

PENGUJIAN SUMBER ELEKTRON PADA MBE UNTUK APLIKASI INDUSTRI LATEKS

Djoko S. Pudjorahardjo, Suprpto

Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan, BATAN

ABSTRAK

PENGUJIAN SUMBER ELEKTRON PADA MBE UNTUK APLIKASI INDUSTRI LATEKS. Prototip MBE 300 kV/20 mA sedang dirancang bangun untuk digunakan pada industri lateks. Diantara komponen-komponen utama yang dirancang bangun adalah sumber elektron tipe termionik. Untuk mendapatkan data karakteristik sumber elektron tersebut telah dilakukan pengujian sumber elektron sebelum diinstal dengan komponen-komponen utama lainnya. Pengujian dilakukan dengan melakukan pengukuran arus dan profil berkas elektron yang dihasilkan sumber elektron. Dari pengukuran arus berkas elektron diperoleh arus maksimum 55 mA pada tegangan katode-anode 3 kV dan tegangan pemercepat 12 kV. Dari pengukuran diameter berkas elektron menggunakan rotating probe diperoleh diameter minimum 16,1 mm untuk arah x dan arah y pada tegangan katode-anode antara 1 kV sampai 1,5 kV. Sedangkan dari pengukuran secara visual pada bekas tumbukan berkas elektron pada target diperoleh diameter 19 mm arah x dan 23 mm arah y. Dengan pengujian sumber elektron yang ternyata menghasilkan arus berkas elektron lebih dari 30 mA, dapat disimpulkan bahwa sumber elektron hasil rancang bangun ini memenuhi syarat untuk digunakan pada MBE untuk industri lateks.

Kata kunci: Sumber elektron, MBE, industri lateks.

ABSTRACT

TESTING OF ELECTRON GUN FOR ELECTRON BEAM MACHINE DEDICATED FOR LATEX INDUSTRY. Prototype of EBM 300 kV/20 mA is being designed and constructed for application in latex industry. Among the designed and constructed main components is the thermionic electron gun. To find out data of characteristic of the electron gun, testing of the electron gun has been performed before it installed with the other main components. The testing was done by measuring the current and profile of electron beam produced by the electron gun. From the measurement of electron beam current it is found the maximum electrons beam current of 55 mA whenever the cathode-anode voltage and the accelerating voltage were 3 kV and 12 kV respectively. From the measurement of electron beam profile using rotating probe it was found that the minimum electron beam diameter in both x and y directions were 16.1 mm at the cathode-anode voltage from 1 kV up to 1.5 kV. The visual measurement of the scratch caused by the collision between electron beam and target yields the beam diameter of 19 mm and 23 mm in x and y directions respectively. From the fact that the electron gun yields electron beam greater than 30 mA it is concluded that the electron gun can be used for EBM dedicated for latex industry.

Keywords: Electron gun, EBM, latex industry

PENDAHULUAN

Pemanfaatan mesin berkas elektron (MBE) dalam bidang industri telah banyak dilakukan, terutama dalam proses pengeringan pelapisan (*curing of coatings*) permukaan suatu bahan, proses pembentukan ikatan silang pada plastik, karet dan bahan isolasi kabel, proses pravulkanisasi karet alam, sterilisasi peralatan medis, pengawetan bahan makanan, modifikasi tekstil dan *graft polymerization*^[1,2,3,4]. Dibandingkan dengan cara konvensional baik proses termal

maupun proses kimia, proses iradiasi elektron mempunyai beberapa keunggulan antara lain: menghasilkan kualitas produk yang lebih tinggi, tidak menimbulkan polusi pada lingkungan, hemat energi, reaksi-reaksi terjadi pada suhu kamar, proses yang terjadi mudah dikontrol, biaya operasi lebih rendah untuk produksi massal. Tetapi pada proses iradiasi elektron diperlukan modal awal (investasi) yang lebih besar dibandingkan dengan metode konvensional, yaitu untuk pengadaan MBE dan fasilitas pendukungnya.

Pemanfaatan MBE pada industri lateks karet alam di Indonesia mempunyai prospek yang sangat baik, mengingat Indonesia merupakan negara penghasil karet alam terbesar nomor 2 di dunia setelah Malaysia. Radiasi elektron dalam hal ini berfungsi untuk proses pravulkanisasi pada lateks karet alam yang akan memperbaiki sifat-sifat fisika lateks karet alam. Sebagai contoh, bertambahnya ketahanan terhadap bahan pelarut (*solvent*), meningkatnya kekuatan regangan dan kekerasan, berkurangnya tingkat kemuluran dan tahan terhadap panas (*deformasi termal*)^[3,4,5]. Disamping itu bahan lateks karet alam hasil pravulkanisasi dengan elektron 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. Semua itu akibat terbentuknya ikatan silang (*crosslinking*) pada lateks karet alam selama proses iradiasi elektron.

Kajian proses pravulkanisasi lateks karet alam menggunakan berkas elektron termasuk teknoekonominya telah dilakukan di PATIR-BATAN Jakarta, bahkan kajian ini telah sampai pada tahap RUK. Menindaklanjuti hasil kajian tersebut maka sejak tahun 2005 di PTAPB-BATAN Yogyakarta telah dilakukan rancang bangun MBE kapasitas 300 keV/20 mA untuk industri lateks. Dengan merancang bangun sendiri MBE ada beberapa keuntungan yang diperoleh yaitu kandungan lokal komponen MBE yang dibuat cukup besar, perawatan lebih mudah dilakukan karena teknologi telah dikuasai, kemampuan SDM menjadi meningkat. Kegiatan rancang bangun MBE ini merupakan program strategis PTAPB dalam mendukung salah satu program *landmark* BATAN bidang manufaktur.

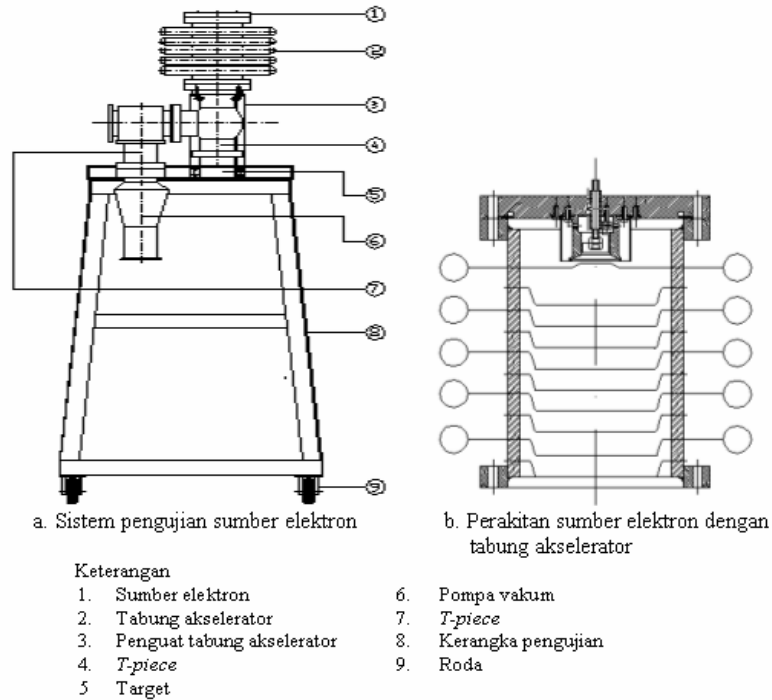
Diantara komponen-komponen MBE yang telah dirancang bangun adalah sumber elektron yang berfungsi untuk menghasilkan berkas elektron. Sumber elektron yang telah dirancang bangun adalah tipe termionik, di mana elektron dihasilkan melalui proses emisi atau pancaran termionik pada filamen panas karena dialiri arus listrik. Elektron-elektron yang dipancarkan tersebut kemudian dipercepat dengan medan elektrostatik dan dibentuk menjadi berkas elektron. Setelah keluar dari sumber

elektron selanjutnya berkas elektron dipercepat di dalam tabung akselerator, dimayarkan di dalam corong pemayar dan akhirnya dikeluarkan melalui jendela (*window*) MBE untuk iradiasi bahan lateks karet alam. Sumber elektron yang dirancang bangun diharapkan dapat menghasilkan arus berkas elektron di atas 30 mA untuk memenuhi kebutuhan radiasi bahan lateks karet alam. Dalam makalah ini dibahas hasil pengujian sumber elektron yang telah dirancang bangun pada tahun 2005 sebagai komponen utama MBE untuk industri lateks.

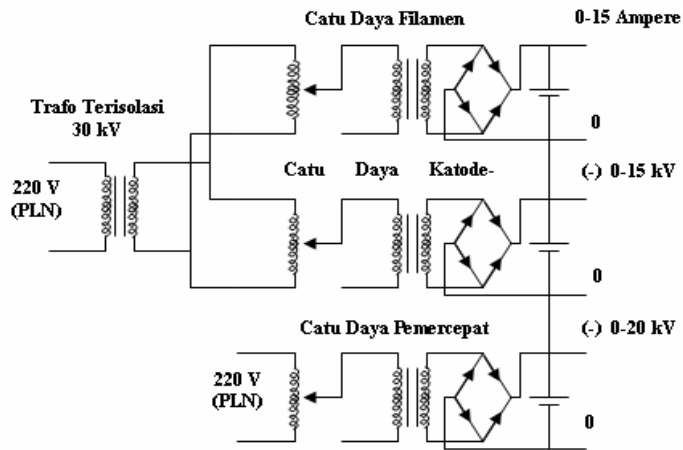
TATA KERJA

Pengujian dimaksudkan untuk memperoleh data karakteristik arus dan profil berkas elektron dari sumber elektron yang telah dirancang bangun. Pengujian sumber elektron dilakukan dengan menginstal sumber elektron pada sistem pengujian seperti ditampilkan pada Gambar 1. Dalam pengujian sumber elektron ini, sumber elektron dipasang langsung pada tabung akselerator sehingga berkas elektron yang dihasilkan langsung dipercepat di dalam tabung akselerator. Oleh karena itu *flange* dudukan elektrode pemfokus yang sekaligus sebagai *flange* sumber elektron harus sesuai dengan *flange* tabung akselerator untuk memudahkan pemasangan. Tabung akselerator yang digunakan adalah tipe 2JA004150 (NEC *Flange*) buatan NEC-USA. *Flange* pada tabung akselerator ini mendekati dengan *flange* untuk standar vakum DN 160 CF sehingga *flange* sumber elektron dibuat dengan standar *flange* DN 160 CF dan disesuaikan dengan *flange* tabung akselerator. Untuk mengoperasikan sumber elektron diperlukan 3 buah catu daya, yaitu catu daya arus filamen (0 – 15 A), catu daya tegangan katode – anode (0 – 15 kV) dan catu daya tegangan pemercepat (0 – 20 kV). Rangkaian ketiga catu daya tersebut seperti ditampilkan pada Gambar 2.

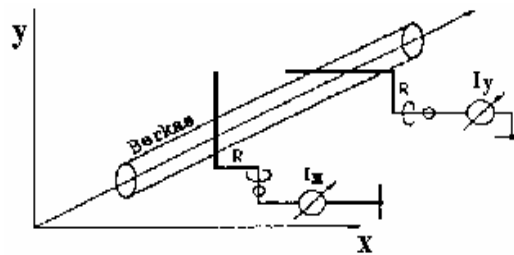
Dalam pengujian ini arus berkas elektron diukur menggunakan DC miliamper untuk beberapa variasi tegangan katode-anode dan tegangan pemercepat. Profil berkas elektron (diameter berkas) diamati menggunakan *rotating probe* dan osiloskop Trio CS-1560 A untuk menampilkan pulsa saat *rotating probe* memotong berkas elektron seperti ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 1. Sistem pengujian sumber elektron.



Gambar 2. Rangkaian catu daya pada pengujian sumber elektron.

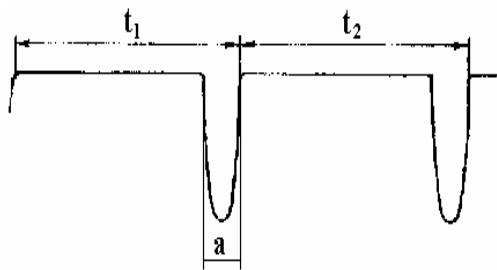


Gambar 3. Pengamatan profil berkas elektron dengan *rotating probe*^[10].

Pulsa yang tertampil pada layar osiloskop ini tidak langsung menunjukkan besar diameter berkas, tetapi masih harus dilakukan suatu perhitungan. Jika *rotating probe* berputar dengan kecepatan sudut tertentu dan memotong berkas elektron, maka arus berkas elektron $i_{(t)}$ dapat dihitung sebagai berikut.^[10]

$$i_{(t)} = 2r \sqrt{\left(\frac{R}{r}\right)^2 (\cos^2 \omega t - 1) + 1} \quad (1)$$

dengan r jari-jari berkas elektron (mm), R jari-jari lintasan *rotating probe* (21 mm), t waktu perpotongan antara *rotating probe* dengan berkas elektron (detik). Dalam satu putaran *rotating probe* memotong berkas elektron 2 kali, sehingga dihasilkan bentuk pulsa seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Bentuk pulsa *rotating probe* pada osiloskop^[10].

Jika berkas ini terfokus sepanjang sumbu, maka integral waktu perpotongan antara berkas elektron dan *rotating probe* adalah sama yaitu $t_1 = t_2$ sehingga diameter berkas elektron (d) dapat dihitung dengan persamaan^[10]

$$d = 2R \sin \frac{\pi a}{2t_1} \quad (2)$$

dengan a adalah waktu perpotongan antara berkas elektron dengan *rotating probe* (detik), t_1 waktu setengah putaran *rotating probe* (detik).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengoperasian sumber elektron harus diperhatikan kemampuan katode, yaitu suhu pemanasannya agar elektron dapat diemisikan dan diekstraksi menjadi berkas elektron. Katode sumber elektron dibuat dari kawat tungsten berdiameter 0,5 mm dan dibentuk spiral. Suhu operasi katode diprediksi dengan menghitung emisi elektron dari katode sebagai fungsi suhu dengan persamaan Richardson-Dushman sebagai berikut.^[8]

$$j = AT^2 e^{-\frac{\phi}{kT}} \quad (3)$$

dengan A adalah konstanta Richardson ($A/\text{cm}^2 \text{K}^2$), ϕ fungsi kerja (eV), k tetapan Boltzmann (eV/K) dan T suhu pemanasan (K). Nilai A tergantung pada jenis bahan filamen (katode).

Persamaan (3) menyatakan hubungan emisi elektron di dalam ruang sumber elektron dengan suhu operasi katode. Suhu operasi sangat berkaitan dengan sifat-sifat bahan pada saat dioperasikan. Satu diantara sifat yang paling penting berkaitan dengan suhu operasi adalah titik leleh (*melting point*). Dalam pengoperasian sumber elektron, suhu katode tidak boleh melebihi titik lelehnya. Hasil perhitungan untuk memprediksi suhu operasi dengan menggunakan persamaan (3) ditunjukkan pada Gambar 5. Gambar 5a menunjukkan hasil perhitungan hubungan antara rapat arus jenuh emisi elektron sebagai fungsi suhu, sedangkan Gambar 5b menunjukkan besar emisi arus elektron yang dihasilkan sebagai fungsi suhu. Persamaan (3) menunjukkan bahwa arus jenuh emisi elektron ditentukan oleh suhu katode. Makin tinggi suhu katode, makin besar arus emisi elektron.

Hal ini berkaitan dengan energi yang diberikan pada elektron untuk melepaskan dari ikatannya. Makin tinggi suhu katode, berarti makin besar energi yang diberikan kepada elektron sehingga elektron tersebut makin mudah melepaskan diri dari ikatannya dan akibatnya makin banyak elektron yang diemisikan. Dengan kata lain rapat emisi elektron makin besar. Arus emisi elektron merupakan perkalian antara rapat emisi elektron dengan luas permukaan katode. Arus jenuh emisi elektron akan makin besar jika rapat emisi elektron makin besar akibat dari makin tingginya suhu katode.

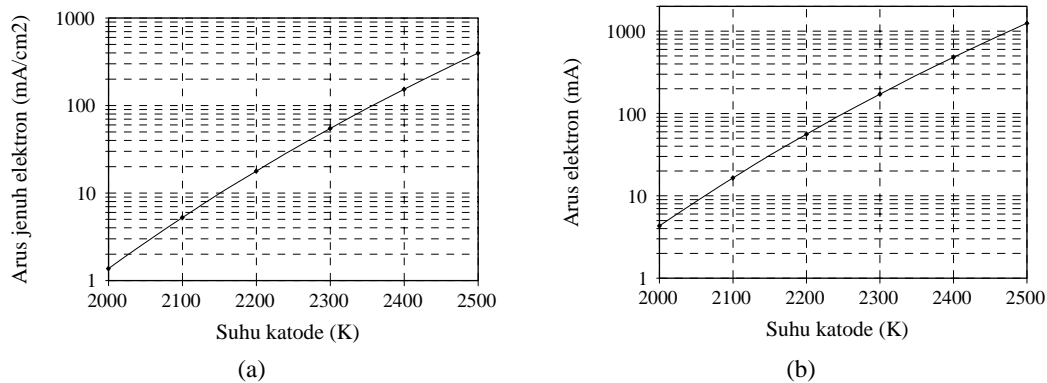
Suhu operasi katode dibatasi oleh titik leleh pada kondisi operasi, yaitu pada kondisi vakum yang cukup tinggi. Tingkat kevakuman pada MBE pada umumnya berkisar antara 10^{-2} s/d 10^{-4} Pa (10^{-4} s/d 10^{-6} mbar) atau lebih tinggi^[8]. Makin tinggi tingkat kevakumannya, makin baik untuk kondisi operasi MBE. Pada tingkat kevakuman yang makin tinggi, maka gangguan pada lintasan berkas elektron dan efek *sputtering* yang terjadi lebih kecil. Oleh karena tingkat kevakuman sumber elektron sama dengan tingkat kevakuman MBE, maka titik leleh katode ditentukan pada tingkat kevakuman ini. Titik leleh tungsten adalah 3050 K untuk kevakuman $1 \cdot 10^{-4}$ Torr dan 2700 K untuk kevakuman $1 \cdot 10^{-6}$ Torr (1 Torr sama dengan 1,33 mbar)^[11]. Berdasarkan perhitungan untuk memperkirakan

suhu operasi didapatkan bahwa pada suhu katode 2200 K dapat mengemisikan arus elektron sebesar 55,98 mA dan pada suhu katode 2300 K sebesar 171,73 mA (Gambar 5.b). Jadi dengan suhu operasi ini, katode dari bahan tungsten untuk sumber elektron dengan arus berkas sampai dengan 50 mA dapat berfungsi dengan baik. Hal ini karena suhu operasi untuk menghasilkan emisi arus elektron yang diperlukan masih jauh di bawah titik leleh pada kondisi tingkat kevakuman saat MBE beroperasi (10^{-4} s/d 10^{-6} mbar).

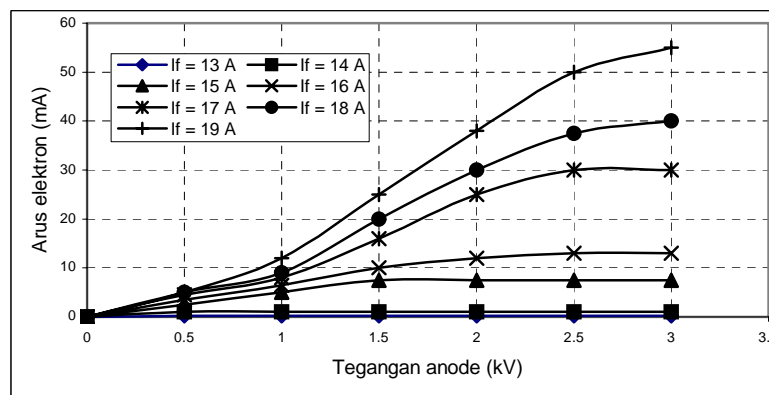
Hasil pengukuran arus dan profil berkas elektron yang dihasilkan oleh sumber elektron ditunjukkan pada Gambar 6 dan 7. Pada Gambar 6 ditunjukkan hubungan arus elektron sebagai fungsi tegangan katode-anode untuk 7 variasi arus filamen. Berdasarkan pengukuran tersebut didapatkan bahwa arus berkas elektron 0,25 mA untuk arus filamen 13 A dan arus berkas elektron 55 mA untuk arus filamen 19 A. Hasil ini menunjukkan bahwa pada

arus filamen 13 A tercapai suhu katode yang merupakan suhu awal terjadinya emisi elektron. Pada kondisi ini berkas elektron yang dapat diekstraksi terbatas hanya 0,25 mA pada variasi tegangan katode-anode mulai dari 0,5 kV sampai dengan 3 kV sebagai tegangan ekstraktor.

Pada kondisi ini arus berkas elektron tidak berubah walaupun tegangan ekstraktor (katode-anode) divariasikan, hal ini disebabkan karena keterbatasan elektron yang diemisikan oleh katode. Selanjutnya arus filamen dinaikkan hingga suhu katode naik dan menyebabkan kenaikan emisi elektron dari permukaan katode. Dengan kenaikan emisi elektron maka jumlah elektron yang diekstraksi akan naik dan menyebabkan kenaikan arus berkas elektron yang dihasilkan oleh sumber elektron. Hal ini sesuai dengan persamaan (3) yaitu dengan bertambahnya suhu katode makin besar emisi elektron yang dihasilkan per satuan luas permukaan katode.



Gambar 5. Kurva emisi elektron sebagai fungsi suhu katode. (a) Rapat arus jenuh emisi elektron sebagai fungsi suhu, (b) Emisi arus elektron sebagai fungsi suhu.



Gambar 6. Hubungan arus berkas elektron sebagai fungsi tegangan katode-anode untuk variasi arus filamen pada tegangan pemercepat 12 kV.

Besar arus berkas elektron yang dihasilkan oleh sumber elektron, disamping dipengaruhi oleh arus filamen juga dipengaruhi oleh tegangan elektrode pemfokus-anode atau tegangan katode-anode sebagaimana dinyatakan dengan persamaan^[7]:

$$V = f(x) = A x^{4/3} \quad (4)$$

dengan

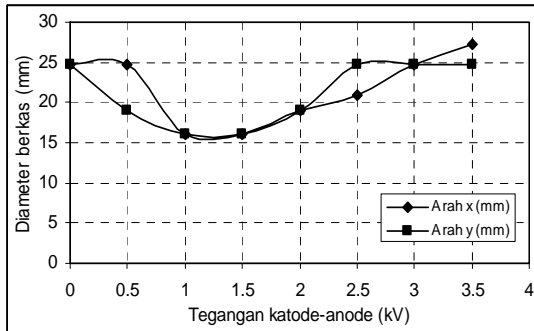
$$A = \left(\frac{9J_e}{4\varepsilon_o (2\eta)^{1/2}} \right)^{2/3} \quad (5)$$

Berdasarkan pengamatan menunjukkan bahwa walaupun arus filamen dinaikkan sampai 19 A sehingga suhu katode mencapai sekitar 2230 K, tetapi jika tegangan katode-anode belum dinaikkan maka belum terbentuk arus berkas elektron (arus berkas elektron belum terukur). Hal ini disebabkan pada kondisi tegangan katode-anode nol, belum terjadi ekstraksi berkas elektron dari permukaan katode sehingga belum ada elektron yang keluar dari sumber elektron. Pada kondisi ini elektron yang diemisikan oleh katode membentuk awan elektron di sekitar permukaan katode dan membentuk muatan ruang. Dengan demikian emisi elektron oleh katode dibatasi oleh muatan ruang dari awan elektron di sekitar permukaan katode. Jika tegangan katode-anode dinaikkan maka akan terjadi ekstraksi elektron dan dibentuk menjadi berkas elektron yang dikeluarkan dari sumber elektron. Karena elektron di sekitar katode terekstraksi, maka awan elektron di sekitar katode berkurang dan terjadi emisi elektron sesuai dengan jumlah elektron yang terekstraksi. Jika tegangan katode-anode dinaikkan sampai pada batas tertentu maka semua elektron yang diemisikan oleh katode akan terekstraksi dan dibentuk menjadi berkas elektron yang dikeluarkan dari sumber elektron melalui celah anode. Pada kondisi ini emisi elektron terjadi secara maksimum sesuai dengan kondisi suhu operasi katode dan tidak terbentuk awan elektron di sekitar katode yang membatasi emisi elektron. Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan (4) dan persamaan (5), untuk mengekstraksi berkas elektron ini didapatkan tegangan katode-anode sebesar 2,1 kV untuk arus berkas elektron 10 mA dan 3,5 kV untuk arus berkas elektron 25 mA serta 4,6 kV untuk arus berkas elektron 40 mA. Hasil perhitungan tegangan katode-anode mendekati sama dibandingkan dengan tegangan katode-anode terpasang dalam pengujian. Namun untuk arus berkas elektron diatas 30 mA (arus filamen diatas 16 A) tegangan katode-anode tidak dapat dinaikkan

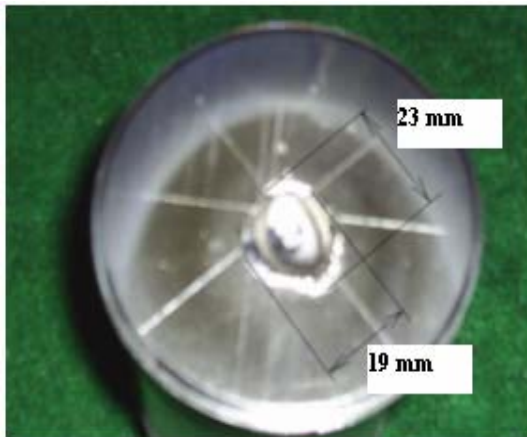
karena kemampuan catu daya katode-anode yang terbatas. Jika arus filamen dinaikkan, arus berkas elektron bertambah tetapi tegangan katode-anode tidak dapat dinaikkan yaitu maksimum 3 kV. Dengan demikian elektron yang diemisikan oleh katode belum terekstraksi secara keseluruhan, hal ini diindikasikan dengan kenaikan tegangan katode-anode belum mencapai pada kondisi mantap (*steady state*) seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Untuk arus filamen 19 A didapatkan arus berkas elektron 55 mA pada tegangan katode-anode 3 kV dan tegangan pemercepat 12 kV. Pada kondisi ini jika tegangan katode-anode dapat dinaikkan maka arus berkas elektron kemungkinan masih dapat dinaikkan, tetapi karena keterbatasan kemampuan catu daya katode-anode maka tidak dapat dilakukan.

Hasil pengamatan profil berkas elektron menggunakan *rotating probe* untuk menentukan diameter berkas sampai pada target ditunjukkan pada Gambar 7. Hasil ini merupakan hasil perhitungan diameter berkas elektron menggunakan persamaan (2) dan didasarkan pada pulsa yang dibangkitkan *rotating probe* yang ditampilkan dengan osiloskop (lihat lampiran). Pulsa ini dibangkitkan karena perpotongan berkas elektron dengan *rotating probe*. Untuk menghindari kerusakan pada target akibat daya terdesipasi berkas elektron, pengamatan dilakukan pada arus berkas elektron 300 μ A sehingga daya terdesipasi yang terjadi cukup kecil. Pada tegangan katode-anode mendekati 0 kV, diameter berkas elektron baik arah x maupun arah y adalah 24,7 mm. Jika tegangan katode-anode dinaikkan, diameter berkas elektron makin kecil. Diameter berkas elektron minimum dicapai pada tegangan katode-anode antara 1 kV hingga 1,5 kV yaitu 16,1 mm baik untuk arah x maupun arah y. Hal ini disebabkan karena fungsi tegangan katode-anode disamping untuk mengekstraksi berkas elektron juga berfungsi sebagai pemfokus sehingga makin tinggi tegangan katode-anode fungsi pemfokusan makin baik sehingga diameter berkas elektron makin kecil. Tetapi setelah tegangan katode-anode mencapai diatas 1,5 kV, kenaikan tegangan katode-anode mengakibatkan makin besar diameter berkas elektron. Hal ini disebabkan karena medan listrik yang diakibatkan oleh tegangan katode-anode sebagai pemfokus terlalu kuat sehingga terjadi pemfokusan dini sebelum mencapai target (*rotating probe*) dan terjadi persilangan lintasan berkas elektron. Akibat persilangan ini diameter berkas menyebar kembali dan mencapai target dengan diameter yang lebih besar yaitu 27,3 mm untuk arah x dan 24,7 mm untuk arah y pada tegangan katode-anode 3,5 kV. Jika dibandingkan dengan peng-

ukuran secara visual pada bekas tumbukan berkas elektron pada target (lihat Gambar 8) terjadi perbedaan. Pengukuran secara visual didapatkan diameter bekas elektron 19 mm untuk arah x dan 23 mm untuk arah y. Tumbukan berkas elektron ini merupakan hasil tumbukan berkas elektron untuk variasi tegangan katode-anode dari 0 kV sampai 3,5 kV yaitu dari awal sampai akhir pengamatan.



Gambar 7. Hubungan diameter berkas elektron sebagai fungsi tegangan katode-anode untuk tegangan pemercepat 12 kV.



Gambar 8. Pengukuran bekas tumbukan berkas elektron pada target.

Perbedaan ini disebabkan karena ketidaktepatan penentuan waktu perpotongan berkas elektron dengan *rotating probe* berdasarkan pulsa yang ditampilkan oleh osiloskop serta ketidaktepatan pengukuran pelebaran target sesuai dengan profil berkas elektron sehingga menyebabkan ketidaktepatan. Dengan hasil ini diharapkan dapat digunakan pada mesin berkas elektron di industri khususnya industri lateks.

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian sumber elektron dapat disimpulkan bahwa arus berkas elektron maksimum 55 mA didapatkan pada tegangan katode-anode 3 kV dan tegangan pemercepat 12 kV. Pengukuran diameter berkas elektron menggunakan *rotating probe* diperoleh diameter minimum 16,1 mm untuk arah x maupun arah y pada tegangan katode-anode antara 1 kV sampai 1,5 kV. Jika dibandingkan pengukuran secara visual pada bekas tumbukan berkas elektron pada target didapatkan diameter 19 mm arah y dan 23 mm arah x. Dengan pengujian sumber elektron yang ternyata menghasilkan arus berkas elektron lebih dari 30 mA, dapat disimpulkan bahwa sumber elektron hasil rancang bangun ini telah memenuhi kriteria rancangan MBE untuk industri lateks berkapasitas 300 kV/20 mA.

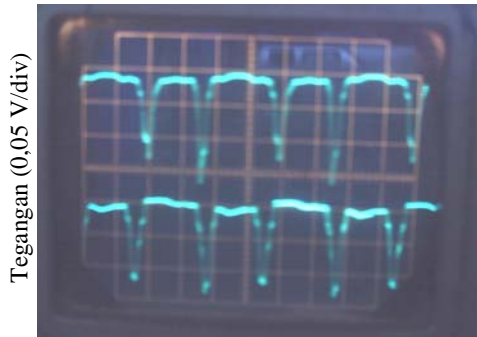
DAFTAR PUSTAKA

- [1] QIZHANG, Z., *Electron 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 Electron Beam Machine*, Nissin-High Voltage Co., Ltd., Proceedings of the Workshops on the Utilization of Electron Beams, JAERI-M, 90-194, 1990.
- [3] YAMAMOTO, S., *Crosslinking of Wire and Cables with Electron Beam*, Proceedings of the Workshops on the Utilization of Electron Beams, JAERI-M, 90-194, 1990.
- [4] MAKUUCHI, K., *Electron Beam Processing of Rubbers*, Proceedings of the Workshops on the Utilization of Electron Beams, JAERI-M, 90-194, 1990.
- [5] MERI SUHARINI, *Vulkanisasi Lateks Karet Alam Secara Batch Dengan Iradiasi Berkas Elektron*, PPI Aplikasi radiasi, P3TIR-BATAN, 2002.
- [6] SCHRAF, W., WIESZCZYCKA, W., *Particle Accelerators for Industrial Processing*, Warsaw University of Technology, Warsaw, Poland, 1999.
- [7] SUPRAPTO, DJOKO SP DAN DJASIMAN, *Peningkatan Kinerja Sumber Elektron Termionik dengan Elektrode Pierce Untuk MBE PTAPB-BATAN*, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya, Puslitbang Teknologi Maju, BATAN, Yogyakarta, 2002.

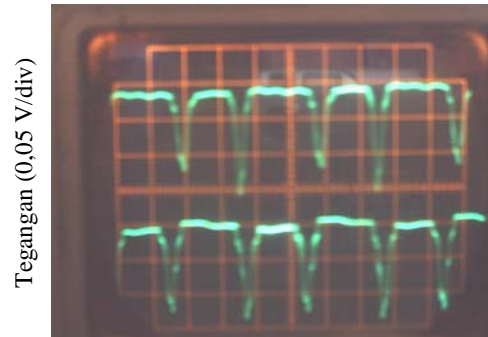
- [8] SCHILLER, S., *et. al.*, *Electron Beam Technology*, John Wiley & Sons Inc., New York, 1982.
- [9] PIERCE, J.R., *Theory and Design of Electron Beams*, D. Van Nostrand Company. Inc, New York, 1954.
- [10] SZTARICKAI, T., *et. al.*, *Manual for Trouble-shooting and Improvement of Neutron Generators and Other Low Energy Accelerators*, IAEA, Hungary, 1993.
- [11] ROTH, A., *Vacuum Technology*, North-Holland Publishing Company, New York, 1979.

LAMPIRAN

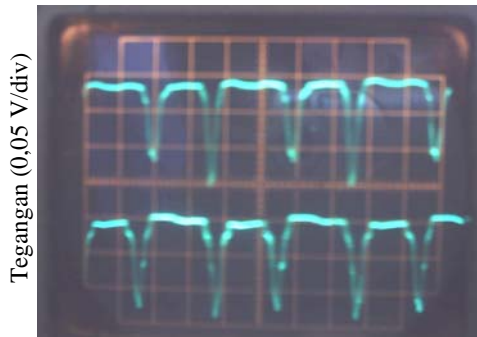
Bentuk pulsa profil berkas elektron untuk variasi V_{k-a} pada $V_p = 12$ kV.



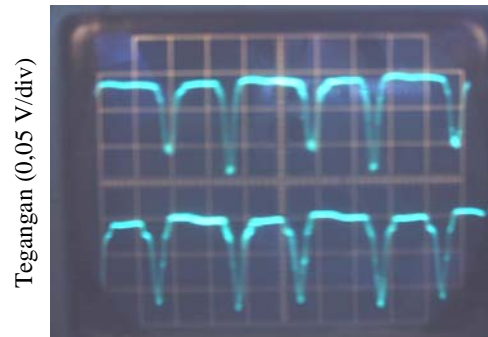
Waktu sapuan (3 ms/div)
(a) $V_{k-a} = 1$ kV



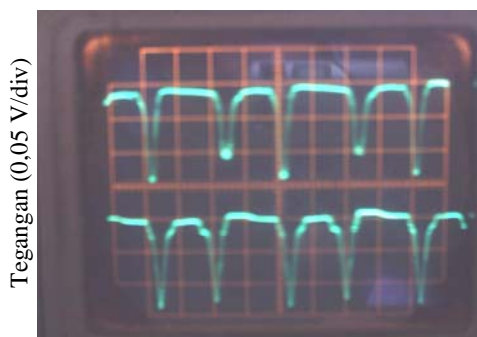
Waktu sapuan (3 ms/div)
(b) $V_{k-a} = 1,5$ kV



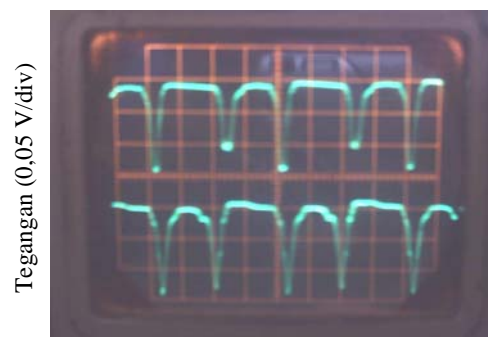
Waktu sapuan (3 ms/div)
(c) $V_{k-a} = 2$ kV



Waktu sapuan (3 ms/div)
(d) $V_{k-a} = 2,5$ kV



Waktu sapuan (3 ms/div)
(e) $V_{k-a} = 3$ kV



Waktu sapuan (3 ms/div)
(f) $V_{k-a} = 3,5$ kV

TANYA JAWAB

Tri Mardji A.

- Mengapa besarnya arus berkas elektron tidak tergantung secara eksplisit pada derajat kevakuman, padahal *mean free path* sangat tergantung dari derajat kevakuman.
- Faktor apa yang mempengaruhi perbedaan hasil antara pengamatan secara visual dengan metode *rotating probe*?
- Seberapa penting pengaruh parameter diameter berkas pada besarnya arus elektron?

Djoko SP.

- Emisi elektron dari bahan filamen (sebelum keluar dari sumber elektron) tergantung secara eksplisit pada suhu filamen dan "*work function*" bahan filamen (persamaan Richardson-Dushman). Sedangkan kevakuman mempengaruhi titik leleh bahan filamen.
- Perbedaan hasil pengamatan secara visual dengan hasil pengamatan *rotating probe*, adalah karena faktor jarak perpotongan probe dengan berkas yang berbeda dengan jarak target untuk pengamatan secara visual.
- Diameter berkas penting diketahui untuk menjaga agar berkas elektron saat masuk tabung akselerator tidak menabrak elektroda tabung pemercepat.

Nada Marnada

- Bagaimana prospek proyek Landmark yang sedang dibuat ini, karena penggagas MBE untuk lateks datang dari seseorang yang ahli dalam bidang lateks namun akan pensiun pada bulan April 2008. Sementara itu tahun selesainya direncanakan 2009.

Djoko SP.

- Sesuai dengan program landmark BATAN, MBE ini akan selesai dirancangbangun pada 2009. Walaupun penggagas program MBE untuk industri lateks akan pensiun pada 2008, diharapkan masih bersedia menjadi konsultan/narasumber hingga selesainya program ini (2009).

Silakhuddin

- Usul : agar di dalam abstrak dan kesimpulan disebutkan tentang ukuran geometri terutama jarak katoda-anoda.

Djoko SP.

- Terima kasih usulnya, akan ditindak lanjuti.