

PENENTUAN PERISAI RADIASI MESIN BERKAS ELEKTRON 350 keV/20 mA DI P3TM-BATAN YOGYAKARTA

Rany Saptaaji, Elisabeth Supriyatni, Sutadi

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Maju, Badan Tenaga Nuklir Nasional

ABSTRAK

PENENTUAN PERISAI RADIASI MESIN BERKAS ELEKTRON 350 keV/20 mA DI P3TM-BATAN YOGYAKARTA. Telah dilakukan kajian penentuan perisai radiasi mesin berkas elektron (MBE) 350 keV/20 mA. Dengan beroperasinya mesin berkas elektron, maka akan timbul sinar X akibat interaksi antara berkas elektron dengan bahan yang diradiasi maupun terhadap beam stopper. Sinar X tersebut dapat membahayakan keselamatan dan kesehatan manusia, apabila melebihi dosis tertentu. Oleh karena itu perlu dikaji kemampuan perisai radiasi yang akan digunakan untuk MBE demi keselamatan pekerja radiasi. Perisai radiasi berfungsi untuk menahan/mengurangi sinar X yang diterima pekerja radiasi. Perisai radiasi ruang MBE dibuat dari bahan beton normal dengan tebal beton 45 cm dan 100 cm dengan densitas beton $2,35 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$. Untuk batas laju dosis yang diijinkan sebesar 2,5 mrem/jam, ketebalan dinding perisai radiasi ruang MBE yang ada sekarang sudah memenuhi syarat keselamatan. Namun jika batas laju dosis yang diijinkan 1 mrem/jam, maka ketebalan dinding perisai radiasi ruang MBE sebelah barat dan timur perlu ditambah 2,75 cm.

Kata kunci: sinar X, perisai radiasi, mesin berkas elektron

ABSTRACT

DETERMINATION OF RADIATION SHIELDING FOR ELECTRON BEAM MACHINE (EBM) 350 keV/20 mA IN P3TM-BATAN YOGYAKARTA. The radiation shielding determination for electron beam machine 350 keV/20 mA has been studied. When electron beam machine is in operation, the X ray will be produced as the result of interaction between electron beam with materials to be irradiated such as with beam stopper. If the X rays is over than permissible dose it is dangerous to the health and personal safety. Therefore it is necessary to study the ability of radiation shielding to be used in EBM to protect the radiation personel. The function of radiation shielding is to shield or to reduce X rays which will be accepted by radiation personel. The radiation shielding of EBM room is constructed with concret density of $2.35 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ and has thickness of 45 cm and 100 cm. For the permissible dose rate of 2.5 mrem/hour, the thickness of EBM room shielding is satisfied to safety. Otherwise if the permissible dose rate limitation is reduced to 1 mrem/hour, the thickness of EBM room shielding has to be increased especially at western and eastern side by 2.75 cm of thickness respectively.

Key words: X ray, radiation shielding, electron beam machine

PENDAHULUAN

Pada saat ini Mesin Berkas Elektron (MBE) mulai banyak dimanfaatkan untuk teknik radiasi terhadap bahan dengan menggunakan berkas elektron yang dipercepat. Proses iradiasi dengan menggunakan MBE merupakan jenis teknologi yang baru apabila dibandingkan proses termal konvensional atau proses kimia. Mesin ini menghasilkan berkas elektron yang dipercepat oleh beda potensial. Berkas elektron tersebut akan diarahkan pada suatu bahan (target), sehingga akan terjadi interaksi antara berkas elektron dengan target maupun terhadap penutup berkas (*beam stopper*). Dari hasil interaksi ini akan menghasilkan sinar X yang dapat membahayakan keselamatan dan kesehatan manusia.

Pada akhir tahun 2003, rekayasa MBE 350 keV/20 mA yang ada di P3TM-BATAN diharapkan sudah dapat beroperasi. Sesuai dengan rencana MBE ditempatkan di salah satu ruangan yang ada di Bidang Akselerator. Untuk menjamin keselamatan pekerja perlu dikaji kemampuan perisai radiasi untuk menahan radiasi sinar X yang ditimbulkan akibat beroperasinya MBE. Ketebalan perisai radiasi dibuat agar mampu menahan sinar X dan dihitung berdasarkan besarnya energi dan arus berkas elektron maksimum yang dihasilkan oleh MBE.

Sinar X akan terbentuk apabila zarah ringar bermuatan, misalnya elektron oleh pengaruh gay inti atom bahan mengalami perlambatan. Sinar X yang tidak lain adalah gelombang elektromagne

yang terbentuk melalui proses ini disebut sinar X *bremstrahlung*. Sinar X yang terbentuk dengan cara demikian mempunyai energi paling tinggi sama dengan energi kinetik zarah bermuatan pada waktu terjadinya perlambatan. Pada proses *bremstrahlung* sinar X mempunyai kemungkinan dipancarkan ke segala arah.

Jenis radiasi yang mempunyai potensi bahaya bila berada di luar tubuh (eksternal) adalah radiasi neutron, sinar gamma dan sinar X, sebab mempunyai jangkauan yang panjang, daya tembus besar dan bersifat pengion meski secara tak langsung. Radiasi pengion adalah radiasi yang apabila melintasi bahan atau jaringan biologi dapat mengionisasi bahan atau sel jaringan. Proses ionisasi selalu mengubah atom atau molekul, sehingga dapat mengubah struktur molekul yang mengandung atom itu. Jika molekul yang terpengaruh ada dalam sel yang hidup, kadang-kadang sel itu dapat rusak, baik secara langsung, yaitu jika molekul memegang peran menentukan bagi sel, maupun secara tidak langsung melalui perubahan kimia yang terjadi dalam molekul di dekatnya, misalnya melalui terbentuknya radikal bebas.

Manusia menerima paparan radiasi yang berasal dari alam (sinar kosmik), sumber radiasi untuk medik (kedokteran), industri dan pekerjaan yang melibatkan pemakaian zat radioaktif dan atau sumber radiasi. Dosis radiasai sekecil apapun sudah dianggap mempunyai efek terhadap jaringan tubuh, meskipun efek tersebut baru terlihat bila dosisnya melebihi dosis ambang. Karena hal tersebut maka proteksi radiasi mempunyai filosofi dasar adanya asas manfaat, asas optimasi dan asas limitasi. Untuk sumber radiasi yang mempunyai potensi bahaya eksternal penerimaan radiasai dapat dikurangi dengan pengendalian sebagai berikut: pembatasan jangka waktu kerja, pembatasan jarak terhadap sumber radiasi, dan penggunaan perisai radiasi

Penggunaan perisai radiasi yang ditempatkan di antara sumber radiasi dan orang, adalah suatu cara untuk menekan penerimaan dosis agar tidak melebihi ketentuan yang telah ditetapkan (Nilai Batas Dosis). Pemakaian perisai radiasi di ruang MBE merupakan salah satu syarat mutlak dalam pengopersaian MBE, guna melindungi pekerja dari bahaya radiasi sinar X. Untuk itu perlu dikaji kemampuan perisai radiasi yang sudah ada dengan dilakukan perhitungan berdasarkan pada energi dan arus maksimal yang dihasilkan oleh MBE.

TEORI

Prinsip perisai radiasi adalah mengurangi fluks radiasi di balik perisai. Pengurangan ini dapat terjadi karena terjadinya interaksi antara radiasi

dengan bahan perisai. Dalam kaitannya dengan bahan perisai untuk radiasi sinar X, umumnya dipakai bahan yang mempunyai densitas tinggi seperti beton dan timbal, karena bahan tersebut cukup efektif untuk menyerap radiasi gamma dan sinar X^[1].

Perisai radiasi yang dipakai disini harus mampu menahan radiasi sinar X yang timbul akibat beroperasinya MBE, sehingga tidak membahayakan bagi pekerja yang berada di luar ruang MBE

Syarat agar pekerja radiasi tidak menerima dosis melebihi batas maksimum yang diijinkan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nasional, yaitu 50 mSv/tahun, maka laju dosis di luar ruang MBE harus $\leq 25 \mu\text{Sv/jam}$ (2,5 mrem/jam). Namun untuk perkembangan nantinya sesuai dengan rekomendasi ICRP No. 60 tahun 1990 nilai batas dosis (NBD) akan ditekan menjadi 20 mSv/tahun atau 10 $\mu\text{Sv/jam}$ (1 mrem/jam)^[2]. Agar nilai tersebut tercapai, maka ketebalan perisai radiasi ditentukan berdasarkan rumus sebagai berikut^[3]:

$$H_m \leq \frac{D_0 B_x T}{(1,67 \times 10^{-5}) d^2}$$

$$B_x \geq (1,67 \times 10^{-5}) \left[\frac{H_m d^2}{D_0 T} \right] \quad (2)$$

dengan

- B_x = rasio transmisi perisai untuk sinar X
- H_m = batas laju dosis maksimum yang digunakan (mrem jam⁻¹)
- d = jarak antara sumber sinar X dengan titik yang ditinjau
- D_0 = indeks laju dosis terserap pada jarak acuan standar 1 m dari sumber sinar X (rad m² menit⁻¹)
- T = faktor pemakaian

$$n = \log (1/B_x) \quad (3)$$

dengan :

- n = banyaknya TVL
- TVL = Tenth Value Layer bahan

Sehingga tebal perisai radiasi dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$S = T_i + (n \cdot T_e) \quad (4)$$

dengan:

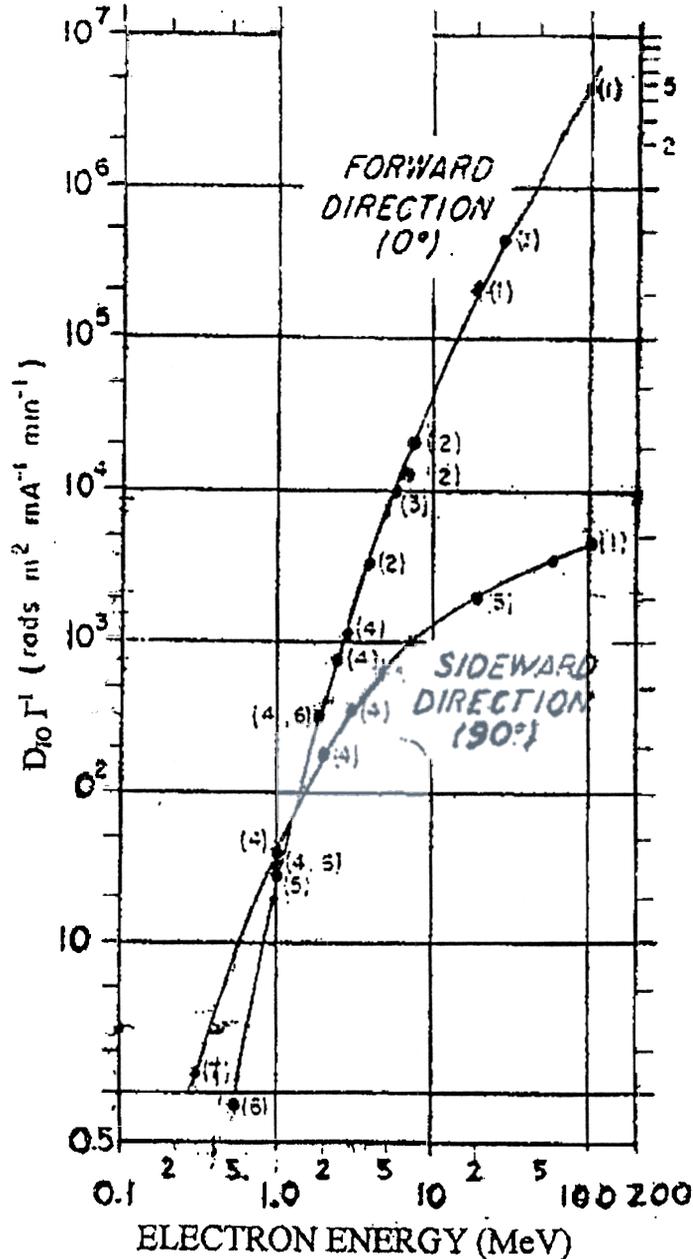
T_i = TVL pertama yang langsung berhadapan dengan sumber

T_e = TVL berikutnya (setelah T_i)

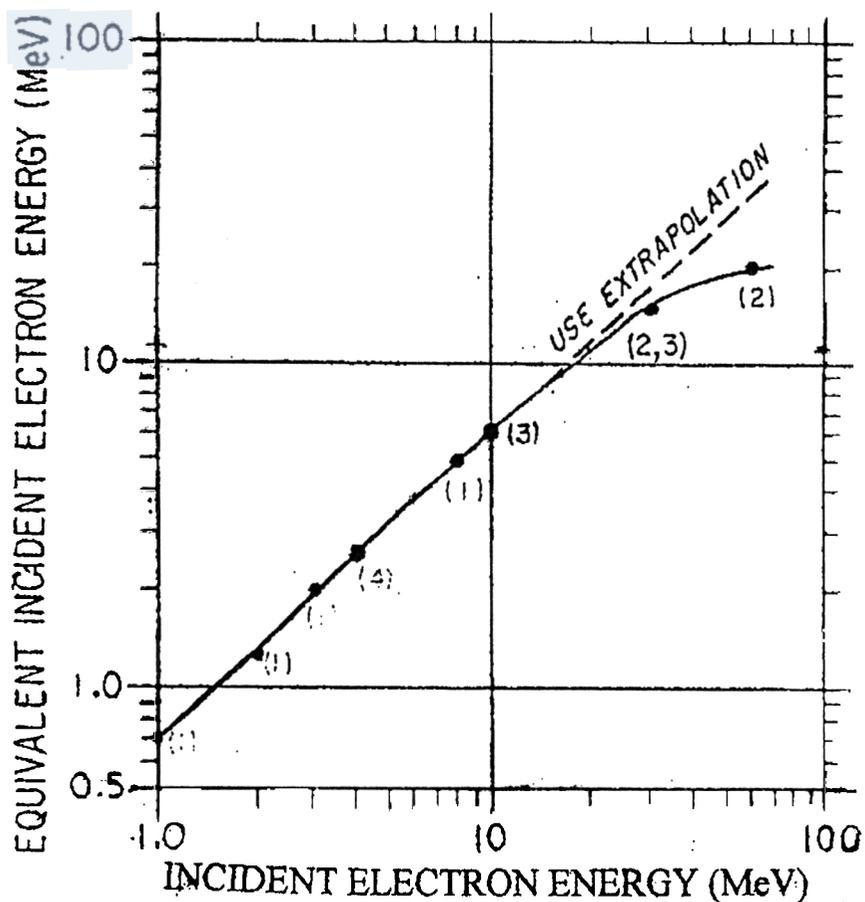
S = tebal perisai

Untuk lebih amannya tebal perisai radiasi (S) direkomendasikan untuk ditambah 1 Half Value

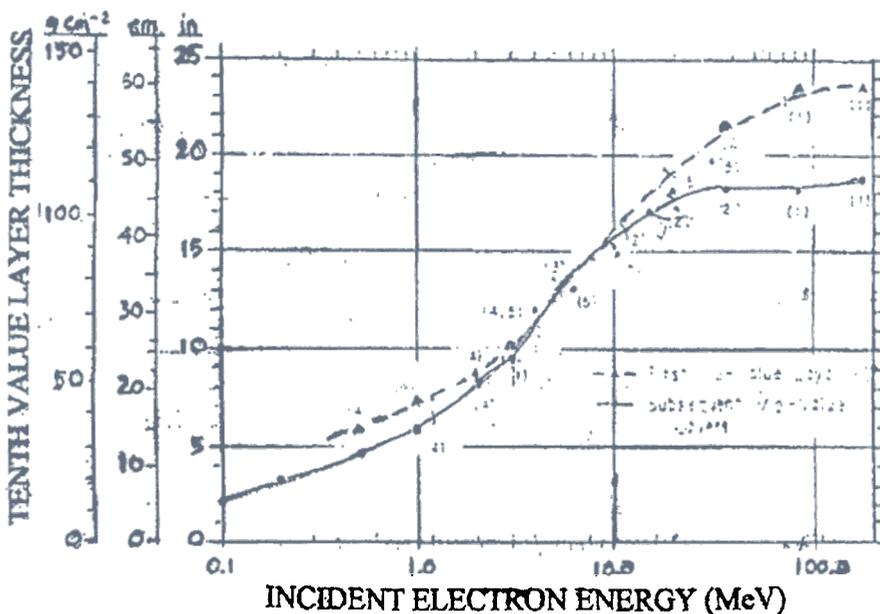
Layer (HVL)^[4]. Untuk harga D_o , T_i , T_e dan HVL dapat diperoleh dengan cara melihat/membaca kurva pada Gambar 1, 2, 3 dan Tabel 1. terlampir. D_o dapat dihitung dengan membaca kurva pada Gambar 1. T_i dan T_e dapat dihitung dengan membaca kurva pada Gambar 2 dan 3. Sedangkan HVL dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1. X-Ray Emission Rates from High-Z Targets^[3].



Gambar 2. Equivalent Incident Electron Energies^[3].



Gambar 3. Dose-Equivalent Index Tenth-Value Layers for Broad-Beam X-Rays in Concrete^[3].

Tabel 1. Half-Value and Tenth-Value Layers^[4].

Peak Voltage (kV)	Attenuation material					
	Lead (mm)		Concrete (cm)		Iron (cm)	
	HVL	TVL	HVL	TVL	HVL	TVL
70	0.17	0.52	0,84	2.8		
100	0.27	0.88	1.6	5.3		
125	0.28	0.93	2.0	6.6		
150	0.30	0.99	2.24	7.4		
200	0.52	1.7	2.5	6.4		
250	0.88	2.9	2.8	9.4		
300	1.47	4.8	3.1	10.4		
400	2.5	8.3	3.3	10.9		
500	3.6	11.9	3.6	11.7		
1000	7.9	26	4.4	14.7		
2000	12.5	42	6.4	21		
3000	14.5	48.5	7.4	24.5		
4000	16	53	8.8	29.2	2.7	9.1
6000	16.9	56	10.4	34.5	3.0	9.9
8000	16.9	56	11.4	37.8	3.1	10.3
10000	16.6	55	11.9	39.6	3.2	10.5
Cs-137	6.5	21.6	4.8	15.7	1.6	5.3
Co-60	12	40	6.2	20.6	2.1	6.9

TATA KERJA DAN PEMBAHASAN

Di dalam penentuan perisai radiasi untuk ruang MBE ada beberapa hal yang menjadi pertimbangan supaya dapat berfungsi dengan baik antara lain:

1. Perisai radiasi harus mampu menahan radiasi sinar X yang ditimbulkan oleh MBE, sehingga orang yang bekerja di luar ruang MBE tetap aman selama berlangsungnya operasi MBE
2. Perisai radiasi dibuat dari bahan beton, karena bahan beton cukup efektif untuk menyerap radiasi sinar X.

Berdasarkan pertimbangan tersebut di atas, maka perisai radiasi dibuat dari bahan beton dengan ketebalan tertentu, sehingga mampu menahan sinar X yang timbul akibat beroperasinya MBE pada energi dan arus berkas maksimal.

Perisai radiasi yang sudah ada terbuat dari bahan beton normal ($\rho = 2,35 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$) dengan ketebalan dinding perisai radiasi pada sebelah selatan 100 cm dan sebelah timur, barat dan utara masing-masing 45 cm. Berdasarkan pada perisai radiasi yang sudah ada dan posisi MBE yang

dibangun, maka dapat dihitung kemampuan setiap perisai radiasi berdasarkan pada jarak antara MBE sebagai sumber radiasi sinar X dengan perisai radiasi. Perhitungan ini dilakukan dengan ketentuan bahwa batas laju dosis yang boleh diterima pekerja radiasi $\leq 2,5 \text{ mrem/jam}$ dan berkas elektron berinteraksi dengan beam stopper yang terbuat dari bahan aluminium, maka ketebalan perisai radiasi dihitung sebagai berikut:

Perhitungan Tebal Perisai Radiasi

Mesin Berkas Elektron 350 keV/20 mA, dengan $E = 350 \text{ keV}$, $I = 20 \text{ mA}$, $d(90^\circ) = 4,7 \text{ m}$ (lihat Gambar 4.), $T = 1$, $H_m = 2,5 \text{ mrem/jam}$.

Perhitungan indeks laju dosis serap pada jarak 4,7 m dari sumber radiasi sinar X sebagai berikut :

Dari kurva pada Gambar 1 diperoleh:

$$Do(90^\circ, W) = 4 \text{ rad m}^2 \text{ mA}^{-1} \text{ min}^{-1}$$

Untuk arus berkas 20 mA, maka:

$$\begin{aligned} Do(90^\circ, W) &= 20 \times 4 \text{ rad m}^2 \text{ min}^{-1} \\ &= 80 \text{ rad m}^2 \text{ min}^{-1} \end{aligned}$$

Karena berkas elektron berinteraksi dengan *beam stopper* yang terbuat dari aluminium, maka besarnya laju dosis (D_o) dapat dihitung sebagai berikut^[3]:

$$D_o(90^\circ, Al)/D_o(90^\circ, W) = 0,3 \quad W = \text{Tungsten}$$

$$D_o(90^\circ, Al) = 0,3 \times D_o(90^\circ, W) \quad Al = \text{Aluminium}$$

$$D_o(90^\circ, Al) = 0,3 \times 80 \text{ rad m}^2 \text{ min}^{-1} \\ = 24 \text{ rad m}^2 \text{ min}^{-1}$$

Menghitung B_x pada arah 90° terhadap arah berkas elektron :

$$B_x \geq (1,67 \times 10^{-5}) \left[\frac{H_m d^2}{D_o T} \right]$$

$$B_x \geq (1,67 \times 10^{-5}) \left[\frac{2,5 \times (4,7)^2}{24 \times 1} \right]$$

$$B_x \geq 3,8427 \times 10^{-5}$$

$$n = \log(1/B_x) \quad n = \text{banyaknya TVL}$$

$$= \log(1/3,8427 \cdot 10^{-5})$$

$$= 4,416$$

Dari kurva pada Gambar 2 dan 3 diperoleh:

$$T_i = 4,9 \text{ inchi} = 12,446 \text{ cm}$$

T_i = TVL pertama yang menghadap sumber

$$T_e = 3,3 \text{ inchi} = 8,382 \text{ cm}$$

T_e = TVL berikutnya (setelah T_i)

Dengan menggunakan persamaan 4, dapat dihitung besarnya tebal perisai radiasi (S) sebagai berikut:

$$S = T_i + (n - 1) T_e \quad S = \text{tebal perisai radiasi}$$

$$= 12,446 + (4,416 - 1) 8,382$$

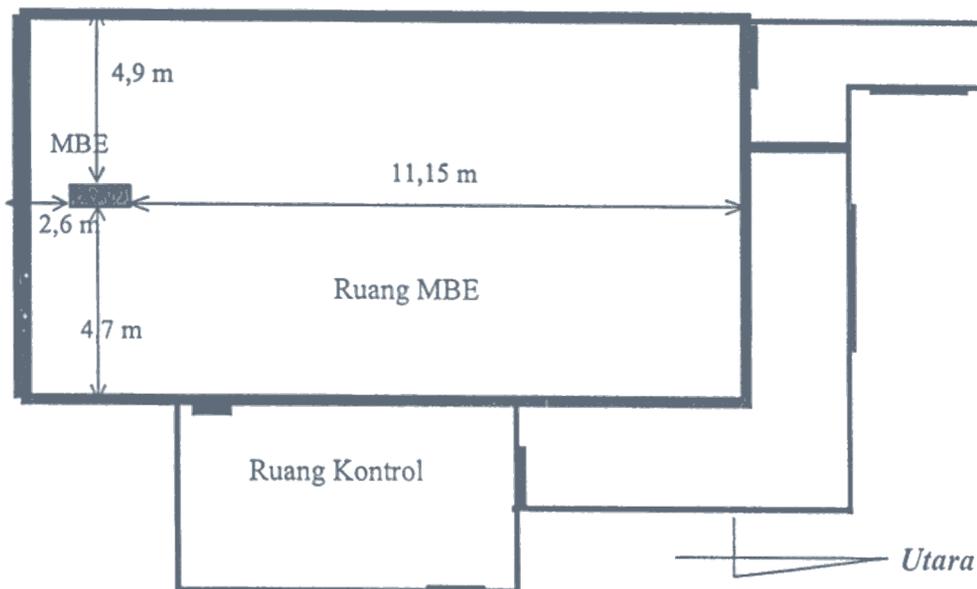
$$= 41,078 \text{ cm}$$

Rekomendasi : $S' = S + HVL$ HVL beton pada $E = 350 \text{ keV} = 3,3 \text{ cm}$ ^[4]

$$S' = 41,078 + 3,3$$

$$= 44,378 \text{ cm}$$

Jadi tebal perisai radiasi pada jarak 4,7 m dari sumber adalah 44,378 cm, dengan bahan dari beton normal $\rho = 2,35 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$. Dengan cara yang sama dapat dihitung besarnya tebal perisai beton untuk berbagai jarak antara sumber sinar X dengan posisi yang ditinjau. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 4. Skema perisai radiasi MBE.

Tabel 2. Tebal perisai radiasi pada berbagai jarak dari sumber radiasi (MBE).

No	Energi (keV)	Jarak sumber dengan perisai (m)	Laju paparan rad. pada jarak dari sumber ($\text{rad m}^2 \text{min}^{-1}$)	Tebal perisai radiasi (cm)		Tebal perisai radiasi yang terpasang (cm)
				Laju dosis maksimal 2,5 mrem/jam	Laju dosis maksimal 1 mrem/jam	
1.	350	2,60	3,550	48,685	52,020	100,00
2.	350	4,70	1,086	44,378	47,710	45,00
3.	350	4,90	0,999	44,071	47,406	45,00
4.	350	11,15	0,193	38,084	41,420	45,00

Dari hasil perhitungan ketebalan perisai radiasi dengan berdasar pada energi dan arus berkas maksimal MBE yaitu 350 keV/20 mA, dan laju dosis maksimal untuk pekerja radiasi 2,5 m rem/jam, maka ketebalan perisai radiasi yang dibutuhkan untuk perisai radiasi bagian selatan adalah 48,685 cm (lihat Gambar 4.), pada hal tebal perisai radiasi yang ada 100 cm. Jadi dalam hal ini perisai radiasi bagian selatan sudah memenuhi syarat keamanan. Sedangkan ketebalan perisai radiasi yang dibutuhkan untuk bagian timur, barat dan utara masing-masing: 44,378 cm, 44,071 cm, dan 38,084 cm. Namun ketebalan perisai radiasi yang ada untuk bagian timur, barat dan utara masing-masing 45 cm, sehingga perisai radiasi yang sudah ada cukup memenuhi syarat keamanan.

Dari Tabel 2 dan Gambar 4, dapat dilihat untuk batas laju dosis maksimum yang diijinkan 2,5 mrem/jam (laju batas dosis yang berlaku untuk pekerja radiasi pada saat ini), maka ketebalan dinding perisai radiasi ruang MBE sudah memenuhi syarat. Tetapi apabila laju batas dosis maksimum yang diijinkan adalah sebesar 1 mrem/jam (laju batas dosis yang berlaku pada saat yang akan datang), maka ketebalan dinding perisai radiasi ruang MBE sebelah barat dan timur perlu ditambah 2,75 cm.

KESIMPULAN

Telah dilakukan penentuan perisai radiasi untuk ruang MBE 350 keV/20 mA. Dari hasil perhitungan diperoleh ketebalan untuk dinding sebelah selatan, timur, barat dan utara masing-masing: 48,685 cm, 44,378 cm, 44,071 cm dan

38,084 cm. Dari hasil pengkajian diketahui bahwa ketebalan dinding perisai yang ada adalah 100 cm untuk bagian selatan dan 45 cm untuk bagian timur, barat dan utara. Sehingga ketebalan dinding perisai radiasi yang ada sudah memenuhi syarat untuk batas laju dosis yang diijinkan sebesar 2,5 mrem/jam. Apabila batas laju dosis yang diijinkan adalah sebesar 1 mrem/jam, maka ketebalan dinding perisai radiasi ruang MBE sebelah barat dan timur perlu ditambah 2,75 cm. Perisai radiasi ini berfungsi untuk menahan/mengurangi sinar X yang diterima pekerja radiasi, sehingga dapat melindungi pekerja radiasi dari bahaya sinar X yang timbul akibat beroperasinya mesin berkas elektron.

ACUAN

- [1] SUWARNO WIRYOSIMIN, *Mengenal Asas Proteksi Radiasi*, Penerbit ITB Bandung, 1995.
- [2] ANNALS OF THE ICRP, *Recomendations of The International Commision on Radiological Protection*, 1990.
- [3] NCRP Report No. 51, *Radiation Protection Design Guidenlines for 0.1 – 100 MeV Particle Accelerator Facilities*, Issued, March 1977.
- [4] BATAN-JAERI, *Radiation Shielding Design For X-Ray Room*, Training Course on Radiation Protection, Jakarta, 2001
- [5] SUDJATMOKO, dkk, *Perancangan Mesin Berkas Elektron 350 keV, 20 mA*, Seminar Sehari Perancangan Mesin Berkas Elektron 500keV/10mA, PPNY-BATAN, Yogyakarta, 1996.

TANYA JAWAB

Sayono

- Bagaimana apabila energi MBE dinaikkan lebih dari 350 keV, apakah perlu renovasi dinding ruangan tersebut agar mampu menahan paparan radiasi dari sinar X yang timbul? Karena dinding

yang ada untuk energi 350 keV sudah terlalu kritis keamanannya.

Rany

- Perlu dihitung kembali ketebalan dinding perisai radiasi yang diperlukan sesuai dengan besarnya energi dan arus berkas elektron yang digunakan, sehingga ketebalan perisai radiasi harus dibuat sesuai dengan hasil perhitungan tersebut.