



Pra Kondisi untuk Pengelolaan Limbah Reflektor dari Reaktor Triga Mark II

Mulyono Daryoko^{1*}, Sutoto¹, dan Dwi Luhur Ibnu Saputra¹

¹Pusat Teknologi Limbah Radioaktif -BATAN, Kawasan Puspiptek, Serpong, Gedung 50, Serpong

*E-mail: daryoko@batan.go.id

Abstract

Pra Kondision Reflector For Managing Waste Of Reactor Triga Mark II. In 1996 there has been a refurbishment of the reactor Triga Mark II. The consequences of these events occur is the case of radioactive waste with a very significant amount. Waste is managed by the Radioactive Waste Technology Center. In this paper is presented the preparation of the waste management from the safety analysis before being taken to the placement on Radioactive Waste Technology Center. Radionuclide content contained in the reflector is H - 3, C - 14, Fe - 55, Co - 60, Eu - 152 and Eu - 154, with activities $1,0 \times 10^4$ Bq/ g, while the radiation is 66 rad/h. The conclusion of this study is the container used is a container cube shape with a length of 1097,3 mm, 624,2 mm width and height of 760,8 mm. The cube is coated with a steel plate of 12 mm and 8 mm . By conditioning, then to 200 mR / h. This means that the waste is safe both for workers and the environment.

Keywords: reflector, radioactive waste, management, worker, environment

Pendahuluan

Reaktor Triga Mark II Bandung mulai dioperasikan pada tahun 1965 pada daya 250 kW. Pada tahun 1971 daya reaktor ditingkatkan menjadi 1000 kW dan dioperasikan dari tahun 1971 sampai dengan tahun 1996. Pada tahun 1996 operasi reaktor diberhentikan, dan ditingkatkan kembali dayanya menjadi 2000 kW pada tahun 2000. Komisioning reaktor Triga Mark II dilakukan pada tahun 2001 dengan perpanjangan izin operasi hingga tahun 2016 (IAEA, 2009, Anonymous, 2011, Daryoko, M., dkk, 2012). Reflektor pada saat refurbishment waktu itu, data analisis radionuklidanya seperti terlihat pada Tabel 1. Karena umur reaktor yang sudah tua dan para karyawan yang faham betul tentang reaktor ini sudah mulai pada pension serta sudah pengalaman refurbishment reaktor Triga Mark II serta karena ada sedikit masalah Tiga Mark II daya 2000 kW, maka ada ide untuk lebih menyempurnakan reaktor dengan daya ini. Caranya adalah dengan mengganti type Triga menjadi type MTR. Konsekwensinya akan ditimbulkan limbah radioaktif, diantaranya limbah reflektor. Reflektor pada saat refurbishment waktu itu posisinya adalah seperti Tabel 1 (Daroko, M. Dkk., 2003).

Tabel 1. Pengukuran radiasi pada reflektor dan sekitarnya setelah bahan bakar diambil

| No | Lokasi | Paparan Radiasi |
|----|---------------------------------|-------------------------|
| 1 | Permukaan <i>Bellows</i> | 130 R/jam |
| 2 | Permukaan <i>Bellows</i> | 100 R/jam |
| 3 | Permukaan <i>Bellows</i> | 120 R/jam |
| 4 | Permukaan <i>Bellows</i> | 150 R/jam |
| 5 | Permukaan pipa <i>Reflector</i> | 110 R/jam |
| 6 | Permukaan <i>Clem Bellows</i> | 110 R/jam |
| 7 | Permukaan dari <i>CT</i> | 560 R/jam |
| 8 | Permukaan <i>Reflector</i> | 66 R/jam |
| 9 | Permukaan pipa <i>Reflector</i> | 70 R/jam |
| 10 | Permukaan pipa <i>Reflector</i> | 70 R/jam |
| 11 | 1 m dari <i>Bellows</i> | 90 R/jam |
| 12 | Permukaan <i>Fuel Rack</i> | 8 R/jam |
| 13 | <i>Grid (CT Parallel)</i> | 450 R/jam |
| 14 | 1 m (<i>under grid</i>) | 80 R/jam |
| 15 | Permukaan <i>PHE</i> | 18.5 Bq/cm ² |



Reflektor terbuat dari grafit yang dilapisi aluminium berfungsi untuk merefleksikan flux ke arah column (*thermal column* dan *thermalizing column*). Dalam makalah ini akan dilakukan analisis baik aktivitasnya maupun paparan radiasinya, agar tetap aman baik untuk para pekerja maupun lingkungannya.

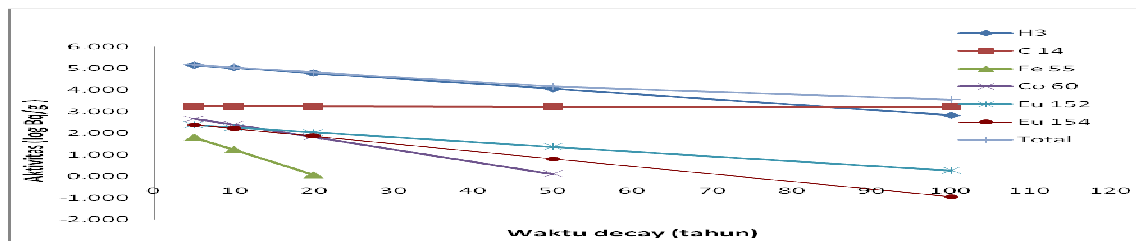
Metodologi

Untuk membuat reflektor tersebut aman bagi pekerja dan lingkungannya maka diambil beberapa langkah sbb.:

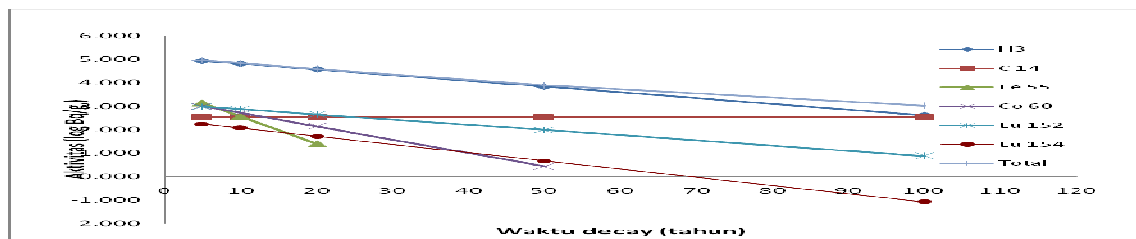
1. Menunggu waktu yang lama
2. Dengan cara membuat perisai pada reflektor tersebut.

Hasil dan Pembahasan

Data analisis radionuklida yang terdapat pada reflektor grafit dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2. Gambar tersebut menunjukkan bahwa kandungan radionuklida hasil aktivasi dan kontaminasi pada grafit reflektor setelah shut down adalah Mn-54, Fe-15, Ni-59, Ni-63, H-3, C-14, Co-60 dan Cs-137, dan dihitung hingga periode 100 tahun. Data tersebut menunjukkan juga bahwa komponen grafit adalah penyumbang aktivitas yang paling dominan pada reflektor, sedangkan kontribusi dari tutup aluminium dan bolt baja tahan karat relatif kecil (Daryoko, M., dkk., 2012.).



Gambar 1. Grafik aktivitas radionuklida pada *reflector* reaktor Bandung (daya reaktor 1 MW)

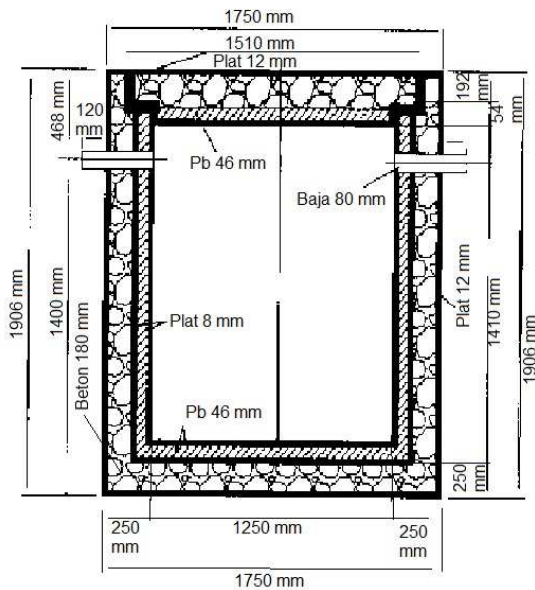


Gambar 2. Grafik aktivitas radionuklida pada *reflector* reaktor Bandung (daya 2 MW)

Radionuklida Mn-54 and Fe-55 tidak terlihat pada jajaran pendukung aktivitas grafit tersebut, sebab disamping kandungan prosentase nuklida induknya di dalam elemennya kecil, Mn-54 dan Fe-55 juga hanya mempunyai umur paroh yang sangat pendek. Terlihat bahwa radionuklida penyumbang aktivitas terbesar adalah C-14 dan H-3, disamping Ni-59, Ni-63 dan Cs-137, sedangkan penyumbang paparan radiasi yang paling dominan adalah Co-60, sebab Co-60 mempunyai energi maksimum yang paling tinggi, yaitu 318 keV untuk β dan 2 radiasi sinar γ : 1,17 MeV dan 1,33 MeV. Gambar 2 menunjukkan juga bahwa Co-60 masih berperan hingga waktu 100 tahun, dan setelahnya baru beralih secara nyata. Emiter beta dari Co-60 dengan umur paroh 5,3 tahun konsentrasinya telah bisa diabaikan. C-14 yang mempunyai umur paroh beberapa ribu tahun sama sekali belum terlihat peluruhannya. Aktivitas radionuklida pada operasi 1 MW adalah $1,0 \times 10^4$ Bq/gram, sedangkan aktivitas reflektor pada operasi 2 MW adalah $9,0 \times 10^3$ Bq/gram.

Perancangan Kontainer

Kontainer yang digunakan sebagai pengaman terhadap paparan radiasi adalah container bentuk silindris Hasil perancangan kontainer bisa dilihat pada Gambar 3



Gambar 3. Hasil perancangan kontainer

- Ukuran reflektor secara umum, berdiameter luar (ID) adalah 1.162,05 mm dan tinggi (H) adalah 1.352,25 mm.
- reflektor ini harus diperhitungkan agar bisa masuk ke dalam kontainer.

Bahan yang digunakan:

- Diameter dalam kontainer (ID) = diameter luar reflektor+jarak kelonggaran kiri-kanan=1162,05+2(43.975) =1250 mm
- Diameter luar kontainer (OD) = ID+tebal perisai/dinding kontainer = 1250+2(250)=1750mm
- Tinggi kontainer(H) = tinggi reflektor+tebal perisai kiri-kanan+jarak limbah dengan tangki atas= 1362,25+2(250)+43,75=1906 mm.
- Berdasarkan data pada Tabel 1 maka paparan radiasi permukaan reflektor terukur 66 Rem/jam.
- Plat baja karbon, tebal 12mm dan 8 mm
- Besi beton eizer ϕ 12 mm
- Baja karbon pejal ϕ 80 mm
- Timah hitam (Pb)
- Perhitungan tebal dinding container:

Timbal (Pb). $\rho = 11,34 \text{ g/cm}^3$

Beton(*concrete*), $\rho = 2,40 \text{ (g/cm}^3)$

Kontainer ini dirancang untuk bungkusan kategori III-kuning , tingkat paparan radiasi permukaan bungkusan lebih dari 0,5 mSv/jam (50 mrem/jam) tetapi tidak lebih dari 2 mSv/jam (200 mrem/jam)

Oleh karena itu dinding kontainer dapat ditentukan sebagai berikut:

$$I_0 = 66 \text{ rem/jam} = 66.000 \text{ mrem/jam}$$

$$I = 200 \text{ mrem/jam (regulasi)}$$

$$\mu = 0,138 \text{ cm}^{-1} \text{ (Perry'S, R.H.(1984))}$$

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

$$200 = 66.000 e^{-(0,138x)}$$

$$\ln 200 = \ln 66.000 - 0,138x$$

$$5,2983 = 11,0974 - 0,138x$$

$$0,138x = 5,7991$$

$$x = 42,02246 = 420 \text{ mm}$$

Untuk mengurangi agar ukuran kontainer tidak terlalu besar, maka container dibuat dari bahan beton dan Pb.

Tebal beton/*concrete* dibuat 18 cm , sehingga diperlukan ketebalan Pb.= $[(x - 18) \times (\rho_{\text{beton}} / \rho_{\text{Pb}})] = [(38 \text{ cm} - 18 \text{ cm}) \times (2,4 : 11,34)] = 4,656 \text{ cm}$

Konstruksi kontainer adalah beton/*concrete* dibungkus/jaket plat baja karbon tebal 12 mm sekaligus sebagai *begesting* untuk pengecoran dan pada bagian dalam kontainer dilapisi dengan coran timah hitam(Pb), tebal 46 mm



dibungkus/jaket plat baja tebal 8 mm. Jadi total tebal dinding kontainer dari bahan beton dan timah hitam adalah: $[(20 \text{ cm} + 4,6 \text{ cm}) + 0,8 \text{ cm} + 0,8 \text{ cm} + 1,2 \text{ cm}] = 20 \text{ cm} = 250 \text{ mm}$.

Perhitungan besi tempat dudukan kait: crane atau kawat baja untuk mengangkat kontainer dapat dilihat dari besarnya defleksi/pelenturannya dengan rumus sebagai berikut (Suwardiyono,2009, Sati, dkk.,1982):

$$f = p l^3 / 3 E I$$

Keterangan:

f = defleksi/pelenturan (mm)

p = beban yang diangkat (kg) (kontainer ini dipasang tempat kait sebanyak 4 buah)

l = panjang dudukan kait pengangkat (mm)

E = modulus kekenyalan, baja st-52, maka

$$E = 21.000 \text{ kg/mm}^2$$

I = momem inersia

$$I = D^4/20 \text{ (mm}^4\text{)}$$

D = diameter baja pejal dudukan pengait pengangkat (mm)

Defleksi dapat dihitung dengan melihat spesifikasi dan ukuran-ukuran container.

Diameter poros untuk dudukan kait pengangkat (D) = 80 mm

Beban yang harus diangkat oleh 4 buah dudukan kait pengangkat adalah berat kontainer ditambah isi limbah reflektor yaitu 13.520 kg, maka beban (p) = $23.520 \text{ kg} / 4 = 3.380 \text{ kg}$. Perhitungan berat kontainer 1.000 kg.

Panjang dudukan kait pengangkat (l) = 120 mm

$$I = D^4/20 = (80)^4 / 20 = 2.048.000 \text{ mm}^4$$

$$f = p l^3 / 3 E I = [(13.520 \text{ kg} : 4) \times$$

$$(120)^3 / (3 \times 21.000 \times 2.048.000)]$$

$$= [3.380 \times 1.728.000 / 129.024.000.000]$$

$$= 5.840.640.000 / 129.024.000.000$$

$$= 0,045 \text{ mm}$$

Defleksi yang terjadi adalah sebesar 0,045 mm ini sangat kecil sekali, berarti baja karbon pejal st-52, ϕ 80 mm, panjang 120 mm yang dipasang pada kontainer pada 4 posisi sangat aman.

Perhitungan berat kontainer kosong sebelum diisi limbah reflektor

= berat plat baja+berat besi beton+berat konkrit+berat Pb

Sebagai contoh berat baja(lihat Gambar 3)

Dengan rumus-rumus di atas, sebagai contoh mencari berat plat baja

$$= \pi D^2 h t \rho$$

$$= \pi (80^2)(120)(7,8)$$

$$= 2,635 \text{ kg}$$

Dengan rumus yang sama, bisa dicari berat besi beton, konkrit dan Pb

Berat besi beton=0,215 kg

Berat konkrit=15,920 kg

Berat Pb=12,520 kg

Berat kontainer kosong=berat plat baja+berat besi beton+berat konkrit+berat Pb

$$= 2,635 + 0,215 + 15,920 + 12,520$$

$$= 33,290 \text{ kg}$$

Berat limbah reflektor sekitar 1000 kg, jadi berat kontainer dengan isi limbah reflektor =

13,520 ton = 13.520 kg.

Kesimpulan

- Kandungan radionuklida yang terdapat di dalam reflektor adalah H-3, C-14, Fe-55, Co-60, Eu-152 dan Eu-154. Radionuklida yang paling berperan pada waktu 20 tahun adalah C-14 dan H-3, Ni-59, Ni-63 dan Cs-13 dan Co-60. Penyumbang paparan radiasi yang paling dominan adalah Co-60, sebab Co-60 mempunyai energi maksimum yang paling tinggi, yaitu 318 keV untuk β dan 2 radiasi sinar γ : 1,17 MeV dan 1,33 MeV.

- Kontainer yang digunakan sebagai pengaman terhadap paparan radiasi adalah container bentuk silindris berdiameter luar (ID) adalah 1250 mm, diameter luar (OD) 1750 mm dan tinggi (H) adalah 1906 mm, dengan bahan timah hitam setebal 46 mm dan beton 274 mm, yang dilapisi dengan plat baja tebal 8 mm dan plat bajak arbon tebal 12 mm. Berat kontainer kosong = 12.520 kg. Berat limbah reflektor 1000 kg, berat kontainer dengan isi limbah =13.520 kg. Dengan disain ini diharapkan keamanan dan keselamatan para pekerja dan lingkungannya akan terjamin.





Daftar Pustaka

- International Atomic Energy Agency, *Research Reactor Modernization and Refurbishment, Upgrade of the Bandung Triga 2000 Reactor*, IAEA-TECDOC-1625, Vienna (2009).
- Anonymous, *Reaktor Triga 2000 Bandung*, Available: <http://airamadhan.wordpress.com/2008/05/27/reaktor-triga-2000-bandung/>
diakses pada 7 November 2011.
- International Atomic Energy Agency, *Decommissioning Techniques for Research Reactor*, Final Report of a Coordinated Research Project, 1997-2001, IAEA-TECDOC-1273, Vienna. (2002).
- International Structure for Decommissioning Costing (ISDC) of Nuclear Installations, ISBN 978-92-64-99173-6, OECD 2012 NEA No. 7088, Nuclear Energy Agency Organisation Economic Co-operation and Development (2012)
- S. J. Kim, Plan for Moata Reactor Decommissioning, Australian Nuclear Science and Technology Organization (ANSTO), Australia, 1995.
- ORNL, RICC Computer Code Collections Origen 2.1, ORNL, 1980, NewYork, USA(1980)
- M. Daryoko, S. Sutoto, A. Aisyah, et. al., Perhitungan Perkiraan Biaya Pengelolaan Limbah pada Perencanaan Dekomisioning Reaktor Triga Mark II Bandung, Program Insentif Peningkatan Kemampuan Peneliti dan Perekayasa Tahun 2012, Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, BATAN, 2012
- Suardiyono, Perancangan Kontainer Limbah Reflektor Pada Program Dekomisioning Reaktor Riset Triga Mark II Bandung, Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah VIII, Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN Pusat Penelitian dan Teknologi-RISTEK(2009)
- Perry's.,R. H., 1984, Chemical Engineering Handbook, 6nded, New York.
- Sati, M.T.S., Tjitro, S.W., Buku Polyteknik, Sumur, Bandung, 1982
- Daryoko, M., and Gunandjar, " Inventarisasi Radionuklida dalam Komponen Nuklir", Jurnal Teknologi Pengolahan Limbah, ISSN 1410-9565, Volume 6 Nomor 1, Jakarta, Juni 2003
- International Atomic Energy Agency, "Radiological Characterization of Shut Down Nuclear Reactor for Decommissioning Purposes", IAEA-TRS No. 389, Vienna, 2002





Lembar Tanya Jawab
Moderator : Yusuf Izidin (UPN "Veteran" Yogyakarta)
Notulen : Susanti Rina Nugraheni (UPN "Veteran" Yogyakarta)

1. Penanya : Yuli (ITS)
- Pertanyaan :
 - Apa itu reaktor Triga Mark II?
 - Bagaimana cara untuk memastikan bahwa desain kontainer yang dibuat sudah aman bagi manusia (pekerja)?
- Jawaban :
 - Reaktor Triga Mark II adalah reaktor nuklir yang ada di Bandung, Jawa Barat yang dayanya saat ini 2 MW. Gunanya adalah untuk penelitian yang berkaitan dengan reaktor nuklir dan membuat isotop yang diperlukan dalam bidang kedokteran.
 - Desain kontainer tersebut harus bisa sebagai perisai radiasi terhadap limbah, jadi secara teoritis tidak masalah, jadi paparan radiasinya tidak keluar dari kontainer tersebut. Dalam hal ini kalau sebelumnya paparan radiasinya 66.000 mrem/jam akan menjadi 200 mrem/jam. Paparan ini dari regulasi sudah aman, baik untuk pekerja maupun lingkungannya.

