

ANALISIS SISTEM SUMBER ELEKTRON MBE GJ-2

Supandi, Jumsah dan Marapendi Hasibuan
Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi - BATAN

ABSTRAK

ANALISIS SISTEM SUMBER ELEKTRON MBE GJ-2 (2MeV, 10 mA) dimaksudkan untuk dapat memberikan manfaat dalam melaksanakan sebagian dari kegiatan pengoperasian, perawatan, dan perbaikan MBE GJ-2. Sistem sumber elektron terdiri dari suplai daya (*power supply*) dan sumber elektron (*electron gun*), yang berfungsi untuk menghasilkan berkas elektron. Suplai daya yang diperlukan adalah arus yang dapat diatur dari 0 s/d 15,6 A untuk memanaskan filamen Tungsten hingga mencapai temperatur 2700 °C dan suplai tegangan DC 3--4 kV sebagai pembangkit medan listrik penarik elektron (ekstraktor) dari filamen kemudian diteruskan ke akselerator. Besar berkas elektron yang dihasilkan dipengaruhi oleh suhu filamen, fungsi kerja bahan filamen dan tegangan ekstraktor. Karena itu penyimpangan besaran pada sistem suplai daya sumber elektron akan berpengaruh terhadap besar berkas elektron yang dihasilkan dan menyebabkan penyimpangan pada parameter operasi. Perawatan, perbaikan, modifikasi, dan penggantian komponen yang rusak merupakan serangkaian kegiatan yang diperlukan untuk mengoptimalkan sistem sumber elektron serta kondisi operasi MBE GJ-2.

ABSTRACT

THE ELECTRON SOURCE SYSTEM ANALYSIS AT THE EBM GJ-2 (2MeV, 10 mA) is intended to be benefit for operation activity, maintenance, and reparation of EBM GJ-2. It consists of power supply and electron gun to generate electron beam. Power supply is required to provide adjustable current from 0 until 15.6 mA used for Tungsten filamen heating up to 2700 K. It also provides DC potential about 3 - 4 kV as the electrical field source and to pull out electron to the electron accelerator system. Amount of the electron beam produced depends on the filamen temperature, work function, and extractor voltage. So, malfunction in the electron source power supply will influence the electron beam produced and operating parameters. Doing maintenance, reparation, modification, and change of components with new ones are the activities needed to optimize electron beam source system and EBM GJ-2 operating condition.

PENDAHULUAN

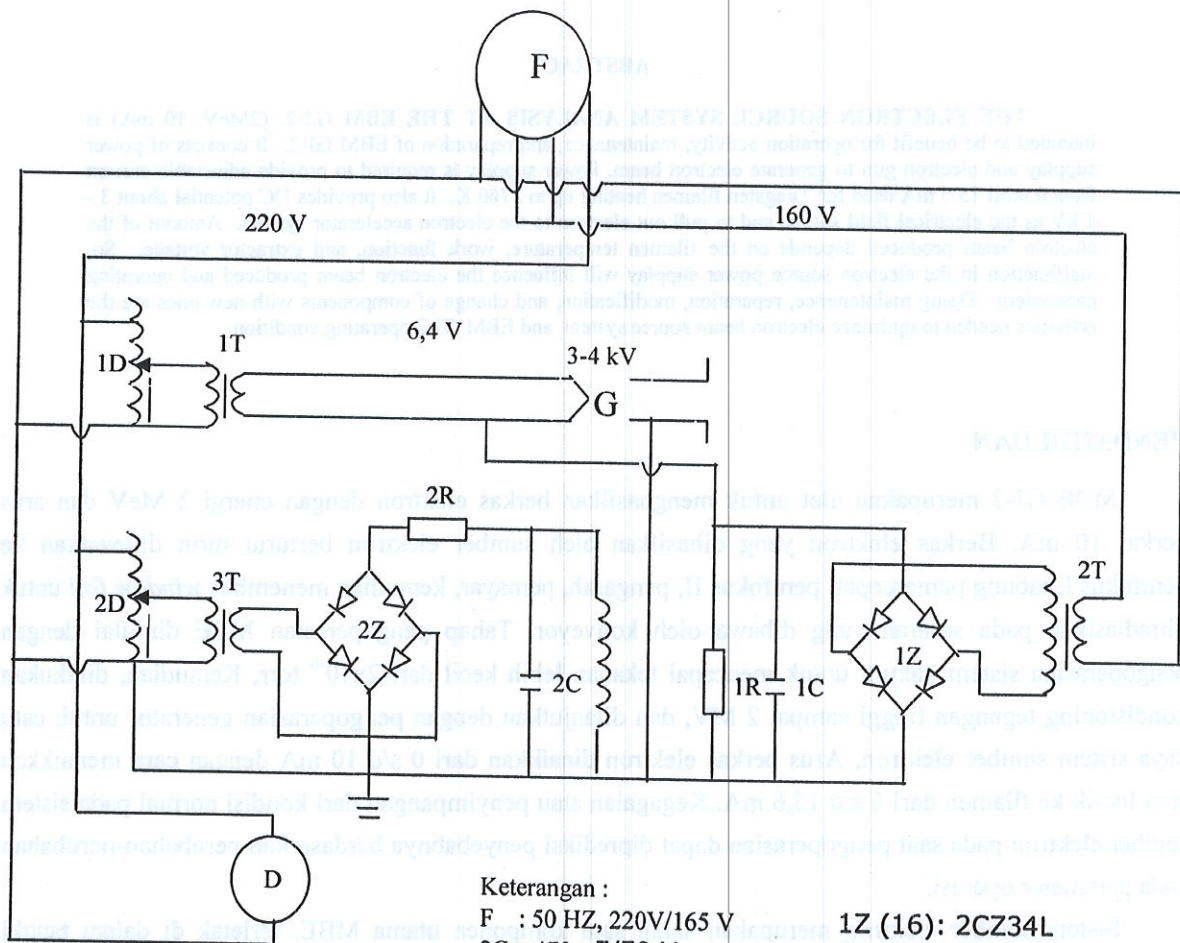
MBE GJ-2 merupakan alat untuk menghasilkan berkas elektron dengan energi 2 MeV dan arus berkas 10 mA. Berkas elektron yang dihasilkan oleh sumber elektron berturut turut dilewatkan ke pemfokus I, tabung pemercepat, pemfokus II, pengarah, pemayar, kemudian menembus *window foil* untuk diiradiasikan pada sasaran yang dibawa oleh konveyor. Tahap pengoperasian MBE dimulai dengan pengoperasian sistem vakum untuk mencapai tekanan lebih kecil dari 2×10^{-6} torr, Kemudian, dilakukan kondisioning tegangan tinggi sampai 2 MV, dan dilanjutkan dengan pengoperasian generator untuk catu daya sistem sumber elektron, Arus berkas elektron dinaikkan dari 0 s/d 10 mA dengan cara menaikkan arus listrik ke filamen dari 0 s/d 15,6 mA. Kegagalan atau penyimpangan dari kondisi normal pada sistem sumber elektron pada saat pengoperasian dapat diprediksi penyebabnya berdasarkan perubahan-perubahan pada parameter operasi.

Sistem sumber elektron merupakan salah satu komponen utama MBE, terletak di dalam tangki akselerator yang berisi gas campuran $\text{CO}_2 + \text{N}_2$ bertekanan 1,5 MPa. Filamen sumber elektron berada dalam kondisi ruang vakum. Sebelum melakukan tindakan perbaikan pada sistem sumber elektron harus terlebih dahulu dilakukan analisis secara tepat pada komponen-komponen yang terkait untuk menghindari kemungkinan rusaknya filamen dan mengurangi pemborosan dalam penggunaan gas isolator ($\text{CO}_2 + \text{N}_2$) yang nilainya relatif mahal.

PRINSIP KERJA SISTEM SUMBER ELEKTRON

1. Suplai Daya Sumber Elektron

Suplai daya untuk sumber elektron (seperti dapat dilihat pada gambar 1) berasal dari generator F yang menghasilkan sumber tegangan 220 V dan 160 V. Arus filamen disuplai dari tegangan 220 V, diatur menggunakan regulator 1D sebagai tegangan masukan ke transformator 1T sehingga dihasilkan tegangan maksimum 6,4 V dengan kemampuan arus 15,6 Amper. Elektroda ekstraktor disuplai dari tegangan 160 V, kemudian melalui transformator 2T dan rangkaian dioda penyearah dihasilkan tegangan DC 3000 V yang digunakan untuk menarik berkas elektron dari filamen ke sistem pemercepat. Pemfokus I disuplai dari tegangan 220 V, diatur menggunakan regulator 2D sebagai tegangan masukan ke transformator 3T sehingga dihasilkan tegangan maksimum 17,5 V. Kemudian, dengan menggunakan dioda penyearah dihasilkan tegangan DC 30 V dengan kemampuan arus 150 s/d 300 mA pada kumparan pemfokus pertama.



Keterangan :

F : 50 HZ, 220V/165 V

2C : 470 μ F/50 V

1C : 0,047 μ F/5 kV

2R : 4,3 Ω

1R (5) : 2.2 M Ω

1Z (16): 2CZ34L

3T : 220 V/17,5 V

2T : 220 V/3000 V

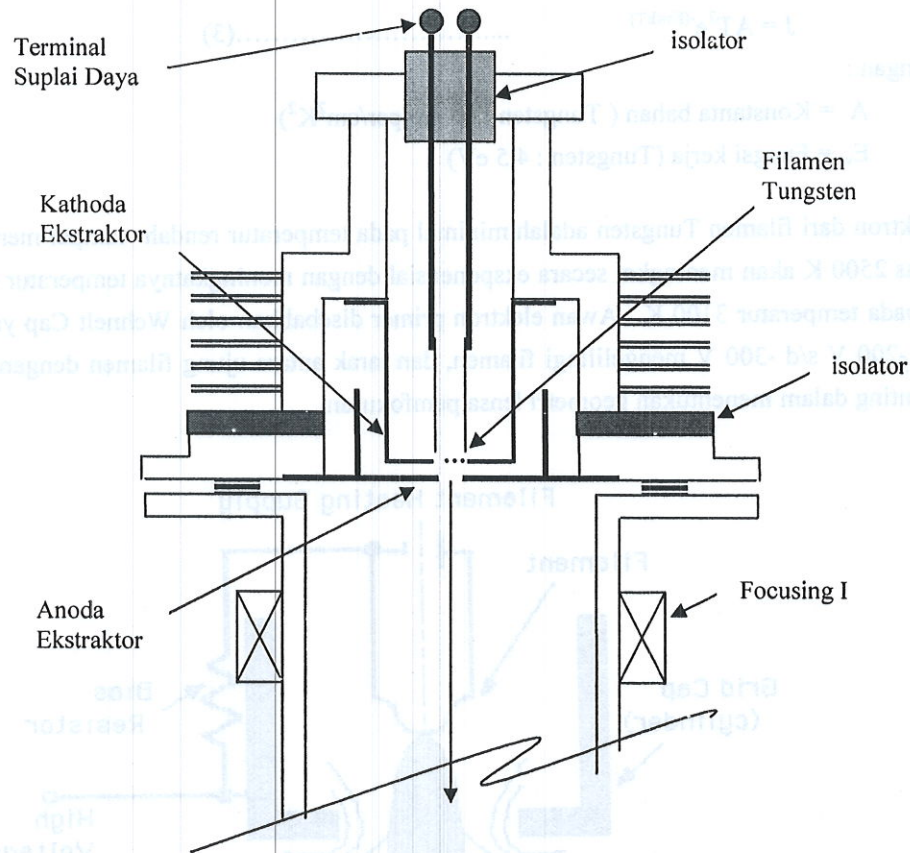
1T : 220 V/6,4 V

2D : TDGCZ-0.2

Gambar 1. Suplai Daya Sumber Elektron [1]

2. Sumber Elektron

Seperti dapat dilihat pada gambar 2, sumber elektron terbuat dari filamen Tungsten berbentuk spiral yang posisinya berhadapan dengan lubang pada anoda ekstraktor. Antara katoda dengan anoda dipasang isolator yang tahan terhadap beda potensial untuk ekstraktor, tahan panas, dan tidak menyebabkan kebocoran vakum. Filamen dan lintasan berkas elektron berada dalam ruang vakum tinggi ($< 2.10^{-6}$ torr) untuk meminimalkan kemungkinan terjadi tumbukan antara elektron dengan partikel-partikel di dalam udara.



Gambar 2. Sumber Elektron MBE GJ-2

TINJAUAN TEORI

Elektron mempunyai kemungkinan dipancarkan dari katoda/filamen antara lain dengan cara memanaskannya sampai elektron-elektron orbit terluar memperoleh cukup energi untuk mengatasi fungsi kerja bahan filamen. Elektron meninggalkan filamen dengan energi rata-rata :

$$E = kT \dots\dots\dots(1)$$

dengan :

k = konstanta Boltzmann's = $8,617398 \times 10^{-5}$ eV/K

T = temperatur filamen (K)

Energi yang dibutuhkan untuk terlepasnya elektron, berkaitan dengan fungsi kerja yang dinyatakan dengan persamaan :

$$E = E_w + E_f \dots\dots\dots(2)$$

dengan :

E = Energi total yang dibutuhkan

E_f = Energi bebas tertinggi

E_w = Fungsi kerja

Fluks emisi elektron dapat dinyatakan dengan persamaan Richardson-Dushman:

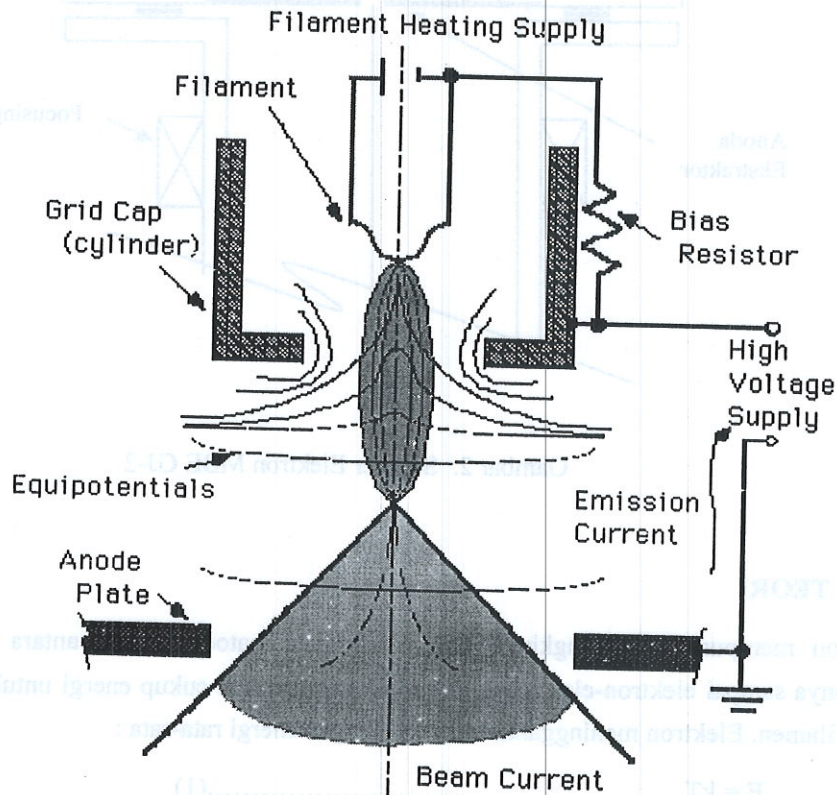
$$J = AT^2 e^{-(E_w/kT)} \dots\dots\dots(3)$$

dengan :

A = Konstanta bahan (Tungsten : 60 Amper/cm²K²)

E_w = Fungsi kerja (Tungsten : 4,5 eV)

Fluks elektron dari filamen Tungsten adalah minimal pada temperatur rendah sampai mendekati 2500 K, dan di atas 2500 K akan meningkat secara eksponensial dengan meningkatnya temperatur sampai filamen meleleh pada temperatur 3100 K. Awan elektron primer disebabkan oleh Wehnelt Cap yang diberi beda potensial -200 V s/d -300 V mengelilingi filamen, dan jarak antara ujung filamen dengan celah Wehnelt adalah penting dalam menentukan geometri lensa pemfokusan.



Gambar 3. Sumber Elektron [2]

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem Suplai Daya Sumber Elektron

Tinjauan teori menunjukkan bahwa besar fluks berkas elektron sangat dipengaruhi oleh temperatur filamen yang ditimbulkan oleh pengaturan suplai daya arus ke filamen. Pengaturan suplai daya arus dapat dicapai secara optimal apabila setiap komponen yang terkait yaitu : generator, slit regulator, transformator, dan rangkaian penyearah dalam kondisi sesuai spesifikasi teknis. Kerusakan pada salah satu komponen dapat mengakibatkan terjadi penyimpangan suplai daya arus ke filamen sehingga arus berkas yang dihasilkan tidak sesuai dengan parameter filamen yang tertampil pada monitor di panel kendali. Pada kondisi operasi, kerusakan seperti ini akan menyebabkan parameter operasi arus berkas elektron (I_{eb}) mengecil dan hingga mencapai 0 mA, sedangkan tegangan pemercepat (HV), tekanan kevakuman (P), dan parameter lain relatif tetap. Apabila kerusakan komponen menyebabkan penyimpangan nilai pada tegangan ekstraktor dan atau sistem pemfokus I, pada kondisi operasi akan terlihat perubahan pada parameter beam current (I_{eb}) power current (I_T), divider current (I_{dv}) dan tegangan pemercepat (HV).

Sumber Elektron

Salah satu bagian utama dari sumber elektron MBE GJ-2 adalah : filamen Tungsten yang berbentuk spiral dan katoda-anoda ekstraktor dengan tegangan 3-4 kV.

Filamen Tungsten dapat mengalami kerusakan atau putus karena beberapa faktor, antara lain : usia pakai, temperatur, dan tingkat kevakuman yang rendah. Putusnya filamen akan menyebabkan arus berkas tidak dapat dihasilkan. Pada kondisi operasi indikator arus berkas elektron akan menunjukkan 0 mA dan parameter operasi lainnya tidak berubah.

Berdasarkan asumsi bahwa arus jenuh hanya dapat dicapai jika medan listrik yang berhadapan dengan permukaan emisi cukup tinggi untuk menarik semua elektron, maka kerusakan yang menyebabkan tegangan ekstraktor lebih rendah dari 3 kV akan mengakibatkan sebagian dari elektron-elektron yang dipancarkan oleh filamen tidak dapat ditarik dan diteruskan ke sistem pemercepat. Dalam hal ini berkas elektron (I_{eb}) yang berhasil dipercepat dan diiradiasikan ke target menjadi lebih kecil. Sedangkan, elektron yang tidak tertarik oleh ekstraktor akan terakumulasi disekitar filamen dan anoda ekstraktor. Akibatnya akan membentuk muatan ruang yang dapat menghambat emisi elektron dan berpotensi menyebabkan bagian-bagian disekitarnya terbakar. Kondisi ini juga akan berpengaruh terhadap nilai kevakuman dan tegangan pemercepat.

HASIL PENGUKURAN TRANSFORMATOR 2T

	Resistensi (Ω)	Tegangan Input (Volt)	Tegangan Output (Volt)
Primer	10	165	-
Sekunder	260	-	2000

KESIMPULAN

1. Dengan menggunakan rumus (3), besar fluks berkas elektron yang dihasilkan oleh filamen tungsten pada MBE GJ-2 adalah :

$$J = 1,74305688 \text{ A/cm}^2 \text{ (pada temperatur } 2700 \text{ }^\circ\text{C)}.$$
 Untuk arus berkas elektron 10 mA dibutuhkan luas permukaan filamen tungsten : $0,5737047 \text{ mm}^2$
2. Pengukuran pada transformator 2T yang diberi tegangan input 165 V tegangan output yang dihasilkan terukur 2000 V. Nilai ini lebih rendah dari yang seharusnya (2250 V). Pada transformator 2T ini perlu dilakukan pengukuran dan dikaji ulang untuk memastikan bahwa tegangan ekstraktor 3-4 kV dapat dipenuhi sehingga semua elektron yang diemisikan oleh filamen dapat di tarik dan diteruskan ke sistem pemercepat elektron.
3. Sistem sumber elektron MBE GJ-2 membutuhkan suku cadang berupa sumber elektron (*electron gun*) dan komponen-komponen pada suplai daya, sebagai persiapan untuk dilakukan penggantian komponen pada saat dilakukan perbaikan di dalam tangki akselerator.
4. Dalam kegiatan pengoperasian, besarnya arus berkas yang dihasilkan oleh sumber elektron dibandingkan dengan arus berkas yang sampai dapat dikoreksi dengan ketentuan $I_{eb} < 1,2 I_T$ dengan *power current* (I_T) adalah arus total dari *beam current* (I_{eb}), *divider current* (I_{dv}), dan *measuring current* (I_{ms}). Ketentuan ini bertujuan supaya dalam pengoperasian tidak terjadi penyimpangan arus berkas electron dari garis sumbu lintasannya.

DAFTAR PUSTAKA

1. GJ-2 Technical Documentation, Shanghai Xian Feng Electric Manufacturing Work, China (1993).
2. <http://www4.nau.edu/microanalysis/Microprobe/column-Electron-Gun.html>
3. <http://www4.nau.edu/microanalysis/Microprobe/column-Condenser.html>

Tegangan Output (Volt)	Tegangan-Input (Volt)	Resistansi (Ω)	Arus (mA)
2000	165	10	2,0