

KONSTRUKSI DAN UJI FUNGSI PERISAI RADIASI MESIN BERKAS ELEKTRON 300 keV/20 mA

Rany Saptaaji, Sutadi, Sukardi, Sukaryono
Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan - BATAN
ptapb@batan.go.id

ABSTRAK

KONSTRUKSI DAN UJI FUNGSI PERISAI RADIASI MESIN BERKAS ELEKTRON 300 keV/20 mA. Telah dilakukan konstruksi dan uji fungsi perisai radiasi mesin berkas elektron (MBE) 300 keV/20 mA. Perisai radiasi berfungsi untuk menahan/mengurangi radiasi sinar X yang timbul akibat beroperasinya MBE, sehingga tidak membahayakan bagi orang yang bekerja di lingkungan tersebut. Perisai radiasi dibuat dari lempeng batangan timbal (Pb) dengan ukuran panjang 135 cm, lebar 10 cm, tebal 2,5 cm dan disusun menjadi perisai radiasi MBE. Lempeng batangan timbal dibuat dengan cara pengecoran dan difinishing secara mekanik dengan mesin, yang kemudian dipasang secara manual pada kerangka sehingga membentuk perisai radiasi MBE. Secara perhitungan tebal perisai radiasi sudah memenuhi syarat batas laju dosis yang ditetapkan oleh BAPETEN yaitu $\leq 2,5$ mrem/jam. Uji awal fungsi perisai radiasi menunjukkan bahwa hasil pengukuran laju dosis maksimum 0,26 mrem/jam pada kondisi operasi MBE dengan tegangan 209 kV, arus berkas elektron 50 μ A. Berdasarkan hasil uji awal tersebut maka konstruksi perisai radiasi telah memenuhi syarat batas laju dosis yang ditetapkan oleh BAPETEN.

ABSTRACT

CONSTRUCTION AND PERFORMANCE TEST OF RADIATION SHIELDING FOR 300 keV/20 mA ELECTRON BEAM MACHINE. The construction and performance test of radiation shielding for 300 keV/20 mA electron beam machine (EBM) has been done. Radiation shielding is used for reduce X-ray radiation which is generated by operation of the EBM, so it is not harmful for people who work in that environment. Radiation shielding plates made of bars of lead (Pb) with a length of 135 cm, 10 cm of width, 2.5 cm of thick and composed a EBM radiation shielding. The plates are made of lead by way of casting and finished mechanically by machine, then installed manually on a frame to form a EBM radiation shielding. In the calculation of thick radiation shield already qualified dose rate limit is set by BAPETEN ≤ 2.5 mrem/hr. The results of the initial test radiation shielding is functioning, it is shown by the results of measurements of the maximum dose rate 0.26 mrem/hr at the operating conditions of EBM with voltage 209 kV and 50 mA of electron beam current. Based on the results test of the construction of radiation shielding are qualified dose rate limit set by BAPETEN.

PENDAHULUAN

Peraturan proteksi radiasi dan ketentuan keselamatan kerja terhadap radiasi didasarkan pada prinsip bahwa bekerja dengan menggunakan sumber radiasi pengion dapat dan boleh dilakukan dengan cara membatasi dosis radiasi yang diterima oleh seseorang (pekerja radiasi) sampai serendah

mungkin. Salah satu tindakan yang harus dilakukan dalam menangani sumber atau medan radiasi pengion yaitu dengan cara mengadakan pemantauan. Pemantauan yang dimaksud dan dilakukan di sini tidak hanya terbatas pada para pekerja radiasi saja, tetapi juga terhadap tempat/daerah kerja dan lingkungan termasuk masyarakat umum.

Bidang Teknologi Akselerator dan Fisika Nuklir, PTAPB-BATAN Yogyakarta telah membangun mesin berkas elektron (MBE) 300 keV/20 mA. Apabila MBE beroperasi akan timbul sinar X dan gas ozon, hal ini tidak diinginkan karena sinar X maupun gas ozon dapat mengganggu kesehatan maupun keselamatan manusia apabila dosisnya berlebihan. Sinar X timbul akibat interaksi antara berkas elektron dengan materi yang diirradiasi maupun dengan bahan jendela pemayar (*scanning window*), sedangkan gas ozon timbul akibat interaksi berkas elektron dengan udara yang dilewati berkas tersebut. Oleh karena itu perlu dibuat perisai radiasi untuk MBE 300 keV/20 mA. Perisai radiasi ini dibuat dari timbal (Pb) bersusun dengan tujuan untuk memudahkan dalam pemasangan. Perisai radiasi yang dibuat sebagian besar merupakan konstruksi mekanik yang berfungsi untuk menahan/mengurangi radiasi sinar X dan mengungkung gas ozon yang timbul akibat beroperasinya MBE, sehingga tidak membahayakan bagi orang yang bekerja di lingkungan tersebut. Tebal perisai radiasi yang dikonstruksi berdasarkan rancangan pada besarnya energi dan arus berkas elektron maksimum yang dihasilkan oleh MBE 300 keV/20 mA.

TEORI PERHITUNGAN PERISAI RADIASI

Pada umumnya setiap radiasi nuklir yang melewati suatu bahan akan berinteraksi dengan unsur pembentuk bahan, yang berakibat perpindahannya energi radiasi kepada unsur tersebut. Perpindahan energi akan menyebabkan radiasi terserap dalam bahan tersebut, dimana besar kecilnya jumlah berkas radiasi yang lolos akan tergantung pada besarnya nilai koefisien serapan linier bahan dan tebal bahan. Tebal perisai radiasi dihitung menggunakan persamaan umum

perhitungan laju indeks dosis ekuivalen, seperti ditunjukkan dalam persamaan 1 berikut[1],

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

dengan B_x adalah rasio transmisi perisai untuk sinar X, H_m adalah batas laju dosis maksimum yang digunakan ($mrem \text{ jam}^{-1}$), d adalah jarak antara sumber sinar X dengan titik yang ditinjau, D_0 adalah indeks laju dosis terserap pada jarak acuan standar 1 m dari sumber sinar X ($rads \text{ m}^2 \text{ menit}^{-1}$) dan T adalah *occupancy factor*.

Untuk menghitung tebal perisai, harus dihitung terlebih dahulu banyaknya *teht value layer* (TVL) dengan persamaan 2 berikut⁽¹⁾,

$$n = \log \left(\frac{1}{B_x} \right) \quad (2)$$

dengan n adalah banyaknya TVL

Tebal perisai radiasi dapat dihitung menggunakan persamaan 3 berikut⁽¹⁾,

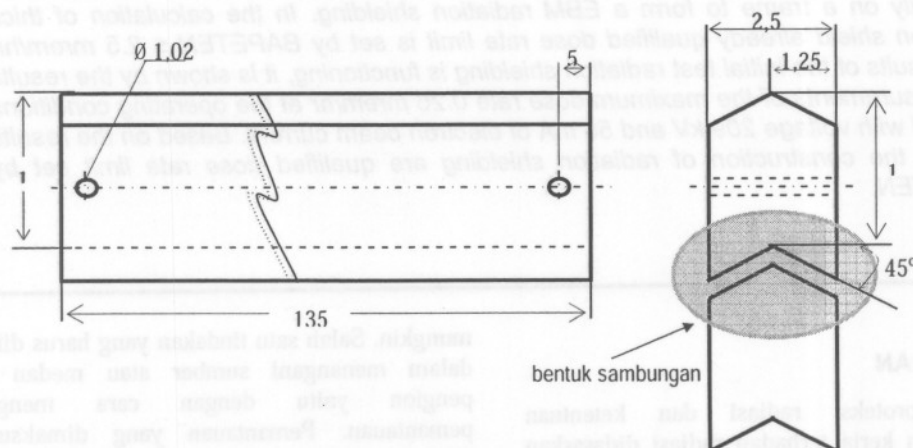
$$S = T_i + (n-1)T_e \quad (3)$$

dengan T_i adalah TVL pertama yang langsung berhadapan dengan sumber, T_e adalah TVL berikutnya (setelah T_i) dan S adalah tebal perisai. Untuk lebih amannya tebal perisai radiasi (S) direkomendasikan untuk ditambah 1 *half value layer* (HVL)⁽²⁾.

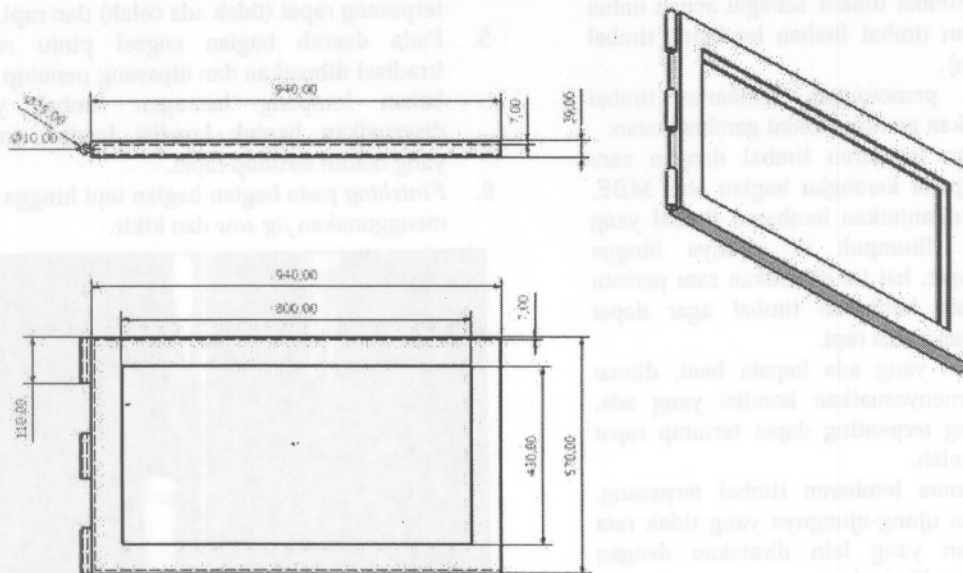
TATA KERJA

Konstruksi Perisai Radiasi

Dari hasil rancangan yang telah dilakukan sebelumnya, diperoleh bentuk dan dimensi perisai radiasi yang akan dicetak seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

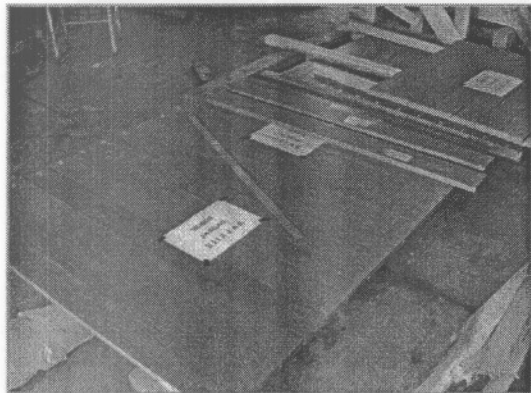


Gambar 1. Rancangan perisai radiasi sinar X dari bahan Timbal (Pb)



Gambar 2. Rancangan kerangka pintu ruang irradiasi

Konstruksi atau pembuatan perisai radiasi dilakukan dengan cara pengecoran bahan timbal dicampuri antimonium 1 – 2,5% dari berat timbal, kemudian dilakukan *finishing* menggunakan mesin sesuai gambar rancangan. Hasil cetak lempeng batangan timbal yang sudah *difinishing* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Lempengan batangan perisai radiasi dari bahan timbal (Pb)

Instalasi Perisai Radiasi

Dalam menginstal perisai radiasi, lempeng batangan timbal disusun pada kerangka MBE dengan pengait baut-mur hingga tidak ada sela. Adapun urutan pelaksanaan instalasi sebagai berikut:

a. Pemasangan dinding perisai radiasi

Dalam pemasangan dinding perisai radiasi, lempeng batangan timbal disusun pada kerangka yang melingkupi seluruh permukaan

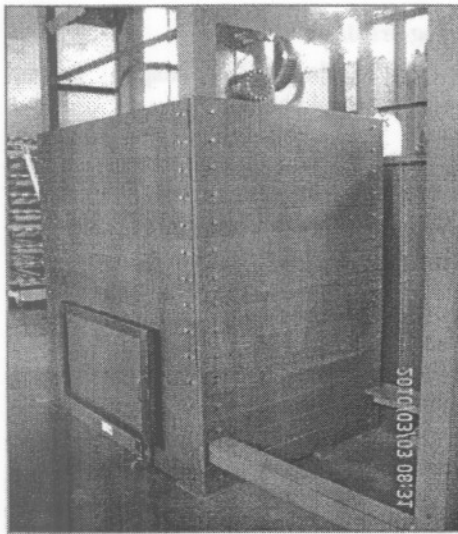
dinding tegak pada MBE, adapun urutan pelaksanaannya sebagai berikut:

1. Kerangka yang akan dipasang lempeng batangan timbal diberi tanda sesuai ukuran jarak lubang pada lempeng batangan timbal.
2. Dilakukan pengeboran pada kerangka dengan menggunakan mata bor dari ukuran kecil dan bertambah besar secara bertahap hingga sesuai dengan lubang pada lempeng batangan timbal yang akan dipasang.
3. Pemasangan lempeng batangan timbal pada kerangka mulai dari bagian bawah dengan menggunakan pengait baut-mur.
4. Dengan cara yang sama (langkah 1, 2 dan 3) dilanjutkan pemasangan lempeng batangan timbal yang berikutnya, hal ini dilakukan satu persatu untuk setiap lempeng batangan timbal agar dapat terpasang rapat dan rapi.
5. Setelah semua lempeng batangan timbal terpasang, pada bagian ujung-ujungnya yang tidak rata satu dengan yang lain diratakan dengan dipotong dan dihaluskan.
6. Pemasangan lempeng batangan timbal dilakukan pada 4 sisi dinding perisai radiasi yaitu pada sisi utara, timur, selatan dan barat, kecuali pada pintu ruang irradiasi.

b. Pemasangan perisai radiasi bagian atas

Dalam pemasangan perisai radiasi bagian atas, lempeng batangan timbal disusun pada kerangka MBE bagian atas yaitu antara *scanning horn* dan *accelerator tube*, adapun urutan pelaksanaannya sebagai berikut:

1. Kerangka bagian atas yang akan dipasang lembaran timbal diukur sebagai acuan untuk pemotongan timbal (bahan lembaran timbal tebal 3 mm).
2. Dilakukan pemotongan lembaran timbal menggunakan gunting sesuai gambar acuan.
3. Pemasangan lembaran timbal dengan cara ditumpuk pada kerangka bagian atas MBE, kemudian dilanjutkan lembaran timbal yang berikutnya ditumpuk di atasnya hingga tersusun rapat, hal ini dilakukan satu persatu untuk setiap lembaran timbal agar dapat terpasang rapat dan rapi.
4. Pada bagian yang ada kepala baut, dibuat potongan menyesuaikan kondisi yang ada, namun yang terpenting dapat tertutup rapat tanpa ada celah.
5. Setelah semua lembaran timbal terpasang, pada bagian ujung-ujungnya yang tidak rata satu dengan yang lain diratakan dengan dipotong dan dihaluskan.



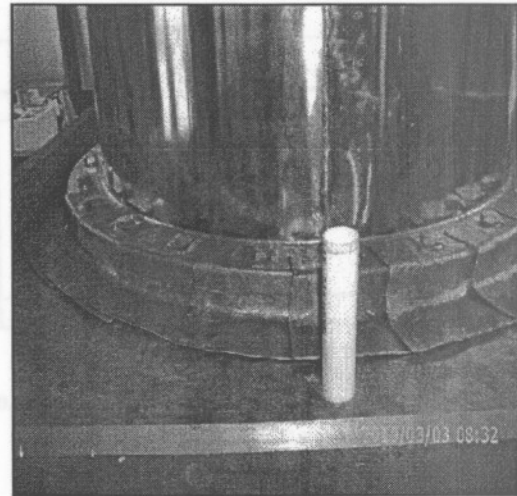
Gambar 4. Foto dinding perisai radiasi MBE 300 keV/20 mA

c. Pemasangan pintu ruang irradiasi

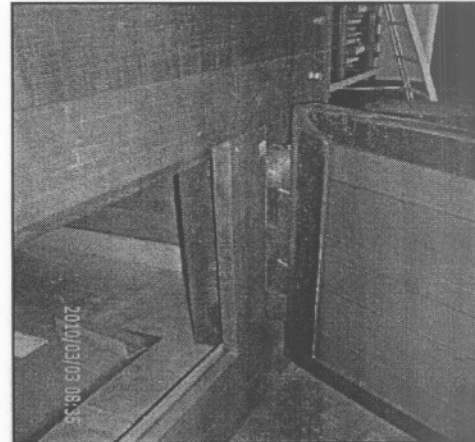
Dalam pemasangan pintu ruang irradiasi, lempeng batangan timbal disusun pada kerangka pintu ruang irradiasi yang menjadi satu dengan kerangka MBE, adapun urutan pelaksanaannya sebagai berikut:

1. Pemasangan engsel pintu pada kerangka MBE menggunakan las listrik
2. Pemasangan kerangka pintu pada engsel yang sudah terpasang pada kerangka MBE
3. Pemotongan lempeng batangan timbal sesuai panjang ukuran kerangka pintu
4. Pemasangan lempeng batangan timbal pada kerangka pintu yang dimulai dari bagian bawah, hal ini dilakukan satu persatu untuk

- setiap lempeng batangan timbal agar dapat terpasang rapat (tidak ada celah) dan rapi.
5. Pada daerah bagian engsel pintu ruang irradiasi dibuatkan dan dipasang penutup dari bahan lempeng batangan timbal yang disesuaikan bentuk kondisi bagian engsel yang belum tertutup rapat.
6. *Finishing* pada bagian-bagian tepi hingga rata menggunakan *jig saw* dan kikir.



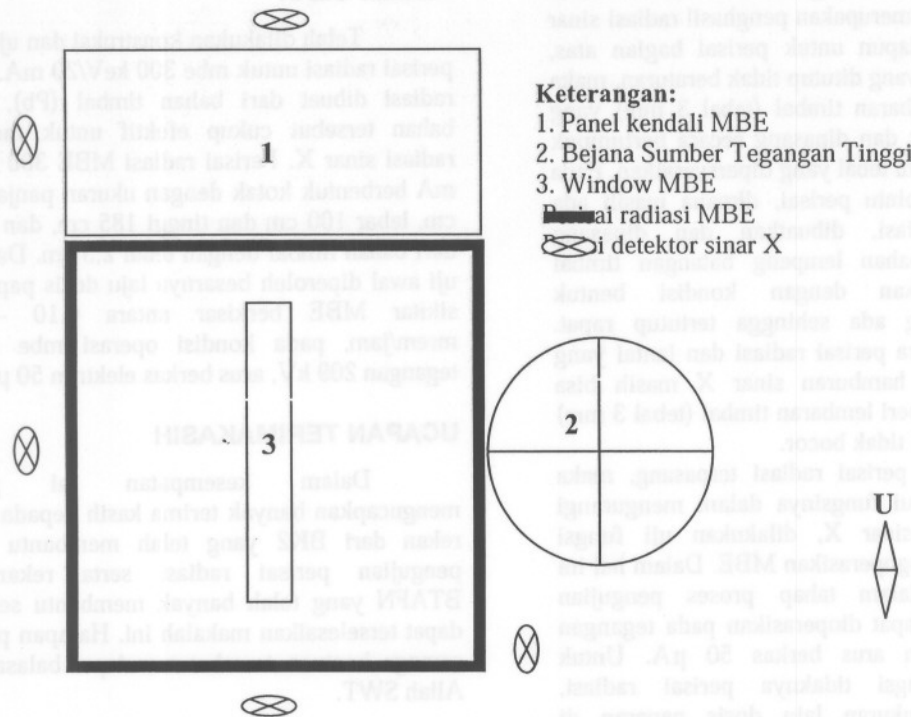
Gambar 5. Foto perisai radiasi bagian atas pada MBE 300 keV/20 mA



Gambar 6. Foto pintu ruang irradiasi MBE 300 keV/20 mA

Pengujian perisai radiasi

Setelah seluruh perisai radiasi MBE selesai diinstal dan untuk mengetahui fungsi perisai radiasi dalam mengurangi dosis paparan sinar X, maka dilakukan uji fungsi dengan cara mengoperasikan MBE yang selanjutnya dilakukan pengukuran laju dosis paparan di sekitar MBE. Untuk skema daerah pengukuran paparan radiasi sinar X di sekitar MBE ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Skema pandangan atas MBE 300 keV/20 mA

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penggunaan perisai radiasi yang ditempatkan di antara sumber radiasi dan orang atau pekerja, merupakan cara untuk menekan penerimaan dosis agar tidak melebihi ketentuan yang telah ditetapkan (nilai batas dosis). Pemakaian perisai radiasi dalam suatu MBE merupakan salah satu syarat mutlak dalam pengoperasian MBE guna melindungi pekerja dari bahaya radiasi sinar X.

Dalam konstruksi perisai radiasi MBE ada beberapa hal yang menjadi pertimbangan yaitu :

- Perisai radiasi harus mampu menahan radiasi sinar X yang ditimbulkan oleh MBE, sehingga personil yang bekerja di sekitar MBE tetap aman selama operasi MBE berlangsung.
- Perisai radiasi dibuat dari bahan yang efektif menyerap radiasi sinar X dan mempunyai volume yang kecil tetapi mampu mengamankan daerah sekitar MBE dari radiasi sinar X.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, maka perisai radiasi dipilih dari bahan timbal (Pb), karena bahan tersebut cukup efektif untuk menyerap radiasi gamma dan sinar X^[3]. Dari hasil rancangan ditentukan bahwa perisai radiasi untuk MBE 300 keV/20 mA dibuat dari bahan timbal (Pb) dengan bentuk lempeng batangan yang

disusun membentuk dinding dengan tebal 2,5 cm^[4]. Ukuran untuk masing-masing lempeng batangan adalah panjang 135 cm, lebar 10 cm dan tebal 2,5 cm. Sedangkan persyaratan teknis konstruksi sebagai berikut: bahan timbal *Broken Hill Australia* 99,99% dengan densitas (ρ) = $11,35 \cdot 10^3$ kg/m³, hasil cetak dan *machining* halus (permukaan halus), tidak keropos (*porous*) dan mempunyai ukuran presisi. Perisai radiasi MBE 300 keV/20 mA berbentuk kotak yang melingkupi daerah radiasi sinar X dan terbuat dari bahan timbal dengan tebal 2,5 cm, mempunyai ukuran panjang 135 cm, lebar 100 cm dan tinggi 185 cm.

Seperti yang telah diuraikan di depan, bahwa perisai radiasi ini dibuat dari susunan lempeng batangan timbal dengan tujuan memudahkan dalam melakukan bongkar-pasang. Sambungan antar lempeng batangan timbal dibuat miring membentuk sudut 90° dengan tujuan agar berkas sinar X yang menabrak perisai radiasi tidak dapat langsung melewati sela-sela sambungan antar timbal, karena pada dasarnya sinar X tidak dapat berbelok tanpa ada pengaruh dari luar. Seandainya ada sinar X yang melewati sela antar timbal, sinar X tersebut merupakan hamburan yang energinya sudah kecil dan tidak dapat langsung ke luar perisai karena masih tertahan pada sambungan perisai yang membentuk sudut 90°.

Dalam konstruksi dan instalasi perisai radiasi ini, telah berhasil dipasang perisai radiasi yang melingkupi sekitar corong pemayor (daerah

window MBE) dan ruang irradiasi, dimana kedua daerah tersebut merupakan penghasil radiasi sinar X terbesar. Adapun untuk perisai bagian atas, dimana bentuk yang ditutup tidak beraturan, maka dibuat dari lembaran timbal (tebal 3 mm) yang mudah dibentuk dan dipasang secara bertumpuk hingga memenuhi tebal yang dipersyaratkan. Pada daerah engsel pintu perisai, dimana masih ada kebocoran radiasi, dibuatkan dan dipasang penutup dari bahan lempeng batangan timbal yang disesuaikan dengan kondisi bentuk kebocoran yang ada sehingga tertutup rapat. Sedangkan antara perisai radiasi dan lantai yang memungkinkan hamburan sinar X masih bisa lolos ke luar, diberi lembaran timbal (tebal 3 mm) sehingga sinar X tidak bocor.

Setelah perisai radiasi terpasang, maka untuk mengetahui fungsinya dalam mengurangi dosis paparan sinar X, dilakukan uji fungsi dengan cara mengoperasikan MBE. Dalam hal ini MBE masih dalam tahap proses pengujian sehingga baru dapat dioperasikan pada tegangan 209 kV dengan arus berkas 50 μ A. Untuk mengetahui fungsi tidaknya perisai radiasi, dilakukan pengukuran laju dosis paparan di sekitar MBE. Pengukuran dilakukan di luar perisai radiasi pada arah horisontal terhadap sumber radiasi sinar X, dimana sumber radiasi sinar X terbesar pada daerah window MBE. Hasil pengukuran laju dosis paparan sinar X ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran laju dosis paparan sinar X di sekitar MBE

No.	Posisi pengukuran	Laju dosis paparan radiasi sinar X	Keterangan
1.	Sebelah utara MBE	0,10 - 0,18 mrem/jam	MBE beroperasi pada tegangan pemercepat 209 kV, arus berkas 50 μ A, laju dosis paparan latar: 0,011 mR/jam.
2.	Sebelah timur MBE	0,17 - 0,26 mrem/jam	
3.	Sebelah selatan MBE	0,12 - 0,20 mrem/jam	
4.	Sebelah barat MBE	0,14 - 0,21 mrem/jam	

Dari hasil pengukuran diperoleh laju dosis paparan radiasi sinar X di sekitar MBE antara 0,10 - 0,26 mrem/jam, laju dosis paparan ini masih jauh di bawah laju dosis yang dipersyaratkan oleh BAPETEN yaitu $\leq 2,5$ mrem/jam.

KESIMPULAN

Telah dilakukan konstruksi dan uji fungsi perisai radiasi untuk mbe 300 keV/20 mA. Perisai radiasi dibuat dari bahan timbal (Pb), karena bahan tersebut cukup efektif untuk menyerap radiasi sinar X. Perisai radiasi MBE 300 keV/20 mA berbentuk kotak dengan ukuran panjang 135 cm, lebar 100 cm dan tinggi 185 cm, dan terbuat dari bahan timbal dengan tebal 2,5 cm. Dari hasil uji awal diperoleh besarnya laju dosis paparan di sekitar MBE berkisar antara 0,10 - 0,26 mrem/jam, pada kondisi operasi mbe dengan tegangan 209 kV, arus berkas elektron 50 μ A.

UCAPAN TERIMAKASIH

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada rekan-rekan dari BK2 yang telah membantu dalam pengujian perisai radiasi serta rekan-rekan BTA FN yang telah banyak membantu sehingga dapat terselesaikan makalah ini. Harapan penulis, semoga bantuan tersebut mendapat balasan dari Allah SWT.

DAFTAR PUSTAKA

1. NCRP Report No. 51, Radiation Protection Design Guidelines for 0.1 - 100 MeV Particle Accelerator Facilities, Issued, March 1977.
2. ANNALS OF THE ICRP, Recommendations of The International Commission on Radiological Protection, 1990.
3. SUWARNO WIRYOSIMIN, Mengenal Asas Proteksi Radiasi, Penerbit ITB Bandung, 1995.
4. RANY SAPTAAJI, dkk. Rancangan Perisai Radiasi MBE 300 keV/20 mA untuk Irradiasi Lateks Alam, Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan Pengelolaan Perangkat Nuklir, Yogyakarta 5 September 2007.

TANYA JAWAB

Fajar Panuntun

- Berapa harga S (tebal) secara teori yang sesuai untuk kV 300 keV dibandingkan dengan 209 kV (uji coba ?) untuk penahan Pb ?

Rany Saptaji

- ✧ Tebal perisai radiasi sinar-X dan bahan Pb secara teori (perhitungan) adalah 2,5 cm untuk MBE 300 keV/20 mA.

✧ Untuk tegangan pemercepat 209 kV, tebal perisai yang dibutuhkan tergantung berapa arus berkas elektron yang dibutuhkan oleh MBE.

Tri Rusmanto

➤ Berapa maksimum perisai Pb atau kekuatan untuk menahan laju dosis sinar-X atau sinar γ ?

Rany Saptaaji

✧ Untuk MBE 300 keV/20 mA, secara teori membutuhkan perisai radiasi sinar-X dari bahan timbal (Pb) dengan tebal 2,5 cm.

