

ANALISIS KELUARAN BERKAS ARUS MBE 350 kV/20 mA

Sigit Hariyanto, Tono Wibowo, Rany Saptaja, Hartono

Puslitbang Teknologi Maju - Batan

ABSTRAK

ANALISIS KELUARAN BERKAS ARUS MBE 350kV/20mA. Telah dilakukan analisis arus keluaran MBE di target dengan cara mengukur arus berkas elektron di penyetop berkas. Arus berkas elektron ini diukur setelah melewati jendela foil setebal 50 μm dan jarak jendela ke target 10 cm di udara atmosfer. Pengukuran arus elektron dengan berbagai arus filamen sumber elektron dari 9 A sampai 13 A dilakukan pada tegangan pemercepat 200 kV dan 230 kV. Arus berkas elektron di target mengalami keadaan jenuh pada arus filamen sekitar 11,5 A. Dilakukan juga pengukuran arus berkas elektron dengan tegangan pemercepat yang bervariasi pada arus filamen sumber elektron berbeda. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa, pada arus filamen sumber elektron 10,5 A dan 12 A dan tegangan pemercepat diturunkan sampai 160 kV, diperoleh pengukuran arus elektron di target 100 μA dan 300 μA . Kalau tegangan pemercepat diturunkan terus, maka arus elektron menjadi nol. Pada saat MBE beroperasi dengan sumber daya tegangan tinggi maksimum 340 kV/11,5 mA, dimana arus filamen sumber elektron mencapai 12 A, arus berkas elektron di target mencapai 4,5 mA atau sekitar 30% - 40% dari arus sumber tegangan tinggi MBE.

Kata kunci : akselerator, arus berkas elektron

ABSTRACT

ANALYSIS OF ELECTRON BEAM OUTPUT CURRENT OF EBM 350 kV/20 mA. The analysis of electron beam output of EBM for measuring the electron beam current in beam stopper have been done. The electron current was measured in atmospheric environment after passing through 50 μm thickness of windows foil and 10 cm distance of window to target. Measurement of electron current for various of electron source filament between 9 A to 13 A was done for accelerating voltage 200 kV and 230 kV. The electron beam current on target reached saturation at the filament current about 11,5 A. Measurement of electron beam for various accelerating voltage at the filament current of 11 A and 12 A also was done. It was found that, at the filament current electron source 10,5 A and 12 A, and if accelerating voltage decrease until 160 kV, electron current on the target was 100 μA and 300 μA . If accelerating voltage decreases continuously, electron current becomes zero. When the EBM operated at optimum conditions at 340 kV/11,5 mA, in which filament current electron source reaches 12 A, electron current on the target was 4,5 mA or around 30% - 40% of high voltage current of EBM.

Key word : accelerator, electron beam current

PENDAHULUAN

Mesin berkas elektron (MBE) sudah lama dipakai untuk penelitian dan pengembangan berbagai bidang. Untuk meningkatkan hasil penelitian dan pengembangan sampai dapat diaplikasikan secara komersial diperlukan studi kelayakan. Ada beberapa hasil penelitian yang sudah dapat dikembangkan sampai tahap komersial, tetapi ada yang baru pada tahap penelitian dan pengembangan. Radiasi berkas elektron telah dipakai dalam berbagai bidang, misalnya bidang polimer, sterilisasi, pengawetan makanan maupun masalah lingkungan.

Di dalam MBE, elektron yang dihasilkan dari sumber elektron dapat terjadi secara

pemanasan, yaitu pemanasan dengan mengalir arus filamen pada sumber elektron. Setelah keluar dari sumber elektron, berkas elektron dilewatkan melalui tabung pemercepat untuk dinaikkan energinya hingga mencapai energi yang diinginkan. Hal ini dilakukan dengan cara memasang tegangan listrik pada elektroda pemercepat. Agar berkas elektron dapat mengenai seluruh permukaan material yang diirradiasi, maka berkas elektron setelah keluar dari tabung pemercepat di mayarkan. Material yang diirradiasi dilewatkan dibawah jendela MBE menggunakan ban berjalan (*conveyor*)^[1].

Keluaran MBE 350 kV/20 mA berupa berkas yang mempunyai energi tertentu setelah melewati jendela titanium setebal 50 μm dan atmosfer udara menuju ke target. Untuk mengukur keluaran berkas

pada target digunakan penyetop berkas sebagai sensor, sensor ini terbuat dari lembaran aluminium yang diletakkan sepanjang keluaran titanium. Energi dan arus di dalam tabung pemercepat dan di atmosfer (pada target) amat berbeda. Pada tabung pemercepat tingkat kehampaannya masih tinggi, sehingga perjalanan berkas elektron belum banyak mengalami kerugian. Sedangkan di atmosfer perjalanan banyak mengalami kerugian akibat melewati ketebalan jendela titanium dan udara atmosfer dari jendela ke target. Energi merupakan fungsi dari tegangan pemercepat sedangkan arus dipengaruhi oleh parameter sumber antara lain arus filamen maupun kemampuan sumber tegangan tinggi pemercepat.

Pada makalah ini disajikan analisis keluaran berkas MBE 350 kV/20 mA di target atau pada penyetop berkas yang merupakan hasil pengukuran/eksperimen setelah terkonstruksinya semua komponen mesin berkas elektron dan dipersiapkan untuk aplikasi. Analisis keluaran MBE ini amat dibutuhkan untuk kebutuhan aplikasi, mengingat keluaran berkas di atmosfer (pada target) amat berbeda dibandingkan dengan energi maupun arus yang dihasilkan pada sistem tabung pemercepat.

DASAR TEORI

Arus berkas akan dapat diukur apabila berkas sampai ke sensor pengukur (penyetop berkas). Jangkau elektron (*S*) adalah jarak tegak lurus dari permukaan tumbukan sampai elektron berhenti memberikan energinya. Jangkau elektron amat dipengaruhi oleh beberapa parameter antara lain : kerapatan bahan yang ditumbuk, energi yang datang. Secara pendekatan rumusan jangkau

elektron dibedakan menjadi tiga katagori energi yaitu : energi rendah antara 10 - 100 keV, energi medium antara 100 keV - 1 MeV dan energi diatas 1 MeV^[2].

Pada rentang energi antara 10keV < *e U_B* < 100 keV, jangkau elektron :

$$S = 2,1 \times 10^{-12} U_B^2 / \rho \tag{1}$$

rentang energi elektron antara 100 keV – 1MeV :

$$S = 6,67 \times 10^{-11} U_B^{5/3} / \rho \tag{2}$$

rentang energi di atas 1 MeV :

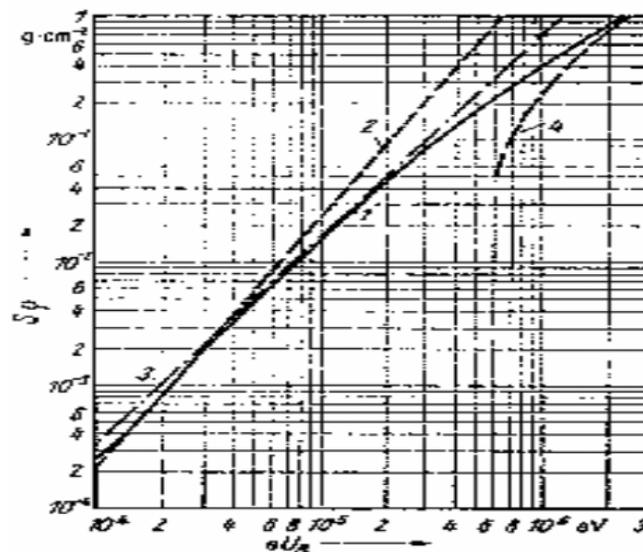
$$S = 1 / \rho (5,1 \times 10^{-7} U_B) \tag{3}$$

dengan : ρ = rapat jenis bahan (gr/cm³)

S = jangkau elektron (cm)

U_B = tegangan pemercepat (Volt)

Dari rumus diatas terlihat bahwa makin besar energi yang datang, maka makin besar jangkau masuk ke bahan. Demikian juga pada energi tertentu, jangkau akan dipengaruhi oleh rapat jenis bahan yang dilewati. Makin kecil rapat jenisnya maka jangkau akan semakin besar, demikian juga sebaliknya. Oleh karena itu kedalaman penetrasi merupakan perkalian antara jangkau elektron dengan kerapatan bahan yang dilewati, dan secara umum satuan penetrasi tidak terpengaruh oleh rapat jenisnya. Pada Gambar 1 ditunjukkan hubungan antara kedalaman penetrasi pada bahan dengan berbagai energi yang merupakan hasil pendekatan rumus diatas.



Gambar 1. Kedalaman penetrasi $S\rho$ dengan energi eU_B .

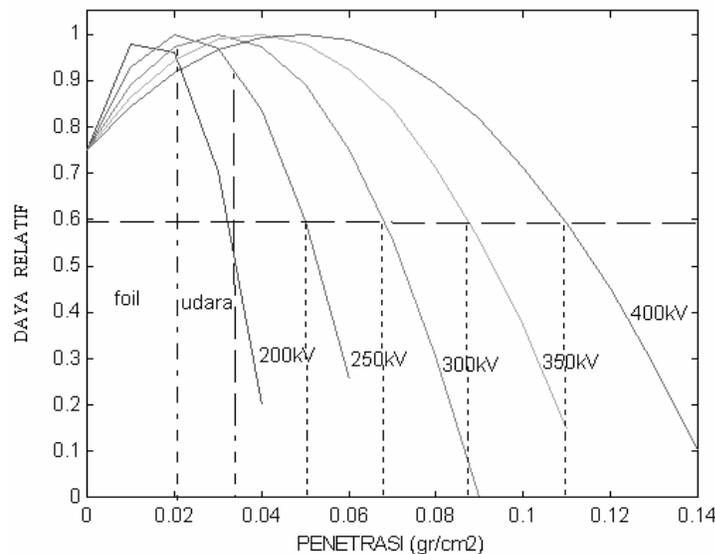
Energi yang terserap pada bahan mempunyai agihan tidak merata, berarti daya yang terserap per satuan volume merupakan fungsi dari jarak. Secara pendekatan daya berkas yang diserap persatuan volume $p_A(z)$ pada jarak z dituliskan sebagai berikut^[2]:

$$p_A(z) / p_{Amak} = 1 - 9/4(z/S - 1/3)^2 \quad (4)$$

dengan : $p_{Amak} = 4/3 \eta_A U_B J$, harga maksimum daya yang terserap per satuan volume pada jarak $z = S/3$

di permukaan, $z =$ jarak dari permukaan bahan, $S =$ jangkauan, $J =$ rapat arus berkas, $\eta_A =$ bagian berkas yang terserap.

Berkas yang terukur pada target hanya yang mempunyai daya cukup untuk menembus jendela titanium dan udara atmosfer dari jendela sampai ke target. Selain itu distribusi kedalaman penetrasi ke dalam suatu bahan tidak sama jangkauannya, tetapi distribusinya sesuai persamaan (4) dan ditunjukkan seperti pada Gambar 2^[3].



Gambar 2. Distribusi daya relatif terhadap penetrasi bahan.

TATA KERJA

Pengukuran berkas keluaran MBE 350kV/20mA dilakukan dengan cara mengukur arus pada penytop berkas yang letaknya paling dekat dengan target. Susunan lengkap sistem pengukuran arus di atmosfer ditunjukkan pada Gambar 3. Sebelum mengoperasikan MBE terlebih dahulu harus mengikuti prosedur awal untuk menjaga keamanan sesuai juklak antara lain : tingkat kevakuman $< 10^{-5}$ torr, suhu ruangan < 22 °C, humidity ruangan $< 60\%$, pendingin osilator daya ~ 15 °C, pendingin jendela dan pemayar kondisi hidup dll.

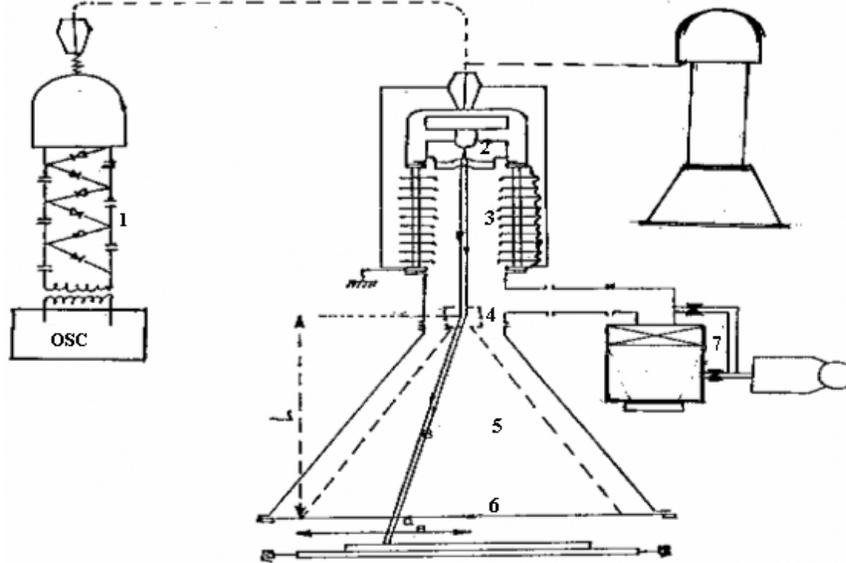
Untuk mengawali operasi dilakukan dengan menaikkan tegangan tinggi pemercepat sampai ~ 200 kV baru menghidupkan arus filamen sumber sambil menaikkan perlahan lahan sampai terlihat pada meter pengukur arus di penytop berkas.

Biasanya kalau arus sudah mulai keluar, tegangan pemercepat, arus sumber tegangan tinggi mulai naik dan tinggal menyesuaikan sesuai kebutuhan eksperimen.

Eksperimen yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengukuran arus berkas di atmosfer dengan variasi arus filamen pada tegangan pemercepat 200 kV dan 230 kV. Dengan menganalisis arus keluaran ini diharapkan dapat mengetahui batas jenuh dari sumber terhadap arus filamen yang diberikan. Selanjutnya dilakukan juga pengukuran arus berkas di atmosfer dengan berbagai tegangan pemercepat sampai batas terendah pada arus filamen sumber tetap 11,5 A. Diharapkan dengan pengukuran ini diperoleh informasi kerugian energi adanya ketebalan jendela dan jarak udara dari jendela ke target. Dilakukan juga pengamatan arus di atmosfer dengan tegangan

pemercepat hampir optimum, hal ini dimaksudkan untuk mengamati kemampuan MBE 350kV/20mA

dikaitkan arus kemampuan keluaran arus di target.

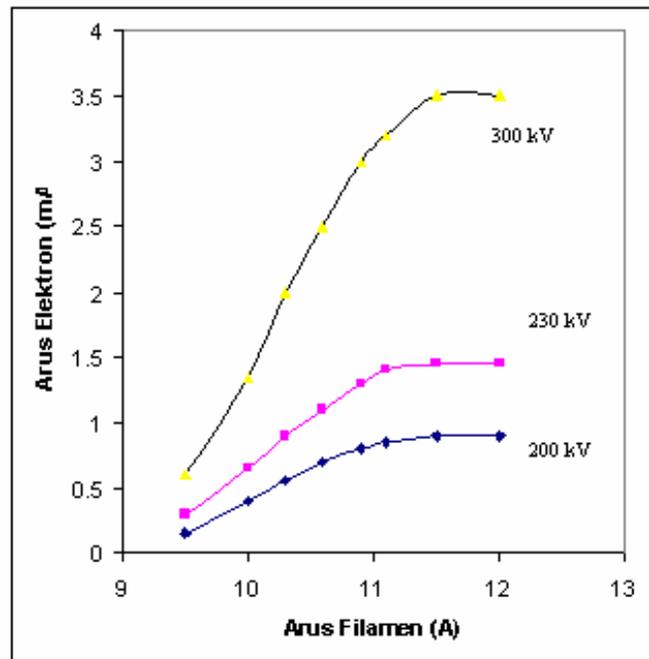


Gambar 3. Susunan pengukuran arus berkas di atmosfer. (1) pelipat tegangan, (2) sumber elektron, (3) pemercepat tegangan, (4) magnet pemayar, (5) corong pemayar, (6) jendela, (7) pompa hampa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian arus berkas elektron pada target dengan berbagai keadaan setelah melewati

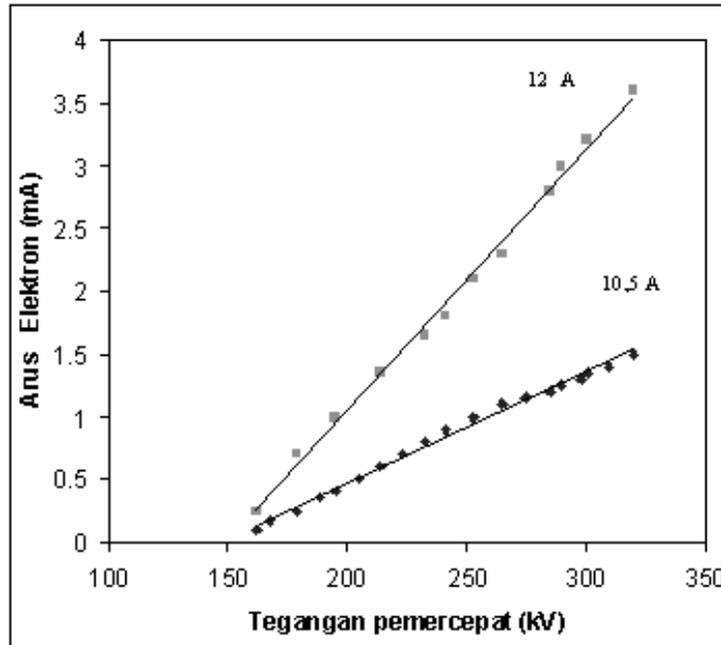
jendela titanium dengan udara atmosfer ditunjukkan pada Gambar 4 – 6.



Gambar 4. Hubungan antara arus filamen sumber elektron dengan arus berkas.

Pada Gambar 4 ditunjukkan hubungan antara arus filamen sumber elektron terhadap keluaran arus berkas elektron pada target pada tegangan pemercepat 200, 230 dan 300 kV. Pada awal percobaan ini dimulai dengan arus filamen sumber elektron 9,68 A dan diperoleh arus berkas elektron pada target 0,1 mA dan 0,3 mA. Apabila arus filamen dinaikkan, maka terlihat arus elektron yang dihasilkan mempunyai kecenderungan untuk naik. Tetapi terlihat pada gambar diatas bahwa pada arus

filamen diatas 11,5A arus elektron pada target sudah mulai jenuh dan meskipun arus filamen dinaikkan terus sampai 12,5A arus berkas yang dihasilkan tetap. Kejenuhan dari arus berkas elektron ini disebabkan antara lain dimensi dari kawat sumber elektron atau dapat juga karena kawat sumber elektron sudah teroksidasi oleh udara, mengakibatkan seperti resistansi sehingga perlu dilakukan lagi pembersihan/perawatan sumber elektron.



Gambar 5. Hubungan antara tegangan pemercepat dan arus elektron.

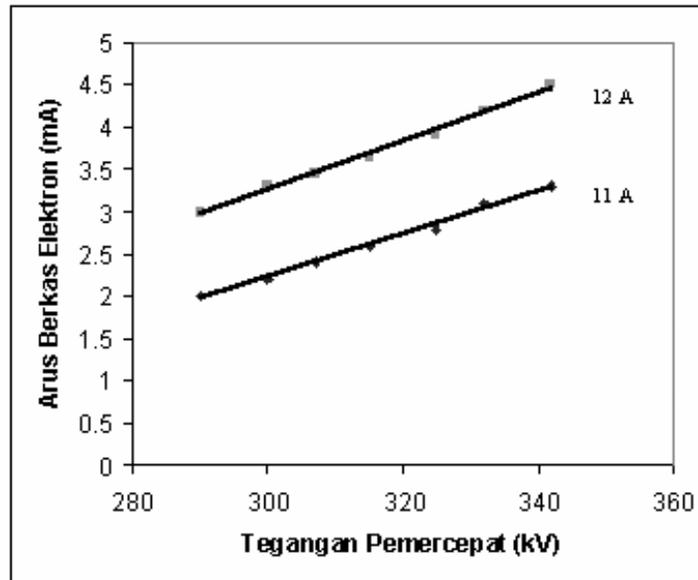
Jumlah elektron yang dihasilkan oleh sumber ion jenis termionik ini pada arus filamen lebih besar 11,5 A, tidak bertambah lagi, akibatnya walaupun arus filamen dinaikkan terus, arus elektron di target tetap 0,9 mA , 1,45 mA dan 3,5 mA pada tegangan pemercepat 200 kV, 230 kV dan 300 kV.

Pada Gambar 5 ditunjukkan hubungan antara tegangan pemercepat dengan arus elektron di target pada arus filamen sumber elektron 10,5 A dan 12 A dengan arus tegangan pemercepat (Cockroft-Walton) 4,5 mA dan 11,5 mA. Pada kondisi tersebut apabila tegangan pemercepat diturunkan sampai ~ 160 kV, maka arus elektron tinggal 100 μ A sampai 250 μ A dan kalau diteruskan sampai sekitar 150 kV arus menjadi nol. Hal ini disebabkan pada

energi 150keV, perjalanan elektron atau jangkauan elektron tidak sampai ke penyetop berkas sebagai detektor arus^[4]. Oleh karena itu supaya arus sampai ke target dapat terbaca oleh meter arus, maka tegangan pemercepat harus lebih besar dari 150 kV. Makin tipis jendela titanium yang dipasang, kerugian energi untuk menembusnya makin kecil, tetapi tentu saja dengan tipisnya jendela tersebut maka penanganan pendinginannya makin sulit. Kerugian arus berkas pada keluaran MBE 350 kV/20 mA terpengaruh antara lain karena ketebalan jendela titanium terlalu tebal (50 μ m) dan jarak antara jendela ke target terlalu panjang (10 cm). Kalau rapat jenis titanium 4gr/cm³ dan rapat udara 0.00125 gr/cm³, maka kerugian kedalaman penetrasi sekitar 0,325 gr/cm².

Pada Gambar 6 ditunjukkan hubungan antara tegangan pemercepat terhadap keluaran arus berkas elektron pada target pada kondisi arus filamen 11 A dan 12 A. Penetapan arus filamen ini dengan pertimbangan hampir mendekati keadaan arus jenuh dan sudah terjadi kejenuhan (lihat Gambar 4). Sedangkan arus tegangan tinggi pemercepat pada saat arus elektron maksimum adalah 9,5 mA dan 11,5 mA. Arus berkas elektron akan terus naik dengan naiknya tegangan pemercepat pada saat arus filamen dibuat tetap. Hal ini disebabkan dengan bertambahnya tegangan pemercepat maka semakin

banyak jumlah elektron yang dapat mencapai sensor arus (penyetop berkas). Melihat dari tegangan pemercepat operasi pada 340 kV berarti sudah mendekati operasi MBE optimum, tetapi arus sumber tegangan tinggi belum optimum (arus maksimum 20 mA). Arus elektron pada target yang terukur 3,4 mA dan 4,5 mA dalam keadaan arus filamen 11A dan 12 A. Hal ini mengindikasikan bahwa arus elektron MBE sekitar 30%-40% dari arus maksimum sumber tegangan tinggi pada kondisi jendela titanium 50 μ A dan jarak jendela ke target 10 cm.



Gambar 6. Hubungan antara tegangan pemercepat dan arus elektron pada target.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan analisis keluaran berkas elektro MBE 350 kV/20 mA diatas dapat disimpulkan bahwa :

1. Keluaran arus berkas elektron dari MBE 350 keV/20 mA di target adalah 4,5 mA, pada kondisi arus filamen mencapai kejenuhan yaitu 12 A, dan pada saat itu tegangan pemercepat 340 kV.
2. Tebal jendela titanium 50 μ m yang dipasang pada corong pemayar sistem MBE dan jarak antara jendela ke target 10 cm. Energi yang diperlukan untuk menembus ketebalan jendela titanium dan udara atmosfer sampai ke target sekitar 150 keV.

3. Pada saat MBE beroperasi optimum dengan sumber daya tegangan tinggi 340 kV, arus 11 mA - 12 mA, diperoleh arus berkas di target antara 30% - 40% dari arus tegangan tinggi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar besarnya kepada teknisi di kelompok pengembangan akselerator yang telah membantu dan berpartisipasi sehingga dapat terselesaikannya makalah ini.

ACUAN

- [1] DJOKO SLAMET P, *Teknologi Mesin Berkas Untuk Surface Treatment*, Teknologi Akselerator dan Pemanfaatannya, Juni 2003.

- [2] SIEGFRIED SCILLER *etc.*, *Elektron Beam Technology*, John Willey & Sons, New York , 1982.
- [3] SIGIT HARIYANTO dkk. , *Sistem Penyetop Berkas Sebagai Penentu Parameter Irradiasi MBE 350 keV*, 10mA, PPI- Tek Aks. Dan Aplikasi, Vol. 5, No. 1, Oktober 2003.
- [4] NO NAME , *The Handbook of Elektron Beam Processing*, Nissin High Voltage Co, Ltd, 1985.

TANYA JAWAB

Widdi Usada

- Apakah kevakuman dan jenis material mempengaruhi besar arus MBE yang diperoleh?
- Parameter lain apakah yang mempengaruhi besar arus yang diperoleh.

Sigit Hariyanto

- Ya, kalau vakum jelek menyebabkan sebagian elektron akan terhambur. Sedangkan jenis material dengan *work function* berbeda mempengaruhi arus elektron yang dihasilkan.
- Panas dari arus filamen, jenis material, tegangan elektron, lintasan yang dilewati elektron.

Djoko SP

- Apakah anda optimis MBE kita dapat mencapai tegangan dan arus berkas elektron 350 keV/10 mA? Untuk itu usaha apa yang harus dilakukan?

Sigit Hariyanto

- Optimis dengan beberapa modifikasi :

- mengganti kawat sumber elektron yang lebih besar,
- foil jendela diganti lebih tipis,
- kapasitas sumber tegangan tinggi dinaikkan.

Utaja

- Menurut penyaji, kira-kira kemana hilangnya arus elektron (dari 11,5 mA tinggal 4 mA).
- Pernahkah dikaji dari formula, hubungan arus filamen dan tegangan pada arus elektron MBE.

Sigit Hariyanto

- Hilangnya menjadi arus kolom, arus pada tahanan *divider*, arus ohmic dan arus berkas elektron. Arus berkas elektron sendiri dipengaruhi oleh lintasan elektron melalui jendela, jendela sensor arus.
- Yang pernah dikaji hubungan arus filamen dengan tegangan ekstraktor.

S. Trijoko

- Bagaimanakah pengaruh jarak jendela ke target terhadap arus berkas elektron dan energinya di target?

Sigit Hariyanto

- Makin besar energinya jangkauan elektronnya makin panjang. Apabila jarak jendela ke target makin panjang elektron yang mencapai sensor arus yang tertangkap hanya sebagian (karena distribusinya tidak sama), sehingga arus berkasnya berkurang.