



DESAIN RINCI IRRADIATOR GAMMA KAPASITAS 200 kCi UNTUK IRRADIASI LATEKS

Sutomo,

PRPN BATAN, Kawasan PUSPIPTEK, Gedung 71, Tangerang Selatan, 15310

ABSTRAK

DESAIN RINCI IRRADIATOR GAMMA KAPASITAS 200 kCi UNTUK LATEKS. Desain Rinci Irradiator Gamma kapasitas 200 kCi sebagian telah dilakukan sesuai tahapan dalam melaksanakan desain. Berdasarkan persyaratan yang ada, bahan perisai ruang irradiasi yang dipilih adalah beton normal. Desain bangunan ini berbentuk kubus atau kotak dengan ukuran 7 m x 10 m x 4 m. Beton normal adalah beton dengan bahan baku semen portland, agregat kasar dan halus, serta air. Beton ini memiliki berat jenis berkisar 2200 – 2500 kg/m³. Desain ini memilih berat jenis beton 2350 kg/m³ karena pertimbangan kemudahan untuk mendapatkan bahan baku yang dapat mencapai nilai di atas agar dosis paparan lebih rendah dari 0,25 mR/Jam, sesuai SK Bapeten No.11/Ka-BAPETEN/VI-99 perisai beton dibuat menjadi tebal 1,5 m. Untuk desain rinci bangunan pendukung yaitu bangunan struktur baja penyangga kerane telah dilakukan perhitungan struktur dan gambar teknik rinci, sedang untuk desain mekanik, elektrik, dan instrument masih berupa data sheet dan gambar teknis.

Kata kunci: Desain rinci, beton normal, irradiator gamma, berat jenis beton

ABSTRACT

DETAIL DESIGN OF GAMMA IRRADIATOR 200 kCi Capacity For Latex irradiation . A Detail design of gamma irradiator 200 kCi Capacity For Latex Irradiation .has been worked step by step. Based on the available requirements, the shielding material used for irradiation chamber is normal concrete and the . The structure of the building is designed in cube of 7 m × 10 m × 4 m. Normal concrete is concrete using raw material of portland cement, coarse and fine aggregate plus water. The concrete density ranges from 2200 to 2500 kg/m³. For this design, the concrete density selected is 2350 kg/m³, considering the ease of procuring the raw material needed as defined by the decree of Bapeten chairment No.11/Ka-Bapeten/VI-99, in order to make exposure doses less than 0,25 mR/hour, the concrete shielding thickness has to be 1.5 m. For detail desain auxiliary building as steel structure building for crane facility has been analised and detailed technical drawin.,Detail design for mechanical,electrical,and instrument are working a data sheet and technical drawing.

Keywords: Detail design, normal concrete, gamma irradiator, concrete density

1. PENDAHULUAN

Fasilitas utama sebuah irradiator gamma terdiri dari sumber radiasi, sistem mekanik transportasi produk yang akan diirradiasi, dan perisai radiasi untuk melindungi pekerja dan lingkungan^[1] dari paparan radiasi. Sumber radiasi yang digunakan adalah



Co-60. Dalam desain sebuah irradiator, sumber radiasi ini harus didesain setipis/sekecil mungkin untuk menghindari kehilangan energi akibat serapan dari dalam material sumber, dan sumber harus dikelilingi secara efektif oleh produk (target) yang akan diirradiasi, sehingga sebagian besar sinar gamma yang dipancarkan akan mengenai target. Karena itu perlu didesain bentuk geometri yang cocok antara perangkat sumber gamma dan wadah (reaktor) tempat target dan sistem transportasi target.

Mekanisme transportasi target/produk menentukan apakah dosis yang diterima efisien dan seragam pada seluruh bagian target. Distribusi dosis serap yang seragam menentukan kualitas produk hasil irradiasi dan efisiensi pemanfaatan sumber gamma. Untuk produk/target padat, ketidakseragaman dosis serap tiap produk yang diirradiasi tetap menjadi kendala, sedangkan produk cair dengan pengadukan keseragaman lebih mudah didapat. Karena itu untuk mendapatkan produk hasil irradiasi yang maksimal (kualitas baik) perlu didesain sistem mekanisme transportasi produk secara tepat sesuai dengan produk yang akan diirradiasi.

Perisai radiasi pada irradiator berfungsi untuk melindungi pekerja dan lingkungannya dari paparan radiasi. Beberapa material berikut biasa digunakan sebagai perisai radiasi, yaitu timah hitam (Pb), beton, air dan baja. Perisai timah hitam banyak digunakan pada irradiator berukuran kecil, untuk skala litbang, dan sistem batch. Untuk irradiator skala industri menggunakan beton sebagai perisai biologi, karena lebih murah dari pada Pb, dan air sebagai perisai tempat penyimpanan sumber ^[2]. Makalah ini akan mengulas tentang desain rinci irradiator gamma yang menggunakan sumber Co-60 aktifitas 200 kCi. Irradiator ini dirancang untuk memproduksi lateks karet alam prevulkanisasi radiasi.

2. TEORI

Energi sinar gamma dapat diserap oleh material yang dilaluinya, tapi material itu tidak menjadi radioaktif. Bila material itu sel biologi, maka sel dapat berubah karakteristiknya. Perubahan akibat radiasi ini dapat digunakan untuk kepentingan yang bermanfaat untuk kehidupan manusia seperti pengawetan dan penyempurnaan karakteristik atau bahkan merusak. Berdasarkan kenyataan tersebut, selanjutnya penggunaan sinar gamma dikendalikan dengan menggunakan material, dan atau dengan pengaturan aktifitas sumber. Akibat interaksi dengan material, intensitas gamma mengalami atenuasi, sehingga material dapat berfungsi sebagai perisai ataupun sebagai



target yang akan diirradiasi. Konsep penggunaan material sebagai perisai karena daya tembus sinar gamma bergantung pada jenis materialnya.

Bila suatu berkas photon/gamma dengan intensitas I_0 masuk pada suatu bidang dari material penyerap, maka pada suatu kedalaman x di dalam material tersebut, intensitasnya akan berkurang karena adanya interaksi dengan material itu, Dengan penambahan jarak dx pada x , maka terjadi pengurangan lebih lanjut dari I dengan dI . Kemungkinan interaksi di dalam dx adalah dI / I , sedangkan kemungkinan interaksi persatuan jarak adalah : $(dI/I) (I/dx)$ dan kemungkinan ini disebut koefisien atenuasi linier (*linear attenuation coefficient*) dan dinyatakan dengan μ yang mempunyai dimensi cm^{-1} . Dengan demikian, pengurangan intensitas di dalam dx dapat ditulis ^[3]

$$- dI = \mu I dx \quad (1)$$

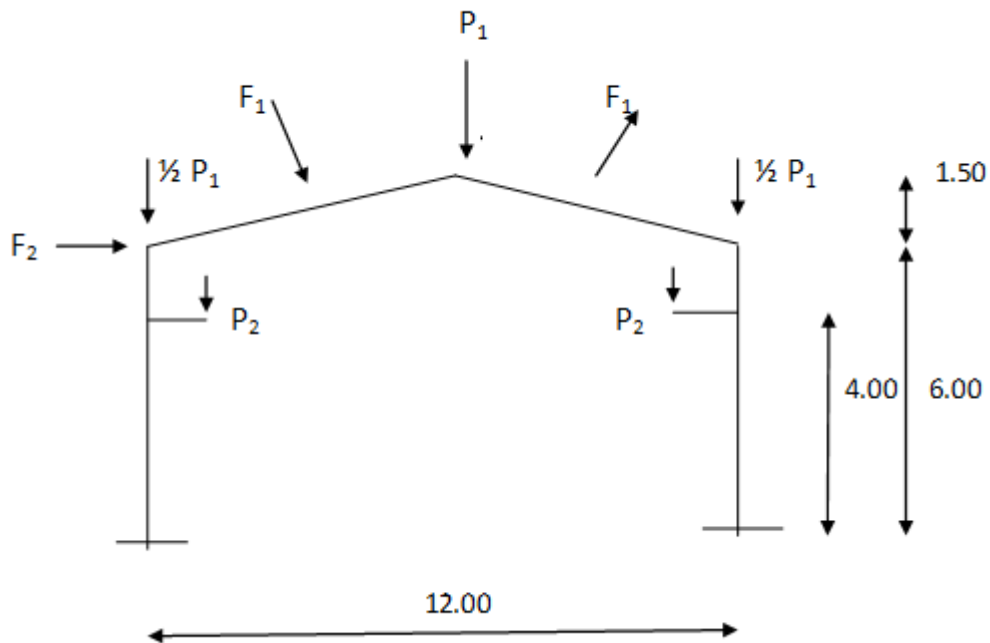
bila syarat batas $I = I_0$ pada $x = 0$, maka penyelesaian persamaan itu adalah

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2)$$

dimana I_0 adalah intensitas sinar gamma sebelum masuk material, I adalah intensitas setelah melewati material, dan x tebal material. Selain itu, ada faktor *buildup* yang perlu diperhitungkan dalam menentukan nilai intensitas I yang lolos dari material. Faktor *buildup* menambah jumlah intensitas sinar gamma yang melewati material, yaitu lebih besar dari I . Penambahan ini berasal dari adanya radiasi sekunder berupa efek Compton, radiasi anihilasi dari proses produksi pasangan dan radiasi *Bremstrahlung*.

3. PEMBAHASAN ATAU PERHITUNGAN

Selanjutnya karena perhitungan untuk desain rinci menggunakan banyak rumus dan standard sehingga rumus tidak ditampilkan disini, maka pada perhitungan struktur beton untuk bangunan utama atau bangunan irradiator menggunakan cara-cara yang ada pada Peraturan Beton Indonesia (PBI-71), untuk perhiungan struktur baja menggunakan Peraturan Perhitungan Baja Indonesia (PPBI).Untuk perhitungan mechanical menggunakan dasar–dasar mekanik dan kaidahnya, juga untuk perhitungan elektrikal menggunakan kaidah –kaidah elektronik arus kuat maupun arus lemah.



Keterangan:

1. Beban Atap.....= P_1
2. Beban Kerane= P_2
3. Beban Angin= F_1
4. Beban Gempa.....= F_2

Gambar 1. Sistem Pembebanan Portal

Perhitungan beban atap (P_1) :

- Jarak gording = 2 m, Jarak Portal = 4 m ,
- Beban Pekerja = $100 \times 2 \times 4 = 800$ kg.
- Beban Air hujan = $12,5 \times 2 \times 4 = 100$ kg.
- Berat Atap = $40 \times 2 \times 4 = 320$ kg.
- Berat Gording = $36 \times 2 \times 4 = 288$ kg.

$$P_1 = 1.508 \text{ kg.}$$



Perhitungan beban Kerane (P_k) :

- Beban Angkat Kerane = 10 ton.
- Berat Bom Kerane = 3,5 ton.
- Berat Rel = 1 ton.
- Berat huis = 0,5 ton.

$$P_k = 15 \text{ ton}$$

Koefisien kejut = 1.33

$$P_k = 1.33 \times 15 \text{ ton.}$$
$$= 20 \text{ ton.}$$

$$\text{Beban akibat rem } P_{kh} = 10 \% \times 20 \text{ ton.}$$
$$= 2 \text{ ton.}$$

Perhitungan beban Angin (F_a) :

- Kuat tiup Angin = 25 kg / m²
- Luasan atap = 4 x 6,3 = 25 m²
- Beban Angin (F_a) = 25 x 25 = 625 kg
- Beban Angin Tekan = 1,2 x 625 kg = 720 kg
- Beban Angin hisap = 0,4 x 625 kg = 250 kg

Perhitungan berat portal

- Berat air hujan = 25 kg/m² x 25 m² = 625 kg
- Berat atap = 40 kg/m² x 25 m² = 1000 kg
- Berat rangka = 12,2kg/m x 36,2m = 440 kg
- Berat pekerja = 100 kg/m²x 25 m² = 2500kg

$$\text{Beban (P) } = 4.565 \text{ kg}$$

- Beban P = 2 x 4.565 kg = 9.130 kg = 9,130 ton
- Beban Kolom = 2 x 6 m x 36,2 kg/m = 0,434 ton
- Beban Kerane = 20,0 ton

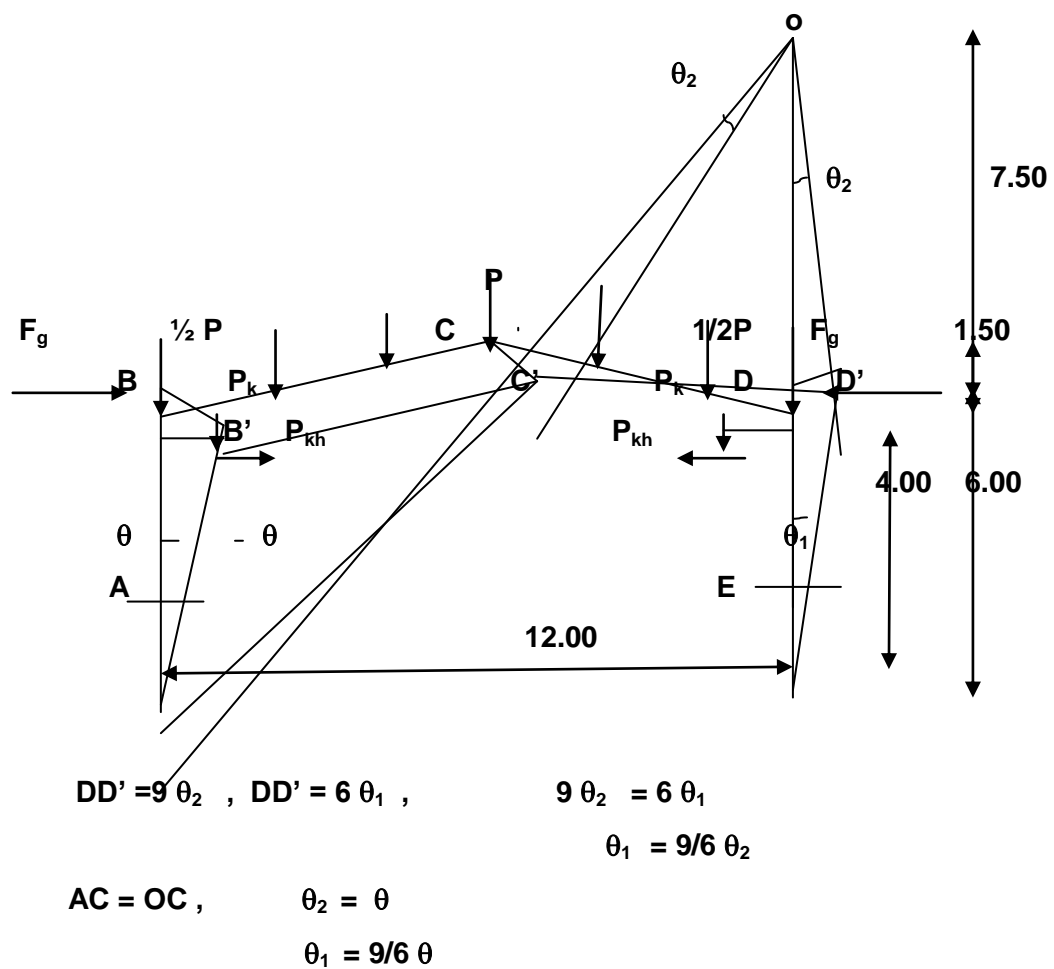
$$\text{Berat bangunan per Portal } = 29,564 \text{ ton.}$$



Perhitungan beban Gempa (F_g) :

- Percepatan Gempa (a) = 0,25 g .
- Berat bangunan per portal = 29,564 ton.
- Beban Genpa (F_g) = 29,565 x 0,25 = 7,391 ton.

Perhitungan Momen Portal Dengan Metode Plastis



Gambar 2. Perhitungan Momen Portal



Joint	Rotasi	Internal work (IW)
C	$\angle NC'D' = \theta_2 =$ 1 θ	1 θ MP
	$\angle PC'B' = \theta =$ 1 θ	1 θ MP
D	$\angle ED'E' = \theta_1 =$ 1,5 θ	1,5 θ MP
	$\angle MD'C' = \theta_2 =$ 1 θ	1 θ MP
	$\Sigma =$ 4,5 θ	IW = 4,5 θ MP

Joint	Displacement(m)	Load (ton)	Eksternal Work (ton m)
B	BB' = 6 θ	8	48 θ
K	KK' = 4 θ	2	8 θ
K	KK' = 0,5 θ	20	10 θ
F	FF' = 2 θ	1,5	3 θ
G	GG' = 4 θ	1,5	6 θ
C	CC' = 6 θ	1,5	9 θ
H	HH' = 4 θ	1,5	6 θ
I	II' = 2 θ	1,5	3 θ
			EW = 93 θ

$$IW = EW$$

$$4,5 \theta \text{ Mp} = 93 \theta$$

$$MP = 93 / 4,5 \text{ ton m}$$

$$\text{Mp} = 20,67 \text{ ton m}$$

Mendimensi Profil Portal

MP= Momen Plastis = 20,67 ton m

MP = 2067000 kg cm.

Tegangan ijin Baja (σ) = 1400 kg/cm²

Tahanan Momen (W) = Momen / Tegangan ijin

$$W = \frac{M}{\sigma}$$

Tahanan Momen (W) = 2067000 / 1400 (cm³)



Tahanan Momen (W)= 1476 cm³

Dari Tabel baja didapat Profil INP 40

W_x = 1460 cm³ ,I_x = 29210 cm⁴, F = 118 cm²,G berat= 92,6 kg/m

Perhitungan sambungan dengan Las

Momen Plastis (MP)= 2067000 kg cm.

Tegangan ijin Las (σ) = 1400 kg/cm²

Safety Factor = 1,2

$$\begin{aligned} \text{Tahanan Momen las (W)} &= \frac{MP \cdot Sf}{\sigma} \\ &= \frac{2067000 \cdot 1,2}{1400} \text{ cm}^3 \\ &= 1772 \text{ cm}^3. \end{aligned}$$

Profil INP 40 ,Tebal badan (t) = 1,7 cm ,maka

$$\text{Tebal Las (a)} = \frac{t}{\sqrt{2}}$$

$$a = \frac{1,7}{\sqrt{2}} \text{ cm} = 1,2 \text{ cm}.$$

$$W = 1/6 a h^2 \qquad 1772 = 1/6 \cdot 1,2 h^2 \qquad h = 94,13 \text{ cm}$$

Jadi panjang las minimum = 94,13 cm, bila di las seluruhnya pajang las (L) =(40 x 2) + (15 x 2) = 140 cm, akan lebih aman atau lebih kuat.

3.1. Material Perisai Beton Penahan Radiasi

Beton yang digunakan pada sebuah irradiator gamma berfungsi sebagai dinding, perisai biologi terhadap radiasi gamma dan struktur penguat bangunan. Sebagai dinding yang merangkap sebagai perisai radiasi, densitas minimum beton adalah 2400 kg/m³ sesuai aturan Ka.Bapeten, dan yang harus mampu menahan beban tekan sebesar 210,9 kg/cm². Beton jenis ini masuk katagori beton normal. Beton adalah campuran antara semen, agregat kasar dan halus, air, dan zat aditif dengan komposisi tertentu. Komposisi yang berbeda-beda di antara bahan baku beton mempengaruhi sifat beton yang dihasilkan.

Pembagian komposisi campuran biasanya diukur dalam satuan berat, meskipun berdasarkan volume juga bisa. Semen yang digunakan jenis *portland* yang ada dipasar, agregat halus adalah pasir dan agregat kasar adalah kerikil (densitas tinggi), semuanya



bebas dari bahan pengotor yang dapat melemahkan konstruksi. Berikut beberapa persyaratan bahan baku beton penahan radiasi.

3.1.1. Semen

- Semen yang digunakan adalah semen *portland* yang sesuai dengan SNI 152049- 2004^[5]
- Semen yang digunakan pada pekerjaan konstruksi harus sesuai dengan semen yang digunakan pada perancangan proporsi campuran.

3.1.2. Agregat

Ukuran maksimum nominal agregat kasar harus tidak melebihi^[6] :

- 1/5 jarak terkecil antara sisi-sisi cetakan, ataupun
- 1/3 ketebalan pelat lantai, ataupun
- 3/4 jarak bersih minimum antara tulangan-tulangan atau kawat-kawat, bundel
- tulangan, atau tendon-tendon prategang atau selongsong-selongsong.

Spesifikasi Agregat Untuk Beton Penahan Radiasi^[7]

Beton penahan radiasi adalah komponen struktur dari beton yang diperlukan untuk melindungi manusia dari radiasi atau penyinaran yang membahayakan. Agregat untuk beton penahan radiasi harus memenuhi ketentuan-ketentuan dalam persyaratan umum sebagai berikut.

- agregat untuk beton radiasi harus memenuhi persyaratan agregat untuk beton normal,
- penggunaan agregat sintesis boron-frit dalam campuran beton tidak lebih dari 300 kg/m³ dan tidak boleh mengandung bahan larut dalam air lebih dari 2%

Persyaratan ketahanan keausan agregat kasar harus memenuhi ketentuan yaitu;

- agregat kasar bila diuji dengan metode uji keausan mesin abrasi Los Angeles tidak boleh melebihi 50%
- agregat kasar yang tidak memenuhi persyaratan butir 1) tersebut di atas dapat digunakan sebagai agregat beton untuk penahan radiasi, asal dapat dibuktikan bahwa beton yang dihasilkan mempunyai kekuatan yang cukup untuk memberikan kapasitas daya dukung beban aman terhadap struktur.



Agregat untuk beton penahan radiasi pengion adalah agregat berat alami dengan kandungan utama mineral hemanit, ilmenit, magnetit, dan barit serta agregat berat sintetis ferofosform yang merupakan campuran fosfida besi. Agregat beton ini harus memenuhi persyaratan untuk beton normal dan penggunaan agregat sintetis boron-frit tidak boleh lebih dari 300 kg/m^3 .

3.1.3. Air

Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan-bahan merusak seperti mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik, atau bahan-bahan lainnya yang merugikan terhadap beton atau tulangan.

Air pencampur yang digunakan pada beton prategang atau pada beton yang di dalamnya tertanam logam aluminium, termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan.

Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan pada beton, kecuali ketentuan berikut terpenuhi: Pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama. Hasil pengujian pada umur 7 dan 28 hari pada kubus uji mortar yang dibuat dari adukan dengan air yang tidak dapat diminum harus mempunyai kekuatan sekurang-kurangnya sama dengan 90% dari kekuatan benda uji yang dibuat dengan air yang dapat diminum. Perbandingan uji kekuatan tersebut harus dilakukan pada adukan serupa, terkecuali pada air pencampur, yang dibuat dan diuji sesuai dengan "*Metode uji kuat tekan untuk mortar semen hidrolis* (Menggunakan spesimen kubus dengan ukuran sisi 50 mm)" (ASTM C 109).

3.2. Perencanaan komposisi campuran semen, air dan agregat untuk beton normal penahan radiasi gamma

Pembuatan campuran dan pengadukan semen, air dan agregat harus menghasilkan campuran serbarata dengan ukuran takaran bahan baku tertentu. Faktor ratio air-semen menentukan kualitas beton yang dihasilkan. Bila ratio air-semen besar kekuatan beton menurun dan sebaliknya. Desain beton untuk mendapatkan densitas beton 2400 kg/m^3 , yaitu beton normal sebagai penahan radiasi, merujuk ke SNI 03-2494-2002 (SK SNI-1993)^[7] dan SNI DT-91-0008-2007^[8]. Berdasarkan Lampiran II Keputusan Ka Bapeten No.11/Ka-Bapeten/VI-99, densitas minimal beton bahan penahan radiasi adalah 2400 kg/m^3 dengan kuat tekan 3000 psi (20,7 MPa).



Dengan menggunakan nilai 20,7 MPa dan disesuaikan dengan tabel perbandingan komposisi (dalam kg) semen, agregat (kerikil dan pasir), dan air untuk membuat 1 m³ beton normal berdasarkan SNI DT-91-0008-2007, dipilih nilai mutu beton yang digunakan untuk desain beton penahan radiasi adalah 21,7 MPa (K 250). Sehingga didapat komposisi berat semen (portland) adalah 384 kg, pasir = 692 kg, kerikil = 1039 kg, air = 215 kg dengan faktor ratio air–semen = 0,56, dengan ketelitian 5 kg. Dengan komposisi ini akan menghasilkan beton dengan densitas minimal 2350 kg/m³ dengan mutu beton K250. Beton normal adalah beton yang mempunyai berat jenis 2200 - 2500 kg/m³ menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah serta tidak menggunakan bahan tambahan.

Dalam klasifikasi beton, beton normal masuk katagori kelas II. Beton kelas II adalah untuk pekerjaan-pekerjaan struktural secara umum. Beton kelas II dibagi dalam mutu-mutu standar B1, K125, K175 dan K225. Meskipun nilai mutu beton yang dipilih untuk desain penahan radiasi lebih besar dari K225 yaitu K 250, tapi dapat masuk kelas II beton normal. Hal ini dibolehkan untuk pertimbangan bahwa penahan radiasi ini berfungsi rangkap yaitu sebagai dinding irradiator penahan/perisai radiasi dan struktur penguat, dimana pada konstruksi itu menahan beban mati, beban hidup (ada *crane*) dan gempa. Oleh karena itu saat pengerjaannya perlu pengawasan mutu terdiri dari pengawasan yang ketat terhadap mutu bahan-bahan dengan keharusan untuk memeriksa kekuatan tekan beton secara kontinyu.

3.3. Desain Perisai Radiasi Beton, tebal dan geometrinya

Perencanaan perisai radiasi dalam bangunan ini akan lebih memperhatikan dari syarat aman terhadap radiasi daripada perhitungan secara struktur, sehingga ketebalan dinding dan atap akan ditentukan dengan perhitungan akibat radiasi.^[9]

Untuk hal tersebut di atas diperlukan beberapa syarat :

3.3.1. Syarat Bentuk

Bentuk bangunan harus dapat menyembunyikan sumber, sehingga paparan radiasi tidak langsung lurus, harus tersekat dan berbelok-belok. Ada labirin untuk akses masuk-keluar ruang irradiasi untuk kegiatan *maintenance*, dan lubang atap untuk proses *loading unloading* penggantian sumber lama dan baru. Bentuk bangunan irradiator adalah kotak/kubus, lihat Gambar 1 dan Gambar 2 pada lampiran 1.

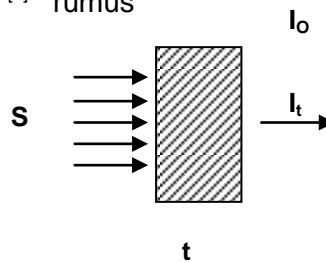


3.3.2. Syarat Aman

Bangunan dibuat dengan dinding dan atap dengan ketebalan berdasar pertimbangan keselamatan radiasi dari bahan beton, timah dsb. Di luar dinding harus memenuhi syarat aman untuk orang yang bukan pekerja radiasi dengan laju penyinaran tidak lebih dari 0,25 mR/jam (2,5 μ Sv/Jam)⁴¹. Untuk bangunan iradiator gamma digunakan material beton bertulang dengan $\rho = 2350 \text{ kg/m}^3$.

Perhitungan ketebalan perisai radiasi^[3] rumus

$$I_t = I_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^n$$



dengan I_t = laju penyinaran yang lolos

I_0 = laju penyinaran x satuan dari sumber

n = Banyaknya HVL

t = tebal bahan

Rumus Tebal perisai : $t = n \times \text{HVL}$

dalam perhitungan ini,

$$I_t = 2,5 \mu\text{Sv/Jam}$$

$$\mu = 0,078 \text{ cm}^{-1} \text{ untuk beton normal } \rho = 2350 \text{ kg/m}^3$$

$$I_0 = 500 \text{ kCi} = 18,5 \cdot 10^9 \text{ MBq, dan jarak sumber ke perisai (} x \text{) diasumsikan 2 m}$$

$$\text{HVL sinar gamma untuk beton} = 60,5 \text{ mm}^{[10]}$$

Energi gamma 1,17 Mev dan 1,33 Mev

$$I_0 = \frac{A \cdot \sum E_\gamma}{6 \cdot x^2}$$

$$I_0 = \frac{A \cdot \sum E_\gamma}{6 \cdot x^2} = \frac{18,5 \cdot 10^9 \text{ MBq} \cdot (1,17 + 1,33)}{6 \cdot 2^2} = 1927083,332 \mu\text{Sv/jam}$$

$$\text{Log} \frac{I_0}{I_t} = \text{log} \frac{1927083,332}{2,5} = 6,886960487$$



$$\mathbf{Log\ 2 = 0,301029995}$$

$$\mathbf{n = \frac{6,886960487}{0,301029995} = 22,9565}$$

$$t = n \times \text{HVL} = 22,9565 \times \text{HVL}$$

$$t = 22,9565 \times 60,5 \text{ mm}$$

$$t = 1400 \text{ mm} \text{ ----- } t = 1,5 \text{ m}$$

Jadi, tebal dinding/perisai ditentukan 1,5 m.

Perhitungan di atas menggunakan aktivitas sumber 2,5 x 200 kCi untuk faktor keamanan operasional, mengingat irradiator ini akan ditempatkan di dekat perkebunan karet, sehingga kemungkinan ruang irradiator dijadikan tempat penyimpanan sementara sumber – sumber bekas baik di dalam kolam maupun di atas kolam, Selain itu untukantisipasi peningkatan kapasitas dosis serap yang dibutuhkan untuk keperluan lain.

Untuk perhitungan lebih teliti, pertimbangan perhitungan perisai radiasi dapat dilakukan dengan program MCNP yang mempertimbangkan :

- Jarak sumber dengan dinding/atap
- Hamburan dan pantulan radiasi
- Bahan pembungkus sumber
- Media dari sumber sampai dinding dan atap (air, udara)

3.3.3. Syarat kokoh/kuat

Suatu bangunan harus kuat berdiri tegak dan dapat menahan gaya-gaya dari luar maupun dari dalam yaitu gaya beban berat sendiri, gaya beban peralatan dan gaya gempa.

Agar bangunan dapat berdiri kokoh harus secara khusus dilakukan perhitungan pondasi , harus benar dalam asumsi dan cermat dalam melakukan perhitungan. Dalam melakukan perhitungan strukturmenggunakan rumus/formula yang baku dan menggunakan standar/code yang relevan. Menggunakan asumsi-asumsi yang jelas Menggunakan parameter yang sudah jelas, misal rangka poison, modulus young, koefisien tarik/tekan, tekanan angin, tegangan permukaan tanah, daya dukung ijin, penurunan/settlement tanah .



Perhitungan struktur harus memuat kriteria desain, persyaratan beban-beban utama, kombinasi beban beban kritis dan faktor kritis. Stabilitas struktur yaitu kestabilan lateral dan longitudinal melalui kekakuan angka masukan, rangka terkekang, kombinasi antara kekakuan dan rangka terkukung dan sambungan pada konstruksi baja. Perhitungan struktur

- Beban berat g (t/m^2)
- Beban berat penahan P (ton)
- Beban gempa dengan percepatan gempa $a = g$ (percepatan gravitasi)

Dari beban seperti di atas akan menimbulkan momen pada tiap tinjauan. Misal pada atap, dinding dan fondasi. Harga momen dapat untuk menentukan dimensi bangunan dan kekuatan struktur. Formula-formula yang biasa dipakai untuk menghitung struktur beton mengacu pada ACI (American Concrete Institute)^{6]}, Peraturan Beton Bertulang Indonesia 71⁹⁾, SNI 1726-2002^{11]}, sedangkan konstruksi baja mengacu pada ASME dan ASTM

4. HASIL DARI PEMBAHASAN

Dari perhitungan struktur baja sebagai penangga kerane,di dapat profil baja untuk portal dipakai INP 40,sambungan antar girder dan kolom dengan girder menggunakan sambungan las. Untuk lebih jelas lihat gambar teknis sebagai lampiran.

Bahan perisai radiasi adalah beton normal dengan densitas $2350 \text{ kg} / \text{m}^3$, densitas ini lebih kecil dari yang ditetapkan oleh Bapeten yaitu $2400 \text{ kg} / \text{m}^3$. Konsekuensi dari perbedaan ini adalah tebal beton perisai radiasi harus lebih tebal dari ketentuan Bapeten, sehingga paparan radiasi yang lolos dari perisai tetap dalam batas aman sesuai aturan Bapeten ($0,25 \text{ mR/jam}$). Alasan menentukan densitas beton sebesar $2350 \text{ kg} / \text{m}^3$ adalah ditinjau dari faktor kemudahan untuk mendapatkan bahan baku beton, karena fakta di lapangan sangat sulit untuk mendapatkan bahan baku beton untuk mencapai densitas sebesar 2400 kg/m^3 .

Bahan baku beton normal adalah semen *portland* jenis yang ada di pasar, agregat kasar dan halus adalah batu krikil dan pasir, serta air. Semua bahan baku tersebut harus bersih, karena itu pada pelaksanaan pembuatan beton, perlu pengawasan ketat atas kualitas bahan baku. Komposisi bahan baku/ perbandingan komposisi (dalam kg) semen, agregat (krikil dan pasir), dan air untuk membuat 1 m^3 beton normal berdasarkan SNI DT-91-0008-2007^{8]}, dipilih nilai mutu beton yang digunakan untuk desain beton penahan radiasi adalah $21,7 \text{ MPa}$ (K 250), sehingga didapat komposisi berat semen (*portland*)



adalah 384 kg, pasir = 692 k, kerikil = 1039 kg, air = 215 kg dengan faktor ratio air – semen = 0,56, dengan ketelitian 5 kg. Dengan komposisi ini akan menghasilkan beton dengan densitas minimal 2350 kg/m³ dengan mutu beton K250. Beton normal adalah beton yang mempunyai berat jenis 2200 - 2500 kg/m³ menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah serta tidak menggunakan bahan tambahan. Dengan densitas beton 2350 kg/m³ dan komposisi bahan baku per m³ beton normal seperti di atas didapat tebal perisai radiasi sebesar 1,5 m. Geometri bangunan berbentuk kubus/kotak, dengan tebal dinding dan atap sama.

Perhitungan struktur gedung irradiator lebih menitikberatkan pada faktor keselamatan radiasi, artinya dengan densitas beton normal dan komposisi bahan baku seperti di atas untuk dimensi struktur sudah terpenuhi, sedangkan kekuatan struktur akan dihitung lebih rinci.

5. KESIMPULAN

Bangunan struktur baja sebagai penyangga kerane ,menggunakan baja profil INP 40,sistim penyambungan antar profil menggunakan las.Material perisai radiasi untuk irradiator dengan sumber Co-60 200 kCi adalah beton normal dengan densitas 2350 kg/m³. Bahan baku beton normal ini adalah semen portland yang ada di pasar, agregat kasar dan halus adalah kerikil dan pasir, dan air, tidak ada bahan tambahan lain. Dengan komposisi untuk membuat 1 m³ beton normal sbb : berat semen (*portland*) adalah 384 kg, pasir = 692 kg, kerikil = 1039 kg, air = 215 kg dengan faktor ratio air – semen = 0,56, dengan ketelitian 5 kg. Tebal beton/perisai radiasi adalah 1,5 m, untuk dinding maupun atap. Bangunan ruang irradiasi berbentuk kotak atau kubus dengan ukuran dalam 7 m x 10 m x 4 m .

6. DAFTAR PUSTAKA

- 1.SUNAGA,HIROMI, Design of irradiation facilities and safety evaluation, Takasaki Radiation Chemistry Research establishment, JAERI, Japan
- 2.AGGARVALKS.,MURALIDHARAN P., Gamma Irradiator Design Concept for RVNRL, Bhabha Atomic Research Centre,Bombay,India, 1990
- 3.HERMAN CEMBER, THOMAS E. JOHNSON, Introduction to Health Physics 4th ed. McGraw Hill, Colorado, State University Fort Collins, Colorado, 2009



-
4. Lampiran II Keputusan Kepala Bapeten No. 11/Ka-Bapeten/VI-99 tentang Izin Konstruksi dan Operasi Irradiator, 1999
 5. SNI 15-2049-2004, Semen Portland, Badan Standarisasi Nasional, 2004
 6. ACI 318-83, Commentary on Building Code Requirements for Reinforced Concrete, American Concrete Institute, November 1983.
 7. SNI-03-2494-2002, Spesifikasi Agregat untuk Beton Penahan Radiasi, Badan Standarisasi Nasional, Desember 2001.
 8. SNI-DT-91-0008-2007, Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Beton, 2007
 9. Peraturan Beton Bertulang Indonesia, N1-2, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Juli 1977
 10. <http://www.ndt.ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Radiography/Physics/HalfValueLayer.htm>, diunduh pada 14 nov. 2011.
 11. SNI 1726-2002, Standard Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung, Pusat Penelitian Pengembangan Teknologi Permukiman, April 2002