

EVALUASI PAPARAN RADIASI DI RUANG PURIFIKASI AIR PENDINGIN PRIMER RSG-GAS

Unggul Hartoyo, Pudjijanto MS., Anto Setiawanto

ABSTRAK EVALUASI PAPARAN RADIASI DI RUANG PURIFIKASI AIR PENDINGIN PRIMER RSG-GAS. Telah dilakukan analisis untuk mengevaluasi laju paparan radiasi di sekitar ruang sistem purifikasi air pendingin primer RSG-GAS. Sistem pendingin primer dilengkapi dengan beberapa sistem pemurnian diantaranya sistem pemurnian air pendingin primer. Bila sistem tersebut tidak berjalan dengan baik maka akan terjadi peningkatan kontaminasi dan laju paparan radiasi di daerah tersebut. Hasil pengukuran paparan radiasi di ruang sel primer, ruang penukar bahang (HE) dan di sekitar ruang purifikasi selama reaktor beroperasi, ditemukan adanya kenaikan paparan radiasi. Berdasar keadaan ini dilakukan evaluasi paparan radiasi di sekitar ruang purifikasi air pendingin primer RSG-GAS. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengukuran dan perhitungan di setiap titik tinjauan ketika reaktor beroperasi pada daya $15 \text{ MW}_{\text{th}}$ serta dilakukan analisis kuantitatif dan kualitatif dari cuplikan air bebas mineral di ruang purifikasi sebelum dan setelah melalui filter resin penukar ion. Radionuklida yang teridentifikasi dari cuplikan air setelah melalui filter di ruang purifikasi adalah : Xe-135, Te-132, Sb-124, Na-24. Hasil pengukuran dan perhitungan laju paparan radiasi di sekitar ruang purifikasi berkisar antara 1,1 mR/jam sampai dengan 27,7 mR/jam.

ABSTRACT

EVALUATION OF THE RADIATION EXPOSURE OF PRIMARY WATER PURIFICATION SYSTEM ROOM OF MPR-GAS. The analysis investigation to evaluate radiation exposures rate in the vicinity of the room of primary cooling water purification system for multipurpose GAS have been performed. Primary cooling water system completion with some purification system, others primary cooling water purification system. If the system is not good, there will be high level contamination and radiation exposure in the location. From the results of measurement in the primary cell, heat exchanger room and vicinity of the water purification room during the reactor operation, the increased radiation exposure are found. Based on this condition, an evaluation of radiation exposure on the vicinity of the room of primary cooling water purification system was conducted. The methods used in this evaluation were in site directly measurement and calculation at each reference point during the reactor operation on 15 MW thermal power level. The evaluation was also performed by gamma spectrometry method for samples of water taken from the room of water purification system before and after passed the ion exchanger resin filter. The radionuclides were identified in the water sample after passed the filter are Xe-135, Te-132, Sb-124, and Na-24. From the measurement and calculation, the results show that the radiation exposure rate in the vicinity of water purification systems in the range of 1.1 ~ 27.7 mR/h.

PENDAHULUAN

Pengoperasian reaktor pada tingkat daya termal di atas 5 MW dapat menyebabkan timbulnya radioaktivitas di dalam kolam reaktor, baik sebagai hasil fisi dari inti fisi maupun aktivasi neutron terhadap elemen-elemen dalam teras reaktor. Elemen teras tersebut antara lain struktur teras reaktor, elemen bakar, fluida pendingin dan berbagai jenis fasilitas penelitian. Radioaktivitas yang ditimbulkan atau yang terdapat di kolam reaktor dapat mempengaruhi paparan radiasi di Balai Operasi.

Salah satu komponen utama reaktor nuklir adalah sistem pendingin primer, di mana air yang merupakan unsur pokok dari sistem ini berfungsi untuk memindahkan bahang yang ditimbulkan di teras reaktor baik pada saat reaktor operasi normal, gangguan transien maupun dalam keadaan darurat (kecelakaan). Sistem pendingin primer dilengkapi dengan beberapa sistem pemurnian air yang terdiri dari : sistem pemurnian air kolam reaktor, sistem pemurnian air lapisan hangat dan sistem pemurnian air kolam penyimpanan sementara bahan bakar bekas. Sistem pendingin reaktor didisain untuk membuang panas yang ditimbulkan dalam teras reaktor sebagai akibat terjadinya reaksi fisi. Panas yang timbul di dalam teras reaktor diambil dan dibawa oleh air pendingin primer untuk kemudian dipindahkan ke sistem pendingin sekunder melalui pesawat penukar bahang. Sebagai medium pembawa panas pada sistem pendingin digunakan air demineral, yaitu air yang telah didemineralisasi oleh sistem purifikasi. Apabila terjadi kebocoran bahan bakar, maka radionuklida hasil belah akan larut dalam air pendingin primer sehingga air ini akan terkontaminasi dan menjadi radioaktif. Demikian pula apabila terjadi peningkatan kadar logam pengotor yang

disebabkan oleh korosi pada bahan struktur reaktor yang dilalui air pendingin primer, maka logam itu akan teraktivasi ketika transit bersama air di dalam teras sehingga menyebabkan air ini terkontaminasi dan paparan radiasi menjadi meningkat. Peningkatan kontaminasi air pendingin primer dapat ditekan dan kenaikan laju paparan radiasi dapat dicegah apabila sistem purifikasi air pendingin primer beroperasi dengan normal sesuai spesifikasi tekniknya. Untuk itu perlu dilakukan pengamatan secara kualitatif dan kuantitatif terhadap radioaktivitas air pendingin primer, karena kualitas dan kuantitas radiasi dari radionuklida pengotor yang terdeteksi pada air pendingin reaktor dapat dijadikan indikasi tentang normal atau tidaknya sistem purifikasi air pendingin tersebut

Untuk evaluasi ini dilakukan pengukuran, perhitungan dan analisis dengan menggunakan spektrometri gamma. Pengukuran dilakukan dengan cara pengukuran langsung paparan radiasi di sekitar ruang purifikasi dengan beberapa titik pengukuran dimana hasil pengukuran yang terkecil 1,1 mR/jam dan yang terbesar 25,3 mR/jam. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan paket program untuk perhitungan paparan radiasi dari model sumber garis yang ditimbulkan oleh aktivasi air dimeneral dari tiap segmen pipa, hasil dari perhitungan yang terkecil 1,2 mR/jam dan yang terbesar 27,7 mR/jam. Analisis kuantitatif dan kualitatif dengan menggunakan spektrometri gamma menghasilkan konsentrasi radioaktivitas $(1,06 \cdot 10^{-5} \pm 1,60 \cdot 10^{-6}) \text{ Ci/cm}^3$

Diharapkan melalui penelitian ini diperoleh data hasil paparan radiasi di sekitar ruang purifikasi air pendingin primer secara akurat. Diperkirakan data hasil paparan radiasi di sekitar ruang

purifikasi tidak melebihi batas-batas keselamatan yang ditentukan dalam SAR-RSG GAS.

Dalam makalah ini disajikan hasil evaluasi paparan radiasi di sekitar ruang purifikasi air pendingin RSG-GAS ketika reaktor beroperasi pada tingkat daya 15 MW_{th}. **DASAR TEORI**

Ada beberapa metoda yang digunakan dalam mengevaluasi paparan radiasi di sekitar ruang purifikasi air pendingin primer RSG-GAS, yaitu :
① > Pengukuran langsung, ② > analisis spektrometri gamma, dan
③ > perhitungan.

Metode pengukuran langsung dilakukan dengan mengukur paparan radiasi gamma di berbagai titik pengamatan di sekitar lokasi medan radiasi yang ditinjau secara langsung menggunakan Surveimeter gamma yang masih berlaku sertifikasi kalibrasinya oleh PSPKR. Hasilnya langsung dapat dibaca dan dicatat. Keakuratan hasil ukur bergantung pada kebenaran faktor kalibrasi yang tertera pada alat. Tidak ada hal istimewa yang perlu dilaporkan pada teknik pengukuran ini.

Metode spektrometri gamma dilakukan dengan menganalisis cuplikan air pendingin primer yang diambil dari ruang purifikasi secara kualitatif dan kuantitatif menggunakan penganalisis salur ganda (MCA) berbasis detektor semi penghantar kemurnian tinggi (HP-Ge). Gangguan radiasi gamma latar belakang dijamin cukup rendah karena pencacahan cuplikan air dilakukan di dalam perisai Pb setebal 10 cm. Besaran radioaktivitas dihitung secara langsung setelah dilakukan kalibrasi efisiensi menggunakan sumber standar multi-EU-337 dalam merineli 1 liter buatan Amersham.

Untuk keperluan analisis secara kuantitatif, maka setelah dilakukan kalibrasi tenaga terhadap nomor salur, perlu dilakukan kalibrasi efisiensi. Efisiensi deteksi secara empirik mengikuti liku persamaan berikut /4/ :

$$\begin{aligned} \log(\varepsilon) &= A \cdot \log E + B \cdot \log^2 E + \frac{C}{E^3} + D \\ &= \log E^A + \log E^{2 \log E} + \log 10^{\frac{C}{E^3}} + \log 10^D \\ &= \log \left\{ 10^{\left(\frac{C}{E^3} + D\right)} \cdot E^{(A + B \log E)} \right\} \end{aligned} \quad (1)$$

Dengan menarik antilognya dari persamaan (1), maka efisiensi detektor untuk tenaga $E \pm \Delta E$ dapat dinyatakan sebagai :

$$\varepsilon = 10^{\left(\frac{C}{E^3} + D\right)} \cdot E^{(A + B \log E)} \quad (2)$$

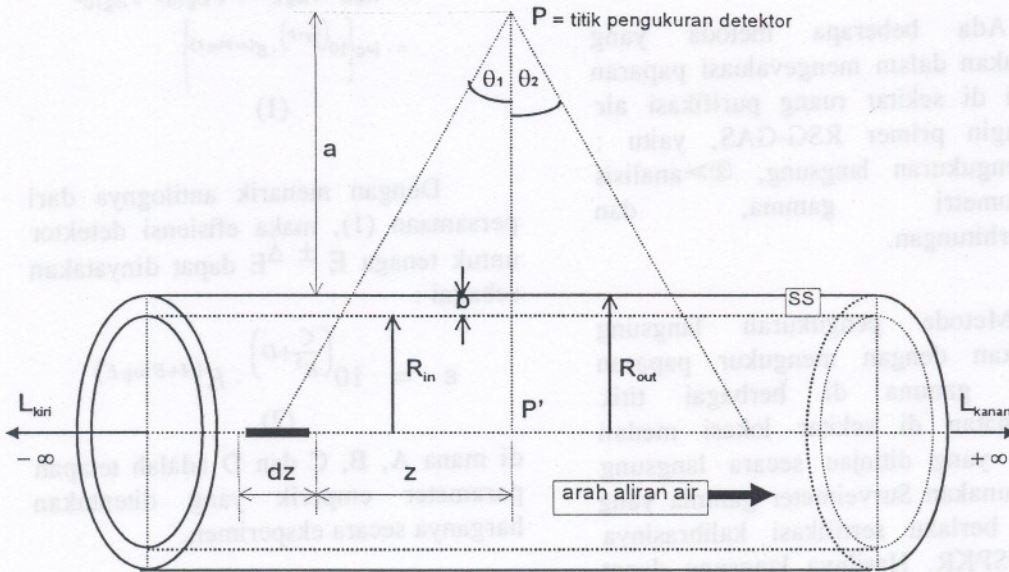
di mana A, B, C dan D adalah tetapan parameter empirik yang ditentukan harganya secara eksperimen.

Metode perhitungan dilakukan dengan paket program PIPAMU^{/4/} berdasarkan asumsi-asumsi yang dapat diterima. Kemudian, hasil pengukuran langsung, analisis dan perhitungan analitik ini diverifikasi terhadap data yang sudah ada dalam SAR RSG-GAS^{/1/}. Dasar teori yang digunakan dalam program PIPAMU^{/4/} ini adalah perhitungan paparan radiasi dari model sumber garis yang ditimbulkan oleh aktivitas air demineral dalam tiap segmen pipa. Laju dosis radiasi gamma untuk personal di titik peninjauan P dengan sumber garis seperti yang dilukiskan pada Gambar 1 secara pendekatan dihitung sbb. :

$$\dot{D}_{\text{tissue}} = 0,0576756 \times \frac{\mu_{a,\text{tissue}}(E_\gamma)}{\rho_{\text{tissue}}} \times I_\gamma \times E_\gamma \times \Phi_\gamma(a, b, R, S_V, A_{I=1 \rightarrow 4}, \kappa_{I=1 \rightarrow 4}) \quad (3)$$

Sedangkan rumusan untuk harga fluks adalah :

$$\Phi_\gamma \approx \frac{R_{in}^2 \cdot S_V}{2(a+b+R_{in})} \cdot \sum_{i=1}^4 A_i \cdot \sqrt{\frac{\pi}{2\kappa_i}} \cdot e^{-\kappa_i} \cdot \text{erf}\left(\sqrt{\frac{\kappa_i}{2}} \theta\right) \approx \frac{D_{in}^2 \cdot S_V}{4\{2(a+b)+D_{in}\}} \cdot \sum_{i=1}^4 A_i \cdot \sqrt{\frac{\pi}{2\kappa_i}} \cdot e^{-\kappa_i} \cdot \left(1 - \frac{5}{8\kappa_i}\right) \quad (4)$$



Gambar 1. Model sumber garis untuk perhitungan paparan radiasi.

Keterangan :

Φ_γ \equiv fluks foton gamma di titik pengukuran / peninjauan (P), $|\gamma/(\text{cm}^2 \cdot \text{detik})|$

I_γ \equiv Intensitas mutlak foton gamma karakteristik, $|100\%|$.

ρ_{tissue} \equiv rapat massa jaringan biologis $|\text{gram}/\text{cm}^3|$

$\mu_{a,\text{tissue}}(E_\gamma)/\rho_{\text{tissue}}$ koefisien pengendapan tenaga oleh masa jaringan biologis (orang) , $|\text{cm}^2/\text{gram}|$ sebagai fungsi dari tenaga foton gamma E_γ , $|\text{MeV}|$; a , b , dan R_{in} berturut-turut adalah jarak titik P dari permukaan pipa, tebal pipa, dan jejari i dalam pipa, $|\text{cm}|$,

S_V \equiv konsentrasi radioaktivitas zalir, $|\text{Bq}/\text{cm}^3|$.

$A_1, A_2, A_3, A_4, \kappa_1, \kappa_2, \kappa_3$, dan κ_4 adalah parameter-parameter pelemahan yang ada kaitannya dengan tetapan Taylor (tanpa dimensi)

Harga paparan radiasi total untuk satu titik tinjauan merupakan jumlahan dari paparan radiasi segmen-segmen pipa dan pesawat penukar bahang yang selanjutnya diselesaikan

melalui paket program perhitungan paparan radiasi.

Dek sumber program PIPAMU disiapkan dalam bahasa saintifik WATFOR-77 dengan menggunakan faktor bangkit berbentuk jumlahan dua suku eksponensial menurut saran Taylor. Program ini bisa digunakan untuk perhitungan paparan radiasi berdasar rumusan sumber garis. Data masukan (*input*) yang diperlukan untuk menjalankan paket program ini adalah : lokasi titik tinjauan, lokasi geometri dan bahan yang digunakan dalam pemipaan, debit air pendingin selama operasi reaktor, konsentrasi radionuklida apa saja yang terkandung dalam air primer untuk setiap lokasi pipa dsb. Hasil luaran (*output*) yang disajikan adalah harga paparan radiasi teoritis total untuk setiap titik posisi pengukuran.

TATA KERJA

Alat Dan Bahan Yang Digunakan

1. Alat Yang Digunakan :

- Surveimeter gamma "Victoren" eks
- Surveimeter gamma "Babyline-81" eks Nardeux
- Sistem Spektrometer Gamma latar rendah dengan MCA "ADCAM 100" eks Ortec

berbasis detektor HP-Ge eks Tennelec;

- Meteran panjang.

2. Bahan Yang Digunakan

- Sumber Standar campuran (multi gamma) EU-337
- Merineli kapasitas 1 liter
- Jerigen kapasitas 1 liter

Penyiapan Pengukuran

Pengukuran paparan radiasi di sekitar ruang purifikasi dilakukan pada saat reaktor beroperasi pada daya 15 MW_{th}. Masing-masing titik tinjauan yang sudah ditentukan diukur paparannya. Hasil pengukuran dicatat seperti yang diberikan dalam Tabel 1.

Sampling air di ruang purifikasi diambil sebelum dan setelah melalui filter, masing-masing sebanyak 1 liter, kemudian dianalisis secara kuantitatif dan kualitatif. Untuk menentukan jenis radionuklida dan konsentrasi radioaktivitasnya, digunakan spektrometer gamma dengan MCA & detektor HP-Ge. Sebelum dan sesudah melakukan pencacahan cuplikan air, spektrometer gamma dikalibrasi terlebih dahulu efisiensi deteksinya terhadap energi dan energinya terhanap nomor salur dengan menggunakan sumber campuran EU-337 berbentuk cair dalam merineli berkapasitas 1 liter. Masing-masing cuplikan dicacah selama 8000 detik.

Perhitungan dengan menggunakan program PIPAMU dilakukan atas dasar konsentrasi radioaktivitas dalam pipa air di ruang purifikasi yang teranalisis secara kuantitatif maupun terhitung dengan metode aktivasi pengotor dalam air pendingin primer, berdasarkan koordinat titik pengamatan, koordinat ujung-ujung pipa-pipa, diameter pipa dsb.

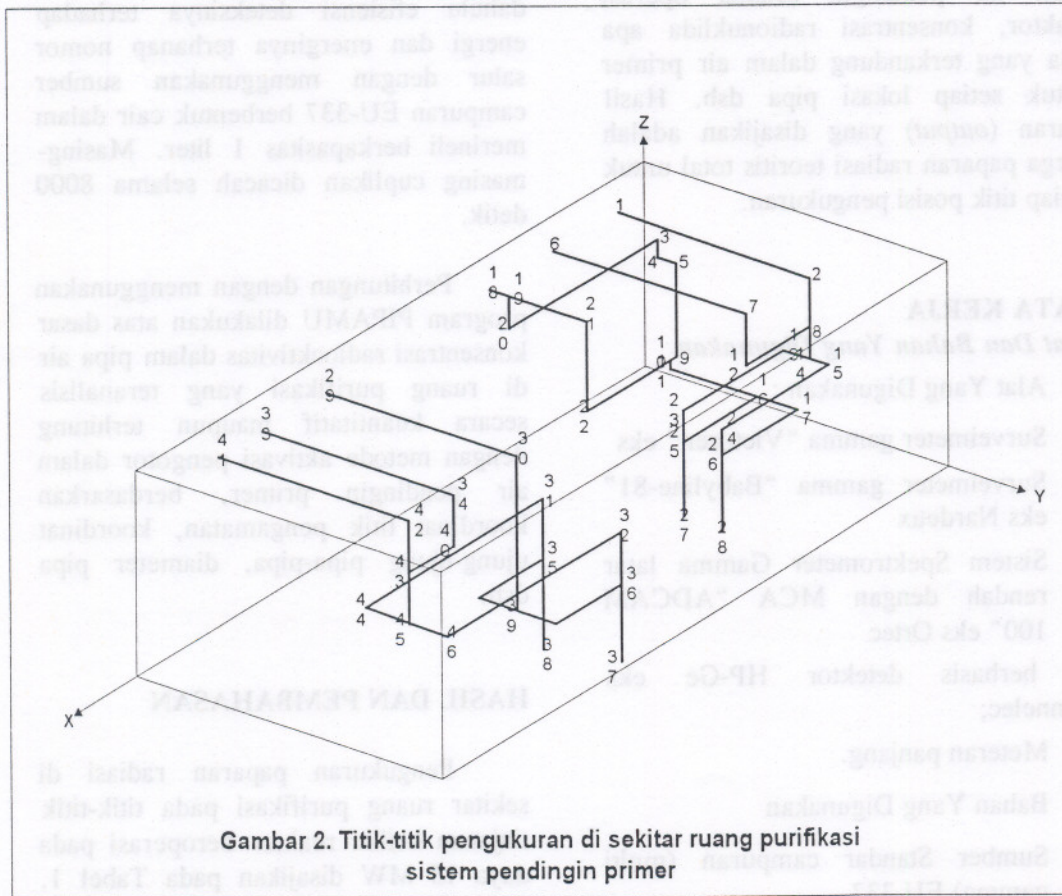
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran paparan radiasi di sekitar ruang purifikasi pada titik-titik tinjauan ketika reaktor beroperasi pada daya 15 MW disajikan pada Tabel 1. Dari Tabel ini dapat dilihat hasil pengukuran paparan radiasi di ruang itu berkisar dari yang terendah 1,1

mrem/jam sampai dengan yang tertinggi 25,3 mrem/jam. Hasil pengukuran paparan radiasi ini menunjukkan bahwa sistem purifikasi air pendingin di sekitar ruang purifikasi tidak memberikan indikasi adanya kenaikan yang berarti, sebab nilai ukurnya masih di bawah nilai yang diperkirakan dalam SAR RSG-GAS, yaitu : ≤ 125 mrem/jam. Titik-titik pengukuran di sekitar ruang purifikasi ditampilkan dalam Gambar 2.

Dari Tabel tersebut dapat dilihat hasil perhitungan paparan radiasi di sekitar ruang purifikasi berkisar antara 1,2 mrem/jam samapi dengan 27,7 mrem/jam. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem purifikasi air pendingin primer masih beroperasi dengan baik, sebab hasil perhitungan masih di bawah nilai yang diperkirakan dalam SAR RSG-GAS.

Hasil perhitungan paparan radiasi dilakukan pada kondisi reaktor beroperasi 15 MW disampaikan dalam Tabel 1. bersama data hasil pengukuran.



Gambar 2. Titik-titik pengukuran di sekitar ruang purifikasi sistem pendingin primer

Tabel 1. Hasil pengukuran laju paparan radiasi di sekitar ruang Sistem Purifikasi Air Primer.

Nomor Titik Ukur	Koordinat titik ujung pipa dalam ruang, (cm)	Laju paparan		Titik Ukur	Koordinat titik ujung pipa dalam ruang, (cm)	Laju paparan	
		Terukur, (mR/jam)	Terhitung, (mR/jam)			Terukur, (mR/jam)	Terhitung, (mR/jam)
1	(29,0,245)	8,7	9,2	24	(177,185,127)	10,8	13,7
2	(29,155,245)	13,8	15,6	25	(177,126,74)	11,1	16,5
3	(19,19,227)	9,7	6,6	26	(177,185,74)	9,7	11,7
4	(19,19,170)	11,4	12,2	27	(177,126,0)	8,6	9,5
5	(19,108,170)	12,3	15,1	28	(177,185,0)	7,3	6,8
6	(65,0,245)	7,4	6,7	29	(575,0,248)	1,6	3,7
7	(68,155,245)	8,8	10,1	30	(575,157,248)	1,9	2,1
8	(29,155,127)	2,6	3,1	31	(480,132,126)	2,0	1,8
9	(19,108,105)	23,2	21,2	32	(480,192,126)	3,7	3,1
10	(40,108,105)	22,3	25,7	33	(645,0,248)	3,5	2,8
11	(40,108,74)	20,5	22,5	34	(645,157,248)	3,5	2,7
12	(68,155,148)	25,3	27,7	35	(480,192,126)	3,0	3,7
13	(12,126,127)	11,7	15,7	36	(480,192,90)	3,3	4,5
14	(30,155,148)	10,5	13,3	37	(480,192,0)	1,1	2,3
15	(12,185,127)	20,3	23,5	38	(480,132,0)	1,2	3,2
16	(41,128,74)	18,6	21,4	39	(575,157,90)	1,3	2,8
17	(41,185,74)	16,5	18,8	40	(645,157,173)	1,6	1,3
18	(140,0,245)	13,7	17,7	41	(670,0,248)	1,4	1,2
19	(140,19,245)	11,3	19,2	42	(670,157,248)	1,6	2,3
20	(140,19,227)	10,7	15,7	43	(670,157,173)	2,0	3,5
21	(140,108,245)	9,5	13,8	44	(700,132,126)	3,7	4,5
22	(140,108,105)	8,2	7,8	45	(670,157,126)	3,5	4,8
23	(177,126,127)	9,8	11,3	46	(700,192,126)	3,0	4,7

Hasil analisis kuantitatif dan kualitatif dari cuplikan air di sekitar ruang purifikasi sebelum melewati filter disajikan pada Tabel 2.

Dari tabel itu tampak bahwa beberapa radionuklida yang terdeteksi antara lain adalah : Xe-135, Sb-125, Sb-122, Sb-124, I-132, Te-132, Na-24.

kualitatif dari cuplikan air di sekitar ruang purifikasi setelah melewati filter disajikan pada Tabel 3. Dari tabel itu tampak bahwa sebagian besar dari radionuklida yang terdeteksi adalah seperti terdeteksi pada cuplikan air sebelum melalui filter resin penukar ion, yaitu : Xe-135, Sb-124, I-132, Te-132, Na-24.

Hasil analisis kuantitatif dan

Tabel 2. Hasil pencacahan cuplikan air dari Sistem Purifikasi sebelum melewati filter.

No.	Radionuklida	Umur Paroh ($T_{1/2}$)	Konsentrasi Radioaktivitas, (Ci/m ³)
1	Xe-135	9,09 jam	$5,85 \cdot 10^{-5} \pm 7,20 \cdot 10^{-7}$
2	Sb-125	12,4 hari	$4,92 \cdot 10^{-4} \pm 3,20 \cdot 10^{-5}$
3	Sb-122	2,70 hari	$1,02 \cdot 10^{-4} \pm 1,70 \cdot 10^{-6}$
4	Sb-124	60,20 hari	$9,20 \cdot 10^{-4} \pm 1,20 \cdot 10^{-6}$
5	I-132	2,3 jam	$2,10 \cdot 10^{-4} \pm 7,02 \cdot 10^{-6}$
6	Te-132	78,2 jam	$3,10 \cdot 10^{-5} \pm 3,30 \cdot 10^{-6}$
7	Na-24	15 jam	$1,20 \cdot 10^{-3} \pm 1,70 \cdot 10^{-6}$

Tabel 3. Hasil pencacahan cuplikan air dari Sistem Purifikasi setelah melewati filter.

No.	Radionuklida	Umur Paroh ($T_{1/2}$)	Konsentrasi Radioaktivitas, (Ci/m ³)
1	Xe-135	9,09 jam	$2,60 \cdot 10^{-6} \pm 8,90 \cdot 10^{-8}$
2	Sb-124	60,20 hari	$1,06 \cdot 10^{-5} \pm 1,60 \cdot 10^{-6}$
3	Te-132	78,2 jam	$7,30 \cdot 10^{-7} \pm 4,30 \cdot 10^{-8}$
4	Na-24	15 jam	$1,40 \cdot 10^{-7} \pm 2,10 \cdot 10^{-8}$

Dari perbandingan hasil analisis kedua cuplikan tersebut, terlihat bahwa pada cuplikan air setelah filter ada beberapa radionuklida yang semula muncul di air sebelum filter, kini tidak muncul lagi. Radionuklida yang lenyap ini kemungkinan dapat ditangkap oleh filter. Hal yang menarik adalah ada beberapa radionuklida baru yang muncul, meskipun tingkat konsentrasi radioaktivitasnya mengalami penurunan dibandingkan dari cuplikan air sebelum melewati filter.

Konsentrasi radioaktivitas yang terdeteksi ternyata masih jauh di bawah nilai perkiraan dan atau perhitungan yang tercantum dalam SAR RSG-GAS. Sebagai perbandingan, daftar nilai perkiraan / perhitungan konsentrasi

radioaktivitas yang tercantum dalam SAR RSG-GAS dapat dilihat pada Tabel 4 (terlampir).

KESIMPULAN

Dari hasil analisis kuantitatif dan kualitatif dengan menggunakan spektrometri gamma diperoleh konsentrasi radioaktivitas yang relatif kecil. Hasil pengukuran, perhitungan paparan radiasi di sekitar ruang purifikasi air pendingin RSG-GAS berkisar antara 1,1 mR/jam - 27,7 mR/jam dan tidak melebihi batas keselamatan yang ditentukan dalam SAR-RSGGAS. Dari hasil ini, disimpulkan bahwa sistem purifikasi air pendingin RSG-GAS masih berjalan dengan baik sesuai dengan spesifikasi tekniknya.

DAFTAR PUSTAKA

1. BATAN Team, "Safety Analysis Report of Multipurpose Reactor MPR-30", 7th revision, Chapter 12.4.3 (September 15th, 1989).
2. WISNU SUSETYO dan SUDARMADJI, "Kalibrasi Spektrometer- dengan Metode PTB (Physikalish Technische Bundesanstalt)", Prosiding KIM, F 6.1-6.13 (1983).
3. PUDJIJANTO MS., MA"SUM ISCHAQ, MULYONO, WISNU SUSETYO, "Analisis Cuplikan Bahan Radioaktif Secara Kualitatif & Kuantitatif Menggunakan Metode Spektrometri Gamma", Laporan Kegiatan Intern Bidang (tidak dipublikasi) BK3, PPBMI, Batan Yogyakarta (1983).
4. PUDJIJANTO MS., "PENENTUAN Paparan Radiasi di Permukaan Pipa Inlet / Outlet Aliran Pendingin Primer RSG-GAS", Prosiding Seminar Hasil-hasil Penelitian di PRSG tahun 1995/1996, (20-21 Mei 1996).
5. PUDJIJANTO MS., "PIPAMU : Program versi PC untuk Perhitungan Paparan Radiasi dari Sumber Volume Dalam Pipa Pendingin Primer", Laporan Intern PRSG, sudah 99 % final tetapi belum dipublikasi, masih dalam pengembangan (Maret, 1999).
6. YUKIO MURAKAMI, "Hoshasen Data Book", 6-43, Koraku Bunyoku, Tokyo-Japan (1990).

DISKUSI**Pertanyaan (Syafriul)**

1. Kenapa pada daya 15 MW ?
2. Bagaimana pada daya 5 MW, 10 MW, 20 MW dsb ?

Jawaban (Unggul H)

1. Pengukuran dilakukan disesuaikan dengan jadwal beroperasinya reaktor, jadi pada saat pengukuran reaktor beroperasi pada tingkat daya 15 MW.
2. Tidak dilakukan pengukuran 5 MW, 10 MW, 20 MW, karena pengukuran pada waktu itu dilakukan sesuai dengan jadwal operasi reaktor.

Pertanyaan (Subiharto)

1. Di dalam kesimpulan disebutkan bahwa paparan radiasi di daerah purifikasi masih sesuai dengan spesifikasinya. Mohon disebutkan berapa spesifikasi paparan di daerah purifikasi dan dibandingkan dengan hasil pengukuran dan perhitungan ?
2. Berapa toleransi kenaikan paparan sehingga masih dikatakan memenuhi spesifikasi ?

Jawaban (Unggul H)

1. Spesifikasi paparan di sekitar ruang purifikasi mengacu pada SAR BAB 12.4.3 Table 12-11. Perbandingan hasil dapat dilihat di makalah Tabel 1.
2. Paparan radiasi di sekitar ruang purifikasi berdasarkan SAR BAB 12.4.3 Tabel 12-11 \leq 125 mrem/h

Pertanyaan (Dhandhang P)

Darimana Saudara mendapatkan data source untuk perhitungan Saudara ?

Jawaban (Unggul H)

Data source untuk perhitungan : konsentrasi masing-masing radionuklida yang dianalisis berdasarkan analisis kualitatif dan kuantitatif sampel air.

Tabel-4. Konsentrasi Radioaktivitas dalam Sistem, dalam Ci/m³

NO.	Radionuklida Dalam Sistem	JE01 *)	KBE01 **)	KBE02 **)	FAK01 **)	KBK01 **)	KBB01 *)	KTA01*)	KTF01 *)	KPK01	KPK02
1	Co-60	5,70E-06	2,10E-01	3,90E-03	1,70E-03	2,10E-01	5,70E-06	5,70E-06	5,70E-06	2,30E-06	1,40E-05
2	S-35	0,00E+00	1,50E+01	2,80E-01	1,20E-01	3,80E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
3	Eu-155	5,30E-09	2,20E-04	4,00E-06	1,70E-06	1,80E-04	5,30E-09	5,30E+09	5,30E-09	2,10E-09	1,10E-08
4	Sm-151	1,60E-09	6,10E-05	1,10E-06	4,80E-07	6,20E-05	1,60E-09	1,60E-09	1,60E-09	6,50E-10	3,40E-08
5	Nd-147	2,20E-06	1,40E-02	2,60E-04	1,10E-04	1,90E-07	2,20E-05	2,20E-05	2,20E-05	8,90E-06	7,80E-03
6	Pr-144	3,40E-03	8,00E-02	1,50E-03	6,30E-04	0,00E+00	3,40E-03	3,40E-03	3,40E-03	1,40E-03	1,80E+00
7	Ce-144	2,20E-06	1,20E-02	2,10E-04	9,30E-05	6,00E-03	2,20E-06	2,20E-06	2,20E-06	8,90E-07	1,80E+00
8	Ce-141	2,10E-05	1,70E-01	3,10E-03	1,30E-03	3,70E-03	2,10E-05	2,10E-05	2,10E-05	8,50E-06	1,80E-01
9	Ba/La-140	5,50E-04	4,60E-01	8,40E-03	3,70E-03	2,80E-05	5,50E-04	5,50E-04	5,50E-04	2,20E-04	1,80E-01
10	Cs-137	6,50E-08	2,60E-03	4,80E-05	2,10E-05	2,70E-03	6,50E-08	6,50E-04	6,50E-08	2,60E-08	1,10E-03
11	Cs-134	3,60E-08	1,50E-03	2,70E-05	1,20E-05	1,30E-03	3,60E-08	3,60E-08	3,60E-08	1,40E-08	1,00E-01
12	Te-132	1,40E-04	2,10E-01	3,90E-03	1,70E-03	0,00E+00	1,40E-04	1,40E-04	1,40E-04	5,60E-05	5,80E-02
13	Te-131 m	2,50E-04	8,00E-02	1,50E-03	6,30E-04	0,00E+00	2,50E-04	2,50E-04	2,50E-04	1,00E-04	1,30E-05
14	Te-129 m	4,50E-06	3,50E-02	6,50E-04	2,80E-04	9,30E-04	4,50E-06	4,50E-06	4,50E-06	1,80E-06	5,00E-04
15	Te- 127 m	1,80E-07	1,10E-04	2,00E-06	8,60E-07	3,50E-05	1,80E-07	1,80E-07	1,80E-07	7,30E-08	9,00E-06
16	Sb-125	2,40E-09	9,00E-04	1,70E-05	7,20E-06	8,20E-04	2,40E-09	2,40E-09	2,40E-09	9,70E-10	5,00E-03
17	Sn-125	1,50E-07	9,80E-03	1,80E-04	7,70E-05	1,00E-08	1,50E-07	1,50E-07	1,50E-07	6,00E-08	3,00E-07
18	Rh-106 m	1,70E-04	4,60E-04	8,40E-06	3,60E-06	0,00E+00	1,70E-04	1,70E-04	1,70E-04	6,90E-05	3,40E-04
19	Ru-106	1,30E-07	4,10E-03	7,60E-05	3,30E-05	3,00E-03	1,30E-07	1,30E-07	1,30E-07	5,20E-08	2,60E-07
20	Rh -106	1,60E-03	2,10E-01	3,90E-03	1,70E-03	0,00E+00	1,60E-03	1,60E-03	1,60E-03	6,50E-04	5,00E-02
21	Ru-103	6,10E-04	4,90E-01	8,60E-03	3,90E-03	2,10E-02	6,10E-04	6,10E-04	6,10E-04	2,50E-04	2,10E-01
22	Nb-95	2,10E-05	9,30E-02	1,70E-03	7,40E-03	2,10E-02	2,10E-05	2,10E-05	2,10E-05	8,50E-06	2,30E+00
23	Zr-95	1,10E-05	9,30E-02	1,70E-03	7,40E-03	2,90E-02	1,10E-05	1,10E-05	1,10E-05	4,40E-06	1,30E+00
24	Y-91	1,10E-05	1,70E-01	3,20E-03	1,40E-03	2,20E-02	1,10E-05	1,10E-05	1,10E-05	4,40E-06	9,20E-01
25	Y-90	2,30E-04	4,40E-02	8,10E-04	3,50E-04	0,00E+00	2,30E-04	2,30E-04	2,30E-04	9,30E-05	1,00E-01
26	Sr-90	6,50E-08	2,50E-03	4,70E-05	2,00E-05	2,60E-03	6,50E-08	6,50E-08	6,50E-08	2,60E-08	1,30E-07
27	Sr-89	1,10E-05	1,40E-01	2,60E-03	1,10E-03	1,20E-02	1,10E-05	1,10E-05	1,10E-05	4,40E-06	2,40E-05
28	Fe-59	6,30E-06	1,10E-02	2,00E-04	8,70E-05	6,90E-04	6,30E-06	6,30E-06	6,30E-06	2,50E-06	1,30E-05
29	Ni-65	1,40E-05	1,60E-02	2,90E-04	1,20E-04	0,00E+00	1,40E-05	1,40E-05	1,40E-05	5,60E-06	2,80E-05
30	Co-58	3,40E-06	1,20E-03	2,30E-05	9,80E-06	2,20E-04	3,40E-06	3,40E-06	3,40E-06	1,40E-06	6,80E-06
31	Mn-56	1,50E-05	3,90E-03	7,20E-05	3,10E-05	0,00E+00	1,50E-05	1,50E-05	1,50E-05	6,00E-06	3,00E-05
32	Mn-54	6,80E-07	2,30E-02	4,20E-04	1,60E-04	1,60E-02	6,80E-07	6,80E-07	6,80E-07	2,70E-07	1,40E-06
33	Cr-51	1,00E-03	6,20E-04	1,10E-05	4,90E-06	7,10E-06	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	4,00E-04	2,00E-03
34	Mg-27	5,00E-05	2,60E-03	4,80E-05	2,10E-05	0,00E+00	5,00E-05	5,00E-05	5,00E-05	2,00E-05	1,00E-04
35	Al-28	1,50E-03	4,90E-09	9,00E-11	3,90E-11	0,00E+00	1,50E-03	1,50E-03	1,50E-03	6,00E-04	3,00E-03
36	Na-24	2,40E-03	1,00E+00	1,80E-02	7,90E-03	0,00E+00	2,40E-03	2,40E-03	2,40E-03	9,70E-04	4,80E-03
	Total, Ci/m³ 	1,20E-02	1,86E+01	3,45E-01	1,62E-01	4,15E+00	1,20E-02	1,20E-02	1,20E-02	4,89E-03	8,86E+00

*) Air ; **) Resin dari filter "mixed-bed" pada saat "discharger"

JE01 = Sistem Air Pendingin Primer

KBE01 = Sistem Pemumian Air Pendingin Primer

KBE02 = Sistem Pemumian Lapisan Air Hangat

FAK01 = Sistem Pemumian Air Kolam Penyimpanan

KBK01 = Sistem Disposal Resin Limbah

KBB01 = Sistem Pembuangan Air Kolam Reaktor

KTA01 = Sistem Pembuangan Komponen Primer

KTF01 = Daerah Aktif Drain Lanati

KPK01 = Sistem Penyimpanan Air Limbah Aktivitas Rendah

KPK02 = Sistem Penyimpanan Air Limbah Aktivitas Tinggi