

## PENGELOLAAN LIMBAH RADIOAKTIF PTNBR-BATAN BANDUNG TAHUN 2004-2009

Zulfakhri  
Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri-BATAN

### ABSTRAK

**PENGELOLAAN LIMBAH RADIOAKTIF PTNBR BATAN BANDUNG TAHUN 2004-2009.** Reaktor TRIGA 2000 PTNBR-BATAN yang telah dinaikkan dayanya dari 1 MW menjadi 2 MW dapat memberikan dampak kepada komponen lingkungan. Pengendalian dampak lingkungan dapat dilakukan melalui program proteksi lingkungan seperti pengelolaan limbah radioaktif yang ditimbulkan. Tujuan dari pengelolaan ini adalah untuk melindungi keselamatan dan kesehatan pekerja, anggota masyarakat, dan lingkungan hidup dari bahaya radiasi dan atau kontaminasi. Teknik pengelolaan yang dilakukan meliputi pengumpulan, pengolahan, pengelompokan, pengangkutan, penyimpanan, dan atau pembuangan limbah radioaktif. Telah dilakukan pengelolaan limbah radioaktif tahun 2004-2009 dengan pengumpulan LRP sebanyak 2031 kg dengan paparan 0,004 – 1,2 mRad/j, pemisahan 3374 kg dengan paparan 0,004 – 0,01 mRad/j, pengiriman limbah radioaktif padat 3694 kg, limbah radioaktif cair 1103 l, resin 827 kg dengan paparan 0,004 – 1,0 mRad/j. Pelepasan efluen cair PTNBR ke lingkungan dengan konsentrasi  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  masing-masing 18, 7876 Bq/l, 4,1045 Bq/l, dan 2,2430 Bq/l. Nilai baku mutu untuk  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  masing-masing adalah 300 Bq/l, 1000 Bq/l, 1000 Bq/l, ini sangat aman bagi masyarakat karena sudah dibawah nilai baku mutu yang ditetapkan. Limbah radioaktif dari hasil kegiatan yang dilakukan di reaktor TRIGA 2000 beserta fasilitas pendukungnya selama tahun 2004-2009 telah dikelola dengan baik.

Kata kunci : Keselamatan, limbah radioaktif, pengelolaan limbah

### ABSTRACT

**RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT IN PTNBR BATAN BANDUNG 2004-2009.** The TRIGA 2000 reactor power has already increased from 1 MW to 2 MW can make impact to the environmental. Environmental control impact can be conducted which environment protection programs as radioactive waste yield management. The impact by sources are originated from reactor operation which is possibly to release radioactive matter to the environment. in normal operation and in case of accident and the impact source can also be originated from radioactive waste. The purposes of the radioactive waste management are to protect the safety and health of the workers, public, and environment towards radiation and radioactive contamination hazards. The radioactive waste management is consist of collection, processing, classification, transportation, storage, and disposal. Management of radioactive wastes has been carried out in 2004-2009 by collecting LRP exposure as much as 2031 kg with 0.004 to 1.2 mRad/h, with exposure to the separation of 3374 kg of 0.004 to 0.01 mRad/h, transportation of 3694 kg of solid radioactive waste, 1103 l of liquid radioactive waste, 827 kg of resin waste with exposure to 0.004 to 1.0 mRad/h. Disposal of liquid effluent into the environment PTNBR  $^{134}\text{Cs}$  18,7876 Bq/l,  $^{60}\text{Co}$  4.1045 Bq/l,  $^{137}\text{Cs}$  2.430 Bq/l with a standard value for  $^{134}\text{Cs}$  is 300 Bq/l,  $^{137}\text{Cs}$  is 1000 Bq/l,  $^{60}\text{Co}$  is 1000 Bq/l, this is very safe for society because it is below the specified standard value. Radioactive waste from the results of activities performed in the TRIGA 2000 reactor facility along with his supporters during the years 2004-2009 have been managed properly.

Key words : radioactive waste, safety, waste management

### PENDAHULUAN

Reaktor *Training Research Radioisotope Production General Atomics* (TRIGA) 2000 di Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri (PTNBR) BATAN telah dinaikkan dayanya dari 1 MW menjadi 2 MW, dapat memberikan dampak kepada komponen lingkungan. Berdasarkan Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL) reaktor TRIGA 2000 yang dilakukan sebelum dilakukan peningkatan daya reaktor, diketahui bahwa dampak

dan sumber dampak penting dapat mempengaruhi kualitas lingkungan yang merupakan tanggungjawab pihak pemrakarsa yaitu Kepala Pusat Teknologi Bahan dan Radiometri (PTNBR). Sumber dampak berasal dari pengoperasian reaktor TRIGA 2000 pada saat operasi normal atau bila terjadi kecelakaan, dan dapat juga berasal dari limbah radioaktif yang dihasilkan berupa kemungkinan terlepasnya zat radioaktif ke lingkungan. Pengendalian dampak lingkungan dapat dilakukan program proteksi lingkungan seperti pemantauan

lingkungan secara periodik, pemantauan langsung radiasi di lingkungan, pemantauan efluen cair dan gas, pengendalian efluen cair dan gas, pengendalian sumber radioaktif, pengendalian limbah radioaktif yang ditimbulkan [1,2]

Sesuai dengan UU No. 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, PP Nomor 27 Tahun 2002 Tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif, Ketentuan Keselamatan Pengelolaan Limbah Radioaktif SK Ka. BAPETEN No. 03/Ka-BAPETEN/V-99 serta azas keselamatan yang dianut oleh teknologi nuklir maka limbah radioaktif harus dikelola untuk menghindari potensi bahaya dan dampaknya terhadap pekerja, masyarakat, dan lingkungan hidup. Kegiatan pengelolaan limbah radioaktif dilaksanakan dengan mempertimbangkan aspek keselamatan, aspek teknis berupa pengurangan volume dan aktivitas limbah radioaktif, dan aspek ekonomis. Limbah radioaktif adalah zat radioaktif dan atau bahan serta peralatan yang telah terkena zat radioaktif atau menjadi radioaktif karena pengoperasian instalasi nuklir atau instalasi yang memanfaatkan radiasi pengion yang tidak dapat digunakan lagi [3,4]

Penghasil limbah radioaktif mempunyai kewajiban mengumpulkan, mengelompokkan, dan menyimpan sementara limbah radioaktif tingkat rendah dan sedang, namun untuk pengolahannya, penghasil limbah radioaktif tidak diwajibkan mengolah sendiri limbah yang dihasilkan, kecuali memenuhi persyaratan teknis dan administratif untuk melakukan pengolahan. Limbah radioaktif yang dihasilkan harus diserahkan ke Badan Pelaksana untuk dilakukan proses pengelolaan selanjutnya.

Dari unit kerja Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri (PTNBR), bidang yang mempunyai potensi menghasilkan limbah radioaktif adalah bidang bidang Senyawa bertanda dan Radiometri (SBR), Reaktor, Fisika, dan Keselamatan Kerja (K2). Jenis, volume, kontaminasi limbah tergantung dari kegiatan masing-masing bidang tersebut seperti kemungkinan terkontaminasinya dari bidang SBR oleh  $^{131}\text{I}$ ,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ,  $^{99}\text{Mo}$ ,  $^{82}\text{Br}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{177}\text{Lu}$ ,  $^{169}\text{Yb}$ ,  $^{170}\text{Tm}$ ,  $^{172}\text{Er}$ , bidang Fisika dan  $\text{K}_2$   $^{134}\text{Cs}$ , bidang Reaktor  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ .

PTNBR melakukan pengelolaan limbah radioaktif padat, cair yang berasal dari sisa hasil penelitian dengan cara pengumpulan, pemisahan, penyimpanan, pembakaran dan pengiriman ke Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) Serpong. Limbah radioaktif cair aktivitas rendah yang bersal dari laboratorium (efluen cair) dikelola secara khusus. Efluen cair berasal dari tempat cucian laboratorium yang dialirkan secara gravitasi ke Gedung Pengelolaan Limbah Cair (GPLC) yang merupakan sistem saluran terpadu.

Dalam makalah ini, diungkapkan pengelolaan Limbah Radioaktif Padat (LRP) dan Limbah Radioaktif Cair (LRC) dari tahun 2004-2009, LRC aktivitas rendah yang berasal dari laboratorium (efluen cair) sejak 2007-2009.

## TATA KERJA

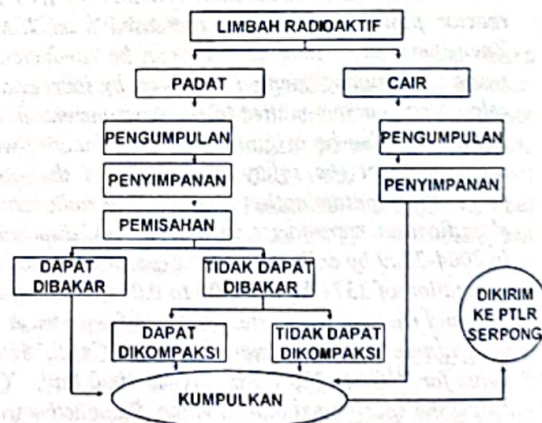
### Bahan dan peralatan

Bahan yang digunakan dalam pengelolaan limbah radioaktif adalah pakaian kerja jas lab/wear pack, sarung tangan karet, masker, tutup kepala, sepatu boot, kantung plastik

Peralatan yang digunakan adalah gerobak pengangkut limbah, tang penjepit, survey meter, mesin pres, insinerator, drum baja, sound detector, Thermoluminescence detector (TLD), alat ukur spektrometer sinar gamma saluran ganda dan tunggal dan Geiger Mueller (GM) dan peralatan laboratorium lainnya.

### Pengelolaan limbah radioaktif PTNBR

Limbah radioaktif yang dihasilkan dari kegiatan di PTNBR Batan Bandung dikelola sesuai dengan Prosedur Kerja Pengelolaan Limbah Radioaktif PTNBR Bandung dengan tahapan pengelolaan limbah radioaktif disarikan dalam Gambar [5].



Gambar 1. Diagram alir proses pengelolaan limbah radioaktif di PTNBR

### Pengelolaan Limbah Radioaktif Padat (LRP)

#### Pengambilan dan penyimpanan LRP

LRP yang dihasilkan dari laboratorium dikumpulkan dalam wadah yang sesuai dengan jenis limbah (padat, cair). Limbah dari laboratorium diangkut dengan gerobak untuk dibawa ke tempat penyimpanan sementara atau gudang penyimpanan. Limbah yang telah diambil diukur paparan radiasinya, diberi label yang menunjukkan tanggal pengambilan, paparan radiasi pada permukaan dan unsur kimia yang terkandung pada limbah tersebut. Limbah kemudian disimpan menurut kelompok

paparan radiasinya atau jenis radionuklidanya, sifat fisika dan kimia yang terkandung, untuk menjalani proses tunda dan luruh sampai aktivitasnya rendah dan aman untuk dipisahkan.

#### **Pemisahan LRP**

LRP dipisahkan apabila paparan radiasinya di bawah 2 mRad/j menurut kelompoknya, yaitu :

- dapat dibakar dan dikompaksi (kertas)
- dapat dibakar dan tidak dapat dikompaksi (plastik, resin)
- tidak dapat dibakar dan dapat dikompaksi (aluminium, kaca, tanah)
- tidak dapat dibakar dan tidak dapat dikompaksi (besi)

LRP tersebut dimasukkan ke dalam kantong plastik yang terpisah di dalam drum (plastik). Pada tiap-tiap drum diberi label yang bertuliskan no. kode, jenis dan asal limbah, laju paparan radiasi di permukaan wadah, tanggal pengukuran, nama petugas, tanda tangan petugas, tanda radiasi. LRP yang telah dipisahkan siap untuk diproses pemampatan, pembakaran dan pengiriman.

#### **Pemampatan LRP**

LRP dimampatkan dengan menggunakan alat pemampat, kemudian dimasukkan ke dalam drum (plastik). LRP yang sudah dalam drum (plastik) diukur paparannya dan selanjutnya dipasang label pada drum tersebut. Pada label dicantumkan no. kode, tingkat laju paparan radiasi, tanggal pengukuran, jenis dan asal limbah, nama petugas, tanda radiasi. Drum disimpan di dalam tempat penyimpanan LRP sementara, sambil menunggu pengangkutan ke Serpong.

#### **Pembakaran LRP**

LRP hasil pemisahan yang berupa kertas dan mempunyai laju paparan paparan lebih kecil dari 0,1 mGy/j dibakar dengan insinerator. Incinerator yang dilengkapi alat pembakar (*burner*), pembersih asap (*Scrubber*), alat penghisap udara (*blower*). Abu hasil pembakaran LRP diambil dari insinerator, dibungkus, ditimbang, diukur paparan radiasinya dan diperlakukan sebagai LRP aktivitas rendah

#### **Pengangkutan LRP**

Limbah radioaktif padat yang sudah dipisahkan (dimampatkan, dibakar) dimasukkan ke dalam drum baja. LRP yang sudah dalam drum baja diukur paparannya dan selanjutnya dipasang label pada drum tersebut. Pada label dicantumkan no. kode, tingkat laju paparan radiasi, tanggal pengukuran, jenis dan asal limbah, nama petugas, tanda radiasi. Limbah radioaktif siap untuk dibawa ke PTLR Serpong untuk diproses lebih lanjut.

### **Pengelolaan Limbah Radioaktif Cair (LRC)**

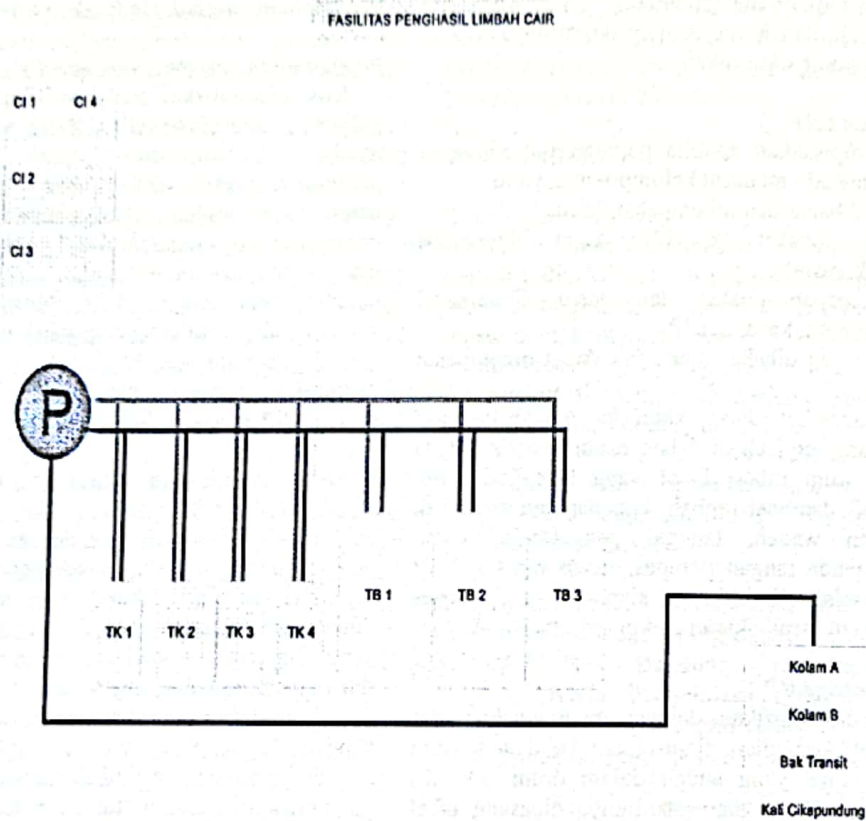
#### **Pengambilan dan Penyimpanan LRC**

LRC diambil dari wadah penampungan limbah radioaktif yang ada di setiap laboratorium bila sudah terisi  $\frac{3}{4}$  bagian. Laju paparan radiasi pada permukaan wadah LRC diukur, kemudian diberi label. Pada wadah LRC dipasang label yang bertuliskan no. kode, tingkat laju paparan radiasi, tanggal pengukuran, jenis dan asal limbah, nama petugas, tanda radiasi. LRC yang telah diambil, kemudian diangkat dengan gerobak untuk dibawa ke Gedung Penyimpanan Limbah Cair. LRC disimpan menurut kelompok paparan radiasinya atau jenis radionuklidanya, sifat fisika dan kimianya.

#### **Pengelolaan Limbah Radioaktif Cair Aktivitas Rendah (LRCAR)**

Limbah cair aktivitas rendah adalah efluen cair yang mempunyai waktu paruh pendek (< 30 hari) yang berasal dari laboratorium mengalir secara gravitasi melalui *clarifier* ( $C_{1,4}$ ) agar material padat yang ada dalam efluen cair mengendap, sehingga diharapkan limbah yang keluar dari *clarifier* dan masuk ke dalam tangki-tangki penampungan dalam keadaan jernih. Saluran efluen ini terdiri dari dua saluran yakni saluran limbah radioaktif dan saluran yang tidak mengandung limbah radioaktif.

Efluen cair dari *clarifier* dialirkan ke  $TK_{1,4}$  yang terdiri dari 4 buah tangki berukuran kecil dengan cara mengalirkan satu demi satu sampai penuh. Setelah tangki yang pertama penuh dilanjutkan dengan tangki yang kedua. Efluen cair yang tidak mengandung limbah radioaktif dialirkan ke  $TB_3$ . Efluen cair dari  $TK_{1,4}$  dipindahkan ke dalam  $TB_{1,2}$  dengan menggunakan pompa listrik dan dibiarkan untuk menurunkan aktivitasnya. Efluen cair yang berasal dari tangki-tangki di Gedung Pengolahan Limbah Cair (GPLC) dialirkan ke laboratorium alam (A dan B) melalui saluran khusus, bila konsentrasi limbah sudah dibawah baku mutu dan memenuhi syarat untuk dibuang ke lingkungan, maka limbah cair tersebut dibuang ke Kali Cikapundung. Seluruh sistem terpadu Gambar 2 dipantau volume dan radioaktivitasnya setiap bulan selama tahun 2007-2009. Pemantauan volume dilakukan dengan mengamati ketinggian alat bantu pada permukaan tangki, sedangkan pemantauan radioaktivitas dilakukan dengan mencuplik efluen cair dari masing-masing tangki sebanyak 1 liter. Efluen cair ini dicacah menggunakan spektrofotometri sinar gamma saluran ganda dan tunggal.



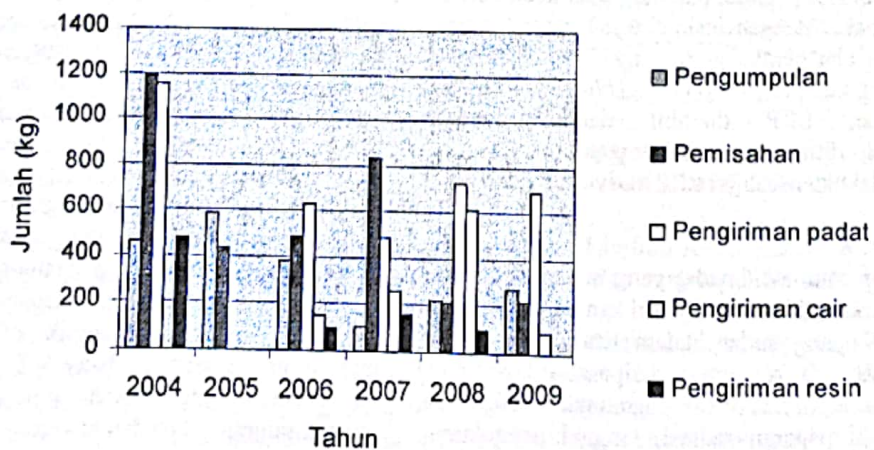
Gambar 2. Diagram pengelolaan limbah radioaktif cair aktivitas rendah (efluen cair)

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Sejak reaktor TRIGA 2000 PTNBR Bandung beroperasi dari tahun 1965 - 2003 telah dihasilkan limbah radioaktif padat dan cair masing sebanyak 8.704 kg dan 6069 L. Pengiriman limbah radioaktif

ke PTLR adalah limbah radioaktif padat sebanyak 6163 kg, limbah radioaktif sebanyak 2466 L, resin bekas air pendingin primer reaktor sebanyak 1580 kg [5].

Jumlah LRP yang dikelola tahun 2004-2009 dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengelolaan limbah radioaktif tahun 2004-2009

Dari Gambar 3 terlihat pengumpulan LRP tahun 2004-2009 sebanyak 2031 kg dengan paparan 0,004 – 1,2 mRad/j, pemisahan 3374 kg dengan paparan 0,004 – 0,01 mRad/j, pengiriman limbah radioaktif padat 3694 kg, pengiriman limbah radioaktif cair 1103 l, pengiriman resin 827 kg dengan paparan 0,004 – 1,0 mRad/j

Dari Tabel 1 terlihat 4 kategori limbah radioaktif PTNBR, dimana yang berasal dari laboratorium dapat dikirim ke PTLR. Sedangkan yang disimpan di dalam tanah merupakan kumpulan limbah hasil pemadatan limbah cair, dan beberapa komponen lain yang sudah tidak teridentifikasi radioaktivitasnya. Limbah radioaktif bekas *up-grading* merupakan limbah padat dengan paparan 3,6-1400 mrad/jam,

dimana limbah ini masih tersimpan pada penyimpanan khusus dengan paparan di permukaan 0,4 mRad/jam. LRP ini dimasukkan kedalam bak besi dengan panjang 2,54 m, lebar 2,67 m, tinggi 1,95 m, volume 13,2245 m<sup>3</sup>. Bak besi berisi limbah kemudian disimpan dalam bak beton yang berada dibawah permukaan tanah yang mempunyai ukuran panjang 7,90 m, lebar 3,91 m, tinggi 5,80 m, tebal 0,425 m, volume 182,1562 m<sup>3</sup>. Sedangkan air pendingin primer merupakan limbah yang terkontaminasi <sup>137</sup>Cs, <sup>60</sup>Co sebanyak 5883 l, limbah ini akan dikirim ke PTLR atau dapat dibuang ke lingkungan setelah konsentrasinya di bawah nilai baku mutu untuk <sup>137</sup>Cs (7000 Bq/l, dan <sup>60</sup>Co (2000 Bq/l).

Tabel 1 Data limbah radioaktif PTNBR pada tahun 2009

No		Sub-jenis	Berat (kg)	Volume (l)	Paparan (mrad/jam)	penyimpanan
1	Laboratorium	Kertas, plastik, kaca, dll	668,5	668,5	0.4 – 20	Ruangan
2	Sludge (kapur), abu, tanah	Campuran	3855	3885	0,6	Dalam tanah
3	Up-grading 1000 kW (tahun 1971)	Top grid (Al) Lazy susan (Al) Ion chamber 1 Ion chamber 2 Pipa pendingin primer	5 150 30 29 90		792 56.7 3.5 14.2 -	Ruangan
4	Up-grading 2000 kW (tahun 1996)	Reflektor Potongan dinding Thermal Column (Al) Potongan dinding Thermalizing Column (Al)	770 160 80		14000 3200 3000	Luar Gedung, di dalam tanah  (sebelah Barat Hot Cell)
		Below & klem below Tabung pengarah detektor (Al) Klem tabung pengarah detektor (Al) Mur dan baut (SS) Potongan pipa dan plat Al	12 160 80 5 -		3,6 1200 1200 1200 1200	
		Jumlah	1571	1571		
5	Air pendingin			5883	0,6	

Sistem pengelolaan effluen cair menggunakan prinsip tunda dan luruh dengan cara mengumpulkan limbah tersebut dan menyimpannya sebab dengan cara menyimpan ini sangat memudahkan dalam pengelolaan dengan sistem tunda dan luruh yang mengakibatkan radioaktivitas akan menurun

Tabel 2 terlihat jumlah effluen cair pada tahun 2007-, 2008, dan 2009 adalah 32,60 m<sup>3</sup>, 32,40 m<sup>3</sup>, dan 61,50 m<sup>3</sup> dengan jumlah seluruhnya 126,5 m<sup>3</sup>, dengan jumlah ini didapatkan volume rata-rata 3,5

m<sup>3</sup>/bulan. Pada tahun 2009 terjadi kenaikan volume effluen cair menjadi dua kalinya dari tahun sebelumnya, hal ini mungkin disebabkan banyaknya kegiatan penelitian di laboratorium. Untuk menghadapi kondisi yang ekstrim maka digunakan volume effluen cair 8 m<sup>3</sup>/bulan, maka dalam satu tahun dibutuhkan tempat penampungan 96 m<sup>3</sup> sehingga pembuangan dapat dilakukan setelah 2 tahun.

Tabel 2. Efluen cair yang dikelola tahun 2007 – 2009

Bulan	Tahun					
	2007		2008		2009	
	Volume m <sup>3</sup>	Aktivitas Bq/l	Volume m <sup>3</sup>	Aktivitas Bq/l	Volume m <sup>3</sup>	Aktivitas Bq/l
1.	1,65	5,90 - 15,80	1,20	2,60 - 2,30	4,00	15,05 - 39,75
2.	1,95	2,93 - 11,72	4,00	1,80 - 1,65	4,00	7,63 - 29,25
3.	4,00	4,39 - 17,21	8,00	0,90 - 16,5	4,50	15,92 - 33,67
4.	2,50	0,70 - 15,70	3,70	0,39 - 2,39	4,00	14,08 - 3,894
5.	1,35	4,64 - 13,92	3,00	0,39 - 0,39	4,00	7,33 - 29,18
6.	1,10	3,27 - 12,56	4,00	1,29 - 1,82	7,00	14,82 - 33,66
7.	4,30	0,40 - 0,90	3,00	1,25 - 1,60	4,00	12,02 - 48,65
8.	1,50	1,17 - 5,50	3,00	1,05 - 1,60	5,50	12,53 - 39,33
9.	1,50	1,00 - 4,60	3,50	1,05 - 1,68	5,00	12,75 - 32,72
10.	8,00	3,70 - 4,60	2,50	1,78 - 2,56	8,00	15,44 - 36,82
11.	1,50	0,60 - 2,31	2,00	1,18 - 3,67	5,00	19,07 - 43,50
12.	3,40	0,70 - 2,00	3,50	1,18 - 6,78	7,00	22,68 - 48,94
Jumlah	32,60	0,40 - 15,80	32,40	0,39 - 16,50	61,50	7,33 - 48,99

Tabel 2 dapat dilihat hasil pengukuran efluen cair menggunakan spektrometri gamma saluran tunggal. Radioaktivitas efluen cair di atas pada tahun 2007 berkisar antara 0,40 – 17,21 Bq/l, tahun 2008 berkisar antara 0,39 – 16,5 Bq/l, tahun 2009 berkisar antara 3,894 – 48,99 Bq/l.

Pada Tabel 3. terlihat beberapa radionuklida yang mungkin ada pada efluen cair yang berasal dari laboratorium. Radionuklida tersebut mempunyai waktu paruh yang berbeda mulai dari 6 jam sampai 30,17 tahun dan juga berbeda dalam nilai baku mutunya. Analisis efluen cair tahun 2007-2009 dengan spektrometer sinar gamma saluran ganda radionuklida yang terdeteksi adalah <sup>131</sup>I, <sup>169</sup>Yb, <sup>134</sup>Cs, <sup>60</sup>Co, <sup>137</sup>Cs. Radionuklida <sup>134</sup>Cs, <sup>60</sup>Co, <sup>137</sup>Cs ini seharusnya tidak diharapkan dalam efluen cair karena mempunyai waktu paruh lebih besar dari 30 hari, karena berasal dari penelitian di bidang Fisika dan air pendingin bekas *up grading* reaktor. Hasil analisis didapatkan <sup>134</sup>Cs 18, 7876 Bq/l, <sup>60</sup>Co 4,1045 Bq/l, <sup>137</sup>Cs 2,2430 Bq/l.

Pengelolaan efluen cair dengan waktu paruh pendek ini akan mudah untuk dikelola karena bila

efluen cair mempunyai aktivitas yang melebihi nilai baku mutu maka sistem tunda dan luruh dapat dilakukan. Bila aktivitas efluen cair besar dan waktu paruh panjang maka pengelolaan dengan sistem tunda dan luruh sangat sulit untuk dilakukan karena dibutuhkan waktu yang lama dan tempat yang besar agar dapat menampung efluen cair tersebut. Oleh karena itu diharapkan tidak ada lagi efluen cair dengan waktu paruh panjang agar pelepasan efluen cair dengan aktivitas sama dengan nol (*zero release*). *Zero release* ini dapat dilakukan sebelum tahun 2007, hal ini dapat terjadi karena efluen cair hanya terkontaminasi radionuklida yang berasal dari bidang senyawa bertanda dengan waktu paruh ordonya hari.

Efluen cair tahun 2007-2009 mempunyai radioaktivitas <sup>134</sup>Cs 18, 7876 Bq/l, <sup>60</sup>Co 4,1045 Bq/l, <sup>137</sup>Cs 2,2430 Bq/l dengan nilai baku mutu untuk <sup>134</sup>Cs adalah 300 Bq/l, <sup>137</sup>Cs adalah 1000 Bq/l, <sup>60</sup>Co adalah 1000 Bq/l. Dilihat dari data tersebut efluen cair masih dapat dibuang ke lingkungan

Tabel 3. Radionuklida dalam efluen cair

No.	Radionuklida	Energi (keV)	Waktu paruh	Nilai baku mutu (Bq/l) [6]	
				Larut	Tidak larut
1	<sup>131</sup> I	364,1	8,02 hari	70	1.000
2	<sup>51</sup> Cr	320,0	27,70 hari	70.000	70.000
3	<sup>82</sup> Br	554,3. 619,1. 776,5	35,34 hari	1.000	1.000
4	<sup>99</sup> Mo	739,4	62,02 jam	1.000	7.000
5	<sup>99m</sup> Tc	140,6	6,00 jam	100.000	200.000
6	<sup>177</sup> Lu	113,0. 208,4	6,71 hari	4.000	3.000
7	<sup>169</sup> Yb	132,0	4,19 hari	3.000	4.000
8	<sup>170</sup> Tm	84,15	19,2 jam	3.000	3.000

Tabel 3. Lanjutan

No.	Radionuklida	Energi (keV)	Waktu paruh	Nilai baku mutu (Bq/l) [6]	
				Larut	Tidak larut
9	<sup>172</sup> Er	407,3. 610.1	9,4 hari	3.000	3.000
10	<sup>134</sup> Cs	563,16. 604,63. 795,8	2,062 th	300	1.000
11	<sup>60</sup> Co	1177,43. 1333,06	5,271 th	2.000	1.000
12	<sup>137</sup> Cs	661,2	30,17 th	7.000	1.000

### KESIMPULAN

Dari pengelolaan limbah radioaktif dapat disimpulkan telah dilakukan pengelolaan limbah radioaktif tahun 2004-2009 dengan pengumpulan LRP sebanyak 2031 kg dengan paparan 0,004 – 1,2 mRad/j, pemisahan 3374 kg dengan paparan 0,004 – 0,01 mRad/j, pengiriman limbah radioaktif padat 3694 kg, pengiriman limbah radioaktif cair 1103 l, pengiriman resin 827 kg dengan paparan 0,004 – 1,0 mRad/j.

Pelepasan efluen cair PTNBR ke lingkungan <sup>134</sup>Cs 18, 7876 Bq/l, <sup>60</sup>Co 4,1045 Bq/l, <sup>137</sup>Cs 2,2430 Bq/l dengan nilai baku mutu untuk <sup>134</sup>Cs adalah 300 Bq/l, <sup>137</sup>Cs adalah 1000 Bq/l, <sup>60</sup>Co adalah 1000 Bq/l, ini sangat aman bagi masyarakat karena sudah dibawah nilai baku mutu yang ditetapkan.

Limbah radioaktif dari hasil kegiatan yang dilakukan di reaktor TRIGA 2000 beserta fasilitas pendukungnya selama tahun 2004-2009 telah dikelola dengan baik.

### DAFTAR PUSTAKA.

1. ANONIM, *Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (Amdal) P3Tkn-Batan Bandung, 2000*
2. E. BOBRIC, C. BUCUR, I. POPESCU, V. SIMIONOV, *Environmental radiological*

*impact assessment after 12 years of operation at cernavoda nuclear power plant, Seminars organised on the occasion of the State Visit of Their Majesties the King and Queen of the Belgians, health physics department Cernavoda NPP-Romania, "Nuclear energy and the environment- Energy resources for the future – the Belgian and Romanian perspectives", Bucharest July 8, 2009*

3. UNDANG UNDANG NO 10 TAHUN 1997 TENTANG *Ketenagaan nuklir* tahun 2007, Jaringan dokumentasi dan informasi ilmiah, 13725, Jakarta, 1997
4. PERATURAN PEMERINTAH REPUBLIK INDONESIA NO 27 TAHUN 2002, *tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif*, BAPETEN, Jakarta, 2002
5. ZULFAKHRI, DADANG BASARAH, WIDANDA, *Pengelolaan Limbah Radioaktif P3TKN Batan-Bandung*, Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknik Nuklir, PTNBR, Bandung, 14 – 15 Juni 2005.
6. BAKU TINGKAT RADIOAKTIVITAS DI LINGKUNGAN, SK. Kepala BAPETEN No. 02/Ka-BAPETEN/V/99, Jakarta, 1999.
7. KETENTUAN KESELAMATAN PENGELOLAAN LIMBAH RADIOAKTIF, SK. Kepala BAPETEN No. 03/Ka-BAPETEN /V-99, BAPETEN, Jakarta, 1999.