapat berasal dari luar negeri dan berdampak bagi Indonesia. Beberapa laporan mengenai penemuan dan penyitaan bahan nuklir dan sumber radioaktif terus mendapat perhatian masyarakat internasional terkait dengan dampak bahaya radiasi yang mungkin ditimbulkan. Bagi pihak berwenang, yaitu Kepolisian dan BAPETEN, setelah bahan nuklir/radioaktif tersebut berhasil dideteksi dan diamankan, maka pertanyaan selanjutnya

mengenai motif/tujuan penyalahgunaan, bahaya radiologi dan asal bahan tersebut harus bisa dijawab dan dijelaskan. Untuk itu, adalah penting bagi Indonesia untuk membangun dan mengembangkan kemampuan forensik nuklir agar bisa menjawab pertanyaan tersebut, karena forensik tradisional yang ada di Kepolisian adalah untuk menangani bagian kriminal, seperti identifikasi tersangka kriminal, dan tidak untuk menangani aspek radiologi.

Forensik nuklir adalah teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi asal usul bahan nuklir/radioaktif. Tujuan dari penelusuran asal bahan tersebut adalah untuk meningkatkan proteksi fisik dan mencegah terulangnya kejadian/penyalahgunaan di masa depan. Oleh sebab itu, forensik nuklir merupakan salah satu instrumen penting dalam sistem keamanan nuklir, terutama terkait dengan aspek penegakan hukum. Pengembangan forensik nuklir juga diperlukan untuk mengaktifkan kerjasama internasional melalui komunitas forensik nuklir internasional, baik melalui GICNT (*Global Initiative to Combat Nuclear Terrorism*), *nuclear forensics ITWG (International Technical Working Group)* ataupun melalui fasilitasi oleh IAEA.

1.2. Tujuan

Tujuan dari penulisan ini adalah untuk mengidentifikasi kemampuan forensik nuklir yang ada di Indonesia dan perannya dalam investigasi kejadian keamanan nuklir; serta membandingkan kemampuan yang ada dengan rekomendasi dokumen IAEA *Nucle-*

ar Security Series No. 2: Technical Guide "Nuclear Forensic Support", selanjutnya dianalisis untuk mendapatkan rekomendasi perbaikan.

1.3. Ruang lingkup bahasan

Ruang lingkup bahasan dari makalah ini adalah pembahasan kemampuan forensik nuklir di Indonesia, terutama terkait investigasi kejadian keamanan nuklir; dan analisa gap berdasarkan rekomendasi dokumen IAEA *Nuclear Security Series No. 2: Technical Guide "Nuclear Forensic Support"*.

2. METODOLOGI

Metode-metode dalam makalah ini adalah dengan identifikasi kemampuan nasional berdasarkan: laporan ISE (*Integrated Safety Evaluation*) ke IAEA tahun 2013, serta hasil evaluasi field exercise yang dilakukan secara berkala; studi pustaka untuk mengetahui rekomendasi dan persyaratan pengembangan forensik nuklir; serta analisa gap untuk mendapatkan perbaikan terhadap kemampuan yang ada saat ini.

3. LANDASAN TEORI

3.1. Dasar kegiatan forensik nuklir

Kerangka kerja internasional yang secara khusus membahas forensik nuklir tidak ada, akan tetapi karena forensik nuklir merupakan salah satu komponen penting dalam keamanan nuklir, maka dasar kegiatannya mengacu kepada instrumen keamanan nuklir yang sesuai.

Terdapat beberapa instrumen hukum IAEA tentang keamanan nuklir baik yang bersifat mengikat maupun yang tidak mengikat. Instrumen hukum yang bersifat mengikat, seperti:

- *Convention on the Physical Protection of Nuclear Material (CPPNM)*
- *International Convention for the Suppression of Acts of Nuclear Terrorism*
- *UN Security Council Resolution 1373*
- *UN Security Council Resolution 1540*

Instrumen hukum yang bersifat tidak mengikat, seperti:

- *Code of Conduct Keselamatan dan Keamanan Sumber Radioaktif*;
- Rekomendasi Keamanan Nuklir pada Proteksi Fisik Bahan Nuklir dan Fasilitas Nuklir (INFCIRC/225/Revision 5); dan
- Dokumen pedoman IAEA.

Sebagai bagian dari masyarakat internasional, Indonesia secara aktif telah berpartisipasi dalam berbagai upaya kerja sama internasional di bidang keamanan nuklir, yaitu antara lain dalam forum Konferensi Tingkat Tinggi (KTT) Keamanan Nuklir I pada tahun 2010 yang mengakui adanya ancaman serius terhadap keamanan nuklir dan perlunya kerja sama untuk mencapai tujuan mengamankan seluruh bahan nuklir, fasilitas nuklir, zat radioaktif dan fasilitas radiasi di seluruh dunia. Dalam KTT Keamanan Nuklir II pada tahun 2012, Pemerintah Indonesia menegaskan dukungan lebih lanjut atas keamanan nuklir dengan melakukan konversi pemanfaatan *High Enriched Uranium* (HEU) menjadi *Low Enriched Uranium* (LEU) sesuai dengan kepentingan nasional, memasang radiation portal monitor di pelabuhan, mengesahkan amandemen Konvensi Proteksi Fisik dan Bahan Nuklir, dan memulai proses pengesahan Konvensi Terorisme Nuklir [5]. Dalam KTT Keamanan Nuklir III pada tahun 2014, Pemerintah Indonesia meneguhkan komitmen bersama untuk meningkatkan kerja sama regional dan multilateral di samping upaya nasional untuk memastikan keamanan nuklir. Indonesia berupaya terus-menerus untuk menjaga komitmen itu, antara lain dengan langkah-langkah berikut:

- Indonesia menggunakan bahan bakar uranium berkadar pe-

ngayaan rendah dalam produksi radioisotop dan dalam reaktor nuklir riset;

- Indonesia mulai memasang Radioactive Portal Monitors (RPM) di beberapa pelabuhan untuk mengontrol materi nuklir dan radioaktif;
- Indonesia telah menerima Konvensi Internasional untuk Pengendalian Tindak-Tindakan Terorisme Nuklir pada Maret 2014; dan
- Sejak 2013, Pemerintah Indonesia telah mulai menyiapkan Rancangan Undang-Undang untuk keamanan nuklir yang akan diajukan ke parlemen pada tahun 2015.

Di samping itu, Indonesia juga selalu mengambil bagian dalam kegiatan IAEA untuk topik yang berkaitan dengan keselamatan (*safety*), keamanan (*security*), dan *safeguards*.

Pengesahan konvensi akan bermanfaat bagi kepentingan nasional dan menunjukkan komitmen Indonesia untuk menjaga keamanan dan perdamaian dunia sesuai dengan tujuan politik bebas aktif. Implementasi pengesahan konvensi-konvensi internasional yang ada akan memperkuat fondasi hukum dan kerangka hukum di Indonesia. Dengan disahkannya konvensi tersebut, dimungkinkan adanya penguatan infrastruktur yang berkaitan dengan keamanan nuklir, kerja sama multilateral dan kolaborasi dengan negara anggota dan organisasi internasional dalam hal kerangka hukum keamanan nuklir [5]. Konvensi internasional yang telah diimplementasikan secara nasional, melalui peraturan perundangan, seperti:

- Undang-undang No. 8 Tahun 1978 tentang Pengesahan Perjanjian Mengenai Pencegahan Penyebaran Senjata Nuklir;
- Undang-undang No. 9 Tahun 1997 tentang Pengesahan *Treaty on the Southeast Asia Nuclear Weapon Free Zone*;
- Undang-undang No. 1 Tahun 2012 tentang Pengesahan Traktat Pelarangan Menyeluruh Uji Coba Nuklir;
- Keputusan Presiden No. 49 Tahun 1986 tentang Pengesahan *Convention on the Physical Protection of Nuclear Material*;
- Keputusan Presiden No. 46 Tahun 2009 tentang Pengesahan *Amendment to the Convention on the Physical Protection of Nuclear Material*; dan
- Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radiasi

3.2. Literatur IAEA terkait forensik nuklir

Beberapa literatur yang terkait dengan forensik nuklir antara lain:

- *Nuclear Security Series No. 2 "Nuclear Forensics Support"*;
- *Nuclear Security Series No. 6 "Combating Illicit Trafficking in Nuclear and Other Radioactive Materials"*;
- *Nuclear Security Series No. 15 "Nuclear Security Recommendation on Nuclear and Other Radioactive Materials out of Regulatory Control"*.

Secara umum literatur di atas berisi panduan pelaksanaan untuk forensik nuklir dalam mendukung investigasi kriminal yang melibatkan bahan nuklir/sumber radioaktif, manajemen radiologi di tempat kejadian perkara (TKP), dan pengembangan librari forensik nuklir nasional. Literatur juga membahas kerjasama dan dukungan internasional serta mendorong setiap negara untuk meminta atau memberikan bantuan, jika memungkinkan, terkait pengembangan kemampuan forensik nuklir atau selama investigasi kejadian keamanan nuklir tertentu.

4. PEMBAHASAN

4.1. Organisasi tanggap

Pemanfaatan bahan nuklir dan sumber radioaktif telah semakin meluas dan meningkat, tidak hanya di dunia melainkan juga di Indonesia. Pemanfaatan di Indonesia meliputi bidang kesehatan, industri dan penelitian, termasuk reaktor penelitian. Tantangan

pemanfaatan di masa depan adalah introduksi PLTN. Karenanya potensi kejadian kegagalan keamanan nuklir juga semakin meningkat apabila tidak dibarengi dengan sistem keamanan nuklir yang handal dan budaya keamanan nuklir yang tinggi mulai dari tingkat fasilitas, nasional sampai dengan internasional. Ancaman yang mungkin ada seperti: *illicit trafficking*, penyalahgunaan sumber radioaktif, *radiological dispersal device (dirty bomb)*, dan pembuatan senjata nuklir.

Sebagaimana telah dibahas pada bagian pendahuluan, untuk kasus kejadian keamanan nuklir, apabila bahan nuklir/radioaktif berhasil dideteksi dan diamankan, maka pertanyaan mengenai motif/tujuan penyalahgunaan, bahaya radiologi dan asal bahan tersebut harus bisa dijawab dan dijelaskan. Sebelum dilakukan investigasi langkah pertama yang penting adalah bagaimana merespon kejadian dengan tepat sehingga barang bukti yang ada di TKP dapat digunakan untuk keperluan penegakan hukum.

Organisasi tanggap darurat nuklir telah dibentuk pada akhir tahun 2006 dan diberi nama OTDNN (Organisasi Tanggap Darurat Nuklir Nasional—**Gambar 1**). Ini adalah organisasi tanggap untuk kedaruratan. Organisasi tanggap untuk kejadian keamanan nuklir juga dapat diturunkan dari organisasi tanggap yang telah ada, akan tetapi perlu ditambahkan instansi lain terkait, seperti: Kemenko Polhukam, Dirjen Pajak dan Beacukai, Syahbandar dan Otorita Pelabuhan, Badan Intelijen Negara (BIN) dan Badan Nasional Penanggulangan Terorisme (BNPT). Kejadian kegagalan keamanan nuklir adalah salah satu tindakan kriminal, sehingga umumnya yang berperan sebagai ketua atau komandan kejadian adalah Kepolisian. Apabila eskalasi kejadian meluas, sehingga dapat mengancam keselamatan manusia, kerugian harta benda atau kerusakan lingkungan hidup maka organisasi tanggap darurat nuklir dapat diaktifkan sesuai dengan eskalasi kedaruratan, apakah sampai tingkat daerah/provinsi (OTDND) atau sampai dengan tingkat nasional (OTDNN).

Kegiatan tanggap di TKP meliputi:

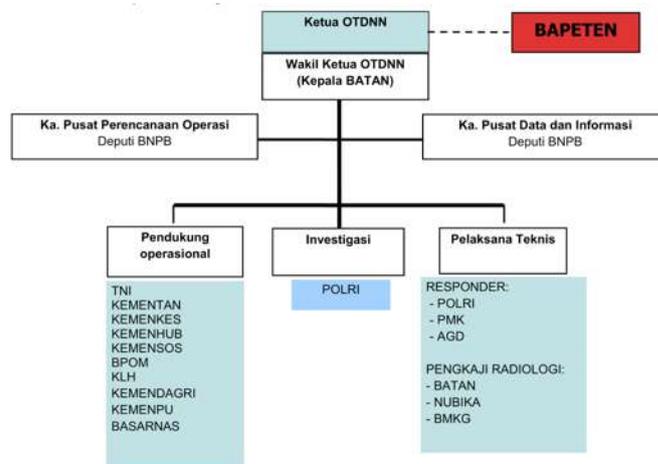
1. Tindakan Pertama Tempat Kejadian Perkara (TPTKP) sesuai prosedur di Kepolisian;
2. Untuk kejadian yang melibatkan bahan nuklir/radioaktif, pihak kepolisian berkoordinasi dengan BAPETEN dan/atau BATAN sebagai ahli radiologi;
3. Setelah TKP dinyatakan stabil dan aman, ahli radiologi dapat memperoleh akses untuk analisa awal forensik nuklir. Analisa yang dilakukan meliputi kategorisasi terhadap bahan yang dicurigai. Analisa tersebut tidak boleh merusak atau mempengaruhi barang bukti yang ada di TKP;
4. Pengumpulan barang bukti untuk keperluan forensik nuklir dan forensik tradisional. Dalam mengumpulkan barang bukti radioaktif, personil yang bertugas harus memiliki kemampuan forensik atau didampingi oleh ahli forensik. Pengumpulan barang bukti forensik tradisional juga dapat mempengaruhi pengumpulan atau analisa barang bukti radioaktif, untuk itu perlu koordinasi dalam hal pengumpulan barang bukti baik untuk keperluan forensik tradisional maupun untuk keperluan forensik nuklir;
5. Monitoring akhir TKP. Tim investigasi kejadian, bersama dengan tim radiologi harus melakukan monitoring akhir di sekitar TKP untuk memastikan bahwa TKP telah aman dari bahaya radiasi dan kontaminasi serta ancaman bahaya lainnya.

Secara umum tujuan dari tanggap TKP adalah untuk: meminimalkan bahaya radiologi di TKP, mengendalikan bahan nuklir atau bahan radioaktif lainnya, dan menjaga barang bukti untuk forensik tradisional dan forensik nuklir.

4.2. Forensik nuklir

Forensik nuklir adalah teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi asal usul bahan nuklir/radioaktif, yaitu dengan meng-

gunakan pendekatan berperingkat, untuk tujuan identifikasi sumber, sejarah dan rute transfer serta pertimbangan preservasi barang bukti. Ini berbeda dengan forensik tradisional yang ada di kepolisian, yaitu menangani bagian kriminal.



Gambar 1: Struktur OTDNN (Organisasi Tanggap Darurat Nuklir Nasional) [3]

Forensik nuklir meliputi kemampuan:

1. Analisa barang bukti di TKP (kategorisasi awal), seperti penentuan jenis bahan nuklir/radioaktif dan bila memungkinkan mengetahui apakah bahan tersebut berasal dari dalam negeri sendiri/milik sendiri atau bukan;
2. Analisa lebih lanjut terhadap barang bukti radioaktif di laboratorium (kategorisasi lanjut), seperti analisa unsur secara menyeluruh meliputi unsur makro, mikro dan trace level serta melakukan karakterisasi fisik; dan
3. Interpretasi forensik nuklir berdasarkan data hasil analisa dan informasi yang ada.

Laboratorium untuk analisa forensik nuklir harus memenuhi persyaratan standar lingkungan, protokol keselamatan dan kesehatan kerja, prosedur pembuangan limbah berbahaya dan penanganan serta penyimpanan bahan berbahaya. Laboratorium juga harus memiliki staf yang kompeten dalam menangani barang bukti terkontaminasi dan dapat mengakomodasi persyaratan baik untuk keperluan analisa forensik nuklir maupun untuk keperluan analisa forensik tradisional. Selain itu laboratorium juga perlu ditunjang dengan peralatan yang memadai dalam melakukan analisa, mulai dari bulk analysis, analisa pencitraan dan analisa mikro. Meskipun tidak seluruh tahap analisa tersebut perlu dilakukan dalam investigasi suatu kejadian kegagalan keamanan nuklir.

Berdasarkan kondisi yang ada saat ini, BATAN sebagai pusat penelitian ketenaganukliran telah ditunjang oleh staf peneliti yang kompeten dan laboratorium yang sesuai dengan standar persyaratan yang berlaku. BAPETEN sebagai badan pengawas tenaga nuklir saat ini sedang merintis pembentukan laboratorium lingkungan, *security* dan *safeguard*.

4.3. Forensik tradisional

Secara legal penyidikan kasus di Indonesia dilakukan oleh Kepolisian, hal ini sesuai dengan amanah pasal 14 Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2002 tentang Kepolisian Negara Republik Indonesia: salah satu tugas kepolisian adalah melakukan penyidikan. Penyidikan diatur dalam Pasal 1 ayat (2) Kitab Undang-Undang Hukum Acara Pidana yang menjelaskan bahwa penyidikan adalah serangkaian tindakan penyidik dalam hal dan menurut cara yang diatur dalam undang-undang ini untuk mencari serta mengumpulkan bukti yang terjadi dan guna menemukan tersangkanya. Dalam upaya mencari dan mengumpulkan bukti dalam proses pe-

nyidikan, penyidik diberi kewenangan seperti yang tersirat dalam Pasal 7 ayat (1) huruf h KUHAP yang menyatakan bahwa menda-tangkan orang ahli yang diperlukan dalam hubungannya dengan pemeriksaan perkara dan Pasal 120 ayat (1) KUHAP menyatakan dalam hal penyidik menganggap perlu, ia dapat minta pendapat orang ahli atau orang yang memiliki keahlian khusus.

Laboratorium forensik Polri telah memiliki keahlian forensik tradisional yang memadai dan dapat digunakan untuk menunjang analisa forensik nuklir, yaitu diantaranya pengolahan TKP dengan melakukan pemeriksaan dan menghubungkan barang bukti mikro, seperti:

- pengungkapan identitas tersangka menggunakan pemeriksaan sidik jari;
- pemeriksaan DNA, serologi, odontologi forensik (pemeriksaan gigi), disaster victim identification (DVI); dan
- pengungkapan dengan menggunakan ilmu kimia, fisika dan lain-lain, seperti penentuan bahan isian bom yang ditemukan di TKP yang identik dengan bahan yang ada di tubuh, pakaian, rumah, kendaraan tersangka.

Yang perlu menjadi perhatian adalah dalam pengumpulan barang bukti forensik, terhadap bahan-bahan yang mungkin terkontaminasi radioaktif harus memenuhi prinsip proteksi radiasi. Sehingga personil yang terlibat dalam tanggap harus terlatih dan berkualifikasi tepat serta mengetahui konsep operasi dan konsep dasar pengelolaan TKP radiologi, pengumpulan barang bukti dan proteksi radiasi dengan tepat.

4.4. Analisa gap

Perbandingan antara kondisi yang ada dengan persyaratan di dalam dokumen IAEA *Nuclear Security Series No. 2: Technical Guide "Nuclear Forensic Support"*, dapat disimpulkan dalam **Tabel 1**.

Berdasarkan perbandingan di atas maka dapat dibuat suatu analisa kesenjangan sebagai berikut:

1. Kesenjangan pada fungsi insiden respon.

Tim investigasi kejadian dan analisa TKP secara hukum dilaksanakan oleh Kepolisian, namun untuk kejadian yang melibatkan bahan nuklir/radioaktif belum tersedia prosedur antarmuka yang dapat digunakan sebagai panduan koordinasi antara ahli forensik (Kepolisian) dengan ahli radiologi (BAPETEN/BATAN) dalam melakukan investigasi dan analisa di TKP radiologi; belum tersedia pengaturan dalam pengambilan barang bukti radioaktif, tempat penyimpanan sementara barang bukti radioaktif serta pengaturan untuk keamanan dan keselamatan pengangkutan barang bukti radioaktif. Organisasi tanggap untuk kejadian keamanan nuklir dapat diturunkan dari OTDNN, untuk itu adalah penting untuk melegalkan OTDNN sebagai payung hukum untuk fungsi-fungsi lain di bawahnya yang terkait dengan fungsi insiden respon untuk kejadian kegagalan keamanan nuklir.

2. Kesenjangan pada fungsi laboratorium forensik nuklir.

BATAN memiliki laboratorium dengan staf peneliti yang kompeten dan standar peralatan laboratorium yang cukup memadai, akan tetapi perlu dikaji ulang apakah sudah memenuhi standar teknologi terkini untuk analisa forensik nuklir; BAPETEN sedang merintis pembentukan laboratorium lingkungan, *security* dan *safeguard*. Selanjutnya, perlu dibuat pengaturan ke mana barang bukti radioaktif ini akan dianalisa. Hal ini terkait dengan chain of custody barang bukti, keamanan barang bukti dan kemudahan akses untuk analisa lebih lanjut terhadap barang bukti.

3. Kesenjangan pada fungsi analisa forensik nuklir.

Ahli di bidang analisa dan interpretasi forensik nuklir masing sangat jarang, jika memang ada, salah satunya disebabkan karena belum adanya kegiatan nyata investigasi kejadian kegagalan keamanan nuklir;

Tabel 1: Analisa kesenjangan kemampuan forensik nuklir terhadap rekomendasi NSS No. 2 "Nuclear Forensics Support"

Fungsi	Rekomendasi	Kondisi sekarang
1. Insiden respon	Tersedia tim investigasi insiden;	Dilaksanakan oleh Kepolisian, untuk kejadian keamanan nuklir berkoordinasi dengan BAPETEN dan/atau BATAN.
	Tersedia kemampuan analisa TKP	Untuk kejadian konvensional dilaksanakan oleh Labfor Polri, untuk kejadian keamanan nuklir berkoordinasi dengan BAPETEN dan/atau BATAN
	Tersedia kemampuan pengumpulan barang bukti radioaktif	Belum ada pengaturan apakah barang bukti radioaktif dikumpulkan oleh ahli radiologi didampingi oleh ahli forensik atau sebaliknya
	Tersedia kemampuan pengumpulan barang bukti forensik tradisional	Dilaksanakan oleh tim Labfor Polri
	Tersedia kemampuan monitoring akhir TKP	Dilaksanakan oleh Gegana Polri untuk bahaya ledakan lainnya; dilaksanakan oleh ahli radiologi (BAPETEN/BATAN) untuk bahaya radiasi dan kontaminasi
	Tersedia fasilitas penyimpanan sementara barang bukti radioaktif	Penyimpanan barang bukti konvensional di Kepolisian, untuk barang bukti radioaktif perlu dipertimbangkan bahaya paparan radiasi dengan ketersediaan shielding di fasilitas Kepolisian.
2. Laboratorium forensik nuklir	Tersedia sarana transportasi barang bukti radioaktif yang memadai	BAPETEN dan BATAN memiliki fasilitas mobil dan kontainer pengangkutan sumber radioaktif, akan tetapi pengaturan perlu dibuat agar prosedur pengangkutan tidak menyalahi ketentuan peraturan yang berlaku
	Tersedia staf yang kompeten menangani barang bukti terkontaminasi	BATAN memiliki staf peneliti yang kompeten; BAPETEN sedang merintis pembentukan laboratorium lingkungan, <i>security</i> dan <i>safeguard</i>
	Tersedia peralatan yang memadai	BATAN memiliki laboratorium penelitian dan laboratorium pengujian bahan nuklir/radioaktif; BAPETEN sedang merintis pembentukan laboratorium lingkungan, <i>security</i> dan <i>safeguard</i> .
3. Analisa forensik nuklir	Memenuhi standar internasional terkini untuk laboratorium	Fasilitas laboratorium perlu dikaji ulang sesuai teknologi dan standar terkini.
	Tersedia kemampuan dalam analisa karakterisasi seluruh unsur (makro, minor dan trace level)	BATAN memiliki laboratorium analisa unsur, perlu dikaji ulang sesuai teknologi terkini
	Tersedia kemampuan interpretasi forensik nuklir	Dilaksanakan oleh Kepolisian, BAPETEN, BATAN dan ahli lain; Ahli forensik nuklir masih sangat jarang, jika memang ada.
4. Analisa forensik tradisional	Tersedia kemampuan atribusi (menganalisis semua bukti forensik tradisional dan forensik nuklir dikaitkan dengan bahan nuklir)	Dilaksanakan oleh Kepolisian, BAPETEN, BATAN dan ahli lain. Ahli ini masih sangat jarang, jika memang ada.
	Tersedia kemampuan analisa TKP untuk mendapat informasi sebanyak-banyaknya	Dilaksanakan oleh Labfor Polri
5. Pengambilan kesimpulan	Tersedia kemampuan pengumpulan barang bukti tradisional di TKP radiologi	Dilaksanakan oleh tim Labfor Polri didampingi oleh ahli radiologi dari BAPETEN dan/atau BATAN
	Tersedia keahlian yang dapat menganalisa hasil dari analisa forensik tradisional dan analisa forensik nuklir	Dilaksanakan oleh Kepolisian berkoordinasi dengan BAPETEN, BATAN dan ahli lain.

4. Kesenjangan pada fungsi analisa forensik tradisional.

Labfor Polri memiliki kemampuan pemeriksaan seluruh barang bukti di TKP, akan tetapi pengumpulan barang bukti forensik di TKP radiologi harus menerapkan prinsip keselamatan radiasi, oleh karenanya personil yang bertugas di TKP harus memiliki

pengetahuan dan mampu menerapkan prinsip proteksi radiasi. Berdasarkan hasil Eksekutif Meeting tahun 2012 terhadap penyelenggaraan latihan gladi posko dan gladi lapang penanggulangan kedaruratan nuklir/radiologi tingkat nasional selama kurun waktu tahun 2005–2011, disebutkan bahwa SDM yang memahami aspek ketenaganukliran di antara instansi tanggap masih kurang, sehingga perlu penguatan SDM yang memahami aspek ketenaganukliran, terutama untuk para first responder, termasuk personel Labfor Polri.

5. Kesenjangan pada fungsi pengambilan keputusan/kesimpulan.

Keputusan/kesimpulan akhir investigasi kejadian berdasarkan bukti, informasi dan hasil analisa forensik nuklir dan forensik tradisional, secara legal dilaksanakan oleh Kepolisian, dalam hal ini berkoordinasi dengan BAPETEN, BATAN dan ahli lainnya. Pengaturan perlu dibuat terkait mekanisme sampai dengan dihasilkan kesimpulan akhir sehingga investigasi dan analisa yang dilakukan dapat mendukung penegakan hukum.

4.5. Rekomendasi

Sebagaimana telah dibahas sebelumnya bahwa forensik nuklir memiliki peran penting di dalam investigasi kejadian kegagalan keamanan nuklir. Untuk itu beberapa perbaikan diperlukan untuk mengisi kesenjangan yang ada, sehingga forensik nuklir dapat berperan secara maksimal tidak hanya untuk investigasi kejadian kegagalan keamanan nuklir di dalam negeri, melainkan juga sebagai salah satu instrumen untuk berperan aktif di dalam komunitas forensik nuklir internasional. Hal ini karena untuk satu kejadian kegagalan keamanan nuklir dimungkinkan melibatkan lebih dari satu negara, antara lain negara yang mendeteksi sumber illicit trafficking, negara asal bahan nuklir/radioaktif atau negara yang dilalui oleh rute dari bahan nuklir/radioaktif tersebut. Beberapa rekomendasi tersebut antara lain:

1. Penguatan terhadap koordinasi dan kerjasama antar instansi dan lintas keahlian, mulai dari respon kejadian sampai dengan analisa terhadap barang bukti untuk mendapatkan kesimpulan akhir yang bisa digunakan untuk keperluan penegakan hukum;
2. Peningkatan kompetensi staf, baik melalui pendidikan maupun training secara reguler dan kontinu;
3. Peningkatan infrastruktur forensik nuklir, seperti librari forensik nuklir, peralatan laboratorium, standar pengujian, standar

laboratorium, dan sebagainya; dan

4. Peningkatan kerjasama regional dan internasional yang terkait dengan forensik nuklir.

5. KESIMPULAN

Sistem keamanan nuklir di tingkat nasional berkontribusi untuk memperkuat sistem keamanan nuklir di tingkat internasional. Sehingga setiap negara, termasuk Indonesia, diharapkan semaksimal mungkin memproteksi dirinya dengan sistem keamanan nuklir yang handal. Salah satunya adalah dengan memastikan keamanan di fasilitas nuklir dan keamanan di pintu masuk negara/perbatasan. Akan tetapi kejadian kegagalan keamanan nuklir tidak hanya dapat berasal dari dalam negeri melainkan juga dari negara lain dan memiliki dampak bagi Indonesia. Investigasi kejadian kegagalan keamanan nuklir membutuhkan peran forensik nuklir. Sehingga adalah penting bagi Indonesia untuk membangun dan mengembangkan kemampuan forensik nuklir.

Organisasi untuk merespon kejadian keamanan nuklir di Indonesia dapat diturunkan dari organisasi tanggap yang ada, seperti OTDNN. Akan tetapi dengan tantangan yang semakin berkembang saat ini maka dibutuhkan pula pengembangan di dalam kemampuan respon dan pengembangan kemampuan forensik nuklir agar dapat meningkatkan perannya di dalam investigasi kejadian keamanan nuklir.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IAEA (2006); *Nuclear Security Series No. 2 "Nuclear Forensics Support"*.
- [2] IAEA (2007); *Nuclear Security Series No. 6 "Combating Illicit Trafficking in Nuclear and Other Radioactive Material"*.
- [3] DKKN (2007); *Pedoman Operasi OTDNN*; BAPETEN.
- [4] IAEA (2011); *Nuclear Security Series No. 15 "Nuclear Security Recommendations on Nuclear and Other Radioactive Material Out of Regulatory Control"*; IAEA, Vienna.
- [5] KEMENKUMHAM (2014); *Rancangan Undang-Undang tentang Pengesahan Internasional Convention for the Suppression of Acts of Nuclear Terrorism*; Jakarta

TANYA JAWAB DAN DISKUSI

1. **Penanya** : Nur Rahmat Yusuf (BAPETEN)

Pertanyaan:

- a) Apa itu Nuke Forensik?
- b) Bagaimana cara polisi dilapangan untuk menentukan suatu B.B termasuk kedalam ranah Nuke Forensik?
- c) Untuk penegakan hukum bagaimana kualifikasi personil bagi Nuke Forensik dan personil Nuke Forensik apakah perlu sertifikasi dalam penegakan hukum, misalnya sebagai PPNS?

Jawaban:

- a) Forensik nuklir adalah teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi asal usul bahan nuklir/radioaktif, yaitu dengan menggunakan pendekatan berperingkat, untuk tujuan identifikasi sumber, sejarah dan rute transfer serta pertimbangan preservasi barang bukti.
- b) Dengan mengamati/mengobservasi barang-barang bukti yang ada di TKP, seperti: keberadaan tanda radiasi di bekas bungkusan/paket yang dicurigai, sarung tangan, masker gas, pakaian pelindung, shielding buatan, dsb yang mengarah kepada keberadaan bahan nuklir/sumber radioaktif di TKP.
- c) Penyidikan kasus di Indonesia dilakukan oleh Kepolisian

sesuai amanah UU 2/2002 tentang Kepolisian Negara Republik Indonesia. Dalam upaya mencari dan mengumpulkan bukti dalam proses penyidikan, penyidik diberi kewenangan seperti yang tersirat dalam Pasal 7 ayat (1) huruf h KUHP yang menyatakan bahwa mendatangkan orang ahli yang diperlukan dalam hubungannya dengan pemeriksaan perkara dan Pasal 120 ayat (1) KUHP menyatakan dalam hal penyidik menganggap perlu, ia dapat minta pendapat orang ahli atau orang yang memiliki keahlian khusus. Untuk penyidikan yang melibatkan bahan nuklir/sumber radiasi, Polisi berkoordinasi dengan BAPETEN (melalui MEST/satuan tanggap darurat) dan/atau BATAN (sebagai pengkaji radiologi).

2. **Penanya** : Ainul Ibnu Khotob (UNDIP)

Pertanyaan:

- a) Apakah ada indikator tertentu untuk jenis zat radioaktif maupun nilai/tingkat aktivitas zat radioaktif yang masuk ke kategori kejahatan?
- b) Jika terjadi kejahatan atas kepemilikan zat radioaktif, apakah Indonesia sudah punya pasal pidana? Jika belum ada bagaimana dengan yang internasional?

Jawaban:

- a) Tulisan tidak membahas secara khusus mengenai hal ini, akan tetapi secara umum dapat dijelaskan bahwa peman-

faatan bahan nuklir/sumber radioaktif yang tidak memiliki izin; pemanfaatan yang tidak sesuai dengan izin adalah termasuk dalam kategori kejahatan. Pengecualian izin untuk pemanfaatan bahan nuklir dengan tingkat aktivitas tertentu dijelaskan dalam Peraturan Pemerintah 2/2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir (Ps. 105 & lampirannya). Pengecualian izin untuk pemanfaatan sumber radioaktif dengan tingkat aktivitas tertentu dijelaskan dalam Peraturan Pemerintah 29/2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Peningkatan dan Bahan Nuklir (Ps. 71 & lampirannya).

- b) Ketentuan pidana untuk kejahatan ketenaganukliran diatur dalam Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, Bab VIII tentang Ketentuan Pidana, Ps. 41–44. Untuk ketentuan internasional, *The International Convention for the Suppression of Acts of Nuclear Terrorism* (ICSANT) mengamanahkan setiap negara untuk menetapkan tindakan tertentu terkait tindak pidana bahan radioaktif menurut hukum nasionalnya dan setiap pelanggaran tersebut dihukum dengan hukuman yang sesuai.



Seminar Keselamatan Nuklir 2014
Makalah Penyaji Poster
Bidang Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif

Prosiding
**Seminar
Keselamatan
Nuklir
2014**



Seminar Keselamatan Nuklir 2014
Makalah Penyaji Poster
Bidang Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif

Prosiding
Seminar
Keselamatan
Nuklir
2014

STRATEGI PENYUSUNAN PROGRAM PROTEKSI DAN KESELAMATAN RADIASI DI PUSAT RADIOISOTOP DAN RADIOFARMAKA BERDASARKAN PERKA BAPETEN NOMOR 4 TAHUN 2013 KENDALA DAN ALTERNATIF SOLUSINYA

Rr. Djarwanti RPS, Arif Imam Nugroho, Eko Letariningsih

Pusat Teknologi Radioisotop Dan Radiofarmaka-Gedung 11 Kawasan Nuklir Serpong
email: rrdjarwantirahayups@yahoo.co.id

ABSTRAK

STRATEGI PENYUSUNAN PROGRAM PROTEKSI DAN KESELAMATAN RADIASI DI PUSAT RADIOISOTOP DAN RADIOFARMAKA BERDASARKAN PERKA BAPETEN NOMOR 4 TAHUN 2013, KENDALA DAN ALTERNATIF SOLUSINYA. Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka-Badan Tenaga Nuklir Nasional (PTRR-BATAN), sebagai sebuah institusi yang bergerak dalam bidang pemanfaatan tenaga nuklir khususnya pengembangan teknologi produksi radioisotop, radiofarmaka dan pengembangan siklotron, maka pihak yang bertanggung jawab selaku pemegang izin (PI) berdasarkan Perka BAPETEN N 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir bertanggung jawab atas proteksi dan keselamatan radiasi untuk kegiatan tersebut. Dalam menerapkan Proteksi dan Keselamatan Radiasi, PI harus menyusun, melaksanakan, dan mengembangkan program proteksi dan keselamatan radiasi. Pembuatan program proteksi dan keselamatan radiasi ini harus mengacu pada lampiran II dari Perka BAPETEN 04/2013. Untuk keperluan penyusunan dokumen ini telah dibuat strategi berupa pendalaman Perka BAPETEN 04/2013 khususnya tentang ketentuan penyusunan program proteksi dan keselamatan radiasi, pengumpulan data dan informasi yang dibutuhkan, penyusunan isi tiap bab, review hasil penyusunan dan legalisasi oleh satuan jaminan kualitas. Beberapa kendala yang dihadapi dalam penyusunan dokumen ini telah dipecahkan dengan menerapkan beberapa solusi sehingga penyusunannya bisa sesuai dengan yang ditetapkan di dalam Perka BAPETEN 04/2013.

Kata Kunci: program, proteksi, keselamatan radiasi

ABSTRACT

STRATEGY FOR PROTECTION AND RADIATION SAFETY PROGRAM COMPILATION IN CENTRE FOR RADIOISOTOPES AND RADIOFARMACEUTICAL BASED ON PERKA BAPETEN YEAR NUMBER 4, 2013, PROBLEMS AND SOLUTIONS ANTERNATIF. Radioisotopes And Radiofarmaka Technology Center-the National Nuclear Energy Agency (PTRR-BATAN), as an institution which is engaged in the use of nuclear energy technology development in particular radioisotope production, radiopharmaceutical and development of the cyclotron, the responsible party as licensee (PI) based on the BAPETEN Chairman Regulation (BCR) No. 4 Year 2013 on radiation Protection and safety in Nuclear Power Utilization responsible for radiation protection and safety for these activities. In applying Radiation Protection and Safety, the PI must prepare, implement, and develop radiation protection and safety program. Preparation of radiation protection and safety program should refer to appendix II of BCR 04/2013. For the purposes of this document has been a strategy of deepening the BCR 04/2013, especially on the provision of protection programming and radiation safety, data collection and information required, the preparation of the contents of each chapter, review the results of the preparation and legalization by the quality assurance unit. Some of the obstacles encountered in the preparation of this document has been solved by applying some solution so that the preparation can be specified in accordance with the BCR 04/2013.

Keywords: program, protection, radiation safety

1. PENDAHULUAN

Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka (PRR) merupakan salah satu pusat yang ada di lingkungan Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) yang berdasarkan Peraturan Kepala BATAN Nomor 123/KA/VIII/2007 mempunyai tugas pokok melaksanakan pendayagunaan dan pengembangan teknologi produksi radioisotop dan radiofarmaka [1].

Sebagai sebuah institusi yang bergerak dalam bidang pemanfaatan tenaga nuklir khususnya pengembangan teknologi produksi radioisotop, radiofarmaka dan pengembangan siklotron, maka pihak yang bertanggung jawab selaku pemegang izin (PI) berda-

sarkan Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor (Perka BAPETEN) Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir bertanggung jawab atas proteksi dan keselamatan radiasi untuk kegiatan tersebut [2,3].

Sesuai yang ditetapkan di dalam Perka BAPETEN 04/2013 Pasal 48 dalam menerapkan proteksi dan keselamatan radiasi, PI harus menyusun, melaksanakan, dan mengembangkan program proteksi dan keselamatan radiasi. Penyusunan program proteksi dan keselamatan radiasi ini harus didasarkan pada evaluasi radiologik dan kajian keselamatan [2,3].

Oleh karena itu untuk bisa menyusun program proteksi dan keselamatan radiasi, maka PI harus mengacu pada lampiran II dari Perka BAPETEN 04/2013 [2,3].

Tulisan ini akan memberikan uraian tentang strategi penyusunan program proteksi dan keselamatan radiasi di PRR BATAN, kendala yang dihadapi serta alternatif solusinya.

2. METODOLOGI

Bahan-bahan yang digunakan dalam penyusunan tulisan tentang program proteksi dan keselamatan radiasi untuk PRR BATAN ini adalah Peraturan Pemerintah (PP) No. 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif, Perka BAPETEN 04/2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir, Perka BATAN 14/2013 tentang Organisasi dan Tata Kerja BATAN, Perka BAPETEN 01/2010 tentang Kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir, PP 54/2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir, data dan informasi baik yang terkait dengan pengendalian daerah kerja maupun personil serta data dan informasi terkait dengan pengembangan radioisotop dan radiofarmaka [1,2,3,4,5].

Metode yang digunakan dalam penyusunan program proteksi dan keselamatan radiasi untuk PRR BATAN ini adalah:

1. Inventarisasi dan pembahasan strategi yang akan digunakan dalam penyusunan.
2. Inventarisasi dan pembahasan permasalahan yang muncul pada saat penyusunan.
3. Inventarisasi dan pembahasan alternatif solusi yang dibutuhkan untuk memecahkan masalah yang ada.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Strategi Penyusunan

Penyusunan program proteksi dan keselamatan radiasi PRR BATAN dilakukan berdasarkan Lampiran II Perka BAPETEN 04/2013 bukan perkara yang mudah. Oleh karena itu diperlukan strategi dalam penyusunannya. Strategi yang digunakan oleh PI dalam menyusun dokumen ini adalah: pendalaman Perka BAPETEN 04/2013 khususnya tentang ketentuan penyusunan program proteksi dan keselamatan radiasi, pengumpulan data dan informasi yang dibutuhkan, penyusunan isi tiap bab, reviu hasil penyusunan dan legalisasi oleh satuan jaminan kualitas.

3.1.1. Pendalaman Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2013.

Sebelum menyusun dokumen program proteksi dan keselamatan radiasi PRR BATAN, terlebih dahulu harus dilakukan pendalaman terhadap Perka BAPETEN 04/2013 khususnya ketentuan penyusunan dokumen yang ditetapkan di dalam pasal 48 sampai pasal 52 serta lampiran II Perka BAPETEN tersebut.

Dari hasil pendalaman ini maka dapat disusun dokumen program proteksi dan keselamatan radiasi sebagaimana yang diatur di dalam Perka BAPETEN 04/2013.

3.1.2. Pengumpulan Data dan Informasi yang Dibutuhkan

Sebelum menyusun dokumen program proteksi dan keselamatan radiasi PRR BATAN, berdasarkan Perka BAPETEN 04/2013, maka terlebih dahulu dikumpulkan beberapa data dan informasi yang dibutuhkan yaitu [2]:

1. Data dan informasi yang terkait dengan latar belakang, tujuan dan ruang lingkup dokumen program proteksi dan keselamatan radiasi untuk PRR BATAN.
2. Data dan informasi yang terkait dengan penyelenggara proteksi dan keselamatan radiasi di PRR BATAN.

3. Data dan informasi yang terkait dengan deskripsi fasilitas, deskripsi pembagian daerah kerja dan deskripsi perlengkapan proteksi radiasi yang ada di PRR BATAN.
4. Data dan informasi yang terkait dengan proteksi dan keselamatan radiasi di PRR BATAN yang mana di dalamnya mencakup data dan informasi yang dibutuhkan untuk: penetapan pembatas dosis, penyusunan prosedur proteksi dan keselamatan radiasi dalam operasi normal (prosedur pengoperasian peralatan, pembatasan akses pada daerah kerja, pemantauan paparan radiasi dan/atau kontaminasi radioaktif di daerah kerja, pemantauan radioaktivitas lingkungan di luar fasilitas, pemantauan dosis yang diterima pekerja radiasi dan pemantauan kesehatan bagi pekerja radiasi) dan rencana penanggulangan keadaan darurat.

3.1.3. Penyusunan Isi Tiap Bab

Berdasarkan data dan informasi yang sudah terkumpul, selanjutnya dilakukan penyusunan isi tiap bab dari dokumen program proteksi dan keselamatan radiasi sebagaimana diuraikan di dalam pasal 52 dan lampiran II Perka BAPETEN 04/2013 [2].

Isi bab dari program proteksi dan keselamatan radiasi sebagaimana ditetapkan di dalam lampiran II Perka BAPETEN 04/2013 adalah [2]:

1. Bab I Pendahuluan.
2. Bab II Penyelenggara Proteksi dan Keselamatan Radiasi.
3. Bab III Deskripsi Fasilitas.
4. Bab IV Proteksi dan Keselamatan Radiasi.
5. Bab V Rekaman Dan Laporan.

3.1.4. Review Hasil Penyusunan

Setiap bab yang telah selesai dibuat, untuk memastikan kelengkapan dan kebenaran isinya sesuai yang ditetapkan di dalam lampiran II Perka BAPETEN 04/2013 terlebih dahulu dilakukan review oleh Kepala Subbidang Pengendalian Personil dan dibantu oleh staf Bidang Keselamatan PRR BATAN.

Bab yang sudah direview disimpan dan diberi kode "SUDAH DIREVIEW" untuk selanjutnya digabung sehingga menjadi sebuah dokumen Program Proteksi dan Keselamatan Radiasi PRR BATAN yang lengkap.

3.1.5. Legalisasi oleh Satuan Jaminan Kualitas

Dokumen Program Proteksi Dan Keselamatan Radiasi PRR BATAN yang sudah direview dan lengkap selanjutnya oleh Bidang Keselamatan disampaikan kepada Satuan Jaminan Kualitas PRR BATAN untuk disahkan menjadi sebuah dokumen resmi yang siap untuk dikirim ke BAPETEN sebagai salah satu persyaratan pengajuan izin pemanfaatan zat radioaktif dan/atau sumber radiasi.

3.2. Kendala yang Dihadapi

Dalam penyusunan dokumen program proteksi dan keselamatan radiasi PRR BATAN ini ada beberapa kendala yang dihadapi, yaitu:

1. Kendala penyusunan Bab II terutama pada bagian Program Jaminan Mutu Proteksi dan Keselamatan Radiasi yang berisi antara lain prosedur kaji ulang dan audit pelaksanaan program proteksi dan keselamatan radiasi secara berkala.
2. Kendala dalam penyusunan Bab III yaitu penyesuaian deskripsi pembagian daerah kerja sehingga cukup memakan waktu. Semula pembagian daerah kerja di PRR BATAN disesuaikan dengan Surat Keputusan Kepala BAPETEN No. 01/Ka-BAPETEN/V-1999 tentang Ketentuan Keselamatan Kerja dengan Radiasi kemudian harus diganti sesuai ditetapkan di dalam pasal 26 sampai 29 Perka BAPETEN 04/2013.
3. Sehubungan didalam Perka BAPETEN 04/2013 tidak dijelaskan variabel apa saja yang harus diperhatikan dalam penetapan nilai pembatas dosis dan metode apa yang digunakan, maka

dalam penyusunan Bab IV.1 relatif memakan waktu yang cukup lama.

4. Bab IV.3. tentang rencana penanggulangan keadaan darurat. Rencana penanggulangan keadaan darurat yang ada di PRR BATAN dibuat dengan mengacu pada Perka BAPETEN 01/2010 tentang kesiapsiagaan dan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir. Namun karena telah berlakunya PP 54/2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir, maka perlu disesuaikan sehingga memakan waktu yang cukup lama.

3.3. Alternatif Solusi

Untuk memecahkan kendala yang dihadapi dalam penyusunan dokumen program proteksi dan keselamatan radiasi PRR BATAN, ada beberapa alternatif solusi yang bisa diterapkan, yaitu [2,3,4,5]:

1. Program jaminan mutu PRR berisi gabungan semua jaminan mutu baik manajemen maupun teknis, sehingga pada penyusunan bagian ini hanya diambil bagian yang sesuai dengan uraian pada Lampiran II Perka BAPETEN 04/2013 untuk uraian jaminan mutu proteksi radiasi khususnya tentang prosedur kaji ulang dan audit pelaksanaan program proteksi dan keselamatan radiasi secara berkala. Sehingga tidak semua uraian jaminan mutu keselamatan radiasi PRR dicantumkan dalam bagian ini.
2. Pembagian daerah kerja di PRR BATAN telah dibuat berdasarkan pada Pasal 26–29 Perka BAPETEN 04/2013.
3. Dalam penetapan nilai pembatas dosis telah dikaji beberapa variabel yang dibutuhkan yaitu jumlah dan distribusi pekerja radiasi, potensi bahaya, beban kerja yang dijalani pekerja radiasi dan riwayat penerimaan dosis personil.
4. Rencana penanggulangan keadaan darurat di PRR–BATAN telah disempurnakan dengan memperhatikan PP 54/2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir khususnya pasal 74 sampai pasal 85.

4. KESIMPULAN

Dari uraian tersebut di atas dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dalam penyusunan dokumen program proteksi dan keselamatan radiasi PRR BATAN telah digunakan strategi dalam bentuk: pendalaman Perka BAPETEN 04/2013 khususnya tentang ketentuan penyusunan program proteksi dan keselamatan ra-

diasi, pengumpulan data dan informasi yang dibutuhkan, penyusunan isi tiap bab, review hasil penyusunan dan legalisasi oleh satuan jaminan kualitas.

2. Ada beberapa kendala yang dihadapi dalam penyusunan dokumen program proteksi dan keselamatan radiasi PRR BATAN khususnya dalam penyusunan Bab III tentang penyesuaian deskripsi pembagian daerah kerja, Bab IV.1. tentang pembatas dosis dan Bab IV.3. tentang rencana penanggulangan keadaan darurat.
3. Untuk memecahkan kendala yang dihadapi, telah diterapkan beberapa solusi yaitu: uraian jaminan mutu proteksi radiasi khususnya tentang prosedur kaji ulang dan audit pelaksanaan program proteksi dan keselamatan radiasi secara berkala diambil dari program jaminan mutu PRR BATAN, pembagian daerah kerja di PRR BATAN telah dibuat berdasarkan pada pasal 26–29 Perka BAPETEN 04/2013, penetapan nilai pembatas dosis dibuat dengan memperhatikan variabel-variabel jumlah dan distribusi pekerja radiasi, potensi bahaya, beban kerja yang dijalani pekerja radiasi dan riwayat penerimaan dosis personil.
4. Rencana penanggulangan keadaan darurat di PRR–BATAN telah disempurnakan dengan memperhatikan Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] **BATAN**, (2103); “Peraturan Kepala BATAN Nomor 14 Tahun 2013 tentang Organisasi Dan Tata Kerja BATAN”; Jakarta.
- [2] **Sekretariat Negara**, (2007); “Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007 Tentang Keselamatan Radiasi Pengion Dan Keamanan Sumber Radioaktif”; Jakarta.
- [3] **BAPETEN**, (2013); “Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi Dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir”; Jakarta.
- [4] **BAPETEN**, (2013); “Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 01 Tahun 2010 tentang Kesiapsiagaan Dan Penanggulangan Kedaruratan Nuklir”; Jakarta.
- [5] **Sekretariat Negara**, (2013); Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang “Keselamatan Dan Keamanan Instalasi Nuklir”; Jakarta.

TANYA JAWAB DAN DISKUSI

1. **Penanya** : Drs. Suhaedi M (BATAN)

Pertanyaan:

- a) Dalam penyusunan program proteksi dan keselamatan radiasi ini apakah sudah memasukkan kajian keselamatan dan evaluasi radiologik yang ada di PRR-BATAN?

Jawaban:

Belum dimasukkan, hal ini masuk dalam laporan verifikasi keselamatan.



Seminar Keselamatan Nuklir 2014

Makalah Penyaji Poster

Bidang Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif

Prosiding
Seminar
Keselamatan
Nuklir
2014

ANALISIS TINGKAT RADIOAKTIVITAS UDARA DI STTN-BATAN YOGYAKARTA

Zainal Abidin

STTN- BATAN
Zaenala6@gmail.com

ABSTRAK

ANALISIS TINGKAT RADIOAKTIVITAS UDARA DI STTN-BATAN YOGYAKARTA. Telah dilakukan analisis dan perhitungan tingkat radioaktivitas udara di STTN-BATAN Yogyakarta dengan menggunakan metode gross yaitu radionuklida yang terukur merupakan campuran dari seluruh radionuklida dalam cuplikan. Cuplikan penelitian adalah udara yang diambil dari 10 titik lokasi di STTN-BATAN Yogyakarta sebanyak 3 kali pada masing-masing lokasi. Hasil penelitian untuk radioaktivitas gross alfa diperoleh nilai antara (0,114–0,379) Bq/m³ dengan nilai radioaktivitas tertinggi yaitu di Laboratorium Aktif sebesar 0,379 Bq/m³. Sedangkan untuk radioaktivitas gross beta diperoleh nilai antara (0,158–2,748) Bq/m³ dengan nilai radioaktivitas tertinggi yaitu di Laboratorium Kimia Dasar sebesar 2,748 Bq/m³. Hasil ini masih di bawah nilai MPC (*Maximum Permissible Concentration*) di ruangan kerja Instalasi Radiometalurgi (IRM) untuk pekerja radiasai sesuai Dokumen Laporan Analisis Keselamatan (LAK) IRM Revisi 6 tahun 2006 yaitu tidak boleh melampaui masing-masing 20 Bq/m³ dan 200 Bq/m³ untuk radioaktivitas alfa dan beta.

Katakunci: cuplikan, radioaktivitas, metode gross, alfa, beta.

ABSTRACT

ANALYSIS OF AIR RADIOACTIVITY LEVEL IN THE STTN-BATAN YOGYAKARTA. Measurements have been conducted for air radioactivity levels in the STTN-BATAN Yogyakarta through gross method. Air samples from several areas in the STTN-BATAN Yogyakarta were taken, i.e. 10 different locations, for three times in each locations. The results for gross alpha radioactivity measurements are (0.114–0.379) Bq/m³ with the highest concentration in Active Laboratory of 0.379 Bq/m³. The results for gross beta radioactivity measurements are 0.158–2.748 Bq/m³ with the highest concentration in Active Laboratory of 2.748 Bq/m³. These results are below MPC (*Maximum Permissible Concentration*) values for working areas of Radiometallurgy Installation (IRM) as given in Radiometallurgy Installation Safety Analysis Report revision 6 in 2006 which mentioned that the α and β radioactivity concentrations in working areas do not exceed 20 Bq/m³ and 200 Bq/m³.

Keywords: sample, radioactivity, gross method, alpha, beta.

1. PENDAHULUAN

Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir (STTN) adalah Perguruan Tinggi di bawah BATAN yang menyelenggarakan pendidikan keahlian di bidang teknologi nuklir program Diploma-IV dan lokasinya bersebelahan dengan reaktor Kartini, sehingga erat sekali kaitannya dengan zat radioaktif baik dalam praktikum maupun penelitian. Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, Pasal 16 ayat 1 berbunyi: Setiap kegiatan yang berkaitan dengan pemanfaatan tenaga nuklir wajib memperhatikan keselamatan, keamanan dan ketentraman, kesehatan pekerja dan anggota masyarakat, serta perlindungan terhadap lingkungan hidup [1].

Mengingat STTN yang letaknya di kawasan instalasi nuklir PSTA-BATAN Yogyakarta maka lepasnya zat radioaktif ke lingkungan perlu diawasi secara rutin untuk mengetahui perubahan tingkat radioaktivitas ke lingkungan sesuai aturan yang ada. Hal ini penting untuk diketahui dalam kaitannya dengan pengoperasian suatu reaktor nuklir beserta laboratorium-laboratorium penunjangnya. Pengaruh zat radioaktif terhadap lingkungan perlu diteliti dan diawasi secara berkala dengan cara melakukan pemantauan radioaktivitas lingkungan yang berkaitan dengan radioaktivitas gross alfa dan beta [1].

1.1. Radioaktivitas Lingkungan

Radioaktivitas lingkungan adalah ilmu yang menganalisis radiasi di lingkungan sekitar kita, baik yang berasal dari kegiatan instalasi nuklir maupun yang berasal dari kegiatan non nuklir. Radioaktivitas lingkungan menurut asalnya ada 2 macam [2], yaitu : radioaktivitas alam dan radioaktivitas buatan

1.2. Radioaktivitas Alam

Radioaktivitas alam adalah radiasi yang tidak di buat oleh manusia dan sudah ada sejak terbentuknya bumi (alam semesta ini). Radioaktivitas alam ini dapat berasal dari dalam bumi dan dari luar bumi yaitu:

1.2.1. Radiasi dari Nuklida Primordial [2,3,4]

Radiasi primordial adalah radiasi alam yang berasal dari dalam bumi. Jenis radiasi ini sering juga disebut dengan radiasi terestrial. Radiasi primordial sudah ada sejak bumi dan alam semesta dibentuk. Radiasi ini berasal dari mineral-mineral yang ada dalam batu-batuan dan dari dalam tanah. Radionuklida primordial antara lain sederetan nuklida hasil peluruhan alam yang terdiri atas sumber radioaktif yang berasal dari kerak bumi seperti ⁴⁰K dengan waktu paruh 1,27×10⁹ tahun, ⁸⁷Rb 47,5×10⁹ tahun, deret ²³⁵U 5,51×10⁹ tahun, dan deret ²³²Th dengan waktu paruh 139×10¹⁰ tahun.

1.2.2. Radiasi Sinar Kosmis [2,3,4]

Radiasi sinar kosmis adalah berasal dari luar atmosfer bumi, yaitu dari energi yang dipancarkan oleh bintang-bintang yang ada di tata surya, termasuk radiasi yang berasal dari matahari. Radiasi sinar kosmis masuk ke bumi dalam berbagai bentuk dari partikel cepat berenergi tinggi hingga foton berenergi tinggi. Atmosfer bumi berinteraksi dengan sinar kosmis dan menghasilkan nuklida radioaktif. Radionuklida yang menembus atmosfer dan masuk ke bumi memiliki waktu paruh yang cukup lama, tetapi umumnya lebih pendek dari pada waktu paruh radionuklida primordial. Beberapa contoh radionuklida kosmis antara lain : ^3H , ^{14}C , ^7Be .

1.3. Radioaktivitas Buatan

Radioaktivitas buatan timbul karena dibuat manusia, antara lain yang berasal dari hasil pembelahan (fisi), reaksi inti, dan debu-debu radioaktif dari hasil ledakan bom nuklir. Bahan-bahan radioaktivitas ini yang akan menambah tingkat radioaktivitas lingkungan. Radiasi buatan dapat diperoleh dari penembakan/reaksi inti terhadap suatu atom (unsur) yang tidak radioaktif menjadi radioaktif. Sumber radiasi buatan manusia yaitu berupa produk-produk atau alat-alat yang dibuat dan digunakan oleh manusia seperti radiasi dari alat-alat kesehatan dan dari tenaga atau bom nuklir.

1.4. Efek Radiasi

Ditinjau dari ada tidaknya batas ambang dosis, efek biologi radiasi dibagi menjadi efek stokastik dan efek non stokastik (efek deterministik). Efek stokastik adalah efek yang dapat terjadi tanpa ada ambang batas dosis dan kejadiannya didasarkan pada peluang yang dapat dialami oleh mereka yang mengalami penyinaran. Kanker dan efek herediter diklasifikasikan ke dalam kategori efek stokastik. Efek deterministik terjadi bila dosis yang diterima melewati batas ambang dosis tertentu dan bersifat khas untuk bagian jaringan tertentu, misalnya katarak untuk lensa mata, kerusakan non-malignan untuk kulit, penghambatan produksi sel pada sungsum tulang yang mengakibatkan kelainan hematologi dan kerusakan pada sel gonad yang dapat menyebabkan kemandulan [2,3].

1.5. Upaya Proteksi Radiasi

Kegiatan yang dapat mengurangi penerimaan dosis radiasi total dengan cara mempengaruhi bentuk jalinan proses penyebaran radiasi yang ada disebut sebagai upaya keselamatan radiasi atau upaya proteksi radiasi. Proteksi radiasi terdiri atas proteksi radiasi eksternal dan proteksi radiasi internal. Proteksi radiasi eksternal bisa dilakukan dengan memperhatikan faktor waktu kerja, faktor jarak terhadap sumber dan faktor penahan radiasi. Sedangkan proteksi radiasi internal bisa dilakukan dengan cara [2,5]:

1. Mencegah tersebarnya zat radioaktif pada sumber yaitu dengan cara mewadahnya atau mengungkungnya.
2. Pengawasan terhadap lingkungan dengan cara pemantauan ventilasi dan kebersihan tempat kerja.
3. Pengawasan terhadap pekerja yaitu dengan menyediakan pelindung, seperti sarung tangan, penutup sepatu dan pelindung pernafasan.

1.6. Detektor Geiger Muller

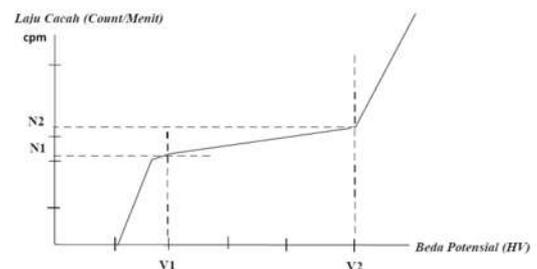
Detektor Geiger Muller terdiri dari tabung yang diisi dengan campuran gas, 98% helium dan 1,3% butana. Biasanya berbentuk silinder berperan sebagai katoda dan kawat halus ditengah yang berperan sebagai anoda. Pencacah Geiger Muller digunakan untuk mencacah radiasi beta. Prinsip kerja dari detektor Geiger Muller adalah ionisasi gas. Jika cuplikan yang mengandung unsur radioaktif didekatkan dengan detektor Geiger Muller maka gas dalam tabung akan terionisasi. Ionisasi yang terjadi menyebabkan detektor Geiger Muller menghasilkan pulsa atau cacah. Bila tegangan listrik dalam sistem ionisasi dinaikkan maka penguatan gas tetap

berlanjut dan begitu besar sehingga satu partikel pengion memproduksi pelipatgandaan ionisasi yang menghasilkan arus pulsa yang sangat besar. Detektor ini tidak dapat membedakan tipe radiasi ataupun energi radiasi [6,7].

Pada detektor GM, jika tegangan dioperasikan dari nol sampai tegangan yang tinggi dan hasil cacahnya ditunjukkan pada **Gambar 1** maka akan ada bagian datar yang disebut daerah *plateau*. Pada daerah *plateau* jika ada perubahan tegangan, hasil cacahan tidak berubah secara signifikan. Tegangan kerja saat timbulnya cacah disebut *starting voltage*. Bila V_1 adalah tegangan mulainya *plateau*, V_2 adalah tegangan batas dari *plateau*.

Tegangan kerja (HV) detektor GM dipilih pada daerah *plateau* atau tepatnya pada $\frac{1}{3}$ lebar *plateau* [7]. Sehingga tegangan kerja detektor GM dapat dihitung menggunakan persamaan (1):

(1)



Gambar 1: Kurva *plateau* detektor GM [7]

Efisiensi detektor menunjukkan korelasi antara nilai cacah yang ditunjukkan sistem pencacah tersebut dengan aktivitas sumber sebenarnya. Efisiensi dihitung dengan persamaan (2).

$$E = \frac{\bar{C}_n}{A \times P} \times 100\% \quad (2)$$

dengan:

- E = Efisiensi detektor (%)
- \bar{C}_n = Rerata laju cacah netto (cps)
- A = Aktivitas sumber sebenarnya (Bq)
- P = Probabilitas pemancar radiasi

Sedangkan untuk mengetahui apakah sistem pencacahan detektor dalam kondisi optimum perlu diuji kestabilannya dengan metode chi kuadrat, yaitu membandingkan data yang teramati dengan data teoritis. Nilai chi kuadratnya dapat dihitung dengan persamaan (3) [7].

$$\chi^2 = \frac{1}{\bar{C}_n} \sum_{i=1}^n (C_s - \bar{C}_n)^2 \quad (3)$$

dengan:

- χ^2 = Chi kuadrat
- n = Jumlah pengukuran
- C_s = Cacah sampel (cps)
- C_n = Cacah netto (cps)
- \bar{C}_n = Rerata cacah netto (cps)

1.7. Spektrometer Alfa

Spektrometer alfa adalah suatu alat untuk menganalisis cuplikan sumber radioaktif pemancar alfa berdasarkan pengukuran dari intensitas zarah radiasi alfa yang dipancarkan oleh cuplikan tersebut. Intensitas radiasi alfa yang terukur dipakai sebagai dasar analisis kuantitatif. Cara ini banyak digunakan dalam penentuan radionuklida dalam deret aktinida (^{235}U , ^{238}Th , ^{238}U , dll). Untuk perhitungan efisiensi dan juga kestabilan dari sistem pencacah Alfa Spektrometer menggunakan persamaan (2) dan (3).

1.8. Analisis Data

Perhitungan radioaktivitas udara diperoleh dengan menggunakan persamaan (4) [3,4,7].

$$KRU = \frac{C \times A}{Q \times T \times E} \text{ Bq/m}^3 \quad (4)$$

dengan;

- KRU = Konsentrasi radioaktivitas udara (Bq/m³)
 C = Cacah per sekon (cps)
 A = Faktor luasan yaitu luas filter total dibagi luas filter yang dicacah
 Q = Debit pompa hisap (m³/menit)
 T = Waktu hisapan (menit)
 E = Efisiensi alat cacah (%)

2. METODE

2.1. Pengujian detektor Geiger Muller (GM)

Pengujian detektor GM dilakukan untuk menentukan tegangan kerja, efisiensi dan kestabilan sistem pencacah.

2.2. Penentuan Tegangan Kerja (HV) Detektor GM

Penentuan tegangan kerja detektor GM dilakukan dengan memvariasi tegangan pencacahan menggunakan sumber standar ⁹⁰Sr selama 30 detik. Variasi tegangan dimulai dari tegangan di mana mulai timbul hasil cacahan atau starting voltage sampai tegangan maksimum dari detektor GM tersebut. Tegangan kerja (HV) detektor GM dipilih pada daerah *plateau* atau tepatnya pada 1/3 lebar *plateau*. Sehingga tegangan kerja detektor GM dapat dihitung menggunakan persamaan (1).

2.3. Penentuan Efisiensi dan Kestabilan Detektor GM

Penentuan efisiensi dan kestabilan detektor GM dilakukan dengan melakukan pencacahan sumber standar ⁹⁰Sr sebanyak 10 kali selama 30 detik, dicacah latar belakangnya dan juga sumber standarnya pada tegangan kerja 960 Volt. Untuk perhitungan efisiensi dan juga kestabilan dari sistem pencacahnya menggunakan persamaan (2) dan (3).

Sumber standar yang digunakan adalah: ⁹⁰Sr 0,1 µCi, waktu paruh 28,8 tahun, tanggal produksi 01 November 2011, tanggal pengujian 29 Maret 2012

2.4. Pengujian Spektrometer Alfa

Untuk Spektrometer Alfa hanya dilakukan penentuan efisiensi dan juga kestabilan dari sistem pencacahnya. Sedangkan untuk tegangan kerjanya tidak kita cari lagi melainkan sudah ditentukan sendiri oleh pabriknya yang tertulis di *manual book* nya yaitu sebesar 40 volt [7].

2.5. Penentuan Efisiensi dan Kestabilan Spektrometer Alfa

Efisiensi dan kestabilan spektrometer Alfa dihitung dengan persamaan (2) dan (3), yaitu dengan mencacah sumber standar ²¹⁰Po sebanyak 10 kali selama 60 detik, dicacah latar belakangnya dan juga sumber standarnya pada tegangan kerja 40 Volt.

Sumber standar adalah ²¹⁰Po 0,1 µCi, waktu paruh 138,4 hari, tanggal produksi: 1 November 2011, dipakai tanggal 29 Maret 2012.

2.6. Preparasi Cuplikan Radioaktivitas Gross Alfa dan Beta

Setelah dilakukan pengambilan cuplikan, filter dimasukkan ke dalam amplop untuk selanjutnya dibawa keruang pencacahan. Kertas filter kemudian dipotong hingga mempunyai diameter 45 mm untuk selanjutnya dilakukan proses pencacahan

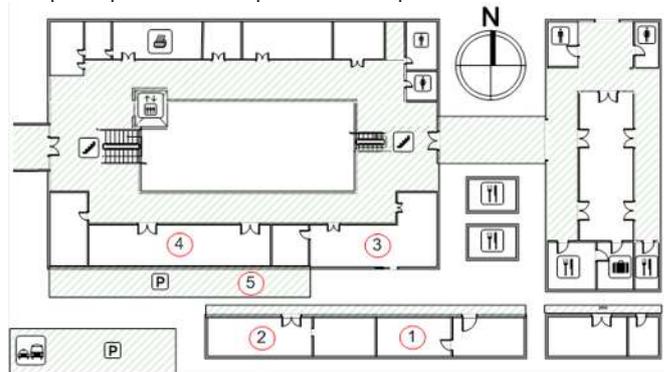
2.7. Pencacahan Cuplikan untuk Radioaktivitas Gross Alfa Menggunakan Spektrometer Alfa

Sebelum digunakan, terlebih dahulu dilakukan pemanasan alat Spektrometer Alfa selama ±0,5 jam. Cuplikan diletakkan pada

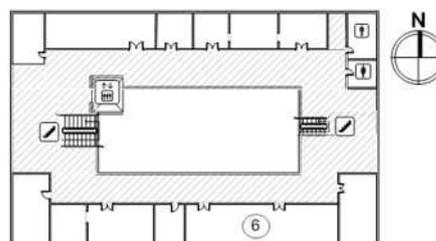
jarak 1 cm dari detektor, kemudian divakumkan selama ±2 menit yang ditandai dengan bunyi pompa yang stabil dan tegangan kerja telah mencapai 40 V, lalu lakukan pengaturan waktu pencacahan pada program kerja MCA.

2.8. Lokasi Sampling

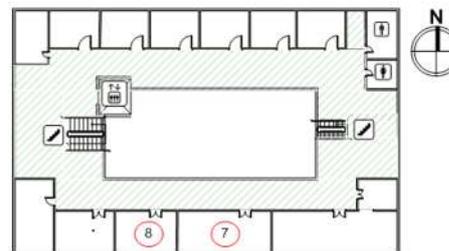
Sampel/cuplikan diambil pada 10 titik seperti **Gambar 2**.



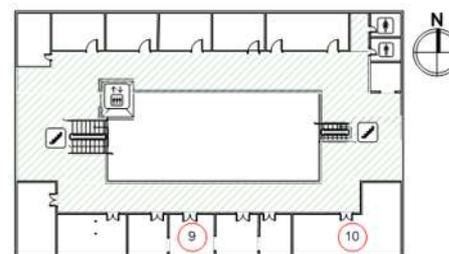
Lantai 1



Lantai 2



Lantai 3



Lantai 4

Gambar 2: Denah lokasi

Keterangan:

1. Lab Radiografi Industri
2. Lab Aktif
3. Lab Bengkel Mekanik
4. Lab Kimia Dasar
5. Parkir Selatan
6. Lab Operasi Teknik Kimia dan Proses
7. Lab Fisika Dasar
8. Lab Kimia Analisis
9. Lab Listrik Arus Kuat
10. Lab Gambar Teknik

2.9. Pencacahan Cuplikan untuk Radioaktivitas Gross Beta Menggunakan Detektor Geiger Muller

Untuk mengetahui kandungan radioaktivitas gross β , setelah dilakukan pengambilan cuplikan maka filter dikeluarkan kemudian dicacah dengan waktu tunda selama 3 menit untuk membawa kertas filter dari lokasi sampling ke ruang pencacahan di laboratorium instrumentasi nuklir. Kertas filter yang sudah dipotong kemudian dicacah menggunakan detektor Geiger Muller. Dari hasil pencacahan dapat diketahui kandungan cacah radioaktivitas gross β .

Tabel 2: Data penentuan efisiensi dan kestabilan detektor GM.

No.	Cs	Cb	Cn	$C_s - \bar{C}_n$	$(C_s - \bar{C}_n)$
1.	17310	21	17289	52,8	2787,84
2.	17181	21	17160	-76,2	5806,44
3.	17393	19	17374	137,8	18988,84
4.	17293	17	17276	39,8	1584,04
5.	17180	24	17156	-80,2	6432,04
6.	17362	19	17343	106,8	11406,24
7.	17337	21	17316	79,8	6368,04
8.	17246	21	17225	-11,2	125,44
9.	17148	29	17119	-117,2	13735,84
10.	17119	15	17104	-132,2	17476,84
Jumlah					84711,6
Rerata	17256,9	20,7	17236,2		8471,16

dengan:

- Cs = Cacah sampel (cacah/30 detik)
 Cb = Cacah background (cacah/30 detik)
 Cn = Cacah netto (cacah/30 detik)
 $C_s - \bar{C}_n$ = Rerata cacah netto (cacah/30 detik)

Tabel 3: Data penentuan efisiensi dan kestabilan Spektrometer Alfa.

No.	Cs	Cb	Cn	$C_s - \bar{C}_n$	$(C_s - \bar{C}_n)$
1.	15212	0	15212	4,2	17,64
2.	15052	2	15050	-157,8	24900,84
3.	15374	1	15373	165,2	27291,04
4.	15188	1	15187	-20,8	432,64
5.	15161	1	15160	-47,8	2284,84
6.	15368	1	15367	159,2	25344,64
7.	15229	0	15229	21,2	449,44
8.	15242	0	15242	34,2	1169,64
9.	15156	2	15154	-53,8	2894,44
10.	15105	1	15104	-103,8	10774,44
Jumlah					95559,6
Rerata	15208,7	0,9	15207,8		9555,96

dengan:

- Cs = Cacah sampel (cacah/60 detik)
 Cb = Cacah background (cacah/60 detik)
 Cn = Cacah netto (cacah/60 detik)
 $C_s - \bar{C}_n$ = Rerata cacah netto (cacah/60 detik)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Penentuan Efisiensi dan Kestabilan Detektor Geiger Muller

Dari **Tabel 1** diperoleh aktivitas sumber pada saat pengukuran adalah 3663 Bq, sedangkan efisiensi (E) detektor GM adalah: 15,68%, dan $X_2 = 4,91$. Untuk pengujian dengan melakukan 10 kali pengukur-

an (N = 10), sistem pencacah GM disimpulkan masih dalam kondisi stabil karena nilai chi kuadratnya berkisar antara 3,33 sampai 16,9.

3.2. Penentuan Efisiensi dan Kestabilan Spektrometer Alfa

Dari data **Tabel 2** diperoleh aktivitas sumber sebenarnya 1747,51 Bq, efisiensi (E) dari Spektrometer Alfa 14,5%, $X_2 = 6,28$. Untuk pengujian dengan melakukan 10 kali pengukuran (N = 10), sistem pencacah GM disimpulkan masih dalam kondisi stabil karena nilai chi kuadratnya berkisar antara 3,33 sampai 16,9.

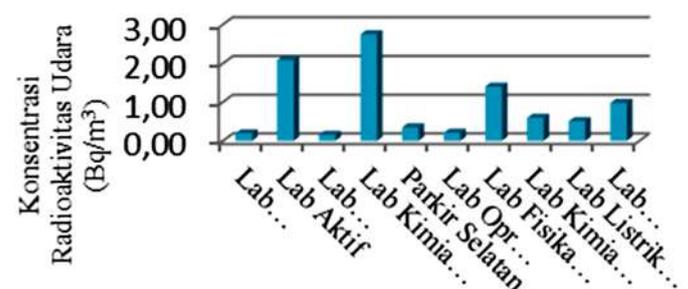
3.3. Perhitungan Tingkat Konsentrasi Radioaktivitas Udara (KRU)

Salah satu komponen yang diukur dalam pemantauan radioaktivitas lingkungan adalah konsentrasi radioaktivitas udara (KRU). Zat radioaktif yang terkandung di udara lingkungan adalah produk peluruhan Radon (^{222}Rn) dan Thoron (^{220}Rn). Radon dan Thoron merupakan turunan dari zat-zat radioaktif alamiah Uranium dan Thorium yang terkandung dalam kerak bumi sejak bumi ini tercipta. Zat radioaktif ini berbentuk gas, maka cenderung untuk mendifusi ke atas melalui permukaan bumi sehingga berada di udara. Selanjutnya, hasil-hasil jenis peluruhan kedua jenis gas ini terikat pada debu udara yang dinamakan partikulat. Partikulat inilah yang diambil sebagai contoh udara.

Pengukuran tingkat konsentrasi partikulat radioaktif di udara dilakukan dengan mengumpulkan sampel udara pada kertas filter Whatman 40 dengan menggunakan *Low Volume Air Sampler* (LVAS). Kemudian tingkat radioaktivitasnya diukur menggunakan detector alfa dan beta. Pencacahan sampel dilakukan dengan menggunakan detektor Geiger Muller SPECTECH ST360 Counter untuk radioaktivitas beta dengan efisiensi sebesar 15,68%. Sedangkan untuk radioaktivitas alfa menggunakan Spektrometer Alfa ORTEC Model 7401 dengan efisiensi sebesar 14,5%. Nilai efisiensi tersebut berarti bahwa hanya sebesar 15,68% dan 14,5% dari aktivitas sampel tersebut yang bisa terdeteksi oleh alat pencacah ini.

Pengukuran dilakukan pada jam kerja yaitu antara jam 09.00 sampai 16.00 dengan setiap titik dilakukan 3 kali pengukuran pada hari yang berbeda. Pengukuran radioaktivitas gross dilakukan secara kuantitatif dengan tidak membedakan berasal dari radionuklida mana radioaktivitas yang tercacah. Dengan demikian maka radioaktivitas yang terukur adalah semua radioaktivitas dari campuran radionuklida dalam cuplikan. Besar radioaktivitas gross dihitung menggunakan persamaan (4) dan data hasil pengukuran radioaktivitas gross beta dan gross alfa di STTN-BATAN Yogyakarta ditampilkan pada **Tabel 3**.

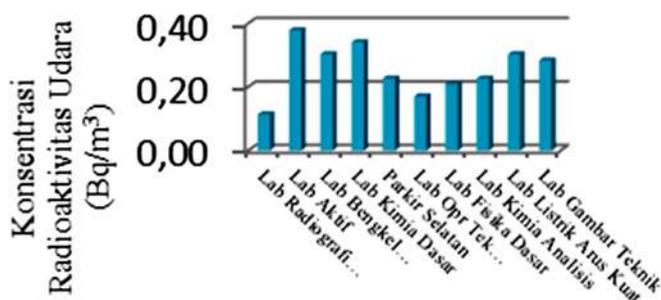
Dari **Tabel 4** menunjukkan hasil pengukuran radioaktivitas gross beta dan gross alfa di STTN tidak ada yang melebihi 200 Bq/m³ untuk radioaktivitas beta dan 20 Bq/m³ untuk radioaktivitas alfa. Hasil ini masih di bawah nilai MPC (*Maximum Permissible Concentration*) di ruangan kerja Instalasi Radiometalurgi (IRM) untuk pekerja radiasai sesuai Dokumen Laporan Analisis Keselamatan (LAK) IRM Revisi 6 tahun 2006 yaitu tidak boleh melampaui 20 Bq/m³ dan 200 Bq/m³ untuk radioaktivitas α dan β berturut-turut. [9]



Gambar 3: Hasil pengukuran KRU gross beta

Tabel 4: hasil perhitungan KRU gross beta dan gross alfa.

No.	Lokasi Sampling	Gross Beta		Gross Alfa	
		Cacah Netto (cps)	KRU (Bq/m ³)	Cacah Netto (cps)	KRU (Bq/m ³)
1.	Lab Radiografi Industri	0,011	0,193	0,006	0,114
2.	Lab Aktif	0,119	2,083	0,020	0,379
3.	Lab Bengkel Mekanik	0,009	0,158	0,016	0,303
4.	Lab Kimia Dasar	0,157	2,748	0,018	0,341
5.	Parkir Selatan	0,020	0,350	0,012	0,227
6.	Lab Operasi Teknik Kimia dan Proses	0,012	0,210	0,009	0,170
7.	Lab Fisika Dasar	0,080	1,400	0,011	0,208
8.	Lab Kimia Analisis	0,034	0,595	0,012	0,227
9.	Lab Listrik Arus Kuat	0,029	0,508	0,016	0,303
10.	Lab Gambar Teknik	0,056	0,980	0,015	0,284

**Gambar 4:** Hasil pengukuran KRU gross alfa

Untuk hasil pengukuran radioaktivitas gross beta ditunjukkan pada **Gambar 3** yaitu nilai KRU tertinggi terdapat di Laboratorium Kimia Dasar sebesar 2,748 Bq/m³ dan nilai KRU terendah terdapat di Laboratorium Bengkel Mekanik sebesar 0,158 Bq/m³. Hasil ini masih di bawah nilai standar baku mutu yaitu maksimal sebesar 200 Bq/m³.

Sedangkan untuk hasil pengukuran radioaktivitas gross alfa ditunjukkan pada **Gambar 4**. Dari seluruh titik pengambilan cuplikan hasilnya masih di bawah nilai standar baku mutu yaitu maksimal sebesar 20 Bq/m³. Nilai KRU tertinggi terdapat di Laboratorium Aktif sebesar 0,379 Bq/m³ dan nilai KRU terendah terdapat di Laboratorium Radiografi Industri sebesar 0,114 Bq/m³.

Radioaktivitas udara yang dihasilkan di dalam ruangan terutama disebabkan oleh hasil peluruhan radioaktif alam dari radon dan thoron. Adanya radon dan thoron didalam ruangan bisa berasal dari bahan-bahan bangunan serta dari tanah dan batuan, berarti bisa berasal dari dinding, lantai, atap ataupun bahan pelengkap lainnya yang berasal dari dalam ruangan [3]. Konsentrasi radioaktivitas udara di dalam ruangan tergantung pada laju ventilasi atau laju pertukaran udara. Selain itu di dalam ruangan tanpa ventilasi, konsentrasi radioaktivitas udara akan cenderung lebih besar karena terjadinya akumulasi zat radioaktif (radon/thoron dan anak turunannya) di dalam ruangan tersebut. Penurunan pasokan udara ke ruangan kerja dapat mengurangi laju pengeluaran udara keluar instalasi sehingga terjadi peningkatan kontaminasi yang berasal dari dalam ruangan jika dibandingkan pada saat tersedia pasokan udara [4]. Sedangkan di Laboratorium Radiografi Industri memiliki nilai KRU yang cukup rendah baik untuk gross alfa maupun gross beta padahal ventilasi ruangan ini sangat minim yaitu hanya memiliki 2 buah *blower* yang dioperasikan pada saat kegiatan praktikum. Hal ini terjadi karena

berkurangnya suplai zat radioaktif alamiah yang masuk ke ruangan kerja dari lingkungan luar instalasi yang ikut terbawa udara pasokan.

Nilai KRU di Laboratorium Kimia Dasar dan Laboratorium Proteksi Radiasi yang lebih besar dari pada lokasi lainnya dikarenakan dari kegiatan operasional Laboratorium itu sendiri seperti penggunaan beberapa sumber radioaktif terbuka untuk kegiatan praktikum maupun penelitian seperti ditunjukkan pada **Tabel 4**.

Tabel 5: Penggunaan zat radioaktif terbuka di STTN

No.	Bahan	Jumlah	Aktivitas
1.	H ₃ (³² P)O ₄	10 ml	13,4 mCi
2.	UO ₂ (NO ₃).6 H ₂ O	200 gram	-
3.	Thorium Nitrat	150 gram	-
4.	Yellow Cake	500 gram	-
5.	Uranil Acetat	100 gram	-

Selain sumber zat radioaktif tersebut di atas, zat radioaktif yang sering digunakan dalam praktikum atau penelitian adalah ³²P dan ¹³¹I yang diperoleh dari PT BATAN TEKNOLOGI, sedangkan zat radioaktif lainnya masih terbatas penggunaannya [1].

4. KESIMPULAN

1. Nilai konsentrasi radioaktivitas udara (KRU) di STTN-BATAN Yogyakarta masih di bawah nilai MPC (Maximum Permissible Concentration) di ruangan kerja Instalasi Radiometalurgi (IRM) untuk pekerja radiasai sesuai Dokumen Laporan Analisis Keselamatan (LAK) IRM Revisi 6 tahun 2006 yaitu 20 Bq/m³ untuk radioaktivitas gross α dan 200 Bq/m³ untuk radioaktivitas gross β .
2. Untuk radioaktivitas gross beta, nilai Konsentrasi Radioaktivitas Udara (KRU) tertinggi terdapat di Laboratorium Kimia Dasar yaitu sebesar 2,748 Bq/m³ dan nilai KRU terendah terdapat di Laboratorium Bengkel Mekanik yaitu sebesar 0,158 Bq/m³.
3. Untuk radioaktivitas gross alfa, nilai Konsentrasi Radioaktivitas Udara (KRU) tertinggi terdapat di Laboratorium Aktif yaitu sebesar 0,379 Bq/m³ dan nilai KRU terendah terdapat di Laboratorium Radiografi Industri yaitu sebesar 0,114 Bq/m³.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] **Rantjono, S dkk.** (2008); "Disain Laboratorium Aktif STTN"; STTN-BATAN. Yogyakarta.
- [2] **Wardhana, W.** (1994); *Teknik Analisis Radioaktivitas Lingkungan*; Penerbit Andi Offset. Yogyakarta.
- [3] **Darlem, Leny.** (2003); "Pengukuran Konsentrasi Radioaktivitas Udara Lingkungan di Kawasan Pusat Penelitian Tenaga Nuklir, Pasar Jumat, Jakarta"; Institut Pertanian Bogor. Jawa Barat.
- [4] **Sjafruddin, M.** (2008); *Pemantauan Keradioaktifan Udara Ruangan Kerja IRM Saat Suppla Fan Dimatikan*; PTBN. Banten.
- [5] **BATAN.** (2012); "Modul Pelatihan Ujian Lisensi Petugas Proteksi Radiasi"; Yogyakarta.
- [6] **Knoll, Glenn. F.** (1997); *Radiation Detection and Measurement*; John Wiley&Sons Inc. Canada.
- [7] **STTN-BATAN.** (2010); *Petunjuk Praktikum Alat Deteksi dan Pengukuran Radiasi*; Yogyakarta.
- [8] **Abidin, Zaenal.** (2011); *Pengantar Keselamatan dan Kesehatan Kerja*; STTN-BATAN. Yogyakarta.
- [9] **Tim Revisi Laporan Analisis Keselamatan PTBN.** (2006); "Laporan Analisis Keselamatan IRM". Revisi 6; PTBN. Banten.

TANYA JAWAB DAN DISKUSI1. **Penanya :** Rr. Djarwanti Rahayu Pipin S (PTRR-BATAN)

Pertanyaan:

- a) Mengapa daerah lingkungan STTN tidak dimasukkan dalam analisis ini?

Jawaban:

Lain kali akan dilakukan.

2. **Penanya :** Hartanta (PTRR-BATAN)

Pertanyaan:

- a) Bagaimana pengaruh waktu terhadap hasil analisis, misalnya pagi, siang atau sore?

Jawaban:

Belum diketahui, secara teori pasti ada perbedaan.

3. **Penanya :** Danung Rismawan (DI2BN-BAPETEN)

Pertanyaan:

- a) Mengapa dalam analisis tingkat radioaktivitas udara di STTN-BATAN Yogyakarta menggunakan data pembandingan dari IRM?
- b) Apakah tidak sebaiknya menggunakan data dari objek yang setidaknya mirip dengan laboratorium di STTN, sehingga dapat diperoleh data yang lebih relevan?

Jawaban:

Data IRM sudah cukup relevan, lain kali akan dibandingkan dengan yang sepadan.



Seminar Keselamatan Nuklir 2014
Makalah Penyaji Poster
Bidang Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif

Prosiding
Seminar
Keselamatan
Nuklir
2014

PENGGUNAAN STATISTIK UNTUK EVALUASI IMPLEMENTASI PENGGUNAAN PERLENGKAPAN PROTEKSI RADIASI OLEH ALUMNI STTN YANG BEKERJA SEBAGAI PPR DI INDUSTRI

Supriyono, Ghalih Renai Kesuma, Toto Trikasjono

Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir-BATAN
Jl. Babarsari Kotak Pos 6101/YKBB Yogyakarta.
e-mail : masprrie_sttn@yahoo.com

ABSTRAK

PENGGUNAAN STATISTIK UNTUK EVALUASI IMPLEMENTASI PENGGUNAAN PERLENGKAPAN PROTEKSI RADIASI OLEH ALUMNI STTN YANG BEKERJA SEBAGAI PPR DI INDUSTRI. Telah dilakukan penelitian tentang penggunaan statistik untuk evaluasi implementasi penggunaan perlengkapan proteksi radiasi alumni STTN yang bekerja sebagai petugas proteksi radiasi di industri. Metode statistik yang digunakan adalah kombinasi statistik deskriptif dan statistik inferensia. Acuan yang digunakan dalam evaluasi ini, digunakan Perka BAPETEN 4/2013. Dalam penelitian ini populasi yang ada adalah 118 orang dan sesuai dengan model Slovin dihasilkan jumlah sampel sebanyak 54 orang. Sesuai dengan Perka BAPETEN 4/2013 dan perilaku K3, maka titik berat penelitian ini ada 4 aspek, yaitu: pemakaian peralatan pemantauan tingkat radiasi, pemakaian peralatan pemantauan dosis perorangan, pemakaian peralatan protektif radiasi dan perilaku K3 ketika bekerja. Sebagai instrumen penelitian, disusunlah kuesioner untuk 4 aspek dengan masing-masing berisi beberapa indikator yang sesuai dengan aspek yang diharapkan. Kuesioner diuji validitas dan reliabilitasnya. Setelah semua pertanyaan dalam kuesioner dinyatakan valid dan reliabel, maka kuesioner dibagikan kepada 54 sampel. Pada tahap pengolahan data, dengan skala likert 1 s/d 5 dan menggunakan uji t, maka masing-masing 19 pertanyaan dapat dihasilkan kesimpulan implementasi penggunaan perlengkapan proteksi radiasi alumni STTN yang bekerja di industri. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata alumni STTN yang bekerja sebagai petugas proteksi radiasi di Industri telah bekerja dengan baik dalam mengimplementasikan penggunaan perlengkapan proteksi radiasi. Artinya lulusan STTN telah memahami dan menjalankan Perka BAPETEN 4/2013 dengan baik.

Kata Kunci : Alumni STTN, PPR, Perka BAPETEN 4/2013, kuesioner, implementasi.

ABSTRACT

THE STATISTIC USAGE FOR EVALUATING THE IMPLEMENTATION OF USING THE RADIATION PROTECTION EQUIPMENT BY STTN'S ALUMNUS WHO WORK AS PPR IN INDUSTRY. A research about the Statistic Usage for Evaluating the Implementation of Using Radiation Protection Equipment by STTN's Alumni who Work as Radiation Safety Officer in Industry had been done. The statistic method used in the research is descriptive statistic and inference statistic. The reference in this evaluation is BAPETEN Chairman Regulation (BCR) No. 4 year 2013. In this research, the population are 118 persons and in accordance with Slovin model, 54 persons are needed for the samples. According to BCR No. 4 year 2013 section 7 and occupational health and safety (OHS) behavior, there are 4 main points in this research, i.e. the use of radiation monitoring devices, of personal dosimetry, and of radiation protective devices, and OHS behaviour. As a research's instrument, a quisioner was compiling for 4 mainpoints with each aspects containing some indicators that fit the hope aspects. The quisioner was examining its validity and reability. After all the questions in this quisioner was expressed valid and reliable, so this quisioner wil be distributing to 54 samples. In the processing data stage, with the likert stage 1 to 5, in the using of test t, the each 19 questions can obtain the summary of implementation of using Radiation Protection utilties STTN's alumnus who work in industry. The research's result shows that the average STTN's alumnus who work as a Radiation Protection officer in industry, already work well in the implementation of using Radiation Protection utilties. It means, the STTN's grads arleady understand and do BCR No. 4 year 2013, especially for the section 7 well. STTN's grads arleady understand and do well the Regulation of BCR No. 4 in 2013.

Keywords : STTN's alumnus, PPR, Regulation of BAPETEN's Head No. 4 year 2013, quisioner, implementation

1. PENDAHULUAN

Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir (STTN)-BATAN Yogyakarta sebagai perguruan tinggi kedinasan di bawah BATAN yang berdiri pada tahun 1985 dengan program Diploma III, dan pada tahun 2001 telah ditingkatkan menjadi program Diploma IV dengan Jurusan Teknofisika Nuklir dan Teknokimia Nuklir, yang menghasilkan Sarjana Sains Terapan yang khusus dalam bidang iptek nuklir. Lulusannya siap mengisi kebutuhan SDM bidang industri nuklir, misalnya untuk aplikasi teknik nuklir di bidang industri, bidang pertambangan, bidang pangan dengan spesialisasinya bidang proteksi radiasi.

Sebagai perguruan tinggi, STTN bertujuan untuk menghasilkan lulusan siap kerja, profesional dan mandiri yang berjiwa kewirausahaan. Untuk mencapai tujuan tersebut, maka mahasiswa STTN dibekali dengan program-program yang menyiapkan mahasiswa untuk terjun ke dunia kerja yang berkaitan dengan bidang teknologi nuklir. Salah satu program yang diselenggarakan adalah pelatihan petugas proteksi radiasi untuk memperoleh Surat Izin Bekerja Petugas Proteksi Radiasi (SIB-PPR) yang diuji langsung oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN). Hal ini dapat menjadikan nilai lebih untuk para alumni STTN ketika berkarir di bidang iptek nuklir yang tidak sembarang orang dapat bekerja di bidang itu.

Alumni STTN telah banyak bekerja di industri, baik yang berhubungan dengan teknologi nuklir maupun yang berhubungan dengan kompetensi program studi. Para alumni tersebut sebelumnya telah dibekali pengetahuan mengenai radiasi beserta kaidah-kaidahnya, sehingga diharapkan ketika mereka bekerja di industri telah siap dan menerapkannya. Dalam Peraturan Kepala (Perka) BAPETEN 15/2008 telah diatur persyaratan dan tata cara memperoleh Surat Izin Bekerja bagi petugas tertentu yang bekerja di instalasi yang memanfaatkan sumber radiasi pengion, salah satunya adalah PPR. Hal ini berarti alumni yang telah memiliki SIB-PPR telah memenuhi syarat-syarat sebagai PPR.

Radiasi tidak dapat dilihat dan dirasakan dengan indera kita, untuk itu perlu penggunaan peralatan proteksi radiasi. Adapun perlengkapan proteksi radiasi tersebut meliputi peralatan pemantauan tingkat radiasi dan/atau kontaminasi radioaktif di daerah kerja, peralatan pemantauan radioaktivitas lingkungan di luar fasilitas dan instalasi, peralatan pemantauan dosis perorangan dan peralatan protektif radiasi [3].

PPR sebagai salah satu penanggung jawab keselamatan radiasi harus dapat menerapkan persyaratan proteksi dan keselamatan radiasi dalam pelaksanaan pemanfaatan tenaga nuklir. PPR memiliki tanggung jawab memastikan ketersediaan dan kelayakan perlengkapan proteksi radiasi dan memantau pemakaiannya. Untuk mengetahui apakah PPR lulusan STTN yang bekerja di industri sudah benar-benar menerapkan ilmu yang diajarkan di bangku kuliah atau sudah menerapkan peraturan dan perundang-undangan yang berlaku dengan baik dan benar, maka perlu dilakukan suatu penelitian terhadap alumni STTN yang bekerja sebagai PPR di industri [1,2,3].

Dalam penelitian ini digunakan statistik inferensi.

2. LANDASAN TEORI

2.1. Proteksi Radiasi

Menurut BAPETEN, proteksi radiasi adalah tindakan yang dilakukan untuk mengurangi pengaruh radiasi yang merusak akibat paparan radiasi. Keselamatan Radiasi adalah tindakan yang dilakukan untuk melindungi pekerja, anggota masyarakat dan lingkungan hidup dari bahaya radiasi [3].

Petugas proteksi radiasi (PPR) adalah petugas yang ditunjuk oleh Pemegang Izin dan oleh BAPETEN dinyatakan mampu melaksanakan pekerjaan yang berhubungan dengan proteksi radiasi. PPR di industri diklasifikasikan menjadi: PPR Industri tingkat 1, PPR industri tingkat 2, dan PPR industri tingkat 3 [2].

Program proteksi dan keselamatan radiasi sebagaimana dimaksud dalam Perka BAPETEN 4/2013, paling sedikit meliputi:

1. Penyelenggara keselamatan radiasi, yang berisi penetapan tanggung jawab penyelenggara keselamatan radiasi;
2. Personil yang bekerja di fasilitas atau instalasi termasuk program pendidikan dan pelatihan mengenai proteksi dan keselamatan radiasi;
3. Perlengkapan proteksi radiasi;
4. Penetapan pembagian daerah kerja;
5. Pemantauan paparan radiasi dan/atau kontaminasi radioaktif di daerah kerja;
6. Pemantauan radioaktivitas lingkungan di luar fasilitas atau instalasi;
7. Program jaminan mutu proteksi dan keselamatan radiasi yang berisi antara lain prosedur kaji ulang dan audit pelaksanaan program proteksi dan keselamatan radiasi secara berkala;
8. Rencana penanggulangan keadaan darurat jika terjadi situasi yang memerlukan intervensi;
9. Penetapan pembatas dosis;
10. Prosedur yang meliputi prosedur operasi sesuai dengan jenis sumber yang digunakan dalam pemanfaatan tenaga nuklir,

pembagian daerah kerja yang ditetapkan pemegang izin, pemantauan kesehatan, pemantauan dosis yang diterima pekerja radiasi, dan rekaman dan laporan [3].

PPR berkewajiban membantu Pemegang Izin dalam melaksanakan tanggung jawabnya di bidang proteksi radiasi. Dalam Pasal 7 Perka BAPETEN 4/2013, tanggung jawab Petugas Proteksi Radiasi adalah:

1. mengawasi pelaksanaan program proteksi dan keselamatan radiasi.
2. mengkaji ulang efektivitas penerapan program proteksi dan keselamatan radiasi.
3. memberikan instruksi teknis dan administratif secara lisan atau tertulis kepada pekerja radiasi tentang pelaksanaan program program dan keselamatan radiasi.
4. mengidentifikasi kebutuhan dan mengorganisasi kegiatan pelatihan.
5. memastikan ketersediaan dan kelayakan perlengkapan proteksi radiasi dan memantau pemakaiannya.
6. membuat dan memelihara rekaman dosis yang diterima oleh pekerja radiasi,
7. melaporkan kepada pemegang izin jika pekerja radiasi menerima dosis melebihi pembatas dosis.
8. membuat dokumen yang berhubungan dengan proteksi radiasi.
9. melakukan kendali akses di daerah pengendalian.
10. melaksanakan latihan penanggulangan dan pencarian fakta dalam hal kedaruratan.
11. memberikan konsultasi yang terkait dengan proteksi dan keselamatan radiasi di instalasinya [3].

Salah satu tanggung jawab PPR adalah memastikan ketersediaan dan kelayakan perlengkapan proteksi radiasi dan memantau pemakaiannya. Perlengkapan proteksi radiasi yang dimaksud meliputi:

1. Peralatan pemantauan tingkat radiasi dan/atau kontaminasi radioaktif di daerah kerja;
2. Peralatan pemantauan radioaktivitas lingkungan di luar fasilitas dan instalasi;
3. Peralatan pemantauan dosis perorangan; dan/atau
4. Peralatan protektif radiasi [3].

Di dalam Perka BAPETEN 4/2013 disebutkan peralatan protektif radiasi meliputi:

1. Pakaian proteksi radiasi yang paling kurang terdiri atas:
 - a) Apron
 - b) Jas laboratorium
2. Peralatan protektif perlindungan pernafasan
3. Sarung tangan
4. Pelindung organ; dan/atau
5. *Glove box* [3].

2.2. Metode Statistik

Secara umum ada dua kegiatan yang dapat dilakukan oleh statistika inferensial, yaitu menaksir dan menguji parameter populasi berdasarkan ukuran yang diperoleh dari sampel. Langkah awal dalam perhitungan statistik ini adalah menentukan ukuran sampel.

Cara menentukan jumlah sampel yang diambil dengan menggunakan rumus (1) sesuai dengan model Slovin, sebagai berikut [4,5]:

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} \quad (1)$$

dengan:

- n = jumlah sampel
 N = jumlah populasi
 e = batas toleransi kesalahan (error tolerance).

Dalam menggunakan rumus ini, pertama ditentukan berapa batas toleransi kesalahan. Batas toleransi kesalahan ini dinyatakan

dengan persentase. Semakin kecil toleransi kesalahan, semakin akurat sampel menggambarkan populasi. Misalnya, penelitian dengan batas kesalahan 5% berarti memiliki tingkat akurasi 95%. Penelitian dengan batas kesalahan 2% memiliki tingkat akurasi 98%.

Setelah sampel ditetapkan, maka membuat kuesioner yang sesuai dengan tujuan penelitian. Sebelum dibagikan kepada para responden, kuesioner harus diuji kevalidan dan reliabelitasnya. Untuk mengukur validitas, langkah berikut diambil :

1. Menghitung skor faktor sebagai jumlah dari skor butir dalam faktor.
2. Menghitung korelasi antara skor butir (X_i) dengan skor faktor (Y_i).
Rumus korelasi *product moment* Pearson [4].

$$r_{ix} = \frac{n \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n} \right) \left(\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} \right)}} \quad (2)$$

dengan:
 r_{ix} = koefisien korelasi
 X = skor butir
 Y = skor faktor

3. Menguji taraf signifikansi korelasi dengan cara membandingkan dengan nilai korelasi tabel yang derajat bebasnya ($n-2$). Jika r hitung lebih besar dari r tabel maka butir dikatakan valid.

Pengujian reliabilitas dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satunya dengan internal consistency, yaitu dilakukan dengan cara mencobakan instrumen sekali saja, kemudian data yang diperoleh dianalisis dengan teknik belah dua dari Spearman Brown (*Split half*) dengan rumus (3) berikut [5].

$$r_i = \frac{2r_b}{1+r_b} \quad (3)$$

dengan:
 r_i = reliabilitas internal seluruh instrumen
 r_b = korelasi *product moment* antara belahan pertama dan kedua.

Untuk mempercepat analisis hasil uji coba dan mempermudah perhitungan, maka digunakan program SPSS 17.

Setelah kuesioner dinyatakan valid dan reliabel, maka kuesioner disebarkan ke seluruh responden sebanyak jumlah sampel. Hasilnya ditabulasi dan dikelompokkan per aspek. Langkah selanjutnya adalah menjumlah skor tiap individu sampel untuk semua indikator (X_i) dan menjumlah skor tiap indikator untuk semua individu sampel (Y_i). Dari X_i dan Y_i akan dihasilkan total skor.

Hasil total skor dibandingkan dengan skor ideal yaitu perkalian antara skor tertinggi dikalikan jumlah butir instrumen dan dikalikan lagi dengan jumlah responden, apakah hasilnya lebih besar dari 75% (asumsi penerapan penggunaan perlengkapan proteksi radiasi oleh alumni STTN-BATAN yang bekerja sebagai PPR di industri dianggap baik).

Selanjutnya adalah menguji hipotesis H_0 dan H_1 , apakah hipotesis ditolak atau diterima. Untuk menguji hipotesis tersebut digunakan uji-t satu sampel untuk dua pihak [6]. Rumusnya adalah :

$$t = \frac{\bar{X} - \mu_0}{s/\sqrt{n}} \quad (4)$$

Hasil kuesioner yang telah diterima hipotesanya, maka dapat diinterpretasikan ke dalam rentang skala kualitatif, dengan cara [6]:

$$RS = \frac{m-n}{b} \quad (5)$$

dengan:
 M = angka tertinggi di dalam pengukuran
 n = angka terendah dalam pengukuran
 b = banyaknya kelas yang dibentuk
 RS = rentang skala

Dari rentang skala ini dibuat rentang skala sebanyak 5 rentang, sesuai dengan skala likert.

Selanjutnya adalah menghitung skor rata-rata tiap indikator, yaitu rumusnya adalah total skor per indikator dibagi dengan jumlah responden. Hasilnya dimasukkan ke dalam rentang skala untuk diinterpretasikan, apakah termasuk kategori sangat baik, baik, sedang, kurang baik dan sangat kurang baik.

3. LANGKAH-LANGKAH PENELITIAN

3.1. Kajian proteksi radiasi..

Menurut Perka BAPETEN 4/2013, untuk mengetahui apakah lulusan STTN yang bekerja sebagai PPR di industri sudah bekerja dengan baik, maka menurut pasal 7 dan dari kaidah keselamatan kerja yang perlu dianalisis adalah 4 aspek (lihat bab Pendahuluan) di mana aspek yang pertama terdiri dari 6 indikator, aspek yang kedua terdiri dari 3 indikator, aspek ketiga terdiri dari 3 indikator dan aspek keempat terdiri dari 7 indikator [3,7,8].

Dari 4 aspek beserta indikator-indikatornya disusun kuesioner kepada lulusan STTN dengan harapan didapat kesimpulan apakah lulusan STTN yang bekerja sebagai PPR di industri bekerja dengan baik atau tidak?

3.2. Kajian metode statistik inferensi.

Menurut metode statistik inferensi, untuk menyimpulkan apakah lulusan STTN yang bekerja sebagai PPR di industri bekerja dengan baik atau tidak, langkah-langkahnya adalah sebagai berikut [6,7,8]:

1. Menentukan jumlah populasi.
2. Menghitung jumlah sampel dengan rumus Slovin.
3. Membuat kuesioner awal
4. Menyebarkan kuesioner awal kepada sebagian sampel.
5. Menguji validitas dan reliabilitas dari kuesener awal.
6. Memperbaiki kuesioner awal menjadi kuesioner final.
7. Menyebarkan kuesioner final kepada seluruh sampel.
8. Mentabulasi seluruh kuesioner yang masuk.
9. Melakukan pengolahan data dengan cara:
 - 1) Menginterpretasi kategori masing-masing indikator.
 - 2) Menyimpulkan apakah lulusan STTN yang bekerja sebagai PPR di industri bekerja dengan baik atau tidak

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kuesioner awal yang dibagikan kepada 54 calon responden dihasilkan tingkat validitas dan reliabilitas kuesener awal, yang hasilnya disajikan dalam **Tabel 1**, 2, 3, dan 4.

Setelah kuesioner awal diuji validitasnya, selanjutnya diuji reliabilitasnya. Hasilnya disajikan dalam **Tabel 5**.

Tabel 1: Hasil Uji Validitas Aspek 1.

No.	R hitung	Keputusan
r_1Y	0,488	Valid
r_2Y	0,622	Valid
r_3Y	0,750	Valid
r_4Y	0,519	Valid
r_5Y	0,676	Valid
r_6Y	0,717	Valid

Tabel 2: Hasil Uji Validitas Aspek 2

No.	R hitung	Keputusan
r ₇ Y	0,724	Valid
r ₈ Y	0,686	Valid
r ₉ Y	0,539	Valid

Tabel 3: Hasil Uji Validitas Aspek 3

No.	R hitung	Keputusan
r ₁₀ Y	0,793	Valid
r ₁₁ Y	0,839	Valid
r ₁₂ Y	0,575	Valid

Tabel 4: Hasil Uji Validitas Aspek 4

No.	R hitung	Keputusan
r ₁₃ Y	0,681	Valid
r ₁₄ Y	0,728	Valid
r ₁₅ Y	0,700	Valid
r ₁₆ Y	0,656	Valid
r ₁₇ Y	0,826	Valid
r ₁₈ Y	0,716	Valid
r ₁₉ Y	0,768	Valid

Dari **Tabel 1, 2, 3 dan 4**, semua indikator dinyatakan valid.

Berdasarkan **Tabel 5** di atas nampak angka-angka reliabilitasnya lebih besar dari 0,75. Jadi kuesioner awal dianggap reliabel. Dengan valid dan reliabelnya indikator-indikator pada kuesioner awal, maka dengan berbagai macam perbaikan sesuai dengan saran responden awal, maka dihasilkanlah kuesioner final.

Dari hasil tabulasi dari pengumpulan kuesioner final, dihasilkan perhitungan sebagai berikut: Skor ideal untuk penggunaan perlengkapan proteksi radiasi = $5 \times 19 \times 54 = 5130$ (5 = skor tertinggi, 20 jumlah butir instrumen, dan 54 jumlah responden. Rata-rata skor ideal = $5130 : 54 = 95$. Jumlah skor data yang terkumpul melalui penelitian 4186. Dengan demikian penggunaan perlengkapan proteksi radiasi = $4186 : 5130 = 0,816$ atau 81,6% dari yang diharapkan. Hasil yang diharapkan adalah 100%.

Tabel 5: Hasil Uji Reliabilitas

No	Aspek	Reliabilitas
1.	Pemakaian peralatan pemantauan tingkat radiasi	0,870
2.	Pemakaian peralatan pemantauan dosis perorangan	0,847
3.	Pemakaian peralatan protektif radiasi	0,917
4.	Perilaku K3 ketika bekerja	0,926

Hipotesis yang dirumuskan berupa hipotesis deskriptif, yaitu penerapan penggunaan perlengkapan proteksi radiasi oleh alumni STTN-BATAN yang bekerja sebagai PPR di industri sebesar 75% dari yang diharapkan. Untuk itu perlu diuji dengan menggunakan uji t satu sampel (karena data interval) dan dengan uji dua pihak, yaitu harga t tabel dibagi dua dan diletakkan pada sebelah kanan dan kiri kurva.

$$H_0 : \mu < 75\% = 0,75 \times 95 = 71,25$$

$$H_1 : \mu > 75\% = 0,75 \times 95 = 71,25$$

$$t = \frac{\bar{X} - \mu_0}{s/\sqrt{n}} = \frac{77,51 - 71,25}{10,84/\sqrt{54}} = 4,25$$

Selanjutnya harga t tersebut dibandingkan dengan harga t tabel dengan $dk = n-1 = 54-1 = 53$, dan taraf kesalahan $\alpha = 10\%$, maka harga t tabel pada uji dua pihak (dengan interpolasi). Karena t hitung lebih besar dari harga t tabel, ($4,25 > 1,67412$) atau jatuh pada daerah penerimaan H₁, maka H₀ ditolak dan H₁ diterima.

Jadi hipotesis yang menyatakan bahwa penerapan penggunaan perlengkapan proteksi radiasi oleh alumni STTN yang bekerja sebagai PPR di industri sebesar 75% dari yang diharapkan ditolak. Berdasarkan pembuktian penerapan penggunaan perlengkapan proteksi radiasi tidak sebesar 75%, yaitu 81,6%.

Hasil tabulasi kuesioner dapat diinterpretasikan ke dalam rentang skala kualitatif, dengan menggunakan rumus (5) dihasilkan:

$$RS = \frac{5-1}{5} = 0,8$$

Pada kuesioner penelitian ini menggunakan skala likert, maka RS tidak berubah, dan skala numeriknya sebagai berikut:

Sangat kurang baik : $1 \leq x \text{ rata-rata} \leq 1,8$

Kurang baik : $1,8 < x \text{ rata-rata} \leq 2,6$

Cukup : $2,6 < x \text{ rata-rata} \leq 3,4$

Baik : $3,4 < x \text{ rata-rata} \leq 4,2$

Sangat baik : $x \text{ rata-rata} > 4,2$

Hasil interpretasi tiap pertanyaan disajikan dalam **Tabel 6**.

Dari **Tabel 6**, butir pertanyaan yang paling baik dalam penggunaan perlengkapan proteksi radiasi adalah Setiap peralatan dan sumber radiasi dilengkapi dokumen penyerta (indikator 1) dengan nilai 258. Sedangkan yang tidak baik adalah kedisiplinan memakai apron ketika bekerja dengan sumber radiasi yang besar (indikator 10) dengan nilai 118.

5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan di atas lulusan STTN yang bekerja sebagai PPR di industri dapat disimpulkan bahwa:

1. Menurut aspek pemakaian peralatan pemantauan tingkat radiasi telah bekerja sangat baik.
2. Menurut aspek pemakaian peralatan pemantauan dosis perorangan telah bekerja sangat baik.
3. Menurut aspek pemakaian peralatan protektif radiasi telah bekerja cukup baik.
4. Menurut aspek perilaku K3 telah bekerja sangat baik.
5. Secara umum telah bekerja dengan sangat baik, yaitu sebesar 81,6% dari yang diharapkan.

5.2. Saran

Dalam penelitian ini ditemukan pula kekurangan yaitu kedisiplinan pemakaian apron ketika bekerja dengan menggunakan sumber radiasi yang besar. Saran kongkrit agar PPR selalu menggunakan apron dalam bekerja, maka perlu ada sosialisasi dalam bentuk tayangan visual bagaimana bahayanya seorang PPR yang bekerja tanpa apron. Selain interpretasi dengan kategori kurang, ditemukan pula kategori cukup baik, yaitu pada indikator pemasangan monitor dosis bersistem alarm dan pada indikator memasukkan sarung tangan ke dalam glove box setelah bekerja. Sehingga disarankan masih perlu dilakukan sosialisasi dan edukasi bagi alumni STTN yang bekerja sebagai PPR di industri.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] **Akhadi, M.**, (2000); *Dasar-dasar Proteksi Radiasi. Pertama*; Jakarta: PT Rineka Cipta.
- [2] **BAPETEN**, (2008); *Peraturan Kepala BAPETEN No. 15 tahun 2008*; Jakarta: BAPETEN.

Tabel 5: Interpretasi butir pertanyaan/pernyataan

Aspek	Indikator	Skor 5	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1	Jml Resp.	Skor Total	Rata-rata	Interpretasi
Aspek 1	1	45	7	1	1	0	54	258	4,778	Sangat Baik
	2	37	16	1	0	0	54	252	4,667	Sangat Baik
	3	26	19	7	1	1	54	230	4,259	Sangat Baik
	4	42	8	1	1	2	54	249	4,611	Sangat Baik
	5	13	8	10	2	21	54	152	2,815	Cukup Baik
Aspek 2	6	36	7	7	2	2	54	235	4,352	Sangat Baik
	7	40	7	4	0	3	54	243	4,5	Sangat Baik
	8	26	8	12	3	5	54	209	3,87	Baik
Aspek 3	9	38	10	3	1	2	54	243	4,5	Sangat Baik
	10	8	3	8	7	28	54	118	2,185	Kurang Baik
	11	18	5	5	8	18	54	151	2,796	Cukup Baik
Aspek 4	12	30	10	11	1	2	54	227	4,204	Baik
	13	24	13	11	4	2	54	215	3,981	Baik
	14	40	11	2	1	0	54	252	4,667	Sangat Baik
	15	38	11	4	1	0	54	248	4,593	Sangat Baik
	16	25	15	5	2	7	54	211	3,907	Baik
	17	23	14	11	3	3	54	213	3,944	Baik
	18	40	11	3	0	0	54	253	4,685	Sangat Baik
	19	24	21	6	2	1	54	227	4,204	Sangat Baik

- [3] **BAPETEN**, (2013); *Peraturan Kepala BAPETEN No. 4 tahun 2013*; Jakarta: BAPETEN.
- [4] **Sugiyono**, (2011); *Metodologi Penelitian Administrasi. kesembilanbelas*; Bandung: Penerbit Alfabeta.
- [5] **Sugiyono**, (2012); *Statistika Untuk Penelitian. Keduapuluh*; Bandung: Penerbit Alfabeta.
- [6] **Supranto, J.**, (2000); *Statistik, Teori dan Aplikasi. Keenam*; Jakarta: Erlangga
- [7] **Anonim**, (2014); *BATAN, ei pym [Online]*; Available at: http://www.batan.go.id/pusdiklat/elearning/Pengukuran_Radiasi/Proteksi-03.htm [Diakses Februari 2014].
- [8] **Tjahyono, H.**, (2006); *Modul Pengukuran Radiasi*; [Online] Available at: http://www.batan.go.id/pusdiklat/elearning/Pengukuran_Radiasi/Proteksi-02.htm [Diakses Februari 2014].

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Aspek-Aspek Penelitian dan Indikatornya.

Aspek 1 : Pemakaian peralatan pemantauan tingkat radiasi.

1. Setiap peralatan dan sumber radiasi dilengkapi dokumen penyerta yang rinci mengenai kondisi.
2. Lingkungan di sekitar tempat kerja dilakukan monitoring radiasi.
3. Melaporkan bila ada alat rusak.
4. Ketika melakukan pekerjaan, saudara memasang monitor dosis bersistem alarm.
5. Secara rutin saudara mengecek peralatan apakah masih bekerja normal.

Aspek 2 : Pemakaian peralatan pemantauan dosis perorangan.

1. Ketika bekerja memakai dosimeter perorangan.
2. Setelah memakai TLD, saudara menyimpan kembali pada tempatnya.
3. Mencatat dosis yang diterima setelah bekerja.

Aspek 3 : Pemakaian peralatan protektif radiasi.

1. Ketika bekerja memakai APD (helm, sarung tangan, masker, kacamata) yang sesuai dengan peraturan yang berlaku.
2. Memakai apron ketika bekerja dengan sumber radiasi yang besar.
3. Setelah bekerja, sarung tangan dimasukkan ke dalam *glove box*.

Aspek 3 : Perilaku K3 ketika bekerja

1. Ketika akan melakukan pekerjaan saudara mempersiapkan catatan dan mengisi *log book*.
2. Sebelum melakukan pekerjaan memperhitungkan besar dosis sesuai ketentuan yang berlaku.
3. Ketika melakukan pekerjaan, saudara memberikan tanda peringatan bahaya sesuai prosedur.
4. Melakukan pekerjaan sesuai dengan SOP yang telah ditetapkan.
5. Mencatat/melaporkan ke pihak berwenang ketika terjadi kecelakaan, misal kegagalan peralatan, salah paparan dan sejenisnya.
6. Peraturan dan prosedur keselamatan kerja diperbaiki secara berkala.
7. Sebelum melakukan pekerjaan, memeriksa peralatan yang akan digunakan.
8. Perawatan yang bersifat preventif dijalankan secara rutin di tempat kerja.



Seminar Keselamatan Nuklir 2014

Makalah Penyaji Poster

Bidang Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif

Prosiding
Seminar
Keselamatan
Nuklir
2014

KONSEP PENGATURAN PRODUKSI BARANG KONSUMEN YANG MENGANDUNG ZAT RADIOAKTIF DI INDONESIA

Hesty Rimadianny, Ika Andesmawati

Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN)

Jl. Gajah Mada No. 8 Jakarta Pusat 10120

(r.hesty@bapeten.go.id, i.andesmawati@bapeten.go.id)

ABSTRAK

KONSEP PENGATURAN PRODUKSI BARANG KONSUMEN YANG MENGANDUNG ZAT RADIOAKTIF DI INDONESIA. Semakin meningkatnya peredaran barang konsumen di masyarakat terkait barang konsumen yang memanfaatkan zat radioaktif yang dapat berpotensi menimbulkan permasalahan akibat radiasi yang ditimbulkan apabila tidak diatur dengan tepat. Oleh karena itu untuk menjamin keselamatan masyarakat, pekerja dan lingkungan hidup terkait barang-barang tersebut, maka diperlukan peraturan yang mengatur ketentuan terkait dengan kandungan zat radioaktif, tingkat radiasi dan aspek keselamatan terhadap produksi barang konsumen. Proteksi dan keselamatan radiasi dilaksanakan dengan menerapkan tiga prinsip dasar proteksi radiasi yaitu justifikasi, limitasi dan optimisasi. Ketiga prinsip proteksi radiasi tersebut harus dapat dilaksanakan agar barang konsumen aman untuk digunakan oleh pengguna akhir dan tidak memerlukan pengawasan. Untuk menjamin ketiga prinsip tersebut, badan pengawas mewajibkan setiap perusahaan atau badan usaha memenuhi persyaratan izin sebagaimana tertuang dalam Peraturan Pemerintah Nomor 29 Tahun 2008 yang meliputi persyaratan administrasi maupun persyaratan teknis. Persyaratan tersebut mencakup spesifikasi dan jenis uji barang konsumen. Hal tersebut sangat penting untuk diperhatikan guna menjamin keselamatan radiasi baik pada saat memproduksi maupun barang konsumen yang sudah siap pakai. Dengan demikian pengaturan mengenai produksi barang konsumen menjadi sangat penting sebagai suatu landasan hukum kepada perusahaan atau badan terhadap pelaksanaan produksi barang konsumen yang mengandung zat radioaktif.

Kata kunci : produksi barang konsumen, produk konsumen, proteksi dan keselamatan radiasi.

ABSTRACT

REGULATORY CONCEPTS FOR PRODUCTION OF CONSUMER PRODUCTS CONTAINING RADIOACTIVE SUBSTANCES IN INDONESIA. The increasing circulation of consumer products in the community related to consumer products that utilize radioactive substances that could potentially cause problems due to radiation effect caused if not set correctly. Therefore, to ensure the safety of the public, workers and the environment related to these items, it is necessary regulations governing the provisions relating to radioactive substances, radiation levels and safety aspects of the production of consumer products. Protection and radiation safety carried by three basic principles, are justification, optimization and limitation. These three principles of radiation protection must be implemented for the safety of consumer goods to be used by end user and does not require supervision. To ensure these three principles, the regulatory body requires every company or business entity meets the requirements of the permit as stipulated in Government Regulation Number 29 of 2008, which includes the administrative requirements and technical requirements. These requirements include the specification and type testing of consumer products. It is very important to note in order to ensure the safety of both at the time of production or consumer products that are ready to use. Thus the regulation of the production of consumer products became very important as a legal basis to companies or entities on the implementation of the production of consumer products containing radioactive substances.

Keywords: production of consumer products, consumer products, protection and safety radiation.

1. PENDAHULUAN

Di era kemajuan teknologi yang semakin pesat, banyak perusahaan atau badan memproduksi barang konsumen yang mengandung sejumlah kecil zat radioaktif. Saat ini belum ada peraturan yang mengatur tentang produksi barang konsumen yang mengandung zat radioaktif padahal barang-barang konsumen ini sudah beredar dan dipasarkan secara luas dimasyarakat. Mengingat efek radiasi dari sumber radioaktif sangat berbahaya, maka dalam memproduksi barang konsumen harus diatur sedemikian rupa sehingga produk yang dihasilkan dan dipasarkan aman untuk digunakan masyarakat tanpa memerlukan pengawasan dan juga pekerja yang akan memproduksinya. Konsep peraturan produksi barang konsumen yang mengandung zat radioaktif ini diharapkan mampu menjadi pedoman bagi setiap produsen pada saat mem-

produksi barang konsumen, sehingga aman bagi pekerja, anggota masyarakat, dan lingkungan hidup.

Pengelompokan pemanfaatan sumber radiasi pengion dan bahan nuklir dikelompokkan menjadi 3 (tiga) meliputi kelompok A, kelompok B dan kelompok C. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 29 tahun 2008 pasal 4 huruf g, produksi barang konsumen yang mengandung zat radioaktif termasuk pemanfaatan sumber radiasi pengion kelompok A. Pengelompokan tersebut 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. Semakin tinggi risiko suatu pemanfaatan, maka persyaratan izin yang diberlakukan semakin ketat. Dalam hal ini pemanfaatan sumber radiasi

pengion dan bahan nuklir yang dikelompokkan kedalam kelompok A termasuk didalamnya produksi barang konsumen yang mengandung zat radioaktif, mempunyai persyaratan izin paling ketat dibandingkan dengan kelompok B dan kelompok C.

Perusahaan atau badan yang akan memproduksi barang konsumen diwajibkan memberitahukan terlebih dahulu rencana tersebut kepada BAPETEN, untuk dilakukan evaluasi dan inspeksi perizinan untuk selanjutnya dilakukan penilaian perizinan oleh BAPETEN. Hal ini dilakukan untuk menjamin keselamatan radiasi terhadap pekerja, anggota masyarakat pengguna barang konsumen, dan lingkungan hidup. Dalam melakukan penilaian, BAPETEN mempersyaratkan tiga prinsip dasar proteksi radiasi yang meliputi justifikasi, limitasi dosis dan penerapan optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi. Konsep pengaturan produksi barang konsumen akan dibuat menjadi peraturan yang mampu laksana dan mampu terap selanjutnya peraturan ini menjadi pegangan badan pengawas untuk menentukan penilaian apakah produksi barang konsumen tersebut memenuhi persyaratan perizinan atau tidak memenuhi persyaratan perizinan BAPETEN.

Banyaknya barang konsumen yang sudah beredar di masyarakat mendorong BAPETEN untuk mengatur penggunaannya terutama dalam produksinya, sehingga keselamatan radiasi keselamatan radiasi terhadap pekerja, anggota masyarakat, dan lingkungan hidup dapat terjamin dan penggunaannya aman tanpa memerlukan pengawasan [1].

Makalah ini akan membahas mengenai konsep pengaturan produksi barang konsumen yang mengandung zat radioaktif di Indonesia. Dengan adanya konsep pengaturan tersebut, penulis berharap dapat memberikan penjelasan dan pemaparan tentang pentingnya pengaturan, dan ketentuan keselamatan yang harus dipenuhi dalam melaksanakan produksi barang konsumen untuk menjamin keselamatan dan kesehatan pekerja, masyarakat serta melindungi lingkungan hidup sehingga barang konsumen aman untuk digunakan oleh pengguna akhir dan tidak memerlukan pengawasan. Manfaat lain dari konsep pengaturan ini bagi perusahaan atau badan yang memanfaatkan tenaga nuklir juga dapat memiliki kepastian hukum dalam mengelola bisnisnya, khususnya terkait dengan produksi barang-barang konsumen.

2. METODOLOGI

Dalam penyusunan makalah konsep pengaturan produksi barang konsumen ini dilakukan dengan metode deskriptif melalui studi pustaka dengan tahapan meliputi pengumpulan literatur dan informasi pendukung seperti dari peraturan perundang-undangan yang terkait baik peraturan yang bersifat nasional maupun internasional, analisis, diskusi dan pembahasan serta penyusunan laporan. Lingkup pembahasan dititikberatkan kepada kebijakan Kepala BAPETEN yang akan dituangkan dalam bentuk Peraturan Kepala BAPETEN yang berfokus kepada pembahasan yang lebih tinggi mengacu ke *Safety Standards, Radiation Protection and Regulatory Control for Consumer Products*, (IAEA Draft Safety Guide No. DS458) dan *Radiological Safety In The Design and Manufacture of Consumer Products Containing Radioactive Substance* (AER-B-SS-4), Atomic Energy Regulatory Board, India.

3. IAEA DRAFT SAFETY GUIDE NOMOR DS458

Barang konsumen adalah barang yang mengandung radionuklida atau diproduksi dengan aktivasi atau yang menghasilkan radiasi pengion, dan dapat dijual kepada masyarakat tanpa pengawasan. Cara memproduksi barang konsumen ada 3 (tiga) jenis yaitu, dengan:

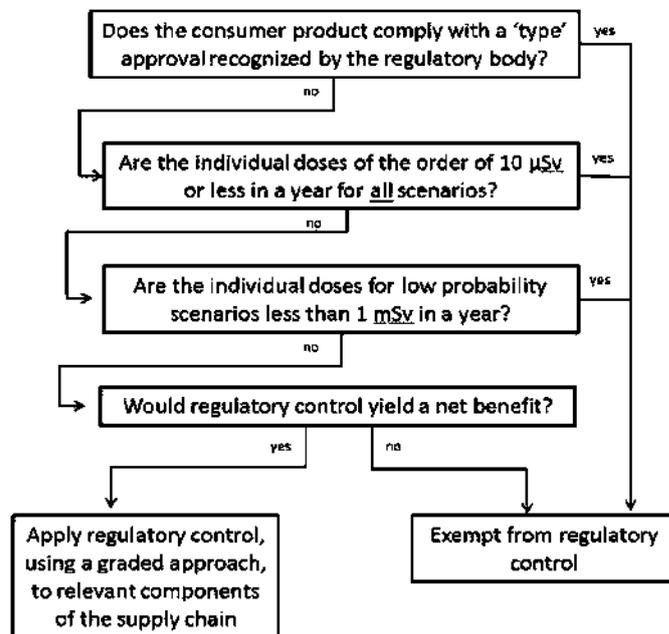
1. menambahkan zat radioaktif yang memiliki waktu paruh yang panjang, karena memungkinkan barang tersebut untuk terus berfungsi sepanjang masa yang diharapkan.

2. memasukkan pembangkit radiasi atau tabung elektronik kedalam peralatan atau perangkat pembuatan.
3. iradiasi neutron yang menghasilkan produk aktivasi produk aktivasi.

Barang konsumen yang mengandung zat radioaktif antara lain detektor asap (ICSDs), produk yang mengandung gas tritrium (GTLS), pelampung alat kail, lampu yang mengandung Th, Kr dan tritium, komponen elektronik, kaos lampu gas, elektroda, peralatan makan minum yang mengandung uranium penghilang debu, lensa kamera dan kacamata yang mengandung thorium dan produk lain seperti mesin koin dan kartu identitas [2].

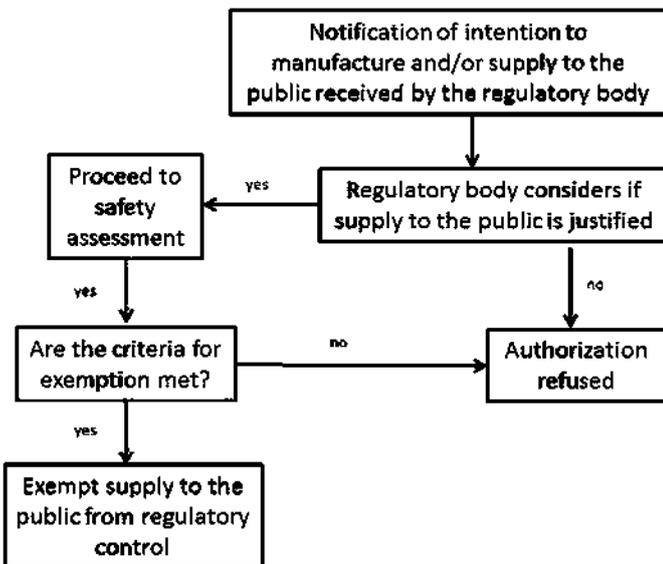
Dalam memproduksi barang konsumen maka setiap perusahaan harus menerapkan kerangka proteksi radiasi sebagai berikut:

1. Justifikasi: Sebelum membuat dan memasarkan barang konsumen yang mengandung radioaktif kepada masyarakat, maka perusahaan harus memberitahukan kepada BAPETEN dan menyampaikan prinsip justifikasi dari produk yang diusulkan. Prinsip justifikasi harus mempertimbangkan segala aspek, termasuk pembuatan, perakitan, transportasi, pemasaran, penggunaan dan limbah. Bila produk atau kegiatan tersebut dianggap sudah tidak bisa dibenarkan maka badan pengawas harus menarik barang konsumen yang ada dipasaran. Peran utama badan pengawas adalah memastikan bahwa setiap produk mengandung radioaktif yang dijual kepada masyarakat aman.
2. Pemberitahuan: Perusahaan wajib memberitahukan kepada badan pengawas sebelum memproduksi barang konsumen dengan melampirkan dokumen yang mencakup penjelasan produk, aktivitas radionuklida, desain produk, pengujian mutu, prosedur verifikasi, pengkajian keselamatan, tes prototipe, tingkat radiasi, informasi penggunaan dan pelabelan, seperti dalam **Gambar 1** berikut.



Gambar 1: Tahapan Pemberitahuan

3. Optimisasi: bertujuan untuk mengendalikan paparan radiasi yang diterima masyarakat serendah-rendahnya dengan memperhatikan pemilihan radionuklida, pemilihan bentuk fisik dan kimia, desain barang konsumen, pencegahan akses sumber radioaktif, pengalaman dari produk lain serupa serta verifikasi kualitas, seperti dalam **Gambar 2** berikut.



Gambar 2: Tahapan Pengkajian Keselamatan

4. AERB-SS-4 INDIA “RADIOLOGICAL SAFETY IN THE DESIGN AND MANUFACTURE OF CONSUMER PRODUCTS CONTAINING RADIOACTIVE SUBSTANCE”

Dalam rangka kegiatan untuk menjamin keselamatan radiasi kepada masyarakat yang menggunakan barang konsumen, maka produksi barang konsumen harus dilakukan berbagai macam uji berdasarkan karakteristik masing-masing barang konsumen. Penulis menggunakan referensi AERB-SS-4 India untuk menentukan spesifikasi dan uji barang konsumen. Penulis memilih referensi AERB-SS-4 India dikarenakan negara Indonesia dengan negara India merupakan negara berkembang yang baru mengembangkan penggunaan dan/atau pemanfaatan tenaga nuklir. Alasan lainnya juga adalah terbatasnya ketersediaan referensi lain yang mendukung atau membahas produksi barang konsumen secara detail beserta ujinya.

Penjelasan mengenai spesifikasi, uji dan pelabelan, dijelaskan penulis dengan tabel di bawah ini [3]:

Tabel 1: Spesifikasi Teknis

Jenis Barang Konsumen	Spesifikasi Teknis
Jam tangan bercahaya	<ol style="list-style-type: none"> Sumber radioaktif: Tritium (H-3) dan Promethium (Pm-147) Jam yang dipakai: <ul style="list-style-type: none"> Aktivitas maksimal/jam tangan dalam jumlah banyak: H-3 = 200 MBq; Pm-147 = 300 MBq Aktivitas maksimal/jam tangan terkungkung: H-3 = 4 MBq; Pm-147 = 6 MBq Jam yang tidak dipakai <ul style="list-style-type: none"> Aktivitas maksimal/jam tangan dalam jumlah banyak: H-3 = 300 MBq; Pm-147 = 400 MBq Aktivitas maksimal/jam tangan terkungkung: H-3 = 6 MBq; Pm-147 = 8 MBq Jam tangan khusus <ul style="list-style-type: none"> Aktivitas maksimal/jam tangan terkungkung: H-3 = 1 GBq; Pm-147 = 20 MBq
Sumber Cahaya Gas Tritium (GTLS)	<ol style="list-style-type: none"> Sumber radioaktif: Tritium dalam bentuk H₂ dan H₃H Aktivitas ≤ 75 GBq Oksigen/uap air dlm gas tritium ≤ 2% dari total aktivitas tritium Tebal wadah kaca ≥ 0,6 mg/cm dan ≥ 20% dari diameter luar Tekanan pengisian < 1atm (umum) dan 2,5 atm (khusus) Tebal wadah kaca ≥ 2mm dan harus pas sesuai wadah Radiasi permukaan ≤ 1 mSv/jam per GBq tritium

Jenis Barang Konsumen	Spesifikasi Teknis
Perlatan yang mengandung gas tritium (GTLD)	<ol style="list-style-type: none"> Sumber radioaktif: Tritium Aktivitas ≤ 925 GBq Radiasi Permukaan ≤ 2,5 μSv/jam Ventilasi berdiameter 2mm-3mm dan berada ditengah Bagian depan terbuat dari bahan plastik/kaca Bagian belakang terbuat dari plastik/logam
Detektor Asap (ICSDs)	<ol style="list-style-type: none"> Sumber radioaktif: Am-241 Aktivitas ≤ 40 kBq Sumber radioaktif harus tersegel dalam kontainer Laju dosis ≤ 1 μSv/jam pada 0,1 m dari permukaan ICSD Tingkat kontaminasi: 0,04 Bq/cm²
Starter Lampu	<ol style="list-style-type: none"> Sumber radioaktif dan aktivitas <ul style="list-style-type: none"> Kr-85: 5 Bq Tritium: 40 Bq Pm-147: 20 kBq Thorium: 0,05 mg Ketebalan kaca bohlam ≥ 0,6 mg/cm² Kaca bohlam tertutup dalam kontainer yang terbuat dari logam atau bahan polikarbonat
Kaos Lampu Pijar Gas	<ol style="list-style-type: none"> Sumber radioaktif: Torium Kandungan torium dalam lapisan Jika <i>candle power</i> 0–400, maka rata-rata torium per lapisan sebesar 600 mg Jika <i>candle power</i> > 400, maka rata-rata torium per lapisan sebesar 800 mg
Perangkat Antistatik	<ol style="list-style-type: none"> Sumber radioaktif: Po-210 Aktivitas ≤ 50 MBq Rata-rata aktivitas jika diambil acak: 3,7 MBq Diameter mikrosfer: 40 μm

Tabel 2: Pelabelan

Jenis Barang Konsumen	Pelabelan
Jam tangan bercahaya	<ol style="list-style-type: none"> T1G untuk kandungan tritium Pm20M untuk promethium
Perlatan yang mengandung gas tritium (GTLD)	<ol style="list-style-type: none"> Menggunakan simbol trifoil dasar, berdekatan dengan huruf dan angka serta tanggal masa berakhir penggunaan Label kata “Tritium” dan aktivitas saat pembuatan Nomor seri Kata “GTLD ini sesuai dengan AERB/SS-04 (1951)” Jangan Dibuka!! Bila perangkat harus dibuang, maka harus dikembalikan keprodusen Nama dan alamat produsen
Detektor Asap (ICSDs)	<ol style="list-style-type: none"> Menggunakan simbol trifoil dasar, berdekatan dengan huruf dan angka serta tanggal masa berakhir penggunaan Label kata “Am-241” dan aktivitas saat pembuatan nomor seri Kata “ICSD ini sesuai dengan AERB/SS-04 (1951)” Jangan Dibuka!! Bila perangkat harus dibuang, maka harus dikembalikan keprodusen Nama dan alamat produsen
Kaos Lampu Pijar Gas	<ol style="list-style-type: none"> Gunakan pada area berventilasi cukup Jaga jarak aman saat pencahayaan Jauhkan kaos lampu dari jangkauan anak-anak Jangan Ditelan!! Buang pada tempat sampah jika tak digunakan Cuci tangan setelah memegang
Perangkat Antistatik	<ol style="list-style-type: none"> Simbol trifoil dan kata “Po-210” dan aktivitas pada tanggal pembuatan Nomor seri Kata “Perangkat ini sesuai dengan AERB/SS-04 (1951)” Jangan Dibuka!! Nama produsen dan alamat

Tabel 3: Jenis Uji

Jenis Barang Konsumen	Jenis Uji
Jam tangan bercahaya	<ul style="list-style-type: none"> • Uji Usap • Uji Warna • Uji Penuaan • Uji Rendam • Uji Intensitas • Uji Bengkok
Sumber Cahaya Gas Tritium (GTLS)	<ul style="list-style-type: none"> • Uji Getaran • Uji Warna • Uji Tekan Luar • Uji Rendam • Uji Suhu
Perlatan yang mengandung gas tritium (GTLD)	<ul style="list-style-type: none"> • Uji Getaran • Uji Tekan Luar • Uji Suhu • Uji Jatuh • Uji Benturan
Detektor Asap (ICSDs)	<ul style="list-style-type: none"> • Uji Getaran • Uji Suhu • Uji Jatuh • Uji Dampak • Uji Kebakaran • Uji Pembakaran dan suhu api tinggi industri
Starter Lampu	<ul style="list-style-type: none"> • Uji Tekan Luar • Uji Rendam • Uji Suhu • Uji Jatuh • Uji Benturan
Kaos Lampu Pijar Gas	<ul style="list-style-type: none"> • Uji Usap • Uji Rendam
Perangkat Antistatik	<ul style="list-style-type: none"> • Uji Usap • Uji Rendam • Uji Dampak • Uji Kebakaran

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam Pasal 9 juncto Pasal 4 huruf g PP 29/2008 tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir yang menjadi dasar amanat pengaturan produksi barang konsumen disebutkan bahwa apabila akan memproduksi barang konsumen yang mengandung zat radioaktif agar mencapai tingkat aman bagi pekerja masyarakat dan lingkungan hidup diatur lebih lanjut dengan Perka BAPETEN.

Mengacu kepada amanat dari Peraturan Pemerintah tersebut menjadi sangat lugas dan jelas sekali diperlukannya suatu kebijakan berupa peraturan perundang-undangan sebagai landasan atau kepastian hukum para pengusaha/perusahaan atau badan yang akan memproduksi barang konsumen atau mengajukan izin produksi barang konsumen yang mengandung zat radioaktif [5].

Berdasarkan PP 29/2008, ada beberapa persyaratan izin yang harus dipenuhi oleh suatu perusahaan atau badan usaha dalam pemanfaatan tenaga nuklir kelompok A. Persyaratan tersebut meliputi persyaratan administratif dan teknis. Persyaratan administratif dijelaskan dalam pasal 12 meliputi identitas pemohon izin, akta pendirian badan hukum atau badan usaha, izin dan/atau persyaratan yang ditetapkan oleh instansi lain yang berwenang sesuai dengan peraturan perundang-undangan, dan lokasi Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir. Sedangkan persyaratan teknis dijelaskan dalam pasal 14 meliputi prosedur operasi, spesifikasi teknis Sumber Radiasi Pengion atau Bahan Nuklir yang digunakan, sesuai dengan standar keselamatan radiasi, perlengkapan proteksi radiasi dan/atau peralatan keamanan Sumber Radioaktif, program proteksi dan keselamatan radiasi dan/atau program keamanan Sumber Radioaktif, laporan verifikasi keselamatan radiasi dan/atau keamanan Sumber Radioaktif, 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 data kualifikasi personil. Semua persyaratan tersebut harus dipenuhi guna menjamin keselamatan dan keamanan radiasi pada saat memproduksi barang konsumen dan produk yang sudah jadi.

Tabel 4: Cara Pengujian

Jenis Uji	Cara pengujian
Uji Usap	<ul style="list-style-type: none"> • Jam : Jam dicat dan dikeringkan dalam oven bersuhu 50° C selama 15 menit. Setelah pendinginan tanda luminous dihapus menggunakan kapas kering/sikat nomor nol untuk membuktikan tidak ada penyebaran zat radioaktif dari pengecatan • Kaos lampu pijar gas : Mengusap permukaan luar lapisan dengan spons kertas filter/bahan berdaya serap tinggi yang dibasahi dengan cairan yang tidak mengandung bahan kimia. Kondisi pengujian terbukti efektif jika aktivitas spons setelah pengujian < 185 Bq • Perangkat antistatik : Permukaan luar sumber rakitan diusap dengan kapas kering dan diuji perpindahan kontaminasinya. Aktivitas kapas setelah pengujian < 0,04 Bq/cm²
Uji Getaran	Diuji dengan 5 siklus lengkap getaran berfrekuensi 25–500 Hz pada 5 g. Dimulai dari minimum-maksimum-minimum dalam waktu 10 menit. Jika ditemukan frekuensi resonansi maka 30 menit.
Uji Warna	<ul style="list-style-type: none"> • Jam tangan : Warna dibandingkan dengan acuan standar yang terdiri dari 50 mg luminescent non radioaktif yang diendapkan pada permukaan 1 cm, disalah satu ujung penyangga yang terbuat dari baja stainless yang memiliki reflektivitas antara 0,2 dan 0,3 • GTLS : Diuji pada suhu sekitar 27° C dan kelembaban 95–100%, hilangnya luminositas harus ≤ 20% diukur dengan fotometer visual
Uji Tekan luar	Dimasukkan dalam kamar uji dengan tekanan 25 kPa dan 200 kPa masing-masing selama 15 menit
Uji Penuaan	<ul style="list-style-type: none"> • Ditempatkan dalam kontainer kaca (berbentuk silinder dengan dasar datar dan sisi lurus, tinggi = 0,5 diameter) bersuhu normal, dan tidak boleh tenggelam. • Kontainer kaca ditutup dengan polietilen 0,1 mm dan ditempatkan di bawah lampu UV 300 Watt, harus terkena radiasi sinar UV dengan panjang gelombang 300 nm selama 3 jam
Uji Rendam	Direndam pada suhu tertentu baik panas dan dingin dalam waktu tertentu, aktivitas diukur setelah perendaman.
Uji Suhu	Dipanaskan dan didinginkan pada suhu dan waktu tertentu
Uji Jatuh	Dijatuhkan dari ketinggian tertentu pada permukaan yang keras
Uji Benturan	Perangkat dikenai 2000 benturan dari jarak 5 cm pada permukaan yang keras
Uji dampak	Palu baja dengan berat 0,5 kg dijatuhkan dari ketinggian tertentu ke perangkat yang diposisikan pada landasan baja sehingga rusak maksimum
Uji Intensitas	Disimpan dalam kegelapan minimal 3 jam
Uji bengkok	<ul style="list-style-type: none"> • Tangan dengan panjang 15 mm/kurang harus dibengkokkan dan diputar silinder dengan diameter 12,5 mm • Tangan > 15 mm harus dibengkokkan dengan radius sama dengan panjang tangan dan toleransi ± 1 mm
Uji Kebakaran	Perangkat ditempatkan pada tabung kaca dengan kecepatan alir udara yang melewati 1–5 l/menit. setelah itu dipanaskan pada suhu tertentu, dan diukur aktivitas setelah uji
Uji Pembakaran dan suhu api tinggi industri	Sama dengan uji kondisi kebakaran hanya saja suhunya mencapai 1200°C selama 1 jam

Keselamatan dan keamanan radiasi yang dimaksud di atas adalah keselamatan dan keamanan radiasi bagi petugas, masyarakat pengguna barang konsumen, dan lingkungan hidup. Keselamatan dan keamanan radiasi tersebut harus tertuang dalam laporan verifikasi keselamatan yang dibuat oleh perusahaan atau badan usaha. Laporan tersebut dapat diperkuat dengan program proteksi dan keselamatan radiasi serta program jaminan mutu produk untuk melengkapi dokumen persyaratan [4].

BAPETEN menjamin keselamatan dan keamanan radiasi dalam penggunaan barang konsumen jika pengusaha atau badan hukum memenuhi semua persyaratan yang telah disebutkan di atas. Persyaratan ketat yang dipersyaratkan tersebut dimaksudkan untuk melindungi masyarakat pengguna barang konsumen, karena barang konsumen yang ada dipasaran selayaknya sudah dibebaskan dari kontrol pengawasan, barang konsumen yang dilepas ke-pasaran harus lolos berbagai macam uji yang dipersyaratkan yang sesuai dengan bahaya masing-masing barang konsumen.

Pengujian yang dilakukan terhadap barang konsumen berbeda-beda tergantung dari jenis dan potensi bahayanya, di antara-

nya dengan melakukan: uji usap, suhu, rendam, tekan luar, jatuh, benturan, warna, intensitas, getaran, dampak, kebakaran dan uji lainnya. Dalam AERB SS-04 dijelaskan secara detail dan jelas mengenai uji yang harus dilakukan terhadap barang konsumen dan cara melakukannya, sehingga hal ini harus menjadi bagian dari persyaratan teknis produksi barang konsumen. Produksi jam tangan bercahaya harus melewati uji usap, warna, intensitas, penuaan, rendam, dan uji bengkok. Sumber cahaya gas tritium (GTLS) meliputi uji getaran, warna, tekan luar, rendam, dan uji suhu. Peralatan yang mengandung gas tritium (GTLD) meliputi uji getaran, tekan luar, suhu, jatuh dan uji benturan. Detektor asap (ICSDs) harus melewati uji getaran, suhu, dampak, kebakaran dan uji pembakaran pada suhu tinggi. Starter lampu diuji dengan uji tekan luar, rendam, suhu, jatuh dan uji benturan. Kaos lampu pijar gas dengan uji usap dan rendam, sedangkan perangkat antistatik harus melewati uji usap, rendam, dampak dan kebakaran.

Selain dengan pengujian, standar keselamatan harus memenuhi tiga prinsip dasar yang tertuang dalam IAEA Draft Safety Guide Nomor DS458 yaitu justifikasi, limitasi dan optimisasi. Justifikasi merupakan prinsip dasar yang mengharuskan manfaat produksi barang konsumen harus lebih besar dibandingkan dengan potensi bahaya radiasi. Limitasi berhubungan dengan nilai exemption atau nilai batas di mana suatu barang konsumen dapat dilepas kepasarannya tanpa memerlukan pengawasan harus memenuhi nilai batas yang sudah ditentukan. Artinya paparan zat radioaktif yang terdapat dalam produk maupun produksi barang konsumen tersebut tidak boleh melampaui batas. Optimisasi barang konsumen adalah memastikan zat radioaktif yang terdapat pada barang konsumen menghasilkan paparan radiasi yang serendah-rendahnya, jauh lebih kecil dari nilai batas yang dipersyaratkan. Semua ini harus dilakukan agar penggunaan barang konsumen dimasyarakat aman tanpa memerlukan kontrol pengawasan.

6. KESIMPULAN

Peraturan Perundang-undangan khususnya Peraturan Kepala BAPETEN tentang produksi barang konsumen yang mengandung zat radioaktif di Indonesia sebagai kepastian hukum dan operasional kegiatan di Indonesia sangat dibutuhkan dan diperlukan untuk segera diatur dalam peraturan. Konsep pengaturan yang akan disusun haruslah mencakup izin produksi barang konsumen dan persyaratan keselamatan dan keamanan radiasi dalam memproduksi barang konsumen baik dari sisi pengawasan produksi barang konsumen yang mengandung zat radioaktif maupun produk dari barang konsumen tersebut sehingga barang konsumen aman untuk digunakan oleh pengguna akhir dan tidak memerlukan pengawasan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] **BAPETEN** (2008); "Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 29 Tahun 2008 tentang Perizinan pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir"; BAPETEN, Jakarta.
- [2] **IAEA** (2012); *Radiation Protection and Regulatory Control for Consumer Products*, (IAEA Draft Safety Guide No. DS458); IAEA, Vienna.
- [3] **AERB** (1991); *Radiological Safety In The Design and Manufacture of Consumer Products Containing Radioactive Substance (1991)* (AERB-SS-4); AERB, India.
- [4] **BAPETEN** (2007); "Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif"; BAPETEN, Jakarta.
- [5] **BAPETEN** (2013); "Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 17 Tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi Dalam Kegiatan Impor, Ekspor dan Pengalihan Barang Konsumen"; BAPETEN, Jakarta.



Seminar Keselamatan Nuklir 2014

Makalah Penyaji Poster

Bidang Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif

Prosiding
Seminar
Keselamatan
Nuklir
2014

MEMBANGUN STRATEGI NASIONAL DALAM PENGAWASAN ORPHAN SOURCE

Aris Sanyoto, Wahyu Ramdhan, Ilham Hidayat

Direktorat Inspeksi Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif
a.sanyoto@bapeten.go.id

ABSTRAK

MEMBANGUN STRATEGI NASIONAL DALAM PENGAWASAN ORPHAN SOURCE. Saat ini sumber radioaktif yang berada di wilayah Republik Indonesia jumlahnya mencapai ribuan buah. Sumber tersebut memiliki variasi dalam hal jenis, tingkat aktivitas dan tujuan penggunaan. Dari jumlah tersebut, masih ada sejumlah sumber radioaktif yang tidak pernah memiliki izin dari BAPETEN. Kondisi lain yang memerlukan perhatian adalah peristiwa hilangnya sumber radioaktif milik PT Krakatau Steel beberapa tahun yang lalu. Sumber radioaktif yang tidak berada dalam pengawasan BAPETEN, baik akibat tidak pernah memiliki izin, karena dicuri, hilang ataupun dipindah-tangankan secara ilegal dikategorikan sebagai sumber radioaktif *orphan sources*. Belajar dari pengalaman kecelakaan yang melibatkan sumber radioaktif *orphan source* di negara-negara lain dengan konsekuensi yang parah, baik terhadap pekerja, masyarakat umum, lingkungan dan bahkan perekonomian, mengisyaratkan pentingnya membangun sistem nasional yang mampu mendeteksi secara dini sumber radioaktif *orphan source* dan mengembalikannya ke dalam kerangka pengawasan BAPETEN. Sistem tersebut dapat terdiri dari infrastruktur organisasi dengan melibatkan *stake holder*, sosialisasi program *awareness* dan pemasangan alat monitor radiasi di lokasi-lokasi strategis. Selain itu BAPETEN perlu melakukan kajian untuk mendapatkan gambaran potensi terjadinya *orphan source* dan konsekuensinya dengan memberi perhatian khusus pada penggunaan sumber masa lampau yang berasal dari donasi negara sahabat dan juga sumber yang berada di daerah konflik ataupun yang mengalami bencana alam.

Kata Kunci : *orphan source*, pengawasan, sistem nasional

ABSTRACT

DEVELOPING NATIONAL STRATEGY ON CONTROLLING ORPHAN SOURCES. Nowadays, there are thousands of radioactive sources in the whole territory of the Republic of Indonesia with varying in radionuclide type, activity as well the purpose of use. Of the numbers, there are still a number of radioactive sources without any proper license from BAPETEN, as national authority. Another condition necessary particular attention is the experience of PT Krakatau Steel for being stolen of its radioactive sources a few years ago. Those radioactive sources with no under control or without proper authorization by BAPETEN are classified as orphan sources. Lesson learned from the experiences of other countries in line with orphan sources accident, with consequences tremendous, both for worker, member of the public, the environment and also the economic, it is clearly indicate the needs to develop a national system with capabilities to detect the orphan sources and to regain it under regulatory control. The system may consist of organization infrastructure amongs the stake holder, awareness program and install the radiation monitor devices in the strategic points. In addition, BAPETEN needs to do an assessment to picture the potential of orphan source with special attention given to the utilization of radioactive sources imported as donation from abroad, as well as the radioactive sources located in area of conflicts or disaster experience.

Key words: *orphan source*, regulatory control, national system

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sejak pertama kali diketahui sifat khas radiasi pengion (nuklir) dalam menembus berbagai benda, maka banyak para ilmuwan yang memanfaatkannya untuk berbagai tujuan. Sebagai contoh adalah pemeriksaan kualitas las-lasan pada sambungan pipa besi menggunakan peralatan radiografi industri untuk memastikan adanya cacat atau tidak yang sangat berguna dalam jaminan kualitas. Aplikasi lain dalam industri adalah untuk mengukur level ketinggian fluida (cairan) di dalam tangki & kaleng botol minuman, mengukur ketebalan kertas & plastik, menganalisa kandungan unsur dalam sampel pertambangan (*well logging*), dll. Sedangkan penggunaan dalam bidang kesehatan (medik) adalah untuk memeriksa kelainan fungsi maupun adanya cacat pada pasien (radiologi), merawat dan menyembuhkan pasien kanker (radioterapi), dll. Sistem teknologi dengan memanfaatkan sifat karakteristik radiasi

sebagai tools yang mendasari proses pengolahan data disebut teknologi nuklir. Radiasi yang digunakan berasal dari sumber radiasi, baik dalam bentuk mesin maupun sumber radioaktif. Makalah ini hanya membahas sumber radioaktif. Di Indonesia, selain bidang industri dan medik, teknologi nuklir telah diaplikasikan dalam bidang pertanian, riset, dan pendidikan.

Teknologi nuklir umumnya memiliki sistem keselamatan yang handal sehingga rekaman kecelakaan yang terjadi jumlahnya tidak banyak. Namun demikian beberapa kecelakaan yang terekam IAEA seperti di Juarez, Mexico, Goiânia, Brazil, Tammiku, Estonia, Lilo, Georgia, Istanbul, Turkey, dan Bangkok, Thailand melibatkan sumber radioaktif telah menimbulkan konsekuensi yang sangat serius, seperti kematian, kontaminasi lingkungan dan kerugian ekonomi yang luar biasa. Potensi kecelakaan tersebut semakin tinggi pada kondisi di mana sumber tidak berada dalam pengawasan Badan Pengawas. Termasuk dalam kondisi tersebut adalah sumber yang dipindah-tangankan tanpa mengikuti ketentuan regulasi, sumber

yang telah diabandonment, sumber yang hilang, salah penempatan ataupun dicuri. Sumber radioaktif semacam ini dikenal dengan sebutan *orphan sources*. Di Indonesia, pengalaman tidak terlacknya kasus kehilangan sumber milik PT Krakatau Steel beberapa tahun yang lalu telah mengisyaratkan pentingnya mengembangkan strategi nasional dalam mengawasi sumber dalam kategori *orphan source*.

1.2. Permasalahan

Potensi konsekuensi serius, seperti kematian, kontaminasi lingkungan dan kerugian ekonomi atas kecelakaan radiology terkait *orphan source* dan pengalaman tidak terlacknya kasus kehilangan sumber milik PT Krakatau Steel mengisyaratkan pentingnya mengembangkan strategi nasional dalam mengawasi sumber-sumber kategori *orphan source*.

1.3. Tujuan

Tujuan dari makalah ini adalah untuk mengidentifikasi strategi nasional yang diperlukan dalam mendeteksi secara dini sumber-sumber *orphan source* dan mengendalikannya ke dalam kerangka pengawasan.

1.4. Ruang Lingkup

Ruang lingkup makalah ini meliputi strategi pengawasan terhadap sumber radioaktif terbungkus (sumber) dan material terkontaminasi zat radioaktif (material) dalam kategori *orphan source*.

2. POKOK BAHASAN

Dewasa ini pengawasan terhadap bahan nuklir dan bahan radioaktif serta teknologinya telah memperoleh perhatian serius dari Badan Tenaga Atom Internasional (IAEA). Perhatian tersebut tidak terlepas dari berbagai peristiwa yang pernah terjadi, seperti serangan terhadap WTC pada 11 September 2001 dan 2477 peristiwa illicit trafficking yang dilaporkan oleh para negara peserta, seperti yang terekam dalam Illicit Trafficking Data Base (ITDB). Rekaman ITDB per 31 Desember 2013 mengidentifikasi bahwa sebagian besar peristiwa merupakan aktivitas kriminal seperti pencurian, kepemilikan secara ilegal, percobaan perdagangan ilegal; baik menyangkut bahan nuklir maupun bahan radioaktif. Selain itu, karena berbagai alasan ada kalanya sumber radioaktif tidak berada dalam pengawasan (*orphan sources*) atau tidak memperoleh pengawasan secara memadai (*vulnerable sources*). Sumber-sumber semacam ini harus dapat dideteksi secara dini (ditemukan kembali) dan dikembalikan ke dalam kerangka pengawasan sebelum menimbulkan konsekuensi yang parah.

Rantai atau jalur pasokan barang bekas (besi tua) memiliki sejarah dan peran penting dalam penemuan sumber radioaktif yang tidak diketahui pemiliknya (*orphan sources*) dan material yang terkontaminasi zat radioaktif (material). Dalam beberapa kasus, penemuan tersebut dilakukan melalui screening/pemindaian terhadap limbah besi tua yang memasuki area pengolahan menggunakan alat monitor radiasi. Namun terkadang penemuan tersebut terjadi beberapa saat setelah *orphan sources* atau material tersebut telah dilebur dalam tungku pengolahan (dilelehkan). Identifikasi dan pelaksanaan pemulihan (recovery) terhadap kondisi tersebut membutuhkan sumber daya yang luar biasa (intensif) dan penuh permasalahan. Konsekuensi dari kondisi tersebut bisa jadi sangat signifikan. Peleburan logam yang secara tidak sengaja tercampur dengan *orphan source* dan material terkontaminasi dapat menghasilkan produk-produk dan juga produk samping (by-product) terkontaminasi zat radioaktif. Kondisi ini dapat menyebabkan paparan radiasi yang signifikan, baik terhadap pekerja, anggota masyarakat maupun lingkungan hidup. Selain itu kondisi tersebut dapat memperburuk perekonomian nasional karena ketakutan

terhadap produk-produk yang terkontaminasi sehingga mempengaruhi kehilangan waktu produksi, kapabilitas dan harga pasar/saham.

2.1. Data

Status izin sumber radioaktif di Indonesia berdasarkan data yang diperoleh dari B@lis BAPETEN per tanggal 16 Mei 2014 yang menggambarkan besarnya jumlah status izin yang masih aktif maupun tidak aktif dapat dilihat pada **Tabel 1**.

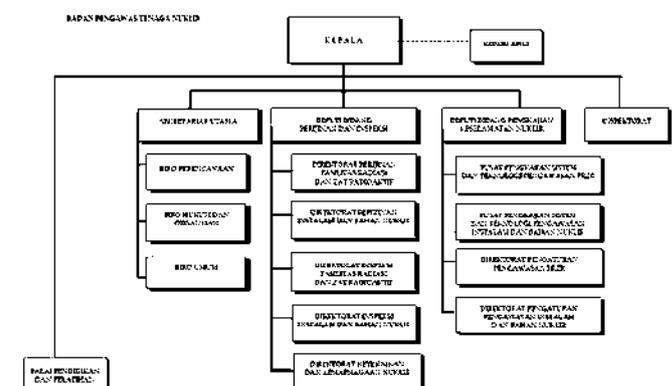
Tabel 1: Gambaran Sumber Radioaktif di Indonesia Menurut Status Izin

No.	Status Izin	Aktif	Non Aktif	Total
1	Zat Radioaktif Memiliki Izin Pemanfaatan	5870	171	6041

Sedangkan penggunaan sumber radioaktif di Indonesia pada saat ini dapat digambarkan menurut berbagai tujuan penggunaannya, seperti yang ditampilkan pada **Tabel 2** berikut ini.

Tabel 2: Gambaran Sumber Radioaktif di Indonesia Menurut Tujuan Penggunaan

No.	Tujuan Penggunaan
1	Impor dan Pengalihan Zat Radioaktif untuk Keperluan Medik dan Non Medik
2	Operasi Penggunaan dalam Radioterapi
3	Penelitian dan Pengembangan dalam Gauging Industri dengan Zat Radioaktif Aktivitas Rendah dan Tinggi
4	Iradiator Kategori I dengan Zat Radioaktif Terbungkus
5	Penelitian dan Pengembangan Zat Radioaktif Terbuka untuk Tujuan Pendidikan, Penelitian dan Pengembangan
6	Penggunaan dalam Fotofluorografi dengan Zat Radioaktif Aktivitas Sedang
7	Penggunaan dalam Gauging Industri dengan Zat Radioaktif Aktivitas Rendah dan Tinggi
8	Penggunaan dalam Radiografi Industri Fasilitas Terbuka
9	Penggunaan dalam Well Logging
10	Penggunaan Zat Radioaktif untuk Tujuan Pendidikan, Penelitian dan Pengembangan
11	Penggunaan Zat Radioaktif untuk Kalibrasi
12	Penyimpanan Zat Radioaktif



Gambar 1: Struktur Organisasi BAPETEN

3. PENGOLAHAN DATA DAN PEMBAHASAN

Di Indonesia, terkait dengan pengawasan dalam pemanfaatan tenaga nuklir telah diterbitkan regulasi berupa Peraturan Pemerintah (PP) No. 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pngion dan Keamanan Sumber Radioaktif dan PP 29/2008 tentang Perijinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pngion dan Bahan Nuklir. Dari **Tabel 1**. Gambaran Sumber Radioaktif di Indonesia Menurut Status Izin, saat ini jumlah sumber radioaktif yang ada di wilayah Republik Indonesia tidak kurang dari 6000 buah. Pemegang Izin Pemanfaatan Tenaga Nuklir meliputi tujuan radioterapi, iradiator, radiografi, well logging, gauging, penelitian, kalibrasi, dll. Adapun jenis sumber radioaktif yang digunakan antara lain Co-60, ¹³⁷Cs, Ir-192 dengan aktivitas rendah, sedang dan tinggi.

Pelaksanaan pengawasan sumber radioaktif dilakukan oleh BAPETEN melalui peraturan, perizinan dan inspeksi. Setiap orang ataupun badan hukum yang akan memanfaatkan sumber radiasi harus terlebih dahulu mengajukan permohonan ke BAPETEN dengan melengkapi berbagai persyaratan yang telah ditentukan. Setelah permohonan tersebut dievaluasi dan hasilnya memenuhi persyaratan maka pemohon akan menerima Surat Ijin Pemanfaatan Tenaga Nuklir. Selanjutnya untuk memastikan semua ketentuan regulasi dan kondisi perijinan, BAPETEN dapat melakukan inspeksi. Pelaksanaan inspeksi tersebut dilakukan oleh inspektur keselamatan nuklir dengan frekuensi yang disesuaikan dengan tingkat risiko dari sumber radiasi yang tertera dalam ijin. Dari gambar 1: Struktur organisasi BAPETEN, dapat dilihat bahwa BAPETEN telah memiliki semua fungsi yang diperlukan untuk melaksanakan tugas-tugas pengawasan seperti tersebut di atas.

Pengawasan yang dilakukan dengan struktur organisasi dan fungsi seperti yang dijelaskan pada alinea sebelumnya efektif untuk kondisi normal, di mana sumber memiliki status kepemilikan yang jelas. Kondisi lain yang memerlukan pengawasan secara serius adalah sumber radioaktif dalam kategori *orphan source* dan *vulnerable sources*. Termasuk dalam *orphan sources* adalah keberadaan sumber-sumber yang tidak berada dalam pengawasan BAPETEN karena telah dicuri, dipindah-tangankan secara ilegal, di-abandon, dll. Pengalaman kehilangan sumber pernah terjadi di Indonesia beberapa tahun yang lalu. Sejumlah sumber radioaktif milik PT Krakatau Stell hilang dicuri beberapa tahun yang lalu. Sumber radioaktif tersebut saat ini masuk dalam kategori *orphan source* karena tidak berada dalam pengawasan BAPETEN, sehingga memiliki potensi bahaya yang tidak bisa diabaikan, baik terhadap masyarakat umum maupun terhadap lingkungan hidup.

Sedangkan sumber radioaktif dalam kategori *vulnerable sources* adalah sumber radioaktif yang kurang memperoleh pengawasan secara memadai. Sejumlah kondisi yang ditengarai berpengaruh terhadap kurangnya pengawasan sumber radioaktif oleh internal pemegang ijin adalah kurangnya kesadaran manajemen (pemegang ijin) terhadap potensi bahaya sumber radioaktif, terjadinya konflik di dalam internal perusahaan, perusahaan yang sudah mengalami kebangkrutan cukup lama dan akan melimpahkan seluruh komponen pabrik sebagai barang bekas, penggantian sistem teknologi nuklir dengan teknologi lainnya, perpindahan instalasi tanpa memperhatikan instalasi lama. Kondisi lain yang memerlukan perhatian khusus adalah keberadaan sumber radioaktif di daerah-daerah yang mengalami konflik, daerah yang mengalami bencana alam dan lain-lain.

Belajar dari konsekuensi parah akibat kecelakaan sumber radioaktif *orphan source* yang terjadi di negara lain mengisyaratkan pentingnya kemampuan mendeteksi secara dini keberadaan sumber tersebut. Namun karena jalur lalu lintas *orphan source* tersebut sangat luas dan mengingat keterbatasan sumber daya BAPETEN, maka perlu dibangun system yang komprehensif dengan melibatkan semua pemangku-kepentingan (*stake holder*). Sistem tersebut dapat meliputi infrastruktur organisasi, mengembangkan kes-

adaran (*awareness*) para pemangku kepentingan (*stake holder*) dan peralatan deteksi dini. Sistem deteksi dini dapat berupa monitor radiasi yang dipasang di setiap pintu masuk pelabuhan, jalan raya utama (protokol), pintu masuk kawasan pengumpul besi tua, dll.

Sedangkan sosialisasi untuk membangun *awareness* perlu dilakukan kepada *stake holder*, seperti internal BAPETEN, pengusaha limbah besi tua, perusahaan transportasi, pemilik lapak barang-barang bekas (*scrap yards*), perusahaan pengolah/daur ulang, dll. Selain itu juga perlu melibatkan industri penghasil sumber radioaktif, supplier, perusahaan transportasi, pengguna dan manajer limbah radioaktif dan bahkan instansi lain terkait seperti Beacukai, Kepolisian dan Badan Penanggulangan Bencana Nasional.

Namun karena alasan keterbatasan sumber daya, strategi nasional harus memfokuskan prioritas pada sumber-sumber yang berbahaya (Kategori 1–3 menurut IAEA Safety Guide RS-G-1.9). Untuk mendapatkan gambaran sejauh mana potensi terjadinya *orphan source* dan konsekuensinya maka diperlukan kajian penilaian (*assessment*) terhadap situasi nasional. Situasi nasional terkait potensi terjadinya sumber radioaktif *orphan source* dapat dikaji dari dokumen impor dan donasi sumber radioaktif untuk tujuan radioterapi masa lampau (sebelum terbentuk badan pengawas (BAPETEN)), Fasilitas-fasilitas medik yang pernah menggunakan sumber Radium untuk tujuan brakiterapi, perusahaan-perusahaan radiografi industri, industri-industri pengguna nuklir gauging yang sudah tidak beroperasi, sumber radioaktif yang digunakan untuk keperluan militer, dll.

Penilaian terhadap situasi nasional mencakup hal-hal seperti potensi konsekuensi radiologi terhadap pekerja, masyarakat dan lingkungan, potensi *impact* terhadap ekonomi dan sosial, antar-muka dengan lembaga pengawas lain yang terkait dan manajemen insiden dan kecelakaan, inventori terhadap penggunaan sumber saat ini (seperti dalam radioterapi, iradiator, radiografi industri, *well logging*), penggunaan di lingkungan militer, impor dan ekspor sumber, rekaman *illicit trafficking*, limbah radioaktif (termasuk *dis-used sources*), data sumber hilang dan lain lain. Kondisi lain yang perlu diperhatikan adalah sumber radioaktif yang berada dalam wilayah konflik ataupun daerah yang mengalami bencana alam.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Strategi nasional yang diperlukan untuk mendeteksi secara dini sumber radioaktif *orphan source* dan mengendalikannya ke dalam kerangka pengawasan meliputi:

- Membangun infrastruktur organisasi sistem deteksi dini sumber radioaktif dengan melibatkan *stake holder*.
- Membangun kesadaran (*awareness*) para *stake holder* melalui sosialisasi.
- Memasang monitor radiasi sebagai peralatan deteksi dini di tempat-tempat strategis.

4.2. Saran

Perlu dilakukan kajian nasional untuk mendapatkan gambaran potensi terjadinya *orphan source* dan konsekuensinya dengan memberi perhatian khusus pada penggunaan sumber masa lampau yang berasal dari donasi negara sahabat, sumber yang berada di daerah konflik ataupun yang mengalami bencana alam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] **Republik Indonesia** (2007); *Peraturan Pemerintah (PP) No. 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pngion dan Keamanan Sumber Radioaktif*; Kemenkumham, Jakarta.
- [2] **Republik Indonesia** (2008); *Peraturan Pemerintah No. 29*

Tahun 2008 tentang Perijinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir; Kemenkumham, Jakarta.

- [3] **IAEA** (2000); *Legal and Governmental Infrastructure for Nuclear, Radiation, Radioactive Waste and Transport Safety*, GS-R-1; IAEA, Vienna.
- [4] **IAEA** (2002); *Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency*, GS-R-2; IAEA, Vienna.
- [5] **IAEA** (2006); *Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency*, DS105, (to be published as GS-G-2.1 in 2006); IAEA, Vienna.
- [6] **IAEA**, (2004); *Regulatory Control of Radiation Sources*, GS-G-1.5; IAEA, Vienna.



Seminar Keselamatan Nuklir 2014 Makalah Penyaji Poster Bidang Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif

Prosiding
Seminar
Keselamatan
Nuklir
2014

USULAN DOKUMEN PERSYARATAN PERIJINAN DAN PENERAPAN PROGRAM JAMINAN MUTU PADA KONSTRUKSI DAN OPERASI IRADIATOR KATEGORI I DAN II

Anet Hayani, Nugraha Dwi Santosa

Direktorat Perijinan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif, BAPETEN

Jl. Gajah Mada No. 8 Jakarta Pusat

email : a.hayani@bapeten.go.id; n.santosa@bapeten.go.id

ABSTRAK

USULAN DOKUMEN PERSYARATAN PERIJINAN DAN PENERAPAN PROGRAM JAMINAN MUTU PADA KONSTRUKSI DAN OPERASI IRADIATOR KATEGORI I dan II. Pemanfaatan Irradiator pada sektor industri membutuhkan pengawasan dari BAPETEN hal ini dikarenakan pemanfaatan iradiator khususnya iradiator kategori II memiliki potensi bahaya yang cukup tinggi terhadap masyarakat, pekerja dan lingkungan. Sistem pengawasan yang dilakukan oleh BAPETEN salah satunya adalah dengan memberikan izin terhadap pemanfaatan iradiator, sesuai dengan Peraturan Pemerintah No. 29 tahun 2008. Persyaratan dalam mengajukan izin telah ditetapkan dalam PP 29/2008 akan tetapi aturan pelaksana yang ada yaitu Surat Keputusan Kepala BAPETEN No. 11 tahun 1999 tidak mengacu pada PP 29/2008 dan rekomendasi IAEA yang diterbitkan tahun 2010 mengenai *Radiation Safety of Gamma Electron and X-Ray Irradiation Facilities*. Dan untuk memastikan bahwa seluruh persyaratan diterapkan maka pemegang ijin harus menetapkan program jaminan mutu baik pada tahap konstruksi maupun operasi. oleh karena itu makalah ini membahas mengenai usulan dokumen teknis dari persyaratan izin yang telah ditetapkan pada PP 29/2008 dan penerapan Program Jaminan Mutu.

Kata Kunci : Iradiator industri, program Jaminan mutu, persyaratan izin

ABSTRACT

PROPOSED LICENSING REQUIREMENTS DOCUMENT AND IMPLEMENTATION OF QUALITY ASSURANCE IN CONSTRUCTION AND OPERATION OF IRRADIATOR CATEGORY I AND II. Irradiator utilization in the industrial sector requires under supervision of BAPETEN this is due to the use of irradiators especially irradiators kategori II has a high enough potential danger to the public, workers and the environment. One of system for controlling of used irradiator by BAPETEN is giving the licensing, this is accordance with Government Regulation No. 29 in 2008. Requirements for licencing has been stipulated in Government Regulation No. 29 of 2008 but implementing of that Regulation is Chairman Regulation No. 11 in 1999 was not based on Government Regulation No. 29 of 2008 and IAEA recommendations issued in 2010 on Radiation Safety of Gamma and X-Ray Electron irradiation Facilities. And to ensure that all applicable requirements of the permit holder must either sets the quality assurance program in construction and operation phases. therefore, this paper discusses the technical documents of the proposed permit requirements specified in Government Regulation No. 29 of 2008 and the implementation of the Quality Assurance Program.

Keywords : industrial irradiators, quality assurance programs, licensing requirements

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri semakin memaksa para pelaku industri meningkatkan mutu dan nilai jual produk yang dihasilkan, salah satu caranya adalah dengan memanfaatkan teknologi yang efektif, efisien dan aman. Beberapa industri seperti industri pengawatan makanan, sterilisasi alat kedokteran, industri karet yang berhubungan dengan crosslinking polimer memilih menggunakan iradiator sebagai cara untuk meningkatkan mutu dan nilai jual dari produknya.

Iradiator adalah perangkat peralatan pemancar radiasi dengan sumber radionuklida pemancar gamma atau pesawat akselerator pembangkit sinar-X dan/atau berkas elektron [4]. Berdasarkan Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang ketenaganukliran maka seluruh kegiatan dengan menggunakan tenaga nuklir dan memiliki kemungkinan adanya bahaya radiasi harus diawasi dan diatur oleh Pemerintah dalam hal ini adalah BAPETEN. Oleh karena itu BAPETEN melalui Peraturan Pemerintah No. 29 Tahun 2008 mengatur proses dan persyaratan ijin untuk radiasi pengion dan bahan nuklir dalam rangka mengatur dan mengawasi peman-

faatan radiasi pengion dan bahan nuklir dalam pemanfaatan ketenaganukliran.

Iradiator sesuai dengan PP 29/2008 termasuk dalam kelompok pemanfaatan A. Pada kelompok A Iradiator dibedakan menjadi 2 (dua) jenis yaitu Iradiator dengan menggunakan sumber zat radioaktif dan sumber radiasi pengion berupa elektron yang diproduksi dengan accelerator tegangan tinggi. Makalah ini membahas pembahasannya pada kategori berikut:

1. Kategori I : Iradiator pembangkit radiasi pengion adalah iradiator jenis mesin berkas elektron yang berperisai radiasi dan dijaga agar orang tidak dapat mengakses mesin berkas elektron selama operasi dengan sistem kendali masuk.
2. Kategori II : Iradiator jenis mesin berkas elektron yang ditempatkan dalam ruang berperisai radiasi, dan dijaga agar orang tidak dapat mengakses mesin berkas elektron selama operasi dengan sistem kendali masuk.

Dalam pelaksanaannya persyaratan izin iradiator terdiri dari izin konstruksi dan izin operasi. Seluruh persyaratan harus dite-

rapkan secara benar dan baik pada tahap konstruksi ataupun pada pengoperasian mesin iradiator. Aspek keselamatan radiasi terhadap masyarakat, pekerja dan lingkungan harus menjadi perhatian utama, oleh karenanya personil yang terlibat pada konstruksi dan juga pengoperasian merupakan personil yang terlatih dan terqualifikasi begitu pula prosedur yang digunakan haruslah benar dan tepat. Untuk menjamin hal tersebut maka perlu organisasi pemanfaatan hendaknya menetapkan program jaminan mutu (PJM). Sesuai dengan rekomendasi yang terdapat dalam Tecdoc IAEA pada 1367 tahun 2003 [1] disebutkan bahwa Pemegang ijin harus menetapkan PJM yang komprehensif terhadap penerapan proteksi radiasi dan keselamatan untuk memastikan bahwa seluruh prosedur yang diperlukan, telah dikembangkan dan diterapkan dalam rangka memenuhi peraturan Badan Pengawas tentang proteksi radiasi. Organisasi pemanfaat harus memastikan bahwa Program proteksi radiasi dilakukan oleh personil yang kompeten atau petugas proteksi radiasi dengan benar dan penuh tanggung jawab dalam rangka keberhasilan pelaksanaan Program Proteksi maka hendaknya organisasi menetapkan PJM selama operasi, perawatan, hingga dekomisioning dan juga dalam situasi darurat.

Untuk itu maka makalah ini akan membahas mengenai penjabaran persyaratan izin dari PP 29/2008 yang disesuaikan dengan petunjuk IAEA SSG -8 [2] dan juga ketentuan PJM untuk mesin iradiator kategori I dan II untuk jenis pembangkit radiasi pengion yang terdapat pada Tecdoc IAEA pada 1367 tahun 2003 [1]. Dan diharapkan menjadi pertimbangan dalam penyusunan kembali aturan pelaksanaan yang mengacu pada PP 29/2008.

2. PEMBAHASAN PERSYARATAN IZIN PEMANFAATAN IRADIATOR KATEGORI I DAN II

Sesuai PP 29/2008, iradiator kategori I dan II memiliki persyaratan izin yang sama, hal ini dikarenakan iradiator I dan II merupakan kelompok pemanfaatan sumber radiasi pengion A. Perbedaan antara Iradiator kategori I dan II adalah pada fitur keselamatan untuk iradiator kategori I memiliki perisai yang terintegrasi dengan safety interlock. Sedangkan iradiator kategori II adalah iradiator yang iradiator ditempatkan dalam ruangan sebagai perisai yang dijaga agar orang tidak dapat mengakses mesin berkas elektron selama operasi dengan sistem kendali masuk [Ref 3]. Perbedaan tersebut hendaknya ditetapkan pada persyaratan khusus pada proses perizinan pemanfaatan iradiator. Persyaratan izin berdasarkan PP 29 tahun 2008 terdiri dari:

1. Persyaratan administratif;
2. Persyaratan teknis;
3. Persyaratan khusus.

2.1. Persyaratan administratif

Persyaratan administratif terdiri dari identitas pemohon izin, akta badan hukum atau badan usaha, izin lain dari instansi lain yang terkait dan lokasi pemanfaatan sumber radiasi pengion yang akan digunakan yang terdiri dari:

- a. Identitas pemohon
- b. Akta pendirian badan hukum atau badan usaha
- c. Izin yang ditetapkan oleh instansi lain yang berwenang
- d. Lokasi pemanfaatan iradiator dengan alamat yang jelas
- e. Tujuan dari pemanfaatan iradiator

2.2. Persyaratan teknis

Tahap ijin Konstruksi beberapa persyaratan yang harus dipenuhi antara lain adalah

1. Formulir permohonan menyebutkan tujuan dari pemanfaatan iradiator.
2. Persyaratan teknis terdiri dari:

- a) Data personil yang terdiri dari:
 - ▷ Petugas Proteksi Radiasi yang telah memiliki surat ijin bekerja yang dikeluarkan oleh BAPETEN tecdoc
 - ▷ Operator yang terqualifikasi harus memiliki pengetahuan mengenai dasar desain pesawat iradiator, pengoperasian dan preventive maintenance terhadap iradiator, mengerti keselamatan radiasi dan sistem keamanan seperti security locks, tanda peringatan, lampu peringatan dan lain-lain dan mengerti cara melakukan pemantauan operasi iradiator dalam log book operasi dan bertanggung jawab terhadap rekaman operasi [Ref.3];
 - ▷ Personil yang melakukan pemeliharaan. tecdoc 1367
 - ▷ Hasil pemeriksaan kesehatan pekerja radiasi yang dilakukan oleh dokter yang memiliki kompetensi, yang ditunjuk pemohon izin dan disetujui oleh instansi berwenang dibidang ketenagakerjaan
- b) Spesifikasi teknis sumber radiasi pengion dalam hal ini iradiator yang akan digunakan terdiri dari [Ref 3]:
 - ▷ Model/type dan identifikasi nomor dari iradiator yang akan digunakan
 - ▷ Alamat pabrikan dan pemasok iradiator
 - ▷ Energi maksimum yang dihasilkan, tegangan dan arus yang dihasilkan
 - ▷ Standar yang digunakan oleh pabrikan, standar pengujian prototipe dan pengujian mutu iradiator
 - ▷ Dokumen manual operasi, prosedur dan tata cara pengoperasian dalam bahasa Indonesia dan dimengerti oleh pengguna.
 - ▷ Desain iradiator yang digunakan
 - 1/ Desain perisai yang mempertimbangkan laju dosis yang ditetapkan oleh badan pengawas.
 - 2/ Desain dari adanya penetrasi pada perisai baik untuk keluar masuk personil atau ducting lainnya yang merupakan jalur radiasi
 - 3/ Dokumen yang menyatakan bahwa desain dilakukan oleh orang yang terqualifikasi.
 - 4/ Dokumen yang menyatakan bahwa desain telah mempertimbangkan kemungkinan terjadinya kecelakaan radiasi dengan konsekuensi terparah.
 - 5/ Pertimbangan desain atas Aktivasi seluruh peralatan accelerator dan peralatan pendukung lainnya seperti (seperti : beam stop dan sistem posisi produk) dan perisai terutama untuk fasilitas iradiator dengan elektron dengan 10 MeV atau di atas elektron energi yang lebih tinggi.
 - 6/ Prosedur perawatan dan perbaikan peralatan.
 - 7/ Desain kemampuan dalam mematikan sistem utama accelerator baik secara fisik maupun mekanik
 - 8/ Desain untuk memantau parameter mesin accelerator yang terpasang
 - 9/ Pengendali mesin yang terpasang.
 - 10/ Sistem interlock yang terhubung dengan sistem posisi produk.
 - 11/ Dokumen rencana komisioning mesin iradiator
- c) Layout dari [Ref 3]::
 - ▷ fasilitas iradiator ditempatkan
 - ▷ menjelaskan tata letak fasilitas dan lingkungan sekitarnya,
 - ▷ bahan bangunan
 - ▷ alarm,
 - ▷ perisai densitas dan material yang digunakan sebagai perisai,
 - ▷ *interlock system* dan alat peringatan keamanan lainnya.
 - ▷ Melampirkan detil rancangan atau gambar yang menunjukkan hal-hal tersebut di atas

- ▷ gambar setiap penetrasi atau valve yang menyebabkan perisai terbuka seperti saluran ventilasi dan lain-lain.
 - ▷ gambar juga harus menjelaskan daerah yang dikendalikan diidentifikasi dengan jelas.
- d) Sistem Keselamatan [Ref 3]: Menjelaskan sistem keselamatan yang akan digunakan untuk menjamin pelaksanaan operasi yang aman. Dan menjelaskan secara rinci sistem keselamatan contohnya untuk mencegah akses ke ruang iradiasi atau kondisi yang tidak aman.
- e) Mengajukan titik tunda dari proses konstruksi di mana BAPETEN dapat melakukan verifikasi terkait proses yang sedang dilakukan dan mengajukan rencana pengujian awal terhadap konstruksi yang dilakukan dan hal tersebut harus ditetapkan dalam program jaminan mutu konstruksi.
- f) Perlengkapan proteksi dan keselamatan radiasi yang terdiri dari [3]:
- ▷ Monitor radiasi yang secara terus menerus memantau tingkat radiasi dan sinyal kepada operator jika terjadi tingkat radiasi yang tidak normal. Biasanya monitor radiasi diletakkan pada bagian di mana produk keluar dari konveyor dan jika peralatan yang digunakan akselerator dan ditempatkan diruang berbeda maka monitor radiasi diletakkan di dekat atau didalam ruangan iradiator.
 - ▷ Jika energi di atas 10 MeV maka alat ukur tambahan perlu disediakan untuk memantau kemungkinan adanya bahaya yang potensial seperti: emisi radioaktif melalui udara buang, air pendingin, produk yang teraktivasi.
 - ▷ *Access Control Interlock*
 - ▷ *Ozone time delay*
 - ▷ Sensor Asap
 - ▷ Sistem pencegah kebakaran
- g) Program Proteksi dan Keselamatan Radiasi harus mencakup seluruh persyaratan yang terdapat dalam penjelasan PP 29/2008 pasal 14 huruf d, ketentuan khusus untuk program proteksi dan keselamatan radiasi pada pemanfaatan iradiator harus juga mencakup:
- (a) Dokumen terkait kebijakan yang menetapkan sasaran, tanggung jawab organisasi pelatihan kajian keselamatan, manajemen mutu yang mencakup :
- ◻ Prosedur operasi (mulain dari kendali akses, strapup dan prosedur shutdown)
 - ◻ Prosedur perawatan
 - ◻ Prosedur pemantauan dosis perorangan
 - ◻ Pelatihan
 - ◻ Pengujian monitor radiasi
 - ◻ Prosedur pemantauan radiasi oleh petugas proteksi radiasi secara rutin
 - ◻ Prosedur pengujian alarm
 - ◻ Perosedur pembuatan laporan kecelakaan dan investigasi
 - ◻ Prosedur tanggap darurat
- (b) b. Sistem kendali rekaman yang meliputi dokumen perijinan dan dokumen terkait dokumen yang diserahkan dari organisasi pengoperasi dan badan pengawas dan personil yang ditunjuk untuk bertanggungjawab terhadap program proteksi.
- h) Laporan Verifikasi keselamatan [Ref 3]: Organisasi pengoperasi harus menunjukkan kepada badan pengawas bagaimana desain fasilitas iradiasi dan prosedur operasional memiliki kontribusi terhadap tindakan pencegahan kecelakaan atau mitigasi dampak kecelakaan. Informasi ini harus dalam bentuk dokumen penjelasan kajian keselamatan dan evaluasi terhadap kemungkinan kecelakaan seperti kegagalan fungsi peralatan, kesalahan lain yang umum terjadi atau kecelakaan karena kesalahan manusia juga kejadian eksternal yang dapat menyebabkan kondisi kecelakaan. Laporan ini

harus mencakup kemungkinan terjadinya kombinasi antara kondisi-konsisi penyebab terjadinya kecelakaan.

2.3. Persyaratan Khusus

2.3.1. Ijin Konstruksi

Khusus untuk konstruksi perisai pada pemanfaatan iradiator kategori II terutama untuk perisai dengan menggunakan beton harus dipastikan spesifikasi sesuai dengan desain yang telah disetujui oleh Badan Pengawas. Kendali mutu beton pada proses ini sangat menentukan pemenuhan terhadap persyaratan keselamatan. Untuk memastikan hal tersebut maka Program Jaminan Mutu/Sistem Manajemen Konstruksi harus ditetapkan dan disetujui Badan Pengawas. Untuk pekerjaan kontruksi beton yang dikontrakkan oleh jasa kontruksi maka organisasi harus menetapkan bahwa penyedia jasa kontruksi memiliki Program Jaminan Mutu/Sistem Manajemen. Program Jaminan Mutu/Sistem Manajemen akan memastikan bahwa kegiatan konstruksi dilakukan secara sistematis dan terencana untuk memberikan keyakinan bahwa kontruksi yang akan diwujudkan memenuhi standar mutu. Dengan adanya Program Jaminan Mutu/Sistem Manajemen, penyedia jasa konstruksi dituntut untuk melakukan Quality Control (QC) agar ada kepastian secara legal/bukti otentik mengenai produk yang dihasilkan sehingga bangunan yang dipakai aman. Penyedia jasa konstruksi perlu menjaga kestabilan mutu pekerjaannya, mulai dari perencanaan hingga hasil akhir pekerjaan yang siap diserahkan kepada pengguna jasa konstruksi harus melalui beberapa tahapan proses inspeksi, mulai dari inspeksi awal, pengawasan kualitas sampai akhirnya inspeksi akhir yang menyatakan bangunan siap diserahkan ke pengguna jasa konstruksi dan disetujui oleh Badan Pengawas. Oleh karena itu pada tahap ini witness point dan hold point yang dilakukan oleh Badan pengawas harus dinyatakan dalam PJM/SM.

Dalam kegiatan bidang konstruksi umumnya terdapat suatu perjanjian atau kontrak antara pihak-pihak yang terkait, antara lain adalah pengguna jasa atau pemilik, penyedia jasa atau kontraktor dan konsultan. Salah satu bagian dari dokumen perjanjian atau kontrak tersebut adalah spesifikasi teknis yang didalamnya memuat segala ketentuan teknik tentang pekerjaan yang harus dikerjakan. Spesifikasi teknis memuat rincian dari sub pekerjaan yang perlu dan harus dilaksanakan untuk mewujudkan pekerjaan yang dimaksudkan.

Pekerjaan beton paling sering digunakan sebagai struktur utama. Pekerjaan beton menggunakan bahan beton yang terdiri dari semen, agregat, air dan baja tulangan. Dalam hal pencapaian mutu pekerjaan beton terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi hasil dari pekerjaan beton, salah satunya mutu bahan beton. Terjadinya perselisihan, pengulangan pekerjaan, dan perbaikan pekerjaan yang dikarenakan tidak sesuai dengan standar dan spesifikasi yang ditentukan sangat merugikan semua pihak yang terkait. Untuk menanggulangi hal tersebut, QC perlu diterapkan dengan kegiatan monitoring selama berlangsungnya pekerjaan dan setelah selesainya pekerjaan. Hasil pengawasan berupa catatan dan rekaman seluruh proses pekerjaan disertai hasil pengujian laboratorium yang merupakan tolak ukur apakah hasil implementasi QC pekerjaan beton tersebut memenuhi standar dan spesifikasi yang ditentukan atau tidak.

2.3.2. Ijin Operasi

Beberapa persyaratan untuk Ijin operasi yang harus dipenuhi antara lain adalah:

- a. Prosedur operasi yang sesuai dengan manual operation pabrikan
- b. Peralatan proteksi radiasi dan/atau peralatan keamanan sumber radiasi
- c. Program proteksi dan keselamatan radiasi
- d. Laporan verifikasi keselamatan radiasi
- e. Hasil pemeriksaan kesehatan pekerja radiasi
- f. As built drawing setelah konstruksi

- g. Program pemeliharaan peralatan irradiator dan sistem keselamatan dan keamanan
- h. Sistem rekaman yang mencakup riwayat paparan pekerja, area yang dipantau, pengujian dan kalibrasi alat-alat instrumen, hasil audit program proteksi dan keselamatan radiasi, perawatan dan perbaikan, modifikasi peralatan dan pelatihan yang diberikan.
- i. Prosedur keselamatan yang terdiri dari
 - ◆ Prosedur akses ke daerah iradiasi;
 - ◆ Prosedur kerja di daerah iradiasi
 - ◆ Pemantauan dosimetri pekerja
 - ◆ Prosedur penggunaan alat ukur
 - ◆ Program pencegahan kecelakaan
 - ◆ Prosedur Perawatan peralatan dan modifikasi dan lain-lain.

3. KESIMPULAN

Keselamatan adalah prioritas utama dalam pemanfaatan ir-radiasi, Untuk itu pemenuhan terhadap peraturan perundangan yang berlaku, standar dan prosedur harus dilakukan. Pemenuhan terhadap persyaratan perundangan yang berlaku, standar maupun prosedur harus dilakukan mulai dari tahap pemberian izin peman-

faatan. Berdasarkan hal tersebut maka tugas badan pengawaslah untuk memastikan bahwa seluruh dokumen yang dimiliki oleh pemohon cukup untuk memenuhi persyaratan keselamatan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] **Republik Indonesia** (2008); *Peraturan Pemerintah No. 29 tahun 2008, Perizinan pemanfaatan sumber radiasi pengion dan bahan nuklir*; Kemenkumham, Jakarta
- [2] **IAEA** (2003); *IAEA-TECDOC-1367, Practice Specific Model Regulations: Radiation Safety of Non-medical Irradiation Facilities*; IAEA, Vienna.
- [3] **IAEA** (2010); *SSG- 8 IAEA, Radiation Safety of Gamma Electron and X-Ray Irradiation Facilities*; IAEA, Vienna.
- [4] **IAEA** (2008); *IAEA-TECDOC-1313, Trends In Radiation Sterilization Of Health Care Products*; IAEA, Vienna.
- [5] **IAEA** (1999); *IAEA-TECDOC-1113, Safety assessment plans for authorization and inspection of radiation sources*; IAEA, Vienna (1999).



Seminar Keselamatan Nuklir 2014
Makalah Penyaji Poster
Bidang Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif

Prosiding
Seminar
Keselamatan
Nuklir
2014

OPTIMASI PEMBUATAN PERUNUT PSA TOTAL

Gina Mondrida, Sutari, Triningsih, Sri Setyowati, Puji Widayati, Agus Ariyanto, V. Yulianti S, Wening Lestari

Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka (PTRR)-BATAN
Gedung 11, Kawasan PUSPIPTEK Serpong
gina-m@batan.go.id

ABSTRAK

OPTIMASI PEMBUATAN PERUNUT PSA TOTAL. Perunut PSA total (PSA_{total}^{125I}) merupakan salah satu pereaksi utama dalam Kit IRMA PSA, yang digunakan untuk penentuan kadar PSA total dalam darah. Prostat Spesifik Antigen (PSA) adalah enzim yang dikeluarkan oleh kelenjar prostat yang berfungsi untuk mengencerkan cairan ejakulasi untuk memudahkan pergerakan sperma. Pada keadaan normal, hanya sedikit PSA yang masuk ke dalam aliran darah tetapi bila terjadi peradangan atau kerusakan jaringan prostat maka kadar PSA dalam darah meningkat. Pengukuran kadar PSA yang terdapat dalam darah dapat dilakukan dengan beberapa metode diantaranya dengan metode *immunoradiometric assay* (IRMA) ataupun metode ELISA. Metode IRMA merupakan salah satu teknik immunoassay yang menggunakan radionuklida ^{125}I sebagai perunut sehingga cuplikan dalam jumlah kecil dapat dideteksi. Selama ini kit IRMA PSA didapat dari impor dengan harga yang cukup mahal, sehingga perlu dilakukan penyiapan kit IRMA ini secara lokal di dalam negeri. Agar dapat memproduksi perunut PSA total (PSA_{total}^{125I}) yang bermutu baik sebagai salah satu komponen pereaksi kit IRMA PSA, pada penelitian ini telah dilakukan optimasi pembuatan perunut PSA total (PSA_{total}^{125I}) dengan cara penandaan langsung menggunakan oksidator Kloramin-T. Terhadap masing-masing hasil penandaan dilakukan penentuan yield (% penandaan), kemurnian radiokimia, imunologi (B/T) dan ikatan non spesifik (NSB). Kondisi optimum untuk penandaan PSA total dengan $Na^{125}I$ diperoleh dengan menggunakan 6 μg MAb PSA total dan 750 μCi $Na^{125}I$ serta 20 μg Cloramin-T dengan waktu reaksi 150 detik. Dengan kondisi tersebut di atas diperoleh yield (% penandaan) sebesar 75,19%, kemurnian radiokimia 97,54% memberikan reaksi imunologi yang cukup baik %B/T = 33,89% dan %NSB = 1,04% sehingga dapat digunakan sebagai perunut kit IRMA PSA.

Kata kunci: Perunut, PSA total, IRMA, kanker prostat.

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF PRODUCTION OF TOTAL PSA TRACER. Total PSA tracer (PSA_{total}^{125I}) is one of the main reagent in the PSA IRMA kit used for the determination of total PSA in the blood. Prostate Specific Antigen (PSA) is an enzyme released by the prostate gland which serves to dilute the ejaculate fluid to facilitate the movement of sperm. In normal circumstances, only a little PSA into the bloodstream but when there is inflammation caused by cancer or tissue damage to the prostate the levels of PSA in the blood increases. Measuring levels of PSA found in the blood can be done by several methods such as *immunoradiometric assay* (IRMA) or ELISA methods. IRMA is one of the immunoassay technique using ^{125}I radionuclides as tracer, so the sampel in small quantity can be detected. It is necessary to develop PSA IRMA kits locally to substitute commercial imported kits which is costly. To produce a good quality of total PSA tracer (PSA_{total}^{125I}) as a component of PSA IRMA kit, an optimization of producing total PSA tracer (PSA_{total}^{125I}) by direct labeling employing chloramin-T was carried out. The yield of labeling process (%), radiochemical purity, immunological (B/T) and non specific binding (NSB) of the labeled products were determined. The optimum condition of labeling total PSA with $Na^{125}I$ were obtained using 6 μg MAb total PSA and 750 μCi $Na^{125}I$ and 20 μg chloramin-T with incubation time of 150 seconds. The results show, the yield (of labeling) was 75,19%, radiochemical purity was 97,54% and immunoreactivity (B/T) was 33,89% and % NSB = 1,04%, and indicating that it can be used as a tracer of PSA IRMA Kit.

Key word: tracer, total PSA, IRMA, prostat cancer.

1. PENDAHULUAN

Prostat adalah kelenjar reproduksi pada pria yang berukuran kecil, terletak di bawah kandung kemih dan mengelilingi saluran kencing. Kanker prostat adalah penyakit kanker yang menyerang kelenjar prostat, di mana sel-sel kelenjar prostat tumbuh secara abnormal tak terkendali sehingga mendesak dan merusak jaringan sekitarnya bahkan dapat mengakibatkan kematian [1]. Penyebab yang pasti belum diketahui, tetapi ada beberapa hal yang dapat meningkatkan resiko seseorang untuk terkena kanker prostat yaitu usia dan riwayat keluarga. Hormon, diet tinggi lemak dan toksin juga disebutkan sebagai faktor resiko kanker prostat [2]. Pada stadium dini, tidak bergejala. Setelah kanker berkembang, muncul gejala tetapi tidak khas, menyerupai gejala BPH (*Benign Prostatic*

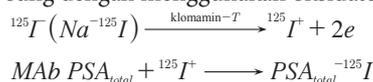
Hyperplasia) yaitu penyakit pembesaran prostat jinak yang sering dijumpai pada pria lanjut usia. Akibatnya, kedua penyakit ini sulit dibedakan sehingga diperlukan pemeriksaan yang dapat mendeteksi dini dan sekaligus membedakan antara kanker prostat dan BPH. Gejala yang umum terjadi pada kanker prostat dan BPH adalah sering berkemih terutama pada malam hari, nyeri saat berkemih, air kencing (urine) berdarah, nyeri saat ejakulasi, cairan ejakulasi berdarah, gangguan ereksi, nyeri pinggul atau punggung dan lain-lain [3]. Pencegahan kanker prostat dapat dilakukan dengan deteksi dini agar penyakit yang fatal dapat dihindari. Setiap pria berusia di atas 50 tahun dianjurkan melakukan pemeriksaan *Prostat Specific Antigen* (PSA) total dan *Digital Rectal Examination* (DRE) setiap setahun sekali, tetapi apabila ada keluarga yang menderita kanker prostat, skrining dianjurkan sejak usia 40 tahun [4].

Prostat Spesifik Antigen (PSA) adalah enzim yang dikeluarkan oleh kelenjar prostat yang berfungsi untuk mengencerkan cairan ejakulasi untuk memudahkan pergerakan sperma. Pada keadaan normal, hanya sedikit PSA yang masuk ke dalam aliran darah tetapi bila terjadi peradangan atau kerusakan jaringan prostat maka kadar PSA dalam darah meningkat. Peningkatan kadar PSA bukan hanya disebabkan oleh kanker prostat tetapi dapat juga disebabkan oleh pembesaran prostat jinak (BPH). PSA dalam darah ditemukan dalam keadaan bebas (*free PSA*) dan sebagian besar diikat oleh protein (*complexed-PSA*, *c-PSA*). Pada kanker prostat peningkatan *c-PSA* lebih dominan dibanding konsentrasi *free PSA* sedangkan pada BPH yang lebih dominan *free PSA*. Pada pria berusia lanjut (di atas 60 tahun) hasil PSA rancu apakah disebabkan oleh BPH atau kanker prostat oleh karena itu dianjurkan pemeriksaan rasio *free-PSA/PSA* total atau rasio *c-PSA/PSA* total terutama bagi mereka yang kadar PSA totalnya antara 2,6–10 nG/mL. Interpretasi pemeriksaan rasio *free PSA/PSA* total adalah < 10% diduga kanker prostat, 10%-25% diduga BPH/kanker prostat, > 25% diduga BPH. Manfaat pemeriksaan PSA adalah untuk skrining (PSA total), untuk diagnosis (PSA total dan rasio *free PSA/PSA* total atau rasio *c-PSA/PSA* total), untuk pemantauan penyakit dan pemantauan pengobatan serta pemantauan setelah pengangkatan prostat [5,6,7,8].

Pengukuran kadar PSA yang terdapat dalam darah dapat dilakukan dengan beberapa metode diantaranya dengan metode immunoradiometric assay (IRMA) ataupun metode Enzyme Linked Immunosorbent Assay (ELISA) yang digunakan dirumah sakit. Metode IRMA merupakan salah satu teknik immunoassay yang menggunakan radionuklida ^{125}I sebagai perunut sehingga cuplikan dalam jumlah kecil dapat dideteksi [9]. Teknik ini sangat cocok digunakan untuk penentuan tumor marker dalam serum yang mempunyai matriks yang kompleks dan kadarnya yang sangat bervariasi. Teknik assay ini didasarkan pada reaksi antara antigen (Ag) yang terdapat pada cuplikan/standar (tumor marker) dengan antibodi yang bertanda radioaktif (Ab^*) dalam jumlah berlebih membentuk kompleks antigen-antibodi (Ag-Ab^*). Dengan demikian semakin tinggi kadar tumor marker (Ag), maka kompleks antigen-antibodi yang terbentuk juga semakin tinggi sehingga akan memberikan cacahan radioaktivitas yang semakin tinggi [10,11].

Radioisotop yang sering digunakan dalam RIA (*Radioimmunoassay*)/IRMA (*immunoradiometric assay*) adalah ^{125}I dalam bentuk Na^{125}I , karena radioisotop ini mempunyai beberapa keuntungan, antara lain: mudah berikatan dengan molekul organik terutama yang mengandung gugus tirosil seperti protein maupun molekul yang lebih kecil seperti tiroksin pada peptida dan hasil penandaan yang diperoleh dapat mempunyai kemurnian serta aktifitas jenis yang tinggi. Selain dari itu ^{125}I merupakan pemancar γ (gamma) murni dan mudah dideteksi dengan alat pencacah yang sederhana. Energi gammanya cukup rendah (35 keV) sehingga dosis radiasi yang diterima oleh pekerja tidak terlalu tinggi, namun masih dapat dideteksi dengan kebanyakan alat cacah sederhana dengan kepekaan tinggi, sehingga tidak menimbulkan masalah dalam penanganan limbahnya. Aktifitas ^{125}I yang digunakan untuk pembuatan perunut PSA total ($\text{PSA}_{\text{total}}^{125}\text{I}$) sangat rendah (~750 μCi) sehingga paparan yang ditimbulkan dari radionuklida ini sangat rendah sekali sehingga aman bagi pekerja radiasi dan lingkungan sekitarnya. Waktu paruh ^{125}I cukup panjang (60 hari) dibanding dengan waktu paruh ^{131}I (8 hari). Radionuklida ^{131}I kurang banyak digunakan dalam RIA/IRMA karena waktu paruhnya terlalu pendek (8 hari). Umur dari kit RIA/IRMA umumnya ditentukan oleh perunutnya dan waktu paruh dari radioisotopnya sangat berpengaruh terhadap umur perunut [11].

Pembuatan perunut PSA total ($\text{PSA}_{\text{total}}^{125}\text{I}$) dilakukan dengan penandaan monoklonal PSA total dengan ^{125}I (Na^{125}I) secara langsung dengan menggunakan oksidator kloramin-T.



Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan perunut PSA total ($\text{PSA}_{\text{total}}^{125}\text{I}$) sebagai salah satu komponen kit IRMA PSA dengan mutu yang baik (% B/T di atas 10% dan % NSB di bawah 2%) [12,13], sehingga dapat digunakan untuk penentuan kadar PSA total dalam darah.

2. TATA KERJA

2.1. Bahan yang dibutuhkan

Monoklonal Antibodi PSA total (M66276M, Meridian), Na^{125}I (PRR-BATAN), larutan dapar, Cloramint-T (Sigma), bovine serum albumin (Sigma), sephadex G-25 superfine (Pharmacia), Natrium meta bisulfit (Sigma), Kalium Iodida (Sigma).

2.2. Peralatan yang digunakan

Berbagai macam peralatan gelas (Iwaki), kolom panjang, mikropipet eppendorf berbagai ukuran, timbangan analitik, waterbath, Lampu UV, UV vis (Jasco Japan), FTIR (Jasco Japan), Rotary evaporator (Buchi RE 140, Swizerland), pencacah gamma (DPC USA), sentrifuge (Beckman USA).

2.3. Uji kemurnian radiokimia Na^{125}I

Uji kemurnian radiokimia (KR) Na^{125}I ditentukan dengan menggunakan metoda elektroforesis dengan fasa diam kertas Whatman 1 dan eluen larutan dapar barbital 0,05M pH 8,6. ($R_f = 1$).

$$KR = \frac{\text{Jumlah cacahan pada } R_f = 1}{\text{Cacahan total}} \times 100\%$$

2.4. Pembuatan perunut total ($\text{PSA}_{\text{total}}^{125}\text{I}$)

Ke dalam tabung polistiren di masukkan 1 μl (6 ug) MAb PSA total (M66276M) kemudian ditambah 10 μl larutan dapar pospat 0,25 M pH 7,4 dan sejumlah Na^{125}I (~750 μCi) dan 20 μl kloramin-T (1 mg/ml), kemudian campuran dikocok dengan vorteks selama 120 detik. Reaksi dihentikan dengan penambahan 10 μl larutan Na metabisulfit (1 mg/ml) dan 50 μl KI dalam BSA (10 mg KI + 3 mg BSA (bovin serum albumin) dilarutkan dalam 1 ml larutan dapar fosfat 0,25 M pH 7,4). Campuran reaksi di atas dimasukkan ke dalam kolom panjang (1x22 cm) berisi sephadex G-25 superfine yang telah dijenuhkan dengan 1 ml BSA 5%. Selanjutnya ditentukan rendemen penandaan dan kemurnian radiokimia dari perunut PSA total ($\text{PSA}_{\text{total}}^{125}\text{I}$) dengan metode elektroforesis dengan fasa diam kertas Whatman I dan fase gerak larutan dapar barbital 0,05 M pH 8,6 serta ikatan immunologi (% B/T dan % NSB) hasil penandaan.

2.5. Penentuan rendemen hasil penandaan

Fraksi yang mengandung MAb PSA total bertanda ^{125}I ($\text{PSA}_{\text{total}}^{125}\text{I}$) kemudian dikumpulkan dan dihitung rendemen penandaannya dengan rumus sebagai berikut:

$$\% \text{Rendemen} = \frac{\text{Radioaktivitas } ^{125}\text{I} \text{ yang terikat pada MAb PSA}_{\text{total}}}{\text{Radioaktivitas } ^{125}\text{I} \text{ awal yang digunakan}} \times 100\%$$

2.6. Uji kemurnian radiokimia perunut PSA total

Uji kemurnian radiokimia (RK) perunut ditentukan dengan menggunakan metoda elektroforesis dengan fasa diam kertas whatman 1 dan fasa gerak larutan dapar barbital 0,05 M pH 8,6. $R_f = 0,0$.

$$\text{Kemurnian RK} = \frac{\text{Jumlah cacahan pada } R_f = 0,0}{\text{Cacahan total}} \times 100\%$$

2.7. Uji imunologi perunut PSA total ($\text{PSA}_{\text{total}}^{125}\text{I}$)

Tabung bersalut MAb (monoklonal antibodi) PSA total (*coated tube*/CT PSA) diberi nomor. Sejumlah 50 μl larutan standar 0, 1, 2, 4, 8, 16, 40 dan 80 ngram/ml dan sampel ditambahkan ke masing-masing tabung CT PSA yang telah diberi nomor, kemudian

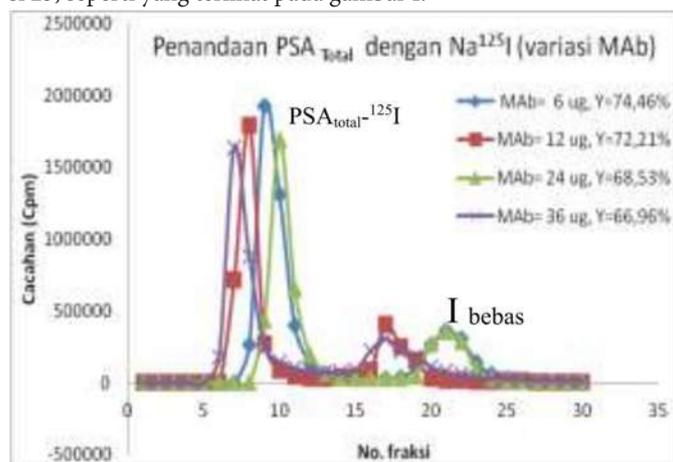
tambahkan 50 µl perunut PSA total (PSA-¹²⁵I) dengan aktifitas 50000 cpm. Tabung dikocok dengan vortek hingga homogen dan diinkubasi 18 jam pada temperatur kamar dengan shaker 400 rpm, kemudian cairan dibuang. Tabung dicuci dengan 0,5 ml larutan dapar pencuci (Na₂CO₃ 0,01 M pH 9,6 + 20% Tween 20) dan dikeringkan. Tabung diukur dengan alat pencacah Gamma selama 1 menit. *Non Specific Binding* (%NSB) dan *Maximum Binding* (%MB) setiap standar kemudian ditentukan dengan prosedur assay dan dihitung dengan persamaan berikut:

$$\%NSB = \frac{\text{Cacahan NSB} - BG}{\text{Cacahan NSB Total} - BG} \times 100\%$$

$$\%Maximum\ Binding\ (B/T) = \frac{\text{Cacahan fasa terikat} - BG}{\text{Cacahan NSB Total} - BG} \times 100\%$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pembuatan perunut PSA total (PSA_{total}-¹²⁵I) diperoleh kondisi optimum penandaan MAb PSA total dengan Na¹²⁵I menggunakan 6 µg Mab PSA total dan 750 µCi Na¹²⁵I serta 20 µg kloramin-T dengan waktu reaksi 150 detik. Dengan kondisi tersebut di atas diperoleh yield (% penandaan) rata-rata sebesar 75,19%, kemurnian radiokimia 98,13%, memberikan reaksi imunologi yang cukup baik %B/T = 33,89% dan %NSB = 1,04%. Perunut PSA total (PSA_{total}-¹²⁵I) yang diperoleh, dimurnikan memakai kolom PD-10 dengan eluen dapar fosfat 0,05M pH 7,5. Perunut PSA total (PSA_{total}-¹²⁵I) keluar terlebih dahulu pada fraksi 6 sampai 11, sedangkan ¹²⁵I bebas keluar belakangan pada fraksi 17 sampai dengan fraksi 23, seperti yang terlihat pada gambar 1.



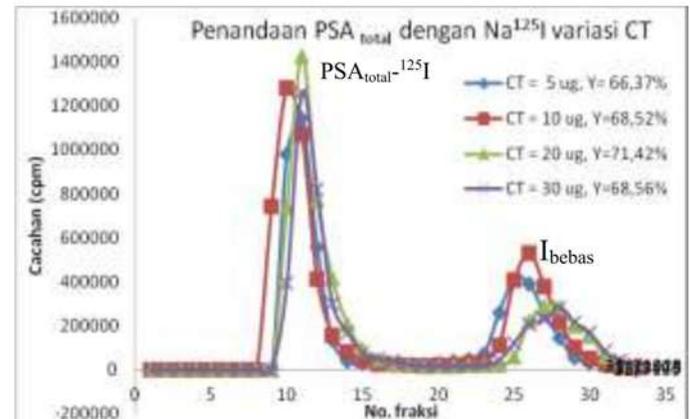
Gambar 1: Kromatogram Hasil Pembuatan perunut PSA total (PSA_{total}-¹²⁵I) dengan memvariasikan MAb PSA total, yang dimurnikan dengan kolom PD-10 serta eluen dapar fosfat 0,05M pH 7,5 (Tabel 1).

Tabel 1: Hasil Pembuatan perunut PSA total menggunakan Oksidator Kloramin-T dengan memvariasikan monoklonal antibodi PSA total (MAb PSA total), 500 µCi Na¹²⁵I, 20 µg kloramin-T serta waktu reaksi 60 detik.

No	MAb PSA total	Hasil Penandaan (%)	Kemurnian Radiokimia (%)
1	6 µg	74,46	98,13
2	12 µg	72,21	96,75
3	24 µg	68,53	95,68
4	36 µg	66,96	95,15

Dari hasil pembuatan perunut PSA total dengan memvariasikan jumlah monoklonal antibodi PSA yang digunakan, diperoleh hasil penandaan tertinggi sebesar 74,46% dan kemurnian radiokimia 98,13% dengan menggunakan 6 µg monoklonal antibodi PSA

total seperti yang terlihat pada Tabel 1. Dengan menggunakan monoklonal antibodi PSA total yang lebih besar sebanyak 12 ug, 24 ug, dan 36 ug didapatkan hasil penandaan yang lebih rendah, sebesar 72,21%, 68,53% dan 66,96%. Pada Tabel 1, terlihat makin besar monoklonal antibodi PSA total yang digunakan untuk penandaan, didapatkan yield penandaan yang makin kecil. Hal ini disebabkan kelebihan monoklonal antibodi PSA akan mengganggu reaksi penandaan dengan Na¹²⁵I. Jadi untuk pembuatan perunut PSA total selanjutnya jumlah monoklonal antibodi PSA total yang digunakan sebanyak 6 µg.

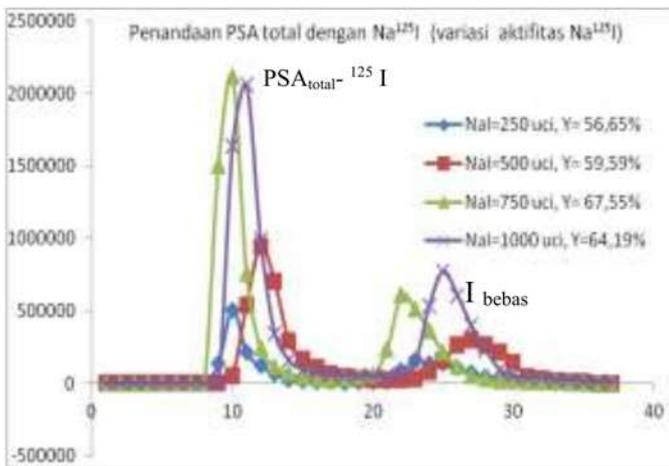


Gambar 2: Kromatogram Hasil Pembuatan perunut PSA total (PSA_{total}-¹²⁵I) dengan memvariasikan kloramin-T (KT), yang dimurnikan dengan kolom PD-10 serta eluen dapar fosfat 0,05M pH 7,5 (Tabel 2).

Tabel 2: Hasil Pembuatan perunut PSA total (PSA_{total}-¹²⁵I) dengan memvariasikan Oksidator Kloramin-T, 500 µCi Na¹²⁵I, 6 µg MAb PSA total serta waktu reaksi 60 detik.

No	kloramin-T (µg)	Hasil Penandaan (%)	Kemurnian Radiokimia (%)
1	5	66,37	93,44
2	10	68,52	95,68
3	20	71,42	97,65
4	30	68,56	94,59

Dari hasil pembuatan perunut PSA total dengan memvariasikan jumlah oksidator kloramin-T yang yang digunakan untuk penandaan, diperoleh hasil penandaan tertinggi sebesar 71,42% dan kemurnian radiokimia 97,65% dengan menggunakan 20 µg kloramin-T, seperti yang terlihat pada Tabel 2. Dengan menggunakan 5 µg dan 10 µg kloramin-T didapatkan hasil penandaan yang lebih rendah sebesar 66,37% dan 68,52%, hal ini disebabkan karena jumlah oksidator kloramin-T yang digunakan untuk mengoksidasi ¹²⁵I menjadi ¹²⁵I⁺ masih kurang, sehingga didapatkan hasil penandaan yang sedikit lebih rendah. Sedangkan dengan menggunakan 30 µg oksidator kloramin-T didapatkan hasil penandaan sebesar 68,56% lebih rendah dari 20 µg oksidator kloramin-T, hal ini disebabkan kelebihan oksidator kloramin-T akan merusak Na¹²⁵I dan monoklonal antibodi PSA total yang akan ditandai, sehingga hasil penandaan tidak optimal. Jadi untuk pembuatan perunut PSA total selanjutnya oksidator yang digunakan untuk penandaan histamin sebesar 20 µg kloramin-T.



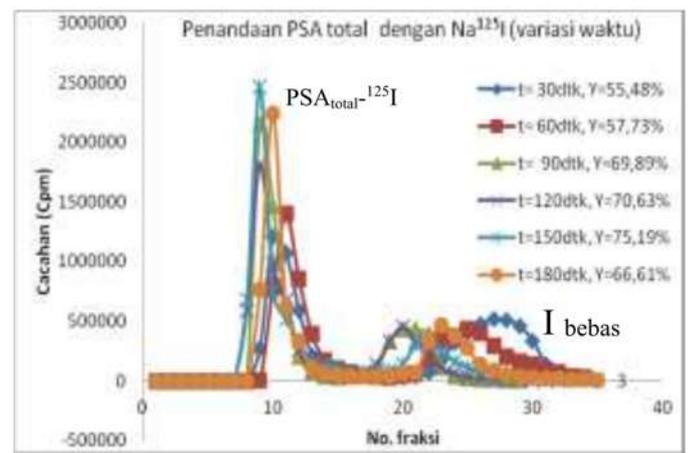
Gambar 3: Kromatogram Hasil Pembuatan perunut PSA total ($\text{PSA}_{\text{total}}^{125}\text{I}$) dengan memvariasikan aktivitas Na^{125}I , yang dimurnikan dengan kolom PD-10 serta eluen dapar fosfat 0,05M pH 7,5 (Tael 3).

Tabel 3: Hasil Pembuatan perunut PSA total ($\text{PSA}_{\text{total}}^{125}\text{I}$) menggunakan Oksidator Kloramin-T dengan memvariasikan aktivitas Na^{125}I , 6 μg MAb PSA total, 20 μg kloramin-T serta waktu reaksi 60 detik.

No	Na^{125}I (μCi)	Hasil Penandaan (%)	Kemurnian Radiokimia (%)
1	250	56,65	89,75
2	500	59,59	93,01
3	750	67,55	95,85
4	1000	64,19	92,95

Dari hasil pembuatan perunut PSA total dengan memvariasikan aktivitas Na^{125}I yang digunakan untuk penandaan monoklonal antibodi PSA total, diperoleh hasil penandaan tertinggi sebesar 67,55% dengan kemurnian radiokimia 95,85% dengan menggunakan aktivitas Na^{125}I sebesar 750 μCi , seperti yang terlihat pada **Tabel 3**. Dengan menggunakan Na^{125}I (250 μCi dan 500 μCi) didapatkan hasil penandaan sebesar 56,65% dan 59,59%, hal ini disebabkan karena aktivitas Na^{125}I yang digunakan untuk menandai monoklonal antibodi PSA total kurang cukup, sedangkan dengan menggunakan aktivitas Na^{125}I (1000 μCi) didapatkan hasil penandaan sebesar 64,19%, hal ini disebabkan karena aktivitas Na^{125}I yang digunakan berlebih, sehingga merusak monoklonal antibodi PSA total yang akan ditandai. Jadi untuk pembuatan perunut PSA total selanjutnya, aktivitas Na^{125}I yang digunakan untuk penandaan monoklonal antibodi PSA total sebesar 750 μCi .

Dari hasil pembuatan perunut PSA total dengan memvariasikan waktu reaksi, diperoleh hasil penandaan tertinggi sebesar 75,19% dan kemurnian radiokimia 97,54% dengan waktu reaksi 150 detik, seperti yang terlihat pada **Tabel 4**. Dengan menggunakan waktu reaksi 30 detik, 60 detik, 90 detik dan 120 detik, didapatkan hasil penandaan lebih rendah (yield = 55,48%, 57,73%, 69,89% dan 70,63%), hal ini disebabkan karena waktu yang diperlukan untuk mengoksidasi ^{125}I menjadi $^{125}\text{I}^+$ masih kurang, sehingga masih ada sebahagian ^{125}I yang belum berubah menjadi $^{125}\text{I}^+$. Sedangkan dengan menggunakan waktu reaksi 180 detik, didapatkan hasil penandaan sebesar 66,61%, hal ini disebabkan karena waktu yang digunakan untuk mengoksidasi ^{125}I menjadi $^{125}\text{I}^+$ berlebih, sehingga akan merusak monoklonal antibodi PSA total yang akan ditandai. Jadi untuk pembuatan perunut PSA total selanjutnya waktu reaksi yang paling optimal digunakan untuk penandaan monoklonal antibodi PSA total dengan Na^{125}I selama 150 detik.

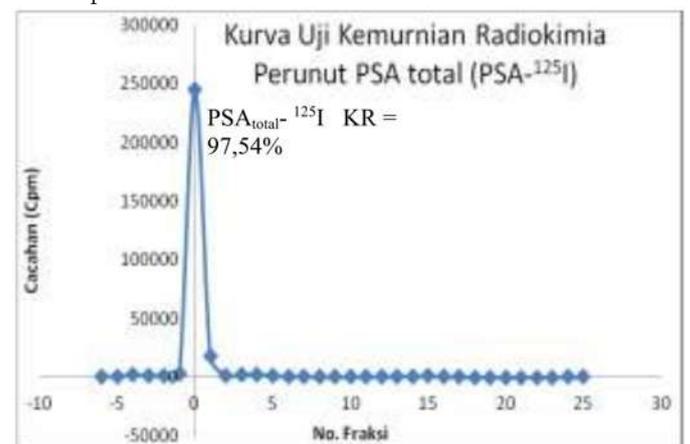


Gambar 4: Kromatogram Hasil Pembuatan perunut PSA total ($\text{PSA}_{\text{total}}^{125}\text{I}$) dengan memvariasikan waktu reaksi, yang dimurnikan dengan kolom PD-10 serta eluen dapar fosfat 0,05M pH 7,5 (**Tabel 4**).

Tabel 4: Hasil Pembuatan perunut PSA total ($\text{PSA}_{\text{total}}^{125}\text{I}$) menggunakan Oksidator Kloramin-T dengan memvariasikan waktu reaksi, 6 μg MAb PSA total, 20 μg kloramin-T serta 750 μCi Na^{125}I .

No	Waktu reaksi (detik)	Hasil Penandaan (%)	Kemurnian Radiokimia (%)
1	30	55,48	87,95
2	60	57,73	89,96
3	90	69,89	93,82
4	120	70,63	92,95
5	150	75,19	97,54
6	180	66,61	93,45

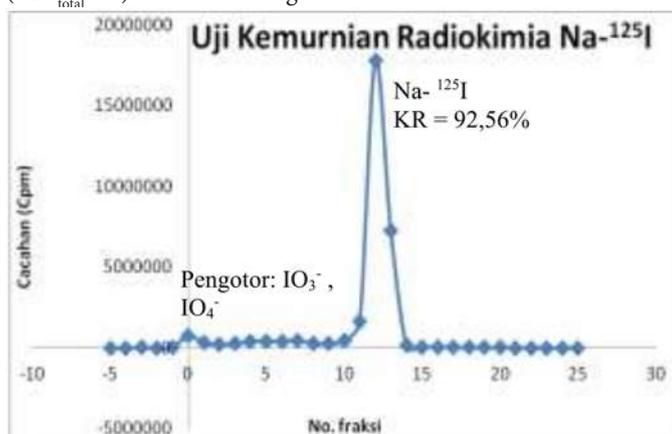
Uji kemurnian radiokimia perunut PSA total ($\text{PSA}_{\text{total}}^{125}\text{I}$) dan Na^{125}I dilakukan dengan menggunakan metoda elektroforesa dan eluen larutan dapar barbital 0,05M pH 8,6. Hasil elusi diukur menggunakan gamma counter. Perunut PSA total ($\text{PSA}_{\text{total}}^{125}\text{I}$) tertinggal di nol ($R_f = 0,0-0,1$) sedangkan pengotornya naik ($R_f = 0,8-1$) dengan kemurnian radiokimia sebesar 97,54%, seperti yang terlihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5: Kromatogram Hasil Uji Kemurnian Radiokimia Perunut PSA total ($\text{PSA}_{\text{total}}^{125}\text{I}$) dengan menggunakan elektroforesa dengan eluen larutan dapar barbital 0,05M pH 8,6. (Percobaan No. 5 **Tabel 4**)

Uji kemurnian radiokimia Na^{125}I juga dilakukan dengan menggunakan metoda elektroforesa dan eluen larutan dapar barbital 0,05M pH 8,6. Pada uji kemurnian radiokimia Na^{125}I , pengot-

tornya tertinggal di nol ($R_f = 0,0-0,1$) sedangkan Na^{125}I naik ($R_f = 0,8-1$) dengan kemurnian radiokimia sebesar 92,56%, seperti yang terlihat pada **Gambar 6**. Hal ini menunjukkan bahwa metoda uji kemurnian radiokimia yang digunakan untuk perunut PSA total ($\text{PSA}_{\text{total}}^{125}\text{I}$) dan Na^{125}I sangat sesuai.



Gambar 6: Kromatogram Hasil Uji Kemurnian Radiokimia Na^{125}I dengan elektroforesis dengan eluen larutan dapar barbital 0,05M pH 8,6

Dari hasil uji kestabilan perunut PSA total ($\text{PSA}_{\text{total}}^{125}\text{I}$), diperoleh nilai % B/T di atas 10% sampai minggu ke 6 masa penyimpanan dalam refrigerator, seperti yang terlihat pada gambar 7.



Gambar 7: Uji stabilitas perunut PSA total selama penyimpanan dalam refrigerator.

4. KESIMPULAN

Kondisi optimum untuk penandaan monoklonal antibodi PSA total dengan Na^{125}I PRR diperoleh dengan menggunakan 6 μg mo-

noklonal antibodi PSA total, Na^{125}I 750 μCi dan 20 μg oksidator kloramin-T serta waktu reaksi 150 detik.

Perunut PSA total ($\text{PSA}_{\text{total}}^{125}\text{I}$) yang didapat hasil dari penandaan monoklonal antibodi PSA total dengan Na^{125}I PRR dengan kondisi tersebut di atas, mempunyai kualitas baik dengan ikatan imunologi (% B/T) sebesar 33,89% dan ikatan tidak spesifik (% NSB) sebesar 1,04%, sehingga dapat digunakan sebagai perunut Kit IRMA PSA untuk penentuan kadar PSA (Prostat Specific Antigen) dalam darah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] **Tanya Dokter** (2012); <http://www.tanyadokteranda.com/artikel/2006/06/kanker-prostat/>; Diakses tanggal 12 Februari 2012
- [2] **Total Kesehatan Anda** (2012); <http://www.totalkesehatananda.com/prostat3.html>; Diakses tanggal 12 Februari 2012
- [3] **Catherine Maname** (2012); <http://catherinemaname.wordpress.com/2009/02/17/mengenal-kanker-prostat-lebih-dekat/>; Diakses tanggal 12 Februari 2012
- [4] **Kompas** (2012); <http://kesehatan.kompas.com/read/2009/10/09/19180039/9.Kiat.hindari.kanker.prostat/>; Diakses tanggal 12 Februari 2012
- [5] **Majalah Kesehatan** (2012); <http://majalahkesehatan.com/mengenal-kanker-prostat/>; Diakses tanggal 12 Februari 2012
- [6] **Lab Test Online** (2012); <http://www.labtestsonline.org/understanding/analytes/psa/test.html>; Diakses tanggal 12 Februari 2012
- [7] **Medicine Net** (2012); http://www.medicinenet.com/prostate_specific_antigen/artecle.htm; Diakses tanggal 12 Februari 2012
- [8] **Li, PE., Lange, PH.** (2001); "Free and Total PSA" University of Washington School of Medicine, Seattle, Washington. p 91-95, Edited by Michael K. Brawer; Marcel Dekker, Inc.
- [9] **Rediatning W, Sukiyati Dj** (2000); *Immunoradiometric assay (IRMA) dalam Deteksi dan Pemantauan Kanker*; Jurnal Radioisotop dan Radiofarmaka Volume 3, Nomor 1, hal 55-70.
- [10] **IAEA** (2002); *IAEA-TECDOC-1307, "Development of kit for radioimmunoassays for tumor markers" Final report of a coordinated research project 1997-2001*; IAEA, Vienna.
- [11] **Radiatning, W.** (1993); *Dasar-dasar RIA dan IRMA*; Pusdiklat BATAN, Jakarta.
- [12] **Widayati, AA.** (2009); *Produksi Kit Immunoradiometric assay (IRMA) CA-125 Untuk Deteksi Dini Kanker Ovarium*; Jurnal Ilmu Kefarmasian Indonesia, Vol 7, Nomor 2, hal 91-97, September 2009.
- [13] **Izotop**, (2013); <http://www.izotop.hu>, *PSA [125 I] IRMA KIT (RK-10CT)*; Diakses tanggal 15 Agustus 2013.

TANYA JAWAB DAN DISKUSI

1. **Penanya :** Rukiaty (PTLR-BATAN)

Pertanyaan:

- i) Kenapa menggunakan radionuklida ^{125}I untuk pembuatan perunut PSA total ini?

Jawaban:

Radionuklida (^{125}I) mempunyai beberapa keuntungan antara lain :

- a. Mudah berikatan dengan molekul organik terutama yang mengandung gugus tirosil seperti : protein/peptida.

- b. Selain itu ^{125}I merupakan pemancar γ (gamma) murni dan mudah dideteksi dengan alat pencacah gamma yang sederhana.
- c. Energi γ (gamma)nya cukup rendah (35 keV) sehingga dosis radiasi yang diterima oleh pekerja tidak terlalu tinggi.
- d. Waktu paruh ($T_{1/2}$) ^{125}I cukup panjang (60 hari) dibanding waktu paruh ^{125}I (8 hari) sehingga kit IRMA PSA yang dibuat bisa bertahan lebih lama. Umur dari kit RIA/IRMA umumnya ditentukan oleh perunutnya/ waktu paruh dari radioisotop yang digunakan.



Seminar Keselamatan Nuklir 2014

Makalah Penyaji Poster

Bidang Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif

Prosiding
Seminar
Keselamatan
Nuklir
2014

KAJIAN PELEMAHAN BUDAYA KESELAMATAN DI PUSAT TEKNOLOGI BAHAN INDUSTRI NUKLIR BATAN

W. Prasud, Joko Nurchamid dan Asep Nana Sutresna

Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju-BATAN
prasud@batan.go.id

ABSTRAK

KAJIAN PELEMAHAN BUDAYA KESELAMATAN DI PUSAT TEKNOLOGI BAHAN INDUSTRI NUKLIR BATAN. Telah dilakukan suatu kajian terhadap pelemahan budaya keselamatan melalui hasil audit sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja (SMK3) (studi kasus di Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir BATAN). Sifat abstrak budaya keselamatan membutuhkan waktu yang cukup lama untuk dapat mengetahui gejala pelemahan budaya keselamatan dalam organisasi. Melalui pendekatan SMK3, maka ketidaksesuaian yang ditemukan pada hasil audit sistem manajemen dapat dijadikan sebagai indikator yang cepat untuk mengetahui gejala pelemahan budaya keselamatan. Hasil surveilen SB006 OHSAS 18001:2008 Tahun 2012 di PTBIN-BATAN digunakan sebagai bahan kajian untuk pemetaan terhadap karakteristik budaya keselamatan untuk mendapatkan indikasi pelemahannya. Hasil audit SMK3 merupakan hasil safety climate dari budaya keselamatan, sehingga audit yang dilakukan secara berkala akan mendapatkan indikator dini pelemahan budaya keselamatan sehingga secara cepat dapat tindakan penguatan pada sisi budaya keselamatan.

Kata Kunci: Pelemahan budaya keselamatan, safety climate, audit sistem manajemen keselamatan

ABSTRACT

REVIEW OF DECADENCE OF SAFETY CULTURE IN THE TECHNOLOGY CENTER OF NUCLEAR INDUSTRIAL MATERIAL, BATAN. Have conducted a study of the weakening safety culture through safety management system audit results and health (SMK3) (case studies at the Center for Nuclear Industry Material Technology-BATAN). Abstract nature of safety culture requires along time to be able to know the symptoms of weakening safety culture within the organization. SMK3 approach, the discrepancy found in the audit management system can be used as a quick indicator to know the symptoms of weakening safety culture. Surveillance results of SB006 OHSAS 18001:2008 in 2012 at PTBIN-BATAN used as materials study for mapping the characteristics of safety culture to get an indication of a reprieve. Audit results of SMK3 safety climate is the result of a culture of safety, so that audits are conducted periodically to get an early indicator of weakening safety culture that can rapidly strengthening action on the side of safety culture.

Keywords: The weakening safety culture, safety climate, safety management system audit

1. PENDAHULUAN

Gejala umum yang dialami organisasi dalam masalah manajemen keselamatan dan budaya keselamatan adalah pada fasa tahun-tahun permulaan beroperasinya fasilitas, kinerja organisasi berada pada level kinerja yang sangat baik. Akan tetapi, kemudian organisasi gagal mengelola dengan tepat perubahan atau transisi dari tahap perencanaan dan konstruksi ke tahap operasi dan kualitas perawatan instalasi/fasilitas. Unjuk kerja yang baik di masa lalu kadang-kadang menjadi tahap awal dalam proses penurunan unjuk kerja.

Hambatan yang umum dialami organisasi pada penurunan kinerja adalah [1]:

- Dukungan organisasi yang kurang memadai;
- Kualitas kepemimpinan yang kurang dan keahlian manajerial yang lebih berpusat pada masalah kemampuan teknis daripada keahlian masing-masing orang;
- Kurangnya pengenalan terhadap pentingnya pengembangan budaya keselamatan;
- Keterisolasian dan kurangnya pembelajaran dari pengalaman dengan pihak luar;
- Tidak memiliki standar sistem manajemen keselamatan dan acuan budaya keselamatan ;
- Kekurangan sumberdaya;
- Reorganisasi atau penyusutan organisasi sehingga kehilangan

staf yang berpengalaman dan memori organisasi (berkurangnya pengetahuan Tacid);

- Meningkatnya kelemahan-kelemahan perawatan dan prosedur;
- Lemahnya Tim Audit Internal;
- Lambatnya melakukan tindakan perbaikan.

Berdasarkan sebelas indikasi pelemahan kinerja keselamatan di atas yang sudah disesuaikan dengan kondisi organisasi, maka masalah menurunnya indikasi kinerja keselamatan dapat dikuantisasi menjadi lima tahap penurunan kinerja, seperti pada **Tabel 1**.

Setiap tahapan ini harus dapat diketahui dengan pasti oleh organisasi dalam menerapkan dan mengelola keselamatan. Tahap penurunan dan karakteristiknya dapat dilihat pada **Tabel 1**. Sifat budaya keselamatan yang abstrak merupakan suatu kesulitan tersendiri untuk mengetahui secara cepat indikasi pelemahan budaya keselamatan. Dalam budaya keselamatan ada tiga tingkatan yang dapat digunakan untuk dijadikan pendekatan dalam mendeteksi gejala pelemahan yaitu, kepatuhan terhadap peraturan perundangan, asumsi dasar serta nilai-nilai yang diakui dan difahami.

Anne Kerhoas, "National Workshop On Strengthening The Safety Culture Through Improvement Of The management System and Key Performance Indicators", 17 to 21 November 2008, PTRKN BATAN [2], bahwa implementasi budaya keselamatan dapat di-

lakukan pendekatan melalui penerapan persyatan keselamatan menggunakan dokumen IAEA GSR-3 [3] tentang persyaratan sistem manajemen keselamatan.

Berdasar kajian sebelumnya [4] telah dilakukan suatu strategi pendekatan implementasi budaya keselamatan pada Perka BATAN Nomor 200/KA/X/2012 [5], dari hasil ini telah ditunjukkan bahwa lima karakteristik dan tiga puluh tujuh atribut budaya keselamatan dapat dipadankan dengan butir dan klausul pada SB006 OHSAS 18001:2008. Meskipun pada SB006 OHSAS 18001:2008 [6] tidak menggunakan acuan-acuan normatif GSR-3, tetapi padanan pada klausul dan butir memiliki persamaan. Berdasarkan hal ini, maka pada makalah ini akan dilakukan suatu uji coba untuk dilakukan analisis terhadap hasil audit SB006 OHSAS 18001:2008 untuk mendapatkan suatu korelasi antara ketidaksesuaian hasil audit sistem manajemen keselamatan terhadap gejala pelemahan budaya keselamatan organisasi.

Beberapa kecelakaan besar seperti dalam industri nuklir, transportasi dan penerbangan di seluruh dunia yang terjadi sangat berhubungan dengan melemahnya budaya keselamatan. Kecelakaan reaktor nuklir Chernobyl 1986, disebabkan oleh pelanggaran pelaksanaan prosedur oleh individu dan over-riding sistem keselamatan, pada kasus Three Mile Island disebabkan oleh pemahaman yang buruk oleh individu dan organisasi tentang risiko kecelakaan dan kompetensi yang tidak memadai. Pada kecelakaan non-nuklir juga terjadi pada industri penerbangan, katakanlah pada kecelakaan space shuttle, masalah budaya keselamatan berperan besar dalam ketidakmampuan manajemen dalam mengelola tekanan produksi dan masalah keselamatan [7].

Kegagalan budaya keselamatan organisasi pada contoh merupakan akumulatif masalah manajemen keselamatan yang berdampak pada kinerja keselamatan serta teraktualisasi pada sikap dan perilaku pada individu, organisasi dan teknologi.

Dengan adanya tanda peringatan dini gejala pelemahan budaya keselamatan pada organisasi, maka tindakan perbaikan sistem manajemen keselamatan serta penguatan budaya keselamatan dapat dilakukan dalam waktu yang cukup untuk mencegah memburuknya kondisi keselamatan.

Tabel 1: Tahap penurunan kinerja keselamatan

Tahap	Nama Tahap	Karakteristik Setiap Tahap
1.	Percaya diri berlebihan	Unjuk kerja yang baik di masa lalu mengakibatkan kepuasan diri
2.	Puas diri	Kejadian-kejadian kecil sebagai akibat dari minimnya pengkajian diri dan penundaan dalam penyempurnaan program
3.	Penolakan	Jumlah kejadian kecil meningkat, dengan kemungkinan akan terjadi kejadian yang lebih besar. Kejadian ini diperlakukan terisolasi dengan yang lain. Temuan dalam audit dianggap tidak akurat. Analisis akar penyebab masalah tidak diterapkan.
4.	Bahaya	Beberapa kejadian serius terjadi, tetapi manajemen dan para pekerja menolak kritik dari audit atau badan pengawas, dengan pertimbangan mereka yang bias. Fungsi pengawasan internal takut menghadapi pihak manajemen.
5.	Keruntuhan	Badan pengawas ikut campur dalam pelaksanaan evaluasi khusus. Manajemen terlalu berkuasa dan perlu diganti. Perbaikan besar dan sangat mahal harus dilaksanakan.

Untuk mengatasi penyebab masalah pelemahan budaya keselamatan, maka organisasi dan badan pengawasnya baik internal maupun eksternal harus memperhatikan tanda-tanda kelemahan tersebut.

2. METODOLOGI

Metodologi pada kajian ini adalah dengan melakukan telaah pada Tecdoc IAEA Nomor 1329 pada bab tentang penurunan kinerja keselamatan dan gejala pelemahan budaya keselamatan serta acuan tentang *safety climate*. Pendekatan *safety climate* sangat dibutuhkan sebagai *intersection* antara budaya keselamatan dan sistem manajemen keselamatan [8].

Sebagai bahan untuk pengolahan data pada makalah ini digunakan hasil surveylen-1 SMK3 berbasis SB006 OHSAS 18001:2008 pada Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN, sekarang PS-TBM) yang dilakukan oleh Pusat Jaminan Mutu Nuklir (PSJMN), sekarang PSMN (Pusat Standar Mutu Nuklir) pada Tahun 2013. Hasil audit ini dipadankan kesesuaiannya dengan karakteristik dan atribut budaya keselamatan pada Lampiran Perka BATAN No. 200/KA/X/2012. Selanjutnya dilakukan perhitungan sederhana untuk mendapatkan faktor dominan yang berpengaruh terhadap pelemahan budaya keselamatan.

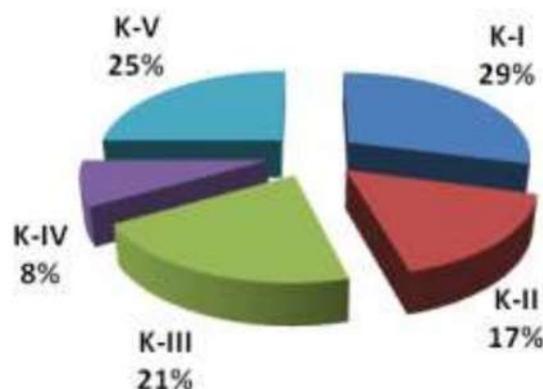
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil audit implementasi SMK3 PTBIN pada Tahun 2013 merupakan audit kedua setelah memperoleh sertifikasi sistem manajemen keselamatan oleh Komite Standar BATAN pada Tahun 2011. Hasil temuan ini berupa ketidaksesuaian implementasi SMK3 di PTBIN dengan SB006 OHSAS 18001:2008. Ketidaksesuaian hasil audit dituliskan dalam bentuk klausul dan butir (sub.bab dan anak sub.bab), kemudian dipadankan kesesuaiannya dengan dengan atribut budaya keselamatan. Sebanyak lima belas temuan minor dan satu temuan mayor digunakan sebagai sampel untuk pengolahan data pada makalah ini ditampilkan pada **Tabel 2** beserta padanan yang sesuai atribut budaya keselamatan.

Berdasarkan Tecdoc 1329 disebutkan bahwa gejala-gejala pelemahan budaya keselamatan secara garis besar dibagi tiga masalah utama, yaitu individu (I), teknologi (T) dan organisasi (O), maka pada sampel audit ini dilakukan pendekatan pada atribut budaya keselamatan untuk mengelompokkannya. Hasil pengelompokan diusahakan sebanyak mungkin padanannya dengan I, T dan O, sehingga akan didapatkan probabilitas yang tinggi. Karakteristik budaya keselamatan dinotasikan dengan K dari I sampai V. K-I adalah Keselamatan sebagai nilai yang diakui dan dipahami, K-II kepemimpinan dalam keselamatan, K-III akuntabilitas keselamatan, K-IV keselamatan terintegrasi dan K-V keselamatan sebagai penggerak pembelajaran.

Dari hasil **Tabel 2** ditunjukkan bahwa seluruh karakteristik budaya keselamatan memberikan kontribusi pada setiap temuan audit dan dapat dipadankan dengan lebih dari satu karakteristik.

Berdasarkan **Tabel 2**, diperoleh padanan pada Karakteristik KI, KII, KIII dan KV dengan temuan audit SMK3 dalam bentuk persentase ditunjukkan pada **Tabel 3** dan pada **Gambar 1**.



Gambar 1: Prosentase pelemahan budaya keselamatan berdasarkan karakteristik.

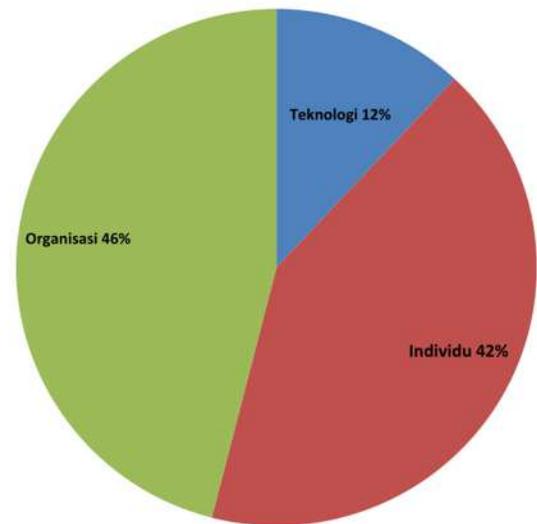
Tabel 2: Padanan temuan pada SB006 OHSAS 18001:2008 dengan Perka BATAN No. 200/KA/X/2012.

No.	Pengamatan/Temuan Ketidakesesuaian SB006 OHSAS 18001:2008	Kesesuaian dengan Atribut Perka BATAN No. 200/X/2012
1.	PTBIN telah melakukan kaji ulang manajemen. (Klausul : 6.2.e)Minor	K-V; Atribut 33; K-V; Atribut 35; (O)
2.	Program, perencanaan (Klausul : 3.4.1)-Minor	K-I; Atribut 3; K-IV; Atribut 25 (O,I,T)
3.	Prosedur, inkonsisten prosedur Kepatuhan perundang undangan (Klausul : 3.3 dan 5.2)Minor	K-I; Atribut 3; K-IV; Atribut 24 K-V; Atribut 33,36 (O,I)
4.	Pengawasan internal. (Klausul : 4.3.2) Mayor	K-I; Atribut 3 K-II; Atribut 8 K-V; Atribut 33 (T,O)
5.	Pengendalian SMK3 (Klausul : 3.2/4.2 d) Minor	K-II; Atribut 8 (I,T,O)
6.	Kompetensi SDM (Klausul : 5.2)- Minor	K-I; Atribut 2 (O)
7.	Kepatuhan, inkonsisten (Klausul : 3.3)-Minor	K-II; Atribut 8(I). K-III; Atribut 18(I)
8.	Kepatuhan, inkonsisten (Klausul : 3.3)minor	K-III; Atribut 18 (I)
9.	Kepatuhan, inkonsisten (Klausul : 5.2), Minor	K-I; Atribut 2(O) K-III; Atribut 18 (I)
10.	Kepatuhan,inkonsisten (Klausul :5.2),Minor	K-V; Atribut 34 (I)
11.	Pengendalian, prosedur (Klausul : 4.3.3)-Minor	K-II; Atribut;11,12 (I)
12.	Kelengkapan dokumen Persyaratan,{4.1.3.1.} - Minor	K-III; Atribut 19 (I,O)
13.	Kelengkapan prosedur {Klausul : 5.3}-Minor	K-V; Atribut 33; K-V; Atribut 35; (O)
14.	Kepatuhan, inkonsisten {Klausul : 5.2}-Minor	K-III; Atribut 19 (O). K-V; Atribut 33(O)
15.	Sumberdaya {klausul : 4.5}.Minor	K-I; Atribut 2 (O) K-I; Atribut 3;(I)

Tabel 3: Hasil temuan audit sistem manajemen keselamatan terkait karakteristik Perka BATAN No. 200/KA/X/2012

Karakteristik	Jumlah temuan	Prosentase (%)
K-I	7 temuan	29
K-II	4 temuan	17
K-III	5 temuan	21
K-IV	2 temuan	8
K-V	6 temuan	25

Temuan audit SMK3 yang sudah dipadankan dengan karakteristik dan atribut budaya keselamatan dikuantisasi dalam prosentase dan diperoleh yaitu, individu sebanyak 11 padanan (42%),teknologi 3 padanan (12%) dan organisasi 12 padanan (46%), seperti ditunjukkan pada **Gambar 2**.

**Gambar 2:** Prosentase pelemahan budaya keselamatan berdasarkan ITO

Dengan memperhatikan faktor prosentase padanan ITO pada **Gambar 2** yang disesuaikan dengan Tabel-1 serta memperhatikan Table 4 tentang gejala pelemahan budaya keselamatan sesuai Tecdoc 1329, diperoleh kecenderungan pelemahan budaya keselamatan bersesuaian dengan prosedur tidak dilaksanakan dengan baik, penyelesaian masalah yang tidak tepat, peningkatan akumulatif tindakan pembetulan serta kurangnya proses pengkajian diri, dengan kontribusi terbesar pada faktor individu (42%) dan organisasi (46%). Dari beberapa gejala ini, maka dapat dikembangkan indikator yang berguna untuk mendeteksi memburuknya kecenderungan pelemahan budaya keselamatan.

Tabel 4: Gejala pelemahan budaya keselamatan [1]

I.	Kurangnya pendekatan yang sistematis;
II.	Prosedur tidak dilaksanakan dengan baik;
III.	Insiden tidak dianalisis secara mendalam dan tidak mengambil hikmah dari peristiwa yang terjadi (<i>lesson not learned</i>);
IV.	Ketidakesuaian alokasi sumberdaya;
V.	Jumlah pelanggaran meningkat;
VI.	Peningkatan akumulatif tindakan pembetulan;
VII.	Verifikasi kesiapan operasi dan perawatan;
VIII.	Masalah keselamatan pekerja tidak diperbaiki secepatnya;
IX.	Pemusatan yang berlebihan terhadap masalah-masalah teknis;
X.	Pelaporan kejadian kecil yang tidak berakibat pada keselamatan;
XI.	Kurangnya proses pengkajian diri;
XII.	Kebersihan lingkungan kerja (<i>housekeeping</i>);

Pendekatan ini bukan merupakan suatu gejala pelemahan budaya keselamatan secara permanen, karena sifat audit sistem manajemen bersifat sementara dan analisis yang dilakukan bersifat snapshot karena dilakukan menggunakan *safety climate*. Untuk jangka panjang jika pola *safety climate* sudah terbentuk, dapat diindikasikan sebagai pelemahan budaya keselamatan. Sampai saat ini belum ada penelitian yang membatasi berapa lama hasil *safety climate* menjadi pola pelemahan budaya keselamatan.

Dengan membuat alur dalam memprediksi pelemahan budaya keselamatan, diharapkan manajemen secara cepat dapat melakukan tindakan perbaikan. Dalam mendeteksi gejala pelemahan budaya keselamatan pada makalah ini penulis membuat alur untuk mendeteksi gejala pelemahan budaya keselamatan melalui hasil audit sistem manajemen keselamatan seperti pada **Gambar 3**.

Dengan model alur pada **Gambar 3** ini, maka manajemen di organisasi yang terdiri dari pimpinan, manajer serta staff senior dapat membuat penyelesaian masalah secara cepat dengan melibatkan seluruh anggota organisasi. IAEA merekomendasikan dalam mendeteksi gejala pelemahan budaya keselamatan dipengaruhi oleh individu yang tidak sepenuhnya menyadari persyaratan persyaratan implementasi sistem manajemen keselamatan, tanggung jawab dan tugas tugas secara menyeluruh dari pekerjaan sesuai kompetensinya. Hal ini terjadi karena uraian tugas tidak disiapkan dengan benar atau karena staf belum diberitahu tentang harapan atasannya. Pada kasus lainnya ada perbedaan yang sangat besar antara harapan atasan dengan harapan pegawai secara umum.



Gambar 3: Model alur mendeteksi gejala pelemahan budaya keselamatan melalui audit SMK3.

Kewaspadaan terhadap gejala pelemahan budaya keselamatan memungkinkan tindakan pemulihan yang dilaksanakan dalam waktu singkat untuk mencegah akibat serius. Badan pengawas (internal dan eksternal) mempunyai kepentingan dan legitimasi yang jelas dalam mempertahankan budaya keselamatan fasilitas, mempunyai peranan penting untuk mendorong organisasi untuk mengidentifikasi, mengerti menerapkan serta menanamkan langkah-langkah positif guna meningkatkan budaya keselamatan yang kuat.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Model pendeteksian gejala pelemahan budaya keselamatan melalui hasil audit implementasi SB006 OHSAS 18001:2008 dapat dipadankan dengan karakteristik budaya keselamatan pada Perka BATAN No. 200/KA/X/2012. Tahapan yang harus dilakukan adalah membuat padanan atribut pada karakteristik, kemudian membuat

analisis terhadap karakteristik yang sesuai dengan hasil temuan audit SB006 OHSAS 18001:2008.

Dari hasil uji sampel diperoleh gejala pelemahan budaya keselamatan terbesar pada faktor individu dan organisasi pada tahap puas diri yang ditunjukkan dengan prosedur tidak dilaksanakan dengan baik, penyelesaian masalah yang tidak tepat, peningkatan akumulatif tindakan pembetulan serta kurangnya proses pengkajian diri. Keberhasilan model ini sangat tergantung pada ketepatan membuat padanan hasil audit dengan karakteristik budaya keselamatan.

Untuk mendapatkan hasil yang maksimal, dalam menganalisis padanan disarankan organisasi melibatkan seluruh pemangku kepentingan untuk mendapatkan hasil yang maksimal.

Dari hasil surveilen SMK3 ini disarankan manajemen PTBIN melakukan kaji ulang manajemen dengan fokus kepada penyelesaian masalah pada individu dan organisasi dalam mendapatkan akar permasalahan pada hasil surveilen, sehingga tidak terjadi temuan yang berulang, memasukkan sosialisasi sistem manajemen keselamatan dan budaya keselamatan dalam program tahunannya, serta peningkatan kualitas individu melalui peningkatan kompetensi secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IAEA (2002); IAEA-TECDOC 1329, *Safety culture in nuclear installations: Guidance For Use In The Enhancement Of Safety Culture*; IAEA, Vienna.
- [2] Kerhoas, A. (2008); "National Workshop On Strengthening The Safety Culture Through Improvement Of The management System and Key Performance Indicators", 17 to 21 November 2008; PTRKN BATAN, Jakarta.
- [3] IAEA (2006); IAEA Safety Standards Series No. GS-R-3, *The Management System for Facilities and Activities*; IAEA, Vienna.
- [4] Prasud, W. (2014); *Strategi Dalam Penguatan Budaya Keselamatan, dalam proses*; KPTF PSTBM BATAN, Jakarta.
- [5] BATAN (2012); *Peraturan Kepala BATAN Nomor 200/KA/X/2012, Tentang Pedoman Pelaksanaan Budaya Keselamatan*; BATAN, Jakarta.
- [6] BATAN (2012); *Standar BATAN Nomor SB006 OHSAS 18001:2008, Persyaratan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja*; BATAN, Jakarta.
- [7] PRISM (2003); *FG1-Safety Culture Application Guide-Final Version 1.1-8 August*.
- [8] Wiegmann, DA, et.al., (2002); *A Synthesis of Safety Culture and Safety Climate Research, Technical Report ARL-02-3/FAA-02-2, Federal Aviation Administration Atlantic City International Airport*; New Jersey.



Seminar Keselamatan Nuklir 2014 Makalah Penyaji Poster Bidang Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif

Prosiding
Seminar
Keselamatan
Nuklir
2014

MEMAHAMI PENETAPAN PASAL 43 AYAT (1) HURUF b, PERATURAN KEPALA BAPETEN NOMOR 8 TAHUN 2011

Togap P Marpaung

Koordinator Penyusunan Perka BAPETEN No. 8 Tahun 2011

BAPETEN, Jl. Gajah Mada No. 8 Jakarta 10120, email: t.marpaung@bapeten.go.id

ABSTRAK

MEMAHAMI PENETAPAN PASAL 43 AYAT (1) HURUF B, PERATURAN KEPALA BAPETEN No. 8 TAHUN 2011, ketentuan ini menjadi topik hangat bagi banyak pihak, khususnya untuk BAPETEN karena masa berlaku pelarangan penggunaan pesawat sinar-X dengan arus tabung < 50 mA untuk pemeriksaan rutin akan berakhir 11 Oktober 2014 ini. Oleh karena itu, untuk memperoleh kejelasan dan kepastian aspek teknis maupun legal perlu ditulis secara komprehensif terkait dengan nilai mA tersebut. Dari aspek teknis, pesawat sinar-X pemeriksaan umum dengan mA kecil (< 100 mA) adalah portabel, mA sedang (≥ 100 mA) adalah *mobile* dan mA besar (≥ 200 mA) adalah jenis terpasang tetap. Dalam rancangan Peraturan Kepala BAPETEN, nilai arus tabung adalah paling rendah 100 mA sesuai dengan standar internasional. Sesuai dengan pedoman WHO bahwa arus tabung sinar-X harus, atau lebih 100 mA. Nilai arus tabung di bawah 100 mA tidak memberikan keuntungan. Salah satu keuntungan adalah semakin besar nilai mA semakin baik untuk keselamatan pasien. Namun, untuk untuk mengakomodir produksi pesawat sinar-X diagnostik di dalam negeri, nilai 100 diubah menjadi 50 mA sesuai amanat Pimpinan BAPETEN. Disimpulkan bahwa dari aspek legal, penetapan pasal 43 ayat (1) huruf b Perka BAPETEN 8/2011 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional dapat dipertanggungjawabkan. Sebab Perka BAPETEN disusun berdasarkan literatur yang valid dan melibatkan Tim Kelompok Kerja serta pemangku kepentingan. Pasal 43 ayat (1) huruf b tidak berdiri sendiri, harus dikaitkan dengan pasal lain. Dalam bab peralihan diatur ketentuan tenggang waktu pelarangan, yaitu 3 tahun terhitung sejak tanggal berlakunya Perka BAPETEN.

Kata kunci: peraturan, keselamatan radiasi, pesawat sinar-X, arus tabung (mA).

ABSTRACT

TO UNDERSTAND THE ESTABLISHMENT OF ARTICLE 43 PARAGRAPH (1) LETTER (B), CHAIRMAN REGULATION OF BAPETEN No. 8 YEAR 2011, this article 43 become a hot topic for many parties, especially for BAPETEN since the period of validity the use of the X-ray equipment with tube current < 50 mA for a routine checkup this will end in this 11 October 2014. Therefore, to gain clarity and certainty of the technical and legal aspects need to be written in a comprehensive manner associated with the mA value. From the technical aspect, X-ray equipment with small mA (< 100 mA) is a portable, medium mA (≥ 100 mA) is mobile and large mA (≥ 200 mA) is permanent installed type. In the draft Chairman Regulation of BAPETEN, the lowest value of tube current is 100 mA in accordance with international standards. In accordance with WHO guidelines that the X-ray tube current shall be, or more than 100 mA. The tube current value below 100 mA brings no advantage. One of advantage is the greater value of mA, the better for patient safety. However, in order to accommodate the production of X-ray equipment for diagnostics in the country, the value of 100 was changed to 50 mA as mandated by the Chairman of BAPETEN. Concluded that from the legal aspect, the establishment of Article 43 paragraph (1) letter b Chairman Regulation of BAPETEN No. 8 Year 2011 on Radiation Safety in the Use of X-Ray Equipment for Diagnostic and Interventional Radiology can be accounted for. Because Chairman Regulation of BAPETEN is valid and compiled based on the literature and involving Team Working Group and stakeholders. Article 43 paragraph (1) letter b does not stand alone, must be linked to another article. In chapter transitional provisions set time limit prohibition, which is 3 years from the date of entry into force of Chairman Regulation of BAPETEN.

Key words: regulation, radiation safety, X-ray equipment, tube current (mA).

1. PENDAHULUAN

Klausul yang mengatur persyaratan teknis pesawat sinar-X, diantaranya batasan nilai arus tabung (mA) yang terkait dengan pesawat sinar-X portabel dan *mobile* menjadi topik yang menarik untuk didiskusikan. Bahkan, batasan nilai mA dan penggunaan pesawat sinar-X portabel dan *mobile* tersebut menjadi objek hukum yang menjadi perhatian utama bagi banyak pihak (praktisi medik, pemegang izin, akademisi, peneliti dan regulator). Pemegang izin yang dimaksud terdiri dari importir (perusahaan yang mengimpor, pabrikan (perusahaan yang memproduksi) dan pengguna pesawat sinar-X (rumah sakit, klinik, praktek dokter dan lain-lain). Sedangkan regulator terdiri dari BAPETEN dan KEMENKES.

Pada awalnya batasan nilai mA yang ditetapkan dalam rancangan peraturan Kepala (Raperka) BAPETEN paling kurang sebesar 100 mA, tetapi diubah menjadi 50 mA. Setelah melalui proses penyusunan Perka yang memakan waktu yang cukup panjang, sekitar 5 (lima) tahun, maka Kepala BAPETEN menandatangani Perka BAPETEN 8/2011 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional, pada tanggal 10 Oktober 2011.

Meskipun Perka BAPETEN sudah menjadi suatu produk hukum tetapi masih ada para pihak maupun perorangan yang belum puas mengenai ketentuan yang diatur, khususnya pasal 43 ayat (1) huruf b, yaitu mengenai nilai kuat arus tabung (mA). Bahkan, Pimpinan BAPETEN juga merasa khawatir karena ada pihak yang mem-

permasalahkan batasan mA tersebut dan menjadi semakin serius jika timbul persepsi ada pihak yang dirugikan.

Kekuatiran Pimpinan BAPETEN semakin tajam dikarenakan adanya masukan dari berbagai pihak yang tidak setuju terhadap batasan mA. Alasan yang dikemukakan adalah bahwa tidak ada sa-tupun literatur yang membuat batasan mA dan hal tersebut dapat merugikan pihak pengguna karena ada sekitar 300 unit pesawat sinar-X radiografi umum dengan mA kecil.

Sebagai wujud kepedulian, maka pada tanggal 3 November 2011, Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan FRZR (P2STPFRZR) dan DP2FRZR diminta untuk membahas lagi Perka 8/2011 di Gedung A BAPETEN. Diskusi yang dipimpin salah satu Pimpinan BAPETEN berlangsung cukup hangat dan menjadi relevan serta menarik karena pada tahun 2011, P2STPFRZR melakukan kajian mengenai kinerja pesawat sinar-X ≤ 50 mA, disimpulkan bahwa kinerja dan citra yang dihasilkan baik. Akan tetapi jajaran peraturan dari DP2FRZR tetap konsisten dengan argumennya bahwa pasal 43 ayat (1) huruf b adalah valid karena nilai mA harus ada ketentuannya sesuai dengan standar yang direkomendasikan oleh Badan Kesehatan Dunia (*World Health Organization*-WHO).

Ada beberapa catatan penulis bahwa klausul pasal 43 ayat 1 huruf b harus dibahas lagi secara mendalam, diantaranya:

- 2 November 2011, email yang ditujukan kepada penulis.
- 21 Februari 2012, penulis diminta agar dapat menunjukkan literatur IAEA atau hasil kajian yang mendukung ketentuan batasan nilai mA. Ditegaskan juga bahwa “ada pihak yang dirugikan dengan pembatasan nilai mA dan jangan menutup kesempatan produk dalam negeri”.
- 15 dan 16 Februari 2012, email ditujukan lagi kepada penulis.
- 2 Maret 2012, agar pasal 43 ayat (1) huruf b direvisi melalui email yang ditujukan kepada penulis.
- 27 April 2012, membahas mA pesawat sinar-X dengan maksud agar pasal 43 ayat 1 huruf b dihilangkan dengan berbagai pertimbangan. Tetapi, ketika diberi penjelasan yang disertai literatur WHO, maka rencana penghapusan pasal 43 ayat 1 dibatalkan [1]. Adapun dasar ilmiah yang diutarakan oleh penulis adalah literatur WHO dengan kutipan sebagai berikut:

“Available X-ray Tube Current

The tube current shall be, or exceed 100 mA.

Comment: Tube current values below 100 mA bring no advantage” [2].

Sebelum ditetapkan menjadi Perka, juga sudah terjadi perdebatan yang tajam di internal BAPETEN. Adapun bukti antara lain: (1) sms tanggal 03 Maret 2010 ditujukan kepada penulis dan (2) rakor pembahasan draf Perka di Gd A, BAPETEN, tanggal 28 Januari 2011.

Pada hari Kamis, tanggal 17 April 2014 Kedeputusan Perizinan dan Inspeksi melalui Direktorat Perizinan FRZR kembali membahas beberapa poin penting yang diatur dalam Perka 8/2011. Salah satu agenda rapat koordinasi adalah membahas masalah arus tabung (mA) yang diatur dalam Pasal 43 ayat (1) huruf b. Mengemukanya masalah mA mengingat akan berakhirnya klausul yang diatur dalam Pasal 73 Bab Peralihan. Jadi, pesawat sinar-X kurang dari 50 mA akan dilarang terhitung mulai tanggal 11 Oktober 2014 jika Pasal 73 ayat (1) dimaknai begitu saja.

2. METODOLOGI

Tulisan ini disusun berdasarkan fakta melalui studi literatur yang diperoleh dari berbagai dokumen, antara lain notulen Raperka BAPETEN, literatur WHO, laporan hasil kajian P2STPFRZR-BAPETEN, Permenkes 1014/2008 dan Perka BAPETEN 8/2011.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Penetapan Batasan Nilai mA

3.1.1. Usulan Spesifikasi Teknis Pesawat Sinar-X

Dari sejak awal, Raperka BAPETEN telah disepakati bahwa spesifikasi teknis pesawat sinar-X adalah kuat arus tabung paling rendah 100 mA. Rekaman dokumen rakor, sebagai berikut:

1. Rancangan Perka, 3 September 2008, dan 1 Oktober 2009, pasal 53 sebagai berikut “Pesawat Sinar-X harus mempunyai kuat arus tabung sama dengan atau lebih besar 100 mA dan menghasilkan citra radiografi dengan kualitas yang optimal” [3].
2. Nota Dinas No. 198/DPFRZR/X-09, 15 Oktober 2009 dari Direktorat Perizinan RZR menanyakan alasan pelarangan penggunaan pesawat sinar-X dengan kuat arus tabung kurang dari 100 mA.

3.1.2. Persetujuan Tim Pokja

Ide memasukkan batasan mA ini didasari pada keluhan praktisi medik, yang menemukan sedemikian maraknya pesawat sinar-X mA kecil. Menurut mereka, kualitas citra yang dihasilkan kurang baik dan penggunaannya sangat terbatas apabila digunakan menjadi setara dengan pesawat sinar-X radiografi umum, yaitu *mobile* dan terpasang tetap. Pemahaman mengenai besaran mA berarti daya juga akan diketahui. Alasannya, tegangan tabung untuk radiografi umum merupakan nilai yang pasti, yaitu 100–150 kV. Berdasarkan spesifikasi teknis, pesawat sinar-X pemeriksaan umum mA kecil (< 100 mA) adalah portabel, mA sedang (≥ 100 mA) adalah *mobile* dan mA besar (≥ 200 mA) adalah terpasang tetap.

Semua anggota Tim Pokja Program Proteksi Radiasi dalam Bidang Medik menyetujui batasan kuat arus tabung 100 mA. Tim Pokja terdiri dari sejumlah pakar, yaitu: Ketua Persatuan Dokter Spesialis Radiologi Indonesia (PDSRI), Ketua Kologium Kedokteran Indonesia (KKKI), Ketua Persatuan Ahli Radiografi Indonesia (PARI), Ketua Ikatan Kedokteran Gigi Indonesia (IKARGI), Kepala Pusat Sarana dan Prasarana, Kasubdit Pelayanan Radiologi-Depkes dan Ketua Program Studi Fisika Medik FMIPA UI. Salah satu tujuan dibentuknya Tim Pokja adalah memberikan masukan mengenai substansi yang akan diatur dalam Perka BAPETEN.

3.2. Persetujuan Pemangku Kepentingan

Untuk memperkaya masukan melalui pembahasan yang lebih komprehensif, DP2FRZR BAPETEN secara khusus juga mengundang asosiasi profesi kedokteran lain, diantaranya Perhimpunan Dokter Paru Indonesia (PDPI), Perhimpunan Dokter Kardiologi Indonesia (PDKI) dan Komisi Etika Medik Kedokteran, Depkes. Rancangan Perka BAPETEN juga dikirim ke berbagai pihak diantaranya, praktisi medik, akademisi dan peneliti dalam rangka memberi masukan terhadap semua ketentuan yang diatur, khususnya mengenai batasan nilai mA.

3.3. Persetujuan Pihak Terkait

Satu hal yang paling menarik, adanya dukungan narasumber dari Kementerian Tenaga Kerja yang menjelaskan bahwa International Labour Organization (ILO) membuat pedoman agar pemeriksaan kesehatan tenaga kerja menggunakan pesawat sinar-X dengan kuat arus tabung paling rendah 100 mA [4 & 5].

3.3.1. Deskripsi Pesawat Sinar-X mA Kecil

Bagi praktisi medik di bidang radiologi, mendengar pesawat sinar-X mA kecil untuk radiografi, dalam benaknya pasti terlintas jenis portabel. Alatnya didisain menjadi satu-kesatuan, terdiri dari panel kendali, tabung dan kolimator. Karakteristik pesawat sinar-X portabel produk lama berbeda dengan baru. Sebagai contoh, produk lama merek So Yee 30 mA, jenis generator: 1 pulse atau 2 pul-

se (60 Hz) dengan single tank converter dan faktor ekspos secara analog. Produk baru, Toshiba 50 mA, generator: high frequency inverter type (60 kHz) dan faktor ekspos secara digital.

3.3.2. Bukti Nilai mA Menjadi Perhatian Utama

Pihak pabrikan pesawat sinar-X juga memberikan pada produknya kode angka yang berarti nilai mA. Contoh, merek Acoma MT-40 artinya 40 mA, Mednif, F-30, F-50 dan F-100 artinya 30 mA, 50 mA dan 100 mA. Produk dalam negeri juga memberi kode angka, Omnix N 60 artinya 60 mA.

Kemampuan pesawat sinar-X untuk membangkitkan sinar-X dengan nominal rating dayanyapun sudah diketahui karena daya (kW) adalah perkalian antara arus (mA) dengan tegangan tabung (kV). Jadi, dalam dunia bisnis transaksi jual-beli pesawat sinar-X untuk pemeriksaan umum, lazimnya yang menjadi patokan adalah besaran mA, bukan kV [7]

3.4. Kajian P2STPFR Mengenai Kinerja Pesawat Sinar-X < 50 mA

Pada tahun 2009, ketika ada rakor di bawah Kedeputusan PKN di Gedung A BAPETEN, penulis mengusulkan agar dilakukan kajian terkait kinerja pesawat sinar-X mA kecil. Tahun 2011 Bidang Pengkajian Kesehatan P2STPFRZR melakukan kajian tersebut.

Hasil kajian menyimpulkan, antara lain “tidak perlu dilakukan pelarangan pesawat sinar-X < 50 mA selama pesawat sinar-X lolos uji kesesuaian” akan tetapi kontradiktif dengan pernyataan lain, yaitu “penggunaan perlu dibatasi dengan beberapa alasan” [8]. Satu hal yang harus diketahui lagi bahwa pesawat sinar-X < 50 mA adalah jenis portabel, tidak masuk lingkup yang diatur dalam Perka BAPETEN 9/2011 [8].

3.5. Pedoman WHO Terkait Pesawat Sinar-X

WHO merekomendasikan bahwa pesawat sinar-X untuk pemeriksaan umum terdiri dari pesawat sinar-X terpasang tetap dan *mobile*. Prinsip pedoman pesawat sinar-X, sebagai berikut:

1. kualitas citra sinar-X harus sangat baik.
2. pesawat sinar-X harus selamat untuk pasien dan personil.
3. pesawat sinar-X harus mudah dipasang dan digunakan.
4. perawatan sinar-X hendaknya minimal.
5. harus dimungkinkan juga menggunakan pesawat sinar-X dengan catu daya listrik yang tidak stabil.

Khusus untuk pesawat sinar-X *mobile* dengan daya 3,7 kW tidak cukup untuk pemeriksaan bagian samping paru atau perut. Daya untuk pemeriksaan pinggul adalah 8–10 kW. Tegangan tabung sinar-X *mobile* hendaknya mempunyai anoda berputar dengan rating daya nominal sekitar 10–12 kW. Arus tabung sinar-X harus, atau lebih 100 mA. Nilai-nilai arus tabung di bawah 100 mA tidak akan memberikan keuntungan. Nilai minimum rating daya yang diperkenankan 10–12 kW pada tegangan tabung 90–100 kV.

Adapun makna kualitas citra sangat baik adalah sangat tergantung pada jenis generator pesawat sinar-X terkait daya. Nilai citra ada kriteria keberterimaan, ukuran bukan pengamatan oleh orang yang sangat subjektif. Uji kualitas citra harus dilakukan oleh fisika-wan medik, meliputi: analisis *grey scale*, *low contrast*, *high contrast*, dan *spatial resolution* sehingga foto rontgen yang dibuat di negara manapun akan diakui kualitasnya oleh negara lain.

3.6. Pedoman IAEA Terkait Pesawat Sinar-X

IAEA juga menerbitkan publikasi Safety Report Series (SRS) No. 39 tahun 2006, disusun secara bersama IAEA dengan beberapa badan internasional, seperti WHO dan ILO. Substansi publikasi SRS No. 39 berbeda dengan pedoman WHO. Uraian mengenai spesifikasi teknis tidak dijelaskan dalam publikasi SRS No. 39,

poinnya adalah persyaratan manajemen terkait aspek proteksi dan keselamatan radiasi.

3.7. Kepmenkes Terkait Batasan mA

Keputusan Menteri Kesehatan No. 1014/Menkes/SK/XI/2008 tentang Standar Pelayanan Radiologi diagnostik di Sarana Pelayanan Kesehatan, spesifikasi teknis pesawat sinar-X *mobile* adalah kekuatan (tegangan dan arus tabung) 30–100 kV, minimal 100 mA [9]. Sekitar satu minggu sebelum Standar Pelayanan Radiologi diajukan kepada Menkes untuk permohonan pengesahan, pihak Kemenkes yang ikut terlibat dalam Tim Pokja menghubungi penulis untuk memastikan batasan nilai 100 mA.

3.8. Ketentuan Batasan Nilai mA

Pasal 43 ayat (1) huruf b harus dikaitkan dengan pasal 46, 47 dan 48 serta pasal 73 dan 74 sehingga menjadi jelas maknanya. Pasal-pasal terkait dapat diuraikan sebagai berikut:

Pasal 43

- (1) Pesawat sinar-X untuk pemeriksaan umum secara rutin harus mempunyai spesifikasi: (a) daya generator paling rendah 5 kW; (b) kuat arus tabung paling rendah 50 mA; dan (c) tegangan tabung dapat dioperasikan hingga 100 kV.
- (2) Spesifikasi kuat arus tabung tidak berlaku untuk jenis pesawat sinar-X: (a) radiologi kedokteran gigi; (b) mamografi; (c) fluoroskopi; dan (d) pengukur densitas tulang.
- (3) Spesifikasi tegangan tabung tidak berlaku untuk jenis pesawat sinar-X: (a) radiologi kedokteran gigi; (b) mamografi; dan (c) pengukur densitas tulang.
- (4) Pengukur densitas tulang dapat berupa pesawat C-arm digital.

Pasal 46

- (1) Pesawat sinar-X *mobile* hanya boleh digunakan untuk pemeriksaan rutin di: (a) instalasi gawat darurat; (b) instalasi perawatan intensif; (c) ruang radiologi apabila pesawat sinar-X terpasang tetap mengalami kerusakan; (d) *mobile station*; (e) klinik; (f) puskesmas; atau (g) praktek dokter.
- (2) Dalam hal penggunaan pesawat sinar-X *mobile* dalam *mobile station*, persyaratan ukuran ruangan *mobile station* harus sesuai ketentuan dalam Perka BAPETEN.

Pasal 47

Pesawat sinar-X portabel dilarang digunakan untuk pemeriksaan rutin.

Pasal 48

- (1) Dalam hal tertentu, ketentuan ruangan *mobile station* dan ketentuan pelarangan pesawat sinar-X portabel dapat dikecualikan.
- (2) Hal tertentu meliputi penggunaan pada: (a) daerah terpencil; (b) daerah bencana; (c) daerah konflik; dan (d) pemeriksaan massal bagi anggota masyarakat yang diduga terjangkit penyakit menular.
- (3) Pemeriksaan massal hanya boleh dilakukan oleh instansi pemerintah.

Pasal 73

- (1) Ketentuan mengenai pelarangan penggunaan pesawat sinar-X portabel untuk pemeriksaan umum secara rutin mulai berlaku sejak 3 (tiga) tahun terhitung sejak tanggal berlakunya Perka BAPETEN.
- (2) Pemegang izin, setelah tidak menggunakan lagi pesawat sinar-X portabel, harus melakukan tindakan pemusnahan atau pemusnahan.

Pasal 74

- (1) Pemegang izin wajib memenuhi spesifikasi pesawat sinar-X paling lama 3 (tiga) tahun terhitung sejak tanggal berlakunya

Perka BAPETEN.

- (2) Pemegang izin, setelah tidak menggunakan lagi pesawat sinar-X harus melakukan tindakan pemusnahan atau pembesituaan [10].

3.9. Pesawat Sinar-X mA Kecil Tidak Dilarang Diimpor, Diproduksi dan Digunakan

Tidak ada larangan kegiatan impor, produksi maupun penggunaan pesawat sinar-X < 50 mA. Ketentuan yang ada, yaitu mengenai batasan penggunaannya untuk pemeriksaan umum secara rutin. Bahkan, ketentuan yang berlaku saat ini memberikan ruang dan waktu bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Maksud ruang dan waktu adalah sebagai berikut:

- apabila suatu saat pesawat sinar-X nilai mA kecil (hingga ≤ 50 mA) dapat menghasilkan citra yang baik dan keselamatan pasien maka Perka BAPETEN 8/2011 dapat direvisi; dan
- ada ketentuan peralihan yang memberikan waktu selama 3 (tiga) tahun mulai diberlakukan pelarangan penggunaan pesawat sinar-X kurang dari 50 mA.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

1. Nilai arus tabung dalam Raperka BAPETEN adalah paling rendah 100 mA sesuai pedoman WHO. Dalam referensi Tim Penyusun Perka, dipahami bahwa arus tabung sinar-X harus, atau lebih 100 mA karena nilai arus tabung di bawah 100 mA tidak memberikan keuntungan. Maknanya adalah semakin besar nilai mA semakin baik kualitas citra dan filosofi keselamatan pasien dapat dipatuhi. Akan tetapi, nilai 100 mA diubah menjadi 50 mA untuk mengakomodir produksi pesawat sinar-X diagnostik di dalam negeri sesuai amanat Pimpinan BAPETEN.
2. Penetapan pasal 43 ayat (1) huruf b dan pasal terkait Perka BAPETEN 8/2011 adalah valid karena tidak ada yang keliru dan sudah memenuhi azas, yaitu mampu laksana.
3. Raperka BAPETEN sudah melalui proses pembahasan selama 5 tahun, melibatkan Tim Pokja terdiri dari para pakar dan pemangku kepentingan yang disusun sesuai literatur.
4. IAEA tidak menerbitkan pedoman yang membahas secara khusus spesifikasi teknis pesawat sinar-X diagnostik tetapi muatan substansinya adalah paparan medik yang terkait proteksi dan keselamatan radiasi.

4.2. Saran

Agar Bapak Kepala BAPETEN dapat memberikan perhatian penuh jika dilakukan revisi Perka 8/2011, khususnya Pasal 43 ayat (1) huruf b dan pasal terkait (misalnya Pasal 73 dan 74). Dalam hal ini, berbagai aspek harus dipertimbangkan melalui suatu kajian sehingga kebijakan yang dibuat oleh Kepala BAPETEN tidak menimbulkan ada pihak yang dirugikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] **Togap Marpaung** (2012); *Catatan Terkait Nilai mA Pesawat Sinar-X Diagnostik*; Jakarta.
- [2] **Holm, T.**, (2000); *Consumer Guide for the Purchase of X-Ray Equipment*; World Health Organization, University of Lund, Sweden.
- [3] **BAPETEN**, (2008); *Rancangan Peraturan Kepala BAPETEN No. 8 Tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensial*; Jakarta.
- [4] **BAPETEN** (2008); *Laporan Program Proteksi Radiasi Bidang Medik 2007–2008*; Jakarta.
- [5] **BAPETEN** (2010); *Laporan Konsultasi Publik, Jakarta, 2007–2010*; Jakarta.
- [6] **BAPETEN** (2011); *Pengkajian Hubungan antara Kondisi Penyinaran Dengan Jenis Pemeriksaan Terhadap Terimaan Dosis Pasien dan Kualitas Radiasi*; Jakarta.
- [7] **Marpaung, T.** (2012); *Permasalahan Pengawasan dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Portabel dan Mobile untuk Radiografi Umum*; BAPETEN, Jakarta.
- [8] **BAPETEN**, (2011); *Peraturan Kepala BAPETEN No. 9 Tahun 2011 tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensial*; Jakarta.
- [9] **KEMENKES**, (2009); *Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 1014/MENKES/SK/XI/2008 tentang Standar Pelayanan Radiologi Diagnostik di Sarana Pelayanan Kesehatan*; Jakarta.
- [10] **BAPETEN**, (2011); *Peraturan Kepala BAPETEN No. 8 Tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensial*; Jakarta.



**Seminar Keselamatan Nuklir 2014
Makalah Penyaji Poster
Bidang Instalasi dan Bahan Nuklir**

Prosiding

**Seminar
Keselamatan
Nuklir**

2014



ANALISIS KEKRITISAN TABUNG HIDRIDING DI IEBE DENGAN MENGGUNAKAN PROGRAM KOMPUTER SCALE6.1

Agus Waluyo

Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jakarta
Email: a.waluyo@bapeten.go.id

ABSTRAK

ANALISIS KEKRITISAN TABUNG *HIDRIDING* DI IEBE DENGAN MENGGUNAKAN PROGRAM KOMPUTER SCALE6.1. Saat ini IEBE sedang melakukan penelitian pengembangan bahan bakar dispersi berbasis paduan uranium tipe pelat dengan uranium pengayaan rendah ($< 20\% \text{ }^{235}\text{U}$). Beberapa jenis bahan bakar yang dilakukan pada penelitian ini diantaranya menggunakan paduan uranium berbasis U-Mo, U-Zr, U-N dan lain lain, yang didispersikan ke dalam serbuk logam matriks non fisil seperti Al, Mg, campuran Al-Si. Salah satu bahaya yang diidentifikasi di dalam penelitian ini adalah bahaya kekritisan tabung reaktor dalam proses hibriding. Dalam kajian ini akan digunakan SCALE 6.1 untuk mendapatkan Keff sebagai fungsi massa U-7Mo. Dari hasil perhitungan didapat hasil bahwa untuk massa maksimal di tabung besar (4551,27 gram) memberikan nilai Keff sebesar 0,07814 sedangkan untuk tabung kecil, untuk massa maksimal U-7Mo sebesar 2008,723 gram memberikan nilai Keff sebesar 0,05862.

Kata kunci: Tabung *hidriding*, Kekritisian, SCALE 6.1

ABSTRACT

CRITICALITY ANALYSIS FOR HIDRIDING TUBE IN IEBE USING SCALE 6.1. Currently IEBE are conducting research for development dispersion fuel based on uranium alloy plate type with low enrichment ($< 20\% \text{ }^{235}\text{U}$). Several type which carried out in this study are uranium-based alloys U-Mo, U-Zr, U-N and the others. Uranium-based alloys U-Mo, U-Zr, U-N will be dispersed to matrix of non fissile metal powder such as Al, Mg, Al-Si Mixture. One of hazards must be analysis in this study is criticality accident at tube for hidriding process. In this study use SCALE 6.1 to get Keff in tube for hidriding process function of U-7Mo mass. Result from the calculation are Keff max for large tube is 0.07814 and Keff max for small tube is 0.05862.

Keywords: *hidriding tube, criticality, SCALE6.1*

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Instalasi Elemen Bakar Eksperimental (IEBE) adalah suatu instalasi nuklir yang digunakan untuk melaksanakan penelitian dan pengembangan (litbang) teknologi produksi bahan bakar nuklir. Dalam melaksanakan tugas sebagaimana dimaksud dalam Peraturan Kepala BATAN No. 123/KA/VII/2007, IEBE mempunyai tugas dan fungsi pokok yaitu: memproses *yellow cake* menjadi serbuk UO_2 *nuclear grade*, dan memproduksi elemen bakar reaktor air berat (*heavy water reactor*, HWR) jenis cirene dengan menggunakan bahan baku utama uranium alam.

Saat ini IEBE sedang melakukan penelitian pengembangan bahan bakar dispersi berbasis paduan uranium tipe pelat dengan uranium pengayaan rendah ($< 20\% \text{ }^{235}\text{U}$). Beberapa jenis bahan bakar yang dilakukan pada penelitian ini diantaranya menggunakan paduan uranium berbasis U-Mo, U-Zr, U-N dan lain lain, yang didispersikan ke dalam serbuk logam matriks non fisil seperti Al, Mg, campuran Al-Si. Alur penelitian dari beberapa jenis bahan bakar tersebut mirip sehingga pada identifikasi bahaya ini diambil salah satu contoh pada penelitian bahan bakar dispersi U-7Mo/Al seperti ditunjukkan pada **Gambar 1**.

Salah satu bahaya yang diidentifikasi di dalam penelitian ini adalah bahaya kekritisan tabung reaktor dalam proses hibriding. Dalam kajian ini akan digunakan SCALE 6.1 untuk mendapatkan Keff tabung reaktor sebagai fungsi massa U-7Mo. Tabung reaktor

yang dianalisis adalah tabung besar dan kecil dengan spesifikasi di **Tabel 1**, sedangkan Komposisi material tabung terdapat di **Tabel 2**.

Tabel 1: Spesifikasi tabung reaktor [1]

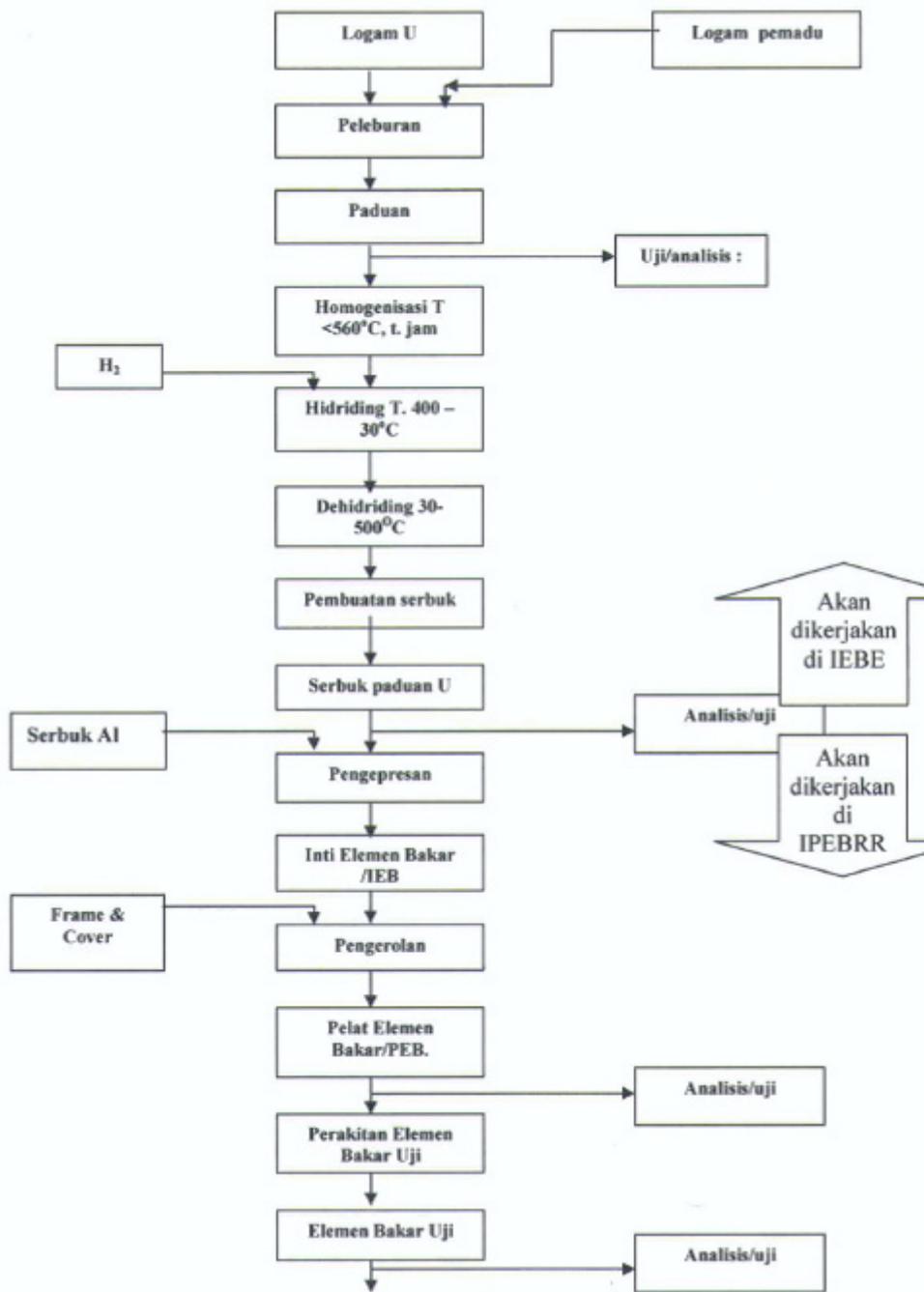
	Besar	Kecil
Tinggi tabung, cm	59,5	47,2
Jari-jari luar tabung, cm	1,4	1
Jari-jari dalam tabung, cm	1,22	0,91
Material	Kwarsa	Pyrex

Tabel 2: Spesifikasi material tabung [1]

	Kwarsa	Pyrex
Kerapatan, g/cm^3	2,648	2,23
Komposisi / Material	SiO_2	4,0052 w/o B, 53,9562 w/o o, 2,8191 w/o Na, 1,1644 w/o Al, 37,722 w/o Si dan 0,3321 w/o K

1.2. Tujuan

Tujuan dari kajian ini adalah untuk menentukan kriticalitas tabung reaktor dalam proses *hidriding*. Proses *hidriding* ini bertujuan untuk meningkatkan jumlah massa ingot paduan U-7Mo. Dalam kajian ini digunakan program SCALE 6.1 untuk mendapatkan Keff tabung reaktor untuk proses *hidriding*. Diharapkan Keff untuk tabung reaktor *hidriding* kurang dari 1 (subkritis), hal ini ditujukan untuk menghindari kecelakaan kekritisan. Tabung reaktor



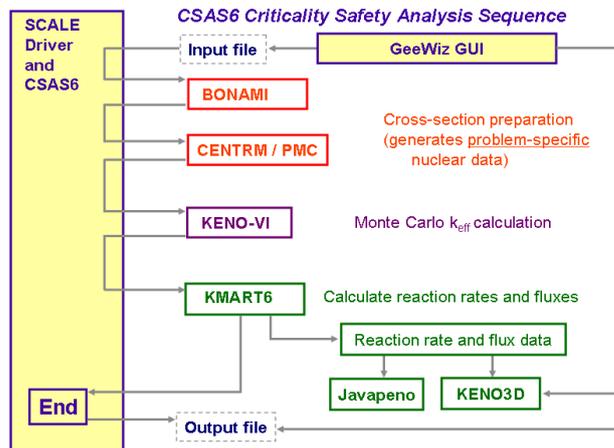
Gambar 1: Diagram Alir Penelitian [1]

yang dianalisa adalah tabung besar dan kecil dengan spesifikasi seperti yang ada di Tabel 1.

2. TEORI

2.1. Program SCALE

Program SCALE dikembangkan oleh Oak Ridge National Laboratory (ORNL), yang mana merupakan alat yang sangat mudah digunakan untuk melakukan perhitungan keselamatan kekritisan, fisika reaktor, karakteristik dari bahan bakar bekas, perisai radiasi, dan juga analisis sensitivitas dan ketidakpastian. Di dalam kajian ini, menggunakan salah satu modul program yang digunakan untuk melakukan perhitungan kekritisan maupun fisika reaktor yaitu KENO VI. Alur perhitungan analisis kekritisan dengan menggunakan KENO VI dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2: Alur perhitungan keselamatan kekritisan menggunakan Keno VI [2]

Dari **Gambar 2** dapat dilihat bahwa modul program Bonami dan Centrm/PMC digunakan untuk melakukan perhitungan *cross section* dari material. Sedangkan untuk perhitungan K_{eff} menggunakan modul program Keno VI. Metode perhitungan K_{eff} dengan modul program Keno VI pada dasarnya menggunakan perhitungan probabilistik Monte Carlo. Untuk data *cross section* ada beberapa *library* yang digunakan di dalam SCALE, seperti ditunjukkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3: Data Cross Section untuk analisis kritikalitas [3]

Name	Description	Primary source of data
v5-44 (44groupndf5)	ENDF/B-V 44-group neutron library	Collapsed from 238-group ENDF/B-V library
v5-238 (44groupndf5)	ENDF/B-V 238-group neutron library	ENDF/B-V data
v6-238	ENDF/B-VI 238-group neutron library	ENDF/B-VI Release 8
v7-238	ENDF/B-VII 238-group neutron library	ENDF/B-VII Release 0
ce_v6_endf	ENDF/B-VI.8-continuous-energy library	ENDF/B-VI Release 8
ce_v7_endf	ENDF/B-VII.0-continuous-energy library	ENDF/B-VII Release 0

2.2. Analisis kekritisan

Analisis ini terutama membahas mengenai populasi neutron di dalam suatu geometri. Salah satu besaran penting dalam analisis kekritisan adalah apa yang disebut “faktor multiplikasi”, yang disimbolkan dengan huruf “k”, juga sering disebut faktor-k. Faktor multiplikasi dirumuskan sebagai berikut [4]:

$$k = \frac{N_{(t=t_i)}}{N_{(t=t_{i-1})}} \quad (1)$$

Di mana:

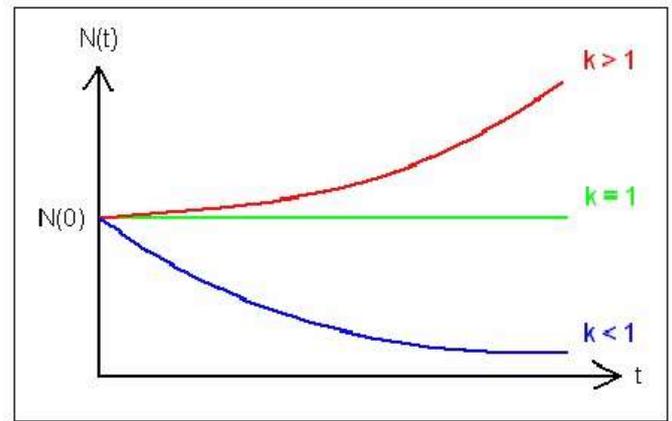
k	=	faktor multiplikasi
$N_{(t=t_i)}$	=	populasi neutron pada suatu generasi
$N_{(t=t_{i-1})}$	=	populasi neutron pada generasi sebelumnya.

Berdasarkan nilai faktor multiplikasi, terdapat 3 jenis keadaan suatu teras reaktor, yaitu:

1. $k > 1$
Disebut keadaan superkritik, di mana populasi neutron terus bertambah.
 2. $k = 1$
Disebut keadaan kritis, di mana populasi neutron tidak berubah (konstan).
 3. $k < 1$
Disebut keadaan subkritik, di mana populasi neutron terus berkurang.
- Ketiga keadaan tersebut diperlihatkan pada **Gambar 3**.

3. MODEL PERHITUNGAN

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung K_{eff} dari tabung yang digunakan untuk proses *hidriding*. Adapun material bahan bakar yang akan dilakukan proses *hidriding* adalah U-7Mo. Uranium yang digunakan dalam campuran U-7Mo mempunyai pengkayaan 19,75% dengan perbandingan berat Uranium dengan Mo adalah 93:7 dan Kerapatan untuk U-7Mo adalah 16,366 g/cm³. Sedangkan ukuran dan juga material tabung yang digunakan proses *hidriding* seperti yang ada pada **Tabel 1** dan juga **Tabel 2**.



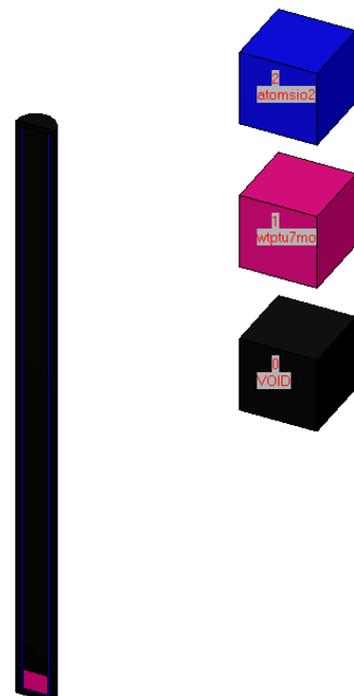
Gambar 3: Faktor Multiplikasi [1]

Ada beberapa skenario untuk mengkaji analisis kekritisan pada tabung reaktor untuk proses *hidriding*, adalah sebagai berikut:

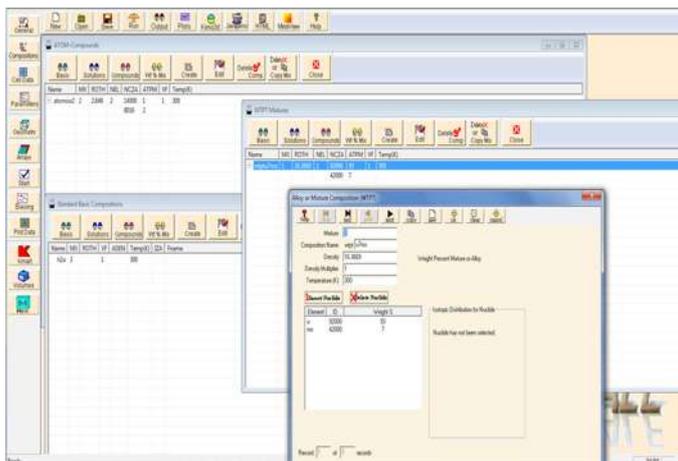
Variasi massa dari U-7Mo pada tabung reaktor untuk ukuran besar maupun kecil. Untuk variasi massa U-7Mo yang divariasikan untuk tabung besar maupun kecil bisa dilihat pada **Tabel 4**. Pemodelan perhitungan mengasumsikan adanya udara di luar tabung setebal 0,5 cm. Sedangkan pemodelan kekritisan untuk tabung besar bisa dilihat pada **Gambar 4**. Sedangkan untuk input komposisi material bisa dilihat pada **Gambar 5**.

Tabel 4: Variasi massa U-7Mo untuk tabung besardan kecil

Massa U-7Mo untuk tabung besar (gram)	Massa U-7Mo untuk tabung kecil (gram)
152,9839	85,1155
382,4598	212,7888
535,4437	297,9044
800,1058	445,1543
910,2542	803,4907
1527,8140	849,9800
2730,7630	1606,9810
4551,2710	2008,7270



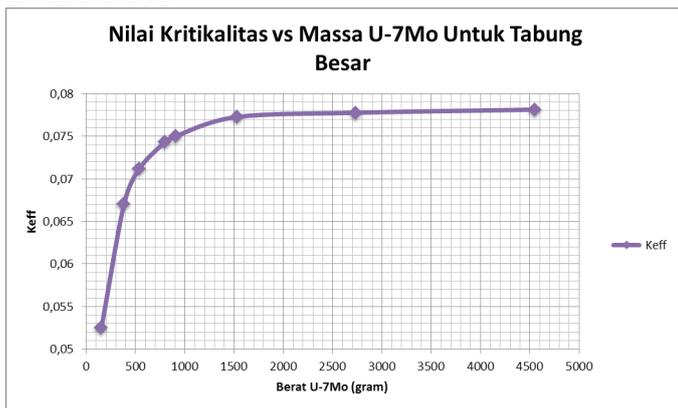
Gambar 4: Pemodelan untuk tabung besar



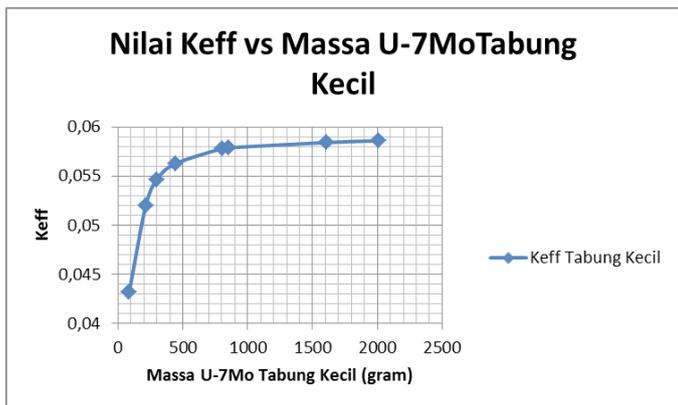
Gambar 5: Input komposisi material di SCALE

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil perhitungan menggunakan SCALE didapatkan hasil perhitungan faktor multiplikasi (Keff) pada berbagai variasi masa U-7Mo untuk tabung besar dan kecil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7. Dari Gambar 6 dan Gambar 7 dapat dilihat bahwa semakin tinggi massa U-7Mo maka akan semakin naik Keff.



Gambar 6: Nilai Kriticalitas vs Massa U-7Mo untuk Tabung Besar



Gambar 7: Nilai Keff vs Massa U-7Mo untuk Tabung Kecil

Massa maksimal untuk tabung besar adalah 4551,27 gram, dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa untuk massa maksimal di tabung besar (4551,27) memberikan nilai Keff sebesar 0,07814. Sehingga dapat disimpulkan bahwa untuk desain tabung besar dalam kondisi normal tidak akan menimbulkan kecelakaan kekritisn, hal ini dapat dilihat dari nilai Keff yang dihasilkan kurang dari 1. Sedangkan untuk tabung kecil, untuk massa maksimal U-7Mo sebesar 2088,723 gram memberikan nilai Keff sebesar 0,05862. Sehingga dapat disimpulkan bahwa untuk desain tabung kecil dalam kondisi

normal juga tidak akan menimbulkan kecelakaan kekritisn karena nilai Keff yang dihasilkan kurang dari 1.

Untuk memberikan keyakinan terhadap akurasi code SCALE yang digunakan, perlu dilakukan benchmark dengan code lain untuk perhitungan kekritisn tabung proses hidriding. Untuk penelitian ini benchmark dilakukan dengan Code MCNP. Tabel 5 menyajikan hasil benchmark antara code MCNP dengan SCALE.

Tabel 5: Perbandingan hasil MCNP dan SCALE

Massa U-7Mo (gram) tabung besar	Hasil MCNP	Hasil SCALE	Perbandingan (terhadap MCNP)
1527,73	0,07625	0,07727	1,33705%
Massa U-7Mo (gram) tabung kecil	Hasil MCNP	Hasil SCALE	Perbandingan (terhadap MCNP)
849,98	0,05780	0,05791	0,19%

Dari Tabel 5 memberikan hasil bahwa perhitungan kekritisn tabung hidriding dengan menggunakan SCALE hasilnya tidak jauh berbeda dengan hasil yang didapat dengan perhitungan MCNP. Dari hasil perbandingan di atas dapat disimpulkan bahwa hasil perhitungan kekritisn dengan menggunakan SCALE akurasinya bagus.

5. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan kekritisn dengan menggunakan program SCALE didapat kesimpulan bahwa:

1. Desain tabung besar dalam kondisi normal tidak akan menimbulkan kecelakaan kekritisn, hal ini dapat dilihat dari nilai Keff maksimal yang dihasilkan adalah 0,07814±0,00022 (kurang dari 1 untuk menghasilkan kondisi kritis).
2. Desain tabung kecil dalam kondisi normal tidak akan menimbulkan kecelakaan kekritisn, hal ini dapat dilihat dari nilai Keff maksimal yang dihasilkan adalah 0,05862±0,00017 (kurang dari 1 untuk menghasilkan kondisi kritis)
3. Hasil perhitungan tabung hidriding dengan menggunakan SCALE hasilnya tidak jauh berbeda dengan hasil yang didapat dari MCNP.

DAFTAR PUSATKA

[1] Pramuditya, AWS., (2005); "http://www.scribd.com/doc/25692769/28/Teori-Transport-Neutron," 2005. [Online]. Available: http://www.scribd.com/doc/25692769/28/Teori-Transport-Neutron; [Diakses 21 Mei 2014].

[2] BATAN, (2013); IESEE BATAN, "Identifikasi Bahaya Pemanfaatan Uranium Diperkaya (< 20%) di IESEE; IESEE BATAN, Jakarta.

[3] Bowman S., (2008); KENO-VI Primer: A Primer for Criticality Calculations with SCALE/KENO-VI Using Gee Wiz; Oak Ridge: Oak Ridge National Laboratory.

[4] ORNL, (2011); Scale: A Comprehensive Modeling and Simulation Suite for Nuclear Safety Analysis and Design; Oak Ridge: Oak Ridge National Laboratory.

[5] Lamarsh, J.R (1983); Introduction to Nuclear Engineering; Addison Wesley Publishing Company, New York.



Seminar Keselamatan Nuklir 2014

Makalah Penyaji Poster

Bidang Instalasi dan Bahan Nuklir

Prosiding
Seminar
Keselamatan
Nuklir
2014

STUDI LAHAN GAMBUT DALAM EVALUASI TAPAK PLTN

Arifin M. Susanto, Akhmad Khusyairi

P2STPIBN-BAPETEN

a.msusanto@bapeten.go.id

ABSTRAK

STUDI LAHAN GAMBUT DALAM EVALUASI TAPAK PLTN. Pemanfaatan tenaga nuklir untuk pembangkit listrik akan berkembang sesuai permintaan kebutuhan listrik yang signifikan. Kondisi geologis Indonesia yang bervariasi memberikan kriteria tertentu yang spesifik untuk masing-masing lokasi dalam rangka pemenuhan syarat keselamatan untuk pembangunan PLTN. Lahan gambut memiliki karakteristik fisik dan kimiawi yang berbeda dari tanah pada umumnya, yaitu tanah dengan tingkat keasaman tinggi, kadar air yang tinggi, dan kepadatan/densitas rendah yang memerlukan penanganan khusus bila akan dikelola sebagai tapak PLTN. Potensi lain yang umum terjadi adalah kebakaran, kebakaran biasa terjadi di kawasan lahan gambut pada musim kemarau akibat dari pembukaan lahan dan rendahnya muka air hal tersebut dapat memberikan dampak dalam integritas struktur bangunan PLTN. Api yang terpapar terhadap bangunan dengan suhu sekitar 1000°C akan menurunkan kekuatan tekan hingga sisa 16% dari kekuatan semula, sehingga dari potensi bahaya tersebut maka perlu dicermati dalam evaluasi tapak PLTN

Kata kunci: Lahan gambut, PLTN

ABSTRACT

THE STUDY OF PEAT LAND ON NPP SITE EVALUATION. Nuclear energy utilization on electricity is growing significantly as electricity demand. The varied conditions of Indonesian geologic shows specific criteria of each site to fulfill safety requirements of NPP construction. Peat land has unique physical, chemical characteristics compare with common ground soil, it's contain acid soil, high water content and low bearing capacity, those conditions need further consideration in NPP construction. Fire, other potential external hazard of peat lands usually occurred in summer due to excessive peat lands conversion and lower water table as well, the fire could affected structure integrity of NPP building. In consideration, the concrete building exposed of high temperature nearly 1000°C reducing the compressive strength in 16% remain of the actual strength, that's why all of those hazard potential need to be considered on site evaluation.

Key word: Peat land, NPP

1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan tenaga nuklir sudah berkembang sangat luas di Indonesia, baik dari sektor industri, kesehatan, dan pertanian. Dengan semakin bertambahnya populasi dan meningkatnya perkembangan teknologi dengan sendirinya menuntut pemenuhan akan kebutuhan listrik sangat signifikan. Dalam *blue print* Kebijakan Energi Nasional 2012, menyebutkan bahwa penggunaan energi baru terbarukan mendapat porsi 5% yang didalamnya termasuk nuklir, angin dan biomassa [1].

Sebagai konsekuensi dari skenario pembangunan dan pengoperasian reaktor daya (PLTN), maka Indonesia harus memiliki seperangkat peraturan yang akan digunakan sebagai pedoman, pengaturan dan pengawasan pembangunan dan pengoperasian reaktor daya yang direncanakan tersebut. Oleh karenanya BAPETEN, sebagai lembaga pemerintah yang diberi kewenangan (berdasarkan UU 10/1997 tentang Ketenaganukliran) untuk mengawasi pemanfaatan tenaga nuklir di Indonesia, perlu menyiapkan peraturan perundang-undangan seperti dimaksud di atas.

Pada tahun ini Pemerintah telah menerbitkan PP 2/2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir. Sistem perizinan PLTN diperlukan untuk pelaksanaan pembangunan PLTN agar dihasilkan PLTN yang tidak hanya mampu membangkitkan listrik secara optimal, tetapi juga selamat dalam pengoperasiannya. Dalam pasal 4 dinyatakan tahap-tahap izin dalam pembangunan PLTN yaitu izin tapak, konstruksi, komisioning,

operasi dan dekomisioning. Dalam kaitannya dengan lokasi tapak PLTN, pemohon izin tentunya akan memilih lokasi yang dekat dengan kebutuhan/*electricity demand* yang akan dilayaninya. Dalam perkembangannya calon tapak terpilih bukan tidak mungkin berada di lokasi yang tidak ideal, lokasi yang tidak cukup baik namun bila dilakukan suatu rekayasa desain, sehingga struktur, sistem, dan komponen PLTN mampu menanggulangi/menahan pengaruh lingkungan buruk di tapak seperti kondisi di lahan gambut.

Indonesia terdiri dari pulau-pulau yang memiliki kondisi struktur geologi yang sangat variatif, vulkanisme yang berbeda-beda, hingga struktur tanah yang yang membutuhkan perlakuan khusus dan solusi rekayasa untuk masing-masing lokasi.

Kajian ini bertujuan untuk menganalisis kemungkinan memasukkan aspek lahan gambut dalam evaluasi tapak PLTN dalam Perka BAPETEN tentang Evaluasi tapak PLTN. Kriteria-kriteria apa saja yang perlu diperhatikan bila akan membangun PLTN di lahan gambut, adapun lingkup kajian ini merupakan identifikasi awal faktor-faktor apa saja yang dapat mempengaruhi PLTN baik selama tahap tapak, pembangunan hingga tahap operasi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Definisi

Lahan gambut terbentuk akibat proses geogenik yaitu pembentukan tanah yang disebabkan oleh proses deposisi dan

transportasi, berbeda dengan proses pembentukan tanah mineral yang pada umumnya merupakan proses pedogenik (formasi tanah akibat proses pengendapan terus menerus) [4]. Kondisi awal ber-mula dari tergenangnya suatu dataran/benua akibat naiknya muka air, hutan-hutan yang menutupi suatu dataran tertutup oleh air, dan dalam kurun waktu yang beribu-ribu tahun, terjadi pelapukan dan berulang terus menerus. Sehingga definisi gambut adalah lahan yang terbentuk dari timbunan sisa-sisa tanaman yang telah mati, baik yang sudah lapuk maupun belum. Timbunan terus bertambah karena proses dekomposisi terhambat oleh kondisi anaerob dan/atau kondisi lingkungan lainnya yang menyebabkan rendahnya tingkat perkembangan biota pengurai.

2.2. Kondisi Lingkungan Gambut

Luas lahan gambut di Asia Tenggara mencapai 27,1 juta hektar, atau sekitar 10% dari luas daratannya. Sedangkan Indonesia memiliki luas gambut 22,5 juta hektar, setara dengan 12% dari seluruh luas daratannya. Luasan gambut di Indonesia tersebut merupakan 83% dari seluruh luas gambut se-Asia Tenggara [5]. Gambut terbentuk dari lingkungan yang khas, yaitu rawa atau suasana genangan yang terjadi hampir sepanjang tahun. Kondisi langka udara (rendah oksigen) akibat genangan, ayunan pasang surut, atau keadaan yang selalu basah telah mencegah aktivitas mikro-organisme yang diperlukan dalam perombakan (reduksi). Laju penimbunan gambut dipengaruhi oleh perpaduan antara keadaan topografi dan curah hujan dengan curahan perolehan air yang lebih besar dari pada kehilangan air serta didukung oleh sifat tanah dengan kandungan fraksi debu (*silt*) yang rendah. Air yang menggenangi lahan mengurangi proses pelapukan dari bahan-bahan pembentuk gambut yaitu bahan utama adalah kayu/polifenol/aromatik yaitu-rebahan pohon tua (sisa *logging*); bagian titik tumbuh seperti akar, daun, pucuk; dan sedimentasi mineral dari hasil erosi di hulu yaitu *clay/silt/sandyang* dapat tercampur atau membentuk lapisan/*layer* tersendiri. Keadaan yang tergenang terus menerus menjadikan tingkat keasaman air menjadi sangat rendah, $\text{pH} < 4$, hal tersebut menjadikan air sangat korosif, sehingga banyak vegetasi-vegetasi yang tidak dapat tumbuh.

Ketebalan gambut pada setiap bentang lahan adalah sangat tergantung pada: 1) proses penimbunan yaitu jenis tanaman yang tumbuh, kerapatan tanaman dan lama pertumbuhan tanaman sejak terjadinya cekungan tersebut, 2) proses kecepatan perombakan gambut, 3) proses kebakaran gambut, dan 4) perilaku manusia terhadap lahan gambut.

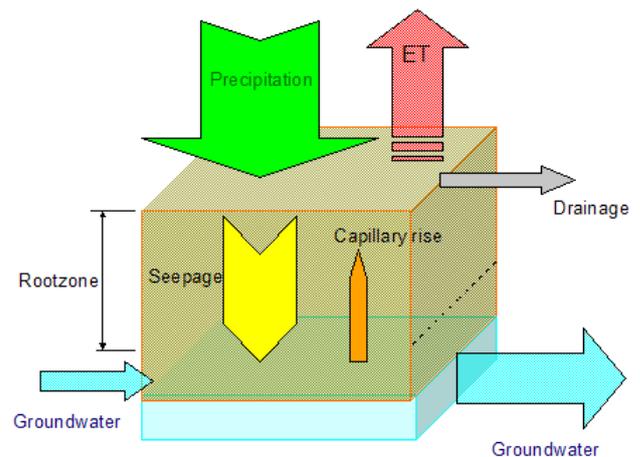
Kondisi luasnya lahan gambut yang tergenang oleh air menjadikannya sebagai suatu kesatuan hidrologis. Kesatuan tersebut meliputi air tanah, pasang surut air laut, limpasan dari daerah aliran sungai (DAS), dan genangan-genangan yang terjadi akibat perbedaan topografi. Sehingga perubahan hidrologis dari salah satu penyumbang air lahan gambut tersebut akan mempengaruhi seluruh kondisi airlahan tersebut.

Proses reduksi yang terjadi menjadikan lahan gambut terklasifikasi menjadi 4 kelas kematangan:

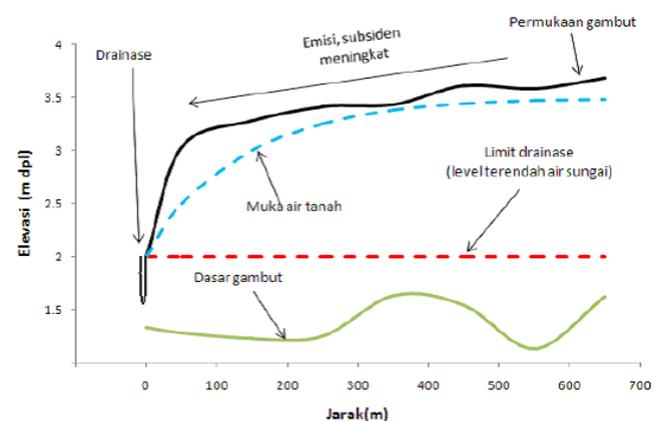
- c. *Folist*, tumpukan dedaunan atau ranting yang relatif segar dan airnya jernih.
- d. *Fibrists*, bahan organik yang belum atau baru terdekomposisi \rightarrow $\frac{2}{3}$ berupa jaringan.
- e. *Hemists*, tingkat dekomposisi bahan organik tengah berlangsung \rightarrow $< \frac{2}{3}$ dan $> \frac{1}{3}$ berupa jaringan.
- f. *Saprist*s, gambut yang tingkat dekomposisinya telah lanjut, biasanya berwarna hitam atau coklat kelam \rightarrow $\frac{1}{3}$ berupa jaringan.

Semakin matang (*saprist*) adalah kondisi dari seluruh bahan organik telah berubah menjadi tanah, ketebalan gambut pada kondisi ini telah berkurang dibanding tiga kondisi di atas. Ketebalan lahan gambut bervariasi dari sekitar 5 meter hingga 20 meter kon-

disi ini tentu dipengaruhi oleh faktor-faktor di atas. **Gambar 2** merupakan penampang lintang dari lahan gambut



Gambar 1: Alur presipitasi pada lahan gambut

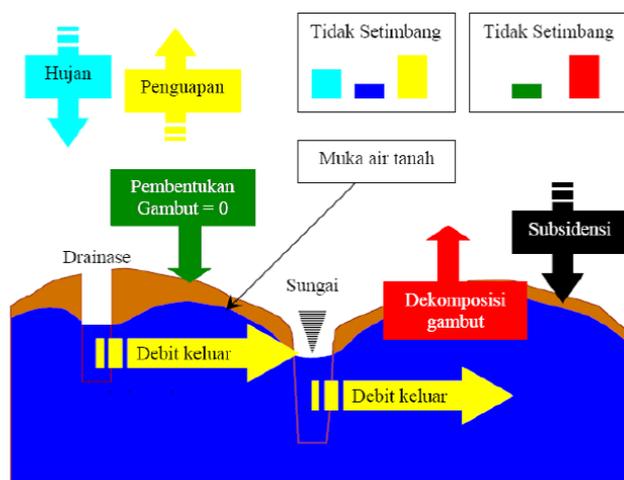


Gambar 2: Penampang lintang lahan gambut

Gambar 2 menunjukkan bahwa lahan gambut merupakan suatu lapisan yang berada di atas suatu formasi tanah tertentu, kondisi tanah di bawah lapisan gambut memiliki tipe yang berbeda untuk tiap lokasi, umumnya berupa pasir, lempung, tapi tetap perlu dilakukan penyelidikan lebih lanjut terhadap struktur penyusun tanah di bawah lahan gambut dengan metode *boring*, dll.

Dalam kondisi alami, permukaan lahan gambut mengalami penurunan pada musim kemarau dan mengalami kenaikan pada musim penghujan. Amplitudo fluktuasi penurunan dan kenaikan permukaan lahan gambut tersebut dipengaruhi oleh curah hujan, jenis vegetasi, dan pasang surut terutama gambut tropis seperti Indonesia. Menurut Eggelsmann (1982) [3], gejala fluktuasi tersebut sebagai akibat adanya evaporasi yang berlebihan pada musim panas dan di pihak lain terjadi genangan karena curah hujan yang berlebih di musim dingin/hujan.

Selain unsur-unsur organik, penyusun utama lahan gambut adalah air, selama keseimbangan air tersebut tidak terganggu maka akan lahan gambut akan tetap terbasahi dan kecil kemungkinan untuk terjadi kebakaran, dan proses reduksi akan terus berlangsung. Kondisi lahan gambut tersebut tentu tidak memiliki *bearing capacity* yang baik untuk mampu menahan/menopang struktur yang berada di atas lahan tersebut. Oleh karena itu muncul istilah pembukaan/konversi lahan gambut, pembukaan lahan gambut merupakan proses normalisasi dengan menggunakan pengaturan drainase hidrologis lahan gambut. Proses tersebut umum dilakukan bila akan melakukan pemanfaatan lahan gambut untuk pertanian, lading, maupun pembangunan struktur infrastruktur.



Gambar 3: Metode Konversi Lahan Gambut

2.3. Pembukaan/Konversi Lahan Gambut dan Permasalahannya

Pembukaan lahan dan pemanfaatan di tanah gambut memerlukan metode khusus yang berbeda dengan tanah mineral. Hal penting yang perlu diperhatikan dalam pengelolaan tanah gambut adalah:

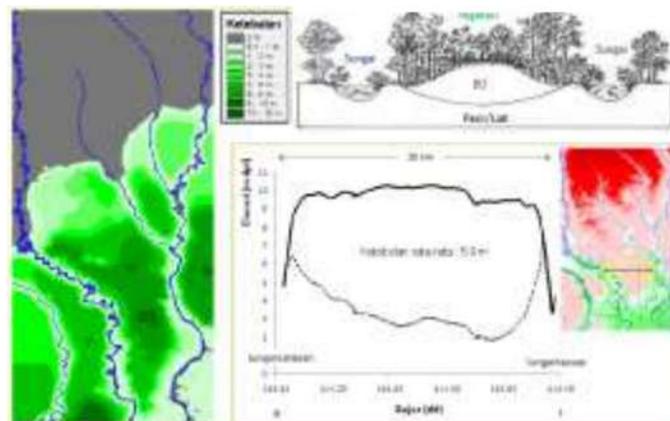
- Ketebalan, kematangan serta sifat fisik dan kimia gambut.
- Kemungkinan banjir serta sifat air.
- Pengaturan tinggi permukaan air tanah. Pengaturan “trio tata air” yaitu saluran drainase, tanggul dan pintu air.
- Penurunan permukaan tanah gambut setelah didrain (keringkan).

Secara umum metode konversi dari Gambar 3 di atas berfungsi untuk menurunkan level air yang menggenangi lahan gambut, tingkat kejenuhan air lahan gambut dikurangi, namun level muka air yang turun mempunyai dampak negatif terhadap sifat lahan gambut tersebut. Lahan gambut yang tidak terairi akan menjadikannya menjadi asam, akibat terjadinya proses oksidasi bertemunya unsur organik dengan oksigen, proses oksidasi menjadikan lahan gambut mengalami *subsidence*/penurunan ketinggian gambut, sehingga rawan amblesan.

Drainase dan pembukaan lahan gambut berarti mengintervensi kondisi alami yang ada. Apabila lahan gambut didrainase, maka laju subsiden permukaan gambut dipercepat, di pihak lain laju penaikan permukaan gambut menjadi tidak ada. Kecepatan subsiden tergantung pada banyak faktor, antara lain tingkat kematangan gambut, tipe gambut, kecepatan dekomposisi, kepadatan dan ketebalan gambut, kedalaman drainase, iklim, serta penggunaan lahan [17,19,25].

Kubah gambut umumnya terbentuk dari penumpukan bahan organik selama ribuan tahun diantara dua sungai utama. Dalam kondisi alami, air tanah mendekati permukaan sehingga lingkungan kubah gambut secara alami dalam kondisi anaerobik. Dalam kondisi anaerobik proses dekomposisi bahan organik sangat terbatas, dan demikian pula emisi CO₂ sangat terbatas.

Dalam beberapa dekade terakhir ini hutan di lahan gambut mulai dieksploitasi melalui deforestasi, didrainase dan dikeringkan untuk pengembangan kebun kelapa sawit, hutan tanaman industri, pertanian dan penebangan kayu. Sebagai akibat dari drainase yang berlebihan terjadi penurunan permukaan air tanah, dan ketebalan gambut mulai menipis melalui proses subsiden. Drainase mengubah suasana anaerobik menjadi aerobik, sehingga terjadi dekomposisi bahan organik dengan adanya proses oksidasi. Kondisi aerobik meningkatkan potensi kebakaran lahan gambut. Kebakaran yang terjadi akan sangat membahayakan bagi pembangunan suatu konstruksi, dan kelangsungan hidup manusia.



Gambar 4: Kesatuan hidrologis Lahan Gambut

3. PEMBAHASAN

Proses pembangunan PLTN harus memenuhi segala tahapan sesuai dengan PP 2/2014. Pemohon izin harus dapat meyakinkan bahwa lokasi yang terpilih dapat dijamin aman terhadap faktor alam eksternal. Secara umum kondisi tanah gambut memiliki beberapa karakteristik yang dapat mempengaruhi keselamatan Sistem, Struktur dan Komponen (SSK) PLTN yaitu:

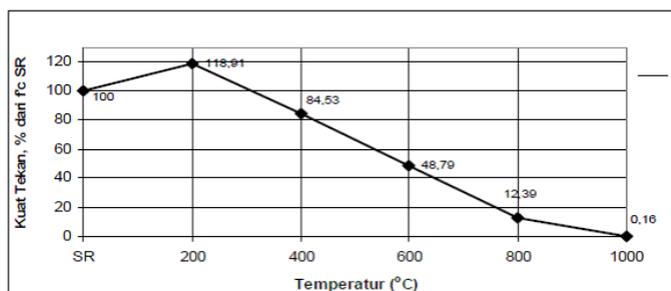
- Kondisi lahan gambut yang tergenang air terus menerus
- Kesatuan hidrologis pada lahan gambut
- Rawan amblesan akibat dekomposisi bahan organik
- Sifat kimia tanah yang asam
- Ketebalan gambut yang variatif
- Struktur tanah di bawah lapisan gambut yang berbeda-beda.
- Bahaya potensi kebakaran lahan gambut.

3.1. Aspek Hidrologi

Faktor hidrologi pembentuk lahan gambut menjadi perhatian khusus, terutama terhadap sebaran dispersi zat radioaktif bila terjadi kecelakaan. Perka BAPETEN 3/2008, Pasal 62 yang salah satunya menyatakan tentang pencarian “informasi karakteristik hidrologis, fisis, kimia fisik dan biologis mempengaruhi dispersi dan retensi zat radioaktif”. Data-data yang didapat merupakan data dari hasil pemantauan baik untuk air permukaan dan air tanah, berikut pola aliran dari sungai, pasang surut air laut, kecepatan alir. Informasi tersebut sangat dibutuhkan dalam rangka program kedarutan nuklir baik pencegahan dan penanggulangan. Gambar 4 menunjukkan keterkaitan hidrologis pada suatu lahan gambut.

Dalam Tinjauan Pustaka dijelaskan kondisi air yang dikandung oleh gambut, tidak mungkin suatu bangunan dapat didirikan di atas tanah yang sangat labil, maka dalam diskusi dengan Teknik Sipil UGM tentang proses persiapan tapak pada lahan gambut disimpulkan bahwa perlu perhatian khusus terhadap sifat kimia air yaitu sifat korosifitas air gambut terhadap kekuatan beton, sebelum konstruksi, lahan gambut harus di konversi terlebih dahulu, proses pertama kali yaitu dengan menanggul wilayah sekitar tapak, penanggulangan ini dilakukan untuk meminimalisir limpasan, resapan air lahan gambut, selain itu juga untuk mengurangi dampak konversi gambut terhadap kesatuan hidrologi air dari lahan gambut. Lalu baru dilakukan konversi dengan metode yang umum dilakukan. Luasan wilayah yang ditanggul bergantung dengan desain PLTN yang akan dibangun, termasuk nuclear island dan non nuclear island.

Lapisan gambut tidak mempunyai kapasitas tahanan untuk mampu menopang berat struktur, oleh karena itu perlu dilakukan pengupasan lapisan gambut hingga lapisan tanah. Lapisan tanah mempunyai sifat seperti lapisan tanah umumnya, dengan dikupasnya lapisan gambut maka seluruh karakteristik, sifat kimia gambut telah hilang.



Gambar 5: Degradasi Kuat Tekan Beton terhadap Temperatur [20]

3.2. Aspek Geoteknik

Lapisan bawah gambut umumnya berupa lapisan pasir maupun tanah liat (lapisan tanah lunak), dalam melakukan penyelidikan kondisi tanah, pemohon izin harus memenuhi persyaratan sesuai dengan Perka BAPETEN 4/2008 tentang Evaluasi Tapak Reaktor Daya Untuk Aspek Geoteknik Dan Pondasi Reaktor Daya, dan harus dapat menjamin bahwa tapak PLTN beroperasi selamat.

3.3. Aspek Kejadian Eksternal

Lokasi PLTN yang terletak di kawasan lahan gambut mempunyai potensi terhadap kebakaran gambut. Deforestasi, pembukaan lahan yang tidak bertanggung jawab, serta konversi yang tidak sesuai kriteria dapat menjadikan lahan bersifat aerob, dan mudah terbakar.

Sifat kebakaran yang terjadi di kawasan hutan dan lahan gambut berbeda dengan yang terjadi di kawasan hutan dan lahan tanah mineral (bukan gambut). Di kawasan bergambut, kebakaran tidak hanya menghancurkan tanaman dan vegetasi hutan serta lantai hutan (*forest floor*) termasuk lapisan serasah, dedaunan dan bekas kayu yang gugur, tetapi juga membakar lapisan gambut baik di permukaan maupun di bawah permukaan.

Berdasarkan pengamatan lapangan [22] ada dua tipe kebakaran lapisan gambut, yaitu tipe lapisan permukaan dan tipe bawah permukaan. Tipe yang pertama dapat menghancurkan lapisan gambut hingga 10–15 cm, yang biasanya terjadi pada gambut dangkal atau pada hutan dan lahan berkegiatan muka air tanah tidak lebih dari 30 cm dari permukaan. Pada tipe yang pertama ini, ujung api bergerak secara zigzag dan cepat, dengan panjang proyeksi sekitar 10–50 cm dan kecepatan menyebar rata-rata 3,83 cm/jam (atau 92 cm/hari).

Tipe yang kedua adalah terbakarnya gambut di kedalaman 30–50 cm di bawah permukaan. Ujung api bergerak dan menyebar ke arah kubah gambut (*peat dome*) dan perakaran pohon dengan kecepatan rata-rata 1,29 cm/jam (29 cm/hari). Kebakaran tipe kedua ini paling berbahaya karena menimbulkan kabut asap gelap dan pekat, dan melepaskan gas pencemar lainnya ke atmosfer. Di samping itu, kebakaran tipe ke-2 ini sangat sulit untuk dipadamkan, bahkan oleh hujan lebat sekalipun.

Dari uraian di atas jelas bahwa kebakaran hutan dan lahan gambut dapat menimbulkan dampak/akibat buruk yang lebih besar dibandingkan dengan kebakaran yang terjadi di kawasan tidak bergambut (tanah mineral). Bila kebakaran mengenai struktur PLTN, kekuatan struktur akan terganggu, sebagai perbandingan dengan struktur bangunan biasa, struktur yang mengalami pemanasan bertahap, hingga suhu 1000°C akan mengalami penurunan kekuatan tekan beton hingga 100%. Menurut Tjokrodimulyo (2000) [23], bila pasta semen dipanasi, dari suhu kamar sampai sekitar 200°C, kekuatannya tampak sedikit meningkat, karena ketika sedikit di atas 100°C air bebas serta air yang terserap dalam pasta menguap, selanjutnya ketika jauh di atas 100°C air yang secara kimiawi terikat erat dalam pasta juga menguap. Selanjutnya panas dinaikkan lagi kekuatan beton menurun. Pada suhu antara 400–600°C kalsium

hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) berubah komposisi menjadi kalsium oksida (CaO) yang sama sekali tidak mempunyai kekuatan. Selanjutnya di atas suhu 600°C atau 700°C unsur hasil hidrasi yang lain berubah komposisi sehingga kekuatan beton kehilangan kekuatan sama sekali, sebagaimana tampak pada gambar berikut.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Sulendra, et al. [21] pada suhu 1000°C tulangan beton dengan dimensi beton $400 \times 200 \times 200 \text{ mm}^3$, mengalami penurunan penurunan tegangan luluh, tegangan maksimum, tegangan patah, modulus elastisitas dan mengalami kenaikan regangan maksimum masing-masing sebesar 19,42%, 11,85%, 18,30%, 5,99% dan 31,69%, dari kekuatan semula. Fenomena tersebut merupakan karakteristik umum dari beton dan tulangan, tidak ada perbedaan antara beton biasa dan beton kekuatan tinggi dalam pengaruh beton terhadap api, berikut juga desain beton terhadap api. Maka fenomena tersebut juga dapat terjadi pada beton untuk containment, penurunan tersebut bila mengenai bangunan reaktor akan mengurangi integritas kekuatan beton sebagai pertahanan terakhir sebaran zat radioaktif.

Dalam desain beton tahan api beberapa faktor yang dapat digunakan untuk meningkatkan ketahannya terhadap api adalah penggunaan beton tahan api perlu diaplikasikan untuk mengurangi pengaruh buruk kenaikan suhu, seperti penggunaan semen tahan api, penambahan admixture dll, atau dengan mendesain ketebalan kulit beton seperti salah standar yaitu ACI 216.1–06 untuk kolom dengan kekuatan tekan di atas 12000 psi mensyaratkan minimum kolom sebesar 24” agar dapat bertahan terhadap api dan banyak metode lain yang dapat digunakan akan tetapi perlu diusahakan beton tidak mengalami pemanasan berlebih, seperti terpapar api, uap panas.

Pencegahan kebakaran juga dapat dilakukan pada kondisi hidrologis lahan gambut itu sendiri, menurut Saharjo (2003) [16] mengemukakan bahwa gambut merupakan bahan bakar yang berada di bawah permukaan, maka gambut juga merupakan salah satu penyusun bahan bakar bawah. Bahan bakar bawah memiliki kadar air yang lebih tinggi, pola kebakaran terjadi dari kebakaran yang ada dipermukaan lalu penetrasi panas dialirkan ke bawah permukaan melalui unsur organik, pori-pori, karena kadar air yang rendah maka kebakaran menjalar ke bawah. Kebakaran tersebut dinamakan smoldering combustion/pembakaran tanpa dibantu oksigen (angin). Musim kemarau merupakan musim di mana sering terjadi kebakaran lahan gambut, muka air yang rendah dibarengi dengan surutnya air sehingga mudah menyebabkan kebakaran.

Pengaturan water table merupakan salah satu cara pencegahan terjadinya kebakaran, menurut PP 150/2000 tentang Kriteria Kerusakan Tanah untuk Produksi Biomassa, menyebutkan bahwa salah satu kriteria kerusakan tanah untuk lahan basah (rawa) adalah kedalaman air tanah dangkal > 25 cm.

4. KESIMPULAN

Pembangunan PLTN memerlukan investigasi tapak yang sangat mendalam, terutama dalam pemilihan tapak harus memperhatikan skala investigasi, skala regional, *nearregional*, *site vicinity*, hingga *site area*, selain ketiga aspek di atas, sehingga tapak desain PLTN nantinya harus mampu mengatasi pengaruh buruk dari tapak. Lokasi tapak PLTN pada lahan gambut akan menghadapi beberapa kondisi karakteristik gambut yang dapat mempengaruhi integritas SSK PLTN, sehingga diperlukan perhatian khusus terhadap aspek-aspek di atas. Solusi rekayasa dapat diperlukan bila dalam investigasi terdapat aspek-aspek yang tidak ideal.

Kebakaran umum terjadi di lahan gambut, dan merupakan salah satu penyebab utama kerusakan beton, panas yang berlebih akan mengurangi kekuatan tekan beton, begitu juga dengan pelemahan kekuatan tulangan beton, perlu diperhatikan desain struktur bangunan PLTN yang tahan terhadap api, desain bangunan

yang mampu menahan suhu tertentu dengan kurun waktu tertentu sebelum/selama sistem proteksi kebakaran bekerja, oleh karena itu perlu pencegahan agar api tidak mengenai beton.

Kebakaran dapat dikurangi dengan menjaga kedalaman air permukaan gambut sesuai standar yang ada untuk menjaga kadar air dari gambut bawah permukaan, sehingga akan mengurangi potensi kebakaran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] DEN (2010); *Naskah Akademik Kebijakan Energi Nasional 2010–2050*; Dewan Energi Nasional. Jakarta.
- [2] DEN (2012); *Rancangan Kebijakan Energi Nasional. Bahan Presentasi*; Dewan Energi Nasional. Jakarta.
- [3] Eggelsmann, R., (1982); *Peatland polders of Northwestern Germany: Proc. Intern. Symp. "Polders of the World" Vol. 1, p.p. 48–57*; Wageningen/Netherlands.
- [4] Hardjowigeno, S., Ismangun, Soekardi, M. (1996); *Pedoman Klasifikasi seri tanah. LREPP II Part C Lap. Teknis No. 1 Versi 3.0, Dua Bahasa*; Puslittanak, Bogor.
- [5] Hooijer, A., Silvius, M., Wösten, H., Page, S., (2006); *PEAT-CO₂, Assessment of CO₂emissions from drained peat lands in SE Asia*; Delft Hydraulics report Q3943.
- [6] Puput Wawan, (N.D.); [http://puputwawan.wordpress.com, Land Clearing \(Pembukaan Lahan\) Gambut Kelapa Sawit](http://puputwawan.wordpress.com/Land-Clearing-(Pembukaan-Lahan)-Gambut-Kelapa-Sawit).
- [7] Cement, (N.D.); http://www.cement.org/buildings/high_strength_fire.asp.
- [8] (2011); *Konsultasi langsung dengan Prof. Azwar Maas*; PSSL UGM, Yogyakarta.
- [9] Kurnain, A, (N.D.); *Kebakaran Hutan Dan Lahan Gambut: Karakteristik dan Penanganannya*; Fakultas Teknik Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat.
- [10] Maas, A., (2008); *Gatra Tanah Untuk Budidaya Dan Kelestarian Lingkungan, Presentasi Pelatihan Serbacakup Pengelolaan Lahan rawa Berkesinambungan dan Berwawasan*; Bandung.
- [11] Maas, A. (2009); *Presentasi 'Kaidah Lingkungan Gambut dalam Mencegah Kerusakan Lahan Gambut'*; Riau.
- [12] Republik Indonesia (2000); *PP Nomor 150 Tahun 2000 tentang Kriteria Kerusakan Tanah Untuk Produksi Biomassa*; Kemenkumham.
- [13] Republik Indonesia (2014); *PP Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir Dan Pemanfaatan Bahan Nuklir*; Kemenkumham, Jakarta.
- [14] Rais, D.S., (N.D.); *Lahan Gambut Indonesia Dan Target Penurunan Emisi Karbon*; Wetlands International.
- [15] Republik Indonesia (2006); *Perpres No 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional*; Sekretaris Kabinet. Jakarta.
- [16] Saharjo, B.H. (2003); *Kebakaran Gambut. Kompas-Online, 21 Juli 2003*; www.kompas.com/kompas-cetak/0307/21/ilpeng/440416.htm.
- [17] Salmah, Z., et.al. (1994); *Importance of water management in peat soil at farm level. In: B.Y. Aminuddin (Ed.). Tropical Peat; Proceedings of International Symposium on Tropical Peatland, 6–10 May 1991*; Kuching, Sarawak, Malaysia.
- [18] Slamet, B. (2008); *Karya Ilmiah tentang Manajemen Hidrologi di Lahan Gambut*; Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara, Medan.
- [19] Stewart, J.M. (1991); *Subsidence in cultivated peatlands. In: B.Y. Aminuddin (Ed.). Tropical Peat, Proceedings of International Symposium on Tropical Peatland, 6–10 May 1991*; Kuching, Sarawak, Malaysia.
- [20] Suhendro, B., (2000); *Analisis Degradasi Kekuatan Struktur Beton Bertulang Pasca Kebakaran. Kursus Singkat Evaluasi dan Penanganan Struktur Beton yang Rusak Akibat Kebakaran dan Gempa. di UGM. 24–25 Maret 2000*; UGM, Yogyakarta.
- [21] Sulendra, I.K., Tatong, B., (N.D.); *Analisis Material Beton Bertulang Pasca Kebakaran Dan Metode Perbaikan Elemen Strukturnya*.
- [22] Takahashi, H., et.al., (2008); *Peat fire, air pollution and hydrological process in a tropical peatland, Central Kalimantan*; UNPARHOKAIDO.
- [23] Tjokrodiluljo, K., (2000); *Pengujian Mekanik Laboratorium Beton Pasca Bakar*; PAU Ilmu Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [24] Republik Indonesia, (1997); *Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran*; Kemenkumham, Jakarta.
- [25] Wösten, J.H.M., Ismail, A.B., and van Wijk, A.L.M. (1997); *Peat subsidence and its practical implications: a case study in Malaysia*; Geoderma 78:25–36.



Seminar Keselamatan Nuklir 2014 Makalah Penyaji Poster Bidang Instalasi dan Bahan Nuklir

Prosiding
Seminar
Keselamatan
Nuklir
2014

STUDI PERBANDINGAN REGULASI KETENTUAN PENILAIAN KESELAMATAN BERKALA REAKTOR NONDAYA DI INDONESIA

Ninie Ramayani*, Amil Mardha*, Syarip**

* Direktorat Pengaturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN, Jl. Gajah Mada No. 8 Jakarta

** Pusat Teknologi Sains dan Teknologi Akselerator, BATAN, Jl. Babarsari No. 21 Yogyakarta

Email: n.ramayani@bapeten.go.id

ABSTRAK

STUDI PERBANDINGAN REGULASI KETENTUAN PENILAIAN KESELAMATAN BERKALA REAKTOR NONDAYA DI INDONESIA. Telah dilakukan suatu kajian terhadap ketentuan keselamatan berkala reaktor nondaya dan komparasinya dengan pedoman keselamatan khusus (SSG-25) yang diterbitkan oleh IAEA dengan ketentuan peraturan perundang-undangan ketenaganukliran. IAEA SSG-25 merupakan pedoman keselamatan yang baru, diterbitkan oleh IAEA pada tahun 2013, memuat ketentuan penilaian keselamatan berkala untuk PLTN. Sejauh ini IAEA belum pernah menerbitkan ketentuan penilaian keselamatan berkala (PKB) secara khusus untuk reaktor nondaya, sementara di Indonesia telah diterbitkan beberapa ketentuan terkait PKB secara global termasuk untuk reaktor nondaya. Di dalam makalah ini dikaji lebih rinci hal-hal terkait PKB tersebut dengan merujuk pada IAEA SSG-25. Metode kajian adalah dengan melakukan komparasi substansi ketentuan pada dokumen Peraturan Pemerintah (PP) maupun Peraturan Kepala (PERKA) BAPETEN yang ada dengan IAEA SSG-25, kemudian diseleksi beberapa item agar sesuai dengan situasi dan kondisi reaktor nondaya di Indonesia. Hasil kajian menunjukkan bahwa PP 54/2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir dan PP 2/2014 tentang Perizinan instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir telah memuat secara umum ketentuan PKB untuk reaktor nondaya, sedangkan pada PERKA BAPETEN 2/2011 juga telah dimuat secara lebih rinci tentang PKB reaktor nondaya, tetapi format dan isi laporan belum diatur dalam peraturan yang sudah ada. Oleh karena itu perlu ada PERKA BAPETEN yang baru yang lebih komprehensif dan implementatif mengatur tentang ketentuan, format dan isi PKB reaktor nondaya dengan mensinergikan ketentuan yang tertuang di dalam PP 54/2012, PP 2/2014, PERKA BAPETEN 2/2012, dan IAEA SSG-25/2013.

Kata Kunci: penilaian keselamatan berkala, reaktor nondaya, peraturan

ABSTRACT

COMPARATIVE STUDY OF REGULATORY PROVISION ON PERIODIC SAFETY REVIEW OF NON-POWER REACTORS IN INDONESIA. An assessment on provision of periodic safety review of non power reactor and the comparison between periodical safety review related regulations and IAEA specific safety guidelines (SSG) on it, have been conducted. The IAEA SSG-25 is a new safety guidelines issued by the IAEA (2013), containing periodical safety review guidelines for nuclear power plants. The IAEA has not published yet a periodical safety review (PSR) guideline for non-power reactors, while Indonesia has issued several regulations related to PSR including non-power reactors in general. This paper describes analysis in more detail on provisions related to PSR referring to SSG-25. The analysis method used in this paper is literature study of Government Regulations (GR), BAPETEN Chairman Regulation (BCR), and IAEA SSG-25, and then adoption and adaption process according with the circumstances of the non-power reactors in Indonesia. The results of the study show that the GR No. 54 Year 2012 on Safety and Security of Nuclear Installation and GR No. 2 Year 2014 on The Licensing of Nuclear Installation and Utilization of Nuclear Material contain general technical provisions of PSR for non-power reactors, the BCR No. 2 Year 2011 regulates in more detail on the non-power reactors PSR. However there is no provisions on format and content of PSR in those regulations. Therefore, a new BCR on specific PSR for non-power reactors in Indonesia is necessary issued. It will be stipulated more comprehensive provisions on format and content of PSR of non power reactor with synergizing provisions among the GR-54/2012, GR-2/2014, BCR-2/2012, and the IAEA SSG-25/2013.

Keywords : periodic safety review, non-power reactor, regulation.

1. PENDAHULUAN

Penilaian keselamatan berkala (PKB) untuk fasilitas nuklir termasuk reaktor (reaktor nondaya) di Indonesia secara umum telah diatur di dalam beberapa peraturan seperti PP 54/2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir, PP 2/2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir, dan PERKA BAPETEN 2/2011 tentang Ketentuan Keselamatan Operasi Reaktor Nondaya. Sementara IAEA sebagai lembaga internasional dalam bidang ketenaganukliran belum pernah menerbitkan ketentuan dan pedoman khusus mengatur PKB untuk reaktor nondaya. Ketentuan yang ada adalah khusus untuk reaktor daya (PLTN) yaitu

di IAEA-SSG-25 tentang Periodic Safety Review for Nuclear Power Plants yang terbit tahun 2013.

Penilaian keselamatan berkala pada umumnya dilakukan banyak negara yang mempunyai PLTN seperti di negara Inggris dan Jerman, namun ada juga untuk reaktor nondaya seperti reaktor Opal di Australia dan reaktor Triga di Slovenia.

PKB merupakan penilaian yang terintegrasi komprehensif yang dapat memberikan gambaran lengkap tentang penilaian terhadap status keselamatan reaktor nuklir. PKB juga memberikan dasar untuk evaluasi kecukupan dan keefektifan dari susunan struktur, sistem, dan komponen yang ada untuk menjamin keselamatan reaktor nuklir sampai kegiatan PKB berikutnya, atau sampai

akhir waktu pengoperasian yang telah direncanakan. PKB dapat digunakan sebagai masukan atau evaluasi untuk perpanjangan izin operasi.

Mengingat pentingnya aspek keselamatan terkait pemanfaatan reaktor nondaya, dan ketentuan tentang PKB telah tertuang secara parsial pada PERKA BAPETEN 2/2011, maka dipandang perlu adanya ketentuan khusus yang mengatur PKB reaktor nondaya secara lebih rinci dan komprehensif termasuk format dan isi laporan. Untuk itu kajian studi perbandingan mengenai ketentuan PKB reaktor nondaya dan pengalaman implementasinya dari berbagai negara perlu dilakukan sebagai bahan masukan penyusunan PERKA BAPETEN tentang PKB tersebut.

Ruang lingkup PKB harus mencakup semua aspek keselamatan dari reaktor nondaya dan harus disetujui oleh Badan Pengawas. Penilaian mencakup semua fasilitas dan struktur, sistem, dan komponen (SSK) yang ada di lokasi dilakukan bersama-sama oleh seluruh manajemen pemegang izin.

2. TATA KERJA

Metode yang digunakan di dalam melakukan kajian studi ini adalah dengan melakukan komparasi item-item/norma-norma PKB yang tertuang di dalam dokumen/ketentuan Peraturan Pemerintah (PP) maupun PERKA BAPETEN yang ada dengan aturan pada IAEA SSG-25, kemudian diseleksi beberapa item agar sesuai dengan situasi dan kondisi reaktor nondaya di Indonesia. Selain itu dilakukan diskusi dengan nara sumber yang berasal dari pemegang izin (PI) yang ada di Indonesia.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelusuran terhadap ketentuan PKB reaktor nondaya di Indonesia secara umum telah diatur di dalam PP 2/2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir [1].

Dalam hal PI hendak melakukan perpanjangan izin operasi reaktor nondaya, di dalam Pasal 48 ayat (4) huruf b PP 2/2014 diamanatkan bahwa PI harus melampirkan laporan penilaian keselamatan berkala. Selanjutnya laporan PKB tersebut di dalam penjelasan PP tersebut diuraikan antara lain memuat:

1. desain instalasi nuklir;
2. kondisi terkini struktur, sistem, dan komponen;
3. kualifikasi peralatan;
4. penuaan;
5. kinerja keselamatan dan umpan balik pengalaman operasi;
6. manajemen keselamatan dan program kesiapsiagaan nuklir; dan
7. dampak radiologi pada lingkungan hidup.

Pada PP 54/2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir [2], Pasal 39 menyatakan bahwa penilaian keselamatan wajib dilakukan secara berkala yang meliputi penilaian terhadap:

1. desain instalasi nuklir;
2. kondisi terkini struktur, sistem, dan komponen;
3. kualifikasi peralatan;
4. penuaan;
5. kinerja keselamatan dan umpan balik pengalaman operasi;
6. manajemen keselamatan dan program kesiapsiagaan nuklir; dan
7. dampak radiologi pada lingkungan hidup.

Dengan demikian ketentuan pada Pasal 39 dari PP 54/2012 tidak saling bertentangan dengan penjelasan Pasal 48 ayat(4) huruf b dari PP 2/2014, yaitu laporan PKB harus memuat 7 item tersebut di atas.

Sedangkan ketentuan yang diatur di dalam PERKA BAPETEN 2/2011 tentang Ketentuan Keselamatan Operasi Reaktor Nondaya, ketentuan PKB tertuang dalam Pasal 14 ayat (1) [3]. Substansi Pasal 14 ayat (1) tersebut adalah bahwa PI harus melakukan PKB secara

menyeluruh paling sedikit sekali dalam 5 (lima) tahun. Pada Pasal 14 ayat (2) dinyatakan bahwa PKB tersebut harus mencakup:

1. organisasi dan administrasi;
2. prosedur;
3. dokumen keselamatan instalasi terkini;
4. umpan balik pengalaman operasi dan pembelajaran yang diperoleh dari insiden atau kejadian;
5. kondisi struktur, sistem dan/atau komponen;
6. kualifikasi peralatan;
7. kinerja keselamatan;
8. program kesiapsiagaan nuklir;
9. program manajemen penuaan;
10. program proteksi radiasi;
11. sistem manajemen;
12. data dan informasi terkait supervisor reaktor, operator reaktor, supervisor perawatan, dan teknisi perawatan, meliputi pelatihan, pelatihan penyegaran dan mutasi;
13. lepasan efluen radioaktif ke lingkungan dan penanganan limbah radioaktif.

Substansi PKB pada PERKA BAPETEN 2/2011, belum selaras dengan kedua PP tersebut di atas. Substansi PERKA tersebut pada dasarnya sebagai rincian untuk melaksanakan ketentuan Pasal 18 ayat (3) PP 43/2006 tentang Perizinan Reaktor Nuklir. Sementara itu PP 43/2006 tersebut telah "direvisi" oleh PP 2/2014.

Dari hasil penelusuran substansi IAEA-SSG-25/2013 tentang *Periodic Safety Review for Nuclear Power Plants: Specific Safety Guide* [4] terdapat 14 faktor keselamatan (FK) yang harus dilaporkan oleh PI yaitu:

- SF 1: Desain PLTN;
 SF 2: Kondisi aktual SSK yang penting untuk Keselamatan;
 SF 3: Kualifikasi Peralatan;
 SF 4: Penuaan;
 SF 5: Analisis Keselamatan Deterministik;
 SF 6: Analisis Keselamatan Probabilistik;
 SF 7: Analisis Bahaya;
 SF 8: Kinerja Keselamatan;
 SF 9: Penggunaan Pengalaman dari PLTN lain dan temuan penelitian;
 SF 10: Organisasi, Sistem Manajemen dan Budaya Keselamatan;
 SF 11: Prosedur;
 SF 12: Faktor Manusia;
 SF 13: Perencanaan Kedaruratan;
 SF 14: Dampak Radiologi Terhadap Lingkungan hidup.

Berdasarkan komparasi ketentuan pada PP 2/2014, PP 54/2012 dan PERKA BAPETEN 2/2011 tersebut di atas, sebenarnya secara substansi PKB untuk reaktor nondaya sudah cukup diatur secara rinci di dalam PERKA BAPETEN 2/2011, tetapi belum mengatur format dan isi PKB secara rinci. Walau demikian jika dirujuk panduan IAEA SSG-25 tahun 2013, agar laporan PKB untuk reaktor nondaya lebih komprehensif maka perlu ada PERKA BAPETEN baru yang memuat normatif a.l. yang menyatakan bahwa: "Perlu diidentifikasi faktor-faktor keselamatan reaktor nondaya dan diuraikan: tujuan masing-masingnya, ruang lingkup dan tugas serta metodologi khusus untuk penilaiannya" yang dituangkan dalam format dan isi PKB. Faktor keselamatan (FK) tersebut paling tidak ada 13 yaitu:

- FK-1: Desain reaktor nondaya;
 FK-2: Kondisi aktual SSK yang penting untuk Keselamatan;
 FK-3: Kualifikasi Peralatan;
 FK-4: Penuaan;
 FK-5: Analisis Keselamatan Deterministik;
 FK-6: Analisis Bahaya;
 FK-7: Kinerja Keselamatan;

- FK-8: Penggunaan Pengalaman dari RND lain dan temuan penelitian;
- FK-9: Organisasi, Sistem Manajemen dan Budaya Keselamatan;
- FK-10: Prosedur;
- FK-11: Faktor Manusia;
- FK-12: Perencanaan Kedaruratan;
- FK-13: Dampak Radiologi Terhadap Lingkungan hidup.

Format dan isi dari PKB dapat diacu Pemegang Izin untuk memenuhi persyaratan perpanjangan izin dan menjadi panduan bagi BAPETEN dalam mengevaluasi PKB.

Secara skematis alur proses PKB reaktor nondaya yang diadopsi dari PKB PLTN dapat diberikan pada **Gambar 1**. [4]. Dari **Gambar 1** tersebut dapat dilihat adanya komunikasi yang sinergis antara Organisasi Pengoperasi (Pemegang Izin) dan Badan Pengawas (BAPETEN).



Gambar 1: Diagram alir proses PKB reaktor nondaya

4. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa secara substansi PKB untuk reaktor nondaya sudah cukup diatur secara rinci di dalam PERKA BAPETEN 2/2011. Namun belum mengatur tentang format dan isi dari laporan tersebut dan ketentuan lain dalam publikasi IAEA SSG-25 tahun 2013. Ketentuan tersebut belum mencakup beberapa aspek faktor keselamatan sebagaimana yang tertuang di dalam IAEA SSG-25. Oleh karena itu agar ketentuan PKB untuk reaktor nondaya lebih komprehensif

termasuk pengaturan mengenai format dan isi laporan PKB maka perlu ada PERKA BAPETEN.

Format dan isi laporan PKB antara lain memuat informasi :

- Pendahuluan;
- Desain reaktor nondaya;
- Kondisi terkini SSK;
- Kualifikasi peralatan;
- Penuaan;
- Kinerja keselamatan dan umpan balik pengalaman operasi;
- Manajemen keselamatan dan program kesiapsiagaan nuklir;
- Dampak radiologi pada lingkungan hidup;
- Kesimpulan;
- Rekomendasi dan rencana tindak lanjut.

PKB adalah suatu alat yang efisien untuk meningkatkan tingkat keselamatan reaktor nondaya dan untuk mengambil keputusan keberlanjutan dari operasi reaktor nondaya pada periode izin berikutnya.

Karena reaktor nondaya yang terdapat di Indonesia beroperasi sudah cukup panjang lebih dari 25 tahun sehingga mengalami penuaan, mengingat pentingnya aspek keselamatan dalam pengoperasian maka sangat perlu membentuk ketentuan yang mengatur penilaian keselamatan terhadap SSK setiap komponen yang terdapat di dalam reaktor tersebut. Penilaian keselamatan adalah suatu alat yang efisien untuk meningkatkan tingkat keselamatan dari suatu instalasi dan untuk pengambilan keputusan akan keberlanjutan dari suatu instalasi pada dekade berikutnya.

Dengan diterbitkannya PERKA ini diharapkan keselamatan pengoperasian suatu instalasi terus meningkat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Tim Penyusunan Penilaian Keselamatan Berkala Reaktor Nondaya, serta kepada nara sumber.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] **Republik Indonesia**, (2014); *Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir*; Kemenkumham, Jakarta.
- [2] **Republik Indonesia**, (2012); *Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir*; Kemenkumham, Jakarta.
- [3] **BAPETEN**, (2011); *Peraturan Kepala BAPETEN No. 2 tahun 2011 tentang Ketentuan Keselamatan Operasi Reaktor Nondaya*; BAPETEN, Jakarta.
- [4] **IAEA**, (2013); *IAEA-SSG-25: Periodic Safety Review for Nuclear Power Plants: Specific Safety Guide: IAEA, Vienna.*



Seminar Keselamatan Nuklir 2014

Makalah Penyaji Poster

Bidang Instalasi dan Bahan Nuklir

Prosiding
Seminar
Keselamatan
Nuklir
2014

KAJIAN KEHANDALAN MATERIAL TABUNG PEMBANGKIT UAP PWR

S. Nitiswati¹, Alim Mardhi¹

¹ Pusat Teknologi Dan Keselamatan Reaktor Nuklir-BATAN
e-mail: nitis@batan.go.id

ABSTRAK

KAJIAN KEHANDALAN MATERIAL TABUNG PEMBANGKIT UAP PWR. Degradasi tabung pembangkit uap adalah hal utama yang harus diperhitungkan dalam melakukan kajian integritas dan kajian sisa umur pembangkit uap. Oleh karena itu tabung pembangkit uap PWR harus benar-benar handal dari segi material dan perlakuan panasnya sehingga degradasi tabung pembangkit uap terjadi hanya sebagai konsekuensi penuaan alami, bukan karena penuaan dini akibat pemilihan material dan perlakuan panas yang kurang handal. Ada 2 (dua) faktor yang paling penting dalam mempengaruhi kerentanan tabung pembangkit uap untuk mengalami degradasi yaitu material tabung dan perlakuan panas. Makalah ini akan mengkaji kehandalan tabung pembangkit uap untuk PWR desain Amerika dari segi material dan perlakuan panas yang digunakan. Tujuan melakukan kajian adalah untuk mendapatkan database material terkini dan perlakuan panas yang handal digunakan untuk tabung pembangkit uap PWR. Pengkajian dilakukan dengan menganalisis material yang digunakan untuk tabung pembangkit uap berdasarkan persyaratan standar/code dan analisis perlakuan panas yang digunakan. Hasil kajian disimpulkan bahwa *alloy 690* dan *alloy 800Mod* adalah material terkini yang handal digunakan untuk tabung pembangkit uap PWR dengan perlakuan panas yang handal adalah *thermally treated* (TT).

Kata kunci: Tabung pembangkit uap, perlakuan panas, *alloy 690*, *alloy 800Mod*.

ABSTRACT

RELIABILITY ASSESSMENT OF PWR STEAM GENERATOR TUBE MATERIAL. Steam generator tube degradation is the main case should be considered in performing remaining life and integrity assessment of steam generator. Therefore PWR steam generator tube should be reliable in term of material and heat treatment, so steam generator tube degradation is only occurred as natural ageing consequence, not caused by premature ageing as the effect of unreliable heat treatment and materials chosen. There are two important factors influenced susceptibility of steam generator tube to degrade such as tube material and heat treatment. This paper will assess on reliability of USA PWR steam generator tube from material and heat treatment point of view. The purpose of this assessment is to get database of the current material and reliable heat treatment used as PWR steam generator tube. Assessment was done by analysis of steam generator tube material based on standard/code requirement and analysis of its heat treatment. Assessment result concluded that *alloy 690* and *alloy 800Mod* are currently reliable material used as PWR steam generator tube with *thermally treated* (TT) is a reliable heat treatment.

Keywords: Steam generator tube, heat treatment, *alloy 690*, *alloy 800Mod*.

1. PENDAHULUAN

Sebelum suatu Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) dibangun, maka material yang digunakan untuk komponen-komponen yang berada dalam lingkup "reactor pressure boundary" yaitu komponen-komponen kelas satu harus dikaji terlebih dahulu kehandalannya. Tujuannya adalah untuk menghindari penuaan dini komponen karena materialnya kurang handal sehingga komponen reaktor harus diganti/diperbaiki dan reaktor di *shutdown* di luar jadwal seharusnya (*unscheduled plant outages*).

Pembangkit uap reaktor air bertekanan (*Pressurized Water Reactor*, PWR) adalah salah satu komponen yang berada dalam lingkup "reactor pressure boundary". Pembangkit uap adalah penukar panas skala besar dengan jumlah tabung penukar panas mencapai sekitar sepuluh ribu. Tabung-tabung ini akan mengalami penuaan sehingga pada bagian-bagian tertentu akan terdegradasi melalui berbagai mekanisme dan hal ini tidak bisa dihindari. Korosi adalah mekanisme degradasi yang paling dominan pada tabung pembangkit uap. Terdapat berbagai jenis korosi antara lain korosi sumuran, *intergranular stress corrosion cracking* (IGSCC)/*intergranular attack* (IGA), dan *primary water stress corrosion cracking* (PWSCC).

Material tabung pembangkit uap PWR terbuat dari paduan nikel tinggi (*high nickel base alloy*). Namun jenis paduan nikel tinggi

yang digunakan telah mengalami perubahan yaitu pada era tahun 60-an menggunakan *alloy 600*, dan PWR tahun 80-an hingga kini menggunakan *alloy 690* dan *alloy 800Mod*. Perubahan ini bertujuan untuk mendapatkan paduan nikel tinggi dengan sifat yang lebih baik yaitu ketahanannya terhadap korosi sebagai konsekuensi desain umur PLTN yang semakin lama dari 30 tahun menjadi 40 tahun dan desain PLTN terkini adalah 60 tahun. Degradasi tabung pembangkit uap adalah hal utama yang diperhitungkan didalam melakukan kajian integritas pembangkit uap maupun kajian sisa umur pembangkit uap [1]. Oleh karena itu tabung pembangkit uap harus benar-benar handal, baik dari segi material maupun dari segi perlakuan panasnya. Handal dari segi material maksudnya adalah ketahanannya terhadap korosi, dan handal dari segi perlakuan panas maksudnya adalah jenis perlakuan panas yang digunakan akan semakin menguatkan ketahanan material terhadap jenis korosi tertentu. Dengan demikian degradasi tabung pembangkit uap terjadi hanya karena sebagai konsekuensi penuaan alami bukan karena penuaan dini.

Makalah ini akan mengkaji material dan perlakuan panas yang handal digunakan untuk tabung pembangkit uap PWR desain Amerika. Tujuan melakukan kajian adalah untuk mendapatkan database material handal terkini digunakan sebagai material tabung pembangkit uap PWR dan perlakuan panas yang tepat. Pengkajian

dilakukan dengan menganalisis material yang digunakan untuk tabung pembangkit uap berdasarkan persyaratan standar/code dan analisis perlakuan panas yang digunakan. Diharapkan apabila Indonesia segera membangun PLTN tipe PWR, maka hasil kajian ini dapat digunakan sebagai acuan/referensi.

2. TEORI

2.1. Material Tabung Pembangkit Uap PWR

Pembangkit uap adalah komponen PLTN kelas 1. *Standar ASME Section III, Division 1-Subsection NB, Class 1 Components, "Rules for Construction of Nuclear Facility Components"* menyebutkan secara spesifik bahwa material yang digunakan untuk tabung pembangkit uap harus mempunyai ketahanan yang baik terhadap korosi [2]. Pada standar ASME tersebut tidak dibahas persyaratan spesifik lainnya untuk material tabung pembangkit uap, seperti maksimal laju korosi, kekuatan material, dan lain sebagainya. Dari referensi [1,3,4] diketahui material yang digunakan untuk tabung pembangkit uap PWR desain Amerika dari era tahun 60-an hingga kini menggunakan paduan nikel tinggi dengan komposisi kimia ditunjukkan pada Table 1.

Tabel 1: Komposisi material tabung pembangkit uap PWR (% berat) [1,3,4]

Material	C	Ni	Cr	Fe	Ti	Lain
Alloy 600	≤ 0,15	≥ 72,0	14,0–17,0	6,0–10,0	-	Sisanya
Alloy 690	≤ 0,05	≤ 58,0	27,0–31,0	7,0–11,0		Sisanya
Alloy 800Mod	≤ 0,10	30,0–35,0	19,0–23,0	≥ 39,5	0,15–0,60	Sisanya

Unsur-unsur yang menyusun paduan nikel di atas masing-masing mempunyai peranan/pengaruh yaitu sebagai berikut [5]:

2.1.1. Karbon (C)

Keberadaan karbon pada paduan nikel adalah untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan material.

2.1.2. Kromium (Cr)

Kromium mempunyai peran untuk meningkatkan ketahanan terhadap oksidasi. Ketahanannya akan meningkat sebanding dengan jumlah kromium yang ditambahkan.

2.1.3. Titanium (Ti)

Peran titanium pada paduan nikel adalah untuk menstabilkan karbida. Titanium dengan karbon akan membentuk titanium karbida yang stabil dan sulit terlarut pada material dan hal ini memberikan tendensi meminimumkan terjadinya korosi antar butir yang bersifat getas.

2.1.4. Nikel (Ni)

Nikel adalah unsur utama pada paduan di atas berperan sangat dominan menjadikan paduan mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap korosi. Nikel berperan pula untuk meningkatkan ketangguhan patah (*fracture toughness*) material.

2.2. Pabrikasi Tabung Pembangkit Uap

Teknologi pabrikasi tabung pembangkit uap adalah melalui proses tempa (*forging*) di mana batangan material yang akan dipabrikasi menjadi tabung dilakukan proses ekstrusi ke dalam rumah tabung (*tube shell*). Selama proses berlangsung di dalam rumah tabung dilakukan pendinginan secara bertahap, caranya yaitu sepanjang tabung dilewatkan ke dalam tungku pemanas dengan menggunakan ban

berjalan. Selanjutnya dilakukan proses lebih lanjut dengan memberikan perlakuan panas (*heat treatment*) tertentu [1].

2.3. Perlakuan Panas

Perlakuan panas adalah suatu proses yang dilakukan setelah tabung pembangkit uap selesai dipabrikasi/selesai dibuat dan atau selesai pemasangan dengan cara memanaskan tabung pada suhu dan durasi tertentu sesuai dengan yang dibutuhkan. Tujuan perlakuan panas adalah selain untuk melepaskan tegangan sisa (*residual stress relief*) paska pabrikasi dan pemasangan tabung juga untuk rekristalisasi sehingga diperoleh struktur mikro yang diinginkan yaitu ukuran butir yang besar dan distribusi karbida. Ada 2 (dua) proses perlakuan panas yang digunakan untuk pabrikasi tabung pembangkit uap, yaitu *mill annealing* dan *thermally treated* [1].

2.4. Mill-Annealing (MA)

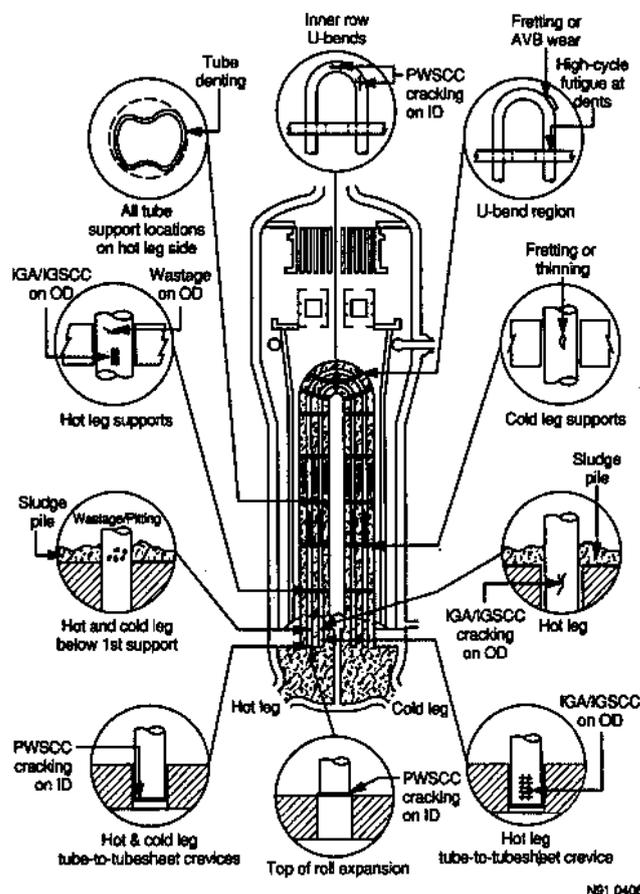
MA adalah suatu proses perlakuan panas awal yang dilakukan pada rentang suhu tinggi 700°C s.d. 760°C dan dipertahankan selama 5 menit sampai dengan maksimum 15 menit [1,3].

2.5. Thermally Treated (TT)

TT adalah suatu proses perlakuan panas yang diberikan untuk suatu produk akhir dengan tujuan selain untuk melepaskan tegangan sisa sampai pada batas yang serendah mungkin juga untuk re-distribusi pengendapan karbida pada batas butir. TT dilakukan pada rentang suhu di atas 725°C s.d. 1025°C dan dipertahankan selama 10 jam sampai dengan 15 jam [1,3].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembangkit uap PWR dan bagian yang rentan terdegradasi ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1: Pembangkit uap PWR dan bagian yang rentan terdegradasi [1]

3.1. Analisis Material Tabung

Dari sudut pandang sifat material, ketiga paduan nikel tinggi yang ditunjukkan pada **Tabel 1** di atas memenuhi persyaratan sebagai material tabung pembangkit uap karena mengandung unsur nikel dominan sehingga sangat tahan terhadap korosi [3]. Oleh karena itu paduan nikel tinggi digunakan sebagai material tabung pembangkit uap PWR dari dahulu hingga kini. Sifat lain paduan nikel tinggi adalah selain mempunyai ketangguhan patah yang baik juga lebih tahan terhadap panas khususnya *alloy 690* di mana kandungan kromiumnya (Cr) 2 kali lebih banyak dari pada kandungan kromium di dalam *alloy 600*.

Unsur karbon (C) dalam suatu material berfungsi untuk meningkatkan kekerasan material. Namun begitu persentase (%) C dalam suatu material tetap harus dibatasi karena semakin besar kandungan karbon mengakibatkan material semakin getas. Dari **Tabel 1** diketahui bahwa kandungan C didalam ketiga paduan nikel di atas relatif sangat rendah sehingga tidak berpengaruh signifikan terhadap degradasi material.

Kandungan kromium (Cr) ditambahkan kedalam ketiga paduan nikel di atas adalah untuk meningkatkan ketahanannya terhadap oksidasi. Ketahanan ini akan semakin meningkat sebanding dengan besarnya persentase (%) Cr yang ditambahkan. Hal ini berarti ketiga paduan nikel di atas mempunyai ketahanan terhadap korosi umum (*general corrosion*) yang semakin lebih baik karena selain kandungan nikelnya dominan juga persentase (%) kandungan Cr-nya cukup signifikan. Pengalaman dari beberapa negara yang menggunakan *alloy 690* dan *alloy 800Mod* untuk material tabung pembangkit uap PWR di mana kandungan Cr-nya relatif lebih besar dari *alloy 600*, ternyata lebih menguntungkan karena lebih tahan terhadap serangan korosi umum [3]. Hal ini dapat diterima karena konsisten dengan suatu teori yang mengatakan bahwa ketahanan suatu material terhadap oksidasi akan semakin meningkat sebanding dengan persentase (%) Cr yang ditambahkan. Dalam hal ini *alloy 690* yang diproduksi setelah *alloy 600* dibuat dengan komposisi kandungan nikelnya lebih rendah dari pada *alloy 600* namun kandungan Cr-nya dinaikkan 2 kalinya ternyata lebih tahan terhadap korosi sehingga sifat *alloy 690* lebih unggul dari pada *alloy 600* [1,3].

Alloy 800Mod (modification) disebut juga dengan *alloy 800NG (nuclear grade)* adalah paduan nikel tinggi yang dimodifikasi dengan menambahkan Titanium (Ti). *Alloy 800Mod* merupakan paduan nikel tinggi yang sudah mulai digunakan sebagai material tabung pembangkit uap PWR. Fungsi Ti didalam suatu material adalah untuk menstabilkan material tersebut sehingga mempunyai sifat yang lebih baik. Dalam hal ini *alloy 800Mod* adalah paduan nikel tinggi yang distabilkan dengan Ti, yaitu menstabilkan karbida dengan membentuk titanium karbida yang stabil dan sulit larut di dalam paduan nikel tinggi sehingga akan meminimalkan terjadinya korosi pada batas butir (*intergranular corrosion*) yang bersifat getas (*brittle*). Oleh sebab itu *alloy 800Mod* mulai digunakan sebagai material tabung pembangkit uap [6].

3.2. Analisis Perlakuan Panas

Perlakuan panas yang digunakan pada tabung pembangkit uap PWR tahun 60-an sampai sebelum tahun 1980 pada umumnya adalah hanya perlakuan panas awal yaitu *mill-annealing (MA)* [1,3]. Pada tahun 80-an setelah dilakukan MA dilanjutkan dengan *thermally treated (TT)* [1,3]. Ada kelemahan perlakuan panas MA, yaitu durasi proses MA yang sangat singkat meskipun suhu MA relatif tinggi. Akibatnya tidak cukup waktu untuk terjadinya pengendapan kromium karbida pada batas butir. Sehingga tabung pembangkit uap yang terbuat dari *alloy 600MA* banyak yang gagal karena terjadi retak yang bersifat getas. Hal ini terbukti dari tabung-tabung pembangkit uap yang diproduksi tahun 60-an sampai dengan

sebelum tahun 1980 yang terbuat dari *alloy 600* dengan perlakuan panas MA banyak yang mengalami retak karena terjadi SCC [3].

Perlakuan panas yang diterapkan untuk tabung pembangkit uap PWR setelah tahun 80-an sampai dengan saat ini adalah *thermally treated (TT)* [3,6]. Proses perlakuan panas dengan teknik TT dimulai dengan proses perlakuan panas awal yaitu MA dan dilanjutkan dengan TT yang dipertahankan pada suhu tinggi antara 725°C s.d. 1025°C selama 10 jam sampai dengan 15 jam sehingga cukup waktu untuk terjadinya pengendapan kromium karbida dan titanium karbida (untuk *alloy 800Mod*) pada batas butir. Akibatnya akan meningkatkan ketahanan material terhadap SCC. Untuk lebih meningkatkan ketahanan terhadap korosi, perlu dilakukan pengkondisian awal (*preconditioning*) pada permukaan bagian dalam tabung dengan cara melakukan pasivasi sehingga meminimalkan pelepasan produk korosi karena pada permukaan bagian dalam tabung khususnya pada bagian *U-bend* dapat terjadi PWSCC (*primary water stress corrosion cracking*). Selain itu untuk mencegah atau mengurangi pengaruh terjadinya SCC dapat dilakukan metode *shot peening*. Dengan melakukan *shot peening*, tegangan tarik pada tabung bagian transisi rol tabung (*roll transition*) yaitu permukaan bagian dalam *U-bend* tabung akan berubah menjadi tegangan kompresi sehingga akan mengurangi salah satu faktor penyebab terjadinya SCC, yaitu tegangan.

4. KESIMPULAN

Hasil kajian disimpulkan bahwa *alloy 690* dan *alloy 800Mod* adalah material terkini yang handal digunakan untuk material tabung pembangkit uap PWR dan perlakuan panas yang handal untuk diterapkan adalah *thermally treated (TT)*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] SHAH, V.N. et.al. (1993); *Ageing And Life Extension of Major Light Water Reactor Components*; Elsevier.
- [2] ASME (2007); *ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE, (2007), Rules for Construction of Nuclear Facility Components, Section III, Division 1-Subsection NB, Class 1 Components*.
- [3] HARROD D.L. et.al. (9/17/2013); *Alloy Optimization for PWR Steam Generator Heat-Transfer Tubing*, <http://link.springer.com/article/10.1007/s11837-001-0080-1>.
- [4] IAEA, (2004); *IAEA-TECDOC-1391, Status of Advanced Light Water Reactor Designs*; IAEA, Vienna.
- [5] ANONIM, (2/11/2012); *Effect of Alloying Elements in Steel*, www.intechopen.com
- [6] Lucan, D., (11/3/2013); *Degradation Incoloy 800 Steam Generator Tubing*, www.intechopen.com.



Seminar Keselamatan Nuklir 2014 Makalah Penyaji Poster Bidang Instalasi dan Bahan Nuklir

Prosiding
Seminar
Keselamatan
Nuklir
2014

KAJIAN KESELAMATAN STORAGE URANIUM DI IEBE SEBAGAI TEMPAT SIMPAN BAHAN BAKAR NUKLIR

Nudia Barenzani, Ghaib Widodo, dan Nur Tri Harjanto

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir-Badan Tenaga Nuklir Nasional
Kawasan Puspiptek, Serpong 15314
Telp. (021) 7560915, Faks. (021) 7560909
e-mail : nudia@batan.go.id

ABSTRAK

KAJIAN KESELAMATAN STORAGE URANIUM DI IEBE SEBAGAI TEMPAT SIMPAN BAHAN NUKLIR. Telah dilakukan kajian keselamatan terhadap tempat simpan uranium alam sebagai *storage* yang aman dari bahaya radiasi, kontaminasi yang diakibatkan oleh pemanfaatan dan penyimpanan bahan bakar nuklir. Bahan nuklir yang disimpan di IEBE berupa uranium alam (UO_2 /yellow cake), klasifikasi bahan nuklir golongan IV, dengan paparan normal tertinggi sebesar $4,070 \mu Sv/jam$, tingkat kontaminasi permukaan tertinggi $0,011 Bq/cm^2$, tingkat kontaminasi udara tertinggi sebesar $1,924 Bq/m^3$ dan radioaktivitas udara buang tertinggi sebesar $0,030 Bq/m^3$. Berdasarkan data radiologis tersebut batasan teknis untuk pengoperasian sumber dikategorikan dalam daerah pengendalian. Tata cara penyimpanan bahan nuklir tentang penyusunan yang meliputi : jarak antar *container* (76 cm aturan proteksi), isolasi *storage* (berpagar), penempatan tangki disusun bertingkat mengikuti rak yang ada. Kemudian dilakukan kontrol rutin berkala administrasi senantiasa dilakukan berupa (1) penyimpanan produk selalu diberi *tagging* (tanggal produk, jumlah uranium, paparan radiasi, nama dan tandatangan penanggung jawab), (2) refleksi netral dari personil, pembatasan yang masuk areal ruang proses senantiasa terkontrol dan mengikuti kaidah proteksi (waktu, jarak, *shielding*), dan (3) pemindahan posisi harus ada penanggung jawabnya dengan memperhatikan batasan yang telah ditetapkan. Perubahan rona lingkungan dan dampak terjadi perubahan dalam memproses uranium diperkaya yang bisa berakibat kekritisan bahan fisil pada saat ini dapat diabaikan, karena IEBE hanya memproses U-alam, U-depleksi, dan Thorium yang secara ilmiah tidak mungkin mencapai kondisi kekritisan nuklir.

Kata kunci : Kajian keselamatan, storage uranium, dan bahan nuklir

ABSTRACT

THE SAFETY ASSESSMENT OF URANIUM STORAGE IN IEBE. The safety assessment of uranium storage in IEBE has been done. Area classifications have an important role in preventing the spread of contamination in normal operation. Limitation of technical conditions for accounting and control areas are classified in controlled area. In terms of radiologic, the highest level of exposure to gamma radiation at $4.070 \mu Sv/h$, the highest contamination level of both in the air and the surface respectively at $3,478 Bq/m^3$ and $0.047 Bq/cm^2$ below the safety limits set by the Regulatory Body. In terms of nuclear security, storage of natural uranium in IEBE complies with the physical protection system and nuclear materials categorized in group IV. The impact of modifications to the source due the criticality of fissile material at this point can be ignored, because IEBE only process the natural uranium, depletion uranium, and thorium which is scientifically not possible reach the nuclear criticality condition.

Keywords: Safety assessment, uranium storage, and nuclear materials

1. PENDAHULUAN

Segala sesuatu yang berkaitan dengan pengadaan barang, proses maupun produksi bahan dipastikan memerlukan tempat simpan yang berupa *storage/gudang*. Adapun fungsi *storage* ini dapat digunakan sebagai tempat simpan sementara bahan baku, produk setengah jadi (*intermediate product*), dan produk. Di zaman sekarang ini justru suatu perusahaan ada yang bergerak di bidang sewa-menyewa atau menjual *storage*, karena merupakan kebutuhan vital. Hal tersebut merupakan prioritas yang harus diutamakan, karena dengan adanya *storage* ini dapat memudahkan selama dalam pengelolaan, memudahkan dalam segi kelancaran proses produksi dan transfer bahan. Mengingat pentingnya *storage* tersebut tentu saja membutuhkan beberapa persyaratan yang harus dipenuhi agar kondisi *storage* tetap dapat menjamin kualitas bahan baku maupun produk. Sebagai contoh pabrik gula putih (pasir), agar kondisi produk gula pasir tetap terjaga kering, maka *storage* harus dipertahankan tingkat kelembabannya, agar *image* ada gula ada semut tidak

berlaku di sini. Segenap *storage* lain yang digunakan sebagai sarana simpan sementara maupun simpan agak lama pada produk-produk umum lainnya, seperti : bahan makan, hasil-hasil panen, pupuk, dan lain-lain, tetap harus dijaga kualitas barang simpan dan kriteria *storage* sebagai tempat simpannya.

Bahan nuklir adalah bahan yang dapat menghasilkan reaksi pembelahan berantai atau bahan yang dapat diubah menjadi bahan yang dapat menghasilkan reaksi pembelahan berantai.

Pemanfaatan sumber radiasi adalah kegiatan yang berkaitan dengan tenaga nuklir yang meliputi penelitian, pengembangan, penambangan, pembuatan, produksi, pengangkutan, penyimpanan, pengalihan, ekspor, impor, penggunaan, dekomisioning, dan pengelolaan limbah radioaktif untuk peningkatan kesejahteraan rakyat.

Instalasi nuklir adalah reaktor nuklir, fasilitas yang digunakan untuk pemurnian, konversi, pengayaan bahan nuklir, fabrikasi bahan nuklir dan/atau pengolahan ulang bahan bakar nuklir bekas

dan/atau fasilitas yang digunakan untuk menyimpan bahan bakar nuklir dan bahan bakar nuklir bekas. [1,2]

Storage hasil industri umum sangat berbeda dengan *storage* yang digunakan sebagai menyimpan sementara bahan bakar nuklir yang berupa uranium. Uranium merupakan bahan dasar/baku yang digunakan sebagai bahan bakar, produk tengah yang dapat berupa serbuk, pelet, dan kernel.

Tabel 1: Komposisi dan paparan radiasi gamma di *storage* uranium IEBE

No.	Jenis bahan	Paparan radiasi berjarak 1 meter ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)	No.	Jenis bahan	Paparan radiasi berjarak 1 meter ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)
1.	UO ₂ <i>Natural powder</i>	7,28	11.	UO ₂ <i>Natural powder</i>	6,09
2.	sda	7,72	12.	sda	6,56
3.	sda	7,94	13.	sda	6,48
4.	sda	9,06	14.	sda	6,48
4 A	sda	6,11	15.	sda	6,35
5.	sda	7,75	16.	UO ₂ <i>pelet sinter</i>	2,86
6.	sda	7,84	17.	sda	3,90
7.	sda	6,62	20.	sda	3,75
8.	sda	6,15	21.	sda	3,37
9.	sda	6,34	22.	sda	3,20
10.	sda	7,04	23.	sda	2,27
9.	sda	6,34	22.	sda	3,20
10.	sda	7,04	23.	sda	2,27

Adapun letak perbedaan antara kedua *storage* tersebut adalah pada:

1. cara penempatan bahan uranium
2. cara pengambilan harus mengikuti aturan lalu-lintas tertentu, karena uranium mempunyai karakteristik dan sifat khusus yang berbeda dengan bahan lain.

Oleh karena itu bahan uranium memerlukan penangangan dan pengelolaan khusus terutama dalam hal penyimpanannya. Kriteria khusus dari bahan uranium ini yang akan dipakai sebagai patokan dalam hal penggunaan *storage* nantinya.

Tabel 2: Penggolongan bahan nuklir [3]

Bahan	Uraian	Golongan			
		I	II	III	IV
1. Po	Tidak teriradiasi atau teriradiasi dengan paparan ≤ 1 Gy/jam (100 rad/jam) pada jarak 1 m tidak terbungkus	≥ 2 kg	500 g < Pu < 2 kg	15 g < Pu \leq 500 g	1 g < Pu \leq 15 g
2. ²³⁵ U	Tidak teriradiasi atau teriradiasi dengan paparan ≤ 1 Gy/jam (100 rad/jam) pada jarak 1 m tidak terbungkus - Uranium diperkaya $\geq 20\%$ ²³⁵ U - Uranium diperkaya antara 10%–20% ²³⁵ U - Uranium diperkaya di atas uranium alam, tetapi kurang dari 10% ²³⁵ U	≥ 5 kg	1 kg < ²³⁵ U < 5 kg ≥ 10 kg	15 g < ²³⁵ U \leq 1 kg 1 kg < ²³⁵ U < 10 kg ≥ 10 kg	1 g < ²³⁵ U \leq 15g 1 g < ²³⁵ U \leq 1kg 1 g < ²³⁵ U < 10 kg
3. ²³³ U	Tidak teriradiasi atau teriradiasi dengan paparan ≤ 1 Gy/jam (100 rad/jam) pada jarak 1 m tidak terbungkus	≥ 2 kg	500 g < U-233 < 2 kg	15 g < ²³³ U \leq 500 g	1 g < U-233 \leq 15 g
4. U-alam, U-depleksi, Th dan limbah bahan nuklir curah	Tidak teriradiasi atau teriradiasi dengan paparan ≤ 1 Gy/jam (100 rad/jam) pada jarak 1 m tidak terbungkus			≥ 500 kg	1 kg < U/Th < 500 kg
5. Bahan bakar teriradiasi (U-alam, U-depleksi, Th atau bahan bakar diperkaya < 10%)	- untuk pengangkutan - untuk penyimpanan/penggunaan	- -	Tidak dibatasi -	- Tidak dibatasi	- -

Hal ini merupakan salah satu upaya yang dipakai sebagai pendekatan keselamatan simpan yang berkaitan dengan jumlah bahan nuklir tersebut.

2. RUANG LINGKUP

Dalam makalah ini akan dilakukan pengkajian keselamatan uranium *storage* yang berada di dalam *Hot Room* (HR-04) gedung 65 (Instalasi Elemen Bakar Eksperimental/IEBE), Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir-BATAN Serpong yang mempunyai ukuran ruang $p \times l = 17,7 \times 12,7$ m. Saat ini *storage* di IEBE dipakai sebagai menyimpan beberapa *container* yang berisi UO₂ *natural powder*.

3. METODOLOGI

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif dan Perka BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 tentang Pemanfaatan Tenaga Nuklir Pemegang Izin, perlu menyusun, melaksanakan, dan mengembangkan program proteksi dan keselamatan radiasi. Penyusunan program proteksi dan keselamatan radiasi harus didasarkan atas evaluasi radiologik dan kajian keselamatan.

Salah satu upaya yang dipakai sebagai pendekatan keselamatan dan keamanan simpan yang berkaitan dengan jumlah bahan nuklir adalah melakukan kajian keselamatan meliputi:

1. Sifat, besar, dan kemungkinan terjadinya paparan potensial
Paparan Potensial adalah Paparan Radiasi yang tidak diharapkan atau diperkirakan tetapi mempunyai kemungkinan terjadi akibat kecelakaan sumber atau karena suatu kejadian atau rangkaian kejadian yang mungkin terjadi termasuk kegagalan peralatan atau kesalahan operasi
2. batasan dan kondisi teknis untuk pengoperasian sumber
3. kemungkinan kesalahan prosedur operasi yang terkait dengan proteksi dan keselamatan dan konsekuensi jika terjadi kesalahan
4. kemungkinan terjadinya kegagalan struktur, sistem, komponen yang terkait proteksi dan keselamatan radiasi yang mengarah pada terjadinya paparan potensial
5. perubahan rona lingkungan yang mempengaruhi proteksi dan keselamatan radiasi, dan
6. dampak dilakukannya modifikasi sumber terhadap proteksi dan keselamatan radiasi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Instalasi Elemen Bakar Eksperimental (IEBE) terdiri atas fasilitas konversi kimia (*pilot conversion plant/PCP*) dan fasilitas fabrikasi bahan bakar (*fuel fabrication laboratory/FFL*) yang didukung oleh Laboratorium Kendali Kualitas (LKK), penunjang sarana dan sistem keselamatan. *Pilot conversion plant* dirancang menghasilkan produk berupa serbuk UO_2 dari bahan dasar *yellow cake* dan FFL di-design untuk memproduksi perangkat elemen bakar tipe "Heavy Water Reactor (HWR)" menggunakan bahan baku serbuk UO_2 alam. Sebenarnya IEBE didesain mampu untuk menangani U diperkaya hingga 5%, namun dalam pelaksanaan kegiatannya saat ini hingga tahun mendatang dimungkinkan tidak melakukan penanganan dan memproses U berpengayakan.

Tabel 3: Pembagian daerah kerja di Gedung 65 IEBE

Daerah Pengendalian		Daerah Supervisi	
Potensi penerimaan paparan radiasi melebihi $\frac{3}{10}$ NBD pekerja radiasi	Potensi Kontaminasi	Potensi penerimaan paparan radiasi individu lebih dari NBD masyarakat dan kurang dari $\frac{3}{10}$ NBD pekerja Radiasi	Bebas Kontaminasi

Tabel 4: Batasan keselamatan radiasi (*Maximum Permissible Concentration/MPC*)

Zona	Paparan radiasi γ (D)	Radioaktivitas α		
		di permukaan	di udara	udara buang
I	background	background	background	$\leq 2 \text{ Bq/m}^3$
II	$< 25 \mu\text{Sv/jam}$	$\leq 0,37 \text{ Bq/cm}^2$	$\leq 20 \text{ Bq/m}^3$	
III	$< 25 \mu\text{Sv/jam}$	$\leq 3,7 \text{ Bq/cm}^2$	$\leq 20 \text{ Bq/m}^3$	

Design keselamatan akibat kekritisan bahan fisil pada saat ini dapat diabaikan karena IEBE hanya memproses U-alam, U-depleksi, dan Thorium yang secara ilmiah tidak mungkin mencapai kondisi kekritisan nuklir. Selain itu dalam pemrosesan U-alam di IEBE tidak tersedia parameter-parameter kekritisan yang dapat menyebabkan U-alam mencapai keadaan kritis.

Selama penempatan container bahan nuklir yang berisi uranium alam (*yellow cake/* UO_2) melalui kontrol keselamatan dan keamanan nuklir. Kontrol keselamatan nuklir dengan cara melakukan pemantauan rutin pada ruang *storage* (HR-04) terhadap paparan radiasi gamma, kontaminasi udara, dan kontaminasi permukaan. Sedangkan kontrol keamanan dilakukan dengan pendekatan keamanan proteksi fisik. Dalam hal kekritisan dilakukan dengan 4 (empat) asumsi pendekatan. Hal tersebut dilakukan agar dapat memudahkan pendekatan estimasi penyimpanan yang aman. Adapun asumsi-asumsi tersebut yaitu :

- *Storage* sebagai tempat menyimpan harus lapang, sirkulasi udara (AC) beroperasi baik dan terpisah dengan ruang lain.
- *Storage* digunakan sebagai tempat menyimpan sejumlah uranium alam (*yellow cake/* UO_2), kapasitas simpan dapat memenuhi kebutuhan bahan baku dan kelancaran proses produksi bahan bakar.
- Dalam tangki yang berisi bahan uranium diasumsikan termoderasi terkontrol $H/U = 10$ dan ketebalan reflektornya = 25 cm, mengikuti aturan bahan uranium diperkaya [5,6]
- Jumlah tangki yang berisi bahan uranium dikehendaki sebanyak 30 buah dan disusun bertingkat pada rak-rak.

4.1. Kontrol Keselamatan Nuklir/Radiologis

Tabel 5: Data radiologis gudang uranium IEBE tahun 2013

Waktu Pemantauan (Bulan)	Paparan Radiasi gamma ($\mu\text{Sv/jam}$)	Kontaminasi Udara (Bq/m^3)	Kontaminasi Permukaan (Bq/cm^2)	Kontaminasi Udara Buang (Bq/m^3)
Januari	2,510	2,734	0,028	0,020
Februari	2,590	1,574	0,047	0,030
Maret	2,220	1,711	0,009	0,030
April	2,960	1,394	0,001	0,038
Mei	2,590	1,343	0,007	0,030
Juni	2,590	3,478	0,007	0,020
Juli	2,290	1,924	0,011	0,030
Agustus	4,070	1,934	0,009	0,010
September	2,220	2,508	0,006	0,010
Oktober	2,220	1,614	0,006	0,020
Nopember	2,690	2,009	0,003	0,010
Desember	2,960	3,138	0,033	0,020

4.2. Kontrol Keamanan Nuklir

Bahan nuklir yang digunakan dalam litbangyasa IEBE berupa sumber terbuka uranium alam dengan paparan dalam jarak 1 meter tidak melebihi 1 Gy/jam, dapat diklasifikasikan dalam golongan IV (**Tabel 1 dan 2**), sehingga harus digunakan atau disimpan di daerah yang aksesnya diawasi dengan cara memberikan perlindungan atau penghalang fisik berupa pagar, bangunan, ruangan, atau container sehingga akses menuju tempat tersebut hanya dibatasi untuk pekerja yang berwenang.

Pada **Gambar 1, 2, 3 dan 4** dapat diperlihatkan bentuk *visual storage* bersekat pagar besi, penerangan cukup, bahan nuklir di tempatkan dalam tangki kecil, disusun berdamping satu dengan lainnya teratur. Pintu pembatas ruang dengan *storage* dikunci, terkontrol, dan termonitor. Lalu-lintas personal terbatas hanya petugas akunting dan keselamatan yang selalu rutin mengontrol dan memonitor bahan nuklir yang berupa uranium alam (*yellow cake/* UO_2) tersebut.

5. KESIMPULAN

Hasil kajian keselamatan *storage* uranium di IEBE sebagai tempat simpan bahan nuklir berupa uranium alam ($UO_2/$ *yellow cake*) yang ditempatkan dalam tangki yang disimpan dalam *storage* berpagar, terkontrol dan termonitor, disusun bertingkat sesuai dengan bentuk rak, dan kontrol administrasi yang senantiasa diterapkan, maka penyimpanan tangki berisi uranium alam diperoleh keamanan penuh. Batasan kondisi teknis untuk pengoperasian sumber yaitu dalam hal pemindahan dan akunting bahan nuklir diklasifikasikan dalam daerah pengendalian yaitu adanya potensi kontaminasi dan potensi paparan normal yang diterima pekerja radiasi akan menerima dosis $\frac{3}{10}$ NBD Pekerja radiasi. Dari segi radiologis, tingkat paparan radiasi gamma tertinggi sebesar 4,070 $\mu\text{Sv/jam}$, tingkat kontaminasi tertinggi baik udara maupun permukaan masing-masing sebesar 3,478 Bq/m^3 dan 0,047 Bq/cm^2 masih di bawah batasan keselamatan yang telah ditetapkan oleh Badan Pengawas (**Tabel 4**). Sedangkan dari segi keamanan nuklir, penyimpanan bahan uranium alam di IEBE memenuhi ketentuan sistem proteksi fisik instalasi dan bahan nuklir golongan IV. Perubahan rona lingkungan yang mempengaruhi proteksi dan keselamatan radiasi, dan dampak dilakukannya modifikasi sumber akibat kekritisan bahan fisil pada saat ini dapat diabaikan karena IEBE hanya memproses

U-alam, U-depleksi, dan Thorium yang secara ilmiah tidak mungkin mencapai kondisi kekritisan nuklir.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] **Republik Indonesia** (2007); *Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang keselamatan Radiasi Pengion dan keamanan sumber radioaktif*; Kemenkumham, Jakarta.
- [2] **BAPETEN** (2013); *Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi radiasi dan Keselamatan radiasi dalam pemanfaatan tenaga nuklir*; BAPETEN, Jakarta.
- [3] **BAPETEN** (2009); *Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 1 tahun 2009, tentang Pedoman Sistem Proteksi Fisik Instalasi dan bahan Nuklir*; BAPETEN, Jakarta.
- [4] **Fitzgerald, J.T.**, (1975); *"Applied Radiation Protection and Control", Prepared Under The Auspices of The Division of Technical Information United States Atomic Energy Commission*; Paris.
- [5] **Justin, L.T.**, (1978); *"Engineering for Nuclear Fuel Reprocessing", La Grange Park, IL. : Published for the Office of Technical Information; U.S. DePT of Energy by American Nuclear Society, New York.*
- [6] **Miyoshi, Y., et.al.** (1995); *"Critical Experimental Programmes for fuel Solution With Stacy and Tracy", Proceeding of The Experts Meeting on Experimental Needs in Criticalities Safety*; JAERI, Japan.
- [7] **Yuwono, I.**, (1991); *"Analisis Keselamatan Kritikalitas Gudang Uranium IPEBRR", Prosiding Reaktor Nuklir dalam Sains dan Teknologi Menuju Era Tinggal Landas*; PPTN-BATAN, Bandung.
- [8] **Prayitno**, (2009); *"Pengaruh Rasio H/D Terhadap Kekritisan Pada desain Tangki Pelarutan Serbuk U3O8 Menggunakan Asam Nitrat Dengan Kapasitas Setara 10 Kg/j Kernel UO₂", Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir "URANIA", Vol. 15 No. 3, PTBN-BATAN, ISSN 0852-4777, Akreditasi No. : 71/Akred-LIPI/P2MBI/2007, Juli; Serpong.*

LAMPIRAN

Gambar penempatan uranium alam



Gambar 1: Foto lokasi penempatan kontainer berisi bahan baku uranium yang bersekat besi



Gambar 2: Foto tangki berisi bahan baku uranium jarak lebih dekat



Gambar 3: Penempatan tangki perpagar dan bersekat



Gambar 4: Penempatan tangki berpenerangan cukup

EVALUASI DESAIN SIMULATOR PLTN TIPE PWR1000

Muhammad Subekti dan Muhammad Darwis Isnaini

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir (PTRKN)-BATAN, Komplek Puspiptek Gedung No. 80 Serpong, Tangerang Selatan 15310
Email: subekti@batan.go.id

ABSTRAK

EVALUASI Desain Simulator PLTN tipe PWR1000. Simulator Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) tipe *Pressured Water Reactor* 1000 MWe (PWR1000) telah dikembangkan oleh BATAN sejak tahun 2010. Tetapi masih banyak pekerjaan yang perlu dilakukan untuk pengembangan lebih lanjut. Oleh karena itu, evaluasi desain simulator perlu dilakukan supaya arah pengembangan baru pada masa depan dan prioritas pengembangan dapat ditentukan. Tujuan evaluasi ini adalah untuk mengkaji desain simulator PLTN PWR1000 dan merumuskan kebutuhan pengembangan simulator lebih lanjut. Evaluasi terdiri dari beberapa kegiatan studi, kajian dan identifikasi. Hasil evaluasi menyatakan bahwa pencapaian pengembangan simulator PLTN-PWR1000 telah menyelesaikan implementasi metode neutronik untuk menghitung fluks neutron. Kajian pelengkap memberikan arah penggunaan standar yang digunakan pada PLTN sebenarnya. Selanjutnya evaluasi mempelajari skenario kecelakaan dan pengembangan metode berdasarkan metode kopel neutronik-termohidrolika. Skenario kecelakaan yang layak untuk pengembangan lebih lanjut adalah *Station blackout* (SBO), *Loss of Coolant Accident* (LOCA), *Loss of Flow Accident* (LOFA) and *Reactivity Insertion Accident* (RIA). Dan setiap kecelakaan memerlukan verifikasi ulang menggunakan kode perhitungan standar.

Kata kunci: evaluasi, perencanaan lanjut, pengembangan simulator, simulasi transien.

ABSTRACT

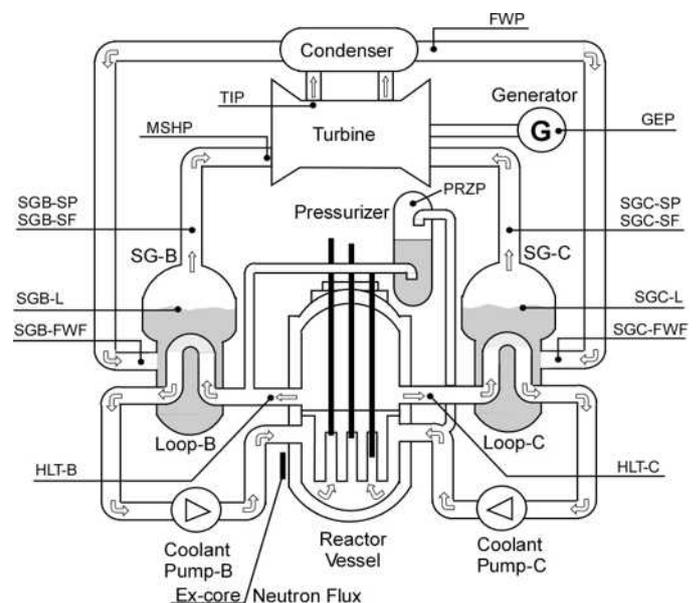
The Evaluation of Simulator Design of PWR1000 typed NPP. The simulator of Pressured Water Reactor 1000 MWe (PWR1000) typed Nuclear Power Plant (NPP) has been developed by BATAN since 2010. However, a lot of work is still to be done for advanced simulator development. Hence, the design evaluation of the simulator is required to open new development perspective in the future and to determine the development priority. The purpose of the evaluation is to assess the simulator design of PWR1000 typed NPP and formulate the further requirement of the simulator development. The evaluation consists of several activities of study, assessment and identification. Evaluation results that the achievement of PWR1000-NPP simulator has accomplished the implementation of neutronics and thermalhydraulics methods. The complementary assessment gives standard utilization direction that implemented in real NPP. Furthermore, the evaluation studies the accident scenario and the method development based on the coupled method of neutronics-thermalhydraulics. The proper accident scenarios for advanced development are Station Blackout (SBO), Loss of Coolant Accident (LOCA), Loss of Flow Accident (LOFA) and Reactivity Insertion Accident (RIA). And every accident requires re-verification by utilizing standard calculation code.

Keywords: evaluation, advanced planning, simulator development, transient simulation.

1. PENDAHULUAN

Simulator Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) tipe *Pressured Water Reactor* 1000 MWe (PWR1000) telah dikembangkan oleh BATAN sejak tahun 2010 dimulai dengan pengembangan metode perhitungan neutronik [1] dan implementasi model kinetika titik [2]. Kemudian pengembangan dilanjutkan dengan pengembangan analisis termohidrolika teras dan verifikasi simulator terhadap hasil perhitungan distribusi temperatur bahan bakar secara radial pada kondisi tunak [3]. Tahap pengembangan simulator ini memerlukan banyak kajian desain yang dijadikan sebagai dasar desain. Selain itu, kajian terhadap metode, implementasi, penyederhanaan, dan pengembangan masa depan juga menjadi tantangan. Oleh karena itu, pengembangan simulator PLTN tipe PWR1000 ini perlu dievaluasi supaya arah pengembangan pada masa depan dan prioritas pengembangan dapat ditentukan.

Desain konsep simulator ditampilkan dalam skema sistem PLTN PWR seperti yang terlihat pada **Gambar 1** yang terdiri dari komponen pompa, *steam generator* (SG), turbin dll. Simulator PLTN yang dikembangkan oleh perusahaan swasta [5] dan digunakan untuk pelatihan oleh IAEA juga menjadi acuan desain. Beberapa acuan tambahan menunjukkan bahwa simulator berbasis PC juga dikembangkan oleh beberapa negara.



Gambar 1: Skema Sistem PLTN PWR [4]

Rusia mengembangkan simulator PLTN Leningrat menggunakan teknologi otomatisasi model matematika [6]. Sedangkan Korea berhasil mengintegrasikan kode standar RELAP5 untuk dijadikan sebagai modul dasar simulator menggunakan perangkat lunak LabVIEW [7]. Pengembangan metode alternatif menggunakan *time delay neural network* berhasil diverifikasi oleh IRAN di mana kode standar PARET dan RELAP digunakan dalam verifikasi ini [8]. Perkembangan terkini, Cina mengembangkan simulator PLTN LinAo berbasis RELAP [9] dan menggunakannya sebagai alat pengujian sistem kendali digital baru [10]. Beberapa acuan desain lain melaporkan hasil pengembangan metode, verifikasi, dan validasi. Sehingga acuan ini dapat digunakan juga sebagai acuan dalam mengevaluasi kegiatan pengembangan simulator PLTN PWRI1000 ini.

Tujuan evaluasi ini adalah untuk mengkaji desain simulator PLTN PWRI1000 dan merumuskan kebutuhan pengembangan simulator lebih lanjut. Evaluasi dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu (1) studi pencapaian pengembangan yang sudah dilakukan oleh BATAN, (2) kajian standar *Man Machine Interface* (MMI), (3) studi metode lanjut, dan (4) identifikasi skenario kecelakaan.

2. TEORI

2.1. Kinetika Titik Klasik

Persamaan difusi neutron satu grup bergantung waktu yang melibatkan neutron serempak dan neutron kasip dengan pengaruh umpan balik diabaikan dapat dituliskan dalam persamaan (1) berikut [11].

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \frac{1}{v} \frac{\partial \phi}{\partial t} = D \nabla^2 \phi(r, t) - \Sigma_a \phi(r, t) + v(1 - \beta) \Sigma_f \phi(r, t) + \sum_{i=1}^6 \lambda_i C_i(r, t) \quad (1)$$

di mana:

n	: populasi neutron [neutron/cm ² .s]
Φ	: fluks neutron [neutron/cm ² .s]
t	: waktu [s]
r	: koordinat dalam geometri sembarang [.]
v	: kecepatan neutron [cm/s]
D	: konstanta difusi [cm]
Σ_a	: tampang lintang makroskopik serapan [cm ⁻¹]
v	: jumlah rata-rata neutron yang dihasilkan per fisi [n/fisi]
β	: fraksi neutron kasip [.]
Σ_f	: tampang lintang makroskopik fisi [cm ⁻¹]
λ_i	: konstanta peluruhan untuk grup prekursor neutron kasip ke-i [1/s]
C_i	: densitas prekursor neutron kasip ke-i [n/cm ³ .s]

Solusi dari persamaan (1) adalah sebagai berikut:

$$\frac{\partial n(t)}{\partial t} = \frac{(1 - \beta)K_{eff} - 1}{l_p} n(t) + \lambda C(t) \quad (2)$$

$$\frac{\partial C(t)}{\partial t} = \frac{\beta K_{eff}}{l_p} n(t) - \lambda C(t) \quad (3)$$

di mana:

k_{∞}	: faktor multiplikasi tak hingga [.]
k_{eff}	: faktor multiplikasi efektif [.]
l	: waktu hidup neutron [s]
l_p	: waktu hidup neutron efektif [s]
B_g	: buckling geometri [.]
λ_a	: mean free path [cm]

Persamaan (2) dan (3) adalah persamaan kinetika reaktor satu titik dengan satu grup neutron kasip. Dari sini dapat disimpulkan bahwa fungsi distribusi fluks neutron $\phi(r)$ pada persamaan ini tidak berubah terhadap waktu atau dengan kata lain meskipun besarnya berubah, tetapi profil dari fluks neutron tidak berubah. Secara realistis, sebagai pengganti k_{eff} , perubahan kondisi reaktor dari keadaan kritis dinyatakan oleh satuan reaktivitas (ρ) yakni seperti ditunjukkan oleh persamaan (4) sebagai berikut:

$$\frac{\partial C(t)}{\partial t} = \frac{\beta K_{eff}}{l_p} n(t) - \lambda C(t) \quad (3)$$

Jika reaktivitas [ρ] bernilai positif, maka reaktor berada dalam keadaan superkritis dan bila reaktivitas bernilai negatif, maka reaktor berada dalam kondisi subkritis. Jika seluruh batang kendali yang ada di dalam reaktor ditarik keluar semua, maka reaktivitas lebih pada teras reaktor disebut *core excess reactivity*.

Jika waktu generasi neutron dituliskan sebagai [s], di mana, maka Persamaan (2) dan (3) dapat dinyatakan sebagai:

$$\rho \equiv \frac{k_{eff} - 1}{k_{eff}} \quad (4)$$

$$\frac{\partial n(t)}{\partial t} = \frac{\rho(t) - \beta}{\Lambda} n(t) + \lambda C(t) \quad (5)$$

Untuk 6 grup neutron kasip, maka persamaan kinetika reaktor satu titik dapat dinyatakan dalam persamaan (6) dan (7) berikut:

$$\frac{\partial C(t)}{\partial t} = \frac{\beta}{\Lambda} n(t) - \lambda C(t) \quad (6)$$

$$\frac{\partial n(t)}{\partial t} = \frac{\rho(t) - \beta}{\Lambda} n(t) + \sum_{i=1}^6 \lambda_i C_i(t) \quad (7)$$

2.2. Kopel Neutronik-Termohidrolika

Peningkatan fluks neutron akan meningkatkan energi termal yang dibangkitkan di dalam batang bahan bakar dengan cepat dalam orde mili-detik. Kemudian perpindahan panas terjadi secara konduksi dari bahan bakar ke *cladding* dan konveksi paksa dari *cladding* ke pendingin air. Respon perpindahan panas ini memerlukan waktu beberapa detik. Peningkatan temperatur termal dalam bahan bakar (T_f) akan memperbesar parameter tampang lintang serapan efektif (I) sehingga probabilitas serapan neutron (p) akan makin besar pada daerah resonansi dan hal ini berpengaruh pada penurunan reaktivitas balik akibat perubahan temperatur bahan bakar (*Doppler effect*). Pada saat yang sama selama peristiwa peningkatan temperatur dalam batang bahan bakar, material bahan bakar juga berekspansi (*fuel expansion effect*) yang dapat memperbesar kemungkinan neutron hilang dan terjadi perubahan rasio fluks neutron dalam geometri bahan bakar dan moderator (*flux disadvantage factor*). Dampak *Doppler effect*, *fuel expansion effect* dan *flux disadvantage factor* merupakan reaktivitas balik (*feedback reactivity*) yang perlu diperhitungkan dalam metode kopel neutronik-termohidrolika.

Doppler effect dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{\partial C(t)}{\partial t} = \frac{\beta}{\Lambda} n(t) - \sum_{i=1}^6 \lambda_i C_i(t) \quad (8)$$

di mana nilai probabilitas serapan neutron (p) dan T_f tergantung pada temperatur bahan bakar. Pada saat batang kendali reaktor dinaikkan dan kondisi reaktor beroperasi pada daya rendah sampai tinggi, dampak paling signifikan dari reaktivitas balik adalah *Doppler effect*.

3. METODOLOGI

Studi pencapaian pengembangan simulator mempelajari pengembangan yang telah dilakukan dengan mengidentifikasi modul perhitungan yang telah dikembangkan. Sedangkan kajian standar MMI memastikan bahwa beberapa standar MMI telah diikuti sejauh mungkin. Selanjutnya kajian metode lanjut menelaah publikasi terkait dengan pengembangan metode lanjut yang akan diimplementasikan pada tahap pengembangan simulator menggunakan metode kopel neutronik dan termohidrolika. Perhitungan menggunakan metode kopel dilakukan menggunakan kode TRAC-PF1 dalam kajian metode lanjut ini. Terakhir, kajian skenario kecelakaan mengidentifikasi prioritas skenario kecelakaan yang mungkin dapat disimulasikan oleh simulator.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Studi Pencapaian Pengembangan Simulator

Pencapaian pengembangan simulator PLTN-PWR1000 telah menyelesaikan implementasi metode neutronik untuk menghitung fluks neutron. Perhitungan tambahan yang diperlukan untuk perhitungan fluks neutron adalah:

1. Modul kinetika titik untuk menghitung distribusi neutron berdasarkan reaktivitas total.
2. Modul pustaka kinetika yang menggunakan parameter PLTN acuan, yaitu PLTN PWR Surry-1.
3. Modul nilai reaktivitas batang kendali untuk menghitung nilai reaktivitas dinamik akibat penarikan batang kendali tertentu.
4. Modul reaktivitas lebih (*excess reactivity*) untuk menghitung penurunan reaktivitas lebih karena dampak waktu operasi terhadap *burn-up* bahan bakar.
5. Modul reaktivitas negatif Xenon untuk menghitung pertumbuhan reaktivitas negatif akibat pembentukan Xenon selama operasi.
6. Modul reaktivitas total untuk menghitung reaktivitas total yang menentukan jumlah reaksi fisi.
7. Modul kendali batang kendali,
8. Modul kendali otomatis berdasarkan batas operasi reaktivitas < 100 pcm dan laju daya < 85 MWt/menit.

Sedangkan metode termohidrolika terdiri dari:

1. Modul distribusi temperatur radial bahan bakar untuk menghitung distribusi temperatur *meat*, *cladding*, dan pendingin bahan bakar.
2. Modul sistem suplai uap nuklir (*nuclear steam supply system*, NSSS) untuk menyediakan uap penggerak turbin.

Dengan demikian, pengembangan simulator PLTN-PWR1000 telah mencapai pengembangan 8 modul neutronik dan 2 modul termohidrolika.

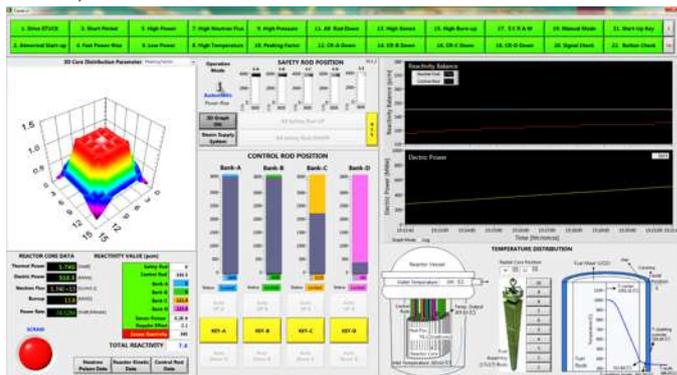
4.2. Kajian standar *Man Machine Interface* (MMI)

Tampilan simulator bertujuan untuk membantu mempercepat proses pembelajaran dan sekaligus menggambarkan MMI reaktor mendekati tampilan RKU PLTN. Oleh karena itu, kajian terhadap banyak standar MMI dilakukan supaya pengembangan simulator lanjut dapat mengikuti standar yang juga dipakai oleh desain RKU PLTN. Beberapa standar yang bisa diacu adalah sebagai berikut:

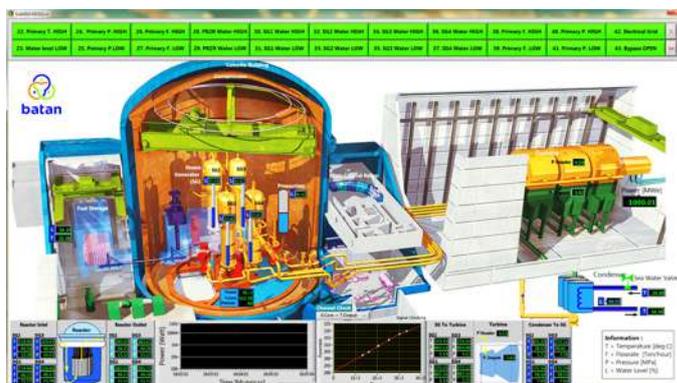
- ISO 6385, 7243, 7250, 7726, 7730, 7933, 8896, 9355-1/3, 941, 10551, 10075, 11399, 12894, 14738, 15534-1/3, tentang standar panduan ergonomika pada industri umum yang dapat diterapkan dalam Ruang Kendali Utama (RKU),
- ISA 5.5, tentang standar simbol grafik untuk tampilan proses pembangkit listrik,
- US NRC NUREG-0700, 0711, 2566, 3371 tentang standar MMI digital maupun analog,
- IEC-964, 60964, 60965, 61772, 61227 tentang standar desain ruang kendali PLTN,
- IAEA SS.75, 372 tentang panduan prinsip dasar dan implementasi sistem komputasi dalam RKU
- IAEA TECDOC-581, 660, 700, 762, 769, 80, 812 tentang panduan keselamatan dalam implementasi sistem komputasi dalam PLTN.

Standar yang banyak terkait dengan pengembangan simulator saat ini adalah ISO 12894, 14738, 15534-1/3, dan ISA 5.5. Standar ini mengatur warna peringkatan, tombol kendali, bentuk komponen proses (seperti pipa, bejana, katub, dan sebagainya) supaya mirip dengan sistem komputasi kendali pembangkit listrik yang sebenarnya. Sedangkan standar IEC, NUREG, maupun IAEA dapat dikaitkan dalam implementasi simulator PLTN PWR1000 menggunakan perangkat keras yang menyerupai RKU sebenarnya

misalnya penggunaan tombol SCRAM, penggerak batang kendali, meter-analog penunjuk (posisi kendali, temperatur, laju alir, tekanan dll).



Gambar 2: Tampilan panel kendali simulator PLTN PWR1000.



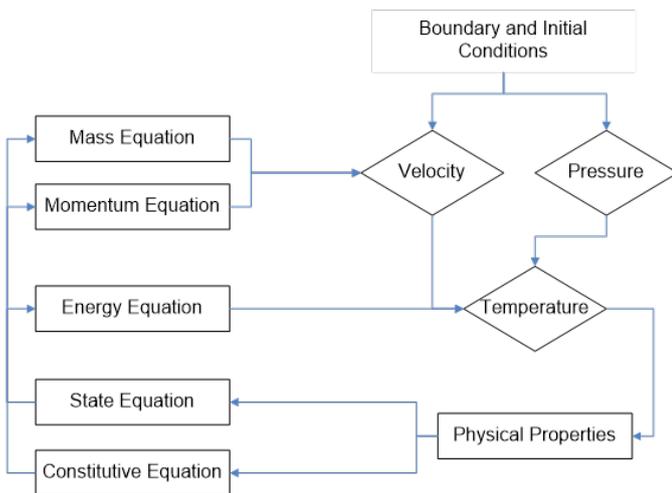
Gambar 3: Tampilan panel NSSS PLTN PWR1000.

Pengaturan organisasi MMI berbasis standar komputasi digital ini telah diterapkan sejauh mungkin dalam panel kendali dan panel NSSS simulator seperti yang terlihat pada Gambar 2 dan Gambar 3. Tampilan pada Gambar 2 dan Gambar 3 dibuat dengan konstruksi realistis dengan tombol kendali RKU PLTN sebenarnya terdiri dari komponen reaktor, pompa utama, *steam generator* dll.

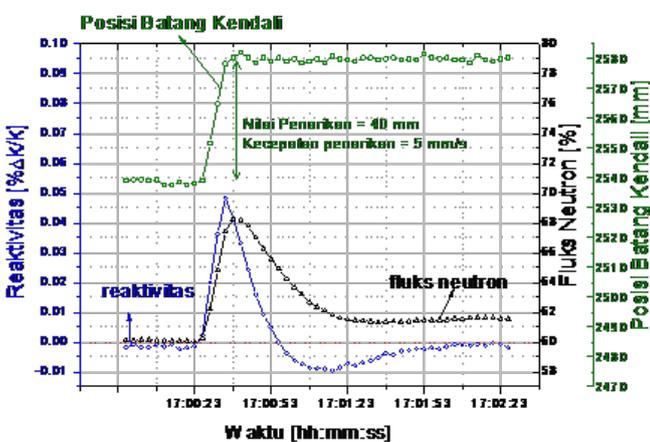
4.3. Studi Metode Lanjut

Penggunaan persamaan kinetika titik masih sangat relevan meskipun menggunakan penyelesaian klasik. Penggunaan persamaan (1) yang mengasumsikan difusi neutron satu grup merupakan penyederhanaan untuk mempercepat perhitungan. Sehingga perhitungan berdasarkan persamaan (2) dan (3) dapat segera diselesaikan menggunakan persamaan (6) dan (7) dengan memasukkan 6 kelompok neutron kasip. Fluks neutron yang diperoleh sudah merupakan jumlah total fluks neutron dan dikonversi ke energi termal menggunakan konstanta.

Studi metode lanjut menentukan metode perhitungan kode TRAC-PF1 [12] sebagai acuan perhitungan metode kopel neutronik dan termohidrolika. Perubahan temperatur akan menyebabkan perubahan faktor multiplikasi efektif dan kemudian menyebabkan perubahan reaktivitas dari sistem [11]. Efek ini memegang peranan penting dalam desain reaktor terutama desain keselamatan melekat (*inherent safety*) yang meliputi: koefisien temperatur, dan koefisien *void*. Konsep penyelesaian kopel metode neutronik dan termohidrolika mengacu pada perubahan temperatur dengan organisasi persamaan (8) seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4: Konsep kopel metode neutronik dan termohidrolika [11].



Gambar 5: Hasil perhitungan dampak penarikan batang kendali pada reaktor riset.

Perhitungan aplikasi metode kopel neutronik dan termohidrolika dilakukan untuk menjadi acuan desain. Gambar 5 memperlihatkan hasil perhitungan dampak penarikan batang kendali pada reaktor riset yang memiliki *Doppler effect* besar terhadap parameter reaktivitas dan fluks neutron. Penarikan batang kendali dilakukan sebesar 40 mm dengan kecepatan penarikan sebesar 5 mm/s.

Dampak dari penarikan batang kendali adalah kenaikan fluks neutron dan reaktivitas. Pada saat penarikan batang kendali berhenti, *Doppler effect* menjadi secara signifikan mendominasi reaktivitas negatif sehingga nilai fluks neutron dapat turun secara drastis. Perhitungan konsep ini dilakukan menggunakan persamaan kinetika titik yang dikopel dengan perbaikan pustaka setelah terjadi kenaikan temperatur bahan bakar dan hal ini layak menjadi model simulasi yang akan dikembangkan pada simulator. Bagaimanapun simulasi ini dapat dilakukan bila simulator sudah menerapkan metode kopel neutronik termohidrolika.

4.4. Identifikasi Skenario Kecelakaan

Hasil pencapaian pengembangan simulator yang sudah dilakukan masih belum memasukkan skenario kecelakaan reaktor. Simulator didesain untuk dapat dioperasikan pada mode *start-up*, *power-rise*, stabil pada daya 100%, dan *shutdown*. Hasil verifikasi perhitungan termal reaktor selama operasi normal ini menggunakan kode standar COBRA-EN menyatakan bahwa perbedaan perhitungan 4,91% [4]. Sehingga pengembangan selanjutnya perlu mempelajari skenario kecelakaan yang layak ditampilkan dan melakukan verifikasi dengan mode kecelakaan.

Skenario kecelakaan yang layak ditampilkan dalam simulator adalah kecelakaan yang tercakup pada kecelakaan desain dasar (*design basic accident*, DBA) maupun kecelakaan melebihi desain dasar (*beyond design basic accident*, BDBA). Kompleksitas dan keperluan penyederhanaan perhitungan menjadi pertimbangan pengembangan simulator lebih lanjut. Kesulitan verifikasi juga menjadi pertimbangan mengingat jumlah skenario kecelakaan yang banyak.

Analisis keselamatan PLTN Zion [12] menjadi acuan utama dalam menentukan prioritas skenario kecelakaan yang perlu dimasukkan dalam pengembangan simulator selanjutnya. Beberapa skenario kecelakaan serta acuan dengan urutan prioritas adalah sebagai berikut:

- *Station blackout* (SBO) [13,14]
- *Loss of Coolant Accident* (LOCA) [15,16]
- *Loss of Flow Accident* (LOFA) [17]
- *Reactivity Insertion Accident* (RIA) [18]

Data skenario kecelakaan dapat diperoleh dari simulator analog PLTN PWR Surry-1 untuk LOCA dengan beberapa level kebocoran pendingin primer dan LOFA. Sedangkan data SBO dan RIA dapat diperoleh dengan simulasi menggunakan RELAP atau kode standar lainnya.

Meskipun verifikasi simulator sudah dilakukan pada kondisi reaktor operasi, simulator perlu diverifikasi ulang pada kondisi kecelakaan. Permasalahan verifikasi menjadi makin kompleks di mana setiap kecelakaan memiliki beberapa tingkat kerusakan. Misalnya LOCA dapat disimulasikan dengan tingkat kebocoran antara 1–100 gallon/menit [19]. Demikian juga rentetan kejadian SBO dan kecelakaan lainnya, juga memiliki karakteristik yang berbeda tergantung pada kondisi kerusakan yang sudah terjadi. Identifikasi skenario kecelakaan menentukan bahwa prioritas pertama skenario kecelakaan adalah SBO karena peristiwa kecelakaan Fukushima yang mudah diingat oleh calon pengguna simulator. Namun moda SBO ini memerlukan fitur simulator tambahan yang dapat mempercepat waktu simulasi yang fleksibel untuk mengetahui hasil perhitungan SBO dengan waktu sesuai keinginan pengguna. Pengembangan skenario kecelakaan jangka panjang perlu memasukkan program kedaruratan nuklir dengan acuan simulator PC-TRAN [20]. Selain itu, juga dilakukan penggunaan simulator untuk pengujian respon operator [21,22,23]. Penggunaan simulator untuk evaluasi keselamatan juga harus memiliki standar tertentu [24] terkait dengan hasil skenario kecelakaan PLTN untuk bahan analisis keselamatan.

5. KESIMPULAN

Hasil evaluasi menentukan bahwa pencapaian pengembangan simulator PLTN-PWR1000 telah menyelesaikan implementasi metode neutronik untuk menghitung fluks neutron. Kajian pelengkap memberikan arah penggunaan standar yang digunakan pada PLTN sebenarnya dan sudah diterapkan pada panel kendali dan panel NSSS. Selanjutnya evaluasi mempelajari skenario kecelakaan dan pengembangan metode berdasarkan metode kopel neutronik-termohidrolika. Skenario kecelakaan yang layak untuk pengembangan lebih lanjut adalah SBO, LOCA, LOFA, dan RIA. Dan setiap kecelakaan memerlukan verifikasi ulang menggunakan kode perhitungan standar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Subekti M, dkk. (2011); *Pengembangan Metode Perhitungan Neutronik Realtime untuk Aplikasi Simulator PLTN PWR-1000*. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir; PTNBR-BATAN, Bandung.
- [2] Subekti M, dkk. (2011); *Implementasi Model Kinetika Titik*

- untuk Simulator PLTN PWR1000. *Prosiding Seminar Nasional ke-17 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir*; BATAN-UNY, Yogyakarta.
- [3] **Subekti M, dkk.** (2012); *Penentuan Distribusi Radial dari Temperatur Bahan Bakar dalam Simulator PLTN-PWR pada Kondisi Tunak*. *Prosiding Seminar Nasional ke-18 Teknologi dan Keselamatan PLTN serta Fasilitas Nuklir*; BATAN-UPI, Bandung.
- [4] **Subekti M.** (2008); *The Assessment of Intelligence Technology for Computer Based Monitoring System and Payback Analysis in NPP*. *Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir*; BATAN, Jakarta.
- [5] **Anonim** (2006); *PCTAN/PWR-Personal Computer Transient Analyzer for a Two-loop PWR. User Manual, Micro-Simulation Technology*; New Jersey, USA.
- [6] **Ponomarev S.N.N, et al.** (1997); *The Development and Creating of New-Generation Full Scope Simulator and New Technology of Simulation*. *Journal of Nuclear Engineering and Design*. Vol.173, pp.349–354.
- [7] **Kim K.D., Uddin R.** (2007); *A Web-Based Nuclear Simulator Using RELAP5 and LabVIEW*. *Journal of Nuclear Engineering and Design*. Vol.237, pp.1185–1194.
- [8] **Khalafi H., Terman M.S.,** (2009); *Development of A Neural Simulator for Research Reactor Dynamics*. *Progress in Nuclear Energy*. Vol.51, pp.135–140.
- [9] **Yang C.Y. et al.** (2009); *Development and Application of A Dual RELAP5–3D Based Engineering Simulator for ABWR*. *Journal of Nuclear Engineering and Design*. Vol. 239, pp.1847–1856.
- [10] **Hou D. et al.** (N.D.); *Development and Application of An Extensible Engineering Simulator for NPP DCS Closed-Loop Test*. *Journal of Annals of Nuclear Energy*. Vol.38, pp.49–55.
- [11] **Lamarsh, J.R., Baratta, A.J.** (2001); *Introduction to Nuclear Engineering Third Edition*; Prentice-Hall: New Jersey.
- [12] **Liles, D.R., Mahaffy, J.H.** (1987); *TRAC-PF1/MOD1 An Advanced Best-Estimate Computer Program for Pressurized Water Reactor Thermal-Hydraulic Analysis*. NUREG/CR-3858.
- [13] **Subekti M.** (2011); *Kajian Termohidrolika Teras PLTN PWR dan BWR Terhadap Kejadian SBO Mengacu pada Kecelakaan Fukushima*. *Prosiding Seminar Nasional ke-17 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir*; Yogyakarta, Indonesia.
- [14] **Subekti M. dkk.** (2011); *Analisis Pendingin Sirkulasi Alam pada Teras dan Kolam Penyimpanan Bahan Bakar Bekas PWR1000*. *Prosiding Seminar Nasional ke-17 Teknologi dan Keselamatan PLTN serta Fasilitas Nuklir*; Yogyakarta, Indonesia.
- [15] **Subekti M., Darwis M.I.,** (2010); *Kajian Desain Termohidrolika Subkanal PLTN-PWR untuk Mitigasi SBLOCA dan Pemanfaatan Teknik CFD*. *Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir*; Jakarta, Indonesia.
- [16] **Yang J.H., et.al.** (2012); *LBLOCA Analysis for The Maashan PWR-NPP Using TRACE*. *Journal of Energy Procedia*, Vol.14, pp.292–297.
- [17] **Omid N.K., et.al.** (2014); *Full Scope Thermal-Neutronic Analysis of LOFA in a WWER-1000 Reactor Core by Coupling PARCS v.2.7 and COBRA-EN*. *Journal of Progress in Nuclear Energy*, Vol.74, pp.193–200.
- [18] **Hursin M., et.al.** (2013); *Impact of Improved Neutronic Methodology on The Cladding Response During a PWR Reactivity Initiated Accident*. *Journal of Nuclear Engineering and Design*, Vol. 262, pp.180–188.
- [19] **Subekti M. dkk.** (2009); *Sensitivitas Sistem Monitoring Menggunakan Neuro-Expert untuk Mendeteksi LOCA pada PWR*. *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar IPTEK Nuklir*; Yogyakarta.
- [20] **Cheng Y.H. et.al.** (2012); *Introducing PCTAN as An Evaluation Tool for NPP Emergency Response*. *Journal of Annals of Nuclear Energy*, Vol.40, pp.122–129.
- [21] **Jang I. et.al.** (2011); *Development of an Evaluation Method for The Quality of NPP MCR Operator Communication Using Work Domain Analysis (WDA)*, *Journal of Annals of Nuclear Energy*, Vol.38, pp.1264–1273.
- [22] **Jang I. et.al.** (2013); *An Empirical Study on The Basic Human Error Probabilities for NPP Advanced MCR Operation Using Soft Control*. *Journal of Nuclear Engineering and Design*, Vol.257, pp.79–87.
- [23] **Lin M., et.al.** (2010); *Main Control System V&V and Validation of NPP Digital I&C System Based on Engineering Simulator*. *Journal of Nuclear Eng. & Design*, Vol.240, pp.1887–1896.
- [24] **Cheng Y., et.al.** (2014); *Quality Assurance for A NPP Simulator by Applying Standards for Safety-Critical Software*. *Journal of Progress in Nuclear Energy*, Vol.70, pp.128–133.



KINERJA CODE_SATURNE PADA KOMPUTASI PARALEL MULTI CORES PC

Bintoro Aji¹, M. Tahril Aziz¹

IP2STPIBN, Badan Pengawas Tenaga Nuklir

e-mail: b.aji@bapeten.go.id, m.tahrilaziz@bapeten.go.id

ABSTRAK

Simulasi aliran fluida dengan metode CFD memerlukan sumber daya komputasi yang besar, diantaranya CPU, memori, media penyimpanan dan *bandwidth* I/O. Ketersediaan perangkat komputer dengan beberapa CPU di dalamnya dapat digunakan untuk menyediakan sumber daya CPU yang diperlukan oleh CFD guna meningkatkan waktu simulasi, sehingga waktu yang diperlukan menjadi lebih sedikit. Hal ini dapat dilakukan dengan metode komputasi paralel memori bersama (*Shared Memori Machine*). Kajian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa jauh optimalisasi beberapa CPU dalam satu perangkat komputer dapat dilakukan dengan menggunakan metode komputasi paralel SMM untuk mensimulasikan permasalahan CFD. Komputer yang digunakan adalah sebuah komputer pribadi (PC) dengan prosesor AMD FX 8150 yang mempunyai 8 (delapan) CPU dan memori 32 GB. Perangkat lunak CFD yang digunakan adalah Code_Saturne yang merupakan perangkat lunak kode terbuka (*open source* software). Code_Saturne sudah tervalidasi untuk berbagai permasalahan pada reaktor nuklir. Permasalahan CFD yang digunakan pada kajian ini adalah permasalahan dasar yaitu aliran di sekitar *bluff body* dan *stratified flow*. Hal pertama mewakili permasalahan CFD dengan geometri dan mesh yang lebih rumit sedangkan permasalahan kedua lebih sederhana. Hasil kajian menunjukkan bahwa penggunaan seluruh CPU secara paralel tidak memberikan hasil yang lebih baik daripada penggunaan sebagian CPU. Jumlah optimal penggunaan CPU secara paralel adalah antara 3 dan 4. Penggunaan CPU yang lebih banyak akan memberikan peningkatan kecepatan yang tidak signifikan, bahkan penurunan kecepatan juga dapat terjadi.

Kata kunci: CFD, komputasi paralel, Code_Saturne

ABSTRACT

Fluid flow simulation using CFD methodology requires substantial computational resources, such as CPU, memory, storage media and I/O bandwidth. The availability of computer set with multiple built in CPUs could be used to provide the CPU resource needed by CFD to improve the simulation speed, so that the time needed for the simulation could be reduced. This could be achieved using the parallel computational method with shared memory (Shared Memory Machine). This assessment was performed to investigate the optimization of multiple CPU in one computer set for parallel computation using SMM method in simulating the CFD problems. Computer set used was a PC with AMD FX 8150 processor that had 8 (eight) CPUs and 32 GB memory. The CFD software used was Code_Saturne which was an open source CFD software. Code_Saturne had been validated for many nuclear reactor problems. The CFD problems used in this assessment were the basic problems i.e. flow around bluff body and stratified flow. The former represented a CFD problem with more complicated geometry and mesh compared to the latter. The result showed that the use of all CPUs in parallel would not give a better result than use of some CPUs. The optimal use of CPU in parallel was 3 and 4. The use of more CPUs would not give a significant improvement in simulation speed, even the reduction of the speed could also happen. Thus, the simulation of CFD problems could be optimized using a maximum of four CPUs in the SMM method.

Key words: CFD, parallel computation, Code_Saturne

1. PENDAHULUAN

Computational Fluid Dynamic (CFD) merupakan metode untuk menyelesaikan permasalahan aliran fluida berdasarkan persamaan Navier Stokes melalui simulasi numerik [1]. Simulasi aliran fluida dan interaksi dengan lingkungannya dilakukan dengan menggunakan komputer. Penyelesaian persamaan Navier-Stokes memerlukan penyederhanaan sesuai dengan permasalahan yang ditinjau. Demikian juga dengan lingkungan atau geometri aliran fluida, dapat juga disederhanakan. Meskipun demikian, penyederhanaan geometri ini paling tidak masih menyisakan dua dimensi, ditambah dimensi waktu pada permasalahan transient. Dengan penyederhanaan persamaan Navier Stokes dan geometri tersebut, CFD masih memerlukan sumber daya komputasi yang besar, terutama CPU, RAM, dan media penyimpanan serta *bandwidth* I/O.

Perkembangan kemampuan CFD dan permasalahan yang dapat diselesaikannya memerlukan perangkat komputer yang semakin baik. Komputer dengan kinerja yang tinggi akan sangat mem-

bantu dalam mempercepat simulasi dan memungkinkan simulasi yang lebih lengkap, rinci dan akurat. Selain itu, dengan metode komputasi saat ini, dimungkinkan penggunaan komputer secara paralel untuk meningkatkan kinerjanya. Penggunaan komputasi paralel dapat mengurangi waktu simulasi secara signifikan. Komputasi paralel ini pada umumnya diperoleh dengan menggunakan banyak CPU komputer yang disusun sedemikian hingga dapat menggabungkan kemampuan seluruh CPU secara bersamaan.

Perkembangan teknologi komputer memungkinkan peningkatan kecepatan pemrosesan data melalui frekuensi *clock* secara signifikan. Teknologi prosesor juga memungkinkan ditanamkannya beberapa CPU dalam satu keping prosesor dan menyediakan perangkat komputer pribadi (PC) dengan banyak CPU di dalamnya. Kemampuan komputer ini tentu berbeda dengan komputer yang hanya mempunyai satu CPU. Karena itu, tujuan dari kajian ini adalah untuk menguji kemampuan komputer pribadi dengan banyak CPU ini dalam menjalankan perangkat lunak CFD. Secara

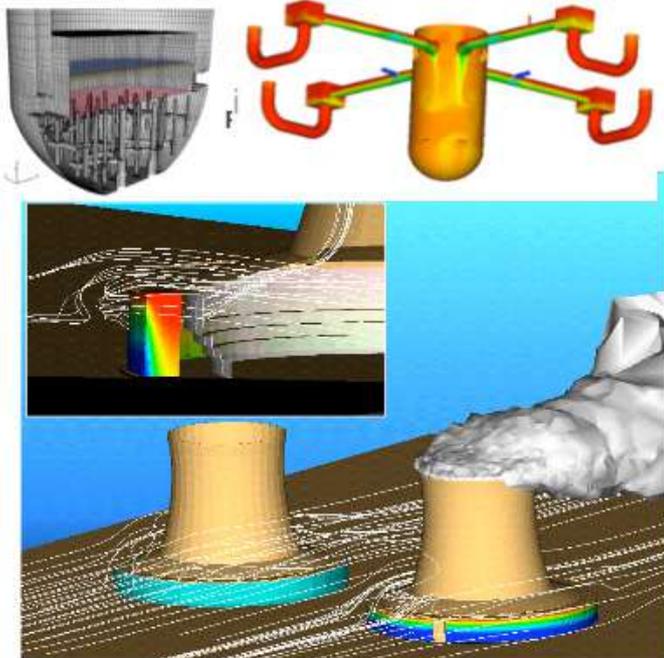
teoritis, komputer jenis ini dapat digunakan untuk komputasi secara paralel dengan memanfaatkan jumlah prosesor yang tersedia. Pada kondisi ini, diperkirakan waktu simulasi dapat dipercepat sesuai dengan jumlah prosesor yang digunakan secara paralel. Selain itu, perlu diketahui hubungan antara jumlah CPU dan kecepatan simulasi, terutama dalam menjalankan perangkat lunak CFD.

2. METODE

Kajian ini dilakukan dengan mensimulasikan dua permasalahan standar CFD yaitu aliran di sekitar *bluff body* dan *stratified flow* pada komputer multi prosesor. Masing-masing permasalahan disimulasikan dengan menggunakan satu sampai delapan prosesor. Penggunaan satu prosesor merupakan pembandingan yang menunjukkan bahwa komputasi dilakukan tidak secara paralel. Waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan simulasi kemudian dicatat dan dianalisis.

2.1. Code_Saturne

Code_Saturne adalah perangkat lunak CFD kode terbuka (*open source*) yang dikembangkan oleh EDF (*Electricite de France*) sejak tahun 1997. Code_Saturne dilepas ke masyarakat luas pada tahun 2007 dengan status *open source software* (OSS) dan lisensi GPL. Sebagai perangkat lunak CFD, Code_Saturne sudah dilengkapi dengan fitur untuk komputasi paralel dengan menggunakan modul MPI (*multiple passing interface*), sebuah modul komputasi paralel yang sudah banyak digunakan. Perangkat lunak ini dapat dijalankan pada sistem operasi berbasis Unix, seperti Linux, Macintosh, dan Solaris. Code_Saturne hanya dapat menjalankan model geometri 3 dimensi, sehingga setiap model yang disimulasikan dengan perangkat lunak ini harus dibuat dalam 3 dimensi. Code_Saturne sudah divalidasi dan banyak digunakan untuk analisis CFD pada reaktor nuklir [2]. **Gambar 1** menunjukkan beberapa penggunaan Code_Saturne untuk analisis pada reaktor nuklir.



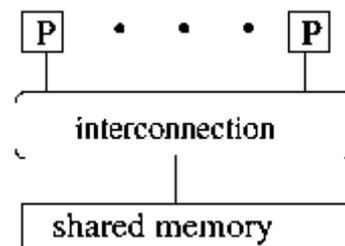
Gambar 1: Beberapa penerapan Code_Saturne untuk PLTN [2]

2.2. Komputasi paralel

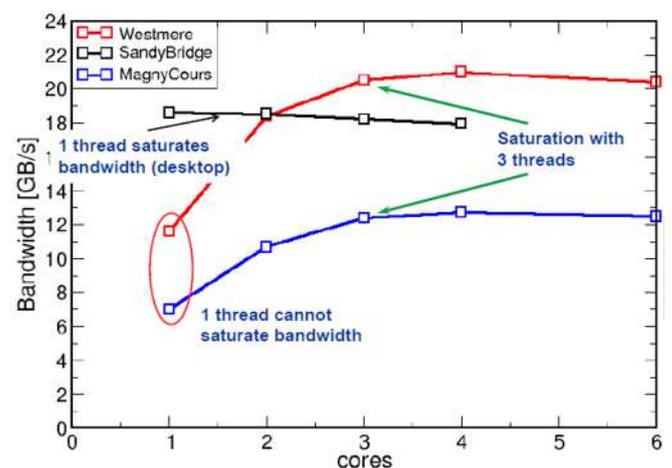
Pada dasarnya komputasi paralel adalah pembagian tugas komputasi ke dalam beberapa tugas yang lebih kecil yang dapat dijalankan secara independen oleh beberapa prosesor yang berbeda secara bersamaan untuk mempercepat penyelesaian [3,4]. Kebutuhan akan komputasi paralel semakin bertambah dengan berkembangnya perangkat lunak berskala besar dan didukung oleh perkembangan

teknologi komputer dan jaringan. Saat ini komputasi paralel sudah digunakan dalam berbagai bidang, diantaranya komputasi ilmiah, prakiraan cuaca, industri, pengolahan citra, perbankan, dan bahkan permainan (*game*).

Perkembangan teknologi komputer saat ini memungkinkan digunakannya banyak CPU dalam satu komputer dan menggunakan memori secara bersama-sama. Sejalan dengan itu, standar industri yang berkembang untuk komputasi atau pemrograman paralel adalah *shared memory machine* (SMM) atau mesin dengan memori bersama seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2**. Pada standar ini, beberapa CPU menggunakan memori yang sama untuk melaksanakan proses komputasi, sehingga keterbatasan metode ini adalah pada ukuran memori. Jika memori tidak mencukupi, maka akan dapat mengakibatkan terjadinya *bottle neck* dan saturasi pada jalur I/O [5]. Hal ini disebabkan karena memori selain digunakan secara bersama-sama oleh CPU, juga oleh perangkat lunak lain, terutama sistem operasi. Selain itu, beberapa komputer dapat disusun ke dalam cluster komputasi paralel sehingga dapat menggunakan CPU dalam jumlah banyak untuk mempercepat simulasi. Metode ini disebut *distributed memory machine* (DMM). Code_Saturne juga sudah digunakan untuk komputasi paralel model DMM ini dan menunjukkan kinerja yang baik.



Gambar 2: Bagan komputasi paralel SMM [4]



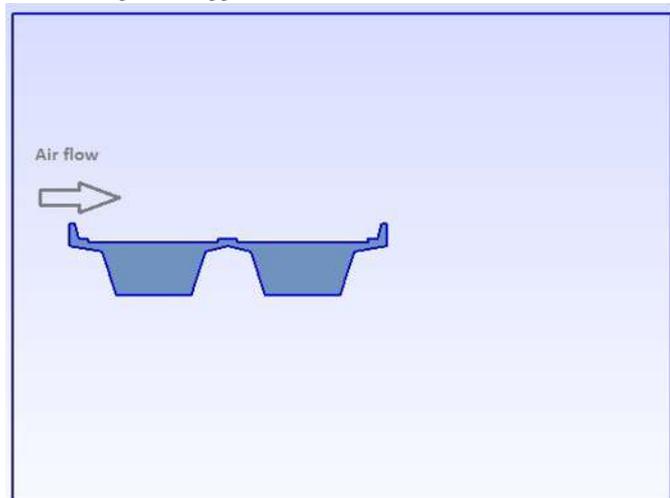
Gambar 3: Saturasi pada komputasi paralel SMM [5]

Untuk dapat memanfaatkan CPU pada komputasi paralel, diperlukan dukungan pemrograman yang sesuai. Standar pemrograman komputasi paralel yang banyak digunakan adalah *Message Passing Interface* (MPI) [4]. MPI disusun sebagai pustaka pemrograman yang mendukung bahasa C, C++, FORTRAN 77, dan FORTRAN 95. MPI mendefinisikan tata bahasa untuk pola komunikasi standar untuk komputasi paralel, tetapi tetap membiarkan implementasi rincinya terbuka. Dengan demikian, pustaka MPI dapat diimplementasikan secara khusus, misalnya pada perangkat keras tertentu, untuk keperluan optimalisasi.

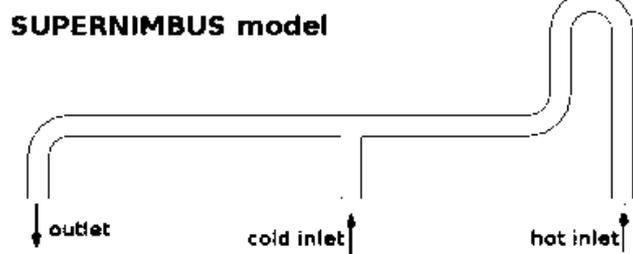
Komputer yang digunakan pada komputasi ini adalah komputer pribadi dengan prosesor AMD FX 8150 "Bulldozer" yang mempunyai delapan CPU. Kedelapan CPU ini dapat bekerja secara independen dan dapat menjalankan instruksi-instruksi secara ber-

samaan. Secara awam, komputer ini sering disebut dengan *multi-core* PC. Memori yang digunakan adalah 32 GB. Memori sebesar ini diperkirakan cukup untuk simulasi yang dijalankan. Memori ini akan digunakan bersama-sama oleh CPU, dengan demikian sistem paralel yang disusun dari komputer ini adalah model SMM.

Code_Saturne sebagai perangkat lunak CFD, sudah menerapkan pemrograman paralel untuk mendukung komputasi paralel. Sejak versi 2.0, kemampuan komputasi paralel sudah merupakan fitur melekat pada Code_Saturne. Pemilihan jumlah prosesor yang digunakan dapat dilakukan pada saat penyusunan input. Pembagian mesh kedalam partisi-partisi komputasi paralel dilakukan dengan metode *space filling curve*. Meskipun demikian, penggunaan modul partisi lain dapat juga digunakan, misalnya Scotch dan Metis. Geometri yang digunakan pada simulasi ini ditunjukkan pada **Gambar 4**. *Bluff body* yang digunakan pada kajian ini menggunakan mesh tidak terstruktur. Sementara model *stratified flow* adalah pipa dengan dua cabang masukan, masing-masing untuk air panas dan air dingin, menggunakan mesh terstruktur.



a. Geometri bluff body

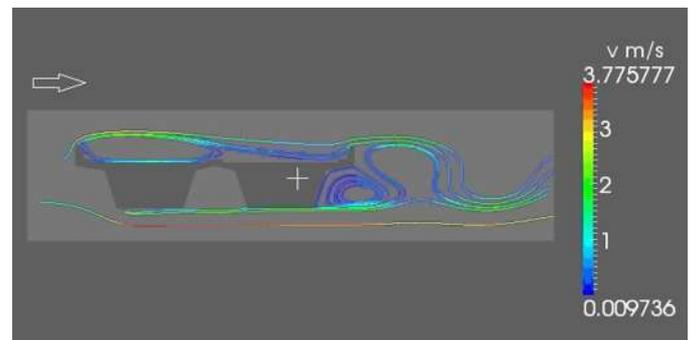


b. Geometri stratified flow

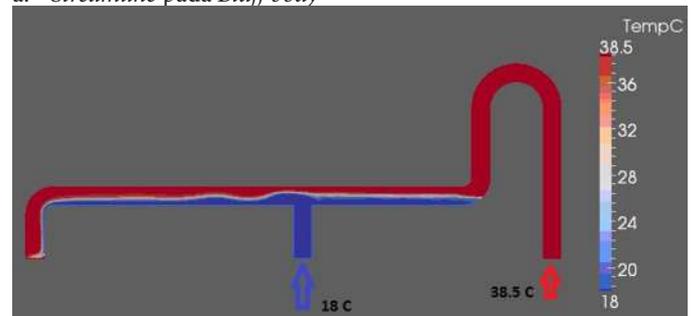
Gambar 4: Geometri model simulasi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi CFD pada perangkat komputer paralel SMM ditunjukkan pada **Gambar 5**. **Gambar 5a** menunjukkan *stream line* aliran pada *bluff body*. **Gambar 5b** menunjukkan distribusi temperature pada simulasi *stratified flow*. Simulasi memerlukan memori maksimum 2 GB atau 6.25% dari memori komputer. Pada pengamatan, temperatur CPU maksimum adalah 44°C yang merupakan temperatur normal pada kondisi terbebani. Temperatur maksimum yang diijinkan adalah 61°C. Dengan demikian, temperatur CPU masih jauh dari batas maksimum yang diijinkan.

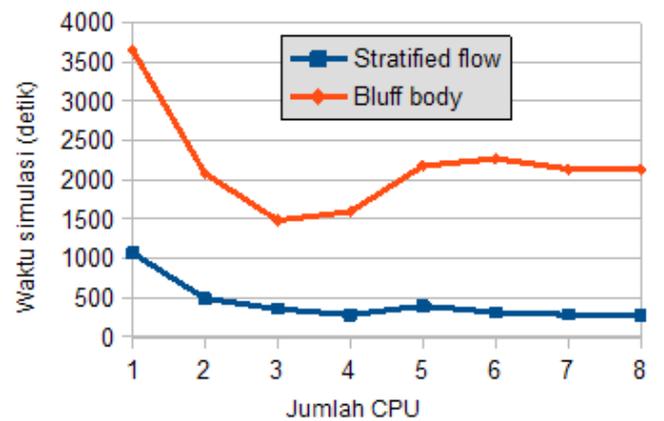


a. Streamline pada Bluff body

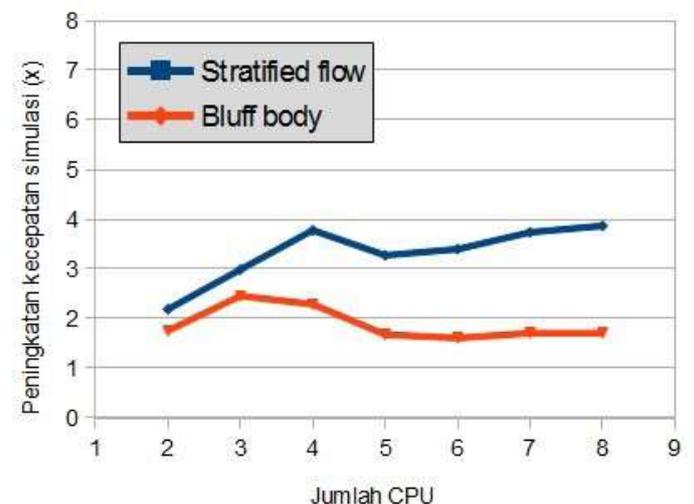


b. Stratified flow

Gambar 5: Hasil simulasi.



Gambar 6: Grafik waktu simulasi vs jumlah CPU



Gambar 7: Peningkatan kecepatan simulasi pada komputasi paralel

Pada simulasi *bluff body*, penggunaan 5 sampai 8 CPU akan memberikan waktu simulasi yang kurang lebih sama dengan penggunaan 2 CPU dan peningkatan kecepatan sekitar 1,7 kali dibandingkan dengan penggunaan satu CPU. Dengan demikian, efisiensi 5 sampai 8 CPU akan lebih rendah dari pada penggunaan 2 CPU secara paralel, terutama terkait dengan penggunaan daya listrik. Apalagi penggunaan 3 CPU secara paralel memberikan waktu simulasi yang lebih baik.

Kondisi yang hampir sama dapat diamati pada simulasi *stratified flow*. Akan tetapi, dalam hal ini, penggunaan 5 sampai 8 CPU memberikan waktu simulasi yang hampir sama dengan penggunaan 4 CPU. Peningkatan kecepatan pada kondisi ini adalah sekitar 3,7 kali. Meskipun demikian, penggunaan 8 CPU akan memberikan efisiensi yang lebih rendah.

Fenomena seperti tersebut di atas menunjukkan adanya saturasi pada saluran input/output prosesor yang digunakan yang merupakan hal yang lazim pada komputer dengan banyak prosesor di dalamnya. Titik awal saturasi ini tidak sama, tergantung pada permasalahan yang disimulasikan. Faktor yang terutama mempengaruhi titik awal saturasi adalah ukuran permasalahan CFD dalam jumlah mesh. Jumlah mesh ini mempengaruhi jumlah memori yang digunakan pada komputer, karena mesh merupakan sel-sel perhitungan yang merupakan anggota matrik dalam penyelesaian numerik suatu permasalahan. Bertambahnya mesh akan menambah ukuran matrik tersebut, sehingga akan menambah jumlah memori yang diperlukan dan data yang akan ditransfer. Kondisi ini mempercepat terjadinya saturasi pada prosesor. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa Code_Saturne dikembangkan secara tidak optimal untuk komputasi paralel SMM, tetapi kemungkinan dapat bekerja optimal pada DMM.

4. KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa:

1. Komputasi paralel dengan menggunakan komputer *multi-core* dapat mempersingkat waktu simulasi CFD Code_Saturne. Peningkatan kecepatan simulasi tergantung pada permasalahan yang disimulasikan.
2. Prosesor yang digunakan pada simulasi di atas menunjukkan kinerja yang secara umum baik, tetapi mempunyai titik saturasi sesuai dengan permasalahan yang disimulasikan, sehingga penggunaan seluruh CPU tidak direkomendasikan.
3. Untuk dapat mengoptimalkan penggunaan komputer, penggunaan CPU secara paralel dibatasi sampai 4 CPU saja.
4. Code_Saturne tidak dioptimalkan untuk komputasi paralel

SMM.

5. Penerapan CFD pada reaktor nuklir memerlukan sumber daya CPU yang besar, karena itu perlu dilakukan kajian komputasi paralel metode DMM dengan komputer tersebut untuk mendapatkan peningkatan kecepatan yang lebih baik lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] **Tu J., Yeoh G. H., Liu C.** (2013); *Computational Fluid Dynamics: A Practical Approach*; Elsevier.
- [2] **Fournier Y** (2008); *EDF's Code_Saturne and Parallel I/O, STFC Daresbury Laboratory Paralel I/O Workshop*; STFC Daresbury, UK.
- [3] **Liu Y** (2011); *Hybrid Parallel Computation of OpenFOAM Solver on Multi-Core Cluster Systems, Master Thesis of Information and Communication Technology*; KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Swedia.
- [4] **Rauber, T., Rünger, G.**, (2012); *Parallel Programming for Multi-Core and Cluster System, 2nd edition*; Springer.
- [5] **Hager, G., Wellein, G.**, (2012); *Performance Engineering on Multi and Many-Cores, Tutorial at Saudi Arabian High Performance Computing Conference*; KAUST, Thuwal, Saudi Arabia.



Seminar Keselamatan Nuklir 2014 Makalah Penyaji Poster Bidang Instalasi dan Bahan Nuklir

Prosiding
Seminar
Keselamatan
Nuklir
2014

KEBIJAKAN PEMERINTAH TERHADAP KESELAMATAN REAKTOR DAYA KOMERSIAL (PLTN)

Bambang Riyono, Yanuar Wahyu Wibowo, Yudi Pramono, Dahlia Cakrawati Sinaga

Direktorat Peraturan Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir-Badan Pengawas Tenaga Nuklir
e-mail: b.riyono@bapeten.go.id

ABSTRAK

Perkembangan industri di Indonesia yang semakin pesat pada akhirnya memberikan dampak terhadap perlunya sumber energi yang masif dan berkelanjutan. Salah satu aplikasi sumber energi yang masif dan berkelanjutan adalah dengan pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Namun demikian kejadian kecelakaan parah PLTN Fukushima Daiichi memicu timbulnya polemik yang semakin kuat di tengah masyarakat tentang perlunya pemanfaatan PLTN tersebut. Kondisi tersebut mendorong perlunya kebijakan pemerintah terkait pemanfaatan PLTN yang lebih ketat dan berimbang dalam mensikapi kecelakaan tersebut, sehingga dari kebijakan tersebut diharapkan aspek keselamatan tetap menjadi prioritas utama dengan tetap mendorong iklim investasi tetap kondusif, sehingga tidak menghambat rencana pihak yang berkepentingan dalam pembangunan PLTN. Dalam makalah ini akan disajikan tinjauan studi literatur terkait kebijakan persyaratan keselamatan pada reaktor daya komersial (PLTN) berdasarkan regulasi ketenaganukliran dan tindak lanjut yang telah dilakukan oleh pemerintah dalam mensikapi kejadian kecelakaan PLTN Fukushima Daiichi sehingga diharapkan mampu memberikan tingkat kepercayaan yang tinggi kepada masyarakat adanya kepastian terhadap tercapainya keselamatan pada tingkat tertinggi dan tetap mendorong pemanfaatan PLTN di Indonesia.

Kata kunci: kebijakan, persyaratan keselamatan, regulasi.

ABSTRACT

Industrial development in Indonesia is growing rapidly which finally has an impact on the need for massive and sustainable energy sources. One of application sustainable and massive energy source is with the use of Nuclear Power Plant (NPP). However, severe accident of the Fukushima Daiichi nuclear power plant triggers significant increasingly of the polemic in the public regarding the need for the utilization of the plant. These conditions encourage government policies to the utilization of nuclear power plants more tightly and balanced in addressing the accident, so that aspect of the policy is expected to remain a highest level safety while encouraging investment climate remains conducive, so it does not prohibit plans of stakeholders in the construction of nuclear power plant. In this paper will be presented review of literature related policies on the safety requirements of commercial power reactors (NPP) based on nuclear regulatory and action plan that has been done by the government in addressing Fukushima Daiichi nuclear plant accidents that are expected to provide a high level of confidence to the people on the certainty of the achievement of safety at the highest level and continue to promote the use of nuclear power plants in Indonesia.

Keywords: policy, safety requirement, regulation.

1. PENDAHULUAN

Kondisi perekonomian global yang semakin membaik sejak terjadinya krisis ekonomi pada tahun 2009 secara tidak langsung juga memberikan dampak terhadap kondisi energi secara global. Kebutuhan energi primer kembali meningkat sebesar 5% pada tahun 2010, yang mendorong peningkatan emisi CO₂ menjadi lebih tinggi. Subsidi energi fosil meloncat lebih dari USD 400 juta seiring dengan peningkatan harga minyak dunia dan kecenderungan perilaku konsumsi yang tidak efisien. Ketersediaan akses listrik masih menjadi masalah dunia, diperkirakan ada sekitar 1,3 miliar penduduk atau setara dengan 20% dari total populasi di dunia yang belum mendapatkan akses terhadap listrik. Ketersediaan listrik juga akan menjadi masalah baru mengingat sejak terjadinya bencana reaktor nuklir Fukushima Daichi, beberapa negara yang telah memiliki pembangkit listrik tenaga nuklir mengeluarkan kebijakan untuk menghentikan pengoperasian pembangkit tenaga nuklir, sementara negara yang berencana untuk membangun pembangkit tenaga nuklir berusaha mempertimbangkan kembali pembangunannya dan memprioritaskan penggunaan sumber-sumber energi lain dalam rangka memenuhi kebutuhan listrik yang semakin meningkat. [1]

Kondisi tersebut mendorong perlunya kebijakan pemerintah terkait pemanfaatan PLTN yang lebih ketat dan berimbang dalam mensikapi kecelakaan tersebut, sehingga dari kebijakan tersebut diharapkan aspek keselamatan tetap menjadi prioritas utama dengan tetap mendorong iklim investasi tetap kondusif, sehingga tidak menghambat rencana pihak yang berkepentingan dalam pembangunan PLTN. Kebijakan pemerintah dalam makalah ini didasarkan pada Peraturan Pemerintah dan konvensi yang telah diratifikasi oleh Pemerintah Indonesia sebagai betuk implementasi arah kebijakan yang terhadap persyaratan keselamatan PLTN, yang pada akhirnya diharapkan mampu memberikan tingkat kepercayaan yang tinggi kepada masyarakat adanya kepastian terhadap tercapainya keselamatan pada tingkat tertinggi dan tetap mendorong pemanfaatan PLTN di Indonesia.

2. METODOLOGI

Kajian dalam makalah ini akan menggunakan metodologi kajian literatur terhadap status perkembangan PLTN di dunia setelah kejadian Fukushima dan implementasinya dalam peraturan perundang-undangan ketenaganukliran yang telah ada di Indonesia,

khususnya Peraturan Pemerintah dan juga konvensi yang telah diratifikasi oleh pemerintah Indonesia terkait persyaratan keselamatan PLTN yang merupakan bentuk implementasi kebijakan pemerintah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Status Perkembangan PLTN di Dunia Setelah Kecelakaan Fukushima

Kecelakaan nuklir di manapun selalu memperburuk kepercayaan publik terhadap teknologi PLTN. Di Indonesia tingkat penerimaan terhadap nuklir sempat mencapai 59,7% sebelum peristiwa Fukushima. Angka itu lalu jatuh ke angka 49,5% pasca kecelakaan Fukushima tahun 2011. Namun perlahan angka itu naik menjadi 52,9% menjelang akhir 2012. Di Jepang, dari 52 unit PLTN yang ada hanya dua yang beroperasi. Selebihnya ditempatkan pada posisi *idle*, menunggu keputusan boleh-tidaknya dioperasikan lagi. Dampak sosial dihentikannya mayoritas PLTN di Jepang sudah dirasakan masyarakatnya, seperti naiknya biaya energi dan terhambatnya ekonomi di negeri yang 30% energinya bergantung kepada nuklir. PM Shinzo Abe yang sekarang memerintah terkesan sangat hati-hati mengenai kelanjutan PLTN tersebut, walaupun mayoritas walikota di daerah dalam radius 30 km setuju PLTN beroperasi lagi. Ia mengatakan bahwa pihaknya akan mengkaji-ulang keinginan PM sebelumnya untuk menutup semua PLTN Jepang. Abe bahkan mengatakan dalam wawancara TV pertamanya setelah terpilih bahwa ia akan membangun PLTN desain baru yang jauh lebih aman untuk membangun perekonomian Jepang. Namun begitu, bicara tentang PLTN merupakan hal yang sangat sensitif di Jepang. Tampaknya, keputusan untuk *me-restart* 50 PLTN yang sedang menganggur itu akan sulit dilakukan sebelum bulan Juli 2013, saat mana Majelis Tinggi Jepang yang baru akan terbentuk dan bersidang. Bulan Juli itu juga merupakan tenggat waktu bagi Badan Pengawas Nuklir Jepang, yang merupakan badan baru dan independen, menyusun aturan terkini mengenai persyaratan operasinya PLTN di Jepang. Sementara itu, upaya Jepang untuk mengeksport PLTN ke luar negeri terus dilakukan. Sebagaimana diberitakan Media Indonesia, 12 Februari, Jepang membidik Saudi Arabia sebagai tujuan ekspor PLTN nya. Sebelumnya Jepang telah mengikat *deal* dengan Vietnam.

Di Jerman, keputusan untuk menutup PLTN semakin mendapat dukungan pasca Fukushima. Listrik dari nuklir dibebani pajak yang tidak dikenakan kepada moda pembangkitan listrik lain. Pajak yang ditimpakan karena “menimbulkan rasa ketakutan” itu tentu saja berbau diskriminatif, dan dijadikan cara mudah untuk menambah devisa. Baru-baru ini pajak kontroversial tersebut dinyatakan oleh pengadilan pajak Hamburg sebagai “inkonstitusional” dan diajukan ke Mahkamah Konstitusi.

Hikmah dari semua itu adalah semakin hebatnya pengembangan energi terbarukan (ET). Tentu saja ini hal ini baik bagi diversifikasi energi dan lingkungan hidup. Tapi menafikan energi nuklir menjadi beban yang cukup mahal. Kini mereka harus mengimpor listrik lebih banyak dari negara tetangga seperti Perancis, yang nota bene menghasilkan hampir 80% listriknya dari nuklir. Permasalahannya lain dengan ET yang digunakan di sana adalah bahwa sumbernya berada di utara, sedangkan sebagian besar industri berada di selatan, sehingga muncul biaya transmisi tambahan. Belum lagi sifat ET yang tidak stabil tergantung keadaan cuaca, intermiten, dan umumnya berkapasitas rendah. Skema *feed-in tariff* yang diterapkan di sana ujung-ujungnya membebankan konsumen juga.

Negara Inggris dan Amerika Serikat nyaris tidak terpengaruh oleh kecelakaan nuklir Fukushima. China dan Korea sempat terpengaruh sesaat, namun setelah kaji-ulang terhadap keselamatan, mereka semakin memantapkan program PLTN. UEA, Turki,

Bangladesh dan Vietnam jalan terus dengan pembangunan proyek PLTN mereka. Sementara tahap persiapan di negara jiran seperti Malaysia, Filipina, Thailand, terus berjalan. Memang kebutuhan energi yang sejalan dengan pertumbuhan penduduk dan ekonomi di tengah-tengah terkurasnya sumber daya bahan bakar fosil, merupakan suatu yang tidak bisa dihindari. Menurut Laporan Dewan Energi Dunia (WEC) semakin mahalnya harga energi akhir-akhir ini ditambah resesi global, ketidakmenentuan politik dan perubahan iklim, telah mengurangi kekhawatiran para pemimpin energi dunia terhadap PLTN. Laporan itu juga menyebutkan bahwa pengembangan ET dan peningkatan efisiensi energi merupakan teknologi yang perlu diupayakan. Laporan itu dibuat berdasarkan survei terhadap para menteri, CEO, dan pakar energi dari 90 negara. [2]

3.2. Kebijakan Pemerintah Indonesia terkait keselamatan PLTN

Sebagai salah satu instrumen dalam menilai kebijakan yang telah diambil oleh Pemerintah Indonesia terkait kebijakan persyaratan keselamatan pada reaktor daya komersial adalah melalui regulasi ketenaganukliran dan konvensi yang telah diratifikasi oleh Pemerintah Indonesia. Terkait dengan hal tersebut maka ada 2 (dua) peraturan pemerintah dan 1 (satu) konvensi yang mengatur tentang hal tersebut yaitu:

3.3. Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir. [3]

Kebijakan pemerintah yang dituangkan dalam peraturan pemerintah ini dimaksudkan sebagai upaya awal untuk menempatkan persyaratan keselamatan pada tingkat tertinggi terpenuhi oleh pemohon izin PLTN, dalam peraturan pemerintah tersebut menyatakan bahwa Pembangunan, Pengoperasian, dan Dekomisioning PLTN dilaksanakan oleh badan usaha milik negara, koperasi, dan/atau badan usaha yang berbadan hukum, setelah berkonsultasi dengan Dewan Perwakilan Rakyat Republik Indonesia, dengan kriteria:

- semua struktur, sistem, dan komponen yang penting untuk keselamatan dalam Reaktor Nuklir telah teruji pada lingkungan yang relevan atau sesuai dengan kondisi operasi, dan diterapkan dalam purwarupa; dan
- telah diberikan izin operasi secara komersial oleh badan pengawas dari negara yang telah membangun Reaktor Daya komersial.

Selain dari hal tersebut terdapat beberapa persyaratan dalam memperoleh izin mulai dari tahap tapak sampai dekomisioning. Persyaratan teknis untuk memperoleh izin Tapak meliputi laporan pelaksanaan Evaluasi Tapak, laporan pelaksanaan sistem manajemen Evaluasi Tapak, Daftar Informasi Desain (DID), dan dokumen yang memuat data utama Reaktor Nuklir. Pada tahap konstruksi persyaratan teknis yang dipersyaratkan meliputi laporan analisis keselamatan, dokumen batasan dan kondisi operasi, dokumen sistem manajemen, DID, program proteksi dan keselamatan radiasi, dokumen sistem seifgard, dokumen rencana proteksi fisik, program manajemen penuaan, program Dekomisioning, program kesiapsiagaan nuklir, program Konstruksi, dan izin lingkungan dari menteri yang menyelenggarakan urusan pemerintahan di bidang perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup. Selain dari persyaratan tersebut juga harus menyampaikan laporan analisis keselamatan probabilistik. Kemudian Persyaratan teknis untuk memperoleh izin Komisioning meliputi laporan analisis keselamatan, dokumen batasan dan kondisi operasi, program Komisioning, program perawatan, program proteksi dan keselamatan radiasi, dokumen sistem seifgard, dokumen rencana proteksi fisik, dokumen sistem manajemen, program manajemen penuaan, program De-

komisioning, program kesiapsiagaan nuklir, laporan pelaksanaan izin lingkungan sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan di bidang perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup, laporan hasil kegiatan Konstruksi; dan gambar teknis Reaktor Nuklir terbangun. Sedangkan persyaratan teknis untuk memperoleh izin operasi meliputi laporan analisis keselamatan, dokumen batasan dan kondisi operasi, program proteksi dan keselamatan radiasi, program perawatan, dokumen sistem seifgard, dokumen rencana proteksi fisik, dokumen sistem manajemen, program Dekomisioning, program kesiapsiagaan nuklir; dan laporan pelaksanaan izin lingkungan sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan di bidang perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup. Untuk persyaratan teknis untuk memperoleh izin Dekomisioning meliputi program Dekomisioning, program proteksi dan keselamatan radiasi, program kesiapsiagaan nuklir; dan dokumen sistem manajemen.

3.4. Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir. [4]

Kebijakan pemerintah yang dituangkan dalam peraturan pemerintah ini dimaksudkan untuk memastikan bahwa keselamatan selama pembangunan PLTN dilakukan dengan selamat, maka pemegang izin PLTN diwajibkan untuk melakukan pemantauan tapak instalasi nuklir pada tahap konstruksi, komisioning, operasi, dan dekomisioning yang meliputi pemantauan karakteristik bahaya akibat kejadian alam dan kejadian ulah manusia terhadap keselamatan instalasi nuklir, termasuk juga pemantauan tapak terhadap kemampuan tapak untuk menerima buangan panas selama tahap operasi, selanjutnya diwajibkan juga melakukan solusi rekayasa apabila dari hasil pemantauan tapak pada tahap konstruksi, komisioning, atau operasi ditemukan bahaya yang signifikan terhadap keselamatan instalasi nuklir.

Selama konstruksi instalasi nuklir wajib dilaksanakan dengan didasarkan pada desain yang memenuhi prinsip dasar keselamatan nuklir yang meliputi keselamatan inheren, penghalang ganda, margin keselamatan, redundansi, keragaman, kemandirian, gagal-selamat, dan kualifikasi peralatan.

Desain PLTN harus memenuhi persyaratan umum desain yang meliputi keandalan struktur, sistem, dan komponen, kemudahan operasi, inspeksi, perawatan, dan pengujian, kesiapsiagaan dan penanggulangan kedaruratan nuklir, kemudahan dekomisioning, proteksi radiasi, faktor manusia, dan penuaan. Di samping itu juga diwajibkan untuk menetapkan rencana deteksi penuaan struktur, sistem, dan komponen sebelum kegiatan komisioning dimulai.

Selama pelaksanaan operasi instalasi nuklir wajib ditetapkan batasan dan kondisi operasi, prosedur operasi, program perawatan, surveilan, dan inspeksi; dan program manajemen penuaan.

Selama tahap konstruksi, komisioning, dan operasi instalasi nuklir diwajibkan juga untuk melaksanakan verifikasi dan penilaian keselamatan.

3.5. Konvensi keselamatan nuklir

Konvensi keselamatan nuklir pada prinsipnya merupakan komitmen bersama secara global, untuk mencapai dan mempertahankan kualitas keselamatan nuklir yang tinggi di seluruh dunia, melalui peningkatan langkah-langkah atau kegiatan yang dilakukan secara nasional, dan kerjasama internasional. Konvensi keselamatan nuklir disetujui pada tanggal 17 Juni 1994 melalui konferensi diplomatik yang diselenggarakan oleh IAEA. Konvensi dibuka untuk penandatanganan pada tanggal 20 September 1994, yaitu pada saat sidang umum IAEA yang ke-38. Indonesia menandatangani konvensi keselamatan nuklir pada tanggal 20 September 1994, seiring dengan upaya pembaharuan UU tentang ketenaganukliran di Indonesia waktu itu. Sesuai Pasal 31 ayat 1 kon-

vensi keselamatan nuklir berlaku setelah diratifikasi oleh 22 negara. Ketentuan tersebut telah tercapai sejak 24 Oktober 1996, dan saat ini terdapat 56 negara peserta konvensi termasuk Indonesia. Indonesia telah meratifikasi konvensi keselamatan nuklir dengan Keputusan Presiden No. 106 Tahun 2001, dimasukkan dalam deposit instrumen of ratification 12 April 2002, dan ditetapkan sebagai negara pihak pada konvensi ini sejak 11 Juli 2002. Terdapat sejumlah kewajiban dari negara pihak yang didasarkan pada prinsip-prinsip yang terdapat pada dokumen *Safety Fundamental IAEA "the Safety of Nuclear Installations"*. Kewajiban-kewajiban negara pihak tersebut meliputi, tapak, desain, konstruksi, pengoperasian, ketersediaan dana yang cukup dan sumber daya manusia, penilaian dan verifikasi keselamatan, jaminan mutu, dan tanggap darurat.

Indonesia telah menjadi negara pihak konvensi keselamatan nuklir, laporan nasional pertama pelaksanaan konvensi keselamatan nuklir secara nasional telah dikoordinasikan dan dikirim oleh BAPETEN September 2004 untuk review meeting ke-3, pada bulan April 2005, di mana setiap *National Report* disusun setiap 3 (tiga) tahun sekali. Sebelum setiap *review meeting* yang diselenggarakan, negara-negara pihak menyerahkan laporan nasional masing-masing tentang semua fasilitas nuklir mereka dan bagaimana mereka memenuhi kewajiban yang diatur dalam konvensi. Laporan nasional ini kemudian diulas oleh negara pihak lain dan diperdebatkan secara terbuka serta dibuka kemungkinan setiap negara pihak untuk memberikan pertanyaan dan kritik.

Adapun tujuan dari konvensi keselamatan nuklir menyebutkan:

1. untuk mencapai dan memelihara derajat keselamatan nuklir yang tinggi di seluruh dunia, melalui peningkatan langkah nasional dan kerjasama internasional, termasuk kerjasama teknik yang berkaitan dengan keselamatan;
2. bilamana perlu untuk menetapkan dan memelihara pertahanan yang efektif pada setiap instalasi nuklir, terhadap potensi bahaya radiologi untuk melindungi individu, masyarakat, dan lingkungan dari akibat yang merugikan dari radiasi pengion dari instalasi tersebut; dan
3. untuk mencegah terjadinya kecelakaan yang mempunyai akibat radiologis, dan mengurangi akibat tersebut jika kecelakaan itu terjadi.

Pasca kejadian kecelakaan PLTN Fukushima Daiichi, Pemerintah Indonesia melakukan rencana tindak terkait aspek-aspek dalam keselamatan nuklir antara lain meliputi: (i) *safety assessment in the light of the accident at TEPCO's Fukushima Daiichi nuclear power station* yang memuat kajian yang telah diambil terkait kelemahan pada keselamatan PLTN berdasarkan kecelakaan reaktor nuklir Fukushima Daiichi, (ii) IAEA *peer reviews* yang memuat penguatan *peer reviews* dalam rangka memaksimalkan keuntungan untuk negara anggota, (iii) *emergency preparedness and response* yang memuat penguatan kedaruratan nuklir, (iv) *national regulatory bodies* yang berisi penguatan terhadap keefektifan badan pengawas, (v) *operating organizations* yang mengusulkan penguatan organisasi pengoperasi terkait dengan keselamatan nuklir, (vi) IAEA *safety standards* yang memuat kajian dan penguatan terhadap standar IAEA dan peningkatan dalam penerapannya, (vii) *international legal framework* yang memuat peningkatan keefektifan kerangka kerja terkait elemen legal internasional, (viii) *member states planning to embark on a NPP* yang memuat usulan fasilitas pengembangan infrastruktur yang dibutuhkan negara anggota dalam mengembangkan program PLTN, (ix) *capacity building* yang mencakup penguatan dan menjaga *capacity building*, (x) *protection of people and the environment from ionizing radiation* yang berisi kepastian perlindungan yang saat ini ada terhadap masyarakat dan lingkungan dari radiasi pada saat kedaruratan nuklir, (xi) *communication and information dissemination* yang memuat penguatan transparansi dan keefektifan komunikasi dan penyebaran

informasi, serta (xii) *research and development* yang memuat pemanfaatan hasil penelitian dan pengembangan secara efektif.

Selain itu telah dimunculkan pengaturan dalam analisis keselamatan nuklir yang memuat *multi event beyond design basis accident* dalam setiap analisis keselamatan instalasi nuklir. [5,6,7,8,9]

Dari perkembangan situasi di dunia terkait PLTN setelah kejadian kecelakaan Fukushima pada akhirnya mendorong adanya peningkatan sistem keselamatan dalam rangka meningkatkan kembali kepercayaan publik terhadap penggunaan PLTN. Peraturan Pemerintah yang telah diterbitkan maupun dari Konvensi yang telah diratifikasi oleh Pemerintah Indonesia dapat dipastikan bahwa Pemerintah Indonesia telah mengikuti perkembangan terkini terkait aspek keselamatan terhadap PLTN dan terus berpartisipasi aktif untuk mendorong keselamatan PLTN pada level tertinggi. Kebijakan Pemerintah Indonesia merupakan salah satu upaya pemerintah untuk memberikan kepastian dalam pengusahaan pemanfaatan tenaga nuklir yang berdampak pada peningkatan kesejahteraan rakyat

4. KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa:

1. Arah kebijakan pemerintah terkait keselamatan PLTN adalah berusaha untuk memberikan tingkat keyakinan yang tinggi akan tercapainya keselamatan pada pembangunan dan pengoperasian PLTN.
2. Pemerintah Indonesia secara langsung berperan aktif di dunia internasional dalam upaya meningkatkan status keselamatan pembangunan dan pengoperasian PLTN.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] **Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral** (2012); *Kajian Indonesia Energy Outlook*; Jakarta.
- [2] **Aziz, F.** (2013); *Nuklir Pasca Fukushima*; BATAN, Jakarta.
- [3] **Sekretariat Negara**, (2014); *Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir*; Jakarta.
- [4] **Sekretariat Negara**, (2014); *Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir*, Jakarta
- [5] **Riyono, B.** (2014); *Implementasi Konvensi Keselamatan Nuklir Pasca Kecelakaan Fukushima Berdasarkan Regulasi Ketenaganukliran. Jurnal Pengawasan Tenaga Nuklir*, 28–36.
- [6] **IAEA** (1994); *INFCIRC/449 Convention on Nuclear Safety*; IAEA, Vienna.
- [7] **IAEA**, (2011); *Draft IAEA Action Plan on Nuclear Safety GOV/2011/59-GC(55)/14*; IAEA, Vienna.
- [8] **BAPETEN**, (2012); *“Indonesian National Report for 2nd Extraordinary Meeting of Convention of Nuclear Safety”*; Jakarta.
- [9] **BAPETEN**, (2013); *“National Report on Compliance to Convention on Nuclear Safety for 6th Review Meeting of Convention of Nuclear Safety*; Jakarta.



Seminar Keselamatan Nuklir 2014 Makalah Penyaji Poster Bidang Instalasi dan Bahan Nuklir

Prosiding
Seminar
Keselamatan
Nuklir
2014

KOMPETENSI DASAR UNTUK KUALIFIKASI PETUGAS KESELAMATAN KEKRITISAN PADA INSTALASI NUKLIR NONREAKTOR

Imron, Ardiyani Eka P

Badan Pengawas Tenaga Nuklir
i.imron@bapeten.go.id

ABSTRAK

Telah dilakukan penentuan usulan kompetensi dasar kualifikasi petugas keselamatan kekritisan. Keselamatan kekritisan merupakan salah satu aspek penting dalam analisis keselamatan Instalasi Nuklir Non Reaktor (INNR). Kondisi kritis berpotensi terjadi pada INNR apabila jumlah bahan nuklir yang ditangani mencapai massa kritis. Kondisi kritis tersebut harus dihindari karena akan menyebabkan paparan sangat tinggi terhadap pekerja yang dapat berakibat fatal. Hal ini disebabkan karena pada umumnya INNR tidak didesain dengan perisai yang mampu menahan radiasi neutron dan gamma yang dihasilkan dari kondisi kritis tersebut. Belajar dari kecelakaan yang terjadi pada fasilitas pemrosesan bahan bakar nuklir di fasilitas JCO-Tokaimura, Jepang, dengan faktor penyebab utama adalah manusia, maka Pengusaha Instalasi Nuklir (PIN) harus menunjuk petugas keselamatan kekritisan yang berkualifikasi dan memiliki pengetahuan tentang keselamatan kekritisan, standar keselamatan, pedoman dan peraturan yang terkait, serta mengenal operasi instalasi. Kewajiban PIN tersebut telah diatur dalam pasal 71 Perka BAPETEN 11/2007 tentang Ketentuan Keselamatan INNR. Hingga saat ini BAPETEN sebagai badan pengawas yang mempunyai tugas di antaranya adalah melakukan sertifikasi Petugas Instalasi dan Bahan Nuklir namun belum mengatur lebih rinci mengenai kompetensi dasar yang harus dimiliki oleh Petugas Keselamatan Kekritisannya. Oleh karena itu dalam makalah ini dirumuskan kompetensi dasar yang harus dimiliki oleh Petugas Keselamatan Kekritisannya yang merupakan hasil tinjauan terhadap beberapa dokumen referensi dari badan pengawas tenaga nuklir lainnya yang ada di dunia. Hasil rumusan kompetensi dasar antara lain jumlah kompetensi 58 kompetensi. Materi pelatihan terdiri dari 10 materi antara lain ilmu teori nuklir, metoda perhitungan, data dan percobaan kekritisan, peraturan, standar dan pedoman, evaluasi keselamatan kekritisan analisis dan kontrol keselamatan, sistem deteksi dan alarm, praktek akuntabilitas, materi magang di fasilitas dan pengetahuan proses fasilitas. Lama waktu pelatihan paling kurang 82 jam untuk permohonan kualifikasi baru dan 40 jam untuk requalifikasi

Kata kunci: kekritisan, petugas, INNR, kompetensi, kualifikasi, pelatihan.

ABSTRACT

Proposed basic competence for safety criticality officer has been determined. Criticality Safety is one important aspect in the analysis of Non Nuclear Reactors Instalation (INNR) safety. Critical condition was occurring in a number of nuclear materials when the materials reached a critical mass. Critical conditions are to be avoided because it will lead to very high exposure of workers and it can be fatal. This is because in most cases of INNR design without shield that is able to protect the neutron and gamma radiation resulting from critical condition. Learning to accident criticality in Tokaimura JCO facility, Japan, which the main cause is the human factor, the operator shall designate a qualified criticality safety officer and that have knowledge of safety criticality, safety standards, guidelines and regulations, and well known in the operation of the installation. The operator must obey in article 71 BAPETEN chairman decree No. 11 in 2007 about the Provisions of the INNR Safety. Until now, the nuclear agency as BAPETEN has the task to certificate the Nuclear Instalation and material officer. But the detail basic competence of the Criticality Safety Officer is not yet regulated. Therefore in this paper proposed the basic competence of the Criticality Safety Officer with reviewing on such reference documents. The basic competence consist of 58 competences. The training subject consist of 10 subject such as nuclear theory, calculational methods, critical eksperiment and data, rules and standar, nuclear criticality safety evaluation, safety analysis and control, criticality alarm system or detection system, acountabilty practices, hands on experimentaly training, process/faclity knowledge. The Training needs 82 hours for new aplication and 40 hours for requalification.

Keywords: Criticality, officers, INNR, competence, qualifications, training.

1. PENDAHULUAN

Fasilitas Instalasi nuklir non roeaktor mempunyai potensi terjadinya kecelakaan kekritisan. Sejarah mencatat terjadinya kecelakaan di instalasi pengolahan bahan fisil di JCO (Japan Nuclear Fuel Conversion Company) Jepang [1]. Dari hasil laporan awal kecelakaan investigasi IAEA tahun 1999 menyatakan bahwa kecelakaan pada fasilitas pengolahan bahan bakar nuklir di JCO Tokaimura disebabkan terutama akibat kesalahan manusia yang mengabaikan prinsip-prinsip keselamatan sehingga terjadi kekritisan. Kecelakaan ini mengakibatkan paparan berlebih dari beberapa pekerja,

dua di antaranya dilaporkan menderita sindrom radiasi akut sangat parah, dan yang lain untuk tingkat yang moderat. Kecelakaan ini diklasifikasikan oleh pemerintah Jepang sebagai Level 4 pada skala INES (International Nuclear Event Scale) tanpa ada bahaya ke luar tapak.

Fasilitas Instalasi Nuklir Non Reaktor (INNR) tidak di desain dengan menggunakan perisai yang mampu menahan radiasi neutron dan gamma pada kondisi kritis. Proteksi atau tindakan dari fasilitas untuk mencegah kekritisan dilakukan dengan mengatur jarak, jumlah, massa dan prosedur administrasi. Hal ini wajar kare-

na pada fasilitas produksi bahan bakar nuklir interaksi pekerja dan material bahan bakar sangat dekat, dan probabilitas akan terjadinya kekritisitas juga sangat ditentukan oleh faktor jarak, jumlah atau massa bahan fisil. Dengan kenyataan ini maka aspek kepatuhan pekerja terhadap prosedur serta keefektifan prosedur sangat menentukan tingkat keselamatan fasilitas. Kejadian di JCO Tokaimura sebagai bukti bahwa prosedur dan kompetensi pekerja menjadi penyebab kecelakaan tersebut.

Amanah Pasal 71, Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 11 Tahun 2007 tentang ketentuan keselamatan Instalasi Nuklir Non Reaktor [2], mengharuskan pengusaha instalasi menunjuk petugas keselamatan kekritisitas. Pada pembahasan ini lingkup petugas keselamatan kekritisitas hanya khusus untuk fasilitas nuklir non reaktor yang memiliki potensi terjadinya kekritisitas. Tahapan operasi fasilitas yang mempunyai potensi terjadinya kekritisitas antara lain tahap komisioning, operasi dan dekomisioning.

Dari alasan itu perlu ditunjuk suatu petugas keselamatan kekritisitas yang kompeten pada fasilitas tersebut. BAPETEN perlu menetapkan standar kompetensi petugas tersebut. Masalah kompetensi itu menjadi penting, karena kompetensi menawarkan suatu kerangka kerja organisasi yang efektif dan efisien.

Dengan dibuatnya standar kompetensi petugas keselamatan kekritisitas maka diharapkan dihasilkan petugas yang berkualifikasi dan memiliki pengetahuan tentang keselamatan kekritisitas, standar keselamatan, pedoman dan peraturan yang terkait, dan mengenal operasi instalasi. Petugas tersebut bertanggung jawab dalam pengembangan prosedur operasi yang terkait dengan keselamatan kekritisitas; dan memeriksa dan mengesahkan semua operasi yang memerlukan kendali kekritisitas.

Hingga saat ini BAPETEN belum menetapkan peraturan yang mengatur lebih rinci mengenai petugas keselamatan kekritisitas. Oleh karena itu dalam makalah ini dirumuskan usulan persyaratan kualifikasi dan ketentuan pelatihan kualifikasi beserta kompetensi dasar yang harus dimiliki oleh petugas keselamatan kekritisitas.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kekritisitas pada Fasilitas INNRR

Fasilitas INNRR sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 2 tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir [3], meliputi fasilitas yang digunakan untuk pemurnian, konversi, pengayaan bahan nuklir, fabrikasi bahan bakar nuklir dan/atau pengolahan ulang bahan bakar nuklir bekas; dan/atau fasilitas yang digunakan untuk menyimpan Bahan Nuklir dan Bahan Bakar Nuklir Bekas. Pada fasilitas tersebut terdapat bahan fisil yang mempunyai potensi terjadinya kekritisitas yang tidak dikehendaki dan tak terkendali. Kondisi yang mempengaruhi kekritisitas antara lain: konsentrasi (pengkayaan), masa dan volume bahan fisil, jarak (spacing) antar bahan bakar atau wadah, keberadaan bahan moderator di sekitar material fisil, keberadaan bahan penyerap neutron, dan lain-lain [4]. Di samping itu bentuk dan ukuran wadah juga berkontribusi terhadap faktor perlipatan neutron (Keff). Pada volume yang sama, wadah (misal silinder, kotak) yang memiliki luas permukaan minimum akan menghasilkan kebocoran neutron yang lebih kecil, yang selanjutnya memberikan faktor perlipatan yang lebih besar. Ukuran wadah harus menjadi pertimbangan untuk memperkecil potensi kekritisitas.

Potensi bahaya kekritisitas terdapat pada tahap-tahap proses fabrikasi maupun pada fasilitas gudang penyimpanan bahan bakar sebelum dikirim ke fasilitas reaktor. Material mengandung fisil yang berupa serbuk, cairan (larutan) ataupun bahan gagal (scrap) dimasukkan dalam suatu wadah. Sedangkan plat bahan bakar dan produk akhir elemen bakar segar dimasukkan dalam kotak yang terbuat dari logam dan disimpan dalam rak. Gudang penyimpan

panan dapat dengan kondisi tanpa moderator (udara sekitar) dan kondisi ada moderator (terbanjiri air).

Rekomendasi keselamatan secara umum terhadap pencegahan kecelakaan kritisitas pada pabrikan bahan bakar uranium termuat dalam pedoman IAEA Safety Standards No. SSG-6 [4]. Rekomendasi tersebut mencakup aspek keselamatan pada tahap evaluasi tapak, desain, konstruksi, komisioning, operasi dan dekomisioning. Pada analisis keselamatan kekritisitas, batas keselamatan faktor perlipatan neutron (keff) tidak boleh melebihi 0,9 [5]. Kritisitas dapat terjadi jika harga keff sama dengan atau melebihi satu.

Pendekatan grading approach juga diterapkan pada fasilitas INNRR, sesuai dengan desain dan resiko sehingga perlu fleksibilitas dalam mengkaji aspek keselamatan kekritisitas. Pada fasilitas INNRR terdapat potensi signifikan pada keselamatan operator terutama terkait bahaya terjadinya kekritisitas. Sedangkan untuk mencegah dari sisi pekerja adalah kemampuan pekerja mengenal dan menjalankan prosedur. Selain itu keefektifan prosedur dan kendali administrasi juga menjadi faktor yang menentukan dalam pencegahan kekritisitas.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kompetensi Dasar Petugas Kekritisitas

Kompetensi dasar petugas kekritisitas adalah kemampuan untuk menerapkan keahlian, pengetahuan, dan sikap kerja dalam melaksanakan tugas dalam aspek keselamatan kekritisitas nuklir. Kompetensi tersebut tercakup dalam 10 materi [6]. Kompetensi ini akan menjadi dasar pijakan dalam menentukan jumlah soal, jenis soal, silabus pelatihan dan jam pelatihan. Berikut rincian kompetensi untuk petugas keselamatan kekritisitas.

3.1.1. Materi Teori Nuklir

3.1.1.1. Proses Fisi

Petugas harus dapat:

- Mendefinisikan istilah-istilah berikut: energi eksitasi, tampang lintang, bahan fisil, bahan fisi, bahan fertil.
- Membuat sketsa tampang lintang fisi untuk kedua ^{235}U dan ^{239}Pu sebagai fungsi dari energi neutron. Memberikan label pada masing-masing daerah energi yang signifikan dan menjelaskan implikasi dari bentuk kurva untuk keselamatan kekritisitas.
- Menjelaskan mengapa hanya inti radioaktif berat yang mudah membelah.
- Menjelaskan mengapa ^{235}U dapat membelah dengan neutron thermal dan ^{238}U hanya dapat membelah dengan neutron cepat.
- Mengelompokkan produk fisi menurut massa dan radioaktivitas.
- Menentukan kondisi sub-kritis, kritis, super-kritis.
- Menentukan reaktivitas dan menjelaskan bagaimana hal itu diukur.
- Menjelaskan rumus enam-faktor dan istilah yang digunakan di dalamnya.
- Menjelaskan bagaimana neutron tunda mempengaruhi reaktivitas.
- Menjelaskan dampak dari faktor-faktor berikut yang relevan dengan keselamatan kekritisitas operasi: massa, interaksi, geometri, moderasi, refleksi, konsentrasi, volume, penyerap neutron dan pengayaan.

3.1.1.2. Interaksi berbagai jenis radiasi dengan Materi

Petugas harus dapat:

- Menggambarkan interaksi berikut dengan materi: partikel alfa, partikel beta, positron, dan neutron.
- Menjelaskan cara radiasi gamma berinteraksi dengan materi: hamburan Compton, efek fotolistrik, produksi pasangan.

3.1.1.3. Interaksi Neutron

- Menjelaskan penggunaan racun neutron.
- Menjelaskan karakteristik penyerapan unsur-unsur berikut dalam halampang lintang: cadmium, boron, klorin, gadolinium, dan hidrogen.
- Menjelaskan tujuan dan penggunaan Raschig Rings sebagai racun neutron

3.1.2. Materi Metoda Perhitungan

Petugas harus dapat:

- Mengidentifikasi dan menjelaskan penerapan beberapa metode perhitungan dengan tangan secara umum.
- Memilih salah satu teknik perhitungan tangan (*buckling method*, *solid angle*, atau area densitas) dan mempersiapkan contoh penggunaannya.
- Mengembangkan model input untuk salah satu program perhitungan keselamatan kekritisan (misal, Monk, VIM, KENO/SCALE, MCNP, DANTSYS, ANISN, COG).
- menjelaskan bagaimana dampak dataampang lintang terhadap perhitungan Monte Carlo dan perhitungan deterministik.
- Menjelaskan pentingnya validasi program komputer dan bagaimana hal itu dilakukan.
- Menggambarkan metodologi yang mendukung kode Monte Carlo dan kode deterministik.
- Menjelaskan pitfalls pada perhitungan Monte Carlo.
- Mendiskusikan kekuatan dan kelemahan program Monte Carlo dan Discrete Ordinants.
- Memahami bahwa teori model difusi ini tidak sepenuhnya berlaku untuk menyelesaikan masalah sistem fisil dalam hal adanya penyerapan neutron, void, dan batas material. Dalam konteks keterbatasan ini, petugas harus mampu mengidentifikasi sistem fisil yang mempunyai solusi teori difusi secara memadai.

3.1.3. Materi Data dan Percobaan Kekritisan

Petugas harus dapat:

- Menjelaskan jenis data yang berasal dari percobaan kekritisan dan penggunaannya dalam keselamatan kekritisan.
- Berpartisipasi dalam percobaan kekritisan.
- Mendiskusikan kecelakaan kekritisan yang pernah terjadi dan faktor penyebabnya.

3.1.4. Materi Aturan, Standar dan Panduan

Petugas harus dapat :

- Memahami peraturan antara lain :
 - Peraturan Pemerintah No 2 Tahun 2014
 - Perka BAPETEN II Tahun 2007
 - Perka BAPETEN 6 Tahun 2013
- Memahami standar antara lain :
 - Standar ANSI/ANS-8.1, Keselamatan kekritisan nuklir dalam Operasi dengan fisi Bahan nuklir selain di Reaktor.
 - Standar ANSI/ANS-8.7, Panduan untuk Keselamatan Kekritisan Nuklir di Penyimpanan bahan bakar
 - Standar ANSI/ANS-8.20, Pelatihan Keselamatan Nuklir Kekritisan.

3.1.5. Materi Evaluasi Keselamatan Kekritisan Nuklir

Petugas harus dapat :

- Mengembangkan kontinjensi analisis, batasan dan kontrol.
- Menjelaskan personil kunci yang diperlukan untuk membantu dalam persiapan evaluasi keselamatan kekritisan dan penentuan upsets proses.
- Menjelaskan bagaimana margin subkritis dan batas yang ditentukan.
- Menjelaskan saat validasi dan bias estimasi harus dipertimbangkan.
- Menjelaskan kriteria khusus yang perlu dipertimbangkan keti-

ka mengevaluasi berbagai proses fisi.

- Menjelaskan elemen yang perlu dipertimbangkan ketika menyusun Laporan Analisis Keselamatan
- Menjelaskan pengaruh kehadiran bahan non-fisi dicampur dengan, atau kontak dengan, bahan fisi pada keselamatan kekritisan nuklir.
- Menjelaskan konsep kontinjensi untuk memeriksa validitas batas dan kontrol keselamatan kekritisan.
- Mendiskusikan metode yang digunakan dalam perhitungan keselamatan kekritisan, suku sumber, transportasi ke lingkungan, dan kegiatan penilaian dosis termasuk model komputer yang umum digunakan.

3.1.6. Materi Kontrol dan Analisis Keamanan

Petugas harus dapat:

- Mengidentifikasi dan mendiskusikan elemen-elemen penting dari teknik penilaian risiko deterministik dan probabilistik.
- Mengidentifikasi dan membahas metode yang digunakan untuk menentukan dan menganalisis mode kegagalan.
- Menjelaskan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi dan mengkategorikan bahaya yang berhubungan dengan sistem nuklir.
- Menjelaskan istilah yang berhubungan dengan penilaian risiko probabilistik: probabilitas, keandalan, ketersediaan, ketidakterediaan, risiko, keselamatan, urutan kecelakaan, kontributor dominan, dan minimal *cut set*.

3.1.7. Materi Sistem Alarm Kekritisan dan Sistem Deteksi Kekritisan

Petugas harus dapat

- Melakukan evaluasi penempatan dan menentukan cakupan area untuk sistem alarm atau sistem detektor di fasilitas mereka.
- Menjelaskan istilah-istilah berikut: kecelakaan kekritisan, Hal-hal minimum yang harus diperhatikan di dalam proses.
- Menjelaskan prinsip-prinsip umum yang terkait dengan penggunaan alarm kekritisan/deteksi kekritisan termasuk: instalasi, cakupan, deteksi, alarm, ketergantungan, surveilan, dan pemeliharaan.
- Menjelaskan persyaratan untuk menguji alarm kekritisan/deteksi kekritisan
- Menjelaskan aktivitas dan prosedur tanggap darurat fasilitas.

3.1.8. Materi Praktek Akuntabilitas

Petugas harus dapat:

- Menjelaskan bagaimana akuntabilitas bahan nuklir berkaitan dengan keselamatan kekritisan.
- Menjelaskan bagaimana sistem akuntabilitas dilakukan di fasilitas mereka.
- Menjelaskan Non Destructive Assay (NDA) dan teknik sampling yang digunakan pada fasilitas termasuk keterbatasan dan pitfalls metode relatif terhadap keselamatan kekritisan.
- Menjelaskan wadah dan bahan praktek pelabelan dan posting daerah bahan fisil.

3.1.9. Materi Magang di Fasilitas

Petugas harus dapat :

- Mengenal faktor yang berkontribusi terhadap kekritisan, perilaku fisik sistem dan di dekat kekritisan, dan teoritis pemahaman proses multiplikasi neutron dalam sistem kritis dan subkritis

3.1.10. Pengetahuan Proses/Fasilitas

Petugas harus dapat:

- Menjelaskan sistem/fasilitas.
- Menjelaskan aliran material dan input -output aliran.
- Menjelaskan kondisi operasi normal.

- d. Menjelaskan kondisi abnormal yang mungkin terjadi.
- e. Menjelaskan antar muka dan interaksi dengan proses lainnya/fasilitas.

3.2. Jenis dan persyaratan Kualifikasi Petugas Kekritisitas

Kualifikasi petugas kekritisitas terdiri atas petugas magang dan petugas kekritisitas.

3.2.1. Petugas Magang

Mengacu pada ketentuan magang dalam pedoman petugas keselamatan kekritisitas DOE-STD-1135-99, Persyaratan yang harus dipenuhi untuk petugas magang adalah yang bersangkutan paling kurang berasal dari lulusan strata satu teknik nuklir atau fisika dan mempunyai kartu identitas. Status pemegang ditetapkan oleh pemegang izin fasilitas dan bukan ditentukan oleh Badan Pengawas. Sebelum magang petugas magang harus mengikuti pelatihan petugas kekritisitas pada lembaga yang telah ditetapkan badan pengawas.

Lama magang tidak disebutkan dalam pedoman DOE-STD-1135-99 namun penulis mengusulkan disesuaikan dengan lama magang operator INNRR sesuai Perka 6/2013 tentang izin bekerja petugas instalasi bahan nuklir [7] ditentukan paling kurang 1 tahun.

3.2.2. Petugas Keselamatan Kekritisitas

Untuk memperoleh Izin Bekerja sebagai petugas keselamatan kekritisitas harus memenuhi persyaratan dan lulus ujian Kualifikasi. Penulis mengusulkan disesuaikan dengan ketentuan persyaratan operator INNRR sesuai Perka 6 Tahun 2013 tentang izin bekerja petugas instalasi bahan nuklir [7]. Persyaratan meliputi persyaratan umum dan persyaratan khusus.

Persyaratan umum meliputi :

- a. Formulir permohonan izin bekerja petugas keselamatan kekritisitas yang 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 strata satu bidang nuklir atau fisika
- b. Surat pernyataan telah magang sebagai petugas keselamatan kekritisitas di bawah pengawasan dan bimbingan petugas kekritisitas paling singkat 1 (satu) tahun yang ditandatangani pemegang izin.

Jenis dan persyaratan Kualifikasi Petugas Kekritisitas untuk permohonan perpanjangan

Demikian juga dengan ketentuan permohonan perpanjangan, penulis mengusulkan ketentuan persyaratan sesuai dengan Perka 6 Tahun 2013 tentang izin bekerja petugas instalasi bahan nuklir [7]. Pemegang Izin dapat mengajukan permohonan perpanjangan Izin Bekerja Petugas IBN paling lama 4 (empat) bulan sebelum Izin Bekerja Petugas IBN berakhir dengan persyaratan persyaratan:

- 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 Requalifikasi.

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 Requalifikasi, maka Petugas tersebut dapat mengikuti ujian ulang Requalifikasi paling banyak 1 (satu) kali. Jika petugas tersebut tidak lulus ujian Requalifikasi

maka harus mengikuti Pelatihan sesuai dengan yang dilakukan pada permohonan baru dan ujian Kualifikasi yang dilakukan oleh Tim Penguji.

3.2.3. Pelatihan Petugas Keselamatan Kekritisitas

Penulis mengusulkan ketentuan pelatihan petugas keselamatan pelatihan harus dilaksanakan paling kurang berdasarkan 10 materi pengujian yang mencakup 50 Kompetensi [6], jika memang perlu tambahan materi maka lembaga pelatihan dapat menambah materi tersebut. 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.

Penulis mengusulkan Lama jam pelatihan sesuai dengan pelatihan operator INNRR yang tercantum dalam Perka 6 Tahun 2013 tentang izin bekerja petugas instalasi bahan nuklir [7] dengan jam pelatihan dengan 10 materi pelatihan yaitu 82 jam untuk pelatihan permohonan baru dan pelatihan penyegaran untuk 40 jam pelatihan. Detail materi pelatihan dan jam pelatihan untuk permohonan baru petugas keselamatan kekritisitas seperti terlampir pada **Tabel 1**.

Tabel 1: Usulan Materi Pelatihan dan jam pelajaran

No	Materi	Jam pelajaran Kualifikasi baru (82 jam)	Jam Pelajaran Requalifikasi (40 jam)
1	Teori Nuklir	6 jam	2 jam
2	Metoda Perhitungan	6 jam	2 jam
3	Aturan Standar dan Panduan	5 jam	2 jam
4	Data dan Percobaan kekritisitas	10 jam	2 jam
5	Evaluasi keselamatan kekritisitas nuklir	10 jam	4 jam
6	Kontrol dan analisis keamanan	10 jam	4 jam
7	Sistem Alarm Kekritisitas (CAS) dan sistem Deteksi Kekritisitas (SDS)	10 jam	6 jam
8	Praktek Akuntabilitas	10 jam	6 jam
9	<i>Hands on Training Eksperimental</i>	10 jam	6 jam
10	Pengetahuan Proses/Fasilitas	5 jam	6 jam

4. KESIMPULAN

1. Standar kompetensi petugas kekritisitas meliputi 50 kompetensi.
2. Materi pengujian terdiri dari 10 materi antara lain ilmu teori nuklir, metoda perhitungan, data dan pengalaman dalam masalah kekritisitas, peraturan, standar dan pedoman, evaluasi keselamatan kekritisitas analisis dan kontrol keselamatan, sistem deteksi dan alarm, praktek akuntabilitas, materi magang di fasilitas dan pengetahuan proses fasilitas.
3. Persyaratan mengikuti pengujian petugas kekritisitas antara lain lulusan sarjana strata satu teknik nuklir atau fisika, telah magang paling kurang 1 tahun dan lulus pelatihan petugas kekritisitas.
4. Lama waktu pelatihan paling kurang dengan 82 jam untuk permohonan kualifikasi baru dan 40 jam untuk requalifikasi

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] **IAEA** (1999); *Report on the Preliminary fact finding mission following the accident at the nuclear fuel processing facility in tokaimura Japan*; IAEA, Vienna.
- [2] **BAPETEN** (2007); *Peraturan Kepala BAPETEN No. 11 Tahun 2007 tentang Ketentuan Keselamatan INNR*.
- [3] **Republik Indonesia** (2014); *Peraturan Pemerintah Nomor 2 tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir*.
- [4] **IAEA** (2010); *IAEA Specific Safety Guide SSG-6, Safety of Uranium Fuel Fabrication Facility*; IAEA, Vienna.
- [5] **Hakim, A** (2012); *Kritikalitas Gudang Uranium Fasilitas Instalasi Fabrikasi Elemen Bahan Reaktor Riset (IPEBRR)*; BAPETEN, Prosiding Seminar Nasional ke-18 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir.
- [6] **US DOE** (1999); *Guidence for Nuclear safety engineer training and qualification, DOE-STD-1135-99*; US DOE.
- [7] **BAPETEN**, (2013); *Perka BAPETEN Nomor 6 Tahun 2013 tentang Izin Bekerja Petugas Instalasi Bahan Buklir*; Jakarta.



Seminar Keselamatan Nuklir 2014 Makalah Penyaji Poster Bidang Instalasi dan Bahan Nuklir

Prosiding
Seminar
Keselamatan
Nuklir
2014

VERIFIKASI PENGARUH KEBOCORAN FPM TERHADAP KESELAMATAN OPERASI REAKTOR RSG-GAS

Daddy Setyawan

Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir
Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN)
Jl. Gajah Mada No. 8 Jakarta 10120
Email: d.setyawan@bapeten.go.id

ABSTRAK

Verifikasi Pengaruh Kebocoran FPM terhadap Keselamatan Operasi Reaktor RSG-GAS. Pengaruh Kebocoran FPM terhadap Keselamatan Operasi Reaktor RSG-GAS merupakan kejadian yang dapat mempengaruhi keselamatan Reaktor RSG-GAS. Parameter Keselamatan yang penting pada saat terjadinya kebocoran FPM adalah Perubahan Reaktivitas karena adanya FPM yang bocor. Data Perubahan Reaktivitas Akibat Inseri Target FPM-LEU di Teras RSG-GAS ini dilaporkan oleh Pihak PRSG ke BAPETEN melalui Laporan Analisis Keselamatan Reaktor Iradiasi Target FPM-LEU ELEKTROPLATING. Untuk mendukung evaluasi terhadap Laporan Analisis Keselamatan Reaktor Iradiasi Target FPM-LEU ELEKTROPLATING yang dilampirkan oleh Pihak PRSG ini, unit pengkajian BAPETEN melakukan pengkajian independen guna melakukan verifikasi terhadap pengaruh kebocoran FPM terhadap keselamatan operasi Reaktor RSG-GAS yang terkait dengan keselamatan yang ada di dalam LAK. Pada kajian ini dilakukan verifikasi terhadap Perubahan Reaktivitas karena Pengaruh Kebocoran FPM terhadap Keselamatan Operasi Reaktor RSG-GAS di Teras Reaktor RSG-GAS melalui perhitungan menggunakan paket program MCNP5-ORIGEN2. Dari hasil perhitungan diperoleh perubahan reaktivitas terbesar akibat inseri target FPM-LEU yang bocor sebesar 3 gram dan sebanyak 3 kapsul sebesar $0.68\% \Delta K/K$. Hasil perhitungan dengan MCNP5-ORIGEN2 dalam kajian ini menunjukkan nilai yang lebih besar daripada batas yang diizinkan di LAK yaitu sebesar $0.5\% \Delta K/K$.

Kata kunci: verifikasi, Reaktivitas, reaktor RSG GAS, MCNP5 dan ORIGEN2.

ABSTRACT

Verification of leakage influence of FPM-LEU target for Safety of RSG-GAS Reactor Operation. The leakage influence of FPM-LEU target for safety of RSG-GAS reactor operation is an incident that affect the safety of RSG-GAS reactor. The important safety parameter of the FPM-LEU leakage is the reactivity change due to the FPM leakage. Data of reactivity change due to the insertion of FPM-LEU was reported by PRSG to BAPETEN through the Safety Analysis Report RSG-GAS for FPM-LEU target irradiation. In order to support the evaluation of the Safety Analysis Report incorporated in the submission, the assessment unit of BAPETEN is carrying out independent assessment in order to verify the FPM leakage influence for RSG-GAS reactor related with the safety parameters in the SAR. The work includes verification to the reactivity change due to the leakage influence of FPM-LEU target in RSG-GAS Reactor by computational method using MCNP5 and ORIGEN2. From the results of calculations, the value of the reactivity change due to the leakage influence of FPM-LEU target is $0.68\% \Delta K/K$. The results of calculations with MCNP5 and ORIGEN2 in this study showed a greater value than $0.5\% \Delta K/K$ the limit allowed in the SAR.

Keywords: verification, reactivity, FPM, MCNP5 and ORIGEN2.

1. PENDAHULUAN

Kegiatan Iradiasi target FPM untuk pembuatan radioisotop ^{99}Mo hasil fisi ^{235}U telah dilakukan secara rutin di RSG-GAS. Untuk mendukung kegiatan iradiasi rutin tersebut, PRSG membuat suatu analisis keselamatan iradiasi target FPM-LEU di RSG-GAS untuk dilaporkan ke BAPETEN dalam rangka pemenuhan persyaratan perizinan reaktor tersebut.

Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir (P2STPIBN) BAPETEN selaku unit pendukung teknis melakukan pengkajian independen terhadap keselamatan reaktor RSG GAS terkait dengan tugas pengawasan. Hasil kajian ini digunakan untuk memberikan dukungan teknis dalam rangka proses evaluasi Laporan Analisis Keselamatan.

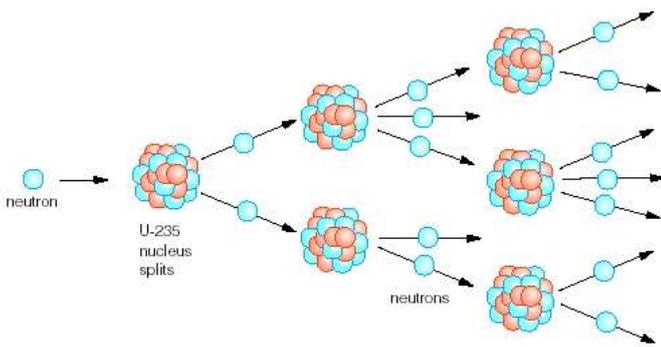
Tulisan ini menyajikan perhitungan perubahan reaktivitas akibat pengaruh kebocoran yang mungkin terjadi pada target FP-

M-LEU di teras reaktor RSG-GAS berdasarkan data dari Laporan Analisis Keselamatan reaktor RSG-GAS.

Hal ini penting dilakukan karena nilai perubahan reaktivitas akibat pengaruh kebocoran yang mungkin terjadi pada target FPM-LEU merupakan parameter yang terkait langsung dengan keselamatan operasi reaktor. Perhitungan ini dilakukan menggunakan paket program MCNP5 dan ORIGEN2.

Kajian ini dimaksudkan untuk memperoleh nilai Perubahan Reaktivitas Akibat pengaruh kebocoran yang mungkin terjadi pada Target FPM-LEU di Teras Reaktor RSG-GAS berdasarkan data dari Laporan Analisis Keselamatan reaktor RSG-GAS dengan menggunakan paket program MCNP5 dan ORIGEN2.

Kajian dilakukan guna mendukung evaluasi LAK Reaktor RSG GAS, yakni verifikasi perubahan reaktivitas akibat pengaruh kebocoran yang mungkin terjadi pada target FPM-LEU di teras reaktor RSG-GAS.



Gambar 1: Skema Reaksi Berantai

2. TEORI

2.1. Faktor Multiplikasi dan Kritikalitas

Reaktor nuklir adalah tempat di mana reaksi inti dapat berlangsung. Reaksi inti terjadi apabila seberkas partikel neutron ditembakkan mengenai bahan bakar fisiil seperti ²³⁵U. Gambar 1 di bawah ini menunjukkan reaksi berantai yang terjadi ketika ²³⁵U ditembak oleh neutron.

Pada reaksi berantai neutron di teras reaktor, neutron akan mengalami kelahiran karena adanya reaksi fisi dan juga akan mengalami kematian karena diserap atau karena neutron tidak mampu menumbuk bahan fisiil lagi.

Perbandingan jumlah neutron antara satu generasi dengan generasi sebelumnya didefinisikan sebagai faktor Multiplikasi (K). Apabila nilai maka disebut kondisi subkritis, untuk disebut kondisi superkritis dan untuk disebut kondisi kritis [1].

2.2. Reaktivitas

Reaktivitas menyatakan perubahan faktor multiplikasi efektif teras reaktor yang disebabkan oleh kondisi reaktor [2]. Reaktivitas teras akan berubah jika terjadi perubahan pada kondisi operasi reaktor, misalnya perubahan posisi batang kendali, modifikasi reflektor atau susunan teras seperti pemanfaatan reaktor untuk iradiasi FPM-LEU [3]. Secara matematis reaktivitas dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$\rho = \frac{k_{eff} - 1}{k_{eff}} \tag{1}$$

Di mana ρ adalah reaktivitas dan keff adalah faktor multiplikasi efektif.

Reaktivitas dapat pula didefinisikan sebagai perubahan populasi neutron dalam satu siklus per populasi neutron pada akhir siklus.

2.3. Perubahan Reaktivitas karena Inseri FPM yang Bocor

Perubahan reaktivitas karena inseri FPM didefinisikan sebagai berikut:

$$\Delta\rho = \frac{k_{eff,1} - k_{eff}}{k_{eff}} \tag{2}$$

Di mana Δρ adalah perubahan reaktivitas, keff adalah faktor multiplikasi efektif sebelum FPM dimasukkan ke teras reaktor dan keff₁ adalah faktor multiplikasi efektif setelah FPM dimasukkan ke teras reaktor mengalami kebocoran.

3. TATA KERJA

3.1. Deskripsi Teras Reaktor RSG GAS

Reaktor Serba Guna G.A.Siwabessy (RSG GAS) merupakan reaktor riset jenis MTR (*Material Testing Reactor*) pertama di du-

nia yang dioperasikan langsung dengan menggunakan elemen bakar pengkayaan Uranium rendah, LEU (*Low Enriched Uranium*). Pada saat rancang bangun RSG-GAS dilaksanakan, hanya tersedia elemen bakar LEU jenis oksida (U₃O₈-Al) yang dapat digunakan untuk memenuhi spesifikasi yang ditentukan. Oleh karena itu RSG GAS menggunakan bahan bakar oksida dengan densitas Uranium dalam meat sebesar 2,96 g/cm³ dengan pengkayaan ²³⁵U sebesar 19,75%. Saat ini reaktor RSG-GAS sudah menggunakan bahan bakar Uranium Silisida (U₃Si₂-Al) dengan densitas Uranium dalam meat sebesar 2,96 g/cm³ dengan pengkayaan ²³⁵U sebesar 19,75%.

Fasilitas untuk uji radiasi bahan yang disediakan dalam reaktor ada di beberapa tempat. Pada konfigurasi reaktor G.A Siwabessy, Puspipstek Serpong, fasilitas radiasi terbesar ukurannya disebut posisi irradiasi pusat (CIP = *Central Irradiation Position*) yang ditempatkan di tengah teras reaktor seperti diperlihatkan pada Gambar di bawah ini.

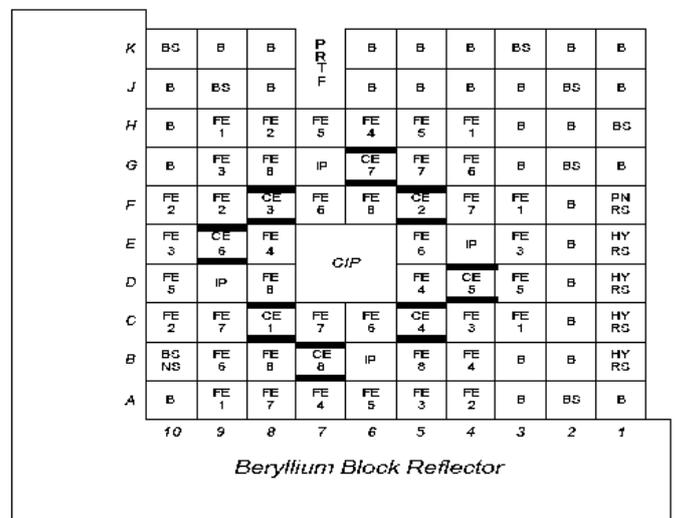
3.2. Deskripsi Target FPM-LEU

Kegiatan iradiasi Target FPM-LEU dalam rangka produksi radioisotop ⁹⁹Mo hasil fisi ²³⁵U telah dilakukan secara rutin di RSG-GAS. Iradiasi target FPM-LEU akan memberikan reaktivitas positif. Untuk kondisi FPM yang mengalami kebocoran hal ini akan memberikan reaktivitas positif yang lebih besar dibandingkan dengan kondisi normal. Sehingga perlu dilakukan analisis netronik untuk menjamin bahwa penambahan reaktivitas positif tersebut masih berada dalam batas yang telah ditentukan.

Target Iradiasi FPM-LEU Elektroplating adalah kapsul FPM yang dibuat dengan cara menempelkan uranium pada tabung stainless steel (SS) dengan metode elektrokimia. Spesifikasi FPM-LEU adalah sebagai berikut: FPM-LEU mengandung Uranium Metal yang diperkaya 20%, diameter dalam dan luar kapsul adalah 2,7 cm dan 2,9 cm dan tinggi maksimum plating adalah 40 cm. Gambar dimensi dari FPM-LEU ditunjukkan seperti Gambar 3.

4. METODE PERHITUNGAN

Perhitungan Perubahan Reaktivitas Akibat kebocoran pada Target FPM-LEU di Teras Reaktor RSG-GAS ini dilakukan dengan menggunakan paket program MCNP5 dan ORIGEN2. Program MCNP5 menerapkan metode Monte Carlo yang bersifat statistik dalam mencari penyelesaiannya [5]. Sedangkan Program ORIGEN2 adalah program komputer yang banyak digunakan untuk menghitung pembangkitan (*buildup*), peluruhan (*decay*), dan pengolahan bahan-bahan radioaktif [6].



Gambar 2: Konfigurasi teras setimbang RGS-GAS [4]

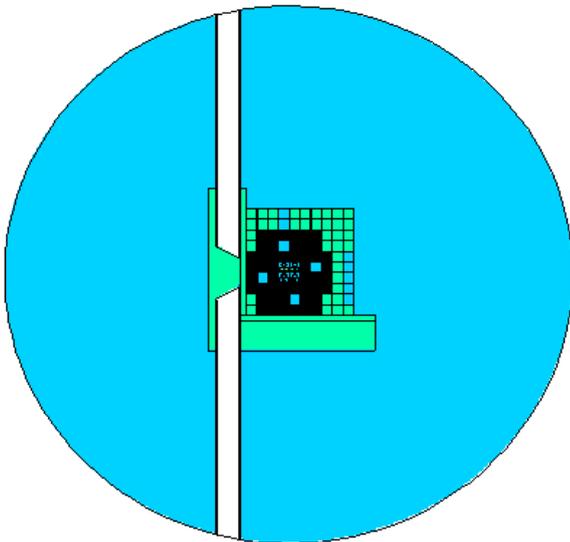
hingga Einsteinium (NA 99) beserta anak luruhnya yang muncul dengan jumlah yang signifikan dalam bahan bakar bekas. Contohnya, ^{235}U , ^{232}Th , ^{237}Np , ^{239}Pu , ^{241}Am .

3. Produk fisi, terdiri dari nuklida-nuklida yang dihasilkan dari reaksi fisi aktinida beserta anak luruh dan hasil dari reaksi tangkapan. Contohnya, ^{135}Xe , ^{85}Kr , ^{90}Sr [6].

4.4. Pemodelan Reaktor RSG-GAS dengan MCNP5

Komponen reaktor yang berada di dalam tangki dan teras reaktor, termasuk materialnya, dimodelkan dalam bentuk geometri, dimensi, dan komposisi sedekat mungkin dengan obyek aslinya. Dalam pemodelan ini komposisi bahan bakar reaktor diperoleh dari hasil perhitungan produk fisi dengan program ORIGEN2 di mana bahan bakar disimulasikan dibakar (diiradiasi) pada daya dan waktu tertentu sehingga diperoleh fraksi bakar yang sama dengan fraksi bakar elemen bakar yang tercantum di dalam teras seimbang silisida awal siklus.

Sedangkan untuk kedelapan batang kendali diasumsikan dalam posisi ditarik ke atas sepenuhnya sehingga posisi yang ditinggalkan oleh batang kendali di dalam teras terisi oleh air.



Gambar 4: Pemodelan teras reaktor RSG GAS dengan MCNP5

Geometri teras reaktor RSG GAS yang dimodelkan di dalam kajian verifikasi ini didasarkan pada konfigurasi sebagaimana diuraikan di LAK. Komponen-komponen utama reaktor yang dimodelkan meliputi:

- Elemen bakar standar sejumlah 40 batang.
- Elemen bakar kendali sejumlah 8 batang.
- Elemen Beryllium sejumlah 37 batang.
- Central Irradiation Position (CIP).
- Irradiation Position (IP) sejumlah 4 buah.
- PRTF
- Sistem Rabbit sejumlah 5 buah.
- *Beryllium Block*
- 6 buah tabung berkas neutron (*beamport*).

4.5. Kartu KCODE

Dalam perhitungan kekritisan reaktor, perlu didefinisikan kartu KCODE yang berisi informasi mengenai jumlah partikel sumber yang disimulasi, harga awal keff, jumlah siklus yang dilompati sebelum perhitungan akumulasi keff dimulai, dan jumlah siklus total yang dikehendaki dalam perhitungan. Jumlah partikel yang disimulasi dalam perhitungan disesuaikan dengan kompleksitas sistem teras, lazimnya terdapat minimal 1 partikel dalam material dapat belah. Semakin banyak partikel yang disimulasikan, akan se-

makin kecil standar deviasinya sehingga memberikan hasil yang lebih akurat. Kartu KCODE ini memiliki bentuk sebagai berikut:

KCODE nsrck rkk ikz kct

di mana

nsrck : jumlah neutron sumber pada tiap siklus

rkk : harga awal untuk keff

ikz : jumlah siklus yang akan dilompati sebelum perhitungan keff diakumulasikan

kct : jumlah siklus dalam perhitungan

Dalam perhitungan ini digunakan nsrck = 500000, rkk = 1.0, ikz = 30, dan kct = 150.

4.6. Kartu KSRC

Partikel sumber yang disimulasikan ditempatkan tersebar di setiap daerah bahan bakar yang mengandung bahan dapat belah. Lokasi partikel yang disimulasikan ini harus cukup jauh dari batas-batas sel. Biasanya satu titik sumber pada tiap daerah bahan dapat belah sudah cukup, karena MCNP5 akan segera menghitung dan menggunakan distribusi sumber fisi yang baru. Kartu KSRC digunakan untuk menentukan posisi partikel sumber yang disimulasikan, berisi informasi mengenai koordinat spasial partikel sumber dalam sumbu x, y, dan z dalam format berikut:

```
KSRC  x1  y1  z1
      x2  y2  z2
      .    .    .
      .    .    .
      xn  yn  zn
```

Pada Perhitungan ini, satu titik sumber diletakkan di setiap pelat bahan bakar. Sehingga jumlah seluruh titik sumber yang diletakkan di dalam Teras Reaktor RSG-GAS adalah sebanyak 960.

4.7. Pemodelan Target FPM-LEU di Teras Reaktor RSG-GAS dengan MCNP5

Target FPM-LEU dimodelkan di dalam teras reaktor di posisi CIP seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 5**.

Target FPM diletakkan di 4 kisi yang ada di CIP. Di mana tiap kisi diisi dengan 3 kapsul FPM dan tiap-tiap kapsul FPM mengandung ^{235}U mulai dari 1 gram, 2 gram sampai dengan 3 gram. Sehingga maksimum jumlah ^{235}U yang diisikan di dalam CIP adalah sebesar 36 gram.

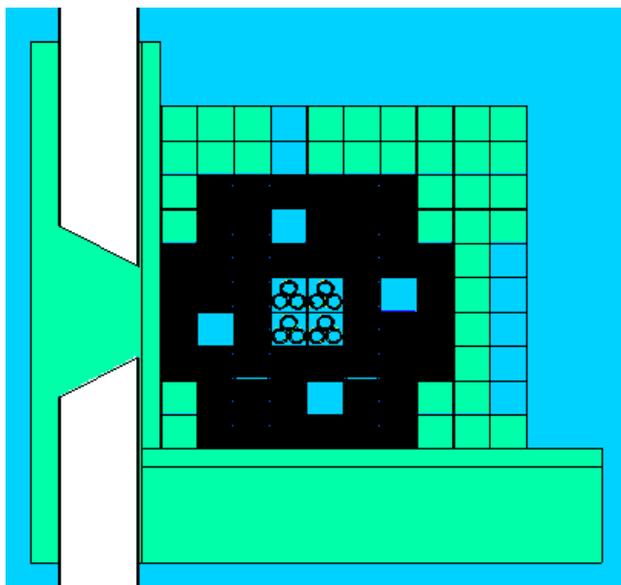
4.8. Perhitungan Perubahan Reaktivitas Akibat Inseri Target FPM-LEU mengalami kebocoran

Tahapan awal Perhitungan Perubahan Reaktivitas akibat pengaruh kebocoran pada target FPM-LEU adalah dilakukannya perhitungan reaktivitas untuk teras reaktor tanpa FPM. Setelah diperoleh nilai Keff dari pemodelan teras tanpa FPM maka selanjutnya dilakukan perhitungan nilai reaktivitas untuk teras dengan inseri FPM yang mengalami kebocoran.

Perhitungan reaktivitas untuk teras yang sudah terisi FPM-LEU yang mengalami kebocoran dilakukan sebanyak 5 kali dengan variasi target FPM yang bocor sebagai berikut:

1. 1 kisi berisi 1 kapsul dengan berat ^{235}U sebesar 3 gram
2. 1 kisi berisi 2 kapsul dengan berat ^{235}U sebesar 3 gram
3. 1 kisi berisi 3 kapsul dengan berat ^{235}U sebesar 3 gram
4. 1 kisi berisi 3 kapsul dengan berat ^{235}U sebesar 2 gram
5. 1 kisi berisi 3 kapsul dengan berat ^{235}U sebesar 1 gram

Setelah diperoleh seluruh nilai reaktivitas untuk masing-masing kondisi maka tahapan selanjutnya adalah dilakukan perhitungan selisih reaktivitas antara kondisi teras yang tidak terisi FPM dengan kondisi teras yang terisi FPM yang bocor.



Gambar 5: Pemodelan FPM-Elektroplating di teras reaktor RSG GAS dengan MCNP5

Tabel 1: Perubahan Reaktivitas akibat Inseri FPM-LEU yang mengalami kebocoran

Berat ²³⁵ U gr/kapsul	Perubahan Reaktivitas % (deltak/k) MCNP5 dan ORIGEN2		
	1 kapsul/kisi	2 kapsul/kisi	3 kapsul/kisi
1	-	-	0,48
2	-	-	0,58
3	0,38	0,54	0,66

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam perhitungan perubahan nilai reaktivitas karena inseri FPM-LEU yang mengalami kebocoran di teras reaktor RSG-GAS ini, perhitungan dilakukan dengan menggunakan program MCNP5 dan ORIGEN2. Dengan menggunakan MCNP5 akan diperoleh nilai kritikalitas dari teras RSG-GAS baik sebelum FPM dimasukkan ke dalam teras maupun setelah FPM yang mengalami kebocoran dimasukkan ke dalam teras. Sedangkan dengan program ORIGEN2 bisa diperoleh kondisi dan komposisi nuklida yang ada di setiap bahan bakar yang ada di teras sehingga bisa mendekati kondisi teras setimbang dari RSG-GAS.

Untuk perhitungan kritikalitas teras RSG-GAS, perhitungan dimulai dengan perhitungan kritikalitas untuk teras tanpa FPM kemudian dilanjutkan perhitungan kritikalitas teras dengan FPM yang mengalami kebocoran. Perhitungan kritikalitas teras dengan FPM yang mengalami kebocoran dimulai dari nilai model 1 kisi berisi 1 kapsul dengan berat ²³⁵U sebesar 1 gram sampai dengan model 1 kisi berisi 3 kapsul dengan berat ²³⁵U sebesar 3 gram.

Setelah diperoleh nilai kritikalitas untuk setiap model, kemudian dilakukan perhitungan penambahan nilai reaktivitas karena inseri FPM yang mengalami kebocoran didalam teras sesuai dengan 5 jenis model yang telah dibuat. Di bawah ini tabel hasil perhitungan reaktivitas akibat masuknya target FPM-LEU yang mengalami kebocoran pada 4 posisi kisi teras CIP dengan berat ²³⁵U yang bervariasi dari 1 gram, 2 gram dan 3 gram.

Selain variasi berat ²³⁵U, variasi jumlah kapsul FPM di dalam satu kisi juga dilakukan. Variasi jumlah kapsul dalam 1 kisi dimulai dari 1 kisi untuk satu kapsul sampai dengan 1 kisi diisi 3 kapsul FPM.

Hasil perhitungan yang ditunjukkan oleh tabel 1 diperoleh bahwa untuk inseri 1 kapsul FPM yang bocor dalam satu kisi dengan

berat ²³⁵U di dalam FPM sebesar 3 gram diperoleh penambahan reaktivitas sebesar 0,38 nilai ini masih berada di bawah nilai yang diijinkan di LAK yaitu sebesar 0,5. Sedangkan untuk inseri 2 kapsul FPM yang bocor dalam satu kisi dengan berat ²³⁵U di dalam FPM sebesar 3 gram diperoleh penambahan reaktivitas sebesar 0,54 nilai ini sudah melebihi nilai yang diijinkan di LAK yaitu sebesar 0,5. Nilai penambahan reaktivitas terbesar diperoleh untuk penambahan FPM yang bocor dalam 4 kisi yang ada di CIP dengan masing-masing kisi berisi 3 kapsul FPM bocor serta dalam satu kapsul berisi 3 gram ²³⁵U. Nilai penambahan reaktivitas terbesar yang diperoleh adalah sebesar 0,66. Secara umum dari tabel 1 terlihat bahwa semakin besar jumlah ²³⁵U yang ditambahkan kedalam teras maka semakin besar pula penambahan reaktivitas.

Dari tabel 1 terlihat bahwa untuk penambahan 2 kapsul FPM yang bocor per kisi dengan berat ²³⁵U masing-masing sebesar 3 gram dan penambahan 3 kapsul FPM yang bocor per kisi dengan berat ²³⁵U masing-masing 2 gram ternyata sudah melewati batas yang diijinkan di LAK. Di mana masing-masing penambahan reaktivitasnya adalah sebesar 0,54 dan 0,58.

Dari hasil perhitungan juga dapat disimpulkan bahwa untuk penambahan reaktivitas terbesar yaitu 0,66 sudah melewati nilai batas penambahan reaktivitas yang diizinkan di LAK yaitu sebesar 0,5.

5.1. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan perubahan nilai reaktivitas karena inseri FPM-LEU yang mengalami kebocoran di teras reaktor RSG-GAS diperoleh bahwa semakin banyak jumlah FPM yang bocor yang dimasukkan ke dalam teras reaktor RSG-GAS maka akan semakin besar penambahan reaktivitasnya.

Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa:

1. Nilai Penambahan reaktivitas karena 2 kapsul FPM yang bocor per kisi dengan berat ²³⁵U masing-masing sebesar 3 gram diperoleh lebih besar dari nilai yang ada di LAK
2. Nilai Penambahan reaktivitas karena 3 kapsul FPM yang bocor per kisi dengan berat ²³⁵U masing-masing 2 gram diperoleh lebih besar dari nilai yang ada di LAK
3. Nilai penambahan reaktivitas terbesar adalah penambahan FPM dalam 4 kisi yang ada di CIP dengan masing-masing kisi berisi 3 kapsul FPM serta dalam satu kapsul berisi 3 gram ²³⁵U.
4. Nilai penambahan reaktivitas terbesar dari hasil perhitungan yaitu 0,66 di mana nilai ini sudah melewati nilai batas penambahan reaktivitas yang diizinkan di LAK [4] yaitu sebesar 0,5.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Duderstadt, J.J., Hamilton, L.J.R., (1976); *Nuclear Reactor Analysis*; John Wiley and Sons, Michigan.
- [2] Lamarsh, J.R., (1972); *Introduction to Nuclear Reactor Theory*; Addison-Wesley, Reading, Massachusetts.
- [3] Badan Tenaga Nuklir Nasional, (2012); *Laporan Analisis Keselamatan Iradiasi Target FPM di Teras RSG GAS*; Pusat Reaktor Serba Guna (PRSG)-BATAN, Serpong.
- [4] Badan Tenaga Nuklir Nasional, (2012); *Laporan Analisis Keselamatan Reaktor RSG GAS Rev. 10*; Pusat Reaktor Serba Guna (PRSG)-BATAN, Serpong.
- [5] X-5 Monte Carlo Team., (2003); *MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5, Volume II: User's Guide*; Los Alamos National Laboratory, USA.
- [6] Oak Ridge National Laboratory, (2002); *RSICC Computer CodeCollection: ORIGEN 2.2*; Oak Ridge National Laboratory, Tennessee.



Seminar Keselamatan Nuklir 2014 Makalah Penyaji Poster Bidang Instalasi dan Bahan Nuklir

Prosiding
Seminar
Keselamatan
Nuklir
2014

KAJIAN BATASAN KANDUNGAN MINERAL IKUTAN URANIUM DAN THORIUM DALAM PENGOLAHAN HASIL TAMBANG

Eko H. Riyadi & Bambang Eko Aryadi

Pusat Pengkajian Sistem & Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir-Badan Pengawas Tenaga Nuklir
e-mail: e.riyadi@bapeten.go.id

ABSTRAK

Untuk menjamin keselamatan pekerja, masyarakat dan lingkungan, maka dibutuhkan adanya pengaturan khusus terkait adanya produk mineral ikutan yang mengandung uranium dan thorium dalam proses pengolahan hasil tambang. Masih rendahnya tingkat kesadaran terhadap potensi bahaya yang mungkin timbul terkait proses pengolahan hasil tambang yang hampir selalu menghasilkan mineral ikutan seperti uranium dan thorium. Sementara jumlah perusahaan yang bergerak dibidang pengolahan hasil tambang terus bertambah. Sehingga untuk melindungi keselamatan pekerja, masyarakat dan lingkungan perlu dilakukan kajian teknis terkait aspek keselamatan proses pengolahan hasil tambang tersebut. Tujuan kajian ini adalah untuk memperoleh batasan tingkat keselamatan radiasi dan keamanan energi nasional berupa ketersediaan aset negara dalam bentuk cadangan bahan uranium dan thorium di masa depan. Metodologi yang diambil adalah studi literatur, diskusi dan koordinasi dengan narasumber, dan studi lapangan ke fasilitas pendukung. Dalam makalah ini juga dibahas potensi bahaya yang mungkin timbul. Dengan mempertimbangkan beberapa aspek terkait maka hasil pembahasan menyimpulkan bahwa batasan kandungan mineral ikutan uranium dan thorium adalah sebesar 500 ppm.

Kata kunci: pengolahan hasil tambang; uranium; thorium, aspek keselamatan.

ABSTRACT

To ensure the safety of the workers, public and environment, it is necessary to have special arrangements related to the side product minerals containing uranium and thorium in the mineral processing. The lack of awareness of the potential hazard may arise has connectivity to the processing of mining products that almost always results in associated minerals such as uranium and thorium. While the number of companies engaged in mineral processing continues to grow. So as to protect the safety of workers, the public and the environment technical studies related to the safety aspects of the mineral processing. Obtain the reference data of radiation safety and energy supply security in the form of the availability of national assets in the form of material reserves of uranium and thorium in the future. The methodology is the study of literature, discussion and coordination with experts, and field study to facilities. The paper also described the potential hazard that may arise. Taking into consideration several aspects related to the discussion, the results concludes that limit of the content of uranium and thorium as associated minerals is around 500 ppm.

Keywords: mineral processing, uranium, thorium, safety aspect.

1. PENDAHULUAN

Sebagai lembaga yang bertanggung jawab terhadap pengawasan pemanfaatan nuklir di Indonesia berdasarkan amanat dari Undang-Undang No. 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) harus mampu memastikan bahwa pemanfaatan tenaga nuklir di seluruh wilayah Indonesia dapat terlaksana dengan aman dan selamat. Kegiatan pengawasan terhadap pemanfaatan tenaga nuklir ini dilaksanakan melalui tiga pilar utama kegiatan, yaitu menyusun peraturan, menyelenggarakan perizinan, dan melaksanakan inspeksi, di mana pemanfaatan tenaga nuklir harus dilakukan secara tepat dan hati-hati serta ditujukan untuk maksud damai dan keuntungan sebesar-besarnya bagi kesejahteraan dan kemakmuran rakyat serta memberikan jaminan bagi terpenuhinya aspek keselamatan, keamanan, ketenteraman, kesehatan pekerja dan anggota masyarakat, serta perlindungan terhadap lingkungan hidup. [1]

Untuk menjamin keselamatan pekerja, masyarakat dan lingkungan, maka dibutuhkan adanya pengaturan khusus terkait adanya produk mineral ikutan yang mengandung uranium dan thorium dalam proses pengolahan hasil tambang.

Salah satu pengolahan bahan tambang yang dapat mengandung mineral ikutan berupa uranium dan thorium adalah pengolahan mineral zirkon (zirconium silikat - $ZrSiO_4$). Zirkon merupakan salah satu jenis mineral berat yang terjadi di alam dan dapat dipakai dalam berbagai aplikasi industri serta dikonsumsi di seluruh dunia dengan jumlah pemakaian lebih dari satu juta ton pertahun. Mineral zirkon mempunyai nilai ekonomi sebagai bahan dasarnya sendiri dan juga sebagai bahan baku untuk pembuatan zirconia (zirconium dioksida), bahan kimia zirconium dan logam zirconium. Proses geologi yang membentuk mineral zirkon menyebabkan terjadinya penggabungan radionuklida alam (yaitu deret peluruhan uranium dan thorium) ke dalam struktur kristal mineral. [2]

1.1. Permasalahan

Masih rendahnya tingkat kesadaran terhadap potensi bahaya yang mungkin timbul terkait proses pengolahan hasil tambang yang hampir selalu menghasilkan mineral ikutan seperti uranium dan thorium. Sementara jumlah perusahaan yang bergerak dibidang pengolahan hasil tambang terus bertambah. Sehingga untuk melindungi keselamatan pekerja, masyarakat dan lingkungan perlu dilakukan kajian teknis terkait aspek keselamatan proses pengolahan hasil tambang tersebut.

Bahan sumber yang terkandung dalam mineral ikutan merupakan zat radioaktif yang berpotensi menimbulkan bahaya radiasi dan kontaminasi sehingga meski konsentrasinya dalam hasil tambang tidak cukup signifikan untuk memiliki nilai komersial, tetapi keberadaannya tetap perlu diperhatikan dalam rangka mengendalikan paparan radiasi terhadap pekerja, anggota masyarakat, dan lingkungan sesuai dengan prinsip-prinsip dasar keselamatan radiasi. Oleh karena itu, aspek keselamatan radiologik dari keberadaan bahan sumber dalam mineral ikutan perlu untuk dianalisis dan dikaji lebih lanjut dengan berbagai metode dan perangkat yang ada.

1.2. Tujuan

Tujuan kajian ini berdasarkan pada kondisi faktual di lapangan saat ini, di mana banyak perusahaan pertambangan yang melakukan pemisahan, pengolahan dan pemurnian bahan baku mineral alam, yang selalu disertai mineral ikutan dan atau hasil samping yang dapat mengandung uranium dan thorium. Selain itu belum adanya produk hukum yang baku di Indonesia terkait tinjauan batasan kadar uranium dan thorium. Sehingga dengan adanya tinjauan pembatasan ini, diharapkan dapat meningkatkan keselamatan radiasi dan keamanan energi nasional berupa ketersediaan aset negara dalam bentuk cadangan bahan uranium dan thorium di masa depan.

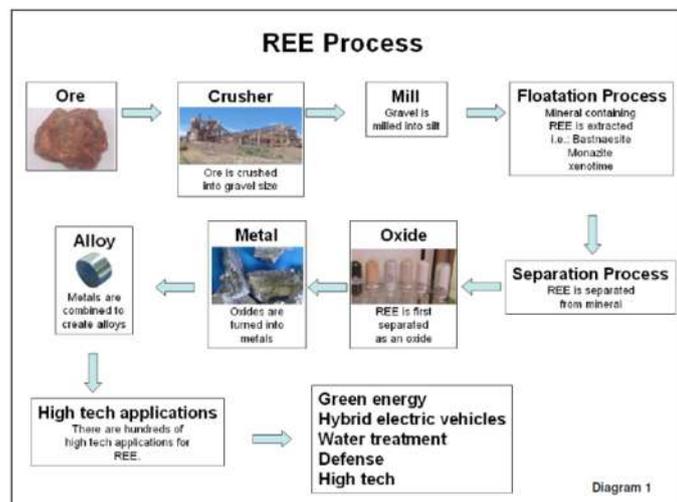
2. METODOLOGI

Metode yang dilakukan dalam melaksanakan kegiatan kajian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur dokumen terkait;
2. Diskusi dengan narasumber;
3. Rapat koordinasi;
4. Studi lapangan ke fasilitas pendukung;

3. KANDUNGAN U & Th DALAM PENGOLAHAN HASIL TAMBANG

Di Indonesia, kandungan mineral ikutan seperti uranium dan thorium bisa ditemukan di beberapa hasil tambang, contoh bahan tambang yang mengandung uranium dan thorium dengan kadar kandungan yang dianggap cukup signifikan, diantaranya seperti yang terkandung dalam mineral tanah jarang, pasir zirkon atau timah. Penulis menyimpulkan hasil ini berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh BATAN Yogyakarta dan Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.



Sumber: Institute for the Analysis of Global Security (IAGS)

Gambar 1: Proses produksi tanah jarang

Proses produksi mineral atau logam tanah jarang diawali dari proses penggerusan bijih sampai menjadi kerikil. Selanjutnya dilanjutkan dengan penggilingan dan pemisahan sehingga menghasilkan mineral tanah jarang dalam bentuk oksida. Selanjutnya diubah dalam bentuk campuran logam dengan teknologi tinggi yang dapat dimanfaatkan dalam berbagai produk industri. Seperti pada Gambar 1.

Sementara itu dari tabel karakteristik monasit yang merupakan contoh logam tanah jarang diketahui bahwa kandungan untuk oksida ThO₂ dan U₃O₈ adalah masing-masing sebesar 3,6% dan 0,0955%, seperti ditunjukkan dalam Tabel 1.

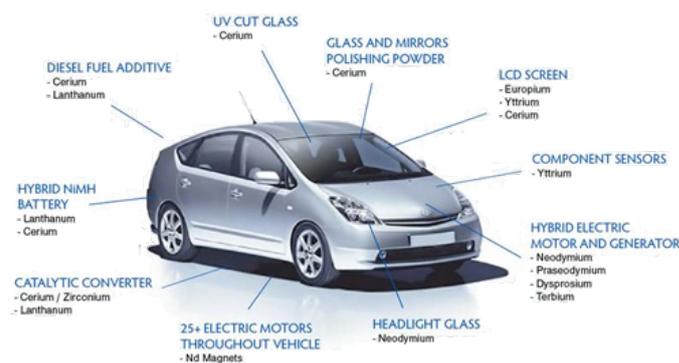
Tabel 1: Kandungan bahan sumber dalam karakteristik monasit. [3]

Oksida	%	Oksida	%
SiO ₂	1,93	Nb ₂ O ₅	0,194
TiO ₂	9,83	Ga ₂ O ₃	0,0051
Al ₂ O ₃	1,4	Ta ₂ O ₅	0,134
Fe ₂ O ₃	3,3	ThO ₂	3,6
MnO	0,114	U ₃ O ₈	0,0955
CaO	0,08	WO ₃	0,0658
MgO	0,074	Gd ₂ O ₃	0,573
Na ₂ O	0,683	Y ₂ O ₃	0,79
P ₂ O ₅	13,09	Nd ₂ O ₃	8,42
SO ₃	0,178	La ₂ O ₃	9,77
LOI	0,66	Tb ₄ O ₇	0,0539
ZrO ₂	0,132	Er ₂ O ₃	0,0438
V ₂ O ₅	0,0489	Sm ₂ O ₃	1,11
Cr ₂ O ₃	0,039	Dy ₂ O ₃	0,214
Cl	0,0574	CeO ₂	21,88
SnO ₂	19,4	Pr ₆ O ₁₁	2,03

Sedangkan dari hasil peleburan slag timah diketahui kandungan mineral dengan karakteristik sebagai berikut: [3]

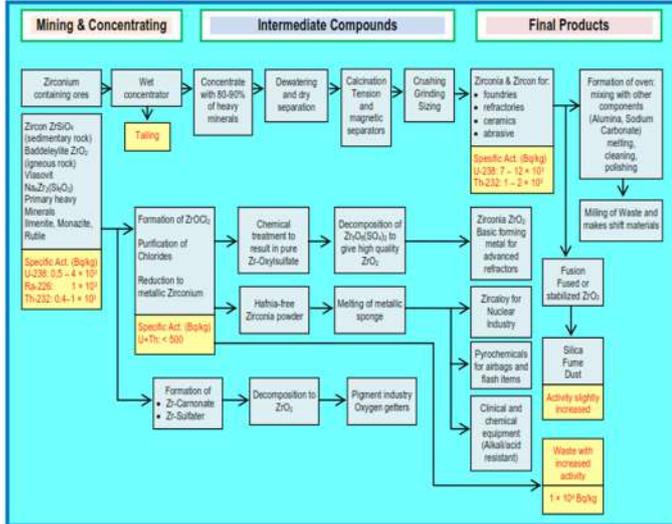
- o Uranium (U) = ± 500 ppm
- o Thorium (Th) = ± 5000 ppm
- o Rare Earth (RE) = ± 8,00%
- o Silika (Si) = ± 22,00%
- o Titanium (Ti) = ± 16,00%
- o Timah (Sn) = ± 1,00%
- o Fosfat (P) = ± 0,18%

Pemanfaatan logam tanah jarang banyak dipakai dan dikembangkan dalam industri otomotif, seperti Gambar 2 yang dimanfaatkan dalam pembuatan mobil hibrid pada salah satu industri mobil pabrikan Jepang berikut. [4]



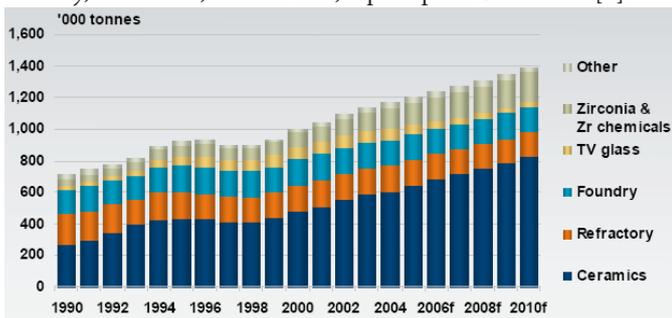
Gambar 2: Penggunaan logam tanah jarang dalam produksi mobil hibrid

Untuk proses pengolahan pasir zirkon di Indonesia untuk keperluan industri hilir dapat diadopsi dari Gambar 3 sebagai berikut. [5]



Gambar 3: Pengolahan pasir zirkon

Pemanfaatan pasir zirkon setiap tahun juga mengalami kenaikan, bahkan lebih dari 50% di dunia adalah pada bidang industri keramik, bahan baku zirkon tersebut digunakan untuk membuat refractories, cutting tools, nozzle, komponen otomotif, material glaze (glasir) yang berfungsi sebagai opacifier untuk produk glazing sanitary, tablewares, ceramics, seperti pada Gambar 4. [6]



Gambar 4: Konsumsi zirkon pada berbagai segmen industri periode 1990–2010 [6]

Secara detil pemanfaatan zirkonium dapat dilihat seperti pada gambar-5 tentang penggunaan zirkonium dalam berbagai bidang industri. [3]



Gambar 5: Penggunaan zirkonium dalam beberapa industri [6]

Dari hasil penelitian Pusat Sains dan Teknologi Akselerator BATAN Jogjakarta, beberapa kandungan bahan sumber dalam

pengolahan pasir zirkon dari Ketapang, Kalimantan Barat, seperti ditunjukkan dalam tabel-2.

Tabel 2: Komposisi pasir zirkon dari Ketapang, Kalimantan Barat

Unsur Kimia (Oksida/Elemen)						
Oksida	Satuan	Jumlah	Elemen	Satuan	Jumlah	Sd
SiO ₂	%	30.03	Si	%	-	0.23
TiO ₂	%	6.68	Ti	%	4.00	0.07
Al ₂ O ₃	%	0.696	Al	%	0.368	0.018
Fe ₂ O ₃	%	2.83	Fe	%	1.98	0.06
MnO	%	0.0442	Mn	%	0.0342	0.0017
CaO	%	0.135	Ca	%	0.097	0.0017
MgO	%	0.487	Mg	%	0.294	0.015
Na ₂ O	%	0.479	Na	%	-	0.024
K ₂ O	%	0.048	K	%	-	0.021
P ₂ O ₅	%	0.516	P	%	-	0.026
S	%	0.146	S	%	-	0.007
LOI	%	-	-	%	-	-
ZnO	%	-	Zn	%	-	-
PbO	%	0.0060	Pb	%	0.0056	0.0021
NiO	%	-	Ni	%	-	-
ZrO ₂	%	53.89	Zr	%	39.89	0.18
HfO ₂	%	1.10	Hf	%	0.931	0.044
HgO	%	-	Hg	%	-	-
Cs ₂ O	%	0.0083	Cs	%	0.0078	0.0028
Cr ₂ O ₃	%	0.137	Cr	%	0.0934	0.0047
Y ₂ O ₃	%	0.354	Y	%	0.279	0.014
Nb ₂ O ₅	%	0.0555	Nb	%	0.0388	0.0026
Nd ₂ O ₃	%	0.131	Nd	%	0.112	0.006
Ta ₂ O ₅	%	-	Ta	%	-	-
La ₂ O ₃	%	0.257	La	%	0.219	0.064
ThO ₂	%	0.114	Th	%	0.100	0.011
U ₃ O ₈	%	0.0447	U	%	0.0379	0.0031
Am ₂ O ₃	%	0.0240	Am	%	0.0218	0.0045
MoO ₃	%	0.070	Mo	%	0.0469	0.0090
CeO ₂	%	0.387	Ce	%	0.315	0.016
SnO ₂	%	1.34	Sn	%	1.05	0.05

3.1. Potensi Bahaya

Tujuan pengelolaan mineral dan batubara sebagaimana tercantum dalam Ayat b. Pasal 3 UU 4/2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara adalah melindungi masyarakat dan lingkungan hidup di sekitar daerah pengelolaan mineral alam dari dampak negatif TENORM (Technologically-Enhanced, Naturally-Occurring Radioactive Material) yang ditimbulkan. Zirkon baik sebagai pasir zirkon maupun produk zirkonium mengandung bahan radioaktif ²³⁸U beserta anak luruhnya dan ²³²Th beserta anak luruhnya yang termasuk bahan sumber. [3]

Keberadaan bahan sumber di dalam pasir zirkon maupun produk zirkonium, telah diatur dalam Peraturan Kepala BAPETEN 9/2009 tentang Intervensi terhadap Paparan yang Bersal dari TENORM [7], yang berbunyi sebagai berikut:

1. Tingkat intervensi sebagaimana dimaksud di atas dapat dinyatakan dalam:
 - a) jumlah atau kuantitas TENORM paling sedikit 2 (dua) ton; dan
 - b) tingkat kontaminasi sama dengan atau lebih kecil dari 1 Bq/cm² (satu Becquerel persentimeter persegi) dan/atau konsentrasi aktivitas sebesar:
 - (1) 1 Bq/gr (satu Becquerel pergram) untuk tiap radionuklida anggota deret uranium dan thorium; atau
 - (2) 10 Bq/gr (sepuluh Becquerel pergram) untuk kalium.
2. Radionuklida sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf b angka 1 paling kurang meliputi: Pb-210, Ra-226, Ra-228, Th-228, Th-230, Th-234; dan/atau Po-210.

Potensi pengaruh kandungan mineral ikutan pada kesehatan adalah pada pasir zirkon yang mengandung elemen-elemen radioaktif seperti uranium dan thorium. Misalnya dalam produk Iluka mempunyai kandungan mineral tersebut dengan keaktifan sebagai berikut: [3]

1. ^{238}U : 1,5–4,5 Bq/gr;
2. ^{232}Th : 0,6–1,2 Bq/gr.

Hal ini mempunyai potensi bahaya yang cukup signifikan, terutama terjadi karena partikel alfa dalam debu yang terhisap oleh pernafasan. Sehingga pekerja yang secara terus menerus menghisap debu dengan kadar di atas 1,5 mg/m³ bisa mendapat paparan lebih dari 1 mSv. Atau hal ini setara dengan paparan yang terus menerus diterima (dalam 2000 jam setiap tahun) pada jarak 2 meter dari pasir zirkon, sehingga dapat menghasilkan dosis di atas 1 mSv [3].

3.2. Aspek Keselamatan

Setiap tahapan proses hasil tambang, seperti proses peleburan pasir zirkon sampai dengan proses kalsinasi zirkonium hidroksida menjadi ZrO_2 akan terjadi distribusi TENORM (^{238}U , ^{232}Th , dan ^{40}K) dari sistem tersebut. Dengan demikian diperlukan sistem proteksi radiasi TENORM sebagai bagian dari keselamatan kerja terhadap pekerja radiasi.

Nilai batas dosis (NBD) berdasarkan ICRP (*International Commission on Radiological Protection*) No. 60 tahun 1990 untuk pekerja radiasi adalah 20 mSv/tahun dan untuk masyarakat 1 mSv/tahun. Proteksi radiasi adalah upaya perlindungan yang dilakukan untuk meminimalisasi kemungkinan dampak negatif dari radiasi pengion. Dampak negatif dari radiasi pengion dapat dibedakan menjadi dua, yaitu efek stokastik dan efek deterministik. Efek stokastik adalah efek yang kemungkinan terjadinya merupakan fungsi waktu dari dosis radiasi yang diterima oleh seseorang. Efek deterministik adalah efek yang tingkat keparahannya tergantung pada dosis radiasi yang diterima sehingga memerlukan nilai ambang batas. Tujuan proteksi radiasi adalah untuk mencegah efek deterministik dan membatasi peluang terjadinya efek stokastik, serta meyakinkan bahwa kegiatan yang menggunakan zat radioaktif atau sumber radiasi (radiasi pengion) dapat dibenarkan atau diperbolehkan [8].

3.3. Penetapan Batasan Kandungan Mineral Ikutan

Penetapan kandungan uranium dan thorium sebagai mineral ikutan hasil tambang perlu dilakukan dan diatur secara khusus. Hal ini untuk menjamin bahwa pemanfaatan mineral ikutan yang bahan sumber radioaktif tidak disalahgunakan.

Terkait penetapan batasan kandungan uranium dan thorium sebagai mineral ikutan ini masih sulit dilakukan. Mengingat belum ada yang melakukan kegiatan penelitian secara khusus terkait pembatasan nilai kandungan mineral radioaktif yang direkomendasikan.

Selain itu, minimnya referensi dari luar negeri belum dapat mewakili literatur sesuai yang diharapkan. Hal ini menjadi faktor hambatan dalam penetapan nilai batasan kandungan uranium dan thorium sebagai mineral ikutan.

Terkait bahan sumber radioaktif, Perka BAPETEN 9/2006 di bagian definisi menyebutkan bahwa bahan sumber adalah bahan-bahan lain yang mengandung satu atau lebih dari uranium dan thorium dalam konsentrasi yang ditetapkan oleh Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir. Sementara US NRC menetapkan nilai konsentrasi tersebut sebesar 500 ppm sehingga semua bahan yang memenuhi batasan konsentrasi 500 ppm tersebut akan diatur dan diawasi oleh NRC. [9] BAPETEN perlu untuk menentukan secara spesifik (kuantitatif) batasan konsentrasi uranium dan thorium sebagai mineral ikutan dalam hasil tambang yang termasuk dalam definisi bahan sumber menurut Perka BAPETEN 9/2006.

Bila Amerika menetapkan pembatasan kandungan konsentrasi uranium, thorium atau kombinasi keduanya sebesar 500 ppm, beberapa negara di Asia bagian barat ada yang menetapkan batasan konsentrasi bahan sumber tersebut di atas 200 ppm.

4. PEMBAHASAN

Penetapan batasan kandungan uranium dan thorium sebagai mineral ikutan ini membutuhkan ketelitian dan kehati-hatian. Karena banyak pihak yang terlibat nantinya bila pengaturan penetapan batasan kandungan ini sudah mulai ditetapkan.

Selain itu, belum adanya kegiatan penelitian yang meneliti tentang tingkat konsentrasi uranium dan thorium dari nilai keekonomisannya dalam skala komersial. Hal ini juga mempersulit penetapan pembatasan kandungan uranium dan thorium sebagai mineral ikutan.

Seperti diketahui, di Indonesia terdapat banyak perusahaan besar dan kecil yang bergerak dibidang pertambangan, peleburan, pengolahan maupun pemurnian hasil tambang. Bila penetapan konsentrasi kandungan uranium dan thorium terlalu tinggi, akan berdampak banyak mineral ikutan yang mengandung bahan sumber seperti uranium dan thorium yang terbawa ketika dijual (diekspor) ke luar negeri.

Namun bila penetapan batasan konsentrasi kandungan terlalu rendah, akan banyak terjadi penolakan dari pengusaha tambang, atau bukan tidak mungkin berdampak banyak perusahaan tambang yang menutup usahanya, karena belum tentu mereka sanggup melakukan pengolahan pemurnian dengan menurunkan nilai kandungan bahan sumber sampai batasan yang ditetapkan karena keterbatasan teknologi yang dimiliki.

Pada dasarnya tujuan penetapan kandungan bahan sumber ini untuk membatasi mineral ikutan yang terbawa ketika diekspor, maka bila dikaji dari Peraturan Menteri ESDM 11/2012 (sebagai pengganti Peraturan Menteri ESDM 7/2012) dalam Lampiran II Permen ESDM tersebut telah membatasi produk minimum komoditas zirkonia (ZrO_2) yang dijual ke luar negeri yaitu ($\text{ZrO}_2 + \text{Hf}$) > 99%. Serta diperkuat dengan surat keputusan Direktorat Jenderal Bea dan Cukai No. S-377/BC/2012 tertanggal 4 Mei 2012 yang melarang ekspor raw material mineral ke luar negeri diantaranya adalah bijih zirkon dan zirconium silikat dari jenis yang dipakai sebagai opasitas (*opacifier*) [10]. Maka ini berarti pengusaha membutuhkan investasi yang sangat besar untuk mendirikan pabrik pemurnian mineral pada skala komersial. Selain itu kandungan ($\text{ZrO}_2 + \text{Hf}$) yang dipersyaratkan oleh Kementerian ESDM sebesar > 99%, sehingga proses pemurnian tersebut secara otomatis juga telah membatasi kandungan mineral ikutan yang akan terbawa, atau dapat dikatakan kandungan mineral ikutan berupa uranium dan thoriumnya sudah tersaring.

Jadi berdasarkan uraian di atas, penetapan batasan konsentrasi uranium dan thorium sebagai mineral ikutan adalah sebesar 500 ppm, sesuai dengan yang ditetapkan US NRC. Artinya bahwa semua bahan sumber yang memenuhi batasan konsentrasi 500 ppm akan diatur dan diawasi oleh BAPETEN.

5. KESIMPULAN

1. Kegiatan kajian ini dilatarbelakangi oleh penetapan batasan konsentrasi uranium dan thorium perlu diatur secara khusus, untuk memastikan bahwa keselamatan radiasi terhadap masyarakat, pekerja dan lingkungan, serta keamanan bahan sumber yang memerlukan pengontrolan banyaknya bahan sumber (uranium dan thorium) yang beredar.
2. Kegiatan ini memfokuskan kepada kandungan uranium dan thorium sebagai mineral ikutan dalam beberapa pengolahan hasil tambang yang mempunyai potensi terbesar, sebagai contoh yang terdapat dalam mineral tanah jarang, pasir zirkon dan timah.
3. Pengolahan hasil tambang akan selalu disertai mineral ikutan yang dapat mengandung uranium dan thorium, yang selama proses pengolahannya mempunyai potensi risiko dan bahaya, sehingga perlu diketahui aspek keselamatan dan bagaimana cara pencegahannya.

4. Terkait Pertambangan Mineral dan Batubara, UU 4/2009 telah menyiratkan bahwa pengaturan dan pengawasan terhadap bahan sumber yang terdapat dalam hasil tambang, pada semua tingkatan konsentrasi, berada di bawah wewenang dan tanggung jawab BAPETEN sebagai badan pengawas ketenaganukliran di Indonesia.
 5. Terdapat beberapa regulasi yang mengatur dan membatasi bahan sumber terutama larangan untuk diekspor dalam konsentrasi tertentu, baik berupa undang-undang, peraturan pemerintah, keputusan menteri ESDM, peraturan menteri ESDM dan perdagangan, maupun peraturan Kepala BAPETEN, namun belum ada yang membahas secara khusus nilai batasan konsentrasi uranium dan thorium yang diperbolehkan sebagai mineral ikutan.
 6. Penetapan batasan konsentrasi uranium dan thorium sebagai mineral ikutan adalah sebesar 500 ppm, sesuai dengan yang ditetapkan US NRC. Artinya bahwa semua bahan sumber yang memenuhi batasan konsentrasi 500 ppm akan diatur dan diawasi oleh BAPETEN.
 7. Pengolahan hasil tambang dengan kandungan mineral ikutan uranium dan thorium untuk tujuan ekspor, BAPETEN merekomendasikan untuk melakukan pemurnian sampai dengan kandungan di bawah 500 ppm.
- DAFTAR PUSTAKA**
- [1] **Republik Indonesia** (1997); *Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran*; Kemenkumham.
 - [2] **Hidayanti, D., dkk** (2010); *Kajian Pengawasan Ekspor Pasir Zirkon yang Mengandung Bahan Sumber*; P2STPIBN BAPETEN; Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir III.
 - [3] **Poernomo, H.** (2012); *Informasi Umum Zirkonium*; Badan Tenaga Nuklir Nasional- Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan, Jogjakarta, Juli 2012.
 - [4] **Rodliyah I., dkk.** (2013); *Kajian Prospek Pengembangan Usaha Pengolahan Mineral Monasit*; Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara, ESDM,.
 - [5] **Hofmann, et.al.** (2000); *Natural Radionuclide Concentration in Materials Processed in the Chemical Industri and the Related Radiological Impact, Nuclear Science and the Environment*; European Commission, Report EUR 19264, 2000, p.20, 36.
 - [6] **Richards, A.** (2012); *Alkane Resources Set for Significant Rerating, Petra Capital Pty Ltd., arichards@petracapital.com.au.*
 - [7] **BAPETEN**, (2012); *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 9 Tahun 2009 Tentang Intervensi Terhadap Paparan yang Berasal dari TENORM*; BAPETEN, Jakarta.
 - [8] **Hidayanti, D.** (2010); *Kajian Teknis Tentang Identifikasi dan Inventarisasi Bahan Sumber*; P2STPIBN BAPETEN.
 - [9] **US NRC** (N.D.); *United State Nuclear Regulatory Commission*; 10 CFR Part 40.
 - [10] **ESDM** (2012); *Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia No. 11 Tahun 2012 Tentang Peningkatan Nilai Tambah Mineral Melalui Kegiatan Pengolahan Dan Pemurnian Mineral.*



Seminar Keselamatan Nuklir 2014 Makalah Penyaji Poster Bidang Instalasi dan Bahan Nuklir

Prosiding
Seminar
Keselamatan
Nuklir
2014

TINJAUAN MENGENAI IMPLEMENTASI SISTEM INFORMASI MANAJEMEN BERBASIS DIGITAL ARSIP DALAM RANGKA PENINGKATAN MUTU PELAYANAN PERIZINAN INSTALASI DAN BAHAN NUKLIR

Widi Laksmono, Ardiyani Eka Patriasari

Direktorat Perizinan Instalasi dan Bahan Nuklir, Badan Pengawas Tenaga Nuklir
e-mail: w.laksmono@bapeten.go.id; a.ekapatriasari@bapeten.go.id

ABSTRAK

TINJAUAN MENGENAI IMPLEMENTASI SISTEM INFORMASI MANAJEMEN BERBASIS DIGITAL ARSIP DALAM RANGKA PENINGKATAN MUTU PELAYANAN PERIZINAN INSTALASI DAN BAHAN NUKLIR. Tulisan ini membahas mengenai penerapan sistem informasi manajemen berbasis digital pada Direktorat Perizinan Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN. Tinjauan ini diperlukan sebagai salah satu bahan pertimbangan untuk memperbaiki peningkatan mutu pelayanan perizinan instalasi dan bahan nuklir di BAPETEN. Sistem informasi manajemen berperan dalam memudahkan pelaksanaan proses secara terencana, terkontrol, sistematis dan saling terhubung dengan baik. Proses perizinan yang berlangsung saat ini masih menggunakan sistem pengarsipan manual yang mengakibatkan penumpukan arsip dan belum adanya koordinasi yang kurang bagus dengan bagian arsiparis. Hasil dari tinjauan ini memberikan rekomendasi untuk diimplementasikannya sistem informasi manajemen berbasis digital arsip. Desain dari Sistem Informasi Manajemen ini memuat fitur-fitur seperti pengelompokan arsip digital, pendukung proses evaluasi perizinan, telusur arsip digital, pengingat bagi para evaluator, serta pelaporan. Diharapkan dari tulisan ini dapat dituangkan dalam rencana aksi sehingga seluruh pengelolaan arsip dokumen baik yang masuk maupun keluar dalam rangka perizinan instalasi dan bahan nuklir akan berbentuk arsip digital.

Kata Kunci: sistem informasi manajemen, arsip digital, pelayanan perizinan.

ABSTRACT

STUDY OF DIGITAL FILLING BASED MANAGEMENT INFORMATION SYSTEM TO ENHANCE QUALITY OF NUCLEAR INSTALLATION AND MATERIAL LICENSING PROCESS. This paper discuss implementation of digital filling based Management Information System in Directorate of Licensing for Nuclear Installation and Material, BAPETEN. This study needed as a reference for service enhancement on licensing process. Management Information System ensure licensing process planned, and controlled. Current licensing process still use manual filling system with lack of coordination with center of archive, BAPETEN. The result expected from this study is recommendation action plan in order to implement this digital filling based management information system. The design of management information system consist feature for categorizing filling digital, supporting for licensing process, history tracing, reminder, and reporting. By implement the action plan recommended from this study, not only can manage document file received from applicant but also can manage all type of document file issued on licensing process in digital form.

Keywords: management information system, digital filling, licensing process.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) adalah lembaga non kementerian yang melaksanakan pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir yang bertujuan untuk menjamin kesejahteraan, keamanan, ketentraman masyarakat, keselamatan dan kesehatan pekerja dan anggota masyarakat serta perlindungan terhadap lingkungan hidup. Salah satu bagian pengawasan dalam BAPETEN yang melakukan penyelenggaraan perizinan adalah Direktorat Perizinan Instalasi dan Bahan Nuklir (DPIBN). DPIBN mempunyai tugas dan tanggungjawab yang salah satunya adalah melaksanakan pelayanan perizinan terkait permohonan izin instalasi nuklir non reaktor, permohonan izin untuk reaktor nuklir baik itu reaktor nondaya maupun reaktor daya, penerbitan izin bekerja petugas instalasi dan bahan nuklir, serta penerbitan sertifikat terkait sertifikasi dan validasi bungkusan zat radioaktif. Dalam melaksanakan tugasnya,

DPIBN terbagi menjadi 3 (tiga) sub bagian dengan ruang lingkup tugas masing-masing. Untuk ruang lingkup izin instalasi nuklir dan reaktor nuklir khususnya reaktor nondaya, dalam melaksanakan proses pelayanan perizinan yang cukup panjang dan membutuhkan waktu lebih dari 1 (satu) tahun tergantung lingkup izin yang diminta. Lingkup permohonan izin yang terkait dalam melaksanakan tugas direktorat ini cukup kompleks, sehingga data dan informasi yang akurat, tepat waktu serta relevan sangat dibutuhkan. Selain itu dalam mendukung tugasnya, kerahasiaan dokumen permohonan izin dan dokumen evaluasi izin sangat dibutuhkan.

Saat ini proses pelayanan perizinan di DPIBN masih menggunakan sistem manual. Permasalahan dalam penerapan sistem manual di direktorat ini adalah terjadinya penumpukan dokumen yang kurang terorganisir, ruang yang terbatas untuk penyimpanan dokumen, kurangnya koordinasi dengan tenaga arsiparis, pendistribusian dokumen yang kurang efektif dan efisien kepada seluruh evaluator dalam rangka evaluasi perizinan, dan sebagainya. Berdasarkan data yang ada di lapangan tersebut maka dimungkinkannya

adanya tinjauan terhadap implementasi sistem informasi manajemen (SIM) yang akan diterapkan. SIM yang akan dikembangkan pada Direktorat ini direncanakan berbasis digital arsip. Alasan utama yang mendasari dalam pengembangan sistem ini berbasis digital arsip adalah penumpukan dokumen yang ada dan kurang terorganisirnya dokumen-dokumen yang tersimpan. Tujuan dari implementasi sistem ini adalah untuk menyediakan informasi yang dipergunakan dalam perencanaan, pengendalian, pengevaluasian serta dalam pengambilan keputusan yang menunjang peningkatan mutu pelayanan perizinan instalasi dan bahan nuklir dapat berjalan secara efektif dan efisien. SIM tersebut didesain agar dapat melakukan fungsi kontrol terhadap seluruh dokumen perizinan yang masuk dari pemohon dan keluar ke pemohon sehingga dapat mengurangi penyimpangan terhadap dokumen yang bersifat confidential. Selain itu, untuk mengantisipasi adanya dokumen yang hilang, mengetahui riwayat setiap proses evaluasi dokumen perizinan, dan untuk memenuhi kebutuhan informasi umum untuk semua Eselon pada BAPETEN atau subbagian yang terkait.

Kebutuhan untuk mengelola pengetahuan (knowledge management) di lingkungan DPIBN menjadi salah satu dasar pembuatan sistem ini. Dengan sistem ini maka berbagi pengetahuan dan sumber daya semakin mudah, hal tersebut dikarenakan terpusatnya penyimpanan arsip digital dengan dilengkapi kemudahan melakukan telusur dan pelaporan terkait proses perizinan.

Dengan demikian, maka diperlukan tinjauan implementasi sistem informasi manajemen berbasis digital arsip dalam rangka peningkatan mutu pelayanan perizinan instalasi dan bahan nuklir, terutama mengenai analisis masukan, proses, dan keluaran sistem, fitur-fitur sistem informasi manajemen ini dan rencana aksi yang akan diterapkan pada Direktorat Perizinan Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN.

1.2. Tujuan

Makalah ini membahas tinjauan mengenai implementasi sistem informasi manajemen berbasis digital arsip dalam rangka peningkatan mutu pelayanan perizinan instalasi dan bahan nuklir. Tinjauan ini digunakan untuk pedoman dasar dalam pengembangan sistem informasi manajemen, terutama mengenai analisis masukan (input), proses, dan keluaran (output) sistem, desain fitur sistem yang akan dibangun, tahapan-tahapannya serta rencana aksi yang akan diterapkan pada Direktorat Perizinan Instalasi dan Bahan Nuklir, BAPETEN.

Dengan diimplementasikannya sistem ini maka akan tersedia informasi yang dipergunakan dalam perencanaan, pengendalian, pengevaluasian, serta dalam pengambilan keputusan yang menunjang peningkatan mutu pelayanan perizinan instalasi dan bahan nuklir dapat berjalan secara efektif dan efisien.

1.3. Metode

Metode yang digunakan dalam penulisan makalah ini adalah observasi dan wawancara yang dilakukan ke setiap subbagian terkait analisis kebutuhan sistem yang mendukung proses pelayanan perizinan. Selain itu dilakukannya studi literatur terhadap beberapa dokumen terkait sistem informasi manajemen.

2. SISTEM INFORMASI MANAJEMEN

Dalam manajemen, informasi merupakan data yang telah diproses sehingga mempunyai arti tertentu bagi penerimanya. Sumber dari informasi adalah data. Sedangkan, data adalah kenyataan yang menggambarkan suatu kejadian, sedangkan kejadian itu merupakan suatu peristiwa yang terjadi pada waktu tertentu. Dalam hal ini informasi dan data saling berkaitan.

Sistem informasi manajemen menurut Davis (2002, p24), sebuah sistem informasi manajemen adalah sistem informasi yang

melakukan semua pengolahan transaksi yang dibutuhkan sebuah organisasi, mendukung dalam penyediaan informasi dan pengolahan untuk fungsi manajemen dalam pengambilan keputusannya. Dalam sebuah organisasi selalu membutuhkan sistem untuk mengumpulkan, mengolah dan menyimpan, melihat kembali, dan mendistribusikan informasi. Pengembangan sistem biasanya disesuaikan dengan keterkaitan prosedur yang ada dan terkadang kurang mengantisipasi perubahan peraturan yang dinamis.

Menurut Turban (2003, p33) management information system accessed, organized, summarized, and displayed information for supporting routine decision making in the functional areas. Sedangkan menurut Laudon and Laudon (2004, p16) MIS combines the theoretical work of computer science, management science, and operations research with a practical problem orientation toward developing system solutions to real world problems and managing information technology resources.

Menurut Mcleod and Schell (2004, p10) sistem informasi manajemen didefinisikan sebagai sebuah sistem yang berbasis komputer yang menyediakan informasi bagi para pengguna yang memiliki kebutuhan yang sama.

Jadi dapat diartikan bahwa, Sistem Informasi Manajemen (SIM) merupakan sistem berbasis komputer yang menyediakan informasi bagi para pengguna yang memiliki kebutuhan yang sama. Informasi yang dimaksud adalah data yang telah diolah/diproses sehingga lebih bermakna. Informasi juga biasanya menyampaikan sesuatu yang baru dan belum diketahui oleh pengguna. Output yang diharapkan dalam pengembangan SIM ini adalah dapat memberikan informasi kepada pengguna tentang apa saja yang telah dilaksanakan, sedang dilaksanakan, dan akan dilaksanakan pada suatu proses di lingkungan organisasi.

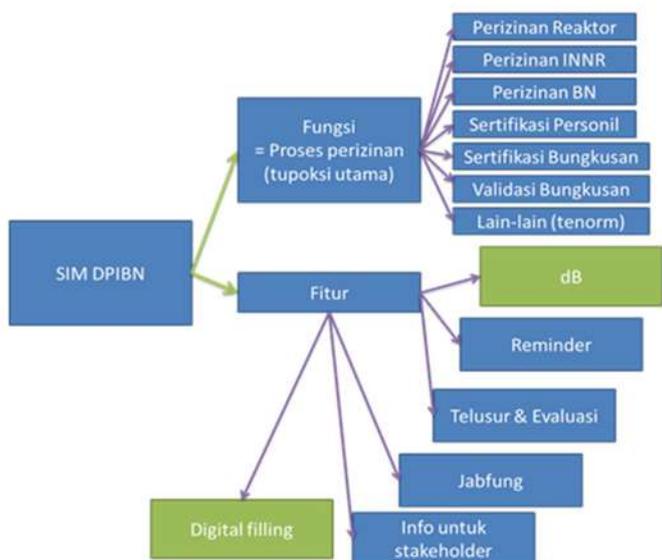
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum ditentukan desain yang diharapkan dalam sistem ini maka seluruh prosedur yang terkait dengan pelayanan perizinan instalasi dan bahan nuklir telah ditetapkan pada tahun 2010. Rencana desain dalam pengembangan sistem untuk setiap fitur telah dianalisis setiap komponennya dimulai dari tahun 2011, dan akan menentukan model besarnya untuk SIM di DPIBN secara keseluruhan. Tahun 2012–2014, DPIBN melakukan analisis terhadap fitur-fitur yang dibutuhkan serta input, output dan proses dari seluruh fitur proses perizinan yang telah teridentifikasi di awal. Fitur proses perizinan tersebut meliputi:

1. Fitur Perizinan Reaktor;
2. Fitur Perizinan INNR;
3. Fitur Perizinan Bahan Nuklir;
4. Fitur Sertifikasi Personil;
5. Fitur Sertifikasi Bungkusan;
6. Fitur Validasi Bungkusan;
7. Fitur Perizinan IBN Lainnya

Gambaran desain terhadap komponen-komponen yang ada di dalam SIM dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Proses pelayanan perizinan instalasi dan bahan nuklir masih dilakukan secara manual, sehingga pemrosesan izin yang menunjang pelayanan perizinan instalasi dan bahan nuklir berjalan kurang efektif dan efisien. Berdasarkan data yang ada di lapangan tersebut maka dimungkinkannya adanya tinjauan terhadap implementasi sistem informasi manajemen (SIM) yang akan diterapkan seperti pada **Tabel 1**. Perbandingan sistem manual DPIBN dengan SIM DPIBN. SIM yang akan dikembangkan pada Direktorat ini direncanakan berbasis pada basis data dan arsip digital. Dokumen terkait permohonan izin akan diarsip dalam bentuk digital.



Gambar 1: SIM DPIBN

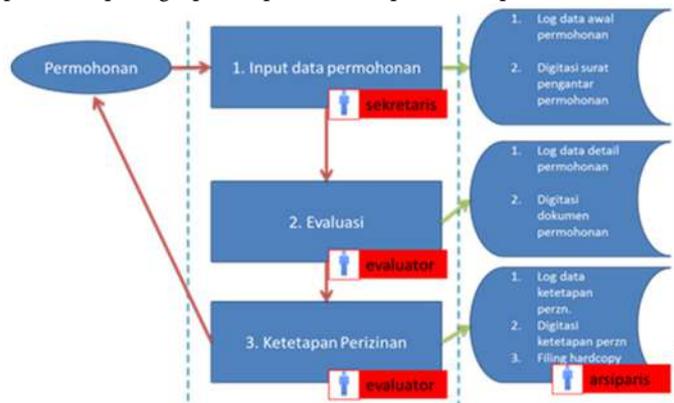
Tabel 1: Perbandingan sistem manual DPIBN dengan SIM DPIBN

Sistem Manual DPIBN	Sistem Informasi Manajemen DPIBN
Penumpukan dokumen yang kurang terorganisir	Dokumen akan disimpan dalam fitur “digital filling” ke dalam SIM DPIBN sesuai dengan fungsi dan proses perizinannya
Ruang penyimpanan yang terbatas	Disimpan dalam database dengan kapasitas yang memadai.
Perencanaan setiap tahun yang belum tercatat dengan baik	Memudahkan para pejabat/manager organisasi melakukan perencanaan sehingga membantu dalam pengambilan keputusan selanjutnya.
Pendistribusian dokumen yang kurang efektif dan efisien	Fungsi pendistribusian ini akan diberikan kepada eselon II dan III yang ada di DPIBN dan koordinator kegiatan yang telah ditetapkan dalam Surat Keputusan. Fungsi ini akan diakomodir dalam komponen setiap fitur proses perizinan seperti perizinan reaktor, perizinan INNR, dan lain-lain.
Evaluasi dokumen	Dengan SIM ini proses evaluasi akan lebih cepat dan semua riwayat evaluasi setiap evaluator akan tersimpan dengan baik.
Pengingat masih secara personal atau melalui email per orang	Pada SIM ini terdapat fitur “re-minder” yang bertujuan untuk memberikan informasi kepada evaluator atau pihak manajemen lainnya terkait batas waktu yang harus ditindaklanjuti atau tanggal-tanggal penting lainnya, misal batas waktu pengumpulan evaluasi berdasarkan deadline sehingga dapat dilindarkan dengan membuat surat peringatan (jika dibutuhkan).
Pencarian dokumen secara manual membutuhkan waktu yang lama	Pencarian dokumen dalam sistem membutuhkan waktu yang singkat, sehingga pengambil keputusan dapat mengetahui kronologi setiap proses perizinan dengan cepat. Selain itu memudahkan dalam pembuatan laporan tahunan.

Dalam sistem ini dirancang juga untuk membantu dalam pengumpulan dokumen pendukung jabatan fungsional. Proses umum yang terjadi didalam subsistem pada fungsi proses perizinan ini dimulai dari penyampaian dokumen permohonan masuk.

Seluruh dokumen yang masuk akan dipindai dalam bentuk digital yang akan disimpan dalam SIM ini. Selain itu, pengguna akan melakukan input data permohonan sesuai dengan parameter-parameter yang telah diidentifikasi.

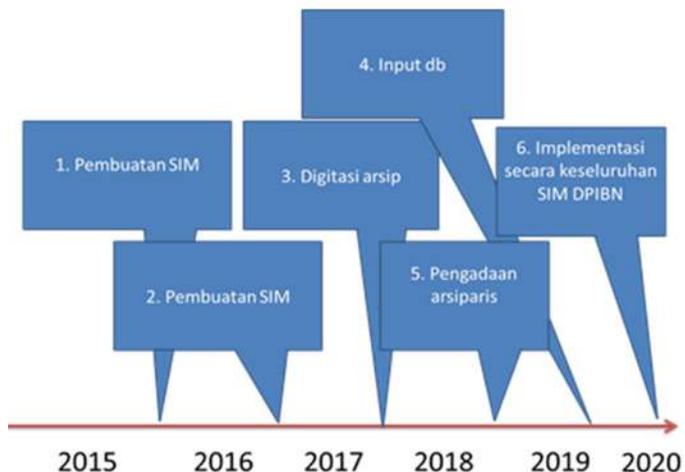
Hasil dari setiap aksi yang dilakukan oleh pengguna pertama adalah log data awal permohonan dan file digital untuk surat permohonan yang masuk. Kemudian, proses tersebut akan didistribusikan melalui SIM sesuai dengan disposisi dari Eselon II dan III. Sehingga, Sistem Informasi Manajemen (SIM) bukan sistem informasi keseluruhan, karena tidak semua informasi di dalam organisasi dapat dimasukkan secara lengkap ke dalam sebuah sistem yang otomatis. Aspek utama dari sistem informasi akan selalu ada di luar sistem komputer. Pada tahapan proses evaluasi inilah SIM akan menjalankan suatu proses yang kompleks, karena jika evaluasi dinyatakan belum memenuhi syarat maka setiap dokumen izin yang terkait tidak akan diterbitkan. Gambaran umum terkait proses pada setiap fungsi proses perizinan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2: Gambaran umum Sistem Manajemen Arsip Digital DPIBN

Dilihat dari tinjauan lapangan dengan implementasi sistem informasi manajemen berbasis digital arsip, maka implementasi SIM ini sangat dibutuhkan di BAPETEN khususnya Direktorat Perizinan Instalasi dan Bahan Nuklir. Pengembangan SIM harus memerlukan sejumlah orang yang berketrampilan tinggi dan berpengalaman lama dan memerlukan partisipasi dari para pengambil keputusan (pejabat Eselon I, II, dan III) di lingkungan organisasi. Dengan dibangun dan diimplementasikannya SIM ini akan menunjang peningkatan mutu pelayanan perizinan.

Untuk mengimplementasikan sistem ini maka perlu dibuat rencana tindak. Dengan mengintegrasikan seluruh pengelolaan kearsipan di DPIBN dengan sistem ini, maka dibutuhkan waktu 5 tahun. Apabila mulai dilaksanakan tahun 2015, maka usulan rencana tindak dapat dilihat dari Gambar 3.



Gambar 3: Saran rencana tindak implementasi Sistem Manajemen Arsip Digital DPIBN

4. KESIMPULAN

1. Adanya permasalahan yang muncul dengan penerapan sistem manual dalam proses pelayanan perizinan.
2. Telah tersusunnya prosedur-prosedur yang menunjang dalam pembangunan SIM berbasis digital arsip. Selain itu, telah dianalisis masukan, proses, dan keluaran (output) sistem, desain fitur sistem yang akan dibangun.
3. Berdasarkan data yang ada di lapangan, SIM yang dibangun adalah berbasis arsip digital. Alasan utama yang mendasari dalam pengembangan sistem ini berbasis digital arsip adalah penumpukan dokumen yang ada dan kurang terorganisirnya dokumen-dokumen yang tersimpan.
4. Berdasarkan perbandingan data yang ada di lapangan, dengan diimplementasikannya sistem ini maka akan tersedia informasi yang dipergunakan dalam perencanaan, pengendalian, pengevaluasian, serta dalam pengambilan keputusan.
5. Implementasi sistem ini diusulkan dalam sebuah usulan rencana tindak.

5. SARAN

1. Perlu dilakukan pembangunan sistem informasi manajemen berbasis digital arsip berdasarkan prosedur yang telah ditetapkan sebelumnya.

2. Perlu diidentifikasi kembali setiap analisis kebutuhan data dan parameter lainnya sehingga dalam implementasi SIM di DPIBN nanti dapat mengakomodasi setiap perubahan peraturan yang dinamis.
3. Perlu diimplementasikan usulan rencana tindak hasil tinjauan mengenai implementasi sistem informasi manajemen berbasis digital arsip dalam rangka peningkatan mutu pelayanan perizinan instalasi dan bahan nuklir.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] **Davis, B. Gordon**, (2002); *Kerangka Dasar Sistem Informasi Manajemen*; PT Pustaka Binaman Pressindo, Jakarta.
- [2] **Dellon, W.H., Mclean, E.R.**, (2003); *The Delon and McLean Model of Information Systems Succes: A Ten Years Update*, *Journal Of Management Information Systems/Spring 2003*. Vol. 19, No. 4. Pp. 9-30.
- [3] **Turban, E.**, (2003); *Information Technology for Management: Information Systems for Managers*; John Wiley
- [4] **Laudon, K.C., Laudon, J.P.**, (2004); *Management Information Systems (6th ed)*; New Jersey: PEARSON.
- [5] **McLeod, R.**, (2004); *Management Information Systems: A Study of Computer-Based Information System*; New York.
- [6] **McLeod, R. Jr., Schell, G.**, (2004); *Sistem Informasi Manajemen (edisi kedelapan)*; Jakarta: PT INDEKS.



Seminar Keselamatan Nuklir 2014 Makalah Penyaji Poster Bidang Instalasi dan Bahan Nuklir

Prosiding
Seminar
Keselamatan
Nuklir
2014

TINJAUAN MENGENAI IMPLEMENTASI PERATURAN DEKOMISIONING INSTALASI NUKLIR DI INDONESIA

Wiryono, Gede Ardana Mandala, Nur Rahmad Yusuf, Ardiyani Eka Patriasari

Direktorat Perizinan Instalasi dan Bahan Nuklir, Badan Pengawas Tenaga Nuklir

e-mail: y.wiryono@bapeten.go.id; g.ardana@bapeten.go.id; n.yusuf@bapeten.go.id; a.ekapatriasari@bapeten.go.id

ABSTRAK

TINJAUAN MENGENAI IMPLEMENTASI 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. Di samping itu untuk menghindari kesalahpahaman persepsi mengenai dekomisioning, sebaiknya tidak perlu dibedakan istilah dekomisioning untuk setiap jenis instalasi nuklir.

Kata Kunci: peraturan, instalasi nuklir, program dekomisioning, operator

ABSTRACT

REVIEW OF IMPELEMENTATION OF REGULATION ON NUCLEAR INSTALLATION DECOMMISSIONING IN INDONESIA. The review of implementation regulation on nuclear installation decommissioning in Indonesia has been carried out. This review is needed as a part of consideration material to improve the regulation on decommissioning so this regulation will more easily implemented by the operators of nuclear installation in establishment of their decommissioning program and harmonize the regulation with international practices. Regulation on decommissioning of nuclear installation is remain distinguish the terminology for each type of nuclear installation, and do not express clearly the difference content of material that are available in the decommissioning program for each stage of development of nuclear installation. Meanwhile, international practices had distinguished between material which is available in preliminary decommissioning program and final decommissioning program. Preliminary decommissioning program contains description about decommissioning strategy and engineering justification, information on decommissioning, campaign of decommissioning which comprise of the stages of decommissioning, and final status which includes engineering justification and utilization of facilities or sites in the future era. Meanwhile, the final decommissioning program was added with description of planning, description of work, radiation protection, management of waste, method of clean-up and engineering justification in the section of campaign of decommissioning, also uncertainty and assessment of environmental impact in the section of final status. Therefore, BAPETEN should stipulate clearly the content of material which must be described in the decommissioning program for each stages erection of nuclear installation. Beside of this, in order to avoid misunderstanding in perception about decommissioning, it should not be necessary to distinguish the terminology of decommissioning for each type of nuclear installation.

Keywords: regulation, nuclear installation, decommissioning program, operator

1. PENDAHULUAN

1.1. 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, 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 INN. Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir menggunakan istilah dekomisio-

ning 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 INNRR, sementara istilah dekomisioning digunakan untuk reaktor nuklir.

Selain itu PP 2/2014 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.

1.2. Tujuan

Makalah ini membahas tinjauan mengenai implementasi peraturan dekomisioning instalasi nuklir di Indonesia. Makalah ini disusun untuk mengidentifikasi akar/sumber permasalahan terdapatnya perbedaan penggunaan istilah dekomisioning dan materi muatan yang harus diuraikan dalam program dekomisioning.

1.3. Metode

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.

2. DEKOMISIONING INSTALASI NUKLIR

Berdasarkan Pasal 1 angka 14 UU 10/1997 tentang Ketenaganukliran dan Pasal 1 angka 1 Perka BAPETEN 4/2009 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 Perka BAPETEN 6/2011 tentang Dekomisioning Instalasi Nuklir Non Reaktor dinyatakan bahwa dekomisioning INNRR adalah suatu kegiatan untuk menghentikan beroperasinya INNRR secara tetap, antara lain dilakukan pemindahan bahan nuklir dari INNRR, pembongkaran komponen instalasi, dekontaminasi, dan pengamanan akhir [3].

Berdasarkan PP 54/2012 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 PP 2/2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir dinyatakan bahwa dekomisioning instalasi nuklir adalah dekomisioning dan dekomisioning INNRR.

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 INNRR 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].

3. PROGRAM DEKOMISIONING

Berdasarkan Pasal 7 Perka BAPETEN 4/2009 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 Perka BAPETEN 8/2012 tentang Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan Reaktor Nondaya dinyatakan bahwa program dekomisioning reaktor nuklir mengacu pada Perka BAPETEN 4/2009 tentang Dekomisioning Reaktor Nuklir [2]. Selain itu berdasarkan PP 2/2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir dinyatakan bahwa dekomisioning instalasi nuklir adalah dekomisioning dan dekomisioning INNRR. Program dekomisioning reaktor nuklir atau program dekomisioning tersebut memuat uraian sebagaimana **Table 1** [5].

Table 1: Program Dekomisioning Reaktor Nuklir

Program Dekomisioning Reaktor Nuklir (Perka BAPETEN 4/2009)	Program Dekomisioning (PP 2/2014)
6. uraian instalasi;	1. uraian reaktor nuklir;
7. struktur organisasi pelaksana dekomisioning dan jadwal kegiatan yang merupakan bagian dari manajemen dekomisioning;	2. manajemen dekomisioning;
8. metode atau opsi dekomisioning;	3. opsi dekomisioning;
9. rencana survei karakterisasi atau ringkasannya;	4. rencana survei karakterisasi;
10. perkiraan biaya dekomisioning;	5. perkiraan biaya dekomisioning;
11. analisis atau kajian keselamatan;	6. analisis keselamatan;
12. kajian lingkungan atau ringkasannya;	7. pengelolaan dan pemantauan lingkungan;
13. program proteksi radiasi;	8. proteksi radiasi;
14. program keamanan nuklir dan self-gard;	9. rencana proteksi fisik dan sistem safeguards;
15. program kesiapsiagaan nuklir;	10. program kesiapsiagaan nuklir;
16. rencana penanganan limbah radioaktif;	11. rencana penanganan limbah radioaktif;
17. kegiatan dekomisioning;	12. kegiatan dekomisioning;
18. surveilan dan perawatan; dan	13. surveilan dan perawatan; dan
19. survei radiasi akhir.	14. survei radiologi akhir.

Berdasarkan Perka BAPETEN 6/2011 tentang Dekomisioning Instalasi Nuklir Non Reaktor dinyatakan bahwa Pemegang izin harus menetapkan program dekomisioning INNRR, menyusun ringkasan program dekomisioning INNRR dalam laporan analisis kese-

lamatan akhir. Program dekomisioning INNR yang harus dibuat dalam dokumen tersendiri selama tahap konstruksi.

Berdasarkan Perka BAPETEN 10/2006 tentang Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan Instalasi Nuklir Non Reaktor dinyatakan bahwa program dekomisioning instalasi nuklir non reaktor mengacu pada Perka BAPETEN 6/2011 tentang Dekomisioning Instalasi Nuklir Non Reaktor [3]. Sedangkan berdasarkan PP 54/2012 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 (Perka BAPETEN 6/2011)	Program Dekomisioning Instalasi Nuklir (PP 54/2012)
1. uraian instalasi;	1. struktur organisasi pelaksana dekomisioning dan jadwal kegiatan;
2. struktur organisasi pelaksana dekomisioning INNR dan jadwal kegiatan yang merupakan bagian dari manajemen dekomisioning INNR;	2. uraian instalasi nuklir;
3. opsi dekomisioning INNR;	3. metode/opsi dekomisioning;
4. rencana survei karakterisasi atau ringkasannya;	4. rencana survei karakterisasi atau ringkasannya;
5. perkiraan biaya dekomisioning INNR;	5. perkiraan biaya dekomisioning;
6. analisis atau kajian keselamatan;	6. analisis atau kajian keselamatan;
7. kajian lingkungan atau ringkasannya;	7. kajian lingkungan atau ringkasannya;
8. proteksi radiasi;	8. program proteksi radiasi;
9. rencana proteksi fisik dan seif-gard;	9. program seifgard dan proteksi fisik;
10. kesiapsiagaan nuklir;	10. program kesiapsiagaan nuklir;
11. rencana penanganan limbah radioaktif;	11. rencana penanganan limbah radioaktif;
12. kegiatan dekomisioning INNR;	12. kegiatan dekomisioning;
13. surveilan dan perawatan; dan	13. surveilan dan perawatan; dan
14. survei radiologi akhir.	14. survei radiasi akhir.

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	Decommissioning Activity
----------------	--------------------------

Design, Construction & Start-up Phase	Initial Decommissioning Plan		
Operating Phase	Update Decommissioning Plan	Finalize Safe Enclosure Plan & Prepare Shutdown Plan	
Transition Phase	Source Term Reduction & Waste Condition	Prepare Site	Preparation Plan & S&M Plan
Preparation Phase	Site Preparation & Initial Dismantling		
Deferred Dismantling Period	Update Final Decommissioning Plan	Surveillance & Maintenance Implementation	
Decontamination & Dismantling Phase	Decontamination & Dismantling Activities		
Final Phase	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].

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>)
<ol style="list-style-type: none"> Uraian mengenai strategi dekomisioning dan alasan pembenaran (<i>justification</i>) Informasi Umum mengenai dekomisioning <ol style="list-style-type: none"> Metode, status akhir (<i>end-state</i>), pemantauan. Desain fasilitas yang memudahkan dekomisioning. Penyimpanan Catatan dan Rekaman. <i>Skills and knowledge management</i>. Pengelolaan limbah hasil dekomisioning. Pelaksanaan Dekomisioning <ol style="list-style-type: none"> Tahapan dekomisioning. Perencanaan. Uraian pekerjaan dan peralatan yang diperlukan untuk dekomisioning. Tujuan keselamatan dan proteksi radiasi. Pengelolaan limbah, <i>discharge</i>, resiko konvensional. Metode <i>clean-up</i> yang digunakan untuk bangunan dan tanah (<i>soils, civil engineering</i>). 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>). Status Akhir (<i>Final End-State</i>) <ol style="list-style-type: none"> Uraian mengenai status akhir (<i>final end-state</i>) dan pembenarannya. Perkiraan penggunaan fasilitas/tapak di masa mendatang. Ketidakpastian terkait dengan uraian mengenai status akhir (<i>final end-state</i>). Pengkajian dampak lingkungan.

4. 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

UU 10/1997 tentang Ketenaganukliran dan Perka BAPETEN 4/2009 tentang Dekomisioning Reaktor Nuklir menggunakan istilah dekomisioning untuk reaktor nuklir. Juga pada Perka BAPETEN 6/2011 tentang Dekomisioning Instalasi Nuklir Non Reaktor menggunakan istilah dekomisioning INNR. Sementara itu pada PP 54/2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir menggunakan istilah dekomisioning untuk dekomisioning instalasi nuklir. Sedangkan pada PP 2/2014 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.

5. KESIMPULAN

1. Adanya perbedaan penggunaan istilah dekomisioning untuk setiap jenis instalasi nuklir.
2. Terdapat perbedaan pengaturan yang cukup signifikan antara PP 2/2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir dengan Perka BAPETEN 4/2009 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.
3. Muatan materi yang harus diuraikan dalam Program dekomisioning untuk INNR secara jelas mengacu pada Perka BAPETEN 6/2011 tentang Dekomisioning Instalasi Nuklir Non Reaktor.

6. SARAN

1. Perlu dilakukan pendefinisian ulang istilah dekomisioning terutama definisi dalam UU 10/1997 tentang Ketenaganukliran yang mencerminkan tindakan atau kegiatan, bukan cenderung membedakan jenis instalasinya.
2. Perlu dilakukan penyesuaian Perka BAPETEN 4/2009 tentang Dekomisioning Reaktor Nuklir dengan PP 2/2014 tentang Peri-

zinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir sehingga muatan materi yang harus diuraikan dalam program dekomisioning untuk reaktor nuklir lebih jelas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] **Republik Indonesia** (1997); *Undang-undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran*.
- [2] **BAPETEN** (2009); *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2009 tentang Dekomisioning Reaktor Nuklir*.
- [3] **BAPETEN** (2011); *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 6 Tahun 2011 tentang Dekomisioning Instalasi Nuklir Non Reaktor*.
- [4] **Republik Indonesia** (2012); *Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir*.
- [5] **Republik Indonesia** (2014); *Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir*.
- [6] **Boing, E.L.** (2014); *Introduction to Decommissioning, Nuclear Engineering Division; U.S. Department of Energy*.
- [7] **French Nuclear Safety Authority, ASN** (2010); *Mise a l'arret definitive, demantelement et declassement des installations nucleaires de base en France, Guide De L'ASN INB No. 6; ASN, France*.
- [8] **IAEA** (2000); *IAEA Safety Standards Series No. WS-R-2 Predisposal Management of Radioactive Waste, including Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors; IAEA, Vienna*.
- [9] **IAEA** (2006); *IAEA Safety Standards Series No. WS-R-5 Decommissioning of Facilities; IAEA, Vienna*.
- [10] **IAEA** (1999); *IAEA Safety Standards Series No. WS-G-2.1 Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors; IAEA, Vienna*.
- [11] **IAEA** (2001); *IAEA Safety Standards Series No. WS-G-2.4 Decommissioning of Nuclear Fuel Cycle Facilities; IAEA, Vienna*.
- [12] **IAEA** (2008); *IAEA Safety Standards Series No. WS-G-5.1 Release of Sites from Regulatory Control on Termination of Practices; IAEA, Vienna*.
- [13] **IAEA** (2008); *IAEA Safety Standards Series No. WS-G-5.2 Safety Assessment for the Decommissioning of Facilities Using Radioactive Material; IAEA, Vienna*.
- [14] **IAEA** (2013); *IAEA Safety Reports Series No. 77 Safety Assessment for the Decommissioning; IAEA, Vienna*.
- [15] **Meck, A.R.** (2013); *Approaches used for clearance of Lands from Nuclear Facilities among Several Countries; Swedish Radiation Safety Authority*.