
**RANCANG BANGUN RAK PENYIMPANAN
DETEKTOR NEUTRON PASCA TERAKTIVASI
DI PUSAT REAKTOR SERBA GUNA G.A SIWABESSY**

**DESIGN AND CONSTRUCTION OF POST
ACTIVATED NEUTRON DETEKTOR STORAGE RACK
AT THE G.A SIWABESSY CENTER FOR MULTIPURPOSE REAKTOR**

Sukino¹, Heri Suherkiman², Ranji Gusman³, Hari Prijanto⁴, Makmuri⁵, Tatang Komarudin⁶
^{1,2,3,4,5,6} PRSG – BATAN Kawasan Puspitpek Gd. 31 Serpong, 15310
email: sukino@batan.go.id

diterima: 30 Juli 2021, diperbaiki: 20 Agustus 2021, disetujui: 31 Agustus 2021

ABSTRAK

Reaktor Serba Guna G.A Siwabessy (RSG-GAS) memiliki empat sistem pengukuran *fluks neutron* yaitu: pengukuran *fluks neutron* daerah *start-up*, *intermediate*, daya (*power*) dan *wide range*. Setelah Reaktor operasi selama kurang lebih tiga puluh empat tahun terdapat beberapa komponen yang mengalami penuaan (*ageing*) dan salah satunya adalah detektor neutron. Saat ini terdapat 28 detektor yang mengalami penuaan dan dalam kondisi rusak. Sebagian detektor tersebut mempunyai paparan radiasi yang tinggi. Penempatan sementara detektor-detektor tersebut di lantai *operation hall* dan tidak terkelola dengan baik, sehingga perlu adanya tempat penyimpanan detektor. Rancang bangun rak penyimpanan detektor ini adalah untuk mempermudah pengelolaan dan identifikasi detektor pasca teraktivasi, melindungi pekerja radiasi terkena paparan radiasi dan membuat lingkungan jadi lebih rapi. Rak penyimpanan berfungsi sebagai tempat menyimpan sementara detektor neutron pasca teraktivasi sebelum disimpan permanen di Pusat Teknologi Limbah Radioaktif. Kegiatan dimulai dengan mengumpulkan data-data detektor, mengidentifikasi dimensi dan paparan radiasi setiap detektor. Membuat gambar rancangan dengan mempertimbangkan diameter, panjang, dan paparan radiasi dari detektor neutron tersebut. Memilih dan menentukan bahan-bahan yang akan digunakan untuk membuat tempat penyimpanan detektor neutron sesuai dengan kebutuhan dan persyaratan keselamatan. Merancang rencana kerja dengan kajian teknis, membuat rancangan awal, membuat rancangan detail dan pembuatan rak penyimpanan. Dari hasil rancang bangun ini diperoleh rak penyimpanan detektor neutron pasca teraktivasi yang memenuhi persyaratan keselamatan.

Kata Kunci: rak penyimpanan detektor, detektor neutron, radiasi

ABSTRACT

The Multipurpose Reactor G.A Siwabessy (RSG-GAS) has four neutron flux measurement systems, namely: measurement of neutron flux in the start-up, intermediate, power and wide range areas. After operating the reactor for approximately thirty-four years, there are several aging components and one of them is the neutron detector. Currently there are 28 detectors that are aging and in a damaged condition. Some of these detectors have high radiation exposure. The temporary placement of these detectors is on the floor of the operation hall and it is not managed properly, so there is a need for a detector storage area. The design of this detector storage rack is to simplify the management and identification of post-activated detectors, protect radiation workers from exposure to radiation and make the environment cleaner. The storage rack serves as a place to temporarily store the post-activated neutron detector before it is permanently stored at the Radioactive Waste Technology Center. The activity begins with collecting detector data, identifying the dimensions and radiation exposure of each detector. Make a design drawing by considering the diameter, length, and radiation exposure of the neutron detector. Select and

determine the materials that will be used to make a neutron detector storage area in accordance with the needs and safety requirements. Designing work plans with technical studies, making preliminary designs, making detailed designs and making storage racks. From the results of this design, a post-activated neutron detector storage rack is obtained that meets safety requirements.

Keywords: detektor storage rack, neutron detektor, radiation

PENDAHULUAN

Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) yang dibangun di Kawasan Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (PUSPIPTK) Serpong merupakan salah satu fasilitas yang dimiliki Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). RSG-GAS dibangun sejak tahun 1983, diresmikan oleh Presiden Republik Indonesia pada tanggal 20 Agustus 1987. Pengoperasian RSG-GAS mencapai kritis pertama pada bulan Juli 1987 dan mencapai daya penuh 30 Mega Watt pada bulan Maret 1992. RSG-GAS adalah reaktor riset tipe kolam terbuka dengan bahan bakar Uranium Silisida (U_3Si_2-Al) dengan densitas 2.96 g/cm^3 dan fluks rakta-rakta $2 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{detik}$ [1].

Subkoordinator Sistem Instrumentasi dan Kendali, Koordinator Perawatan Pusat Reaktor Serba Guna adalah subkoordinator yang menjalankan tugas pokok dan fungsi pelaksanaan pemeliharaan dan perbaikan sistem-sistem instrumentasi pendukung reaktor. Manajemen pemeliharaan yang dilakukan adalah pemeliharaan rutin (terjadwal) dan melakukan pemeliharaan non rutin berupa perbaikan. Perawatan non rutin adalah perbaikan-perbaikan sistem instrumentasi pendukung reaktor yang mengalami gangguan atau tidak berfungsinya sistem yang akan mengakibatkan terganggunya operasi reaktor.[2] RSG-GAS merupakan reaktor nondaya dengan kolam terbuka yang memanfaatkan fluks neutron dengan tingkat kerapatan fluks neutron pada orde $10^{14} \text{ neutron/cm}^2 \cdot \text{detik}$. Reaktor ini dilengkapi dengan sistem pengukur daya menggunakan detektor neutron untuk tingkat daya *start-up*, *intermediate* (daya menengah), *power* (daya tinggi) dan sistem pengukur daya *wide range*. Masing-masing tingkatan pengukur daya mempunyai detektor neutron dengan fungsi dan jumlah yang berbeda. Pada sistem pengukur daya tingkat *start-up* dan *intermediate* menggunakan 2 buah detektor

neutron dengan moda operasi redundansi *one out of two*. Moda operasi redundansi *one out of two* artinya jika salah satu kanal pengukuran mendeteksi harga pengukuran melebihi batas yang telah ditetapkan (*set point*) maka sistem proteksi reaktor akan memadamkan reaktor.[3] Kemudian pada sistem pengukuran daya tinggi yang menggunakan 4 buah detektor neutron yang berfungsi sebagai berikut, 3 buah detektor neutron difungsikan sebagai sistem pengukur daya dengan moda operasi redundansi *two out of three*, dan 1 buah detektor hanya digunakan sebagai deteksi keseimbangan populasi neutron di teras reaktor. Fungsi redundansi *two out of three* artinya jika dua dari tiga detektor mendeteksi populasi neutron melebihi harga batas yang telah ditetapkan (*set point*), maka akan memberikan inisiasi kepada sistem proteksi reaktor untuk memadamkan reaktor. Sedangkan pada sistem pengukur daya pada *wide range* hanya terdapat 1 buah detektor neutron.[4] Fungsi, jenis dan tipe detektor-detektor yang terpasang di reaktor RSG-GAS sebagai berikut:

1. Detektor neutron pengukur daya *start-up*. Detektor-detektor pada sistem pengukur daya *start-up* berfungsi sebagai deteksi fluks neutron ketika reaktor mulai dioperasikan (*start-up*), berjenis *Fission Chamber* (FC), jumlah detektor terpasang 2 buah diberi kode JKT01 CX811 dan JKT01 CX821.
2. Detektor neutron pengukur daya *intermediate*. Detektor-detektor pada sistem pengukur daya *intermediate* berfungsi sebagai deteksi fluks neutron pada daya 900 KW termal (*intermediate*), berjenis *Compensated Ionization Chamber* (CIC) tipe KNK-52, jumlah detektor terpasang 2 buah diberi kode JKT02 CX811 dan JKT02 CX821.[5] Untuk lebih jelas mengenai bentuk detektor jenis ini dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Detektor neutron CIC tipe KNK 52.



Gambar 3. Detektor neutron CIC tipe KNK 50



Gambar 2. Detektor neutron CIC tipe KNK 52.

3. Detektor neutron pengukur daya tinggi (*power*).

Detektor-detektor pada sistem pengukur daya tinggi, berfungsi sebagai deteksi fluks neutron pada daya 30 MW termal, berjenis *Compensated Ionisation Chamber* (CIC) tipe KNK-50, jumlah detektor terpasang 4 buah diberi kode JKT03 CX811, JKT03 CX821, JKT03 CX831 dan JKT03 CX841. Adapun bentuk fisik dari detektor jenis ini adalah seperti pada Gambar 3.

4. Detektor neutron pengukur daya *wide range*.

Detektor neutron pengukur daya *wide range* berfungsi sebagai deteksi fluks neutron pada semua tingkatan daya mulai dari Kilo Watt termal sampai dengan Mega Watt termal, berjenis *Compensated Ionization Chamber* (CIC) [6], jumlah detektor terpasang 1 buah diberi kode JKT04 DX001 .

Selain detektor-detektor tersebut, komponen lain yang tidak kalah pentingnya adalah kabel penghubung antara detektor dan kanal pengukuran. Kabel ini juga perlu diperhatikan perawatannya karena merupakan bagian yang berfungsi untuk meyalurkan sinyal dari detektor ke kanal pengukuran *fluks neutron* di Sistem Proteksi Reaktor. Adapun fisik dari kabel penghubung tersebut dapat dilihat pada Gambar 4. Saat ini PRSG mempunyai 40 buah detektor neutron dengan rincian sebagai berikut; 9 buah terpasang di kolam reaktor yang terdistribusi pada masing-masing tingkatan pengukur daya reaktor, cadangan 3 buah, dan rusak 28 buah. Dari pengalaman tersebut maka sangat diperlukan manajemen perawatan perbaikan detektor-detektor neutron pengukur daya agar keberlangsungan operasi reaktor selalu dapat terpenuhi sesuai jadwal mengingat detektor-detektor yang saat ini terpasang sebagian besar telah beroperasi selama 34 tahun dan tentu saja telah mengalami penuaan.



Gambar 4. Detektor neutron CIC dan kabel penghubung

Dalam rangka penyimpanan sementara detektor neutron pasca teraktivasi yang harus dikelola, maka diperlukan suatu tempat penyimpanan berupa rak penyimpanan detektor berlapis timah hitam atau timbal, supaya dapat ditempatkan di ruang balai operasi reaktor dengan memanfaatkan fasilitas yang telah ada sehingga memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan dan memberi rasa aman bagi pekerja radiasi. Dalam hal ini diharapkan seluruh detektor neutron pasca teraktivasi dapat tersimpan di satu tempat, sehingga tidak mengganggu pekerja dari sisi tempat dan keselamatan pekerja. Sifat tempat penyimpanan ini adalah sementara sebelum detektor dinyatakan sebagai limbah radioaktif.

Pengumpulan limbah radioaktif padat di RSG-GAS dipisahkan menjadi dua bagian yaitu yang bersifat mudah terbakar dan tidak dapat dibakar. Keduanya dimasukkan dalam drum volume 100 liter secara terpisah. Kemudian dilakukan pengukuran paparan radiasi dengan batasan maksimum $\leq 250 \mu\text{Sv/jam}$. Drum yang telah terisi disimpan ditempat penyimpanan sementara limbah padat di Gedung reactor lantai -6,5 m. Sesuai dengan diagram alir pengumpulan limbah di PRSG yang diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram pengumpulan limbah padat dalam gedung reaktor [7].

METODOLOGI DAN TAHAPAN RANCANG - BANGUN

Metode rancang bangun pembuatan rak penyimpanan detektor neutron pasca teraktivasi di PRSG ini memperhatikan faktor keselamatan radiasi, juga mempertimbangkan faktor estetika dan kenyamanan pekerja radiasi di ruang operasi. Sehingga perlu adanya kajian-kajian sebelum pembuatan rak tersebut, sehingga diperoleh sistem penyimpanan yang baik. Tahapan dalam rancang bangun rak penyimpanan detektor neutron pasca teraktivasi adalah:

1. Mengidentifikasi dimensi detektor neutron pasca teraktivasi. Detektor neutron memiliki dimensi panjang dan diameter yang berbeda sesuai dengan fungsi dan lokasi pengukuran fluks neutron di teras reaktor.
2. Mengidentifikasi besar paparan radiasi detektor neutron pasca teraktivasi. Setiap detektor memiliki paparan radiasi yang berbeda, sehingga perlu dilakukan identifikasi.
3. Membuat gambar rancangan awal dari rak penyimpanan
4. Membuat gambar rancangan detail dari rak penyimpanan.
5. Menentukan material untuk membuat rak penyimpanan detektor neutron pasca teraktivasi.
6. Pembuatan rak penyimpanan detektor neutron pasca teraktivasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Identifikasi dimensi detektor neutron

Untuk mengetahui dimensi panjang dan diameter detektor neutron diperlukan dokumen detektor tersebut. Dari hasil penelusuran dokumen detektor diperoleh data sebagai berikut:

- Detektor neutron pengukur daya *start-up* memiliki dimensi panjang 304,5 mm dan diameter 50,55 mm.
- Detektor neutron pengukur daya *intermediate* memiliki dimensi panjang 244 mm dan diameter 50 mm.
- Detektor neutron pengukur daya tinggi (*power*) memiliki dimensi panjang 665 mm dan diameter 50 mm.
- Detektor neutron pengukur daya *wide range* memiliki dimensi panjang 665 mm dan diameter 50 mm [8].

Dari hasil identifikasi dimensi tersebut di atas, maka diambil langkah untuk menentukan diameter dan panjang pipa yang akan digunakan untuk pembuatan rak penyimpanan detektor. Dimensi detektor terpanjang adalah 665 mm ditambah dengan konektor kabel sepanjang 100 mm, sehingga Panjang detektor dan konektor adalah 765 mm. sehingga Panjang pipa yang diperlukan 800 mm. Diameter terbesar detektor adalah 50,55 mm, sehingga diameter pipa yang diperlukan dan ada dipasaran adalah 3 inc atau 76,2 mm.

2. Identifikasi paparan radiasi detektor neutron

Setelah dilakukan identifikasi paparan radiasi detektor diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 sampai dengan Tabel 4.

Tabel 1. Detektor (JKT04) Kanal Pengukuran Fluks Neutron *Close Loop*.

No	Nama/Tipe	Laju Dosis Radiasi pada Permukaan (mSv/h)
1.	KNK 50 JKT04 DX001 0585.0.027	0,003

Tabel 2. Detektor (JKT03) Kanal Pengukuran Fluks Neutron Jangkauan Daya.

No	Nama/Tipe	Laju Dosis Radiasi pada Permukaan (mSv/h)
1.	KNK 50 0591.0.003	0,002
2.	KNK 50 0590.0.011	0,004
3.	Tidak ada nomor seri	0,01
4.	KNK 50 0585.0.024	0,004
5.	KNK 50 0585.0.023	0,24
6.	KNK 50 ****.0.029	0,005
7.	KNK 50 0585.0.025	0,20
8.	KNK 50 0585.0.028	0,14

Tabel 2. Lanjutan

No	Nama/Tipe	Laju Dosis Radiasi pada Permukaan (mSv/h)
9.	KNK 50 0597.0.009	0,30
10.	KNK 50 0597.0.003	0,32
11.	KNK 50 0585.0.026	0,12
12.	KNK 50 0588.0.012	2,40
13	KNK 50/5-9473 0509.0.014	0,30

Tabel 3. Detektor (JKT02) Kanal Pengukuran Fluks Neutron Jangkauan *Intermediate*.

No	Nama/Tipe	Laju Dosis Radiasi pada Permukaan (mSv/h)
1.	KNK 52 / 5-9474 (G) F.Nr: 0509.0.015	4
2.	KNK 52 F.Nr: 0585.0.030	0,60
3.	KNK 52 F.Nr: 0585.0.029	0,03
4.	KNK 52/5-9474 F.Nr: 0597.0.010	6
5.	KNK 52/5- 9474 F.Nr: 0597.0.001	70
6.	KNK 52 F.Nr: 0595.0.006	0,38
7.	KNK 52/5- 9474 F.Nr: 0500.0.014	0,80
8.	KNK 52/5 9474 F.Nr: 1460149	20
9.	KNK52/5-9474 F.Nr: 0593.0.006	1
10.	KNK52 F.Nr: 0595.0.006	20
11.	KNK 52 AC/P-1580007 (A) S/N: 16.01.02996	0,01
12.	KNK 52/5-9474 F.Nr: 1361065	20

Tabel 4. Detektor (JKT01) Kanal Pengukuran Fluks Neutron Jangkauan *Start-up*.

No.	Nama /Tipe	Laju Dosis Radiasi pada Permukaan (mSv/h)
1.	WL 24313 903504	0,30
2.	WL 24313 853101	2
3.	WL 24313 853102	0,002
4.	WL 24313 853103	0,02

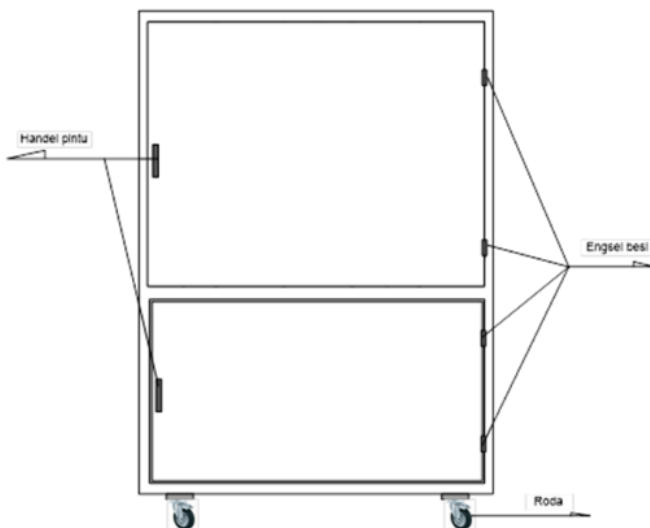
- Detektor neutron pengukur daya *start-up*. Paparan radiasinya 0,002 mSv/h s/d 2,00 mSv/h.
- Detektor neutron pengukur daya *intermediate*. Paparan radiasinya 0,03 mSv/h s/d 20,00 mSv/h.
- Detektor neutron pengukur daya tinggi (Power). Paparan radiasinya 0,002 mSv/h s/d 2,40 mSv/h.
- Detektor neutron pengukur daya *wide range*. Paparan radiasinya 0,003 mSv/h [9].

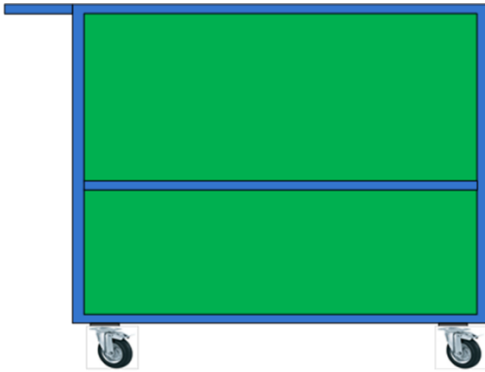
Dari hasil identifikasi paparan tersebut diatas didapat paparan tertinggi dari seluruh detektor radiasi neutron pasca teraktivasi yaitu detektor neutron pengukur daya intermediate dengan paparan 70,00 mSv/h, maka diambil langkah untuk menentukan ketebalan perisai

atau *shielding* timbal (Pb) yang akan digunakan untuk pembuatan rak penyimpanan detektor.

3. Gambar rancangan awal rak

Setelah menentukan dimensi dan paparan radiasi tertinggi detektor neutron, maka langkah selanjutnya adalah membuat rancangan awal. Rancangan awal rak berupa kontainer yang memiliki roda dibagian bawah untuk memudahkan pemindahan. Selain itu di seluruh sisi kontainer dilapisi timbal (Pb) sebagai perisai radiasi sehingga mengurangi paparan radiasi dari detektor yang telah teraktivasi. Adapun gambar rancangan awal ditunjukkan pada Gambar 6.



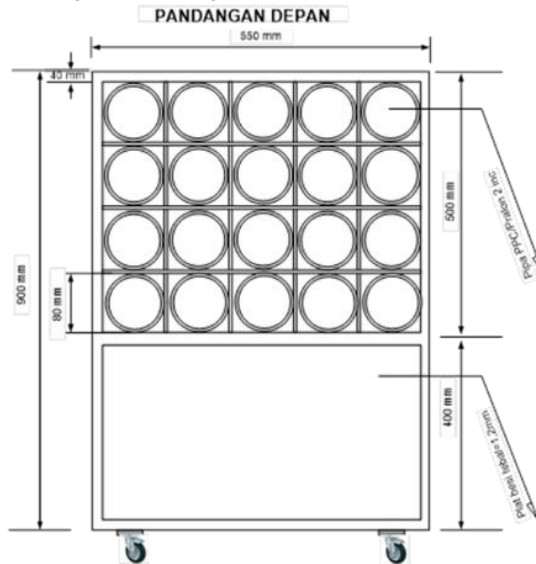


Gambar 6. Gambar rancangan awal rak penyimpanan detektor neutron.

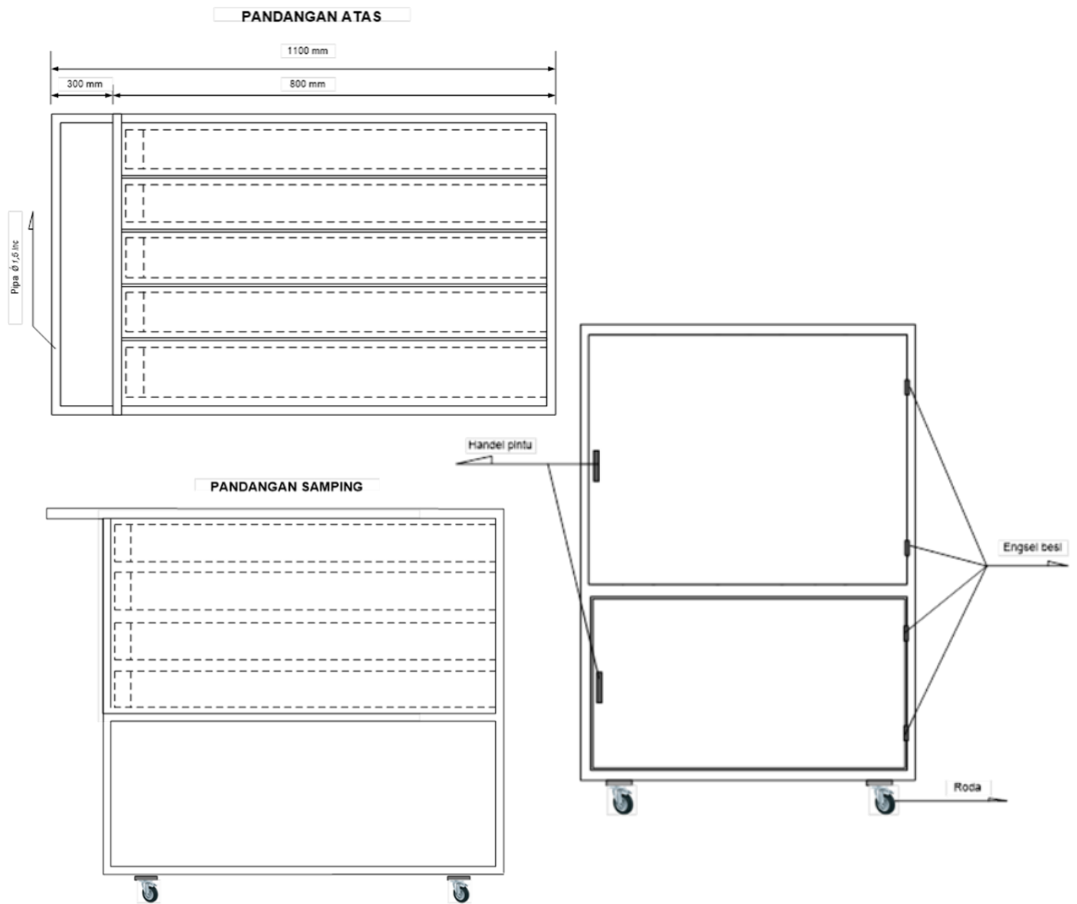
4. Gambar rancangan detail rak

Setelah rancangan awal diperoleh selanjutnya dilakukan pembuatan rancangan detail dari kontainer penyimpanan detektor teraktivasi. Rancangan terdiri dari gambar pandangan bagian depan, bagian atas, bagian

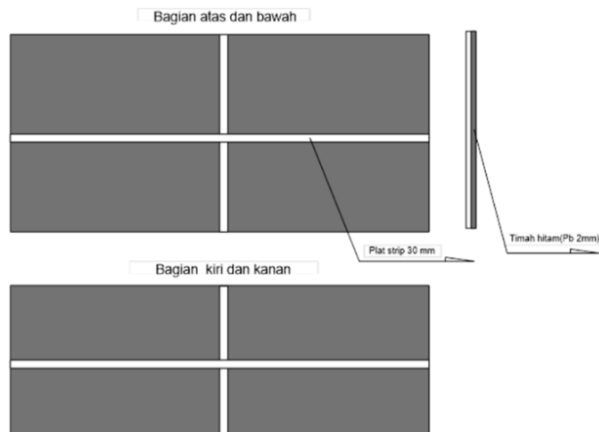
samping, dan penempatan timbal sebagai perisai radiasi. Untuk bagian depan dapat dilihat pada Gambar 7, dimensi kontainer dilihat dari bagian depan berukuran 900 x 500 mm yang dibagi menjadi 2 ruangan yaitu ruangan atas berukuran 500 x 550 mm untuk tempat penyimpanan 20 buah detektor teraktivasi menggunakan paralon diameter 80 mm, sedangkan ruangan bawah digunakan untuk menyimpan kabel detektor teraktivasi. Pada bagian depan juga terdapat pintu yang dilengkapi dengan engsel untuk memasukan detektor. Untuk bagian atas dan samping, panjang total kontainer adalah 1100 mm. Adapun rancangan detailnya terlihat pada Gambar 8. Sedangkan peletakan timbal sebagai perisai mengikuti ukuran rancangan dapat dilihat pada Gambar 9.

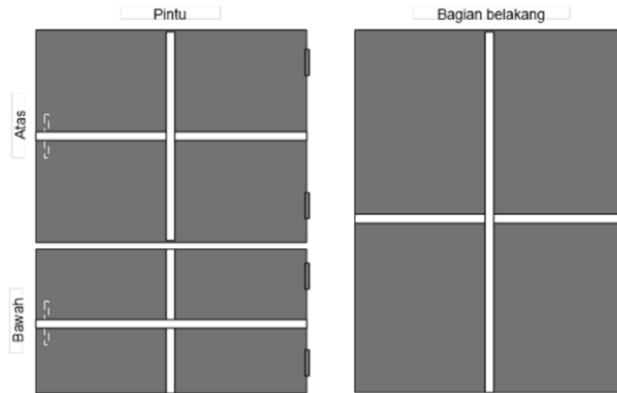


Gambar 7. Gambar rancangan detail pandangan depan.



Gambar 8. Gambar rancangan detail pandangan atas dan samping.





Gambar 9. Gambar rancangan detail dengan dilapisi timbal (Pb)

5. Material rak penyimpanan detektor

Material yang digunakan untuk pembuatan rak penyimpanan detektor neutron ini diperlihatkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Daftar material.

No.	Nama Barang
1	Besi siku 40 x 30 x 2 mm
2	Plat eser 1240 x 2440 x 1.5 mm
3	Plat strip 30 x 2 mm
4	Plat timbal (Pb) tebal 2 mm
5	Pralon PPC Ø3 inc (76,2 mm) tebal 2 mm
6	Mata gerinda potong dan poles A46 S & A46BF 105 x 2 x 16
7	Roda trolley karet hitam rem 220 kg
8	Roda trolley karet hitam 220 kg
9	Thiner high gloss
10	Cat synthetic warna biru dan hijau
11	Engsel pintu
12	Kuas ukuran sedang 2,5 inc
13	Penutup pipa Ø3 inc (dop)
14	Mur baut panjang 30 mm (M8)

6. Pembuatan rak penyimpanan detektor neutron pasca teraktivasi.

Setelah proses pembuatan rancangan dan penentuan material kontainer diperoleh, tahapan berikutnya adalah pembuatan rak-

kontainer detektor teraktivasi. Pembuatan dilakukan dengan kerjasama dari sub-koordinator yang ada di koordinator pemeliharaan di PRSG. Dimensi kontainer mengikuti dari rancangan yang telah dibuat. Hasil pembuatan dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10a. gambar pandangan belakang.



Gambar 10b. gambar pandangan depan setelah terisi detector



Gambar 10c. gambar pengukuran paparan radiasi

Setelah proses pembuatan selesai, detektor-detektor teraktivasi sebanyak 20 buah dimasukkan ke dalam kontainer tersebut dan dilakukan pengukuran paparan radiasi. Paparan radiasi detektor neutron tertinggi sebelum dimasukan kedalam kontainer adalah sebesar 70,00 mSv/h pada detektor neutron pengukur daya *intermediate*. Dari hasil pengukuran, paparan radiasi detektor neutron setelah dimasukkan dalam container dengan perisai timbal (Pb) adalah sebesar 13 uSv/jam. Hasil pengukuran tersebut jauh berkurang apabila dibandingkan pengukuran detektor

sebelumnya tanpa dimasukkan ke kontainer. Kondisi lingkungan kerja menjadi lebih aman dan nyaman karena penempatan kontainer berada jauh dari tempat atau ruang kerja.

KESIMPULAN

Pembuatan rak penyimpanan detektor neutron pasca teraktivasi di PRSG sangatlah dibutuhkan untuk memudahkan proses identifikasi dan pendataan. Melalui kegiatan rancang bangun ini diperoleh rak penyimpanan detektor neutron pasca teraktivasi yang mampu untuk menyimpan sementara detektor neutron sebelum di limbahkan. Rak penyimpanan detektor ditempatkan di ruang balai operasi. Penempatan rak tersebut tidak mengganggu kondisi lingkungan kerja maupun personil pekerja radiasi. Setelah dilakukan penyimpanan detektor ke kontainer diperoleh pengukuran nilai paparan radiasi 13 uSv/jam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pusat Reaktor Serba Guna, "SOP Pelayanan Iradiasi", Serpong: 2020.
- [2] Perka BAPETEN tentang ketentuan perawatan Reaktor Nondaya, NO.5 tahun 2011
- [3] Laporan Analisis Keselamatan RSG-GAS revisi 10.1, Desember 2011
- [4] Pusat Reaktor Serba Guna, "Diklat teknisi dan supervisor perawatan sistem reaktor RSG-GAS", Serpong: 2012.
- [5] Koes Indra, "Evaluasi unjuk kerja detektor fluk neutron JKT02", bulletin reaktor volume IV, April 2007
- [6] Pusat Reaktor Serba Guna, "Diklat Operator dan Supervisor Reaktor", Serpong: 2003.
- [7] N. Luhur, "Standar Operasional Prosedur Pengumpulan Limbah Padat Dalam Gedung Reaktor", Pusat Reaktor Serba Guna, Serpong: 2015.
- [8] Mennesmenn, "Instrument Manual Neutron Ionisation Chamber", Desember 1985.
- [9] Pusat Reaktor Serba Guna, "Laporan Operasi Reaktor RSG-GAS teras 100", Serpong: 2020.
- [10] Pusat Reaktor Serba Guna, "Chouching Sistem Instrumentasi", sensor dan detektor radiasi, Serpong: 2020.