

***PENGEMBANGAN FISIKA DAN
KESELAMATAN OPERASI REAKTOR***

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN SEL BETON UNTUK PENYIMPANAN LESTARI LIMBAH SEMI CAIR (RESIN) RADIOAKTIF ASAL RSG-GAS

Pudjijanto MS, Bahdir Johan^{*)}

ABSTRAK

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN SEL BETON UNTUK PENYIMPANAN LESTARI LIMBAH SEMI CAIR (RESIN) RADIOAKTIF ASAL RSG-GAS. Limbah semi cair atau kuasi padat di RSG-GAS dihasilkan dari penggunaan sistem pembilas resin dan sistem disposal resin apabila mengganti resin trap insert. Volume limbah resin bekas dalam filter *mixed-bed* per operasi pembilasan berturut-turut adalah kira-kira: 1,00 m³ (dalam Sistem Pemurnian Air Pendingin Primer) dengan aktivitas $\approx 18,6 \text{ Ci/m}^3$ (0,688 TBq/m³), 0,50 m³ (dalam Sistem Pemurnian Air Kolam Penyimpan Radioisotop) dengan aktivitas $\approx 0,162 \text{ Ci/m}^3$ ($5,99 \times 10^3 \text{ MBq/m}^3$) dan 0,50 m³ (dalam Sistem Pemurnian Air Kolam Penyimpan Sementara Bahan Bakar) dengan aktivitas $\approx 0,162 \text{ Ci/m}^3$ ($5,99 \times 10^3 \text{ MBq/m}^3$). Pada saat pembongkaran, resin bekas yang dimuat ke dalam tangki penampung limbah resin bekas mempunyai tingkat konsentrasi radioaktivitas *gross* sebesar kira-kira 10 Ci/m³ (0,37 TBq/m³). Konsentrasi radioaktivitas dari limbah resin bekas setelah ditunda lebih dari 6 bulan adalah sekitar 0,32 Ci/m³ (11,84 GBq/m³). Berdasarkan data ini, telah dibuat sejumlah sel beton untuk menyimpan secara lestari limbah resin sebagai limbah semi cair (kuasi padat) yang secara kontinyu dihasilkan oleh instalasi RSG-GAS.

Kata kunci: inventori hasil belah; sinar-gamma; kuat sumber; kernel; fasilitas penanganan-bahan-bakar

ABSTRACT

DESIGN AND MANUFACTURING CONCRET CELLS FOR SHIELDING AND STORING RADIOACTIVE SEMI LIQUID WASTE (RESIN) FROM MPR-GAS. Semi liquid or quasi solid waste on Multipurpose Reactor "G. A. Siwabessy" (MPR-GAS) produced from operating resin rinsing systems and resin disposal systems during changes insert trap resin. Volume of the disposal resin waste in the filter *mixed-bed* per operation rinsing period are approx. 1,00 m³ (in the Primary Cooling Water Treatment System) with activity $\approx 18,6 \text{ Ci/m}^3$ (0,688 TBq/m³), 0,50 m³ (in the Radioisotope Storage Pool Water Treatment System) with activity approx. $\approx 0,162 \text{ Ci/m}^3$ ($5,99 \times 10^3 \text{ MBq/m}^3$) and 0,50 m³ (in the Interim Spent Fuel Storage Pool Water Treatment System) with activity $\approx 0,162 \text{ Ci/m}^3$ ($5,99 \times 10^3 \text{ MBq/m}^3$) respectively. On the discharging and unloading, the gross radioactivity concentration of the resin waste loaded in the disposal resin waste tank are approx. 10 Ci/m³ (0,37 TBq/m³). After 6 months delayed, this activity is still 0,32 Ci/m³ (11,84 GBq/m³). Based on this data, some concrete cells to storage resin waste as semi liquid or quasi solid waste produced continuously by MPR-GAS installation has been designed and manufactured eternally.

Key words : fission inventory, X-ray, source, kernel, fuel element handling facility

^{*)} Pusat Pengembangan Pengelolaan Limbah Radioaktif (P2PLR), BATAN - Puspptek, Serpong

PENDAHULUAN

Sesuai dengan SK Dirjen Batan nomor: 127/DJ/XII/1986 tentang Organisasi dan Tata Kerja BATAN pasal 186 ayat (3), disebutkan bahwa P2TRR (dh. PRSG) mempunyai tugas mengoperasikan sistem bantu, bahan kimia, menangani limbah radioaktif di dalam instalasi reaktor, termasuk penggantian resin filter, yang secara operasional dilaksanakan oleh Sub Bidang Sistem Bantu di bawah Bidang Operasi Reaktor. Sementara itu, pasal ... ayat (...), menyebutkan

bahwa P2PLR (dh. PTPLR) mempunyai tugas mengelola limbah radioaktif yang berasal dari instalasi nuklir di lingkungan BATAN termasuk limbah semi cair (kuasi padat) radioaktif berupa resin penukar ion bekas pakai yang berasal dari instalasi RSG-GAS.

Limbah semi cair atau kuasi padat berupa resin penukar ion di instalasi RSG-GAS akan dihasilkan dalam keadaan di bawah operasi normal oleh beberapa sistem, fasilitas dan atau komponen dari instalasi reaktor ini. Sistem, fasilitas dan atau komponen yang dapat memberi sumbangan pada

penghasilan limbah semi cair atau quasi padat berupa resin penukar ion antara lain adalah:

- Sistem pemurnian air pendingin primer;
- Sistem pemurnian air kolam penyimpanan radioisotop;
- Sistem pemurnian air kolam penyimpanan sementara bahan bakar;

Pada sejumlah besar aktivitas limbah cair bentuk khusus ini, resin penukar ion yang dikeluarkan dari filter *mixed-bed* dari sistem pemurnian air pendingin primer, sistem pemurnian air kolam penyimpanan radioisotop dan sistem pemurnian air kolam penyimpanan bahan bakar di RSG-GAS dianggap dan ditangani sebagai limbah semi cair atau quasi padat seperti halnya limbah cair dengan menggunakan sistem pembilasan resin dan sistem disposal resin limbah, yang terletak di ketinggian -9,50 m dari permukaan tanah tapak gedung RSG-GAS.

Limbah resin dihasilkan dalam hubungannya dengan penggunaan sistem pembilasan resin dan sistem disposal resin apabila mengganti resin *trap insert*.

Volume limbah resin bekas dalam filter *mixed-bed* per operasi pembilasan dari Sistem Pemurnian Air Pendingin Primer adalah kira-kira $1,00 \text{ m}^3$ dan aktivitasnya adalah sekitar $18,6 \text{ Ci/m}^3$ ($0,688 \text{ TBq/m}^3$).

Volume limbah resin bekas dalam filter *mixed-bed* per operasi pembilasan Sistem Pemurnian Air Kolam Penyimpanan Radioisotop adalah kira-kira $0,50 \text{ m}^3$ dan aktivitasnya adalah sekitar $0,162 \text{ Ci/m}^3$ ($= 5,99 \times 10^3 \text{ MBq/m}^3$).

Volume limbah resin bekas dalam filter *mixed-bed* per operasi pembilasan dari Sistem Pemurnian Air Kolam Penyimpanan Sementara Bahan Bakar adalah kira-kira $0,50 \text{ m}^3$ dan aktivitasnya adalah sekitar $0,162 \text{ Ci/m}^3$ ($= 5,99 \times 10^3 \text{ MBq/m}^3$).

Volume total limbah resin bekas dalam filter *mixed-bed* per operasi pembilasan dari ketiga sistem Pemurnian Air ini adalah kira-kira $2,00 \text{ m}^3$ dan aktivitas totalnya adalah sekitar $18,924 \text{ Ci/m}^3$ ($= 11,980 \times 10^3 \text{ MBq/m}^3$).

Ketiga sistem ini terdiri dari sebuah pompa pembilasan, dua buah tangki penampung limbah bekas yang masing-masing berukuran 3 m^3 dari resin yang dibuang, hubungan pipa-pipa penyalur dan instrumentasi serta kopling untuk hubungan ke tangki pengangkut.

Pada saat pembongkaran, limbah resin bekas yang dimuat ke dalam tangki tampung sementara mempunyai tingkat konsentrasi radioaktivitas gross sebesar kira-kira 10 Ci/m^3 ($= 0,37 \text{ TBq/m}^3$). Tingkat konsentrasi radioaktivitas dari limbah resin bekas setelah waktu penundaan selama 6 bulan adalah sekitar $0,32 \text{ Ci/m}^3$ ($= 11,84 \text{ GBq/m}^3$). Harga ini tidak termasuk radionuklida S-35. Setelah waktu peluruhan selama 6 bulan, tingkat

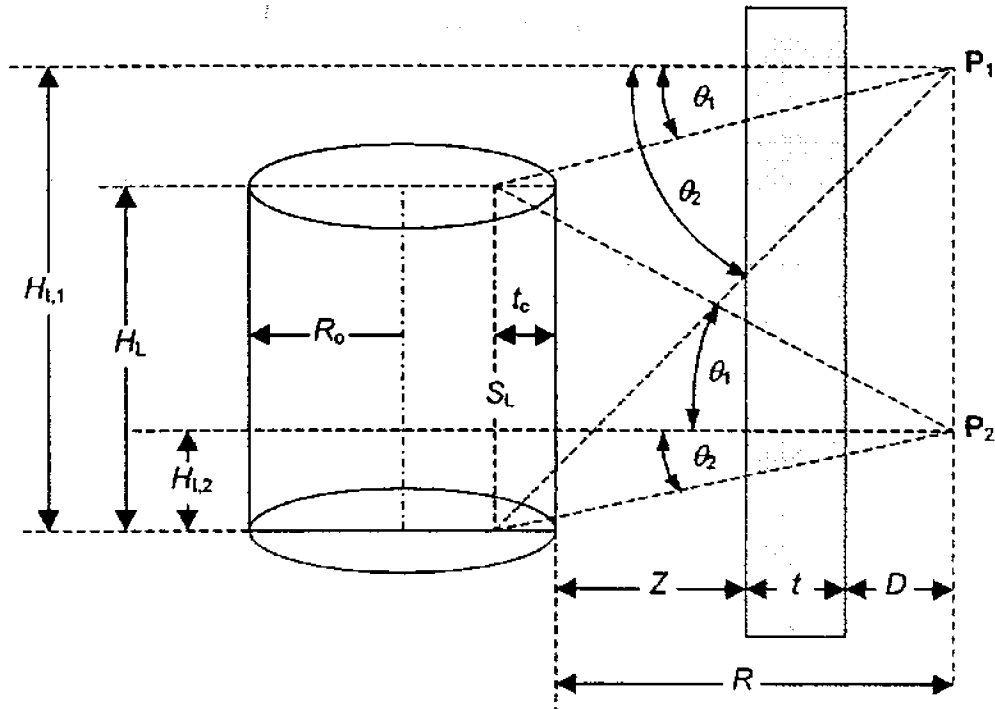
konsentrasi aktivitas dari radionuklida S-35 tinggal kira-kira $3,8 \text{ Ci/m}^3$ ($= 0,14 \text{ TBq/m}^3$).

Berdasarkan atas alasan ini, maka perlu dirancang dan sekaligus dibuat sejumlah sel beton untuk menyimpan secara lestari limbah resin radioaktif sebagai limbah semi cair (quasi padat) yang secara kontinu dihasilkan oleh instalasi RSG-GAS.

TEORI

Blok beton pengungkung konsentrasi limbah resin radioaktif asal RSG-GAS dapat dianggap sebagai sebuah sumber volume berbentuk tabung, berperisai sel beton yang juga berbentuk tabung dengan tebal $t = t_{rad}$ (cm) dalam arah radial di sisi samping dan tebal $t = t_{ax}$ (cm) dalam arah aksial di kedua ujungnya (tutup atas dan dasar bawah tabung).

Sumber Tabung, dengan Perisai di Samping: Gambar 1 menyajikan persamaan untuk fluks di dua tempat kedudukan (P_1 dan P_2) memancar dari sebuah sumber tabung dengan perisai berbentuk lengkung tabung sejajar dengan sumbu tabung. Prosedur untuk memperoleh fluks adalah pertama untuk mendapatkan "jarak serapan diri", yang tak lain adalah jarak dari permukaan lengkung tabung terdekat ke sumber garis interior S_L yang akan memberikan dosis yang sama. Kuat sumber total per satuan panjang untuk tabung dan garis adalah sama. Data dari Taylor dan Obenshain^[5], yang dicocokkan ulang kembali oleh Purchit^[4] untuk memperoleh hasil yang lebih akurat, disajikan dengan tiga kurva untuk mendapatkan "jarak serapan diri".



Gambar 1. Sumber foton gamma volumetrik silindrik dengan perisai di sisi samping.

Titik-titik data dari ketiga kurva ini disajikan sebagai tabel atau fungsi. Jarak serapan diri t_c ditentukan sebagai berikut:

Untuk Z/a atau $R/R_o \geq 10$, dapatkan $\mu_c \cdot t_c$ dari Gambar 3 dan selesaikan untuk t_c ;

Untuk Z/a atau $R/R_o < 10$, dapatkan $(\mu_c \cdot t_c)/m$ dari Gambar 3, dapatkan m dari

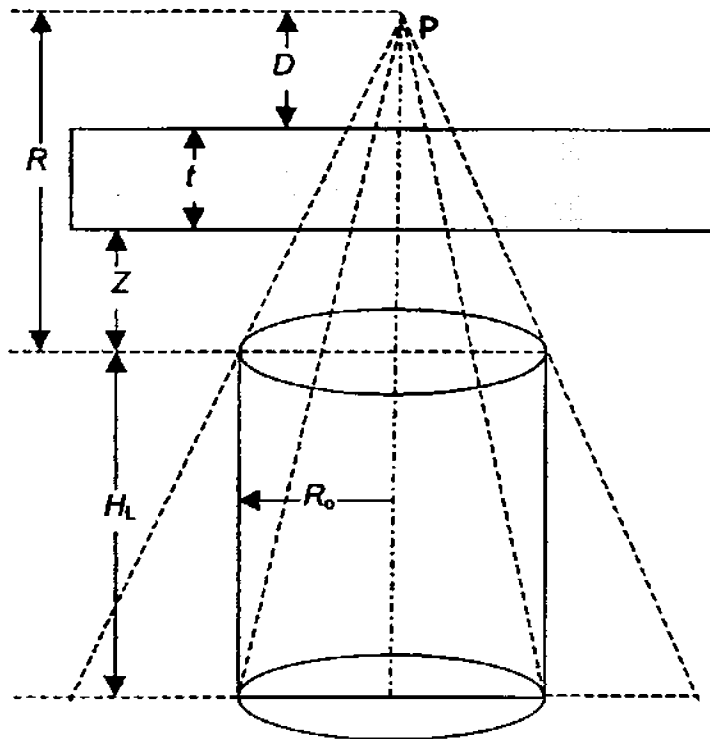
$$\phi_P = \frac{S_v \cdot R_o^2}{4 \cdot (R + t_c)} \times [F(\theta_2, \mu \cdot t + \mu_c \cdot t_c) - F(\theta_1, \mu \cdot t + \mu_c \cdot t_c)] \quad (1)$$

Sumber Tabung, dengan Perisai di Ujung:
Gambar 2 memberikan persamaan (2) untuk fluks di titik P pada perpanjangan sumbu tabung. Perisai aksial (ujung dan dasar) tegak lurus dengan sumbu ini. Persamaan ini meliputi fungsi E_2 . Persamaan (2) lazim disebut "persamaan batas atas", yang menghitung fluks di suatu titik P di ujung puncak dari kerucut terpancung yang mempunyai

Gambar 5, dan selesaikan untuk t_c .

Fluks foton gamma tanpa tumbukan (belum dikenakan faktor bangkit B) di titik P manapun (baik P_1 atau P_2) di sisi samping luar perisai yang berasal dari kedalaman radial t_c dari permukaan blok sumber volume berjejari R_o di dalam perisai tabung setebal t , dapat ditentukan dengan formulasi sbb.:

koinsiden muka dekat dengan yang dari tabung, tinggi kerucut dan tabung adalah sama, yaitu H_L . Persamaan batas atas ini digunakan di sini karena dalam praktek ia biasa diterapkan untuk perancangan perisai. Sebagai tambahan pada fluks sepanjang sumbu, ini dimungkinkan untuk menghitung fluks di suatu titik yang bergeser dari sumbu (tetapi tidak akan dikupas di sini).



Gambar 2. Sumber foton gamma volumetrik silindrik dengan tutup perisai di ujung atas.

Fluks foton gamma tanpa tumbukan (belum dikenakan faktor bangkit B) di titik P sepanjang sumbu tabung pada jarak $D = (R - t)$ di ujung atas luar perisai yang berasal dari blok sumber volume berdiameter R_0 setinggi H_L di bawah tutup perisai tabung setebal t , dapat ditentukan dengan formulasi sbb.:

$$\phi_U = \frac{S_V}{2 \cdot \mu_c} \times \left[\frac{E_2(\mu \cdot t) - E_2(\mu \cdot t + \mu_c \cdot H_L)}{\sqrt{1 + \left(\frac{R_0}{R}\right)^2}} + \frac{E_2\left\{(\mu \cdot t + \mu_c \cdot H_L) \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{R_0}{R}\right)^2}\right\}}{\sqrt{1 + \left(\frac{R_0}{R}\right)^2}} + \frac{E_2\left\{\mu \cdot t \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{R_0}{R}\right)^2}\right\}}{\sqrt{1 + \left(\frac{R_0}{R}\right)^2}} \right] \quad (2)$$

Faktor Bangkit Dosis (B): Setiap piranti ukur (surveimeter) yang khusus digunakan untuk mendeteksi sinar gamma dan pengukuran di berbagai lokasi ukur dengan sejumlah perisai yang terletak di antara sumber dan piranti ukur itu, tanggap (respons) sesungguhnya diperhitungkan sebagai hasil dari seluruh sinar gamma yang terdeteksi, dan tanggap idealnya adalah hanya sebagai hasil dari sinar gamma primer atau sinar

gamma tanpa tumbukan saja. Nisbah (nilai banding) dari dua tanggap ini (tanggap sesungguhnya per tanggap ideal) adalah lazim disebut sebagai faktor bangkit dosis yang menyanggung pada piranti ukur yang digunakan dan pada tempat serta jumlah dan tebalnya perisai.

Laju dosis total $\dot{D}(R)$, meliputi faktor bangkit, diberikan oleh pernyataan:

$$\dot{D}(R) = 5,76756 \dots \times 10^{-5} \cdot \left(\frac{\mu_a}{\rho}\right) \cdot E_0 \cdot \phi_0(R, t) \cdot B(E_0, \mu t), \text{ dalam rad/jam,} \quad (3)$$

- dimana:
- E_0 \equiv tenaga foton gamma dari sumber, MeV;
 - (μ_w/ρ) \equiv koefisien pelemahan massa serapan tebaga untuk bahan dalam mana dosis dihitung, cm^2/gram ;
 - $\phi_0(R,t)$ \equiv fluks foton gamma tanpa tumbukan terhitung, foton/ cm^2/detik ;
 - $B(E_0, \mu \cdot t)$ \equiv faktor bangkit dosis untuk tenaga foton gamma awal yang diberikan E_0 dan tebal perisai $\mu \cdot t$ untuk bahan perisai yang diberikan.

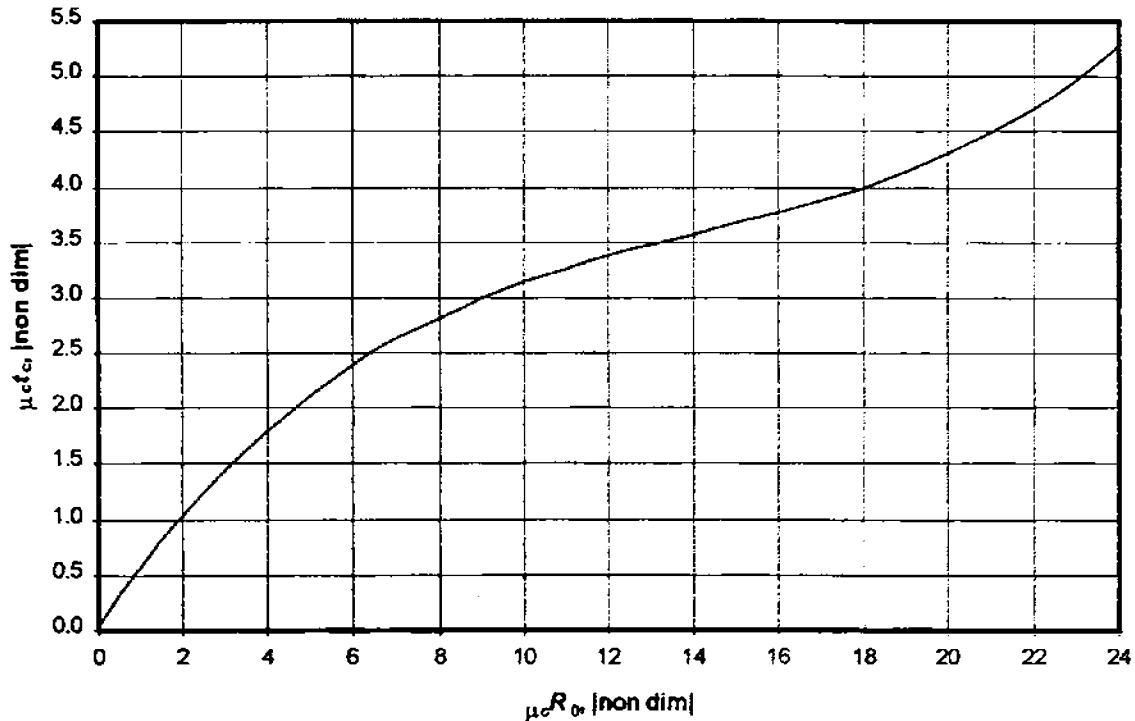
Dua macam faktor bangkit dosis yang dikenal, yaitu: $\textcircled{1}$ Faktor bangkit dosis untuk sumber "titik-isotropis" dan $\textcircled{2}$ Faktor bangkit dosis untuk sumber "bidang-terkolimasi". Jika sumber dipancang dalam atau didekatkan tiba-tiba

pada perisai, maka faktor bangkit "titik-isotropis" digunakan. Jika sebuah sumber kecil (dalam dimensi linier) adalah jauh dari perisai, sedemikian sehingga radiasinya terkolimasi secara dekat, maka digunakan faktor bangkit "bidang-terkolimasi". Dalam kasus sumbernya memberai atas suatu permukaan besar dekat perisai tetapi tidak terletak padanya, maka integrasi atas seluruh permukaan harus dibuat.

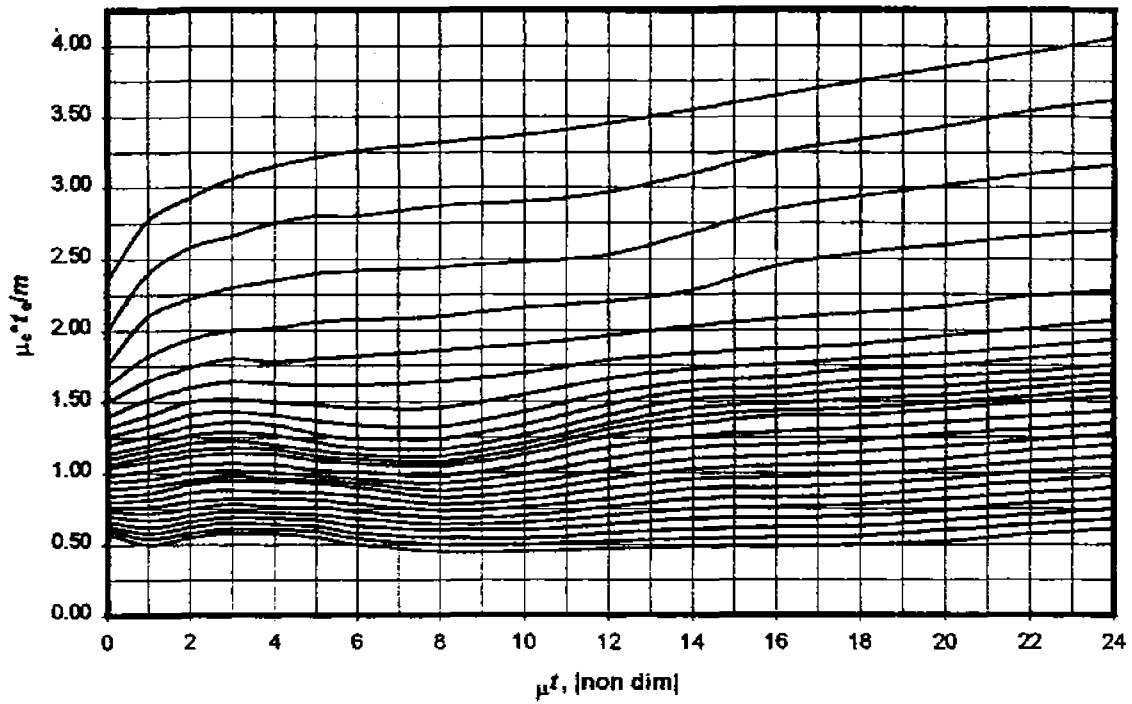
Parameter Serapan-Diri untuk Geometri Tabung: Beberapa grafik yang diambil dari acuan 4, dikonversi ke tabel atau polinomial untuk penggunaan dalam program. Kurva dalam Gambar 3, yang memberikan eksponen serapan diri silinder $\mu_c \cdot t_c$ sebagai fungsi dari $\mu_c \cdot R_0$ untuk $R/R_0 \geq 10$, dicocokkan dengan polinomial sbb.:

$$\mu_c t_c = 7,794289 \cdot 10^{-4} x^3 - 3,3071095 \cdot 10^{-2} x^2 + 5,6308275 \cdot 10^{-1} x + 3,4685315 \cdot 10^{-2}, \quad (4)$$

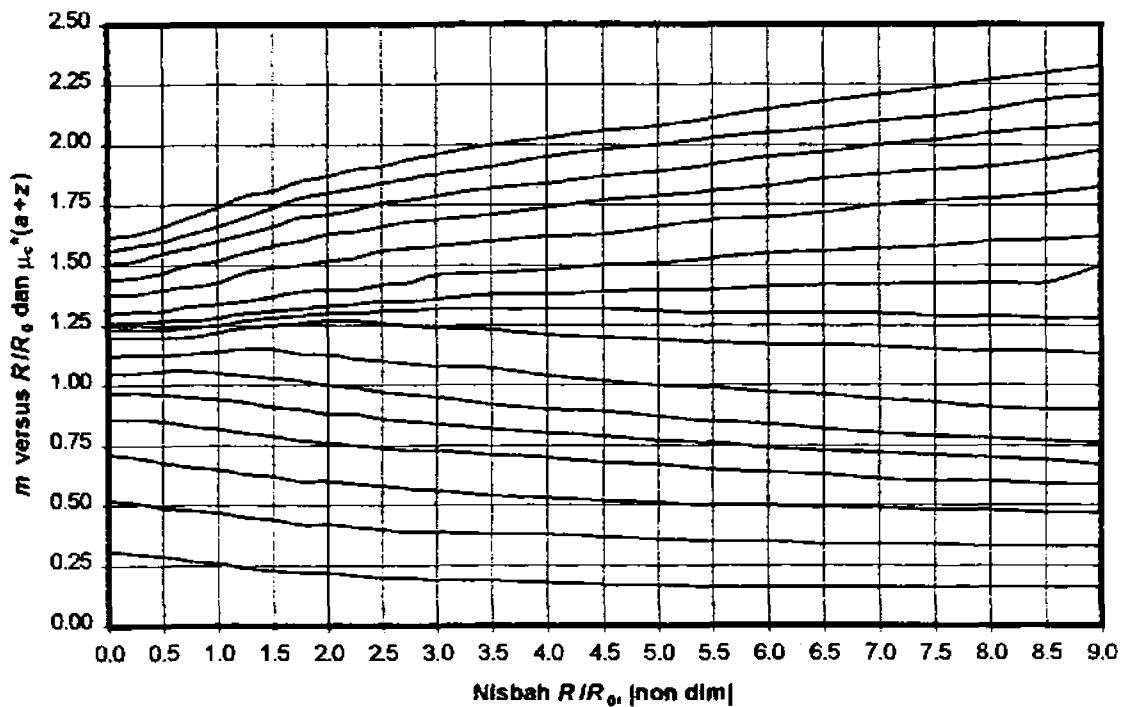
dimana: $x = \mu_c \cdot R_0$



Gambar 3. Liku eksponen serapan diri untuk silinder sebagai fungsi dari $\mu_c R_0$ untuk $R/R_0 > 10$, seperti dirumuskan oleh persamaan (4).



Gambar 4. Eksponen serapan diri untuk silinder $\mu_c t_0$ dibagi dengan parameter m sebagai fungsi dari panjang relaksasi μt_0 untuk nisbah $R/R_0 < 10$.



Gambar 5. Parameter serapan diri untuk silinder m sebagai fungsi dari R/R_0 untuk berbagai harga dari $\mu_c(R+R_0)$.

Dalam kasus itu, dimana $R/R_0 \geq 10$, ini menjadi perlu untuk menggunakan Gambar 4 dan 5 untuk mendapatkan eksponen serapan diri silinder $\mu_0 \cdot t_0$. Dalam kasus ini, $\mu_0 \cdot t_0/m$ diperoleh dari Gambar 4, m didapat dari Gambar 5, dan selesaikan untuk t_0 .

Dalam beberapa kasus, terutama kasus yang menyangkut intensitas permukaan, ini diperlukan untuk mensortir ulang pada faktor koreksi serapan diri yang diperoleh dengan cara yang berbeda dari

yang justru dilaporkan untuk silinder dan bola. Pernyataan umum untuk serapan diri adalah sebagai berikut:

Ambillah I_0 = intensitas radiasi yang diterima oleh detektor, dengan tanpa serapan diri sumber. Suku I menyajikan intensitas sesungguhnya yang diterima oleh detektor, dengan serapan diri sumber, maka $F_p(\mu \cdot R_0) = I/I_0$ adalah faktor serapan diri, dengan

$$F_p(x) = \frac{\Gamma(\rho+1)}{\Gamma(\frac{3}{2}) \cdot \Gamma(\rho+\frac{1}{2})} \int_0^{\pi/2} e^{-2x \cos \theta} \sin^2 \rho \theta d\theta, \quad (9)$$

dimana:

- $\rho = 1$, untuk sumber silindrik atau tabung;
- $X = \mu \cdot R_0$
- μ = koefisien serapan linier
- R_0 = jejari silinder atau bola atau setengah tebal slab.

TATA KERJA

Pengelolaan limbah resin radioaktif semi cair asal RSG-GAS ini dilakukan dengan proses reduksi volume secara evaporasi di Instalasi Pengelolaan Limbah Radioaktif - Pusat Pengembangan Pengelolaan Limbah Radioaktif (P2PLR, BATAN - Serpong), dilanjutkan dengan pengungkungan (imobilisasi) unsur radioaktif yang terkandung di dalamnya dengan menggunakan bahan pengemban (matrikis) yang sesuai. Konsentrat yang timbul dari hasil evaporasi dikungkung menggunakan matriks semen apabila telah memenuhi syarat ekstrak kering 250 gram/liter dengan aktivitas spesifik $\leq 1 \text{ Ci/m}^3$, pH sekitar 7 (normal, tidak asam tidak basa) serta tidak mengandung pemancar alpha. Pengungkungan ini dimaksud agar konsentrat

tersebut menjadi berbentuk sebagai padatan yang lebih mantap (stabil) sifat-sifat baik fisika maupun kimianya, lebih kompak dan lebih mudah ditangani dibandingkan jika dalam bentuk cair atau semi cair serta lebih tahan terhadap pelindian sehingga memudahkan dalam proses penyimpanan lestari^[1, 2].

Kelemahan dalam penggunaan bahan semen sebagai bahan matriks pengungkung kadang kala menimbulkan masalah retakan (*swealing*) yang berakibat menurunkan kuat tekan dan meningkatkan laju lindi. Untuk mencegah dan mengantisipasi kelemahan ini, telah dilakukan penelitian awal yang menghasilkan nisbah (nilai banding) air dan semen: (A/S) = 0,35 dan nisbah pasir dan semen (P/S) = 0,75^[2, 3].

Sebagai alternatif I, semen yang digunakan pada proses pengungkungan konsentrat resin adalah semen tipe I dan sebagai alternatif II digunakan semen cap Tiga Roda dengan komposisi senyawa kimia masing-masing seperti tertera pada Tabel 1 dan 2^[3]. Sementara itu, pasir yang digunakan adalah pasir Kali Cisadane dengan komposisi senyawa kimia seperti tertera pada Tabel 3

Tabel 1. Komposisi senyawa kimia dari kandungan semen tipe I (dalam persen berat) yang digunakan sebagai bahan matriks pada konsentrat limbah resin radioaktif asal RSG-GAS.

Nama senyawa kimia	Rumus kimia	Persentase
1. Trikalsium silikat	$(C_3S) \cdot 3 \text{ CaOSiO}_2$	50 %
2. Dikalsium silikat	$(C_2S) \cdot 2 \text{ CaO SiO}_2$	24 %
3. Trikalsium aluminat	$(C_3A) \cdot 3 \text{ CaOAl}_2\text{O}_3$	11 %
4. Tetrakalsium aluminat	$(C_4A) \cdot 4 \text{ CaOAl}_2\text{O}_3$	8 %
5. Kandungan lain	Tak terdeskripsi	7 %
• Total		100 %

Tabel 2. Komposisi senyawa kimia dari kandungan semen cap "Tiga Roda" (dalam persen berat) yang digunakan sebagai bahan matriks pada konsentrat limbah resin radioaktif asal RSG-GAS.

Nama senyawa kimia	Rumus kimia	Persentase
1. Silikon oksida	SiO ₂	20,72 %
2. Feri oksida	Fe ₂ O ₃	3,17 %
3. Aluminium oksida	Al ₂ O ₃	6,48 %
4. Kalsium oksida	CaO	64,28 %
5. Magnesium Oksida	MgO	2,02 %
6. Sulfur oksida	SO ₂	2,32 %
7. Natrium oksida	Na ₂ O	0,19 %
8. Bahan tak larut	-	0,21 %
9. Bahan hilang karena pembakaran (pengapian)		0,63 %
• Total		100,00 %

Tabel 3. Komposisi senyawa kimia dari kandungan pasir Kali Cisadane (dalam persen berat) yang digunakan sebagai bahan matriks pada konsentrat limbah resin radioaktif asal RSG-GAS.

Nama senyawa kimia	Rumus kimia	Persentase
1. Silikon oksida	SiO ₂	78,1 %
2. Aluminium oksida	Al ₂ O ₃	6,5 %
3. Ferri oksida	Fe ₂ O ₃	1,9 %
4. Kalsium karbonat	CaCO ₃	2,8 %
5. Natrium oksida	Na ₂ O	2,3 %
6. Potasium oksida	K ₂ O	1,4 %
7. Air	H ₂ O	7,0 %
• Total		100,0 %

Berdasar baku mutu yang ditetapkan oleh IAEA agar blok beton pengungkung konsentrat ini dapat disimpan lestari adalah sbb:

- rapat massa : $\rho = 1,7 - 2,50 \text{ gram/cm}^3$ (beton ringan standar)
- kuat tekan : $\Gamma = 20.0 - 50.0 \text{ N/m}^2$
- laju lindi : $Ru = 1,7 \times 10^{-1} - 2,50 \times 10^{-4} \text{ gram/cm}^2/\text{hari}$
- laju dosis kontak permukaan : $\dot{D}_{0m} < 200 \text{ mrem/jam}$
- laju dosis pada jarak 1 meter : $\dot{D}_{1m} < 10 \text{ mrem/jam}$

Konsentrat limbah resin radioaktif yang berasal dari RSG-GAS ini dikungkung

menggunakan pengemban pasir dan semen di dalam sel beton yang kapasitasnya 950 liter. Konsentrasi dari pengungkung ini adalah sbb.:

- Volume konsentrat : $V = 235 \text{ liter } (M_k = \pm 235 \text{ kg})$
- Pasir kali (Cisadane): $M_p = 450 \text{ kg}$
- Semen tipe I : $M_s = 600 \text{ kg}$
- Air : $M_a = 210 \text{ kg}$

Dengan berdasar pada rumusan teoritis dan data eksperimen di lapangan maka dapat dihitung tebal efektif dari sel beton pengungkung limbah konsentrat resin radioaktif asal RSG-GAS. Dari hasil perhitungan ini telah dibuat beberapa buah sel beton untuk keperluan tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berlandas pada argumen teori dan data pendukung baik fisis maupun teknis yang diperoleh baik dari peruntutan literatur maupun langsung dari lapangan, telah didisain (dihitung) dan pada medio bulan Mei 2002 telah dibuat secara praktis sejumlah (tepatnya empat buah) sel perisai beton untuk menyimpan secara lestari

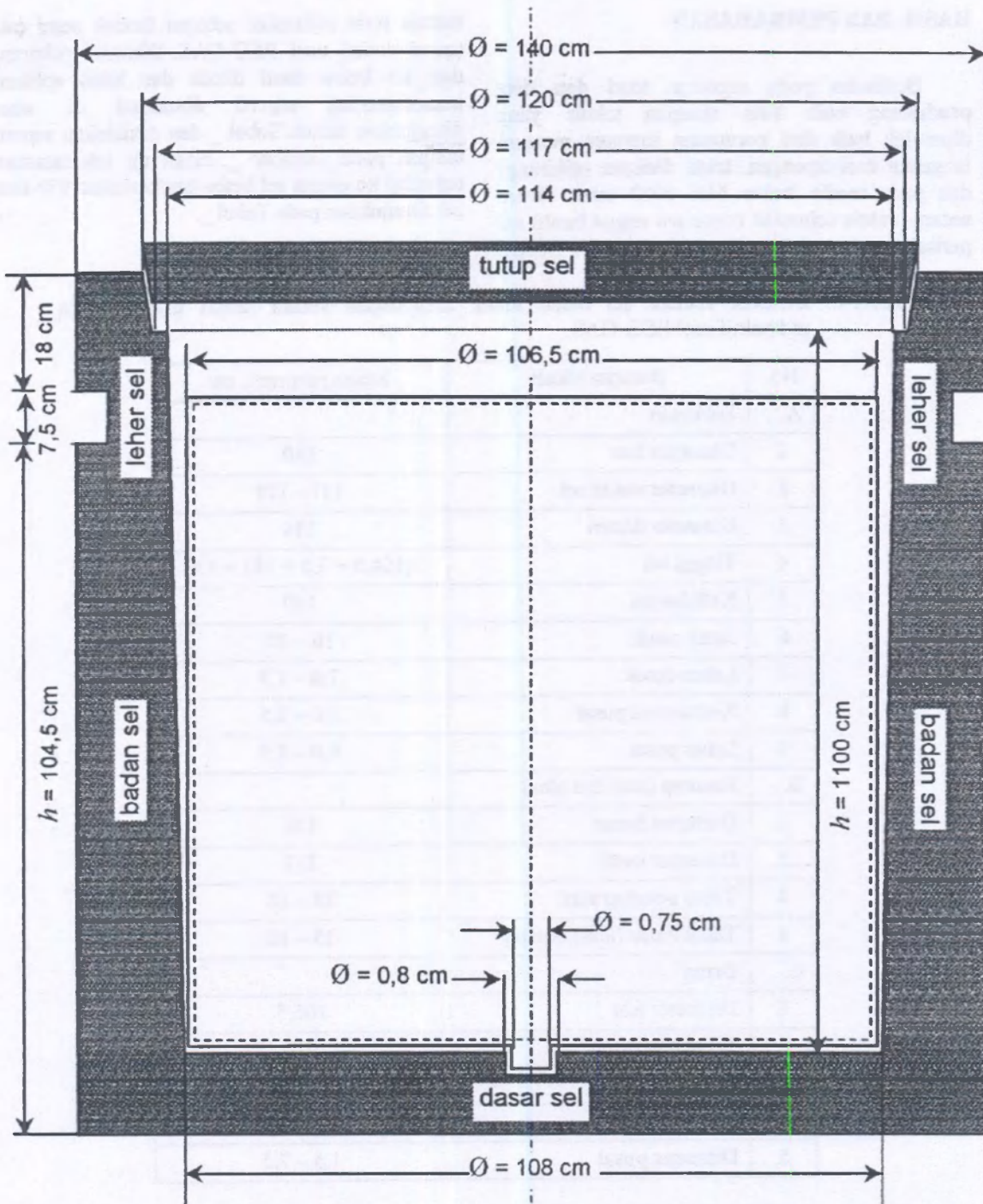
limbah resin radioaktif sebagai limbah semi cair (quasi padat) asal RSG-GAS. Dimensi (ukuran) dari sel beton hasil disain dan hasil aplikasi manufaktur seperti dimaksud di atas, ditunjukkan dalam Tabel dan ditukiskan seperti tampak pada Gambar. Hasil uji laboratorium terhadap ke empat sel beton berkapasitas 950 liter ini ditunjukkan pada Tabel.

Tabel 4. Dimensi standar sel beton untuk menyimpan secara lestari limbah resin radioaktif asal RSG-GAS.

No.	Besaran teknis	Matra (ukuran), cm
A.	Sel beton	
1.	Diameter luar	140
2.	Diameter mulut sel	117 - 120
3.	Diameter dalam	114
4.	Tinggi sel	$(104,5 + 7,5 + 18) = 130$
5.	Kedalaman	110
6.	Jarak ceruk	16 - 20
7.	Lebar ceruk	7,0 - 7,5
8.	Kedalaman pusat	3,0 - 3,5
9.	Lebar pusat	8,0 - 8,5
B.	Penutup (atas dan alas)	
1.	Diameter besar	120
2.	Diameter kecil	117
3.	Tebal penutup atas	15 - 16
4.	Tebal dasar (alas) bawah	15 - 16
C.	Drum	
1.	Diameter luar	106,5
2.	Tebal plat drum	2,5
3.	Tinggi	98
4.	Panjang pusat	1,5 - 3,5
5.	Diameter pusat	1,5 - 7,5

Tabel 5. Hasil uji densitas, kuat tekan dan laju laju lindi di laboratorium terhadap ke empat sel beton berkapasitas 950 liter.

No. sel	Rapat massa, ρ , • g/cm^3	Kuat tekan, Γ , N/mm^2	Laju lindi, Ru , $(g/mm^2)/hari$
I	2,50	25,60	$1,4 \times 10^{-2} \sim 2,0 \times 10^{-4}$
II	2,48	26,00	$1,5 \times 10^{-2} \sim 1,9 \times 10^{-4}$
III	2,49	25,80	$1,4 \times 10^{-2} \sim 2,1 \times 10^{-4}$
IV	2,50	25,70	$1,4 \times 10^{-2} \sim 2,0 \times 10^{-4}$



Gambar 6. Sel beton bagian luar dan tutupnya, termasuk drum pelapis bagian dalam dengan kapasitas tampung 950 liter volume limbah resin dari RSG-GAS.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dengan terdisekannya dan telah dibuatnya sel beton pengungkung konsentrat limbah resin semi cair

radioaktif asal RSG-GAS ini maka masalah yang timbul akibat terproduksinya limbah tersebut kini sudah dapat diatasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BAHDIR JOHAN dan KUAT HERYANTO, "Pengelolaan Limbah Radioaktif Cair Reaktor Riset Selama 10 Tahun Pertama P2PLR Beroperasi", (2000)
- [2] TECKNICATOME, "Liquid Waste Treatment by Evaporation", Operating Manual, WSPG 220 UKT 9001, Paris (1983).
- [3] TECKNICATOME, "Liquid Waste Treatment by Evaporation", Note System, WSPG 220 NTA 9001, Paris (1983).
- [4] BATAN-TECKNICATOM, "Rohkin Laboratory", WSPG 530 NTA 0002", Technicom, Paris (1986).
- [5] E. P. Blizard and I. s. Abbott, "Reactor Handbook", Vol. III, Part B, "Shielding", Interscience Publishers. New York (1962).
- [6] E. P. Blizard and F. E. Obenshain, "Flux from Homogeneous Cylinders Containing Uniform Source Distributions", WAPD-RM-213 (December, 1953).
- [7] E. D. Arnold and B. F. Maskewitz, SDC, "A Shielding Design Calculation Code for Fuel-Handling Facilities", ORNL-3041 (March 1966).
- [8] E. D. Arnold, "PHOEBE A Code for Calculating Beta and Gamma Activity and Spectra for 235U Fission Products", ORNL-3931 (March 1966).
- [9] M. J. BERGER and J. H. HUBBELL, "XCOM (Web Version 1.2): Photon Cross Section Data Base", National Institute of Standards and technology (NIST). Gaithersburg, MD 20899, (August 1999). Originally published as NBSIR 87-3597, "Photon Cross Section on a Personal Computer", (July 1987).
- [10] J. H. HUBBELL and M. J. BERGER, Section 4.1 and 4.2 in R. G. JAEGER (ed) et al: "Engineering Compendium on Radiation Shielding (IAEA, Vienna), Vol. I, Ch. 4, pp. 167-202, Spriner, Berlin (1968).
- [11] JAMES WOOD, "Computational Methods in Reactor Shielding", Pergamon Press Ltd., Headington Hill Hall, Oxford OX30BW, England (1982).

