

## PENYEMPURNAAN DAN UJI SISTEM PEMAYARAN MBE 350 KEV/10 mA

Tono Wibowo, Saminto, Bambang Supardiyono, Sutadi

Puslitbang Teknologi Maju - BATAN

### ABSTRAK

*PENYEMPURNAAN DAN UJI SISTEM PEMAYARAN MBE 350 KEV/10 mA. Telah disempurnakan catudaya sistem pemayaran MBE 350 keV dengan menambahkan suatu rangkaian protektor. Fungsi rangkaian protektor ini adalah untuk menghindari kerusakan komponen MBE akibat kegagalan operasi sistem pemayaran. Sistem pemayaran merupakan komponen MBE yang bertugas menyimpangkan bolak-balik berkas elektron, tanpa pemayaran berkas elektron akan bergerak lurus dan membakar jendela MBE. Oleh karena itu, sistem pemayaran harus benar-benar baik dan handal. Hasil percobaan menunjukkan bahwa rangkaian protektor bekerja baik, mengaktifkan rile dan merubah status interlok pada tegangan 13 volt. Keluaran tegangan pemayaran lebih besar dari 13 volt aman untuk MBE beroperasi. Angka keandalan sistem pemayaran diperoleh sebesar  $K = 98,8\%$ . Disajikan pula hasil uji fungsi sistem pemayaran pada berkas elektron MBE dan ketidakcocokan hasil pengamatan penyimpangan berkas dengan hasil perhitungan.*

### ABSTRACT

*THE COMPLETION AND FUNCTIONAL TESTING OF SCANNING SYSTEM OF THE EBM 350 KEV/10 mA. The power supply of scanning system have been completed by adding of a protector circuit. The functions of the protector circuit is to avoid of the EBM components damage consequence of scanning system operation failure. The scanning system is a component of the EBM that to fulfil alternating deflected of electron beam, without the beam scanning the electron will straightforward and burning the EBM window. Therefore, the scanning system must properly good and realible. The experiment result show that the protector circuit is nice, it was actived of realy and changed interlock status at a voltage of 13 volt. The output of scanning voltage bigger than 13 volt was safe for operation of the EBM. The value of scanner system reability was found of  $K = 98,8\%$ . It was showed also the result of function test of the scanning system on the EBM electron beam and it was clarified unmatched investigate of deflected beams to calculation result.*

### PENDAHULUAN

Sistem pemayaran (*scanning system*) merupakan salah satu komponen utama akselerator elektron<sup>(1)</sup>. Elektron setelah dipercepat kemudian melewati medan pemayaran akan tersapu bolak-balik, elektron digerakkan ke kanan dan ke kiri secara periodik. Sistem pemayaran berkas elektron ini dapat dibuat dengan medan listrik atau medan magnet<sup>(2)</sup>.

Mesin Berkas Elektron (MBE) dengan energi 350 keV, arus 10 mA yang telah dibuat menggunakan medan magnet bolak-balik sebagai sistem pemayaran<sup>(3-5)</sup>. Elektron yang bergerak di dalam medan magnet homogen menderita gaya Lorentz yang merubah arah gerak elektron tetapi tidak merubah energi elektron<sup>(2)</sup>. Perubahan arah gerak elektron ini mengakibatkan berkas elektron disimpangkan dari arah jalur semula. Jika gaya

Lorentz dibuat bolak-balik maka begitu juga simpangan elektronnya.

Pada suatu medan magnet yang sesuai dengan berkas elektron dengan energi tertentu, gaya Lorentz dapat mengubah berkas titik menjadi berkas yang melebar dan dapat mencapai permukaan bahan yang akan dikenai elektron<sup>(1)</sup>. Pemayaran berkas membuat iradiasi elektron merata pada permukaan bahan. Apabila terjadi kegagalan operasi sistem pemayaran maka tidak hanya mengakibatkan iradiasi menjadi tidak merata tetapi lebih vatal akan mengakibatkan kerusakan pada komponen MBE. Tanpa pemayaran berkas, berkas elektron titik dengan energi 200 keV, dengan arus yang kecil ( $< 1$  mA) mampu melelehkan jendela pemayar dalam waktu kurang dari 1 detik. Karena begitu pentingnya sistem pemayaran terhadap keselamatan komponen MBE maka dalam tulisan ini dikemukakan mengenai usaha penyempurnaan sistem pemayaran, yaitu dengan menam-



bahkan rangkaian protektor pada catu daya yang telah dibuat sebelumnya<sup>(5)</sup>. Rangkaian protektor berfungsi untuk melindungi komponen MBE dari kerusakan akibat kegagalan operasi, diharapkan jika suatu saat sistem pemayar gagal rangkaian protektor akan bereaksi memberikan perubahan status interlok.

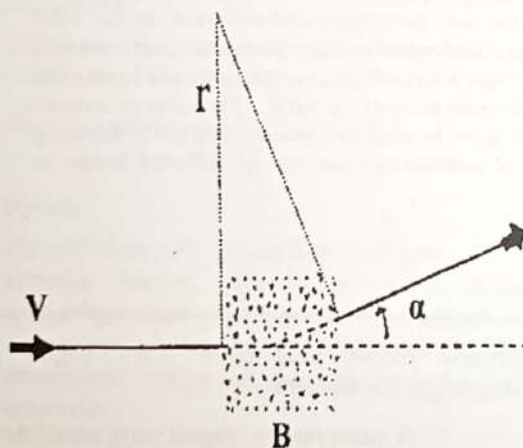
Hasil pengujian catu daya sistem pemayaran yang telah disempurnakan, pengamatan keadaan sistem pemayaran, dan hasil uji fungsi sebagai pemayar MBE 350 keV/10 mA dikemukakan lebih lanjut dalam tulisan ini.

## TEORI DASAR

### Pembelokan Berkas Elektron Oleh Medan Magnetik Homogen

Partikel bermuatan  $e$  (elektron) yang bergerak dengan kecepatan  $v$  melalui daerah medan magnetik homogen  $B$  akan dibelokkan oleh gaya Lorentz<sup>(2)</sup>

$$F = e v \times B \quad (1)$$



Gambar 1. Pembelokan berkas elektron  $e$  dalam medan magnet  $B$ , arah medan magnet  $B$  masuk tegak lurus bidang gambar.

Jika kecepatan  $v$  tegak lurus  $B$ , seperti ditunjukkan dalam Gambar 1, gaya magnetik (Lorentz) sama dengan gaya sentrifugal,

$$e v B = m v^2 / r \quad (2)$$

dengan  $m$  massa elektron dan  $r$  jejari jejak elektron dalam medan magnetik. Apabila elektron ke luar dari medan magnetik dibelokkan dengan sudut  $\alpha$  kecil, maka

$$\alpha = s / r \quad (3)$$

dengan  $s$  panjang jejak dalam medan magnetik. Substitusi persamaan (1) dan (2) dihasilkan

$$1/r = s B / m v \quad (4)$$

$$\alpha = e B s / m v \quad (5)$$

Jika kecepatan elektron  $v$  diakibatkan oleh tegangan pemercepat  $U$  maka dari  $\frac{1}{2} m v^2 = e U$  diperoleh  $v = (2e v / m)^{1/2}$ . Sudut pembelokan elektron menjadi

$$\alpha = B s (s / 2 m U)^{1/2} \quad (6)$$

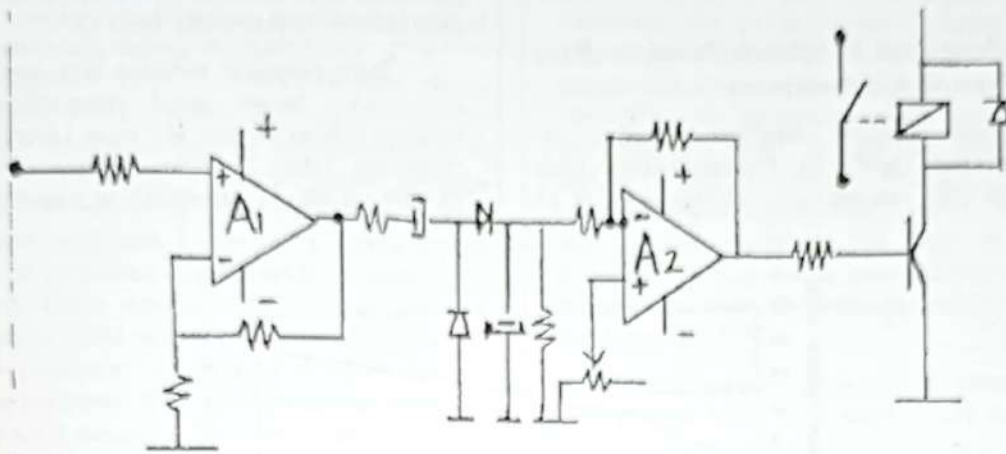
## TATA KERJA

### Uji Rangkaian Protector

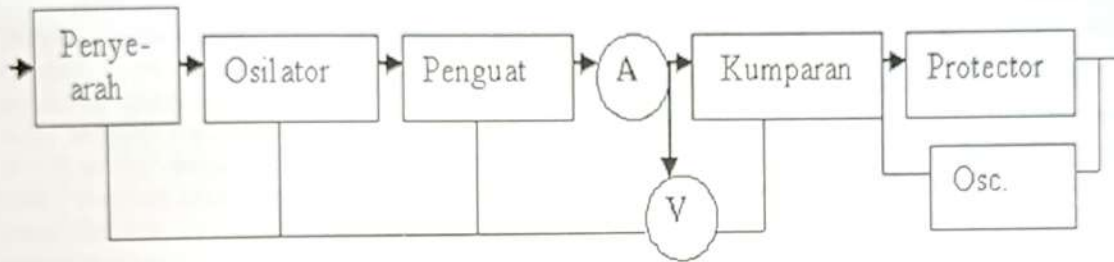
Rangkaian protektor pada Gambar 2, berfungsi untuk melindungi komponen MBE dari kerusakan akibat dari kegagalan operasi sistem pemayar. Rangkaian tersebut menerima tegangan AC dari catu daya pemayaran untuk diumpankan ke penguat  $A_1$ . Selanjutnya, keluaran  $A_1$  diproses oleh rangkaian pompa dioda (*pump diode*) menjadi tegangan DC. Tegangan DC ini kemudian diumpankan ke pembanding (*comparator*)  $A_2$  untuk dibandingkan dengan suatu tegangan referensi. Jika tegangan masukan melebihi tegangan referensi, maka keluaran  $A_2$  membuat transistor  $Q_1$  bekerja mengaktifkan relay untuk merubah status keluaran interlok.

Pengujian rangkaian *potector* bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja catu daya pemayaran. Skema pengujian ditunjukkan pada Gambar 3.

Dalam pengujian rangkaian protektor digunakan alat bantu : Ampere meter, Volt meter, osiloskop dan beban kumparan magnet pemayaran. Perubahan tegangan pada ujung-ujung kumparan pemayaran diamati ketika dilakukan perubahan kanal potensio pengatur keluaran tegangan catu daya. Untuk uji ketahanan dan kestabilan rangkaian, sistem pemayaran dioperasikan selama 96 jam (4 hari) terus menerus tanpa dimatikan dan diamati arusnya secara periodik (tiap satu jam). Percobaan dilakukan pada suhu ruang antara 24 sampai 28 °C.



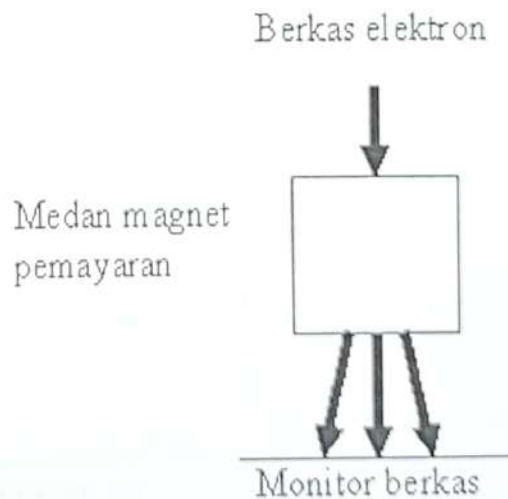
Gambar 2. Rangkaian protektor.



Gambar 3. Skema pengujian rangkaian protektor pada catu daya sistem pemayaran.

**Uji Pemayaran Berkas.**

Sistem pemayaran menghasilkan medan magnet bolak-balik yang berfungsi menggerakkan berkas elektron menyimpang secara periodik. Untuk mengetahui unjuk kerja sistem pemayaran, digunakan dua sumber elektron. Sumber elektron yang pertama dari tabung monitor komputer dengan tegangan pemercepat 15 kV. Sedangkan sumber elektron yang kedua dari sumber elektron MBE dengan tegangan pemercepat yang dapat divariasasi sampai dengan 350 kV. Skema eksperimen ditunjukkan pada Gambar 4. Berkas elektron dilewatkan dalam medan magnet sistem pemayaran. Untuk sumber yang pertama penyimpangan berkas yang terjadi diamati pada layar monitor, sedangkan untuk sumber elektron yang kedua digunakan monitor berkas: Kertas gonogo, kertas kalkir dan 3 buah ampermeter.



Gambar 4. Skema pengamatan pemayaran berkas elektron.

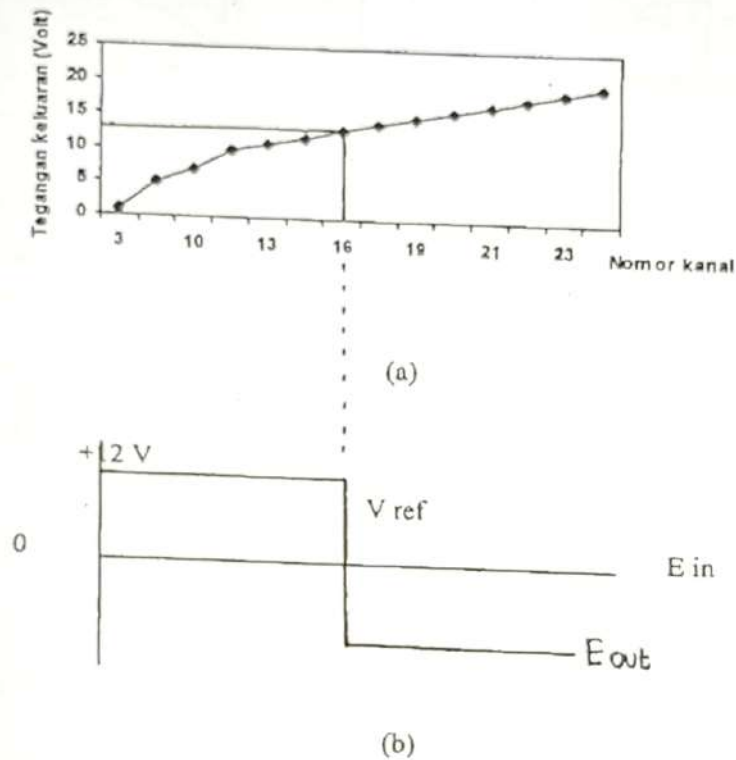
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pengujian Rangkaian Protektor Pada Catu Daya Sistem Pemayaran

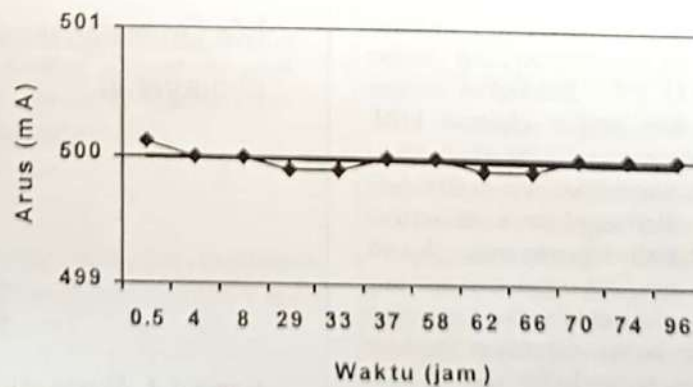
Hasil pengujian rangkaian protektor ditunjukkan pada Gambar 5a. Proteksi tegangan lebih diperoleh pada saat tegangan keluaran melebihi 13

V dan rangkaian protektor bereaksi memberikan perubahan status keluaran interlok, seperti dijelaskan pada Gambar 5b (Lampiran Tabel 1).

Hasil pengujian terhadap ketahanan operasi menunjukkan bahwa setelah dioperasikan secara kontinyu selama 96 jam alat tetap bekerja normal (Lampiran Tabel 2). Arus keluaran stabil pada  $(0,5000 \pm 0,0001)A$ , seperti tampak pada Gambar 6.



Gambar 5. a) Grafik nomor kanal terhadap tegangan keluaran catu daya, b) Grafi fungsi pindah keluaran rangkaian protektor.



Gambar 6. Pengujian kestabilan arus catu daya.



Berdasarkan perhitungan terhadap angka kegagalan rerata pada setiap komponen catu daya sistem pemayaran dihasilkan jumlah angka total kegagalan sistem sebesar  $\lambda = \sum n(FR) = 17,89 \times 10^{-6}$ /jam (Lampiran Tabel 3). Jika keandalan sistem dihitung berdasarkan rumus  $R = \exp(-t \times \sum n(FR))$  dengan  $t$  lama waktu operasi, maka selama uji 98 jam diperoleh angka keandalan sistem catudaya sebesar 0,99 atau 99 %. Angka keandalan ini dapat dikatakan cukup baik, karena angka keandalan yang baik bila mendekati satu. Keandalan sistem yang dihitung hanya dengan waktu operasi 96 jam sebenarnya relatif belum mencukupi. Tetapi karena sistem pemayaran segera akan di instal bersama dengan komponen MBE lainnya maka uji keandalan sistem untuk sementara dianggap cukup.

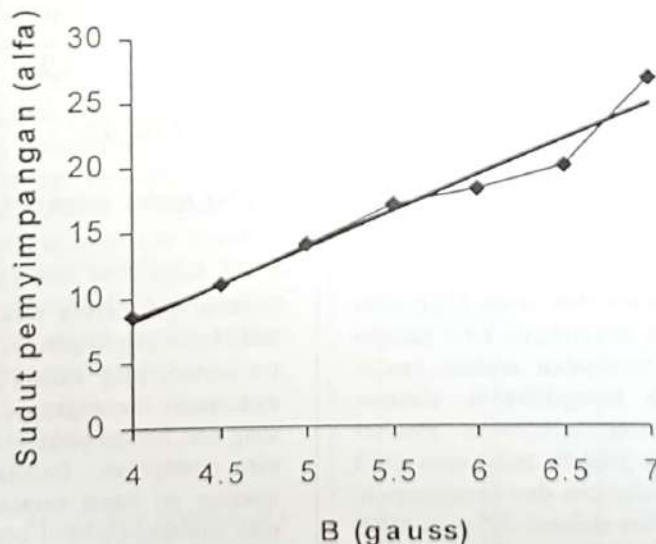
### Hasil Pengujian Pemayaranan Berkas Elektron

Hasil pengamatan penyimpangan berkas elektron dengan energi 15 keV ditunjukkan dalam Gambar 7, dari gambar tersebut terlihat bahwa perubahan sudut penyimpangan berkas elektron linier terhadap medan magnet  $B$  (sampai dengan  $B = 6$  gauss) dengan koefisien determinasi  $R^2 = 0,98$ . Hasil ini sesuai dengan persamaan 6, yang dapat diartikan bahwa elektron tidak mengalami pengurangan energi ketika melewati medan magnet pemayaran dan medan magnet yang dilewati

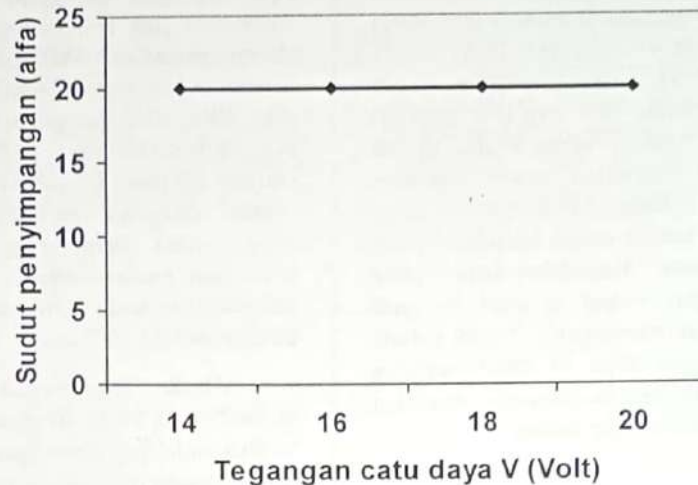
elektron cukup homogen. Homogenitas medan yang baik, terutama di daerah jalur elektron, sangat diperlukan jika medan magnet digunakan sebagai sistem pemayaran MBE. Pada daerah medan magnet di atas 6 gauss (atau sudut penyimpangan di atas  $20^\circ$ ), data pengamatan mulai tampak tidak mengikuti garis linier. Diduga, pada sudut penyimpangan di atas  $20^\circ$  elektron meninggalkan medan magnet mengalami pengurangan energi. Kalau ini benar, maka eksperimen ini dapat mendukung kebenaran rencana desain sistem pemayaran yang menyarankan sudut penyimpangan pemayaran tidak boleh melebihi  $20^\circ$ .

Hasil pengujian sistem pemayaran setelah diinstal pada MBE ditunjukkan dalam Gambar 8, terlihat sudut penyimpangan  $\alpha$  tidak berubah ketika tegangan catu daya pemayaran berubah.

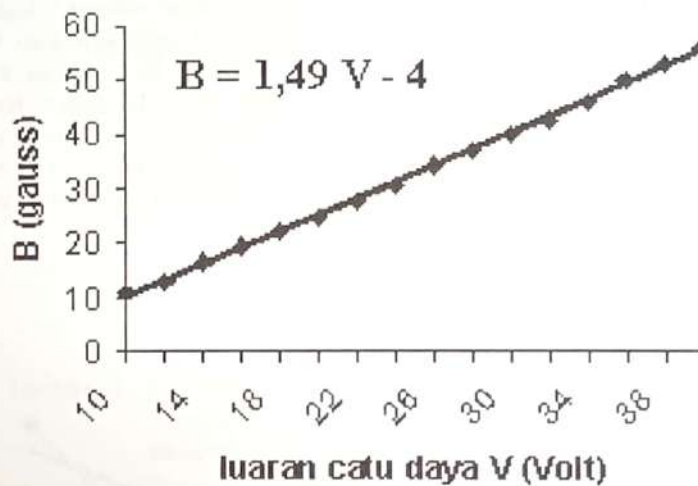
Dari hasil kalibrasi medan magnet  $B$  terhadap perubahan tegangan catu daya pemayaran  $V$  menunjukkan linier, Gambar 9, dengan persamaan  $B = 1,49 V - 4$ , untuk luaran catu daya sebesar 14; 16; 18; dan 20 volt setara dengan medan magnet berturut-turut sebesar 16,8; 19,8; 22,8 dan 25,8 gauss. Dengan demikian hasil pengamatan yang ditunjukkan pada Gambar 8, yang mengisyaratkan bahwa  $\alpha$  tidak berubah terhadap  $V$  atau  $B$ . Kejadian ini tidak sesuai dengan persamaan 6. Ada dua hal yang patut diduga, yaitu mengenai besarnya medan magnet dan adanya hamburan elektron.



Gambar 7. Pemayaranan berkas elektron 15 keV dalam medan magnet  $B$ .



Gambar 8. Pemayaran berkas elektron 200 keV dalam medan magnet  $B$ .



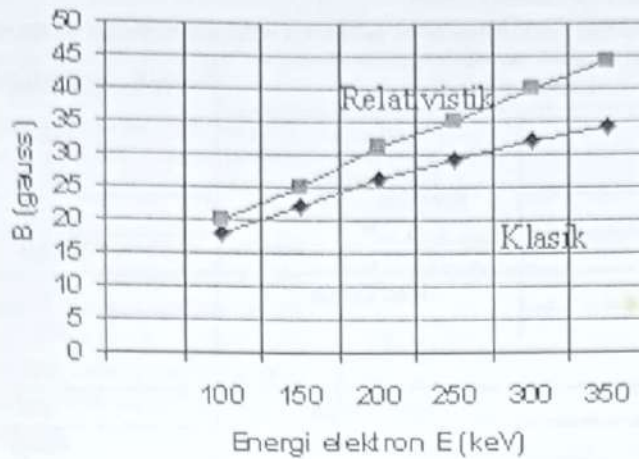
Gambar 9. Hasil kalibrasi  $V$  terhadap medan magnet  $B$ .

Simpangan berkas elektron dalam MBE akan terdeteksi konstan, tidak terpengaruh oleh penambahan medan magnet pemayaran apabila medan magnet terpasang telah mengakibatkan elektron disimpangkan pada batas maksimum monitor deteksi, yaitu sepanjang jendela pemayaran (120 cm). Berdasarkan perhitungan dari persamaan 6, sudut penyimpangan berkas elektron  $20^\circ$  pada MBE untuk energi elektron 200 keV terjadi pada medan magnet  $B = 26$  gauss (perhitungan klasik), lihat hasil perhitungan yang ditunjukkan dalam Gambar 10, atau setara dengan  $V = 20$  volt.

Pada tegangan catu daya pemayaran 14 volt

(sebenarnya) berkas elektron belum disimpangkan pada batas penyimpangan maksimum. Tetapi monitor berkas, yang berada pada batas penyimpangan maksimum menangkap elektron yang bukan langsung dari berkas elektron utama yang disimpangkan oleh pemayaran. Berkas elektron yang ditangkap monitor ini dapat berasal dari hamburan elektron oleh molekul-molekul udara atau benda-benda lain yang berada di dekat monitor berkas. Berkas elektron "sekunder" ini tidak disimpangkan oleh sistem pemayaran, karena berada di luar medan pemayaran, tetapi mempunyai arah yang tidak diketahui.





Gambar 10. Perhitungan medan magnet sistem pemayaran MBE untuk simpangan masimum elektron pada energi elektron E, klasik dan relativistik.

**KESIMPULAN**

1. Penambahan protektor pada catu daya pemayaran telah dapat menyempurnakan sistem pemayaran MBE 350 keV/10 mA. Pada tegangan ambang 13 volt setara dengan medan magnet 15,4 gauss rangkaian protektor bekerja mengaktifkan rile magnetik dan mengubah status keluaran interlok. Tegangan ambang tersebut dapat ditetapkan ulang jika diperlukan.
2. Angka keandalan sistem pemayaran diperoleh sebesar  $K = 99,8\%$  atau laju kegagalan sebesar  $\alpha = 18 \times 10^{-6}$  per jam, menunjukkan bahwa sistem pemayaran layak digunakan sebagai komponen MBE.
3. Dari hasil uji fungsi sistem pemayaran diperoleh bahwa pada tegangan pemayaran 14 volt atau lebih pemayaran berkas berjalan baik dan MBE aman untuk dioperasikan. Pengoperasian MBE dengan tegangan pemayaran di bawah 13 volt masih perlu pengamatan lebih lanjut, karena monitor berkas yang berada di batas penyimpangan maksimum tidak dapat dipakai sebagai indikator penyimpangan yang sebenarnya.

**DAFTAR PUSTAKA**

1. SUDJATMOKO, dkk., *Akselerator Elektron GJ-23, Komponen Utama dan Prinsip Kerjanya*, Disajikan dalam pertemuan TIM Rekayasa MBE, Jakarta, 1993.
2. DIETRICH, etc., *Diktat "Accelerator School"*, P3TM, Yogyakarta, 2000.

3. *Rancangan Dasar Sistem Optik Mesin Berkas Elektron 500 kV/20 mA*, Nomer Dokumen : 03/RD/MBE/PNY/04-97, PPNY, Yogyakarta, 1997.
4. SUTADJI SUGIARTO, dkk., *Perancangan Sistem Optik MBE 500 keV/10 mA*, Prosiding PPI Tek. Aks., Vol 1, No.1, 1999.
5. TONO WIBOWO, dkk., *Konstruksi Dan Pengujian Sistem Pemayar MBE 350 keV/10 mA*, Laporan Teknis, P3TM, Yogyakarta, 2002.

**LAMPIRAN**

Tabel 1. Pengukuran tegangan keluaran catu daya sistem pemayaran dengan rangkaian protektor untuk menentukan status interlok.

Skala Potensio Mtr.	Tegangan keluaran terukur (Volt)
3	1
9	5
10	7,5
12	10
13	11
14	12
16	13
17	14
19	15
20	16
21	17
22	18
23	19
24	20

Tabel 2. Pengukuran kestabilan arus keluaran catu daya sistem pemayaran MBE.

Lama operasi		Arus keluaran terukur (mA)
(Jam)	(Hari)	
0,5	Hari pertama	500,1
4		500
8		500
29	Hari kedua	499,9
33		499,9
37		500
58	Hari ketiga	500
62		499,9
66		499,9
70	Hari keempat	500
74		500
96		500

Tabel 3. Data pengamatan  $\bar{e}$  (*failure rate*) pada catudaya sistem pemayaran MBE.

Komponen	Angka kegagalan rerata <i>FR</i> ( $1 \times 10^{-6}$ /jam)	Jumlah yang dipakai (n)	$N(FR)$ ( $\times 10^{-6}$ /jam)
Transistor	0,08	2	0,16
Resistor	0,03	28	0,84
Kondensator	0,1	11	1,1
Potensio	3	4	12
Diode	0,05	8	0,4
IC	0,3	2	0,6
Soldiran	0,01	164	1,64
Tusuk dan soket	0,05	23	1,15
Gulungan relai	0,5	2	1
			$\Sigma$ 18,89

## TANYA JAWAB

**Farid W. Machmud**

- Bagaimana mekanisme pengukuran yang dilakukan oleh alat ini?

**Tono Wibowo**

- Sistem pemayaran merupakan bagian dari komponen Mesin Berkas Elektron (MBE) yang

berfungsi sebagai pemayar berkas elektron. Pada catu daya ditambahkan rangkaian protektor yang mengukur (membandingkan) antara masukan tegangan AC dan catu daya pemayar dengan suatu tegangan referensi. Ketika tegangan catu daya yang diberikan ke kumparan magnet pemayara telah mencukupi (~ 13 volt) untuk memayarkan berkas elektron, maka protektor menghidupkan rile dan merubah status interlok MBE. Dengan demikian, MBE tidak mungkin dapat dioperasikan apabila sistem pemayar dalam keadaan tidak berfungsi.



**Basuki**

- Sistem yang digunakan untuk pemayar electron.
- Ada/tidak pengaruh laju elektron, jelaskan?
- Pengaturan waktu sistem pemayaran (keterangan).

**Tono Wibowo**

- Pemayaran elektron (membuat berkas elektron disimpangkan ke samping kanan-kiri secara periodik) dapat dilakukan dengan medan listrik atau medan magnet bolak-balik (gelombang segitiga). Magnet berasal dari catu-daya arus stabil gelombang segitiga yang dialirkan melalui sepasang kumparan magnet.
- Ada hubungan antara laju elektron dengan medan magnet pemayar. Untuk sudut penyimpangan yang kecil ( $\leq 20^\circ$ ), berkas elektron setelah melewati medan magnet pemayar telah mengalami perubahan energi (berarti laju elektron tetap). Apabila laju elektron berubah (misalnya bertambah), medan magnet tetap, maka jarak simpang elektron akan berubah (berkurang).

- Waktu (frekuensi) sistem pemayaran dipilih agar hasil iradiasi berkas elektron merata pada permukaan bahan yang akan dikenai elektron (objek).

**Suryadi**

- Apa dasar pemilihan frekuensi magnet pembelok yang digunakan.

**Tono Wibowo**

- Pemilihan frekuensi magnet pembelok didasarkan pada pemerataan hasil iradiasi berkas elektron pada permukaan objek (sasaran). Besarnya ditentukan oleh kecepatan gerak objek  $v$  (cm/detik), diameter efektif berkas elektron  $d_e$  (cm) dan pergeseran objek selama satu periode pemayaran  $\epsilon$ . Frekuensi ini dirumuskan sebagai

$$f = \frac{v}{\epsilon d_e}$$