

## PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF RESIN BEKAS DENGAN METODE SEMENTASI

**Mas Udi, Bambang Sugito, Yayat Bernadi**  
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN  
Kawasan PUSPIPTEK Serpong-15310  
masudi@batan.go.id

### ABSTRAK

**PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF RESIN BEKAS DENGAN METODE SEMENTASI :** Telah dilakukan pengolahan limbah radioaktif resin bekas yang ditimbulkan dari pemurnian air reaktor dengan metode sementasi. Resin bekas adalah resin yang sudah jenuh akibat digunakan untuk menangkap ion-ion aktif pada proses pemurnian air pendingin reaktor, disamping itu juga resin bekas yang berasal dari proses pengolahan limbah radioaktif cair. Limbah tersebut diimobilisasi melalui proses pematatan menggunakan matriks semen, agar mudah dalam penyimpanan, monitoring serta menjamin keselamatan pekerja dan lingkungan. Resin bekas dimasukkan dalam *shell* beton 950 l diimobilisasi menggunakan semen *Portland tipe 1* dan pasir dengan perbandingan 600 kg semen dan 400 kg pasir. Pengambilan sampel adonan campuran resin bekas, semen dan pasir diperlukan untuk mengetahui kuat tekan dan densitas hasil adonan tersebut. Sebelum dibawa ke fasilitas penyimpanan sementara *shell* beton diberi label yang berisi antara lain : paparan radiasi permukaan, paparan radiasi pada jarak 1m, asal limbah dan tanggal proses. Selama tahun 2017 telah diolah sebanyak 2080 l resin bekas menggunakan 8 *shell* beton 950 l. Hasil pengukuran paparan pada jarak 1 m dan kontak permukaan setelah sementasi masih jauh lebih kecil dari yang dipersyaratkan IAEA.

**Kata kunci :** imobilisasi limbah radioaktif, sementasi, shell beton, resin bekas

### ABSTRACT

*TREATMENT OF SPENT RESIN RADIOACTIVE WASTE BY CEMENTATION : Treatment of spent resin waste by cementation have been done. Spent resin is a resin that is already saturated due to be used to capture the active ions in the reactor coolant water purification process. additionally also spent resin derived from the processing of liquid radioactive waste. The waste is immobilized through the solidification process using cement matrix, for easy storage, monitoring and ensuring the safety of workers and the environment. Spent resin waste put in the concrete shell 950 l, than it was added cement of type 1 Portland and sand in the ratio of 600 kg of cement and 400 kg sand. Sampling of dough from the mixture of spent resin waste, cement and sand is required to determine the compressive strength and density of the dough results. Before being taken to a temporary storage facility, concrete shell was labelled that contains among other: the surface radiation exposure, radiation exposure at a distance of 1m, waste origin and date of the procesings. During year 2017 as many as 2080 litres spent resin waste have been processed using the 8 concrete shells 950 l. Exposure rate of concrete shells at 1 m and the contact surface distance after cementation is still much smaller than required by the IAEA.*

**Keywords:** immobilization of radioactive waste, cementation, concrete shell, spent resin

### PENDAHULUAN

Limbah radioaktif adalah zat radioaktif dan bahan serta peralatan yang terkena zat radioaktif atau menjadi radioaktif karena pengoperasian instalasi nuklir, yang tidak dapat digunakan lagi [1]. Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) adalah unit organisasi di bawah Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) yang bertugas melaksanakan penelitian dan pengembangan teknologi pengelolaan limbah radioaktif dalam rangka mendukung pengembangan industri nuklir dan aplikasi iptek nuklir dalam berbagai bidang pembangunan. PTLR juga merupakan pelaksana pengelolaan limbah radioaktif dari seluruh wilayah Indonesia.

Kegiatan operasi Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) akan menyebabkan air pendingin primer reaktor menjadi aktif. Unsur radioaktif tersebut timbul akibat reaksi fisi pada batang bahan bakar reaktor yang sebagian akan tertahan oleh kelongsong, sebagian terlepas secara difusi menembus dinding kelongsong dan masuk kedalam sirkulasi air pendingin primer, selain itu unsur radioaktif dapat terjadi akibat reaksi aktivasi yang terjadi pada air pendingin primer. Untuk menurunkan aktivasi, air pendingin disirkulasi melalui resin penukar kation dan anion,

Resin penukar kation mengandung kation yang dapat dipertukarkan, sedangkan resin penukar anion mengandung anion yang dapat dipertukarkan. Resin adalah senyawa hidrokarbon terpolimerisasi sampai tingkat yang tinggi yang mengandung ikatan-ikatan hubung silang

(*crosslinking*) serta gugusan yang mengandung ion-ion yang dapat dipertukarkan. Pada periode tertentu akibat pengikatan radionuklida yang terjadi terus menerus oleh resin, maka resin akan menjadi jenuh sehingga diperlakukan sebagai limbah radioaktif semi cair. Dari beroperasinya Reaktor Serba Guna, resin yang ditimbulkan per tahun sebanyak  $\pm 5200$  liter resin bekas. Agar limbah resin tidak membahayakan manusia dan lingkungan dilakukan imobilisasi resin didalam *Shell* beton 950 l. Metode yang digunakan dalam imobilisasi adalah menggunakan campuran aditif, semen, pasir dan air sebagai matriks pengungkungnya.

Karakteristik resin bekas yang dapat diimobilisasi menggunakan matriks pengungkung adalah :

- a) Aktivitas spesifik  $A \leq 1,0 \text{ Ci.m}^{-3}$
- b) Tidak mengandung radionuklida pemancar  $\alpha$
- c) pH 6 – 7

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, komposisi matriks pengungkung adalah semen 600 kg, pasir sebanyak 400 kg untuk limbah resin bekas sebanyak 260 liter. Pada proses sementasi limbah resin, digunakan semen portland tipe 1 yang penyusun utamanya terdiri dari campuran kalsium silikat yaitu :

- a) Dikalsium silikat ( $C_2S$ )  $2CaO.SiO_2 = 24\%$
- b) Trikalsium silikat ( $C_3S$ )  $3CaO.SiO_2 = 50\%$
- c) Trikalsium aluminat ( $C_3.A$ )  $3CaO.Al_2O_3 = 11\%$
- d) Tetrakalsium alumino ferit / Tetrakalsium aluminof ( $C_4.A.F$ )  $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3 = 8\%$
- e) Kandungan Lain = 7%

Limbah resin bekas yang berasal dari PRSG di tampung di tangki penampung resin bekas R 33002. Resin dari PRSG bentuknya padatan atau kadar airnya rendah maka untuk memindahkan resin bekas tersebut perlu ditambah air. Pemindahan resin bekas dari tangki PVC ke tangki penampungan R 33002 menggunakan pompa *submersible*, media yang digunakan adalah cairan, sehingga ketika air tersedot butiran resin akan terbawa masuk ke tangki R22003, air yang tertampung di tangki R 22003 akan kembali ke tangki PVC, agar butiran resin tidak kembali ke tangki PVC maka tangki R22003 dipasang *filter*. Proses ini berlangsung terus sampai resin yang di tangki PVC habis. Setelah tangki PVC kosong, tangki dikembalikan lagi ke PRSG untuk diisi limbah radioaktif resin bekas berikutnya.

Karena operasi reaktor berlangsung rutin maka limbah resin bekas yang ditimbulkannya secara rutin dikirim ke PTLR, sehingga limbah resin bekas yang ada di tangki R22003 PTLR perlu segera diolah, dirubah bentuknya menjadi bentuk *solid* sehingga risiko dalam penyimpanan dapat dikurangi.

## Dasar Teori

Proses sementasi (imobilisasi dengan semen) adalah merubah bentuk limbah menjadi bentuk padat untuk mengurangi kemampuan pindah/ migrasi dari radionuklida karena proses alamiah selama penyimpanan dan pembuangan. Kualitas blok beton hasil limbah olahan ditunjukkan dengan parameter uji densitas, uji kuat tekan dan uji pelindihan. Kualitas blok beton yang baik harus memenuhi standar IAEA (*International Atomic Energy Agency*) yaitu :

- Densitas :  $1,70 - 2,50 \text{ g.cm}^{-3}$
- Kuat tekan blok beton yang telah berumur 28 hari :  $20,0 - 50,0 \text{ N.mm}^{-2}$
- Laju lindih radionuklida terimobilisasi dalam beton :  $1,70 \cdot 10^{-1} - 2,50 \cdot 10^{-4} \text{ g.cm}^{-2}.\text{hari}^{-1}$
- Laju dosis pada permukaan kontak  $< 200 \text{ mrem.jam}^{-1}$
- Laju dosis pada jarak 1 m dari permukaan kontak  $10 \text{ mrem.jam}^{-1}$
- Laju dosis di luar *interim storage*  $< 0,50 \text{ mrem.jam}^{-1}$

Semakin besar densitas maka akan semakin besar daya tahan terhadap radiasi, pengukuran densitas dilakukan dengan penimbangan dan pengukuran dimensi contoh blok beton hasil limbah olahan, dengan persamaan :

$$\rho = m/V \quad (1)$$

dengan :  $\rho$  = berat jenis ( $\text{g/cm}^3$ )

$$m = \text{massa (g)}$$

$$V = \text{volume (cm}^3\text{)}$$

Kuat tekan sampel diukur menggunakan alat tekan “*Paul Weber*” dengan cara memberi tekanan maksimum yang dapat ditahan oleh sampel blok beton limbah olahan sampai hancur. Kuat tekan dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma = P \text{ maks} / A \quad (2)$$

dengan :  $\sigma$  = kuat tekan (N/mm<sup>2</sup>)  
 $P \text{ maks}$  = tekanan maksimal saat sampel pecah  
 $A$  = luas penampang sampel (mm<sup>2</sup>)

Laju pelindihan merupakan variabel yang menyatakan kecepatan pelepasan suatu radionuklida yang terimobilisasi sebagai akibat kontak dengan air atau larutan pelindih lainnya. Laju lindih tergantung dari komposisi blok beton, geometri dan homogenitasnya. Laju pelindihan dapat ditentukan dengan persamaan :

$$R = \frac{A_t \times M_o}{A_o \times S \times t} \quad (3)$$

dengan :  $R$  = laju pelindihan (g/cm<sup>2</sup> hari)  
 $A_t$  = aktivitas yang terlindih selama  $t$  hari ,  
 $M_o$  = massa awal sampel (g),  
 $A_o$  = aktivitas awal sampel ( $\mu\text{Ci}$ ),  
 $S$  = luas permukaan sampel (m<sup>2</sup>)  
 $t$  = waktu lindih (hari)

## TATA KERJA

### Bahan, Peralatan, dan Waktu Pelaksanaan

Bahan yang digunakan adalah : semen *portland type 1*, pasir, limbah radioaktif resin bekas dari Reaktor GA. Siwabessy.

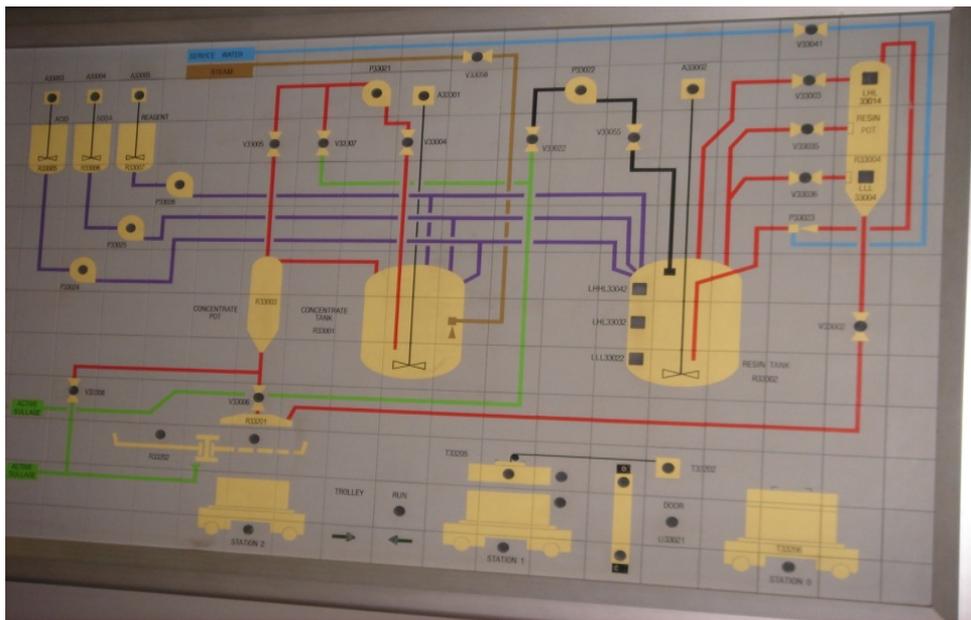
Peralatan yang digunakan adalah : *Shell* beton 950 l, *forklift*, kunci ring / pas 19, palu, sendok semen dan peralatan yang sejenis.

Kegiatan sementasi limbah radioaktif resin bekas dilaksanakan pada pengolahan limbah radioaktif tahun 2017 pada Triwulan II dan Triwulan IV.

### Metode Kegiatan

Pengolahan limbah resin bekas dilakukan dengan cara sementasi di dalam *shell* beton 950 liter. Proses ini dilaksanakan di ruang *Hot Cell* sementasi. Sebelum proses pengolahan limbah semi cair dilaksanakan, lebih dahulu dilakukan pengecekan seluruh peralatan agar tidak ada gangguan selama proses pengolahan limbah berlangsung. Dilakukan juga pembersihan *tool holder* unit sementasi dari bekas adonan semen, pasir dan limbah yang sudah mengering. Pengecekan kondisi peralatan penimbangan material beton kering (*Mixer M33106*) juga dilakukan. Setelah dipastikan seluruh peralatan proses berfungsi baik maka proses pengolahan siap dilaksanakan.

Sebelum proses sementasi, limbah radioaktif resin bekas yang ada di tangki penampung R33002 ditakar di pot penakar sebanyak 260 l, alur proses penakaran bisa dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Alur proses penakaran resin bekas

Selanjutnya resin bekas akan dialirkan ke shell beton 950 liter yang telah disiapkan di ruang *hot cell*. (Gambar 2).



Gambar 2. Shell beton siap diisi Resin Bekas

Semen dan pasir dimasukkan ke dalam silo secara manual, persediaan pasir dan semen dipastikan cukup untuk mengolah limbah sebanyak delapan buah *shell* yang telah disiapkan. Proses pencampuran resin, pasir, semen dan air dilakukan di dalam ruang *Hot Cell* R.4.0.01. Pengadukan adonan dilakukan dengan cara menghidupkan meja putar sehingga shell beton berputar secara konstan. *Tool Holder* (pengaduk) diturunkan, dan kedalaman pengaduk diatur sehingga limbah, semen, pasir dan air menjadi adonan yang homogen. Setelah adonan menjadi homogen, *Tool Holder* dinaikkan dan motor penggetar dihidupkan agar adonan yang menempel pada pengaduk turun ke *shell* beton. *Trolley* dijalankan keluar ruang *Hot Cell* dan dilakukan pengambilan cuplikan untuk uji tekan, densitas dan lindih. Langkah akhir penyempurnaan proses sementasi adalah dengan menge' *seal*' tutup *shell* beton dengan adonan pasir dan semen sehingga *shell* beton menjadi tertutup permanen[4]. Sebelum disimpan di *Interim Storage shell* beton diberi nomor dan dipasang label yang berisi antara lain asal limbah, paparan kontak dan pada jarak 1 meter serta tanggal pengolahan

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1 menunjukkan pada tahun 2017 resin bekas PRSG dan resin bekas hasil proses penukar ion telah diolah sejumlah 2080 liter, sisanya akan diolah tahun berikutnya. Untuk itu PTLR harus mempersiapkan wadah limbah atau *shell* beton 950 liter untuk mengolah resin PRSG yang masih tersisa pada tahun 2018

Tabel 1. Hasil Pengolahan Resin Bekas Selama Tahun 2017

No	No Shell	Tanggal Pengolahan	jumlah limbah (liter)
1	108 C	9 Mei 2017	260
2	109 C	10 Mei 2017	260
3	110 C	16 Mei 2017	260
4	111 C	17 Mei 2017	260
5	112 C	27 September 2017	260
6	113 C	27 September 2017	260
7	114 C	2 Nopember 2017	260
8	115 C	7 Nopember 2017	260
Jumlah limbah			2080

Jumlah resin bekas yang diolah selama tahun 2017 berasal dari PRSG sebanyak 2080 l yang diolah dalam delapan buah shell beton 950 l dan diberi nomor 108C, 109C, 110C, 111C, 112C, 113C, 114C dan 115C.

Tabel 2. Hasil pengukuran paparan radiasi limbah hasil olahan

No	No Shell	bahan pengolahan			Paparan ( $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ )	
		Pasir (kg)	Semen (kg)	Air (liter)	Permukaan	Jarak 1 m
1	108 C	400	600	155	4,75	0,49
2	109 C	400	600	165	4,98	0,51
3	110 C	400	600	156	3,75	0,40
4	111 C	400	600	165	10,40	0,79
5	112 C	400	600	157	3,05	0,60
6	113 C	400	600	165	2,85	0,61
7	114 C	400	600	160	4,79	1,84
8	115 C	400	600	165	5,33	1,72

Tabel 2 memperlihatkan bahwa paparan radiasi permukaan maupun pada jarak 1 meter pada tiap *shell* bervariasi, tetapi tidak terlalu berbeda jauh, yang tertinggi hanya pada *shell* nomor 111C. Terlihat bahwa paparan radiasi pada permukaan dan jarak 1 meter pada limbah hasil olahan masih dalam batas yang diijinkan, sehingga lebih aman bagi pekerja masyarakat dan lingkungan.

Untuk kelancaran proses pengolahan limbah tersebut diperlukan *shell* beton 950 l, semen *portland* tipe 1 dan pasir. Selain itu peralatan proses unit sementasi juga harus dicek dan dilakukan perawatan untuk menjamin kelancaran proses pengolahan tersebut. Pada saat proses sementasi hal utama yang memerlukan perhatian adalah faktor keselamatan, baik keselamatan radiasi maupun non radiasi. Potensi bahaya radiasi yang sangat perlu mendapat perhatian adalah ketika pemindahan resin bekas dari tangki PVC ke tangki penampung resin bekas R 22003, karena pengisian dilakukan secara manual, sehingga petugas radiasi harus menggunakan pakaian kerja secara lengkap, yaitu jas lab, sepatu kerja, sarung tangan karet, penutup kepala, *masker* dan kaca mata. Potensi bahaya yang kedua adalah saat pengambilan cuplikan untuk membuat benda uji dari hasil olahan. Uap yang keluar dari campuran resin, air, pasir dan semen akan terhirup karena posisi pengambilan sampel harus naik ke tangga di mulut *shell* beton 950 l. Hal ini harus diantisipasi dengan peralatan yang lengkap.

Potensi bahaya non radiasi yang berbahaya adalah debu semen, ini terjadi ketika pengisian semen ke silo semen, sebelum ditimbang dan dimasukkan ke *Mixer*. Partikel debu semen yang sangat halus masih bisa menembus masker, ini bisa dibuktikan setiap selesai proses pengisian semen pekerja radiasi akan menemukan debu semen di sekitar hidung. Hal ini bisa dikurangi risikonya dengan bekerja secara bergantian.



Gambar 3. *Shell* beton 950 l hasil olahan siap disimpan di IS1

Dengan pengolahan limbah radioaktif resin bekas dalam shell beton 950 liter akan menjamin keselamatan dan keamanan bagi pekerja, masyarakat dan lingkungan. Proses imobilisasi resin bekas dilaksanakan di Gedung 50 PTLR dan limbah hasil olahan disimpan di Gedung Interim Storage Gedung nomor 52, seperti terlihat pada Gambar 3, *shell* beton 950 l yang sudah siap diangkut untuk disimpan di Gedung IS 1.

#### KESIMPULAN

Pengolahan limbah resin bekas dari PRSG dan resin bekas hasil dari proses pengolahan limbah radioaktif cair dengan metode penukar ion berjumlah 2080 liter yang diimobilisasi ke dalam delapan buah *shell* beton 950 liter. Limbah hasil olahan dalam delapan buah *shell* beton 950 l diberi nomor 108C, 109C, 110C, 111C, 112C, 113C, 114C dan 115C. Hasil pengukuran paparan pada jarak 1 m setelah di sementasi dalam *shell* beton 950 l adalah 0,40 – 1,84  $\mu\text{Sv/jam}$  masih dibawah yang dipersyaratkan IAEA yaitu  $2.5 \times 10^{-2}$  mSv/jam. Hasil olahan limbah resin bekas PRSG disimpan di Gedung *Interim Storage 1 (IS 1)*.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada rekan-rekan di Bidang Pengelolaan Limbah khususnya di Sub Bidang Pengelolaan Limbah Radioaktif dalam proses pengolahan limbah resin bekas selama tahun 2017.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] PP no 61 tahun 2013 tentang pengelolaan limbah radioaktif.
- [2] Norme International ISO 40
- [3] House W., "Packaging of Low and Medium Level Waste", IAEA International Training, Karlsruhe, 1989.
- [4] BATAN-TECHNICATOME, System Note "Solid, Semi Solid, Liquid waste Treatment", WSPG 330 NSN 9001, Paris, 1986
- [5] BAHDIR JOHAN," Teknik dan Standar Uji Produk Sementasi Limbah Radioaktif," PTLR – BATAN, Serpong 1997/1998
- [6] AYI MUZIYAWATI, SURYANTORO, MARDINI, DARMAWAN AJL." Pengaruh Kandungan Limbah Tanah dari PT. TASUMA Terhadap Kekuatan Fisika dan Kimia Beton Limbah," PTLR, Serpong 2005



