

UJI FUNGSI SISTEM PEMAYAR MESIN BERKAS ELEKTRON 300 KEV/20 MA

Rany Saptaaji, Sukaryono, Suhartono dan Sumaryadi

Pusat Sains dan Teknologi Akselerator, BATAN

Jl. Babarsari POB 6101 Ykbb, Telp. (0274) 488435, Yogyakarta 55281

ABSTRAK

UJI FUNGSI SISTEM PEMAYAR MESIN BERKAS ELEKTRON 300 keV/20 mA. Telah dilakukan uji fungsi sistem pemayar mesin berkas elektron (MBE) 300 keV/20 mA. Sistem pemayar merupakan bagian dari sistem optik mesin berkas elektron yang berfungsi untuk memayarkan (scanning) berkas elektron setelah keluar dari tabung pemercepat. Sistem pemayar terdiri dari sepasang elektromagnet dengan arus bolak-balik dan corong pemayar. Pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh medan magnet pemayar terhadap panjang pemayaran berkas elektron yang ke luar dari corong pemayar dan profil distribusi berkas elektron sepanjang jendela pemayar MBE. Hasil uji menunjukkan bahwa besarnya medan magnet pemayar berpengaruh pada panjang pemayaran berkas, dengan distribusi berkas elektron di sepanjang jendela pemayar MBE cukup baik pada posisi 5 – 55 cm.

Kata kunci: uji fungsi sistem pemayar, MBE 300 keV/20 mA

ABSTRACT

THE FUNCTIONAL TEST OF SCANNING SYSTEM FOR 300 keV/20 mA ELECTRON BEAM MACHINE. The functional test of scanning system for 300 keV/20 mA electron beam machine (EBM) has been carried out. The scanning system is a part of optic system for electron beam machine, that was used to scan electron beam after out from accelerator tube. The scanning system was consisted of a pairs of AC electromagnet and scanning horn. These test was carried out to know the magnetic field influence to scanning length of electron beam that out from scanning horn and electron beam distribution profile along EBM scanning window. Test results show that scanning magnetic field influenced to beam scanning length with electron beam distribution well along EBM scanning window at 5 to 55 cm of position.

Keywords: the functional test of scanning system, 300 keV/20 mA EBM

PENDAHULUAN

Akselerator merupakan suatu alat yang berfungsi untuk mempercepat partikel bermuatan, baik elektron, proton maupun ion. Salah satu jenis akselerator untuk mempercepat elektron adalah mesin berkas elektron (MBE). Pemanfaatan MBE dalam bidang industri telah berkembang pesat di negara-negara maju, terutama dalam proses pengeringan pelapisan (*curing of coatings*) permukaan suatu bahan, proses pembentukan ikatan silang pada plastik, karet dan bahan isolasi kabel, proses vulkanisasi karet alam, sterilisasi peralatan medis, pengawetan bahan makanan, modifikasi tekstil dan *graft polymerization* [1-4]. Dengan teknologi iradiasi ini dapat menghasilkan lateks pra-vulkanisasi sebagai berikut: bersifat stabil dalam penyimpanan sehingga sangat cocok untuk industri kecil dan menengah, memiliki kadar protein, karbohidrat dan lemak yang rendah serta bebas dari nitrosamine dan protein alergen yang sampai saat ini belum ada cara lain untuk mengatasinya. Pada saat ini PSTA-BATAN sedang melakukan kegiatan rancangbangun MBE untuk iradiasi lateks karet

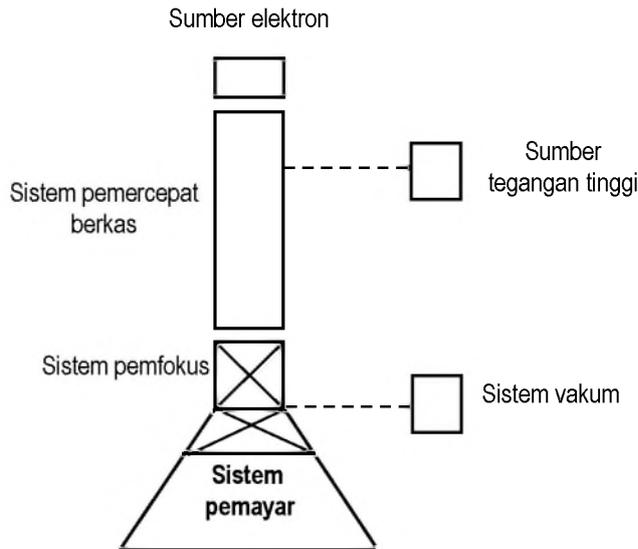
alam, dan telah terintegrasi satu unit MBE dalam tahap uji fungsi beberapa komponen utamanya.

Secara garis besar MBE terdiri dari beberapa komponen yaitu: sumber elektron, sumber tegangan tinggi, tabung pemercepat, sistem optik (pemfokus dan pemayar) dan sistem vakum. Dalam operasinya MBE memerlukan sistem pemayar yang berfungsi sebagai pembelok/penyimpang berkas setelah keluar dari tabung pemercepat agar berkas elektron bergerak ke arah samping kanan dan kiri sumbu berkas, sehingga berkas elektron mengenai seluruh permukaan target yang diiradiasi.

Prinsip kerja sistem pemayar adalah membelokkan berkas elektron dari arahnya semula dengan menggunakan medan magnet bolak-balik yang mempunyai frekuensi tertentu untuk memberikan iradiasi pada bahan yang bergerak memotong arah berkas elektron. Medan magnet yang digunakan untuk membelokkan berkas elektron dihasilkan oleh elektromagnet. Pembelokan berkas elektron memanfaatkan pengaruh medan magnet dan gaya Lorentz yang timbul akibat gerak elektron melewati suatu medan magnet, dalam hal ini medan magnet dihasilkan oleh elektromagnet. Beberapa bagian penting sistem pemayar adalah:

elektromagnet, catu daya elektromagnet dan corong pemayar. Catu daya menghasilkan arus bolak-balik gelombang segitiga agar berkas pemayaran merata.

Beberapa waktu yang lalu telah dilakukan integrasi sistem pemayar dengan MBE. Kegiatan selanjutnya, dilakukan uji fungsi sistem pemayar sesuai dengan kemampuan MBE yang sedang diuji, dalam hal ini MBE baru dapat beroperasi dengan aman pada tegangan pemercepat 200 kV.



Gambar 1. Skema Mesin Berkas Elektron

TEORI

Elektromagnet

Elektromagnet adalah magnet buatan yang berasal dari arus listrik. Elektromagnet biasanya dibuat dari lilitan kawat email atau solenoid yang dialiri arus listrik, sehingga di sekitar kawat tersebut akan timbul suatu medan gaya yang sering disebut medan magnet. Apabila arus listrik mengalir melalui kumparan maka inti dari kumparan konduktor menjadi magnet. Untuk memperbesar medan magnet yang ditimbulkan maka digunakan inti dari besi atau bahan feromagnetik. Rumusan induksi magnet (medan magnet) B_o di dalam solenoid adalah [5]:

$$B_o = \frac{\mu_o NI}{L} \quad (1)$$

dengan μ_o adalah permeabilitas, N adalah jumlah lilitan kumparan, I adalah arus kumparan dan L panjang kumparan.

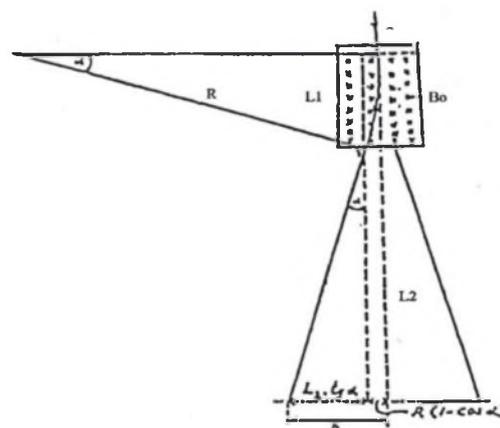
Medan magnet dapat dihasilkan oleh elektromagnet yang dialiri arus listrik. Apabila berkas elektron memotong medan magnet secara tegak lurus, maka berkas elektron akan dibelokkan akibat pengaruh gaya Lorentz, karena elektron merupakan partikel ringan, bermuatan dan

mempunyai sifat antara lain dapat dibelokkan oleh medan magnet atau medan listrik. Karena sifatnya demikian, maka apabila diperlukan pengaturan arah (pembelokan) berkas elektron dapat dilakukan dengan menggunakan medan magnet atau medan listrik.

Sistem pemayar berkas elektron

Sistem pemayar merupakan salah satu komponen utama MBE yang berfungsi untuk membelokkan berkas elektron sedemikian rupa sehingga berkas elektron dapat mengenai seluruh permukaan material yang diradiasi. Dengan sistem ini memungkinkan untuk irradiasi bahan dengan permukaan yang luas dengan berkas elektron di atmosfer dan memberikan medan irradiasi yang cukup lebar dengan dosis yang relatif seragam.

Prinsip kerja dari sistem pemayar adalah membelokkan berkas elektron dari arahnya semula dengan menggunakan dua buah kutub magnet. Kedua kutub magnet tersebut dipasang berhadapan dan tegak lurus terhadap arah berkas elektron. Sudut pembelokkan berkas elektron dalam sistem pemayar biasanya antara $20^\circ - 30^\circ$, karena pada sudut yang lebih besar energi elektron berkurang cukup besar dan kedalaman penetrasi elektron ke dalam materi (obyek) juga akan berkurang [6]. Berkas elektron yang melewati medan magnet bolak-balik akan mengalami pembelokkan bolak-balik pula. Oleh karena itu, arus yang digunakan dalam elektromagnet pemayar adalah arus bolak-balik, sehingga medan magnet yang ditimbulkan berupa medan magnet bolak-balik. Frekuensi pemayaran berkas elektron dalam arah tegak lurus akan menentukan keseragaman dosis irradiasi pada permukaan bahan.



Gambar 2. Pembelokan berkas elektron dalam sistem pemayar MBE [6]

Apabila berkas elektron melewati medan magnet dengan arah tegak lurus terhadap arah medan magnet, maka berkas elektron akan dibelokkan menurut lintasan lengkung. Jari-jari lintasan elektron

(R) dalam medan magnet dapat dinyatakan dengan persamaan [6].

$$R = \frac{1}{B_o} \left(2m \frac{U}{e} \right)^{1/2} \quad (2)$$

Sedangkan besar sudut pembelokan elektron (α) dinyatakan sebagai berikut [2].

$$\alpha = \arcsin B_o L_1 \left(2m \frac{U}{e} \right)^{1/2} \quad (3)$$

dengan m adalah masa elektron (kg), U adalah tegangan pemercepat (Volt), B_o adalah induksi magnet (Wb/m^2), e adalah muatan elektron (Coloumb) dan L_1 adalah panjang elektromagnet (m).

Magnet pemayar

Magnet pemayar berupa elektromagnet yang terdiri dari kumparan (solenoid), inti magnet dan catu daya. Kumparan dibuat dari kawat email diameter 1 mm yang dililitkan pada koker dari bahan pertinik, sedangkan isolator kumparan dari kertas isolasi tebal 0,2 mm. Kumparan dibuat dua buah, masing-masing dengan jumlah lilitan sebanyak 800. Inti magnet berupa pelat besi lunak (*kern trafo*), tebal 0,8 mm, yang disusun membentuk untai magnet menyerupai

magnet tipe H dengan jarak antar kutub magnet 10 cm, dengan ukuran penampang kutub yang berbentuk segi empat 21,5 cm x 13 cm. Catu daya arus bolak-balik gelombang segitiga.

Sistem Pemayar

Sistem pemayar berkas elektron yang dibuat untuk MBE berupa lensa magnetik yang berbentuk elektromagnet dan corong pemayar. Medan magnet yang ditimbulkan oleh kumparan elektromagnet berfungsi sebagai lensa terhadap berkas elektron yang melewatinya. Kumparan dirancang sedemikian rupa sehingga arah medan magnet di celah antar kutub tegak lurus terhadap berkas elektron. Elektromagnet pemayar terdiri dari kumparan solenoid dan inti magnet, yang dioperasikan dengan catu daya arus listrik bolak-balik. Corong pemayar berbentuk trapesium dengan ukuran lebar atas 268 mm, lebar bawah 700 mm, tinggi 700 mm, panjang dan lebar jendela (*window*) masing-masing 600 mm dan 60 mm. Sistem pemayar yang dibuat diletakkan setelah tabung pemercepat dan pemfokus, dirancang untuk energi elektron maksimum 300 keV, besar sudut pemayaran 20° . Konstruksi sistem pemayar ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Konstruksi Sistem Pemayar

TATA KERJA

Bahan dan Alat

- a. Unit MBE
- b. Target dari kertas kalkir
- c. dosimeter CTA
- d. *Spectrophotometer Genesys 5*

Pengujian Sistem Pemayar

Uji fungsi ini dilakukan dengan 2 cara yaitu yang pertama mengetahui pemayaran berkas elektron

dengan melihat jejak berkas elektron yang terkena pada kertas kalkir yang dipasang di bawah jendela pemayar MBE, dan yang kedua mengetahui profil distribusi dosis berkas elektron menggunakan dosimeter CTA yang dipasang di bawah jendela pemayar MBE.

Untuk mengetahui jejak berkas elektron yang terkena pada kertas kalkir dilakukan sebagai berikut: kertas kalkir diletakkan di luar vakum di bawah jendela pemayar MBE, mengingat bentuk jendela pemayar MBE melengkung maka untuk memperoleh

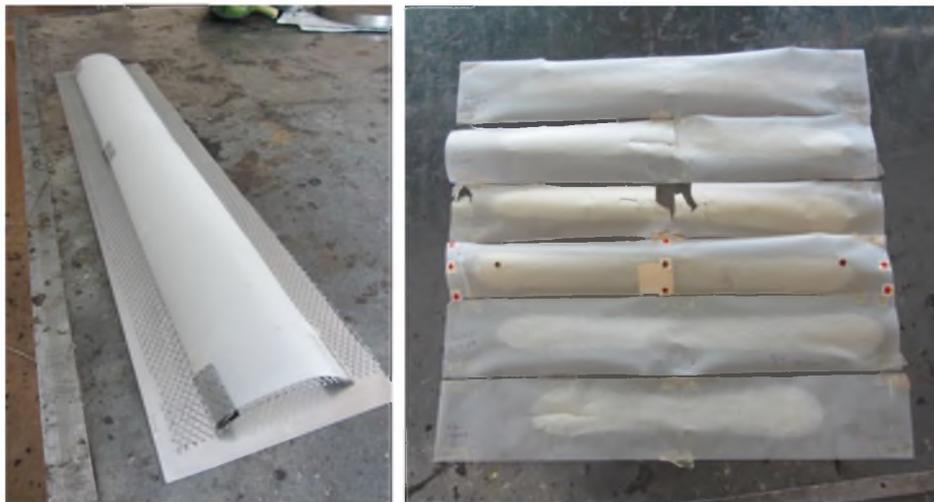
jejak berkas elektron mendekati yang sebenarnya kertas kalkir ditempelkan pada kawat kasa yang mempunyai kelengkungan sama dengan jendela pemayar MBE. Kemudian kertas kalkir pada kawat kasa ini diletakkan di bawah jendela pemayar MBE dengan jarak ± 2 cm. Selanjutnya dilakukan irradiasi berkas elektron pada kertas kalkir dengan mengatur tegangan pemercepat, arus berkas elektron dan variasi arus magnet pemayar.

Pengukuran profil distribusi dosis berkas elektron dilakukan dengan cara sebagai berikut: memotong dosimeter CTA sepanjang ± 6 cm sebanyak 11 potong dan diberi nomor 1 s/ 11, kemudian dipasang di bawah sepanjang jendela pemayar MBE dengan jarak 5 cm untuk tiap dosimeter CTA. Melakukan irradiasi dosimeter CTA yang sudah terpasang dengan mengatur tegangan pemercepat dan arus berkas elektron. Dosimeter CTA yang sudah diiradiasi dikondisikan selama ± 2 jam, kemudian diukur nilai absorban pada dosimeter CTA menggunakan *Spectrophotometer Genesys 5*. Setelah

diperoleh nilai absorban, dengan menggunakan kurva kalibrasi dosis vs absorban dapat ditentukan besarnya dosis serap.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah sistem pemayar dapat berfungsi atau tidak. MBE dioperasikan pada tegangan pemercepat 200 kV, dengan arus berkas elektron $\pm 50 \mu\text{A}$, dimana arus magnet pemayar divariasi mulai 0,25 – 0,47 A, sedangkan target teradiasi dari bahan kertas kalkir yang apabila terkena berkas elektron akan meninggalkan jejak. Pada uji jejak berkas elektron ini arus berkas yang digunakan cukup kecil supaya kertas kalkir tidak terbakar. Dari jejak berkas tersebut dapat dilihat fungsi tidaknya sistem pemayar. Dalam pengujian diperoleh panjang jejak berkas elektron pada kertas kalkir seperti ditunjukkan pada Gambar 4 dan Tabel 1.



Gambar 4. Hasil pemayaran berkas elektron pada kertas kalkir

Tabel 1. Hasil uji sistem pemayar MBE lateks (20-8-2015)

No	Tegangan magnet pemayar (V)	Arus magnet pemayar (A)	Panjang berkas (cm)	Lebar berkas (cm)	Keterangan
1	9	0,25	36	2,5 – 3,5	Target berupa kertas kalkir. Target di dalam jendela pemayar.
2	12,5	0,35	43,5	2,5 – 3,5	
3	14,5	0,41	51,5	2,5 – 3,5	
4	16,5	0,47	59,5	2,5 – 3,5	

Gambar 4 menunjukkan profil jejak berkas elektron pada kertas kalkir, sedangkan pada Tabel 1 menunjukkan panjang jejak berkas elektron pada kertas kalkir untuk berbagai besaran arus magnet

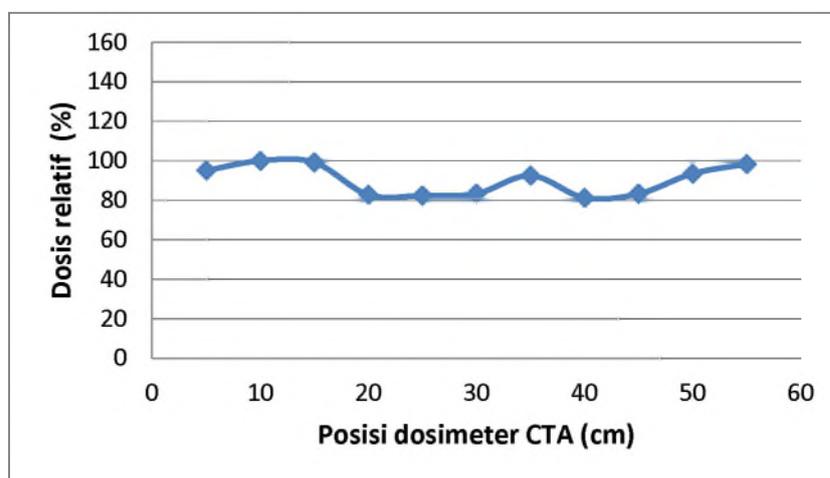
pemayar. Terlihat bahwa panjang jejak berkas elektron dipengaruhi oleh besar kecilnya arus magnet pemayar, semakin besar arus magnet pemayar maka jejak berkas elektron semakin panjang begitu pula

sebaliknya, hal ini dapat dipahami karena dengan bertambahnya arus magnet, medan magnet akan bertambah. Hal ini sudah sesuai dengan rumus medan magnet $B_o = \mu_o N I / L$, yang menyatakan bahwa medan magnet (B) sebanding dengan arus kumparan (I).

Sedangkan data hasil pengukuran profil distribusi dosis berkas elektron sepanjang pemayaran berkas (panjang jendela pemayar 60 cm) ditunjukkan pada Tabel 2, dan dibuat kurva hubungan antara dosis relatif vs posisi dosimeter CTA seperti dalam Gambar 5.

Tabel 2. Hasil pengukuran profil distribusi dosis serap sepanjang jendela pemayar (60 cm)

No.	Posisi (cm)	Dosis (kGy)	Dosis relatif (%)	Keterangan
1.	0	-	-	Dmaks/Dmin = 100/81,3 = 1,23
2.	5	104,5	95,1	
3.	10	109,8	100 (Dmaks)	
4.	15	109,0	99,2	
5.	20	91,0	82,8	
6.	25	90,5	82,4	
7.	30	91,6	83,4	
8.	35	101,6	92,5	
9.	40	89,3	81,3 (Dmin)	
10.	45	91,5	83,3	
11.	50	102,7	93,5	
12.	55	108,1	98,4	
13.	60	-	-	



Gambar 5. Kurva hubungan antara dosis relatif vs posisi dosimeter CTA sepanjang jendela pemayar MBE

Baik tidaknya pemayaran berkas elektron diindikasikan dari karakteristik profil distribusi dosis berkas hasil pemayaran. Karakteristik profil distribusi dosis berkas pemayaran merupakan parameter irradiasi karena terkait dengan efisiensi utilitas berkas elektron pada aplikasi MBE. Aplikasi MBE dalam industri sangat diperlukan karakteristik profil berkas searah pemayaran yang akan

menentukan D_{maks} (dosis maksimum) dan D_{min} (dosis minimum) dari profil distribusi dosis berkas tersebut.

Dalam proses irradiasi, pengukuran dosis maksimum (D_{maks}) dan dosis minimum (D_{min}) sangat penting, jika terdapat perbedaan yang cukup besar antara D_{maks} dan D_{min} berarti irradiasi tidak seragam/homogen. *Homogenitas* atau keseragaman distribusi dosis radiasi di sepanjang jendela pemayar

berkas dinyatakan dari perbandingan D_{maks}/D_{min} . Bila harga ini bernilai mendekati 1, maka distribusi dosis dapat dikatakan homogen. Dalam praktek khususnya dalam industri, perbandingan D_{maks}/D_{min} dapat mencapai 1 sampai 1,5 [7]. Pada proses radiasi tertentu perlu ditetapkan toleransi harga D_{maks}/D_{min} yang dianggap masih dapat memberikan produk yang baik. Hal ini tergantung kasus demi kasus terhadap perubahan kimia/fisika yang diinginkan terhadap bahan yang dirradiasi.

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa distribusi dosis berkas elektron pada posisi 5 sampai 55 cm harga $D_{maks}/D_{min} = 1$, sehingga dapat dikatakan keseragaman dosis serap cukup baik pada panjang jendela pemayar berkas 50 cm (5 s/d 55 cm), karena masih dalam batas (*range*) yang ditetapkan yaitu $D_{maks}/D_{min} < 1,5$. Pengukuran keseragaman dosis berkas elektron ini dilakukan dalam kondisi MBE beroperasi pada tegangan pemercepat 200 kV dengan arus berkas 0,5 mA.

Dari kedua hasil uji tersebut menunjukkan bahwa sistem pemayar berkas elektron MBE lateks telah berfungsi dengan distribusi berkas elektron di sepanjang jendela pemayar MBE cukup baik pada posisi 5 – 55 cm.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian sistem pemayar MBE lateks dapat disimpulkan bahwa,

1. Sistem pemayar berkas elektron telah berfungsi, dimana besarnya medan magnet pemayar berpengaruh pada panjang pemayaran berkas.
2. Distribusi berkas elektron di sepanjang jendela pemayar MBE cukup baik pada posisi 5 – 55 cm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kegiatan ini dibiayai dengan anggaran DIPA-PSTA tahun 2015. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada seluruh Staf di Kelompok Teknologi Akselerator atas semua bantuannya sehingga makalah ini dapat selesai. Semoga Allah SWT memberikan imbalan yang setimpal atas semua kebaikan dan bantuan Bapak/Ibu semua.

DAFTAR PUSTAKA

1. Qizhang, Z., *Elektron Accelerators Manufactured in China*, UNDP/IAEA/RCA Regional Training Course on EB Irradiation Technology, Shanghai Applied Radiation Institute, Shanghai University of Science and Technology, Shanghai, China, 1991.
2. Suzuki, M., *Recent Advances in High Energy Elektron Beam Machine*, Nissin-High Voltage Co., Ltd., Proceedings of the Workshops on the Utilization of Elektron Beams, JAERI-M, 90-194, 1990.
3. Yamamoto, S., *Crosslinking of Wire and Cables with Elektron Beam*, Proceedings of the Workshops on the Utilization of Elektron Beams, JAERI-M, 90-194, 1990.
4. Makuuchi, K., *Elektron Beam Processing of Rubbers*, Proceedings of the Workshops on the Utilization of Elektron Beams, JAERI-M, 90-194, 1990.
5. Sutrisno, Tan Ik Gie, *Fisika Dasar*, Penerbit Bandung, 1983.
6. Djoko S. Pudjorahardjo, dkk, *Perhitungan Sistem Optik MBE PPNY-BATAN*, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, PPNY-BATAN, Yogyakarta, 8-9 Juli 1997.
7. Razzak MT., *Dosimetri Industri*, Diklat Operator irradiator gamma dan elektron, Pusdiklat BATAN, 23 Februari – 17 Maret 1998.

TANYA JAWAB

Silakhuddin

- Ada rumus hubungan antara sudut pemayaran (yang dapat dikonversi menjadi panjang pemayaran) dengan medan magnet B dan panjang koil. Apakah hasil pengukuran panjang pemayaran telah dibandingkan dengan rumusan?

Rany Saptaaji

- Tujuan pengujian ini hanya untuk mengetahui sistem pemayar MBE berfungsi atau tidak, sehingga belum dibandingkan dengan rumus yang terkait.