

## STUDI PENAMBAHAN PERISAI RADIASI DI KANAL HUBUNG S-5 UNTUK MENGURANGI PAPARAN LINGKUNGAN

Herry Mugirahardjo<sup>1</sup>, Sairun<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju  
Badan Tenaga Nuklir Nasional, Serpong, Banten 15314  
herry@batan.go.id

**ABSTRAK** – Telah dilakukan studi rencana penambahan perisai radiasi di atap kanal hubung S-5 dengan menggunakan bahan utama air. Tujuan penambahan perisai radiasi untuk mengurangi paparan pada atap kanal hubung S-5 agar pekerja radiasi tidak berpotensi menerima dosis radiasi melebihi Nilai Batas Dosis (NBD) yang diijinkan oleh BAPETEN, yaitu 20 mSv/tahun. Studi penambahan perisai radiasi dilakukan dengan membuat sebuah kolam pengukuran yang berukuran  $8000_{(p)} \times 2400_{(l)} \times 300_{(t)}$  mm<sup>3</sup>. Di dalam kolam ditentukan 9 titik pengukuran yang berjarak 1 meter. Pengukuran paparan radiasi, baik neutron maupun sinar- $\gamma$ , pada titik pengukuran dilakukan pada saat reactor beroperasi normal (15 MW), main shutter dan lithium shutter terbuka, dalam kondisi kolam belum diisi air, diisi air sedalam 15 cm dan 30 cm. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pada kedalaman air 30 cm paparan radiasi pada titik terdekat dengan sumber menurun dari 101,57  $\mu$ Sv/jam menjadi 1,09  $\mu$ Sv/jam untuk neutron dan 13,7  $\mu$ Sv/jam menjadi 3,95  $\mu$ Sv/jam untuk sinar  $\gamma$ . Paparan rad ini sudah tidak berpotensi menyebabkan pekerja radiasi mempunyai dosis melebihi NBD yang diijinkan oleh BAPETEN. Dari data pengukuran juga diperoleh data bahwa air sangat efektif untuk meredam radiasi neutron, tetapi kurang efektif untuk meredam radiasi sinar- $\gamma$ . Dari hasil studi rencana ini, akan dibuat perencanaan pembuatan perisai radiasi di atap kanal hubung S-5.

**Kata kunci:** perisai radiasi kanal hubung S-5, laju dosis S-5, paparan radiasi atap kanal hubung S-5

**ABSTRACT** – A study has been conducted for the addition of radiation shield on the roof of the S-5 canal using the main water material. The purpose of the adding a radiation shield is to reduce exposure to the S-5 canal roof so that radiation workers do not potentially receive radiation doses exceeding the Dose Limit (NBD) permitted by BAPETEN, ie 20 mSv/year. The study of the radiation shields additions was made by making a measuring pool with dimension 8000 X 2400 X 300 mm. Inside the pool is determined nine measurement point within 1 meter. Measurements of radiation exposure, both neutrons and  $\gamma$ -rays, at the point of measurement are performed when the reactor operates normally (15 MW), the main shutter and open lithium shutter, in the condition the pool is not filled with water, filled with water as deep as 15 cm and 30 cm. The measurements showed that at a water depth of 30 cm the radiation exposure at the nearest point with the source decreased from 101.57  $\mu$ Sv/h to 1.09  $\mu$ Sv / h for neutrons and 13.7  $\mu$ Sv / hr to 3.95  $\mu$ Sv / h for  $\gamma$  rays. This radiation exposure has no potential to cause radiation workers to have a dose exceeding the NBD permitted by BAPETEN. From the measurement data also obtained data that water is very effective to reduce the radiation of neutrons, but less effective to reduce  $\gamma$ -ray radiation. From the results of this study, will be made planning of radiation shielding on the roof of the S-5 canal.

**Keywords:** radiation shield S-5 canal, S-5 dose rate, radiation exposure of S-5 canal roof

## I. PENDAHULUAN

Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju (PSTBM) memiliki tiga buah spektrometer neutron dan satu buah Radiografi Neutron yang digunakan untuk analisis struktur material dengan teknologi hamburan neutron. Peralatan-peralatan tersebut diletakkan di *Experimental Hall Reaktor (XHR)* Gedung 30 milik Pusat Reaktor Serba Guna (PRSG) dan di *Neutron Guide Hall (NGH)* Gedung 40 milik PSTBM. Sumber neutron termal yang digunakan berasal dari teras reaktor pada shutter 5 (S-5) yang dialirkan ke NGH melalui dua buah *Neutron Guide Tube (NGT-1 dan NGT-2)* yang masing-masing mempunyai panjang 70 meter dan 52.5 meter [1,2]. NGT-1 dan NGT-2 dilengkapi dengan penutup berkas utama (*main shutter*) dan penutup berkas pada masing-masing NGT (*lithium shutter*).

Kanal hubung S-5 adalah sebuah terowongan penghubung Gedung 30 dan Gedung 40 yang terpisah dengan jarak 34 meter, selain untuk melindungi NGT-1 dan NGT-2 dari cuaca luar, kanal hubung S-5 juga berfungsi sebagai perisai radiasi untuk menahan radiasi yang timbul dari aliran neutron termal pada NGT-1 dan NGT-2. Atap kanal hubung S-5 difasilitasi dengan tangga penyeberangan untuk mobilisasi pekerja radiasi. Paparan pada atap kanal hubung S-5 pada jarak terdekat dengan dinding Gedung 40 terukur lebih besar dari 100  $\mu\text{Sv/jam}$  yang berpotensi menyebabkan pekerja radiasi mempunyai Nilai Batas Dosis (NBD) melebihi batas yang diijinkan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN), yaitu 20 mSv/tahun [3].

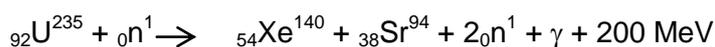
Neutron dan sinar- $\gamma$  merupakan jenis radiasi yang sangat berbahaya karena mempunyai jangkauan yang panjang dan mampu mengionisasi bahan yang dilaluinya melalui ionisasi sekunder. Radiasi pengion dapat menimbulkan efek biologi jika berinteraksi dengan manusia. Akibat interaksi tersebut, sel-sel dapat mengalami perubahan struktur dari struktur normal semula yang dapat mengganggu kesehatan manusia [4]. Dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir, BAB III menyebutkan bahwa pemegang ijin pemanfaatan tenaga nuklir wajib menerapkan persyaratan Proteksi Radiasi dalam pemanfaatan tenaga nuklir meliputi: justifikasi (asas manfaat), penerapan Nilai Batas Dosis (limitasi) dan optimasi Proteksi dan Keselamatan Radiasi [4,5]. Oleh karena itu PSTBM sebagai pengelola pemanfaatan tenaga nuklir untuk pengembangan bahan maju, wajib mengusahakan bangunan yang mampu menahan radiasi pengion yang ditimbulkan oleh instalasi nuklir yang dimiliki. Paparan pada atap kanal hubung S-5 dinilai masih relatif tinggi dan berpotensi menyebabkan pekerja radiasi

mempunyai NBD lebih dari yang diijinkan, sehingga perlu dikurangi menjadi serendah-rendahnya.

Untuk mengurangi paparan lingkungan pada atap kanal hubung S-5 menjadi serendah-rendahnya harus dilakukan penambahan perisai radiasi di atap kanal hubung S-5. Kegiatan penambahan perisai radiasi di kanal hubung S-5 sepanjang 34 meter merupakan kegiatan dengan biaya besar dengan alokasi waktu yang lama, sehingga perlu perencanaan yang matang agar kegiatan ini efektif dan optimal. Pada makalah ini akan diuraikan tentang studi rencana penambahan perisai radiasi di kanal hubung S-5.

## II. TEORI

Ada beberapa tipe reaktor nuklir berdasarkan reaksi inti yang dipakai. Reaktor yang berdasarkan proses fisi menghasilkan reaksi berantai di dalam reaktor. Sebagai bahan fisi biasa digunakan  ${}_{92}\text{U}^{235}$  atau  $\text{Pu}^{239}$ . Dengan bahan  ${}_{92}\text{U}^{235}$  reaksi fisi berlangsung sebagai berikut:



Dalam setiap proses fisi menghasilkan 2 atau lebih neutron baru, maka reaksi fisi ini akan berlangsung terus menjadi reaksi berantai [3]. Neutron dan sinar- $\gamma$  menjadi radiasi pengion yang berbahaya bagi manusia.

Ada tiga faktor yang dapat mengurangi laju dosis pekerja radiasi, yaitu [6]:

### 1. Faktor Waktu

Laju dosis radiasi pekerja radiasi dapat dikurangi dengan mempercepat atau membatasi waktu pekerja radiasi di daerah radiasi. Laju dosis radiasi dapat dianggap sebagai hubungan intensitas radiasi terhadap waktu. Jika  $I_1$ ,  $I_0$  dan  $t$  berturut-turut adalah intensitas radiasi yang diterima oleh seseorang, intensitas radiasi mula-mula dan waktu penyinaran, maka dosis yang diterima oleh seseorang dapat dihitung dengan persamaan :

$$I_1 = I_0 \times t \quad (1)$$

Faktor waktu ini dapat digunakan untuk kepentingan pengawasan paparan lingkungan dan memegang peranan penting dalam hal terjadi kecelakaan atau keadaan darurat didalam medan radiasi yang kuat.

### 2. Faktor Jarak

Salah satu cara yang dapat digunakan dalam mengurangi dosis radiasi adalah menjaga jarak dengan sumber radiasi. Bila intensitas sumber radiasi dibandingkan jarak adalah

kecil, sehingga hingga sumber radiasi bisa dianggap titik sumber radiasi, maka intensitas radiasi berbanding terbalik dengan kwadrat jarak terhadap sumber.

Bila berturut-turut  $I_r$ ,  $K$  dan  $r$  adalah intensitas radiasi pada radius  $r$  dan  $K$  adalah konstanta yang tergantung sumber, maka dapat ditulis:

$$I_r = K \times \frac{1}{r^2} \quad (2)$$

Sehingga :

$$I_r \times r^2 = K$$

Atau dapat ditulis:

$$I_{r1} \times r_1^2 = I_{r2} \times r_2^2 = I_{r3} \times r_3^2 = \dots = K$$

### 3. Faktor Perisai Radiasi

Cara lain yang efektif untuk mengurangi paparan lingkungan adalah menghalangi sumber radiasi dengan bahan perisai radiasi. Cara ini sangat efektif karena sifatnya yang permanen. Orang atau Pekerja Radiasi dapat bekerja didekat sumber radiasi tidak tergantung waktu dan jarak. Proses pelemahan radiasi neutron, sinar-X dan sinar- $\gamma$  bersifat eksponensial. Bila berturut-turut  $I_t$ ,  $I_0$ ,  $\mu$  dan  $t$  adalah intensitas radiasi setelah melewati perisai radiasi, intensitas mula-mula, koefisien atenuasi sumber radiasi dan tebal bahan, maka persamaan intensitas radiasi setelah melewati perisai radiasi adalah sebagai berikut:

$$I_t = I_0 \times e^{-\mu t} \quad (3)$$

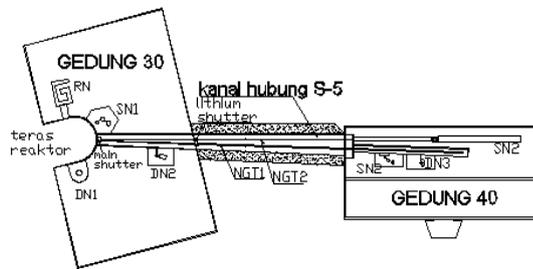
Dari persamaan (3), jika persentasi Daya Serap (DS) adalah selisih radiasi tanpa perisai radiasi ( $I_0$ ) dan radiasi yang dipancarkan melalui penyerap dengan ketebalan  $t$ , maka:

$$DS = \left( \frac{I_0 - I}{I_0} \right) \times 100\% \quad (4)$$

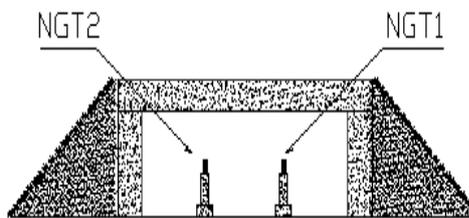
### III. METODOLOGI

NBD adalah dosis terbesar yang diijinkan oleh BAPETEN yang diterima oleh anggota masyarakat atau pekerja radiasi dalam jangka waktu tertentu tanpa memberi efek genetik maupun somatik yang berarti akibat pemanfaatan tenaga nuklir. Instansi yang memanfaatkan tenaga nuklir wajib mengusahakan bangunan atau gedung yang di dalamnya terdapat instalasi nuklir dapat meredam radiasi yang ditimbulkan oleh instalasi nuklir, sehingga paparan lingkungan disekitar bangunan atau gedung

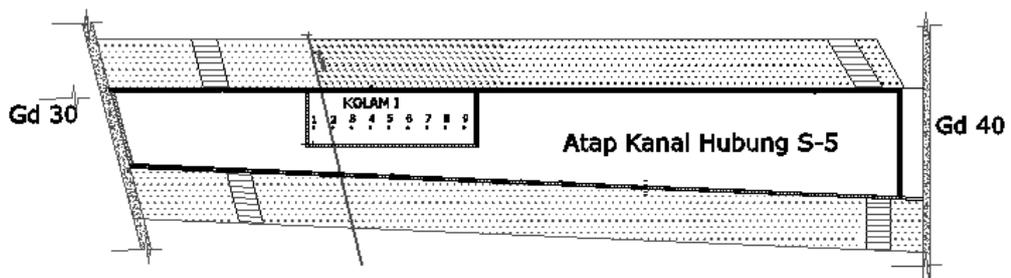
menjadi serendah-rendahnya. Pada Gambar 1 disajikan denah Gedung 30 (PRSG), kanal hubung S-5 dan Gedung 40 (PSTBM), serta Gambar 2 disajikan tampak lintang kanal hubung S-5.



Gambar 1. Denah Gedung 30, kanal hubung S-5 dan Gedung 40



Gambar 2. Tampak lintang kanal hubung S-5



Gambar 3. Denah dan titik-titik pengukuran pada kanal hubung S-5

Studi rencana penambahan perisai radiasi di kanal hubung S-5 dilakukan agar kegiatan penambahan perisai radiasi dapat berjalan optimal dengan simulasi penambahan perisai radiasi di atap kanal hubung S-5. Bahan radiasi yang akan digunakan untuk mengurangi paparan lingkungan di sekitar kanal hubung S-5 direncanakan menggunakan air dan beton. Dipilihnya air sebagai media penyerap neutron karena air mengandung

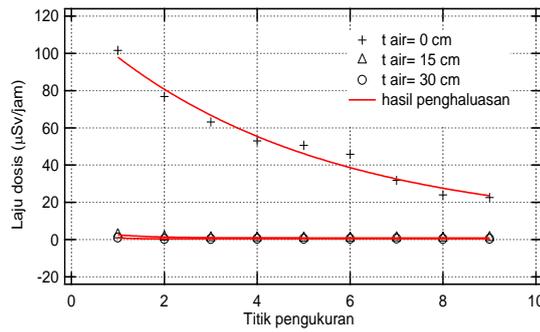
hidrogen yang sangat efektif meredam neutron. Beton yang akan digunakan, selain sebagai penutup permukaan juga digunakan untuk perisai radiasi neutron dan sinar- $\gamma$  yang timbul dari tumbukan antara neutron dan atom hydrogen pada air [7,8]. Pada Gambar 3 disajikan denah kolam pengujian dan titik pengukuran di atas kanal hubung S-5.

Metode yang digunakan dalam studi rencana ini adalah membuat kolam di atas kanal hubung dengan bahan beton berukuran  $8000_{(p)} \times 2400_{(l)} \times 300_{(t)} \text{ mm}^3$ . Di dalam kolam tersebut ditentukan titik-titik pengukuran yang jaraknya 1 meter. Dalam studi rencana penambahan perisai radiasi pada atap kanal hubung S-5, sebelum kolam diisi air, laju dosis pada titik pengukuran 1 sampai dengan 9 diukur dengan *surveymeter* neutron dan *surveymeter* gamma. Pengukuran dilakukan pada saat reaktor sedang beroperasi normal (15 MW), *main shutter* dan *lithium shutter* dalam keadaan terbuka. Untuk mengetahui pengaruh kedalaman air terhadap penurunan paparan serta mengetahui kedalaman air terbaik untuk menurunkan laju dosis di sekitar kanal hubung S-5, kolam diisi dengan air dengan kedalaman 150 mm dan 300 mm. Pada masing-masing kedalaman air tersebut diukur paparan radiasinya, baik neutron maupun sinar- $\gamma$ .

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Jarak titik pengukuran terdekat (titik pengukuran 1) dengan dinding reaktor adalah 8 meter, titik pengukuran selanjutnya berjarak 1 Meter. Air yang digunakan untuk mengisi kolam pengujian bersumber dari instalasi air bersih Puspipetek. Hasil pengukuran paparan di titik-titik pengukuran yang telah ditentukan dalam kondisi kolam tanpa air, kemudian diisi air sedalam 15 cm dan 30cm disajikan pada Tabel I. Pengukuran dilakukan pada saat reaktor beroperasi dengan daya 15 MW, *main shutter* dan *lithium shutter* dalam keadaan terbuka. Dari hasil pengukuran tersebut dapat dianalisis bahwa setelah kolam diisi dengan air, hasil pengukuran menunjukkan bahwa paparan neutron maupun sinar- $\gamma$  telah menunjukkan penurunan yang signifikan. Setelah diisi air baik pada kedalaman 15 cm maupun 30 cm.

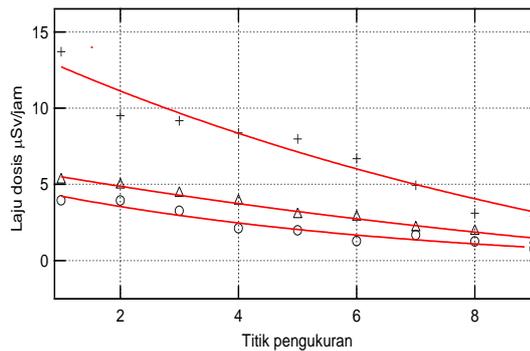
Pada Gambar 4 Gambar 5 disajikan kurva paparan neutron dan sinar- $\gamma$  di atas kanal hubung S-5 sebagai fungsi jarak (titik-titik pengukuran) dan Gambar 6 dan Gambar 7 disajikan kurva paparan neutron dan sinar- $\gamma$  sebagai fungsi kedalaman air. Dari kedua gambar tersebut dapat dijelaskan bahwa paparan pada titik-titik pengukuran menurun secara eksponensial, baik terhadap jarak maupun kedalaman air. Hal ini mirip dengan sifat persamaan (2) dan (3), artinya sumber radiasi utama berasal dari satu titik (tempat) yaitu dari lubang penetrasi pada dinding Gedung 30.



Gambar 4. Grafik penurunan laju dosis radiasi neutron pada titik-titik pengukuran

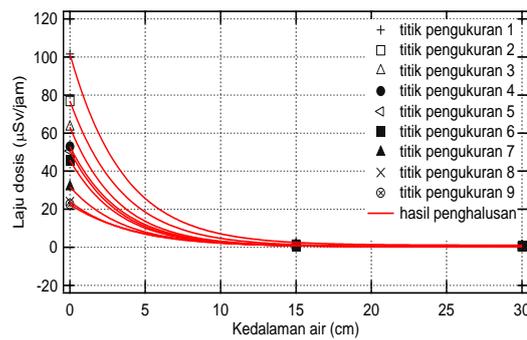
Tabel 1. Hasil pengukuran radiasi neutron dan sinar-γ pada atap kanal hubung S-5

Titik pengukuran	Jarak (Meter)	Tinggi air = 0 cm		Tinggi air = 15 cm		Tinggi air = 30 cm				
		Neutron	Gamma	Neutron	Gamma	Neutron	Gamma			
		(Cps)	(µSv/jam)	(Cps)	(µSv/jam)	(Cps)	(µSv/jam)			
1	8	185.00	101.57	13.7	4.63	2.54	5.30	1.99	1.09	3.95
2	9	140.00	76.86	9.5	2.55	1.40	4.96	0.71	0.39	3.93
3	10	115.00	63.14	9.18	1.79	0.98	4.41	0.71	0.39	3.26
4	11	96.50	52.98	8.38	1.76	0.97	3.90	0.79	0.43	2.12
5	12	92.20	50.62	7.98	1.62	0.89	3.02	0.79	0.43	1.98
6	13	83.50	45.84	6.69	1.53	0.84	2.86	0.73	0.40	1.28
7	14	57.90	31.79	4.93	1.70	0.93	2.16	0.91	0.50	1.67
8	15	43.70	23.99	3.11	1.61	0.88	1.92	0.69	0.38	1.25
9	16	41.10	22.56	2.91	1.92	1.05	1.35	0.76	0.42	0.77



Gambar 5. Grafik penurunan laju dosis radiasi sinar-γ pada titik-titik pengukuran

Apabila diasumsikan sumber berasal dari satu titik, nilai K, -y dan DS terhadap paparan neutron dan sinar-γ masing-masing dapat dihitung dengan persamaan (2), (3) dan (4) yang hasilnya disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3. Pada Tabel 2 dan Tabel 3, perhitungan nilai  $K_0$ ,  $K_{15\text{ cm}}$  dan  $K_{30\text{ cm}}$  serta nilai  $y$  berbeda pada masing-masing titik pengukuran.



Gambar 6. Kurva paparan radiasi neutron terhadap Kedalaman air pada titik pengukuran diatap kanal hubung S-5

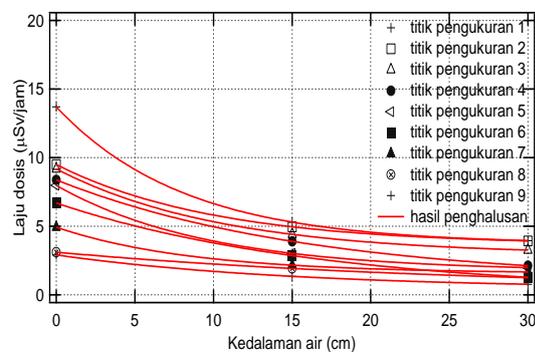
Hal ini menunjukkan bahwa sumber radiasi tidak hanya berasal dari lubang penetrasi Gedung 30, tetapi aliran neutron sepanjang NGT-1 dan NGT-2 juga menjadi sumber radiasi, hanya radiasi ini relative lebih kecil dibanding dengan radiasi pada lubang penetrasi Gedung 30. Dari Tabel 2 dan Tabel 3 Daya Serap terhadap neutron lebih tinggi dibanding terhadap sinar- $\gamma$ , yaitu antara 95,33% sampai dengan 99,49 % untuk neutron dan antara 47,49% sampai dengan 80,87% untuk sinar- $\gamma$ . Hal ini dapat dijelaskan bahwa neutron bertumbukan dengan inti atom bahan perisai radiasi seperti tumbukan pada bola bilyard (tumbukan elastik). Dalam tumbukan ini, neutron kehilangan sebagian besar energinya yang berpindah ke inti sasaran menjadi energi kinetik. Agar pelemahan energi neutron maksimal, bahan perisai radiasi sebaiknya menggunakan unsur ringan yang mempunyai massa sama seperti neutron, misalnya air dan parafin yang banyak mengandung hidrogen. Pada proses ini juga terjadi tumbukan in-elastik, dimana neutron memberikan sebagian energinya dan mengeksitasi inti sasaran, kemudian inti melepaskan energi eksitasi itu kembali dengan memancarkan sinar- $\gamma$  [9].

Tabel 2. Hasil perhitungan nilai konstanta dan serapan air terhadap neutron pada titik pengukuran di kanal hubung S-5

Titik	Jarak (r) (Meter)	$I_0$ ( $\mu$ Sv/jam)	$I_{15\text{ cm}}$ ( $\mu$ Sv/jam)	$I_{30\text{ cm}}$ ( $\mu$ Sv/jam)	$K_0$	$K_{15\text{ cm}}$	$K_{30\text{ cm}}$	$\psi_{15\text{ cm}}$ (1/cm)	$\psi_{30\text{ cm}}$ (1/cm)	$DS_{15\text{ cm}}$ (%)	$DS_{30\text{ cm}}$ (%)
1	8	101.57	2.54	1.09	4976.69	124.55	53.53	0.25	0.15	97.50	98.92
2	9	76.86	1.40	0.39	4919.04	89.60	24.95	0.27	0.18	98.18	99.49
3	10	63.14	0.98	0.39	5113.94	79.60	31.57	0.28	0.17	98.44	99.38
4	11	52.98	0.97	0.43	5297.85	96.62	43.37	0.27	0.16	98.18	99.18
5	12	50.62	0.89	0.43	6124.75	107.61	52.48	0.27	0.16	98.24	99.14
6	13	45.84	0.84	0.40	6601.18	120.96	57.71	0.27	0.16	98.17	99.13
7	14	31.79	0.93	0.50	5372.02	157.73	84.43	0.24	0.14	97.06	98.43
8	15	23.99	0.88	0.38	4702.29	173.24	74.25	0.22	0.14	96.32	98.42
9	16	22.56	1.05	0.42	5076.88	237.17	93.88	0.22	0.13	95.33	98.15

Tabel 3. Hasil perhitungan nilai konstanta dan serapan air terhadap sinar- $\gamma$  pada titik pengukuran di kanal hubung S-5

Titik	Jarak (r) (Meter)	$I_0$ ( $\mu\text{Sv/jam}$ )	$I_{15\text{ cm}}$ ( $\mu\text{Sv/jam}$ )	$I_{30\text{ cm}}$ ( $\mu\text{Sv/jam}$ )	$K_0$	$K_{15\text{ cm}}$	$K_{30\text{ cm}}$	$q_{15\text{ cm}}$ (1/cm)	$q_{15\text{ cm}}$ (1/cm)	$D_{s,5\text{ cm}}$ (%)	$D_{s,0\text{ cm}}$ (%)
1	8	13.70	5.30	3.95	671.30	259.70	193.55	0.06	0.04	61.31	71.17
2	9	9.50	4.96	3.93	608.00	317.44	251.52	0.04	0.03	47.79	58.63
3	10	9.18	4.41	3.26	743.58	357.21	264.06	0.05	0.03	51.96	64.49
4	11	8.38	3.90	2.12	838.00	390.00	212.00	0.05	0.05	53.46	74.70
5	12	7.98	3.02	1.98	965.58	365.42	239.58	0.06	0.05	62.16	75.19
6	13	6.69	2.86	1.28	963.36	411.84	184.32	0.06	0.06	57.25	80.87
7	14	4.93	2.16	1.67	833.17	365.04	282.23	0.06	0.04	56.19	66.13
8	15	3.11	1.92	1.25	609.56	376.32	245.00	0.03	0.03	38.26	59.81
9	16	2.91	1.35	0.77	654.75	303.75	173.25	0.05	0.04	53.61	73.54

Gambar 7. Kurva paparan radiasi sinar- $\gamma$  terhadap kedalaman air pada titik pengukuran di atas kanal hubung S-5

Menurut jadwal operasi dan maintenance yang dikeluarkan PRSG BATAN, tahun 2015 reaktor beroperasi pada daya 15 MW selama 142 hari [10]. Apabila jam kerja seorang pekerja radiasi 8 jam perhari dan NBD pekerja radiasi adalah 20 mSV/tahun, maka laju dosis maksimalnya agar dosis pekerja tidak melebihi NBD adalah 17,6  $\mu\text{Sv/jam}$ . Dari hasil pengukuran pada Tabel 1, pada titik terdekat dengan lubang penetrasi (titik pengukuran 1) dengan kedalaman air 30 cm laju dosis untuk neutron 1,09  $\mu\text{Sv/jam}$  dan laju dosis sinar- $\gamma$  adalah 3,95  $\mu\text{Sv/jam}$ , telah dibawah nilai laju dosis maksimal yang berpotensi pekerja radiasi melebihi NBD yang diijinkan. Berdasarkan hasil pengukuran laju dosis neutron dan sinar- $\gamma$  pada kanal hubung S-5 pada Tabel 1, maka penambahan perisai radiasi di kanal hubung S-5 akan dilakukan dengan bahan air dengan kedalaman 30 cm.

## V. KESIMPULAN

Dalam studi rencana penambahan perisai radiasi pada kanal hubung S-5, penambahan air pada atap kanal hubung S-5 dengan kedalaman 30 cm mampu menurunkan laju dosis radiasi pada titik pengukuran terdekat dengan sumber utama radiasi dari 101,57  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$  menjadi 1,09  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$  untuk neutron dan 13,7  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$  menjadi 3,95  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ . Laju dosis tersebut sudah tidak berpotensi untuk menyebabkan pekerja radiasi mempunyai dosis radiasi melebihi NBD yang diijinkan oleh BAPETEN sebesar 20 mSv/tahun. Pada laju dosis tersebut maksimal pekerja radiasi apabila bekerja terus-menerus pada jam kerjanya di kanal hubung S-5 akan mempunyai dosis radiasi 1,234 mSv/jam. Penggunaan air sebagai perisai radiasi sangat efektif menahan radiasi neutron, tetapi kurang efektif untuk menahan radiasi sinar- $\gamma$  dengan daya serap untuk neutron antara 95,33% sampai dengan 99,49 %, dan daya serap terhadap sinar- $\gamma$  antara 47,49% sampai dengan 80,87%. Dari data pengukuran laju dosis pada kanal hubung S-5, penambahan perisai radiasi akan menggunakan air dengan kedalaman 30 cm.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Abarrul Ikram, Perkembangan Terakhir Fasilitas Hamburan Neutron, Prosiding Seminar Hamburan Neutron Dan Sinar-X Ke 3, Tahun 2000
- [2]. As Build Drawing, Sumitomo Corp, 1992
- [3]. PERKA BAPETEN No. 4 Tahun 2013 Tentang Proteksi Dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir
- [4]. Suwarno Wiryosimin, Mengenal Asas Proteksi Radiasi, ITB Bandung, 1995
- [5]. Mukhlis Ahksi, Dasar-Dasar Proteksi Radiasi, Rineka Cipta Press, Jakarta, 2000
- [6]. Benar Bukit Dkk, Analisis Ketebalan Perisai Radiasi Perangkat RIA Ip10, Prima, Vol.8, No.2, November 2011, ISSN 1411-0296
- [7]. Endah Safitri, Beton Sebagai Perisai Radiasi Neutron Cepat, Media Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret, Januari 2006
- [8]. Wardhana A, Teknologi Nuklir: Proteksi Radiasi Dan Aplikasinya, Andi Offset, Yogyakarta, 2007.
- [9]. Fidayati Nurlaili Dkk, Optimasi Shielding Neutron Pada Thermalizing Column Reaktor Kartini, Berkala Fisika, Vol 11, No. 4, Oktober 2008, hal. 119-125.
- [10]. Schedul Of Operation And Maintenance Rsg-Gas 2015, 4 Oktober 2008, Issn: 1410-9662