

KONSTRUKSI DAN PENGUJIAN SISTEM PEMFOKUS MESIN BERKAS ELEKTRON 350 keV/10 mA

Saminto, Djoko S.Pudjorahardjo, Tono Wibowo, Bambang Supardiono
P3TM - BATAN

ABSTRAK

KONSTRUKSI DAN PENGUJIAN SISTEM PEMFOKUS MESIN BERKAS ELEKTRON 350 keV/10 mA. Telah dilakukan konstruksi dan pengujian sistem pemfokus mesin berkas elektron 350 keV/10 mA. Sistem pemfokus ini berfungsi untuk memfokuskan berkas pertikel setelah melewati sistem pemercepat. Sistem pemfokus terdiri dari solenoid dan catu daya regulator arus. Medan magnet B yang dihasilkan oleh solenoid akan memberikan efek pemfokusan terhadap berkas elektron yang melewatinya. Untuk mendapatkan berkas elektron yang terfokus, maka perlu dilakukan pengujian dengan mengatur arus pada catu daya sistem pemfokus tersebut. Dengan mengatur arus dc (I) dari catu daya akan diperoleh perubahan medan magnet B pada solenoid. Pada pengukuran ini probe Gauss meter diletakkan pada posisi ditengah-tengah solenoid dengan kondisi terbuka pada tekanan atmosfer. Dari hasil pengukuran diperoleh bahwa untuk arus 0,6 A menghasilkan medan magnet $B = 72,3$ Gauss, selanjutnya untuk arus 1A menghasilkan medan magnet $B = 123$ Gauss dan untuk arus 1,2 A menghasilkan medan magnet $B = 148,6$ Gauss. Dari hasil pengujian dengan berkas elektron menunjukkan bahwa semakin besar arus pemfokus, berkas elektron yang terukur makin besar. Kondisi fokus optimal diperoleh pada arus solenoid 0,67 A. Hasil dari percobaan ini menunjukkan bahwa sistem pemfokus dapat aplikasikan untuk MBE 350 keV/10 mA.

ABSTRACT

CONSTRUCTION AND TESTING OF FOCUSING SYSTEM OF ELECTRON BEAM MACHINE 350 keV/10 mA. Focusing system for electron beam machine 350 keV/10mA has been constructed and tested. The system is used for focusing the electron beam after passing the accelerator system. The focusing system consists of solenoid and current regulator power supply. Magnetic field B produced by solenoid yield focusing effect to the electron beam passing trough. To focus electron beam a test has been done by adjusting current regulator power supply of focusing system. By adjusting the dc current (I) it will varied the magnetic field of focusing system. The measurement of B the Gauss meter probe was put in the centre of the solenoid with open condition at atmospheric pressure. The yield of the measurement was the current for 1 A magnetic field B is 123 Gauss, for 1,2 A the magnetic field B is 148,6 Gauss. The test using electron beam showed that the increasing of the solenoid current cause the increasing of the electron beam. Condition of focus obtained at solenoid current 0,67 A. From this experiment showed that the focusing system can be used for Electron Beam Machine 350 keV/10 mA.

PENDAHULUAN

Pada saat ini, kegiatan di P3TM-BATAN khususnya di Bidang Akselerator satu diantaranya adalah merancang bangun mesin berkas elektron (MBE) 350 keV/10 mA yang diharapkan dapat dioperasikan pada tahun 2003. Diantara komponen MBE yang dirancang bangun adalah sistem optik. Beberapa komponen sistem optik yang perlu dikonstruksi dan dilakukan pengujian satu diantaranya adalah sistem pemfokus^[1]. Sistem pemfokus ini berfungsi untuk memfokuskan berkas elektron setelah melewati sistem pemercepat. Sistem pemfokus yang telah dirancang bangun berupa solenoid^[2]. Pada tahun 2002 telah dilakukan konstruksi/pemasangan dan pengujian sistem pemfokus pada MBE yang dimaksud. Pengujian telah dilakukan menggunakan berkas elektron dari sumber elektron termionik. Untuk mendapatkan

berkas elektron yang terfokus, maka dilakukan pengujian dengan mengatur arus dari catu daya sistem pemfokus tersebut. Dengan mengacu pada persamaan sistem pemfokus, maka dengan mengatur arus (I) dari catu daya akan menghasilkan pemfokusan berkas elektron. Pemfokusan berkas elektron ini perlu dilakukan untuk menghindari terjadinya tumbukan antara berkas elektron dengan dinding tabung hampa dan agar berkas elektron dapat mengenai target secara optimal^[3]. Dalam makalah ini disampaikan hasil konstruksi sistem pemfokus dan pengujiannya berupa medan magnet B yang dihasilkan dan arus berkas elektron yang terukur pada berbagai kondisi arus pemfokus.

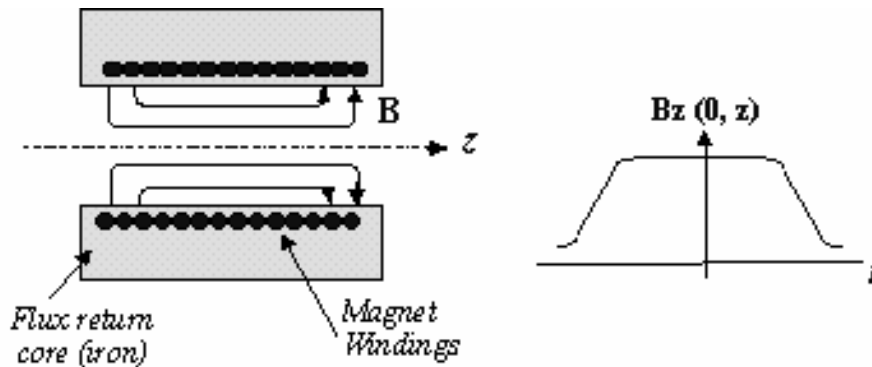
TINJAUAN TEORI

Sistem pemfokus berkas elektron yang dibuat terdiri dua bagian utama, yaitu bagian selenoid dan regulator arus sebagai catu daya selenoid.

Selenoid

Landasan teori rancang bangun lensa magnetik selenoid untuk pemfokus berkas elektron adalah interaksi yang terjadi apabila elektron

bergerak melalui medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan berarus listrik. Garis-garis medan magnet yang dihasilkan oleh suatu selenoid panjang merupakan lintasan tertutup melingkupi selenoid, sehingga untuk bagian tengah selenoid garis-garis medan magnet tersebut sejajar dengan sumbu selenoid. Dapat dikatakan medan magnet hanya mempunyai komponen arah aksial, sedangkan untuk arah bagian pinggir selenoid, garis-garis medan magnet berbentuk lengkung, tampak pada Gambar 1^[3].



Gambar1. Selenoid, garis-garis medan magnet dan distribusi medan magnet yang ditimbulkannya^[3].

Untuk suatu selenoid dengan jumlah lilitan N dan arus kumparan I , maka medan magnet aksial didalam selenoid adalah^[3]

$$B_z = \frac{\mu_0 N I}{L}$$

dengan μ_0 adalah permeabilitas udara.

Selanjutnya dengan penurunan persamaan lebih lanjut diperoleh jarak fokus (f)^[3] :

$$f = \frac{8mEL}{e\mu_0^2 N^2 I^2}$$

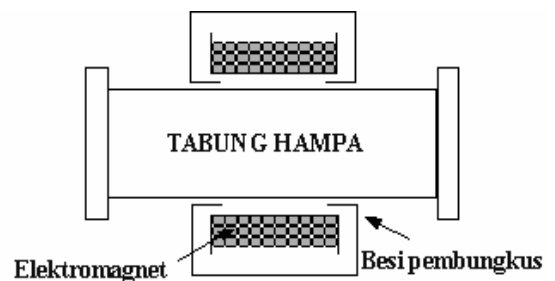
dengan μ_0 = permeabilitas udara (kgm/C), m = massa elektron (kgm), E = Energi gerak elektron (eV), L = lebar celah pembungkus elektromagnet (m), e = muatan elektron (Coulomb), N = jumlah lilitan, I = kuat arus (Ampere).

TATA KERJA.

Konstruksi Selenoid Sistem Pemfokus

Seperti tampak pada Gambar 2, bahwa selenoid pemfokus dipasang melingkupi tabung

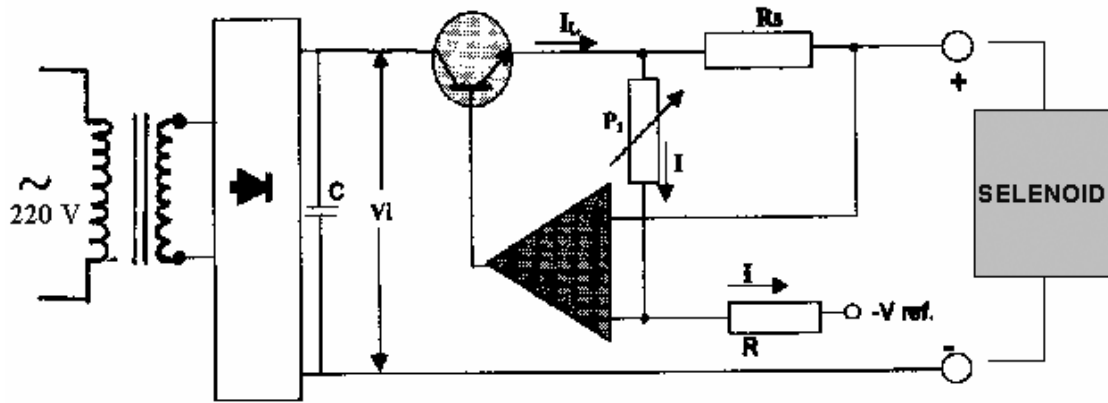
hampa dari bahan SS DN 100. Dalam konstruksi MBE selenoid pemfokus dipasang sesudah sistem pemercepat^[1].



Gambar 2. Susunan lensa magnet pemfokus^[3].

Rangkaian Sumber Arus

Sumber arus yang dimaksud adalah sumber arus searah untuk mengalir arus pada selenoid sehingga dihasilkan medan magnet. Sumber arus mempunyai rangkaian penyearah dan perata sebagaimana pada sumber tegangan, namun pada rangkaian regulasi digunakan umpan balik arus. Pada Gambar 3 tampak arus I_L di umpan balik melalui R_s untuk mengendalikan transistor pengatur I_L .^[4]



Gambar 3. Regulator arus.^[4]

Mekanisme pengendalian arus dapat digambarkan dengan persamaan sebagai berikut:^[4]

$$\frac{I_L R_s}{P_1} = I = \frac{V_{ref}}{R}$$

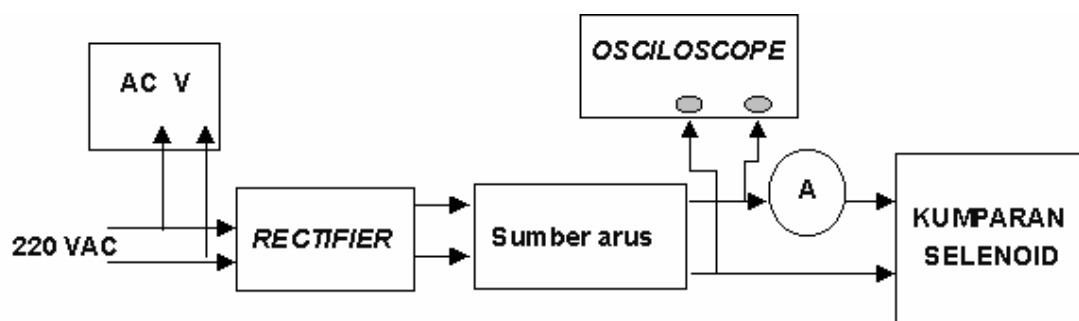
$$I_L = \frac{V_{ref} P_1}{R R_1}$$

Pengujian Rangkaian Sumber Arus

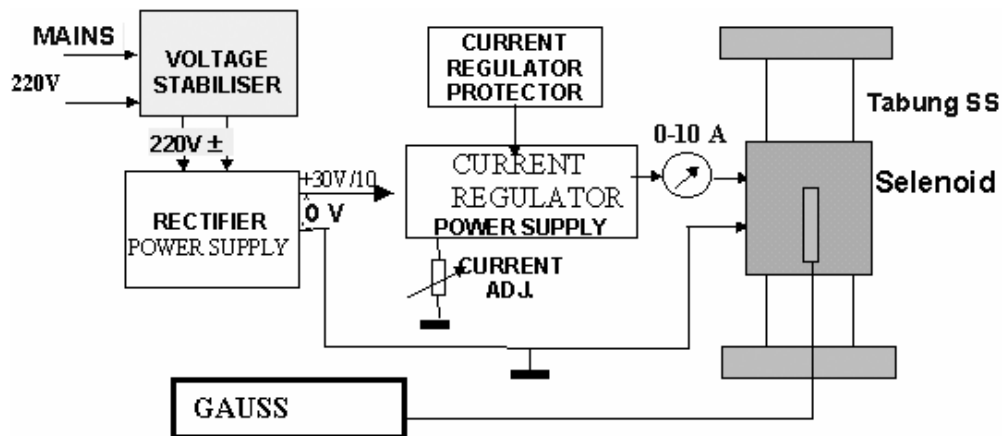
Pengujian rangkaian sumber arus dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik catu daya regulator arus seperti tampak pada Gambar 4. Pengujian ini menggunakan alat bantu Ampere meter, Volt meter, oscilloscope dan beban selenoid. Beberapa pengujian yang dilakukan antara lain, *warm up drift*, *line regulation*, *ripple* dan *over current protection*. Untuk pengujian kehandalan dan kestabilan rangkaian dilakukan dengan mengoperasikan alat selama 96 jam (4 hari) terus menerus tanpa dimatikan dan diamati arus keluarannya secara periodik (tiap satu jam). Percobaan ini dilakukan pada suhu ruangan antara 20 sampai 22 °C.

Pengujian Sistem Pemfokus

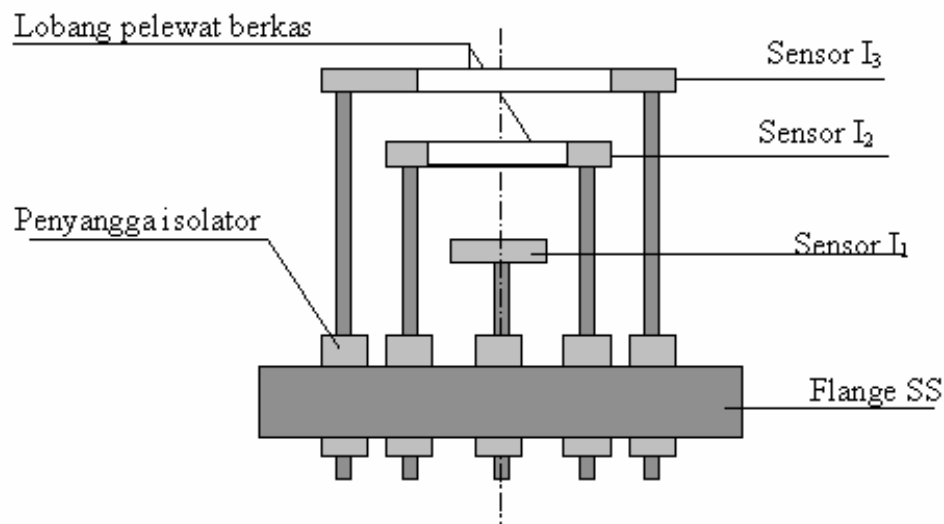
Pengujian sistem pemfokus menggunakan Gauss meter dengan probe yang ditempatkan ditengah-tengah selenoid seperti tampak pada Gambar 5. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui distribusi medan magnet di dalam sistem pemfokus sepanjang sumbu selenoid. Pengukuran medan magnet dimulai dari arus terendah kemudian dinaikkan sedikit demi sedikit sambil diamati perubahan medan magnet yang dihasilkan oleh selenoid. Pengaturan arus dimulai dari 0,4 A; 0,6 A; 0,8 A; 1 A dan 1,2 A. Setelah selesai pada satu titik digeser pada titik lain yang telah ditentukan. Pengujian pemfokusan arus berkas elektron juga dilakukan dengan menetapkan operasi sumber elektron pada posisi $V_{ak} = 3 \text{ kV}$, $I_{fil.} = 9 \text{ A}$, $STT-CW = 150 \text{ kV}$ dan $Vakum = 4.10^{-5} \text{ Torr}$. Pada pengujian ini dipasang 3 sensor berkas bahan dari plat tembaga berbentuk ring yang disusun berurutan memotong arah berkas elektron. Sensor pertama dengan diameter lobang = 6 cm (I_3), sensor kedua diameter lobang = 6 cm (I_2) dan sensor ketiga plat bulat diameter = 3 cm disusun seperti pada Gambar 6.



Gambar 4. Pengujian rangkaian sumber arus.



Gambar 5. Skema pengujian sistem pemfokus.



Gambar 6. Susunan sensor arus berkas elektron.

HASIL DAN PEMBAHASAN

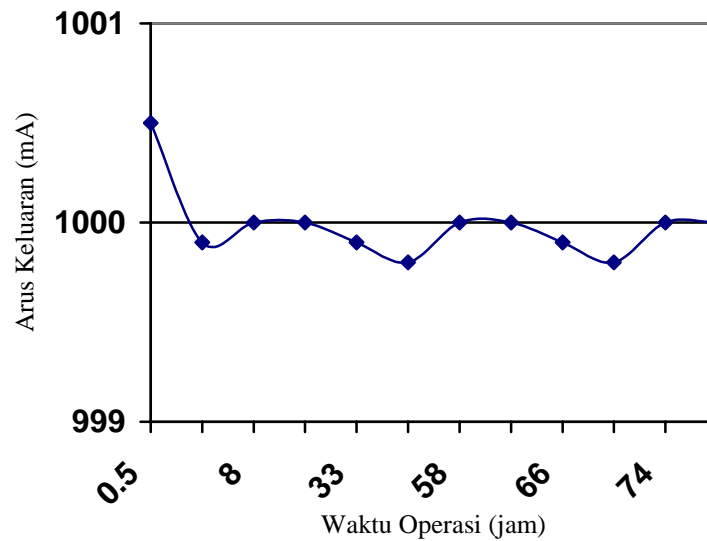
Hasil Pengujian Rangkaian Sumber Arus

Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat dapat bekerja cukup baik dengan nilai pemanasan awal (*warm up drift*) = 0,5%, regulasi jala-jala (*line regulation*) = 0,3%, dan tegangan kerut (*ripple*) = 1 mVpp. Dari pengujian pelindung arus lebih diperoleh bahwa pada saat arus keluaran melebihi 1,8 A rangkaian proteksi bereaksi dan memberikan status keluaran interlok. Sedang dari hasil pengujian kestabilan alat diperoleh bahwa setelah alat dioperasikan selama 96 jam alat tetap bekerja dengan baik/normal dengan arus keluaran cukup stabil seperti tampak pada Gambar 7. Dari

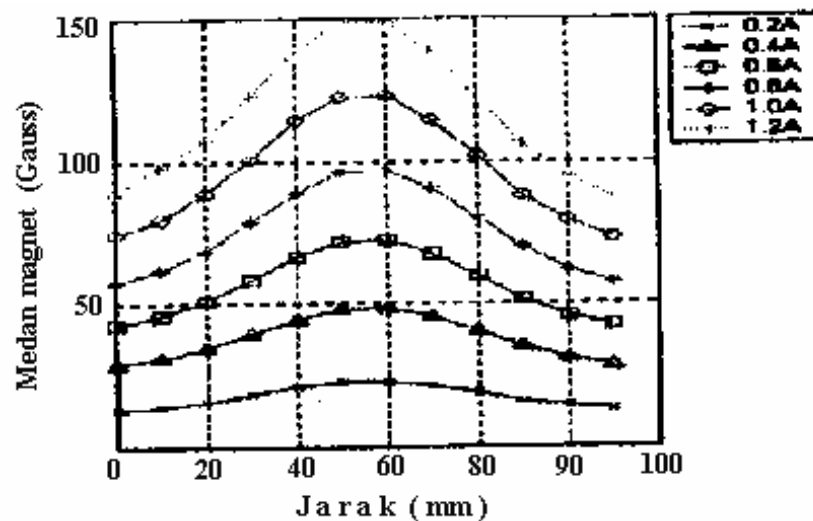
percobaan tersebut secara umum menunjukkan bahwa rangkaian sumber arus dapat digunakan sebagai catu daya sistem pemfokus MBE.

Hasil Pengujian Distribusi Medan Magnet Selenoid

Secara ideal distribusi medan magnet dalam selenoid adalah seperti tertampil pada Gambar 1 yaitu homogen sepanjang sumbu selenoid dan merupakan medan magnet aksial. Tetapi ternyata hasil pengukuran distribusi medan magnet seperti tertampil pada Gambar 8. Hasil pengukuran distribusi medan magnet menunjukkan bahwa pada posisi aksial antara 0 mm dan 100 mm (posisi di dalam selenoid sepanjang 100 mm) tidak homogen.



Gambar 7. Pengujian operasi rangkaian sumber arus.



Gambar 8. Hasil pengukuran distribusi medan magnet aksial di dalam solenoid sepanjang 100 mm.

Pengukuran dimulai dari pinggir ke arah tengah kumparan sehingga diperoleh medan magnet semakin besar dan mencapai puncak terbesar ditengah-tengah kumparan. Sesuai teori, bahwa besar medan magnet tergantung pada arus yang dilewatkan pada solenoid, sedangkan untuk posisi aksial diluar daerah kumparan memperlihatkan bahwa medan magnet cukup kecil bila dibanding medan magnet didalam solenoid. Dari hasil pengukuran menunjukkan bahwa sistem pemfokus dengan arus 1A dapat menghasilkan medan magnet 123 Gauss. Hasil ini sesuai dengan hasil

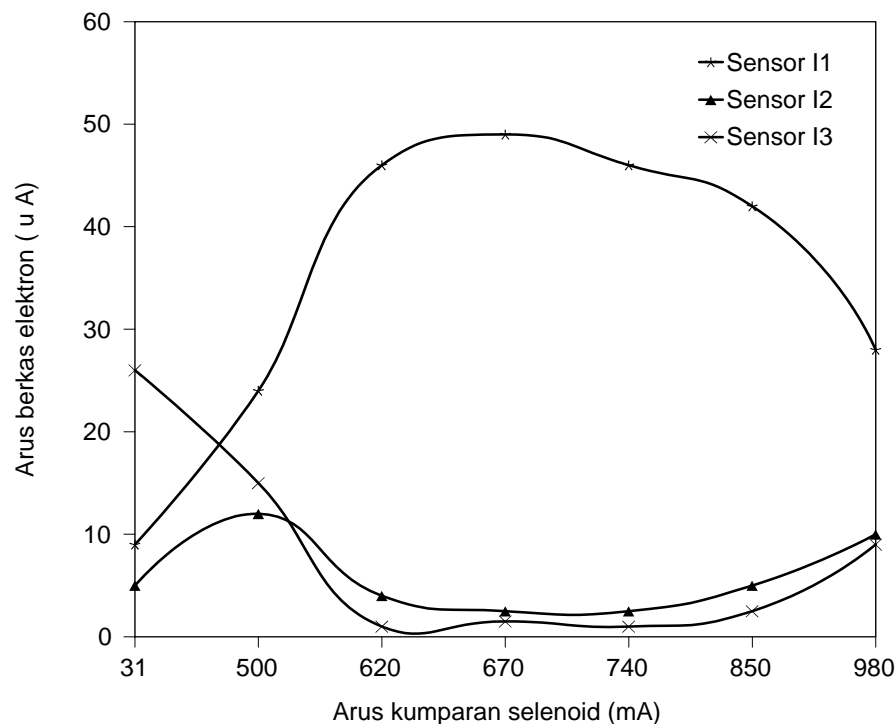
perhitungan teori yaitu untuk arus 1A, diperoleh medan magnet 123,2 Gauss.

Hasil Pengujian Sistem Pemfokus Pada Mesin Berkas Elektron

Setelah sistem pemfokus dipasang pada MBE 350 keV/10 mA selanjutnya dilakukan pengujian dengan berkas elektron diperoleh hasil seperti pada Gambar 9. Dari hasil pengujian dengan berkas elektron menunjukkan bahwa terjadi kenaikan arus berkas elektron saat arus pemfokus

dinaikkan. Arus berkas elektron tertinggi diperoleh 49 μA pada arus pemfokus 670 mA. Dari percobaan tersebut menunjukkan bahwa sistem pemfokus telah dapat mempengaruhi arus berkas

elektron yang dihasilkan dan dapat digunakan untuk memfokuskan berkas elektron pada MBE 350 keV/10 mA.



Gambar 9. Efek perubahan arus selenoid terhadap arus berkas elektron.

KESIMPULAN

Dari hasil konstruksi dan pengujian sistem pemfokus berkas elektron, telah dapat dilakukan karakterisasi baik untuk catu daya sumber arus, pengukuran distribusi medan magnet maupun pengujian sistem pemfokus terhadap arus berkas elektron. Pengujian untuk mengetahui perubahan medan magnet B yang dihasilkan dengan mengubah arus selenoid. Dari pengukuran diperoleh untuk arus 1A menghasilkan medan magnet $B = 123$ Gauss. Sedang pengujian dengan berkas elektron menunjukkan bahwa keluaran arus berkas elektron sangat dipengaruhi oleh pengoperasian sistem pemfokus. Pada arus pemfokus terendah 31 mA menghasilkan arus berkas elektron 9 μA (dari sensor I₁). Untuk arus berkas elektron tertinggi yang dihasilkan mencapai 49 μA pada arus selenoid 670 mA. Pada arus selenoid maksimum 980 mA, arus berkas elektron yang dihasilkan mengecil menjadi 28 μA . Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa sistem pemfokus dapat digunakan pada MBE 350 keV/10 mA.

ACUAN

- [1] SUDJATMOKO, *Perancangan Mesin Berkas Elektron 500 keV/10 mA*, Seminar Sehari Perancangan Mesin Berkas Elektron 500 keV/10 mA, PPNY-BATAN, Yogyakarta, 1996.
- [2] SUTADJI S., dkk, *Perencanaan Sistem Optik MBE 500 keV/10mA*, Seminar Sehari Perancangan Mesin Berkas Elektron 500 keV/10 mA, PPNY-BATAN, Yogyakarta, 1996.
- [3] DJOKO S.P., dkk, *Rancang Bangun Lensa Magnetik Selenoid untuk Pemfokus Berkas Elektron Sumber Elektron Tipe Termionik*, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator Dan Aplikasinya, Volume 2, Nomor 1, Yogyakarta, 2000.
- [4] Widi Setiawan, *Instrumentasi dan Kendali*, Diklat. Pengenalan dan Aplikasi Akselerator, P3TM-BATAN, Yogyakarta, 1998.

LAMPIRAN

A. Data Pengujian Catu Daya Sumber Arus:

- Alat bantu:
1. Ampere meter digital
 2. Volt meter
 3. Oscilloscope
 4. Beban selenoid

1. Pengujian Warm up Drift

Arus keluaran pada $t=15$ detik = 998 mA

Arus keluaran pada $t=30$ menit = 1000 mA

$$\text{warm up drift \%} = \frac{I_{15s} - I_{30m}}{I_{30}} = \frac{|995 - 1000|}{1000} = 0,5 \%$$

2. Pengujian Line Regulation

Pada jala-jala listrik 220V arus keluaran = 1000 mA

Pada jala-jala listrik 200V arus keluaran = 997 mA

$$\text{Line regulation} = \frac{|I_{out\ nom.} - I_{out\ min.}|}{I_{out\ nom.}} = \frac{|1000 - 997|}{1000} = 0,3 \%$$

3. Pengukuran Tegangan Ripple Menggunakan Osiloskop Diperoleh

Beban selenoid dengan arus keluaran di set pada 1A.

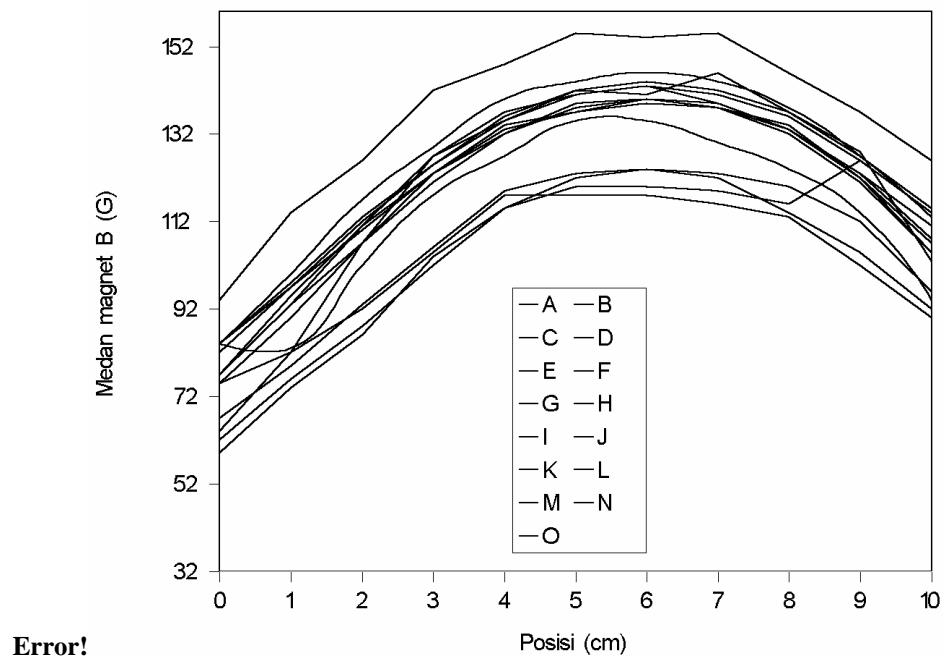
Tegangan *ripple* terukur = 1 mVpp

4. Pengukuran Kestabilan Arus Keluaran Catu Daya Sumber Arus

Lama operasi		Arus keluaran terukur (mA)
(jam)	(hari)	
0,5	Hari pertama	1001
4		1000
8		1000
29	Hari ke dua	999,9
33		999,8
37		1000
58	Hari ke tiga	1000
62		1001
66		999,9
70	Hari ke empat	999,8
74		1000
96		1000

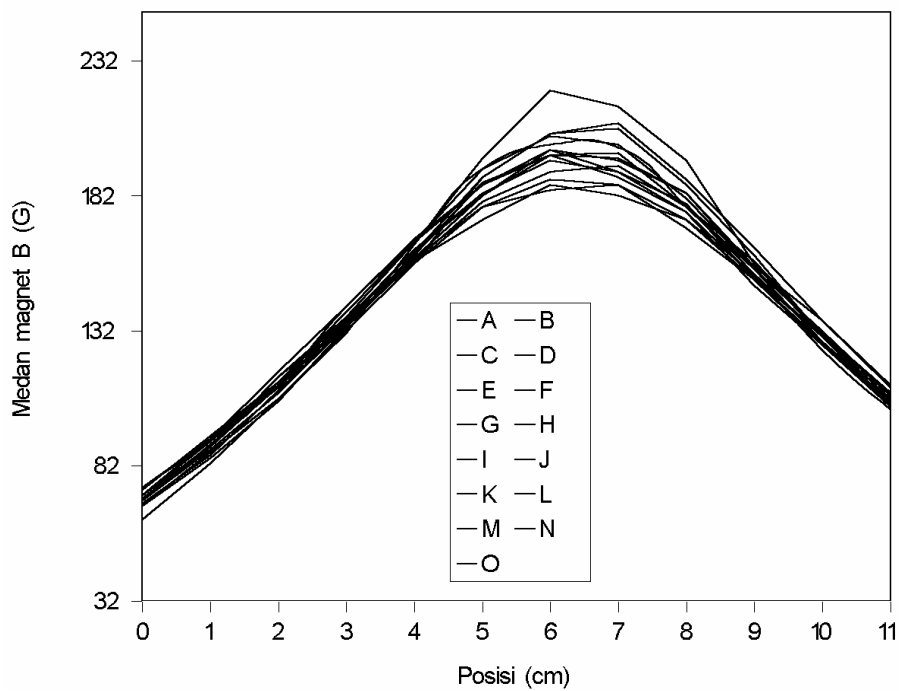
B. Data Pengukuran Distribusi Medan Magnet Pada Berbagai Posisi di Dalam Selenoid

Gambar Distribusi Medan Magnet Untuk Berbagai Posisi Di Dalam Selenoid Tanpa Menggunakan Plat Pembungkus



Error!

Gambar Distribusi Medan Magnet Untuk Berbagai Posisi Di Dalam Selenoid Menggunakan Plat Pembungkus.



C. Data Percobaan Pengujian Dengan Mesin Berkas Elektron

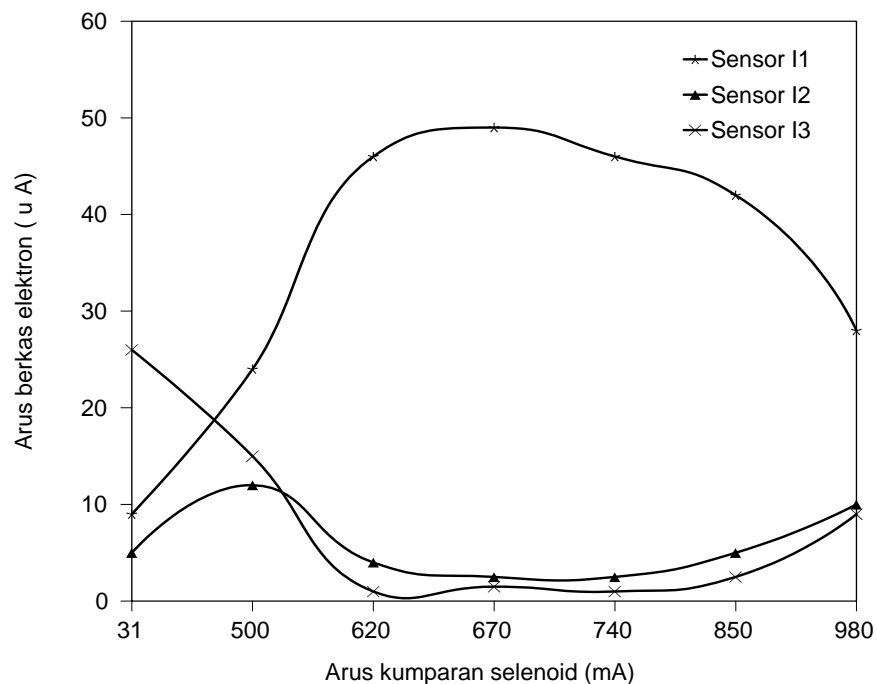
Posisi Operasi Sumber Elektron

Tegangan Anode-Katode (V_{ak})	= 3 kV
Arus filamen	= 9 A
Tegangan pemercepat	= 150 kV
Vakum	= 4.10^{-5} Torr
RH ruang MBE	= 55%
Temperatur ruang MBE	= 21 °C

Data Hasil Pengukuran

No	Arus pemfokus (mA)	Arus Berkas elektron (μ A)		
		sensor 1	sensor 2	sensor 3
1	31	9	5	26
2	500	24	12	15
3	620	46	4	1
4	670	49	2,5	1,5
5	740	46	2,5	1
6	850	42	5	2,5
7	980	28	10	9

Gambar efek perubahan arus SELENOID terhadap arus berkas elektron terukur



TANYA JAWAB

Hari Suryanto

- Bagaimana mekanisme system pemfokus yang menggunakan solenoid ini hingga dapat memfokuskan berkas bila dikaitkan dengan arah berkas (\vec{V}) arah medan magnet \vec{B} ? Bagaimana atau apa bedanya dengan system pemfokus kuadrapol magnet?

Saminto

- Elektron yang bergerak melalui suatu medan magnet mengalami gaya Lorentz $\vec{F}_L = -e\vec{V} \times \vec{B}$. Pada saat elektron masuk ke ujung lensa solenoid, maka elektron melalui daerah dimana medan magnetnya dalam arah radial (B_r). Untuk elektron yang tidak sejajar sumbu, maka mempunyai komponen kecepatan aksial dan radial. Sehingga perkalian silang vector kecepatan aksial dengan medan magnet radial ($e\vec{V}_z \times \vec{B}_r$) menghasilkan gaya Lorentz azimuthal yang mengakibatkan elektron bergerak memutar sambil maju (elektron mempunyai kecepatan angular). Perkalian silang vector kecepatan angular dengan medan magnet aksial ($e\vec{V}_\theta \times \vec{B}_z$) menghasilkan gaya Lorentz

radial yang mengakibatkan elektron terdefleksi ke arah sumbu solenoid. Gerak elektron dalam solenoid menjadi berbentuk spiral dan makin mendekati sumbu solenoid (terfokus).

Bedanya dengan system pemfokus kuadrapol, Sistem pemfokus kuadrapol dapat bersifat memfokuskan (misal ke arah X) dan menyebarkan (ke arah Y), sehingga agar terjadi pemfokusan ke arah X diperlukan 2 lensa kuadrapol (*doublet*). Pemfokus solenoid tidak demikian.

Ari Sugiharto SL.

- Peletakan target didalam atau diluar?
- Efek heating dari solenoid.

Saminto

- Pada Mesin Berkas Elektron, target diletakkan diluar, tepatnya dibawah *foil window* pada corong pemayar.
- Pemanasan pada solenoid tidak berpengaruh terhadap pemfokusan berkas elektron (solenoid dioperasikan dengan arus dibawah ambang batas maksimum kawat solenoid).