

## KARAKTERISASI HOME-MADE SUMBER ELEKTRON TIGA ELEKTRODA (TRIODA)

Darsono, Suhartono, Suprpto, Elin Nuraini  
Bidang Fisika Partikel, PSTA\_BATAN

### ABSTRAKS

**KARAKTERISASI HOME-MADE SUMBER ELEKTRON 3 ELEKTRODA (TRIODA).** Telah dirancangkan sumber elektron (SE) 3 elektroda untuk MBE-lateks. Uji fungsi telah dilakukan namun karakteristik luaran berkas elektron dari SE 3 elektroda belum diketahui. Pada makalah ini dilaporkan hasil karakterisasi modul SE 3 elektroda. Metodologi karakterisasi meliputi pengukuran bentuk profil berkas elektron menggunakan bahan detektor pendar dan pengukuran luaran arus berkas elektron menggunakan mangkok Faraday. Tiga konfigurasi anoda pemfokus diamati bentuk profil berkas elektronnya pada tegangan pemercepat yang tetap dengan variasi tegangan anoda pemfokusnya. Juga diamati pengaruh tegangan pemercepat untuk tegangan anoda yang tetap pada suatu konfigurasi. Sedangkan luaran arus berkas elektron diukur sebagai fungsi tegangan ekstraksi pada arus filamen yang tetap. Hasil eksperimen memperlihatkan bahwa luaran arus berkas elektron meningkat dengan kenaikan tegangan anoda ekstraksi sampai dengan 3 kV kemudian terjadi saturasi diatas tegangan ini. Hasil karakterisasi profil berkas elektron memperlihatkan bahwa tegangan anoda ekstraksi tidak begitu berpengaruh terhadap bentuk profil berkas, sedangkan tegangan anoda pemfokus sangat berpengaruh terhadap bentuk profil berkas elektron, namun pada tegangan pemfokus di atas 5 kV tidak besar pengaruhnya. Dapat disimpulkan bahwa SE 3 elektroda berfungsi dengan baik, tegangan anoda pemfokus dominan terhadap bentuk profil, dan tegangan ekstraksi sangat menentukan besarnya luaran arus berkas elektron.

**Kata kunci :** sumber elektron, tiga elektroda, profil berkas elektron, luaran berkas elektron, karakterisasi

### ABSTRACT

**CHARACTERIZATION OF HOME-MADE ELECTRON SOURCES OF 3 ELECTRODES (TRIODA).** Electron source (ES) of 3 electrodes for EBM-latex has been designed and constructed. A function test has been performed but the electron beam characteristics of the ES of 3 electrodes are not known yet. In this paper, the characterization of the ES module of 3 electrodes is reported. Characterization methodologies include measuring the shape of the electron beam profile using a fluorescent detector material and measuring the electron beam current output using the Faraday cup. Three configurations of a focusing anode were observed in the form of the electron beam profile at a fixed accelerating voltage (extraction voltage) with the variation of the focusing anode voltage. Also the effect of the accelerator voltage for the fixed anode voltage in a configuration was observed. While the electron beam current output was measured as a function of the extraction voltage at a fixed filament current. The experimental results show that the electron beam current output increases with the increase of anode extraction voltage up to 3 kV then saturation occurs above this voltage. The electron beam image characterization results show that the extracted voltage does not significantly affect the shape of the beam profile, whereas the focusing anode voltage greatly affects the form of electron beam profile, but in the focusing above 5 kV is not significantly affect. It can be concluded that the home-made ES of 3 electrodes is functioning well, the focusing anode voltage is dominant to the profile form, and the extraction voltage greatly determines the magnitude of the electron beam current output.

**Keywords:** electron source, three electrodes, electron beam profile, electron beam output, characterization

### PENDAHULUAN

PTAPB - BATAN telah berhasil melaksanakan program rancang-bangun mesin berkas elektron 350 keV/10 mA pada tahun 2003 (MBE skala laboratorium) dan sedang menyelesaikan program rancangkan MBE untuk pra vulkanisasi lateks karet alam (MBE lateks). Salah satu bagian penting dari MBE yaitu sumber elektron (SE) yang berfungsi untuk menghasilkan arus berkas elektron dan membentuk berkas elektron yang selanjutnya dimasukkan ke tabung pemercepat untuk

dipercepat sehingga mempunyai energi sesuai dengan tegangan pemercepatnya.

Dua modul SE yang telah digunakan pada MBE tersebut diatas dirancangkan berdasarkan katoda Pierce[1-3]. Dua modul ini memanfaatkan satu elektroda dari tabung pemercepat sebagai anoda ekstraksi, jadi modul ini merupakan jenis SE dioda (katoda Pierce dan anoda ekstraksi). Modul SE tersebut telah diuji fungsi dan dapat menghasilkan arus berkas elektron 15 mA[4,5] untuk MBE skala laboratorium dan 55 mA [6] untuk MBE lateks. Jika didasarkan kebutuhan arus berkas

elektron yang dapat diekstraksi dari modul SE untuk MBE lateks sudah mencukupi. Namun didasarkan dari hasil pengujian setelah dirakit menjadi satu kesatuan pada MBE dihasilkan berkas elektron yang tidak sejajar dengan sumbu tabung pemercepat sehingga sebagian berkas menumbuk dinding corong pemayar dan flens jendela atau tidak sampai ditengah jendela Ti. Hal ini diduga karena pembentukan berkas elektron tergantung tegangan anoda ekstraksi dari tegangan pemercepat.

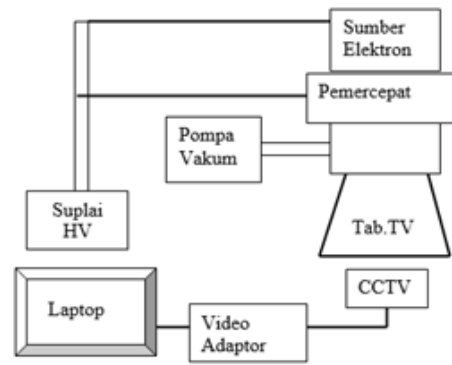
Berkas elektron yang menumbuk flens energinya akan terdisipasi menjadi panas dan akan merusakkan pada bagian yang ditumbuk. Untuk mengatasi masalah tersebut maka dilakukan peningkatan kualitas berkas elektron dengan melakukan rancangbangun modul SE menggunakan 3 (tiga) elektrode, atau sering disebut SE trioda. Modul SE ini diharapkan dapat menghasilkan berkas elektron yang mempunyai kualitas lebih baik yaitu berkas elektron terfokus (tidak ada berkas yang menyebar) dan mempunyai lintasan berkas sejajar dengan sumbu. Fungsi elektrode Pierce ke tiga yang letaknya diantara katoda Pierce dan anoda ekstraksi pada tabung pemercepat adalah sebagai pemfokus untuk mengatur bentuk berkas elektron yang akan dipercepat. Jika arus berkas elektron dari modul SE trioda tidak terjadi penyebaran dan lintasannya sejajar sumbu maka berkas elektron tersebut ketika dipercepat hingga mempunyai energi tertentu tidak menumbuk elektrode pemercepat, dinding corong pemayar dan flens dari jendela Ti sehingga berkas elektron tersebut sampai pada target. Pada tahun 2014 modul mekanik SE trioda berhasil dirancangbangun[7] dan diuji fungsi pada tahun 2015 namun belum dilakukan karakterisasi[8]. Tujuan penelitian adalah melakukan karakterisasi modul SE trioda. Adapun sasaran penelitian adalah diperoleh data karakterisasi modul SE trioda. Langkah penelitian diawali dengan set-up perangkat pengukuran arus berkas elektron dan dilanjutkan dengan setup pengukuran bentuk profil berkas elektron. Metodologi karakterisasi meliputi pengukuran bentuk profil berkas elektron menggunakan bahan monitor pendar dan pengukuran luaran arus berkas elektron menggunakan mangkok Faraday. Tiga konfigurasi anoda pemfokus diamati bentuk profil berkas elektronnya pada tegangan pemercepat yang tetap dengan variasi tegangan anoda pemfokusnya. Juga diamati pengaruh tegangan pemercepat untuk tegangan anoda yang tetap pada suatu konfigurasi. Sedangkan luaran arus berkas elektron diukur sebagai fungsi tegangan ekstraksi pada arus filamen yang tetap.

**TATA KERJA**

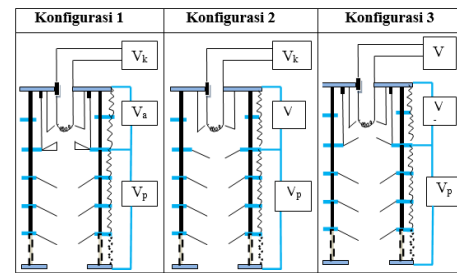
**Karakterisasi Profil Berkas Elektron**

Karakterisasi profil berkas elektron dari SE trioda menggunakan monitor bahan pendar dengan set-up pengukuran ditunjukkan pada Gambar 1. Adapun prinsip kerja monitor bahan pendar pengukur profil berkas elektron dijelaskan oleh Darsono dkk [9]. Pada percobaan ini 3 konfigurasi elektrode Pierce (anoda pemfokus) dari SE trioda dikarakterisasi. Skema 3 konfigurasi anoda pemfokus ditunjukkan pada Gambar 2.

Karakterisasi monitor bentuk profil berkas elektron dilakukan pada arus filamen sama. Pengukuran profil berkas elektron dilakukan pada tegangan anoda ekstraksi tertentu dengan memvariasi tegangan anoda pemfokus secara perlahan, pada saat yang sama diamati pada Laptop bentuk profil berkas elektronnya. Bentuk profil berkas elektron yang dihasilkan untuk setiap parameter pengukuran disimpan menggunakan menu bar Save, untuk selanjutnya dilakukan pengolahan image.

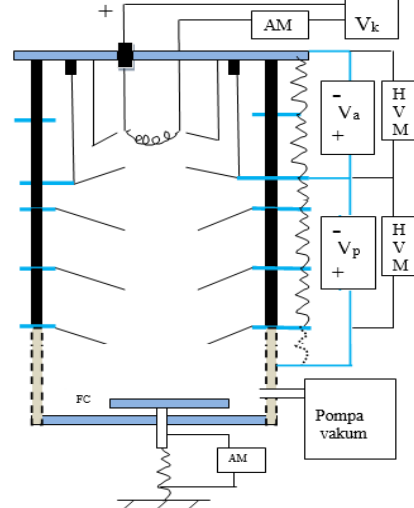


**Gambar 1.** Skema pengukuran profil berkas elektron



**Gambar 2.** Konfigurasi bentuk anoda pemfokus SE trioda

**Karakterisasi Luaran Arus Berkas Elektron**

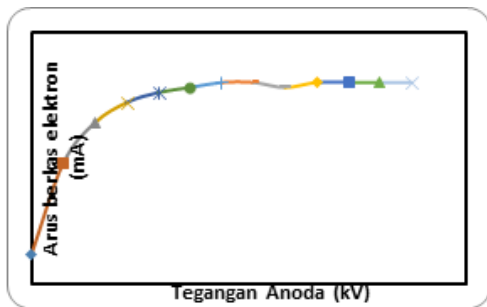


**Gambar 3** Skema pengukuran luaran arus berkas elektron sumber elektron 3 elektrode

Set-up karakterisasi luaran arus berkas elektron seperti ditunjukkan pada Gambar 3, dalam hal ini menggunakan konfigurasi 3 dari bentuk anoda pemfokus SE trioda. Sumber elektron ini dirakit pada tabung

pemercepat buatan NEC (*National Electric Corporation*) kemudian dihubungkan dengan suplai daya listrik untuk filamen, tegangan tinggi pemfokus dan anoda pemercepat. Pada bagian bawah tabung pemercepat dipasang Faraday cup yang didinginkan menggunakan air yang mengalir untuk mengukur luaran arus berkas. Selanjutnya tabung pemercepat dihampakan sampai dengan orde  $10^{-6}$  Torr menggunakan pompa rotari dan difusi. Kemudian filamen dinyalakan pada arus tertentu dan tegangan anoda pemfokus diatur pada tegangan tetap. Dengan memvariasi tegangan anoda ekstraksi kemudian dilakukan pengukuran luaran arus berkas elektron menggunakan Faraday cup.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**



**Gambar 4:** Pengaruh tegangan anoda ekstraksi terhadap arus SE

Hasil karakterisasi luaran arus berkas elektron dari SE trioda seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Terlihat dari Gambar 4 bahwa pada arus filamen dan tegangan anoda pemfokus yang tetap, jika tegangan anoda ekstraksi dinaikkan maka besar arus berkas elektron meningkat sampai batas tertentu kemudian terjadi saturasi pada tegangan anoda ekstraksi 3 kV. Hasil karakterisasi ini bersesuaian dengan penelitian sebelumnya untuk SE dioda[10,11]. Hasil ini juga sesuai dengan teori bahwa besarnya densitas arus emisi elektron yang dibatasi oleh muatan ruang yang dapat diekstraksi dari ruang sumber elektron ke ruang tabung pemercepat mengikuti Hukum Child-Langmuir[1,3]:

$$J_{eQ} = 2,3 \times 10^{-6} KV^{3/2} \tag{1}$$

di mana  $J_{eQ}$  densitas arus berkas elektron terekstraksi yang terukur dalam  $Acm^{-2}$  dan V tegangan anoda ekstraksi atau beda tegangan antara katoda dan anoda dalam volt, dan K adalah konstanta dalam  $cm^{-2}$ . Untuk elektroda yang paralel besarnya  $K=1/d^2$  dengan d adalah jarak antara katoda dan anoda. Persamaan (1) memperlihatkan bahwa besarnya arus berkas elektron yang dapat diekstraksi sangat tergantung pada tegangan anoda ekstraksi dari sumber elektron yaitu proposional dengan tegangan anoda ekstraksi pangkat tiga per dua. Besarnya nilai K adalah tetap karena jarak antara katoda Pierce dan anoda pemfokus tetap. Sedangkan besarnya rapat arus jenuh emisi elektron ( $A/cm^2$ ) dari filamen sebagai fungsi suhu pemanasan besarnya mengikuti persamaan Richardson-Dushman sebagai berikut [1,3]:

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

dengan A adalah konstanta Richardson ( $A/cm^2 K^2$ ),  $\phi$  fungsi kerja (eV), k tetapan Boltzmann (eV/K) dan T suhu pemanasan (K). Nilai A tergantung pada jenis bahan filamen (katode). Persamaan (2) merupakan persamaan yang menyatakan hubungan emisi elektron di dalam ruang sumber elektron dan suhu pemanasan filamen (katode). Agar elektron tersebut dapat dikeluarkan dari ruang sumber elektron maka diperlukan medan listrik untuk mengekstraksi dan membentuk elektron hasil emisi dari filamen (katode) menjadi arus berkas elektron.

Hasil karakterisasi profil berkas elektron dari sumber elektron 3 elektrode tipe Pierce untuk 3 bentuk konfigurasi anoda pemfokus ditunjukkan pada Tabel 1. Sumber elektron tipe Pierce buatan BATAN memanfaatkan tabung pemercepat buatan NEC karena belum dikuasanya teknologi penyambungan metal dan keramik. Pada SE tipe Pierce trioda, elektroda ke tiga yang diletakkan diantara  $V_k$  dan  $V_a$  yang berfungsi untuk mengatur bentuk berkas elektron yang akan dipercepat.

Tabel 1 adalah hasil karakterisasi bentuk profil berkas elektron dari 3 konfigurasi bentuk anoda pemfokus SE trioda pada tegangan anoda ekstraksi yang tetap. Pada Tabel 1 terlihat bahwa konfigurasi bentuk anoda pemfokus dan tegangan anoda pemfokus mempengaruhi profil berkas elektron. Konfigurasi 2 menghasilkan bentuk profil berkas yang kurang baik dibandingkan dengan konfigurasi 1 dan 3. Redup terangnya gambar bentuk profil berkas elektron bersesuaian dengan besar kecilnya intensitas berkas elektron. Sebagai catatan konfigurasi 1 menghasilkan gambar lebih terang dibanding dengan konfigurasi 2 dan 3 dikarenakan arus filamen sedikit lebih besar, karena tidak mudah membuat arus filamen yang persis sama untuk percobaan pada hari yang berbeda. Jika dilihat lebih teliti ternyata tegangan anoda pemfokus sangat berpengaruh terhadap bentuk profil berkas elektron. Untuk tegangan anoda pemfokus yang makin besar bentuk profil menjadi lebih baik, dan diatas tegangan pemfokus 5 kV bentuk profil berkas elektron tidak lagi dipengaruhi oleh tegangan pemfokus. Hal ini diduga bahwa semua berkas elektron sudah terarah dengan kata lain untuk tegangan pemfokus dibawah 5 kV medan listrik yang dihasilkan belum cukup untuk mengarahkan semua berkas elektron.

Tabel 2 memperlihatkan pengaruh tegangan anoda pemfokus dan anoda ekstraksi terhadap bentuk profil berkas elektron. Terlihat dari Tabel 2 bahwa untuk tegangan anoda pemfokus tetap maka makin besar tegangan anoda ekstraksi profil berkas elektron makin jelas. Hal ini menunjukkan makin banyak berkas elektron yang dapat diekstraksi sesuai dengan persamaan 1. Untuk tegangan anoda pemfokus yang kecil yaitu dibawah 3 kV maka tegangan anoda ekstraksi lebih dominan terhadap pembentukan profil berkas elektron.

**Tabel 1.** Hasil pengukuran profil berkas elektron SE trioda pada tegangan anoda ekstraksi tetap untuk berbagai tegangan pemfokus

Teg (kV)	Konfigurasi 1	Konfigurasi 2	Konfigurasi 3
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			

**Tabel 2.** Hasil pengukuran profil berkas elektron SE-tipe Pierce pada tegangan anoda pemfokus dan anoda ekstraksi yang bervariasi.

Tegangan Anoda(kV)	Tegangan Pemercepat (kV)			
	4	6	8	10
0				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				

Sebaliknya untuk tegangan anoda pemfokus lebih besar 3 kV maka tegangan anoda pemfokus lebih dominan pada pembentukan profil berkas elektron. Untuk tegangan anoda pemfokus yang makin besar bentuk profil menjadi lebih baik, dan diatas tegangan pemfokus 5 kV bentuk profil berkas elektron tidak lagi dipengaruhi oleh tegangan pemfokus. Hal ini sesuai dengan data hasil pengukuran karakterisasi yang tertera pada Tabel 1. Dari Tabel 1 dan Tabel 2 dapat disimpulkan bahwa tegangan anoda pemfokus mempengaruhi bentuk profil berkas elektron, demikianhalnya konfigurasi anoda pemfokus juga mempengaruhi bentuk profil berkas elektron. Fakta hasil



pengukuran ini sesuai dengan yang diprediksi secara terori[1].

## KESIMPULAN

Sumber elektron dapat berfungsi sesuai yang diharapkan. Luaran arus berkas elektron meningkat dengan kenaikan tegangan ekstraksi sampai dengan 3 kV kemudian terjadi saturasi diatas tegangan ini. Karakterisasi profil berkas elektron sangat dipengaruhi oleh tegangan pemfokus, sedangkan tegangan anoda tidak begitu berpengaruh terhadap bentuk profil berkas. Namun demikian pada tegangan pemfokus di atas 5 kV tidak besar pengaruhnya terhadap profil berkas elektron. Sumber elektron trioda berfungsi dengan baik dan memberikan bentuk profil berkas elektron lebih baik dari pada sumber elektron dioda.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] PIERCE, J.R., Theory and Design of Electron Beams, D. Van Nostrand Company. Inc, New York (1954).
- [2] FORRESTER, at. al, Large Ion Beams, Fundamentals of Generation and Propagation, John Wiley & Son, New York (1986).
- [3] SCHILLER, S., et. al., Electron Beam Technology, John Wiley & Sons, New York (1992).
- [4] SUPRAPTO, DJOKO SP., DJASIMAN, Rekonstruksi Sumber Elektron Termionik Dengan Elektrode Pierce Untuk MBE 500 keV/10 mA, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah, Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, P3TM – BATAN, Yogyakarta (2001).
- [5] SUPRAPTO, DJOKO SP DAN DJASIMAN, Peningkatan Kinerja Sumber Elektron Termionik Dengan Elektrode Pierce Untuk MBE P3TM – BATAN, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya, P3TM - BATAN, Yogyakarta (2002)
- [6] SUPRAPTO, DJOKO SP., DJASIMAN, Karakterisasi Sumber Elektron MBE Untuk Industri Lateks, Laporan teknis di PTAPB-BATAN Yogyakarta, 23 Januari 2007.
- [7] SUPRAPTO, DARSONO, TAUFIK, SUHARTONO, Rancangbangun Sumber Elektron 3

elektroda untuk MBE Lateks, Laporan teknis di PSTA-BATAN Yogyakarta, 2014

- [8] SUPRAPTO, DARSONO, TAUFIK, ELIN N, Modifikasi Sumber Elektron dan Simulasi Lintasan Berkas Elektron pada Tabung Pemercepat MBE di PSTA, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya, PSTA - BATAN, Yogyakarta (2017)
- [9] DARSONO, SUHARTONO, SUPRAPTO, ELIN N, Pengukuran Bentuk Profil Berkas Elektron dari Sumber Elektron Tipe Pierce Menggunakan Sensor Tabung TV Bekas, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya, PSTA - BATAN, Yogyakarta (2017)
- [10] D. Zhu, J. Zhang, Z. Qi, and W. Li, "Simulation of a High-convergence Electron Optics System for an X-band High-impedance Relativistic Klystron," in PIERS Proceedings, 2014, pp. 2550–2555.
- [11] S.P. Djoko dan Suprpto, "Pengujian Sumber Elektron pada MBE untuk Aplikasi Industri Lateks," in Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya, 2007, vol. 9, pp. 1–9.

## TANYA JAWAB

### M. Khaerul Ahmadi

Apa perbedaan akselerator pada pesawat LINAC dengan yang dibuat pak Darsono?

### Darsono

*Pesawat LINAC memakai teknik pemercepatan elektrodinamik menggunakan osilator RF 1-2 GHz sedangkan MBE yang dibuat PSTA menggunakan teknik pemercepatan elektrostatik*

### Djoko SP

Sebelum dikarakterisasi berkas elektron dari sumber elektron ini, apakah sudah disimulasikan terlebih dahulu? Jika sudah, apakah hasil karakterisasi sudah dibandingkan dengan hasil simulasi?

### Darsono

*Sebelum percobaan dilakukan simulasi terlebih dahulu menggunakan program OPERA 3D, hasil yang diperoleh pada percobaan belum dibandingkan*