

## EVALUASI PAPARAN RADIASI DI SEKITAR TANGKI PENUKAR BAHANG (HE) RSG-GAS

B. Bandriyana , Pudjijanto MS.

### ABSTRAK

**EVALUASI PAPARAN RADIASI DI SEKITAR TANGKI PENUKAR BAHANG (HE) RSG-GAS.** Pada operasi reaktor dengan daya di atas 15 MW teramati adanya penyimpangan paparan radiasi di ruang sel primer dari harga perkiraan dalam desain. Berdasar keadaan ini dilakukan evaluasi paparan radiasi di sekitar pesawat penukar bahang yang berada di ruang sel primer dengan melakukan pengukuran dan perhitungan paparan radiasi serta evaluasi peralatan. Pengukuran paparan radiasi dilakukan dengan alat ukur portabel untuk 10 titik tinjauan sedangkan pengamatan kontinyu dilakukan dari alat ukur terpasang UJA04 CR002. Perhitungan teoritis paparan radiasi pada daya reaktor 15 MW dilakukan berdasar teori pelemahan kernel dengan memperhitungkan pengaruh adanya udara yang terperangkap dalam tangki tunda. Hasil pengukuran paparan radiasi untuk 10 titik ukur di sekitar pesawat penukar bahang berkisar antara 2-40 mrem/jam. Hasil perhitungan paparan radiasi pada satu titik ukur yang berjarak 3,7 m dari pesawat penukar bahang JE01-BC01 dengan ketinggian 1,5 m dari *grade* besi untuk daya reaktor 15 MW adalah sebesar 16,23 mR/jam. Pengamatan UJA04 CR002 pada awal dan akhir siklus operasi (dengan udara terperangkap dalam tangki tunda) menunjukkan adanya kenaikan paparan radiasi. Dari evaluasi tersebut disimpulkan paparan radiasi di beberapa titik di sekitar pesawat penukar bahang melebihi paparan yang diperkirakan dalam SAR RSG-GAS (5 -10 mrem/jam) .

### ABSTRACT

**EVALUATION OF THE RADIATION EXPOSURE IN THE ENVOIRONMENT OF THE HEAT EXCHANGER.** The radiation exposure data at primary cell when reactor operated on 15 MW was found higher than the design data. Based on this condition, an evaluation of radiation exposure on the entire of heat exchanger in the primary cell was carried out by measuring , and calculating the radiation exposure , observation of radiation exposure data and visual check of equipment. Measuring of radiation exposure was performed on 10 monitoring point by the portable equipment and assessing of radiation exposure data was performed base on the data of UJA04 CR002. Calculating of radiation exposure was performed on the 15 MW power reactor operation based on kernel theory and air volume escaped in the delay chamber. Observation of UJA04 CR002 on the early and the end of reactor operation cycle showed the radiation exposure increase. The result of radiation exposure measuring on 10 monitoring point are 2-40 mrem/hour, the calculating result at the location of 3.7 m from the heat exchanger JE01 BC01 and 1.5 level from the grade are 16.23 mrem/hour. This evaluation concluded that some of the radiation exposure rate in the entire of heat exchanger are higher than the expected value from SAR (5-10 mrem/hour).

### PENDAHULUAN

Setelah mencapai kekritisasi pada tahun 1987, dewasa ini Reaktor Serba Guna GA. Siwabessy dioperasikan dengan daya 15 MW-23 MW sesuai

dengan penggunaannya untuk pelayanan iradiasi dan penelitian. Untuk menjamin dan mengatur keselamatan personil, daerah kerja di reaktor dibagi dalam beberapa kategori menurut harga dan batas paparan radiasinya. Menurut

SAR (Safety Analysis Report) untuk RSG-GAS, daerah sel primer reaktor termasuk dalam kategori ruang C dengan rentang paparan antara 2,5–125 mrem/jam ( $2 < d < 125$  mRem/jam); sedangkan menurut desain paparan radiasi perkiraan sebesar 5–10 mRem/jam<sup>1/1</sup>. Dalam survei dan pengukuran paparan radiasi yang dilakukan secara rutin dalam kondisi reaktor beroperasi pada daya 15 MW tersebut ditemukan beberapa penyimpangan paparan radiasi pada beberapa titik lokasi di sekitar pesawat penukar bahang di ruang sel primer.

Untuk meyakinkan penyimpangan ini perlu dilakukan penelitian dan melalui kegiatan tersebut diharapkan dapat memberi masukan data yang kredibel dalam evaluasi kondisi kerja radiasi di PRSG. Selanjutnya spesifikasi ruangan dapat dilakukan mengikuti PP Keselamatan kerja radiasi baru yang diterbitkan tahun 1993.

## METODOLOGI DAN TATA KERJA

Evaluasi paparan radiasi ini dilakukan dengan mengukur langsung paparan radiasi pada beberapa titik pengukuran di sekitar pesawat penukar bahang. Selain itu dilakukan perhitungan teoritis besarnya paparan radiasi pada titik ukur di sekitar pesawat penukar bahang tersebut untuk kondisi operasi berdasar titik pelemahan kernel dengan geometri ekuivalen sumber radiasi garis. Untuk masukan dalam mengevaluasi faktor dan parameter yang mempengaruhi penyimpangan paparan radiasi dilakukan pula pemeriksaan visual terhadap peralatan dan pemeriksaan kualitas air pendingin.

Pemeriksaan visual peralatan dilakukan dengan meneliti kemungkinan

adanya anomali yang menyebabkan kenaikan paparan radiasi, sedang pemeriksaan kualitas air untuk mengetahui macam nuklida yang menjadi sumber radiasi dalam air primer. Disamping itu dilakukan pengamatan data paparan radiasi secara kontinyu dari alat pantau radiasi terpasang di sel primer (UJA04 CR002) untuk menguji pengaruh penyimpangan paparan radiasi akibat adanya udara dalam tangki tunda yang terdeteksi dalam operasi reaktor daya tinggi. Dengan mengamati hasil ukur, hasil perhitungan, pengamatan data operasi secara kontinyu, dan hasil pemeriksaan peralatan diharapkan dapat diketahui nilai/harga paparan radiasi berikut penyebab penyimpangan harga paparan di sekitar pesawat penukar bahang.

### *Pengamatan kondisi peralatan*

Pengamatan kondisi peralatan dilakukan secara visual di lapangan dengan mengamati kondisi fisik pesawat penukar bahang khususnya pengamatan pada sambungan *gasket* dan *flens* yang memungkinkan adanya rembesan air pendingin sehingga menaikkan paparan radiasi. Selain itu dilakukan pemeriksaan data perawatan rutin dan data perbaikan alat.

### *Pemeriksaan air pendingin.*

Pengamatan data kualitas air dimaksudkan untuk mengetahui macam dan harga konsentrasi nuklida dalam air yang memberikan sumbangan pada harga paparan radiasi. Pengamatan data kualitas air pendingin dilakukan dengan mengambil data dari SAR reaktor dan data hasil pengukuran sampel dengan melakukan analisa kualitatif dan kuantitatif menggunakan peralatan spektrometer gamma. Dari data kualitas air diperoleh data fisis dan data nuklida

aktif yang memberikan sumbangan sebagai sumber radiasi.

### *Survei paparan radiasi*

Pengukuran paparan radiasi dilakukan pada 10 titik pengukuran yang telah ditentukan di sekitar pesawat penakar bahang dengan kondisi reaktor beroperasi pada daya 15 MW dengan menggunakan alat ukur paparan radiasi surveimeter gamma portabel Babyline 81. Lokasi titik pengukuran ditunjukkan dalam sketsa gambar ruang pada Gambar 2.

### *Pengamatan paparan radiasi secara kontinyu*

Pengamatan data paparan secara kontinyu diperoleh dari hasil ukur peralatan terpasang UJA04 CR002 pada berbagai kondisi operasi reaktor. Untuk menyelidiki penurunan waktu transport pendingin yang berpengaruh terhadap nilai paparan karena adanya peningkatan kandungan udara dalam tangki tunda dilakukan pengamatan data UJA04 CR002 untuk kondisi awal dan akhir siklus operasi reaktor.

### *Perhitungan teoritis paparan radiasi*

Perhitungan teoritis paparan radiasi dilakukan berdasar teori pelemahan titik kernel untuk kondisi reaktor beroperasi pada daya 15 MW dengan mempertimbangkan pengaruh adanya udara dalam tangki tunda. Data yang digunakan dalam perhitungan teoritis diambil dari besaran desain, data SAR dan data operasi. Data operasi reaktor pada daya 15 MW untuk debit aliran primer dan perubahan level air kolam dan data penakar bahang disajikan dalam Tabel 4. Metoda, batasan dan cara perhitungan teoritis yang dilakukan untuk menentukan paparan radiasi

dalam sel primer adalah sebagai berikut:

### *Sumber radiasi*

Sebagai sumber radiasi dalam ruang sel primer adalah nuklida aktif yang terkandung dalam air pendingin primer dalam pipa primer dan pesawat penakar bahang. Besarnya aktivitas sumber terutama berasal dari konsentrasi nuklida  $^{16}\text{N}$  yang terkandung dalam air pendingin primer dalam pipa dan pesawat penakar bahang. Pemilihan nuklida  $^{16}\text{N}$  didasarkan pada tingginya konsentrasi nuklida ini dalam air primer dibanding dengan nuklida lain yang terbentuk dalam air.

Harga konsentrasi  $^{16}\text{N}$  dalam air pendingin primer ditetapkan berdasar data SAR dan data perhitungan peluruhan setelah menempuh jarak dan waktu tertentu dalam pipa. Berdasar hasil perhitungan harga konsentrasi  $^{16}\text{N}$  untuk air primer pada awal masuk ruang sel primer untuk daya 15 MW adalah  $1,878 \text{ Ci/m}^3$  dan meluruh sampai sekitar  $0,5 \text{ Ci/m}^3$  di sekitar pesawat penakar bahang<sup>[2], [7]</sup>. Fluks neutron reaktor yang digunakan dalam perhitungan konsentrasi dan reaksi pembentukan  $^{16}\text{N}$  adalah fluks neutron cepat untuk operasi reaktor 15 MW yang diperkirakan sekitar  $5,10^{13} \text{ n/cm}^2 \text{ detik}^{[2], [7]}$

Untuk perhitungan paparan, sumber radiasi dari air primer dalam pipa dan pesawat penakar bahang dianggap terpusat sebagai sumber garis.

### *Rumus dasar perhitungan*

Dasar teori yang digunakan adalah perhitungan paparan radiasi dari model sumber radiasi garis yang ditimbulkan

oleh aktivitas air primer dalam segmen pipa. Laju dosis serapan radiasi gamma untuk udara di titik peninjauan P dengan sumber garis seperti yang

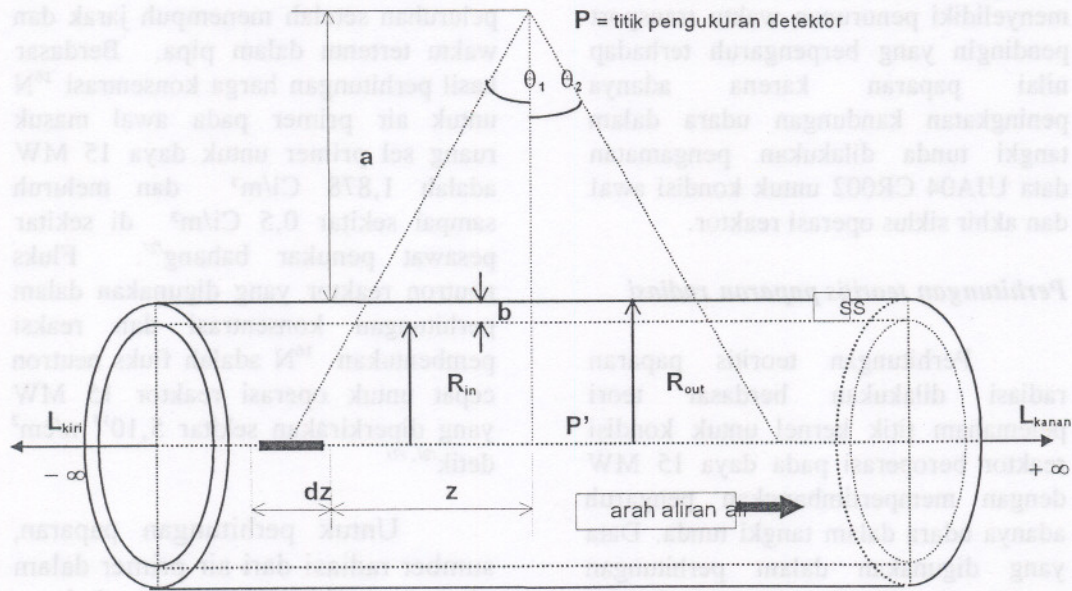
dilukiskan pada Gambar 1 secara pendekatan dihitung dengan rumus (1) sebagai berikut

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

**Keterangan**

- $\Phi_{\gamma} \equiv$  fluks foton gamma di titik pengukuran/peninjauan (P),  $|\gamma|/(cm^2 \cdot detik)$
- $I_{\gamma} \equiv$  Intensitas mutlak foton gamma karakteristik,  $|\frac{100\%}{P_{udara}}|$   
 $\equiv$  rapat massa udara pada suhu t dan tekanan p,  $|\frac{gram}{cm^3}|$
- $\mu_{abs, udara}(E_{\gamma})/\rho_{udara}$  koefisien pengendapan tenaga oleh masa udara,  $|\frac{cm^2}{gram}|$  sebagai fungsi

- dari tenaga foton gamma  $E_{\gamma}$ ,  $|\frac{MeV}{|}$ ;
- a, b, dan  $R_{in}$  berturut-turut : jarak titik P dari permukaan pipa, tebal pipa, jejari dalam pipa,  $|\frac{cm}{|}$ ,
- $S_V =$  adalah konsentrasi radioaktivitas,  $|\frac{Bq}{cm^3}|$ .
- $A_1, A_2, A_3, A_4, K_1, K_1, K_1,$  dan  $K_1$  adalah parameter-parameter pelemahan yang ada kaitannya dengan tetapan Taylor (tanpa dimensi)



Gambar 1. Model sumber garis untuk perhitungan paparan radiasi

Sedangkan rumusan untuk harga fluks foton gama seperti dalam rumus (2) adalah :

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

Harga paparan radiasi total untuk satu titik tinjauan merupakan jumlahan dari sumbangan paparan radiasi segmen-segmen pipa dan pesawat penukar bahang yang selanjutnya diselesaikan melalui program komputer perhitungan paparan radiasi.

#### *Program perhitungan paparan radiasi*

Paket program yang digunakan untuk perhitungan paparan radiasi adalah paket program menggunakan bahasa Watfor 77 dengan mengambil (adopsi) paket program penyelesaian faktor bangkit oleh Taylor yang telah selesai disusun dan bisa digunakan untuk perhitungan paparan radiasi berdasar rumusan sumber garis.<sup>13)</sup> Dalam paket program ini diperlukan masukan (input) berupa : data lokasi titik tinjauan, data geometri dan bahan yang digunakan dalam pemipaan, data debit air pendingin selama operasi reaktor, data fluks untuk neutron cepat, serta data yang berkaitan dengan reaksi yang menghasilkan partikel <sup>16</sup>N. Sedangkan luaran (output) yang dihasilkan adalah harga paparan radiasi teoritis total untuk setiap titik posisi yang diperhatikan.

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pengamatan kondisi peralatan

Dari pengamatan secara visual di lapangan yang dilakukan pada

pesawat penukar bahang JE01-BC01 dan JE01-BC02 dan sistem pemipanya diketahui bahwa peralatan dalam kondisi baik, gasket dan flens masih baik dan tidak ditemukan adanya anomali. Pemeriksaan perawatan preventive/ inspeksi rutin telah dilakukan sesuai jadwal perawatan yaitu dalam interval 6 bulan, meliputi pemeriksaan sambungan gasket dan uji fungsi suhu serta tekanan pada pendingin reaktor. Sedangkan kegiatan perbaikan dan modifikasi pada alat belum pernah dilakukan karena belum pernah terjadi kerusakan yang besar. Hasil pengamatan pada data operasi juga menunjukkan bahwa peralatan mampu bekerja sesuai persyaratan yang ditetapkan dan kinerja alat cukup baik.

#### *Pemeriksaan kualitas air pendingin*

Data kualitas air pada kondisi operasi yang berupa data fisis dan data nuklida diambil dari hasil pengukuran dari data operasi. Data ini disajikan secara bersama dengan data kualitas air dari data SAR-RSG GAS (dengan sebagian nuklida yang terkandung di dalamnya) dalam Tabel 1<sup>14), 15)</sup>.

#### *Hasil/ data pengukuran paparan radiasi*

Data pengukuran paparan radiasi ditunjukkan dengan titik koordinat dan lokasi seperti ditunjukkan pada Gambar 2 dan Tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 1. Data kualitas air pendingin primer

Besaran fisis/ nuklida		Pengukuran	SAR
pH (minimum)		6	5.2
Konduktivitas listrik		7 (mS/cm)	8 (mS/cm)
Radionuklida	Umur Paroh ( $T_{1/2}$ )	Konsentrasi (Ci/m <sup>3</sup> )	Konsentrasi (Ci/m <sup>3</sup> )
Mn-56)	2,8 jam	$1,201 \times 10^{-5} \pm 1,60 \cdot 10^{-6}$	$3,9 \times 10^{-5}$
Ce-141	32,5 jam	$0,953 \times 10^{-5} \pm 1,40 \cdot 10^{-6}$	$2,1 \times 10^{-5}$
Te-132	78,2 jam	$7,30 \cdot 10^{-7} \pm 4,30 \cdot 10^{-8}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$
Na-24	15 jam	$1,40 \cdot 10^{-7} \pm 2,10 \cdot 10^{-8}$	$2,4 \times 10^{-3}$
Xe-135	9,09 jam	$2,60 \cdot 10^{-6} \pm 8,90 \cdot 10^{-8}$	-
Sb-124	60,20 hari	$1,06 \cdot 10^{-5} \pm 1,60 \cdot 10^{-6}$	-

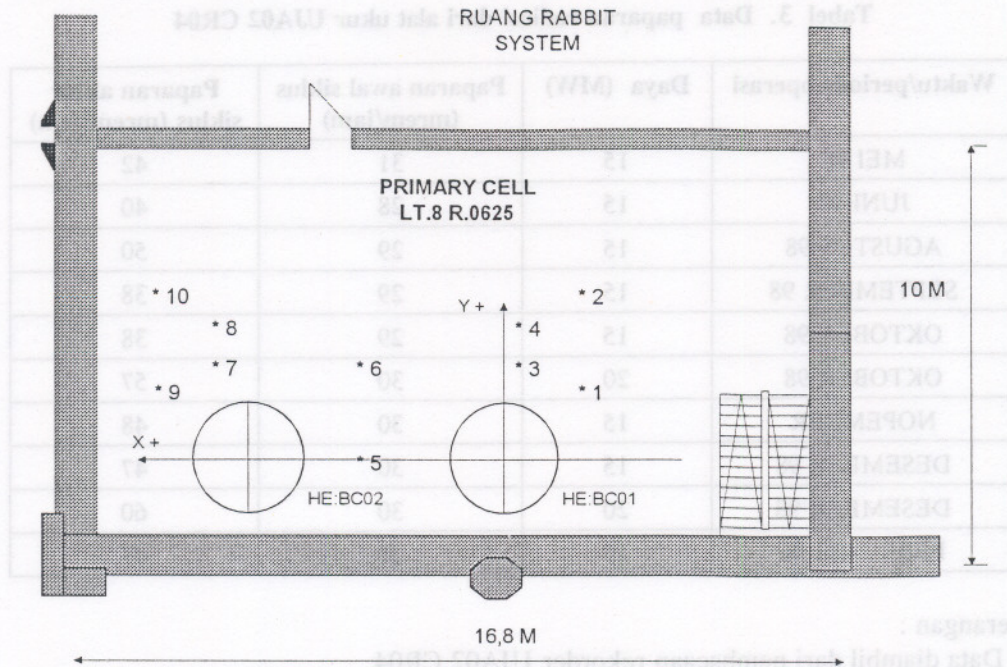
Tabel 2 : Hasil pengukuran paparan radiasi, daya 15 MW.

Titik ukur	Koordinat bidang datar (meter)		Paparan radiasi (mR/jam)
	X	Y	
1	-1,65	1	$31 \pm 2$
2	-1,65	3	$40 \pm 2$
3	0	1,5	$16 \pm 2$
4	0	2,5	$13,5 \pm 2$
5	3,7	0	$15,5 \pm 2$
6	3,7	1,5	$12 \pm 2$
7	7,4	1,5	$15 \pm 2$
8	7,4	2,5	$14,6 \pm 2$
9	8,05	1	$2,3 \pm 0,2$
10	8,05	3	$3,4 \pm 0,2$

## Keterangan

- Pengukuran dilakukan pada ketinggian 1,5 m dari *grade* besi pada pesawat penukar bahang (*Heat Exchanger*) untuk 10 titik ukur.
- Lokasi titik pengukuran ditentukan dengan koordinat bidang datar,

dengan titik pusat koordinat pada pusat penampang lintang HE JE01-BC01 dengan *grade* besi, sumbu datar (X-pos) menuju pusat HE JE01- BC02, sumbu tegak (Y-pos.) seperti dalam Gambar 2.



Gambar 2 : Lokasi titik ukur pada penampang lintang ruang sel primer lantai-8m dengan grade besi pada pesawat penukar bahang

Keterangan :

Lokasi titik ukur 1 s/d 10 pada gambar mengikuti koordinat seperti pada Tabel 2.

### Hasil perhitungan

Perhitungan paparan radiasi dilakukan pada kondisi reaktor beroperasi dengan daya 15 MW untuk satu titik lokasi pada jarak 3.7 m dengan ketinggian 1.5 m dari grade besi di penukar bahang seperti ditunjukkan pada titik ukur No. 5 pada Tabel 2 dan Gambar 2. Data masukan diambil dari data operasi, perhitungan dilakukan untuk dua macam kondisi yaitu kondisi ideal tanpa adanya udara dalam tangki tunda dan kondisi operasi dengan mempertimbangkan adanya udara dalam tangki tunda. Untuk kondisi ideal (tanpa mempertimbangkan udara dalam tangki tunda dihitung dengan waktu tunda dalam tangki tunda menurut SAR yaitu 45 detik) hasil perhitungan paparan radiasi pada titik tersebut adalah : 6,2 mRem/jam.

Sedangkan untuk kondisi operasi, perhitungan dilakukan dengan memperhitungkan volume udara dalam tangki tunda sebesar 20 m<sup>3</sup> yang ditentukan dari kenaikan level air kolam reaktor sekitar 0,15 m dan menyebabkan waktu tunda di tangki tunda turun menjadi 33,25 detik<sup>15/</sup>. Kondisi ini menyebabkan kenaikan konsentrasi nuklida aktif (<sup>16</sup>N) yang lolos ke ruang sel primer dan harga paparan radiasi naik. Hasil perhitungan untuk kondisi operasi ini adalah : 16,23 mRem/jam.

### Hasil pengamatan data secara kontinyu

Hasil pengamatan paparan radiasi pada berbagai kondisi operasi reaktor dari alat ukur terpasang UJA04 CR02 disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Data paparan radiasi dari alat ukur UJA02 CR04

Waktu/periode operasi	Daya (MW)	Paparan awal siklus (mrem/jam)	Paparan akhir siklus (mrem/jam)
MEI 98	15	31	42
JUNI 98	15	28	40
AGUSTUS 98	15	29	50
SEPTEMBER 98	15	29	38
OKTOBER 98	15	29	38
OKTOBER 98	20	30	57
NOPEMBER	15	30	48
DESEMBER 98	15	30	47
DESEMBER 98	20	30	60
PEBRUARI 99	15	28	47

Keterangan :

- Data diambil dari pembacaan rekorder UJA02 CR04.
- Data volume udara dalam tangki tunda selama operasi teramati dengan perubahan ketinggian/ level air kolam reaktor sekitar 0,15 m, berdasar data operasi reaktor

Tabel 4. Data operasi reaktor 15 MW dan data desain "Heat Exchanger" <sup>16/</sup>

Deskripsi	Harga
Daya reaktor	15 MW
Debit aliran primer (JE01-AP01 dan AP02), m <sup>3</sup> /jam	3200
Kontrol Level , m	12,3
Fluks reaktor , n/cm <sup>2</sup> detik	2,05x10 <sup>14</sup>
<u>Data Heat Exchanger :</u>	
Volume total Heat Exchanger , cm <sup>2</sup>	13022
Volume total air primer , cm <sup>2</sup>	620
Waktu tunda air primer di Heat Exchanger, detik	5,08
Konsentrasi rata-rata N <sup>16</sup> di JE01-BC01 (Ci/m <sup>3</sup> )	0,603
Konsentrasi rata-rata N <sup>16</sup> di JE01-BC02 (Ci/m <sup>3</sup> )	0,504



### Pembahasan

Dari hasil pemeriksaan secara visual dilapangan dan hasil pengamatan data perawatan serta perbaikan untuk pesawat penukar bahang dan sistem pemipaan dapat dikatakan bahwa peralatan dalam kondisi baik dan tidak ditemukan penyimpangan yang memberikan sumbangan untuk kenaikan paparan radiasi.

Dari data pemeriksaan kualitas air pendingin primer seperti disajikan dalam Tabel 1 diperoleh data nuklida dan data fisis yang mendekati hasil data SAR. Berdasar hasil ini dapat dinyatakan bahwa konsentrasi berbagai nuklida berkisar pada  $10^{-5}$  Ci/m<sup>3</sup> yang nilainya jauh lebih kecil dibandingkan konsentrasi <sup>16</sup>N di ruang sel primer yang berkisar antara 0,5-2 Ci/m<sup>3</sup>. Dari data ini dapat diketahui bahwa sumbangan paparan dari nuklida diluar <sup>16</sup>N kecil karena harga paparan bergantung pada konsentrasi disamping energi dan *yield* dari nuklida.

Dari pengamatan data secara kontinyu pada rekorder UJA04 CR002 untuk siklus awal dan siklus akhir tiap operasi diketahui adanya kenaikan paparan secara transient menuju titik maksimum atau keseimbangan seperti ditunjukkan dalam Tabel 3. Kenaikan paparan ini diikuti dengan adanya udara dalam tangki tunda yang teramati dengan kenaikan level air kolam reaktor pada

waktu operasi. Dari data pengamatan ini terlihat kenaikan paparan radiasi disebabkan oleh udara dalam tangki tunda yang mempercepat waktu tunda dalam tangki tunda sehingga memperbesar konsentrasi nuklida di ruang sel primer.

Hasil perhitungan dari program untuk kondisi operasi 15 MW pada titik 3,7 m dari JE01 BC01 dengan ketinggian 1,5 m di atas grade sebesar 16,23 mRem/jam, cukup dekat dengan hasil pengukuran yaitu 15,5 mRem/jam

### KESIMPULAN

Berdasar hasil pengukuran, pengamatan dan perhitungan dalam evaluasi ini disimpulkan paparan radiasi di beberapa titik di sekitar pesawat penukar bahang berkisar antara 3,4-40 mRem/jam. Harga paparan ini lebih tinggi dari harga perkiraan menurut SAR yaitu 5-10 mRem/jam. Hasil perhitungan dari program untuk kondisi operasi 15 MW pada titik 3,7 m dari JE01 BC01 dengan ketinggian 1,5 m diatas grade sebesar 16,23 mRem/jam cukup dekat dengan hasil pengukuran yaitu 15,5 mRem/jam. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa nilai perkiraan paparan menurut SAR adalah lebih rendah dari pada hasil evaluasi kondisi bekerja saat ini, yang mungkin disebabkan oleh ketidaksesuaian pengambilan asumsi dengan kenyataan yang digunakan dalam perhitungannya.

### DAFTAR PUSTAKA

1. Tim Penyusun LAK RSG-GAS, "Safety Analysis Report of Multipurpose Research Reactor", 7<sup>th</sup> edition, (September 1986), Chapter 6, 12, etc.
2. PUDJIJANTO MS., "Penentuan Paparan Radiasi di permukaan Pipa Inlet aliran pendingin primer RSG-GAS", Seminar Hasil Penelitian di PRSG, 20-21 Mei 1996
3. JAMES WOOD, Dept. of Nuclear Engineering, Quen Mary College, Univ. of London, United of Kingdom, "Computational Methods in Reactor Shielding", 1<sup>st</sup> edition,

4. DYAH ERLINA LESTARI, "Studi awal radionuklida hasil korosi pada air pendingin primer RSG-GAS", Buletin Iptek Reaktor Nuklir Volume 7, Nomor 1, Maret 1998
5. HAJIMU SHITOMI, "STA Expert Report in MPR 30", 1996
6. Anonim, "System Description of Heat Exchanger" Interatom GmbH 1977
7. LIEM PENG HONG, Pok Neutronik, Bid. Fisika Reaktor, PRSG-Batan, "Fluks neutron Teras Kerja Tipikal RSG-GAS 30 MW(th) empat kelompok dua dimensi (Maret 1996),

## DISKUSI

### Pertanyaan (Subiharto) :

1. Dari kesimpulan tertulis, penyebab kenaikan paparan radiasi di sekitar HE disebabkan karena udara yang terperangkap semetara data yang diperoleh dari pengukuran dan sampel ai, mohon penjelasan !!

### Jawaban (Ir. Bandriyana) :

Pengaruh udara yang terperangkap dalam tangki tunda terhadap kenaikan paparan radiasi disimpulkan dari pengamatan UJA 04 CR 002 yang menunjukkan awal dan akhir siklus ada kenaikan dimana awal siklus belum ada udara yang terperangkap. Data pengukuran diambil dilapangan dengan surveymeter portabel dengan hasil seperti tabel. Data sampel air diambil dari data pengukuran sampel air primer dengan pengolahan spektrometrigamma untuk evaluasi konsentrasi nuklida yang terkandung.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Tim Penyusun LAK RSG-GAS, "Safety Analysis Report of Multipurpose Research Reactor", 7<sup>th</sup> edition (September 1986), Chapter 6, 12, etc.
2. PUDIANTO M.S., "Tercermin Paparan Radiasi di permukaan Pipa Inti silang pendingin primer RSG-GAS", Seminar Hasil Penelitian di PRSG, 30-31 Mei 1996
3. JAMES WOOD, Dept. of Nuclear Engineering, Queen Mary College, Univ. of London, United Kingdom, "Compositional Methods in Reactor Shielding", 1<sup>st</sup> edition.