

## **PENGELOLAAN LIMBAH RADIOAKTIF REFLEKTOR TRIGA MARK II –BANDUNG**

Rini Heroe Oetami, Sigit Nugroho Pamungkas, Tri Cahyo Laksono,  
Soleh Sofyan, Jangkung Wiratmo

Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan, Jl. Tamansari No.71 Bandung 40132

### **ABSTRAK**

**PENGELOLAAN LIMBAH RADIOAKTIF REFLEKTOR TRIGA MARK II –BANDUNG.** Telah dilakukan pengelolaan limbah radioaktif berupa limbah reflektor yang berasal dari kegiatan up grading reaktor TRIGA Mark II . Reflektor merupakan bagian struktur reaktor TRIGA Mark II – Bandung yang radioaktif dengan paparan cukup tinggi. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No.61 tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif, penghasil limbah diwajibkan untuk mengelola limbah yang dihasilkan dari setiap kegiatan pemanfaatan tenaga nuklir. Tujuan dari pengelolaan limbah reflektor adalah untuk mempersiapkan limbah reflektor sebelum pengangkutan ke fasilitas penyimpan limbah radioaktif, di PTLR-BATAN Serpong dengan aman dan selamat. Proses pengelolaan yang dilakukan meliputi pemetaan radiasi pada boks penyimpan reflektor; pemisahan reflektor dari limbah radioaktif lainnya, pengukuran radioaktivitas reflektor dan penilaian keselamatan. Pemetaan radiasi dilakukan dengan menggunakan Teletector 612B SN/69673 diperoleh laju paparan tertinggi 0,25 R/jam pada permukaan boks penyimpan reflektor. Dengan menggunakan Identifinder RT-30 teridentifikasi kandungan radionuklida Co-60 didalam reflektor sedangkan pengukuran laju dosis menggunakan surveimeter Babyline 2517 dengan faktor kalibrasi 0,982 diperoleh laju dosis 25 mSv/jam pada permukaan reflektor dan 1600  $\mu$ Sv/jam laju dosis pada jarak 1 meter dari permukaan reflektor. Berdasarkan penilaian keselamatan untuk seluruh proses karakterisasi, tidak ditemukan adanya paparan berlebih. Hasil pemantauan dosis pekerja radiasi maupun anggota masyarakat yang terlibat dalam seluruh kegiatan karakterisasi ini tidak ada yang melebihi nilai batas dosis untuk pekerja (20 mSv/tahun) dan nilai batas dosis untuk anggota masyarakat (1 mSv/tahun).

*Katakunci: limbah radioaktif, reflektor, laju paparan, laju dosis*

### **ABSTRACT**

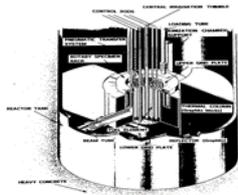
**REFLECTOR TRIGA MARK II -BANDUNG RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT.** The management of radioactive waste in the form of a reflector waste originating from activities of upgrading reactor TRIGA Mark has been made. Based on Government Regulation No.61 of 2013 on the Management of Radioactive Waste, the objective of waste management is to prepare reflector waste prior to transportation to the radioactive waste storage facility, which is in PTLR-BATAN Serpong securely and safely. Waste management includes mapping of radiation in a storage box, reflector separation from other radioactive waste in the storage box, reflector radioactivity measurement and assessment of the safety of the entire management process undertaken. Radiation mapping is done by using Teletector 612B SN/69 673 shows the highest exposure rate of 0.25 R/h on the surface of the storage box reflector. By using Identifinder RT-30, it was identified the content of radionuclides Co-60 in the reflector while the measurement of the dose rate by using survey meter Babyline 2517 with a calibration factor of 0.982 is 25 mSv/h on a surface of the reflector and the dose rate at a distance of 1 meter from the surface of the reflector of 1600  $\mu$ Sv/h. Based on the assessment made for the safety of the entire process of characterization did not reveal any overexposure. The results of monitoring of worker radiation doses and community members involved in all activities of this characterization no value exceeding the dose limit for workers (20 mSv/year) and the value of the dose limit for members of the public (1 mSv/year).

*Keywords: radioactive waste, reflector, exposure rate, dose rate*

## 1. PENDAHULUAN

Setelah berhasil dengan peningkatan daya yang pertama dari 250 kW menjadi 1 MW pada tahun 1971, reaktor TRIGA Mark II – Bandung dioperasikan dengan daya 1 MW sejak tahun 1971 sampai dengan awal tahun 1996. Pada bulan April 1996 reaktor TRIGA Mark II – Bandung dihentikan sementara kegiatan operasinya untuk menjalani dekomisioning parsial dari beberapa komponen reaktor sebagai bagian dari kegiatan program peningkatan daya reaktor dari 1 MW menjadi 2 MW. Salah satu komponen reaktor yang dibongkar adalah reflektor. Reflektor merupakan bagian dari struktur reaktor.

Teras reaktor dan reflektor berbentuk suatu silinder dengan diameter 112 cm dan tinggi 89 cm. Teras reaktor berisi kisi-kisi, elemen bakar, elemen grafit *dummy* dan batang kendali. Seluruh teras dikelilingi oleh reflektor grafit. Teras dan reflektor tersebut terletak di dasar tangki reaktor yang ditunjang oleh struktur pendukung reaktor. Reflektor adalah suatu blok berbentuk cincin yang mengelilingi teras secara radial. Terbuat dari grafit setebal 28,4 cm dengan diameter dalam 53,0 cm dan tinggi 73,3 cm. Grafit ini dikandung dalam rumahan alumunium yang kedap air. Grafit dan permukaan luar dari rumahan reflektor ditembus oleh pipa berkas radial piercing yang terbuat dari tabung alumunium. Dua lubang lain menembus grafit, yaitu pipa berkas radial dan pipa berkas tangensial. Kedua lubang ini tidak menembus rumahan alumunium dan pipa berkas berujung sedikit di luar rumahan reflektor [1].



Gambar 1. Reflektor TRIGA Mark II

Reflektor yang telah dibongkar dari teras reaktor bersifat sangat radioaktif dan tidak digunakan lagi sehingga menjadi limbah radioaktif. Sejak tahun 2003 hingga saat ini, limbah radioaktif reflektor tersimpan di dalam boks penyimpanan limbah radioaktif yang terbuat dari boks besi dengan ukuran (2,54 x 2,67 x 1,95 m) dengan penutup berupa lembar Pb dengan ketebalan 1 cm. Boks penyimpanan limbah ini terletak di dalam kolam beton dibawah tanah dengan ukuran (7,90 x 3,91 x 5,80 m) dan ketebalan tembok 0,425 m bercampur dengan limbah radioaktif lainnya yang merupakan sisa

kegiatan *upgrading* reaktor TRIGA Mark II terdahulu. Limbah radioaktif tersebut direncanakan untuk dikirim ke fasilitas penyimpanan limbah radioaktif di Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) - BATAN pada tahun yang akan datang.

Penyimpanan limbah radioaktif dengan paparan yang cukup tinggi berpotensi untuk memberikan paparan radiasi kepada pekerja dan lingkungan di sekitarnya. Semakin lama penyimpanan akan semakin banyak kontribusi dosis paparan kerja bagi pekerja radiasi dan jika berlangsung cukup lama maka akan memberikan efek radiasi terhadap kesehatan. Selain efek terhadap kesehatan dikhawatirkan penyimpanan yang terlalu lama akan menjadi tidak aman karena dikhawatirkan kolam penyimpanan akan berkurang kualitas integritas keselamatannya secara alamiah. Untuk menghindarkan potensi situasi tersebut maka limbah reflektor harus dikirim ke penyimpanan limbah radioaktif.

Limbah Radioaktif adalah zat radioaktif dan bahan serta peralatan yang telah terkena zat radioaktif atau menjadi radioaktif karena pengoperasian instalasi nuklir yang tidak dapat digunakan lagi. Limbah Radioaktif diklasifikasikan dalam jenis: a. Limbah Radioaktif tingkat rendah; b. Limbah Radioaktif tingkat sedang; dan c. Limbah Radioaktif tingkat tinggi [2]. Berdasarkan peraturan Pemerintah No.61 Tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif pasal 3 ayat 1 disebutkan bahwa Pengelolaan Limbah Radioaktif sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 dilaksanakan oleh Penghasil Limbah Radioaktif dan BATAN.

Pusat Sains dan Teknologi nuklir terapan (PSTNT) sebagai penghasil limbah radioaktif tingkat rendah dan tingkat sedang memiliki kewajiban untuk mengumpulkan, mengelompokkan, atau mengolah limbah radioaktif sebelum dikirim ke fasilitas pengolahan limbah radioaktif yaitu PTLR - BATAN.

Untuk kebutuhan persiapan pengiriman limbah reflektor, selain geometri dan dimensi limbah reflektor diperlukan pula data radioaktivitas reflektor dan laju dosis permukaan reflektor terkini. Data radioaktivitas dan laju dosis sangat diperlukan untuk merancang wadah limbah dan moda pengangkutannya.

Untuk penyiapan limbah reflektor sebelum pengiriman dilakukan pengelolaan limbah reflektor yang meliputi tahapan kegiatan pemetaan radiasi pada boks penyimpanan reflektor, pengeluaran limbah reflektor dari dalam boks penyimpanan limbah radioaktif, pengukuran radioaktivitas reflektor dan penilaian keselamatan. Setiap tahap kegiatan pengelolaan limbah radioaktif tersebut harus memperhatikan

keselamatan radiasi bagi pekerja, anggota masyarakat dan lingkungan.

Tujuan dari pengelolaan limbah reflektor adalah untuk mempersiapkan karakterisasi limbah reflektor sebelum pengangkutan ke fasilitas penyimpan limbah radioaktif dengan aman dan selamat.

## 2. TATAKERJA (BAHAN DAN METODE)

Peralatan yang digunakan dalam pengelolaan limbah radioaktif reflektor ini adalah : *crane* dengan kekuatan 5 ton, surveimeter Babyline model 2517 dengan faktor kalibrasi 0,982, surveimeter Identifinder RT 60, *air sampler* Staplex model AS-2 No.30203 lengkap dengan filternya, *pocket dosimeter*, TLD badge dan alat pelindung diri (APD) seperti: baju kerja, sarung tangan dan sepatu kerja. Perlengkapan pengelolaan limbah radioaktif yang disiapkan adalah lembaran plastik, drum limbah radioaktif, alat tulis, label radiasi dan kertas merang.

Adapun proses pengelolaan limbah radioaktif reflektor meliputi tahapan: kegiatan pemetaan radiasi pada boks penyimpan reflektor, pengeluaran limbah reflektor dari dalam boks penyimpan limbah radioaktif, pengukuran radioaktivitas reflektor dan penilaian keselamatan.

### 2.1 Pemetaan radiasi pada boks penyimpan reflektor.

Luas permukaan tutup boks penyimpan yang berlapis Pb dibagi dalam 25 luasan dimana masing-masing luasan dibatasi oleh rangka besi berwarna kuning pada tutup boks dengan pelapis Pb dan dilakukan pengukuran pada masing-masing luasan tersebut. Laju paparan radiasi pada 25 titik luasan tersebut diukur menggunakan Teletector 612B SN/69673 dengan tujuan untuk memperkirakan posisi reflektor di dalam boks penyimpan karena pada saat reflektor pertama kali dimasukkan dalam boks tersebut memiliki laju paparan yang terbesar dibandingkan dengan laju paparan material limbah radioaktif lainnya.

Untuk mengidentifikasi radionuklida di dalam boks penyimpan digunakan identifinder RT 30 dengan cara mengukur dosis akumulasi selama 30 menit diatas permukaan boks penyimpan pada titik pengukuran dengan laju paparan tertinggi.



Gambar 2. Posisi pemetaan radiasi boks limbah.

Pemetaan dilakukan untuk merencanakan kegiatan pengelolaan limbah dan memperkirakan laju paparan dari reflektor saat ini setelah penyimpanan didalam boks selama hampir 12 tahun. Proses pemetaan radiasi dilakukan dengan memperhatikan teknik-teknik proteksi radiasi

### 2.2 Pengukuran radiasi pada pengeluaran limbah reflektor dari dalam boks penyimpan limbah radioaktif.

Untuk mengeluarkan limbah reflektor dari dalam boks penyimpan limbah radioaktif dilakukan dengan membuka penutup boks berlapis Pb menggunakan crane dengan kekuatan 5 ton dan menerapkan teknik proteksi radiasi berupa pengaturan waktu dan jarak. Pengaturan waktu dilakukan berdasarkan laju dosis hasil pemetaan radiasi sebelumnya dan pengukuran radiasi daerah kerja. Reflektor diangkat dengan menggunakan *crane* dengan mengaitkan tali pengangkat ke bagian reflektor pada sisi yang sudah didisain untuk pengangkatan. Kemudian reflektor dikeluarkan dari boks penyimpan dan diletakkan di dalam kolam disisi sebelah selatan. Selama proses pemindahan reflektor ini dilakukan pengukuran konsentrasi radioaktivitas udara di dalam kolam beton bawah tanah dan juga di bagian atas kolam. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan *airsampler* Staplex model AS-2 No.30203 selama 1 jam di masing-masing posisi.

Setelah reflektor dikeluarkan dari dalam boks penyimpan limbah radioaktif dilakukan pengukuran dengan surveimeter Babyline pada beberapa bagian dari reflektor untuk mendapatkan laju dosis tertinggi. Pengukuran juga dilakukan untuk daerah kerja yaitu laju dosis pada jarak 1 meter dari permukaan reflektor.

### 2.3 Penilaian keselamatan

Penilaian keselamatan dilakukan dengan penilaian kualitatif dan kuantitatif. Penilaian secara kuantitatif dilakukan dengan membandingkan terimaan dosis pekerja dan masyarakat dengan kriteria nilai batas dosis.



Gambar 3. Pengangkatan penutup boks wadah limbah reflektor dan reflektor dengan *crane*.

Penilaian keselamatan meliputi pertimbangan-pertimbangan tentang dampak radiologik, fasilitas penyimpanan dan sistem pengelolaan limbah [3]. Sistem pengelolaan limbah diamati secara kualitatif yang terdiri dari tahapan persiapan kegiatan, pembukaan tutup boks penyimpan limbah dan proses pengeluaran reflektor dari boks penyimpan limbah. Setiap tahapan tersebut melibatkan laju dosis di daerah kerja yang cukup tinggi.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan dimensi dari limbah radioaktif reflektor Triga Mark II memiliki volume aluminium 0,0445 m<sup>3</sup> dan berat 120 kg sedangkan volume grafit adalah 0,3290 m<sup>3</sup> dan berat 550 kg.

Sebelum melakukan pemetaan radiasi pada permukaan boks penyimpan reflektor dilakukan pengukuran laju dosis radiasi pada daerah kerja dengan hasil: daerah sebelah timur dari kolam beton sebesar 70 µSv/jam, sebelah selatan 60 µSv/jam, sebelah barat 80 µSv/jam dan sebelah utara 80 µSv/jam. Paparan ini cukup tinggi untuk daerah kerja sehingga diperlukan pengaturan waktu kerja untuk Petugas Proteksi Radiasi (PPR) maupun Pekerja Radiasi (PR) agar nilai batas dosis tidak dilampaui.

Pemetaan radiasi dilakukan untuk merencanakan kegiatan pengelolaan limbah dan memperkirakan laju paparan dari reflektor pada saat ini setelah penyimpanan di dalam boks selama hampir 12 tahun. Hasil pemetaan radiasi di permukaan boks dalam Gambar 2. apabila digambarkan dalam bidang datar memberikan data laju paparan (mR/jam) seperti dalam Gambar 4. dibawah ini.

	a	b	c	d	e
p	40	100	50	50	43
q	70	100	75	50	45
r	100	150	100	100	46
s	150	250	200	100	50
t	100	120	150	50	50

**Gambar 4. Nilai laju paparan radiasi (mR/jam) pada bidang datar penutup boks penyimpan reflektor.**

Laju paparan radiasi pada permukaan boks penyimpan reflektor berkisar antara 43-250 mR/jam. Pada daerah dengan laju paparan tertinggi sebesar 250 mR/jam dan sekitarnya,

diperkirakan dosis tertinggi berasal dari reflektor yang berada pada posisi kolom a, b, c dan baris s, t. Dari hasil pemetaan tersebut, diperkirakan laju dosis dari reflektor akan jauh lebih tinggi setelah tutup reflektor dibuka, karena paparan radiasi bersifat langsung dengan tidak adanya perisai Pb. Dengan demikian bahaya radiologik akan menjadi lebih dominan pada proses pembukaan tutup boks reflektor.

Identifikasi kandungan radionuklida di dalam reflektor dengan alat Identifinder RT 60 diperoleh Co-60 yang merupakan pemancar gamma dengan waktu paro 5,27 tahun. Berdasarkan hasil perhitungan dengan software ORIGEN, kandungan radioaktivitas reflektor TRIGA Mark II yang dominan masih ada setelah 10 tahun adalah H-3, Be-10 dan C-14 [4]. Diperkirakan radionuklida Co-60 merupakan kontaminan yang melekat pada reflektor dan berasal dari hasil aktivasi neutron di dalam tangki reaktor. Radionuklida H-3 (waktu paro 12,32 tahun), Be-10 (waktu paro 1,39 x 10<sup>6</sup> tahun), dan C-14 (waktu paro 5730 tahun,) tidak terdeteksi oleh Identifinder RT 60 kemungkinan disebabkan aktivitasnya sangat rendah dan merupakan pemancar beta.

Komponen reflektor bekas dari reaktor Triga Mark II, yang paling dominan adalah grafit, sedangkan tutup aluminium dan bolt dari baja tahan karat mempunyai kontribusi yang sangat kecil. Dari segi aktivitas C-14 dan H-3 adalah radionuklida yang paling dominan, disamping Ni-59, Ni-63 dan Cs-137, tetapi dari paparan radiasinya Co-60 adalah yang paling dominan, sebab Co-60 mempunyai energi maksimum yang sangat tinggi, yaitu 318 keV untuk β dan 2 energi radiasi γ yaitu: 1,17 MeV dan 1,33 MeV [5].

Pengukuran laju dosis pada permukaan reflektor yaitu pada daerah yang diperkirakan mewakili dimensi reflektor yaitu pada bagian tengah dari tinggi reflektor memberikan laju dosis 25 mSv /jam pada permukaan reflektor dan 1600 µSv/jam. Nilai laju dosis yang cukup besar dibandingkan dengan laju dosis di daerah kerja normal (10 µSv/jam), dalam kondisi ini penerapan teknik proteksi radiasi berupa pengaturan jarak, meminimalkan waktu dan penggunaan *shielding* sangat penting. Besarnya laju dosis pada permukaan reflektor ini mengharuskan adanya pengelolaan yang hati-hati dan memadai dalam mempersiapkan pengiriman limbah reflektor ke PTLR-BATAN di Serpong.

Pengukuran tingkat kontaminasi udara di dalam kolam beton menunjukkan konsentrasi Co-60 hasil sebesar 0,000244 Bq/L, dan di atas permukaan kolam diukur menghasilkan tingkat konsentrasi sebesar 0,000013 Bq/L. Tingkat radiasi ini sangat kecil dibandingkan dengan nilai batas konsentrasi radioaktivitas udara yang

diperbolehkan untuk Co-60 sebesar  $4,9 \times 10^0$  (Bq/m<sup>3</sup>) [6]. Dengan demikian kontaminasi radioaktif di udara masih dalam batas aman untuk pekerja radiasi maupun masyarakat.

Potensi bahaya utama pada fasilitas penyimpanan limbah adalah bahaya radiasi dan merupakan satu-satunya bahaya yang dibahas dalam makalah ini. Ukuran dari fasilitas penyimpanan limbah reflektor dengan dimensi 7,90 x 3,91 m dan kedalaman 5,80 meter memberi jaminan keamanan penyimpanan limbah radioaktif dimana bagian atas dari tembok beton ini diberi pagar besi yang kuat sebagai bagian dari elemen keselamatan. Dengan kedalaman 5,80 meter juga berfungsi untuk memperpanjang jarak antara reflektor dengan pekerja radiasi yang bekerja diatas permukaan kolam. Dengan demikian akan mengurangi dosis paparan kerja kepada pekerja radiasi. Kolam terbuat dari bahan beton dan kondisi kering dan diberi atap sebagai pelindung untuk menghindarkan hujan atau masuknya benda-benda kedalam kolam seperti tanah, dedaunan kering atau material lainnya yang terdapat disekitar kolam.

Pemeliharaan kebersihan dan kerapihan (*house keeping*) sangat penting dalam pengelolaan limbah radioaktif agar tidak menambah jumlah limbah yang sudah ada. Dinding beton berfungsi sebagai struktur untuk wadah limbah radioaktif agar terkungkung dengan baik tidak mudah diakses sehingga keamanan tetap terjaga. Pelapis penutup boks besi penyimpan reflektor adalah Pb dengan ketebalan 1 cm berfungsi untuk mengurangi paparan pada arah atas. Penyimpanan reflektor di dalam boks tertutup juga berfungsi untuk mengungkung kontaminasi berupa debu radioaktif yang melekat pada reflektor maupun limbah radioaktif lainnya dalam bentuk potongan *thermal column* atau *thermalizing column*.

Sistem pengelolaan limbah ini diantaranya adalah pemantauan laju dosis di daerah kerja untuk memastikan bahwa pekerja berada pada daerah dengan laju dosis yang dapat dikendalikan dengan pengaturan waktu. Penggunaan *crane* selain untuk tujuan mengangkat reflektor dengan bobot yang besar namun juga dengan lengan *crane* yang cukup panjang juga berfungsi untuk memperpanjang jarak reflektor dengan pekerja radiasi. Kondisi ini dapat mengurangi paparan radiasi pada pekerja maupun masyarakat, yaitu pengemudi dan asisten pengemudi *crane*.

Pada saat pengeluaran reflektor diperlukan seorang pekerja untuk mengaitkan tali *strap* dari *crane* ke reflektor, karenalaju dosis daerah daerah kerja yang cukup tinggi maka dilakukan pembatasan waktu bagi pekerja tersebut untuk melakukan pengaitan *strap* ke reflektor. Selain reflektor, limbah radioaktif lain berupa potongan-

potongan material *thermal column* dan *thermalizing column* juga dikeluarkan dari boks penyimpanan reflektor dan kemudian disimpan di dalam drum limbah radioaktif.

Dosis paparan kerja bagi pekerja radiasi sebanyak 4 orang dan dosis untuk masyarakat ditampilkan dalam Tabel 1.

**Tabel 1. Dosis paparan kerja dan dosis masyarakat.**

No	Nama	Dosis (mSv)	Dosis ( $\mu$ Sv)	NBD
1	PR 1	0,63	-	20 mSv
2	PR 2	0,55	-	
3	PR 3	0,49	-	
4	PR 4	0,40	-	
5	Pengemudi		0,024	1 mSv
6	Asisten pengemudi <i>Crane</i>		0,107	

Dosis yang diterima di dibandingkan dengan Nilai Batas Dosis (NBD) untuk pekerja radiasi dan anggota masyarakat. Pengemudi dan asisten pengemudi *crane* termasuk dalam kategori anggota masyarakat.

Dosis yang diterima pekerja berkisar antara 0,40-0,63 mSv sedangkan untuk anggota masyarakat dalam hal ini pengemudi dan asisten *crane* masing-masing menerima dosis 0,024  $\mu$ Sv dan 0,107  $\mu$ Sv. Dosis paparan kerja yang diterima oleh pekerja radiasi selama melakukan kegiatan pengelolaan limbah reflektor tidak ada yang melebihi nilai batas dosis 20 mSv/tahun. Nilai Batas Dosis untuk Pekerja Radiasi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 14 huruf a ditetapkan dengan ketentuan: a. Dosis Efektif rata-rata sebesar 20 mSv (dua puluh milisievert) tercantum dalam Peraturan Kepala BAPETEN No.4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir [7].

Demikian pula dengan dosis yang diterima oleh anggota masyarakat dalam hal ini pengemudi dan asisten pengemudi *crane* tidak ada yang melebihi nilai batas dosis masyarakat sebesar 1 mSv/tahun. Kedisiplinan dalam penerapan teknik proteksi radiasi dan penggunaan APD yang memadai merupakan hal yang berkontribusi pada rendahnya terimaan dosis paparan kerja ataupun dosis masyarakat.

Seluruh proses dari pengelolaan limbah radioaktif reflektor Triga Mark II – Bandung ini memberikan resiko terhadap keselamatan baik radiasi maupun non radiasi, namun pada makalah ini tidak dibahas resiko terhadap keselamatan non radiasi. Pada seluruh tahap proses pengelolaan

limbah ini selalu diperhatikan faktor-faktor yang berpotensi pada kontribusi dosis pekerja radiasi atau anggota masyarakat yang terlibat dalam proses pengelolaan limbah radioaktif. Pada setiap tahap pengelolaan harus diperhatikan faktor keselamatan dengan tujuan akhir penilaian adalah terimaan dosis dari kegiatan tersebut berupa nilai dosis pekerja dan masyarakat yang dijaga untuk tidak melebihi NBD.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil pengelolaan limbah radioaktif reflektor Triga Mark II dan pembahasan yang telah disampaikan dapat disimpulkan :

- a. Pemetaan radiasi sebelum kegiatan pengeluaran reflektor memberikan laju paparan tertinggi sebesar 250 mR/jam. Hasil pemetaan radiasi ini sangat penting untuk memperkirakan laju dosis daerah kerja dan membuat perencanaan rancangan kegiatan pengelolaan limbah radioaktif untuk menghasilkan kegiatan pengelolaan yang efektif dan selamat.
- b. Selain C-14 dan radionuklida pemancar gamma yang dominan teridentifikasi dari reflektor adalah Co-60 yang berasal dari kontaminasi hasil aktivasi di kolam pendingin, sangat penting untuk diwaspadai mengingat waktu paronya yang cukup panjang yaitu 5,27 tahun.
- c. Laju dosis permukaan reflektor tanpa *shielding* sebesar 25 mSv/jam dan pada jarak 1 meter sebesar 1600  $\mu$ Sv/jam, merupakan laju dosis yang tinggi dan memerlukan pengelolaan pra-pengangkutan yang hati-hati untuk keselamatan pekerja radiasi maupun masyarakat.
- d. Bahaya radiologik merupakan bahaya utama dalam penilaian keselamatan untuk pengelolaan limbah radioaktif. Laju dosis, kontaminasi udara ruang dan potensi kontaminasi permukaan merupakan faktor yang dapat meningkatkan terimaan dosis pekerja maupun masyarakat. Pada kegiatan pengelolaan limbah reflektor ini NBD pekerja radiasi (20 mSv/tahun) dan NBD dosis masyarakat (1 mSv) tidak dilampaui.

#### 5. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada Drs. Dadang Supriatna, MT selaku Kepala Bidang K3 PSTNT-BATAN yang telah sangat berperan penting dalam memfasilitasi seluruh proses kegiatan karakterisasi reflektor. Terimakasih dan apresiasi juga kami sampaikan kepada staf bidang K3 lainnya yang telah memberikan bantuan berupa pengetahuan dan ketrampilan di lapangan sehingga

kegiatan karakterisasi limbah reflektor dapat terlaksana dengan sangat baik

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

1. PTNBR, Laporan Analisis Keselamatan Akhir Reaktor Triga 2000 Bandung, Dokumen No LP 06 RE 001, Bandung (2006).
2. BAPETEN, Peraturan Pemerintah No.61 tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif, BAPETEN, Jakarta (2013).
3. IAEA, Safety Assessment for Facilities and Activities, General Safety Requirements, GSR Part 4, IAEA, Vienna (2009).
4. PTNBR, Program Dekomisioning Reaktor TRIGA 2000 Bandung, Dokumen No LP 09 RE 06, Bandung (2009).
5. DARYOKO, M, DAN NUROKHIM, Penggunaan Computer Code Origen 2 untuk estimasi Perhitungan Radionuklida pada Komponen Reaktor Riset Triga Mark II, Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Banten, Banten (2011) 33.
6. BAPETEN, Peraturan Kepala BAPETEN No.7 tahun 2013 tentang Nilai Batas Radioaktivitas Lingkungan, BAPETEN, Jakarta (2013).
7. BAPETEN, Peraturan Kepala BAPETEN No.4 tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir, BAPETEN Jakarta (2013).