

## SIMULASI SUMBER ELEKTRON JENIS DIODA MBE LATEKS PSTA MENGGUNAKAN PROGRAM OPERA-3D

**Taufik, Darsono**

*Pusat Sains dan Teknologi Akseerator, BATAN*

*Jl. Babarsari Kotak Pos 6101 Ykbb, Yogyakarta 55281*

*e-mail: [taufik@batan.go.id](mailto:taufik@batan.go.id)*

### ABSTRAK

**SIMULASI SUMBER ELEKTRON JENIS DIODA MBE LATEKS PSTA MENGGUNAKAN PROGRAM OPERA-3D.** Transportasi berkas elektron dari sumber elektron sampai ke atmosfer dari MBE sangat ditentukan oleh parameter utama transportasi berkas yaitu sumber elektron, tabung pemercepat, pemfokus, dan pemayar. Pada prinsipnya transportasi berkas akan optimal jika berkas elektron merambat pada sumbu tabung pemercepat, dan sistem optik (pemfokus dan pemayar) berfungsi sesuai disain. Struktur sumber elektron (SE) MBE lateks PSTA menggunakan jenis dioda dengan katoda Pierce dimana bentuk berkas hasil pemercepatan sangat ditentukan oleh tegangan elektroda tabung pemercepat. Untuk menjawab permasalahan (hipotesis) di atas akan dilakukan simulasi dengan memodelkan sumber elektron dan tabung pemercepat menggunakan program perangkat lunak simulasi akselerator OPERA-3D. Parameter yang akan diteliti meliputi pengaruh jarak katoda anoda SE, tegangan pemercepat, dan ketidak simetrisan katoda Pierce dan elektroda pemercepat terhadap bentuk arah lintasan berkas elektron. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa tiga parameter tersebut mempengaruhi bentuk lintasan berkas elektron. Sumber elektron dioda belum dapat menghasilkan berkas elektron yang sejajar, akan tetapi bentuk lintasan terbaik diperoleh pada jarak katoda anoda 6,1 mm, tegangan pemercepat 300 kV dan pada kondisi katoda anoda simetri..

*Kata kunci : mesin berkas elektron, transport berkas elektron, perangkat lunak OPERA-3D*

### ABSTRACT

**SIMULATION OF DIODE ELECTRON SOURCE OF PSTA LATEX EBM USING OPERA-3D SOFTWARE.** Electron beam transport from E-gun to the atmosfer in EBM is determined by main parameters of beam transports such as E-gun, accelerator tube, beam optics (focusing and scanning magnets). In principle the beam transport will optimum if the electron beam travels in axial axes of accelerator tubes, and the beam optics works properly. The EBM E-gun structure of PSTA uses diode type with Pierce cathoda where beam transport yield will be affected by elektroda voltage of the accelerator tube. To answer above hypothesis the E-gun and accelerator tube will be simulated by making a model used accelerator software programme which is called OPERA-3D. Beam transport paramaters, such as distance between chatoda and anoda of E-gun, accelerator elektroda HV, and the symetry of cathoda Pierce E-gun with anoda elektroda of accelerator tube, will be investigated their impacts to direction and shape of beam transports. The simulation results shows that the three parameters affects to the direction and shape of the beam transport. Diode type of electron gun cannot result parallel electron beam, but the best beam transport of this type electron gun are obtained at the accelerator voltage 300 kV, and the distance between chatoda and anoda of E-gun 6.1 mm where they are in the symtery condition.

*Keywords: electron beam machine, electron beam transport, OPERA-3D software*

### PENDAHULUAN

Mesin pemercepat elektron yang sering disebut Mesin Berkas Elektron (MBE) adalah satu jenis teknologi baru yang telah dikembangkan pada dua dekade yang lalu sebagai sumber radiasi pengion (elektron berenergi) pada proses iradiasi suatu produk industri<sup>[1]</sup>. Komponen utama MBE adalah sumber elektron (SE), sistem pemercepat, sistem pemfokus, sistem pemayar, sistem vakum, dan SIK.

PSTA-BATAN sedang melakukan rancangan-bangun MBE dengan kapasitas 300 keV/20 mA dengan sasaran kegiatan satu prototip MBE skala

industri untuk proses pra-vulkanisasi karet alam<sup>[2]</sup>. Prototip MBE pada tahun 2012 telah dilakukan uji kinerja operasi namun hanya berhasil mengeluarkan berkas elektron orde beberapa ratus mikro amper. Keluaran arus berkas elektron yang sampai ke atmosfer dari MBE lateks sangat ditentukan oleh sistem sumber elektron, sistem vakum, sistem pemfokus, sistem pemayar dan sistem pemercepat elektron. Jika sistem vakum, sistem sistem pemfokus, dan pemayar beroperasi dengan benar maka besar kecilnya keluaran arus berkas elektron MBE sangat ditentukan oleh keluaran berkas elektron dari sumber elektron ketika masuk ke sistem pemercepat

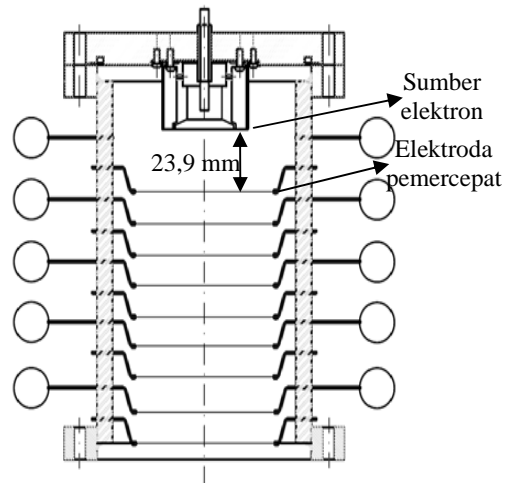
yang akan ditransportasi menuju sistem optik MBE (magnet pemfokus dan pemayar).

Parameter berkas elektron yang meliputi sudut tingkap berkas (*aperture angel of beam*), perpingtonan berkas (*beam crossover*), diameter berkas, distribusi densitas elektron, dan intensitas elektron (*electron brightness*) sangat ditentukan oleh lensa katoda anoda<sup>[3]</sup>. Transportasi berkas elektron dari sumber elektron sampai ke atmosfer dari MBE sangat ditentukan oleh parameter utama transportasi berkas yaitu sumber elektron, tabung pemercepat, pemfokus, dan pemayar. Pada prinsipnya transportasi berkas akan optimal jika berkas elektron merambat pada sumbu tabung pemercepat, dan sistem optik (pemfokus dan pemayar) berfungsi sesuai disain. Untuk meningkatkan keluaran arus berkas elektron MBE lateks akan diteliti parameter utama transportasi berkas elektron yang dibatasi pada sistem sumber elektron dan tabung pemercepat. Sumber elektron MBE lateks PSTA menggunakan jenis dioda dengan katoda Pierce yang dibuat oleh Suprpto memanfaatkan elektroda tabung akselerator sebagai anoda ekstraktor elektron<sup>[4]</sup>. Sumber elektron seperti ini akan menghasilkan bentuk transport berkas elektron hasil pemercepatan sangat ditentukan oleh tegangan elektroda tabung pemercepat. Untuk menjawab permasalahan (hipotesis) di atas akan dilakukan simulasi dengan memodelkan sumber elektron dan tabung pemercepat menggunakan program perangkat lunak simulasi akselerator OPERA-3D. Sebelumnya telah dilakukan simulasi lintasan berkas elektron pada sumber elektron tipe termionik dengan elektroda Pierce<sup>[5]</sup>, akan tetapi simulasi masih dilakukan dalam dua dimensi, bentuk anoda masih tegak lurus pusat sumbu tabung pemercepat dan jumlah serta ukuran elektroda yang tidak sama dengan elektroda yang diinstal pada MBE Lateks.

Parameter yang akan diteliti meliputi pengaruh tegangan ekstraksi elektron, tegangan pemercepat, ketidak simetrisan katoda Pierce dan anoda pemercepat terhadap bentuk arah lintasan berkas elektron. Hasil simulasi akan memperlihatkan bagaimana pengaruh parameter transport berkas terhadap arah lintasan berkas elektron. Tujuan penelitian ini ialah melakukan simulasi transport berkas elektron pada MBE lateks dengan sasaran penelitian ialah diperoleh data pengaruh parameter utama transport berkas elektron (sumber elektron dan pemercepat) MBE lateks untuk mendapatkan konfigurasi sistem ekstraksi sumber elektron yang paling baik.

## METODOLOGI

Pada penelitian ini, tahapan yang pertama dilakukan adalah membuat model simulasi yang meliputi sumber elektron dan elektroda pemercepat. Sumber elektron yang digunakan pada MBE Lateks merupakan sumber elektron termionik tipe elektrode Pierce, sementara tabung pemercepat yang digunakan adalah buatan NEC-USA jenis 2 JA 004150.<sup>[4]</sup>

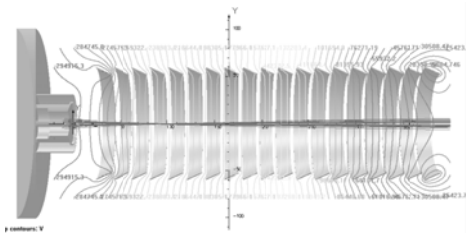


Gambar 1. Susunan sumber elektron dan tabung pemercepat MBE Lateks.

Gambar susunan sumber elektron dan tabung pemercepat ditunjukkan pada Gambar 1, hanya saja pada MBE Lateks jumlah tabung pemercepat yang digunakan saat ini ada 2 buah sehingga jumlah elektroda menjadi 19 elektroda. Untuk menghitung medan listrik statis dari sumber elektron dan tabung pemercepat dapat dilakukan dengan menggunakan program OPERA-3D. Model simulasi digambar menggunakan modul *modeler* pada program OPERA-3D dalam 3 dimensi sesuai dengan susunan dan ukuran sebenarnya yang digunakan pada MBE Lateks. Setelah model simulasi dibuat, medan listrik dihitung menggunakan modul *Tosca* pada program OPERA-3D dengan berbasis *Finite Element Method* (FEM). Simulasi lintasan berkas elektron dilakukan dengan menggunakan medan listrik hasil perhitungan *Tosca*<sup>[6]</sup>. Arah kecepatan elektron dilepaskan dari permukaan katoda tergantung pada temperatur dan mengikuti distribusi Maxwellian, dengan energi rata-rata  $E = eU_o = kT$  dengan  $U_o$  adalah potensial terkait energi awal dalam hal ini untuk  $T = 2850$  K maka  $E = 0,25eV$ <sup>[7]</sup>. Dengan simulasi tersebut, beberapa parameter divariasi untuk mengetahui pengaruhnya terhadap lintasan berkas elektron. Variasi parameter meliputi variasi tegangan pemercepat, variasi jarak sumber elektron terhadap tabung pemercepat dan variasi kemiringan tabung pemercepat.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

MBE lateks dirancang untuk mempercepat elektron dengan tegangan pemercepat maksimal 300 kV. Untuk mengamati lintasan berkas elektron, maka simulasi diawali dengan tegangan pemercepat maksimal. Hasil simulasi lintasan berkas elektron pada tegangan 300 kV ditunjukkan pada Gambar 2.

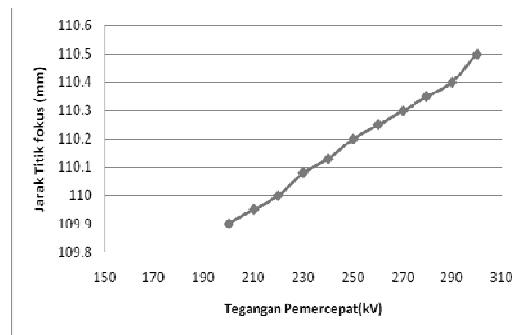


Gambar 2. Simulasi lintasan berkas pada pada tegangan pemercepat 300 kV.

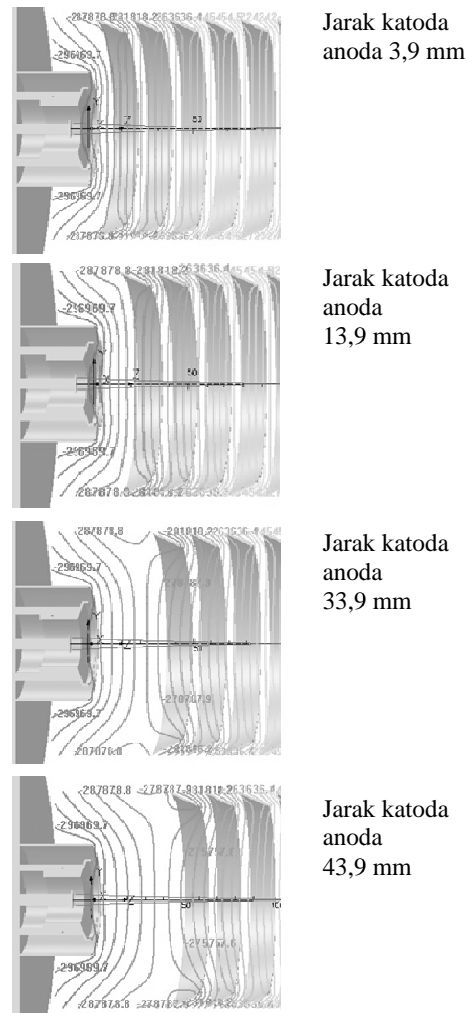
Berdasarkan Gambar 2, tampak bahwa medan equipotensial pada daerah sekitar sumber elektron cenderung untuk memfokuskan berkas, sedangkan pada daerah tengah tabung pemercepat cenderung sejajar sumbu radial tabung pemercepat. Sementara itu, di daerah ujung tabung pemercepat medan equipotensial cenderung untuk menyebarkan berkas elektron.

Simulasi lintasan berkas elektron dilakukan dengan arus elektron 20 mA dan energi awal elektron 0,25 eV. Dari Gambar 2 tampak bahwa berkas elektron difokuskan pada daerah sumber elektron dimana energi berkas elektron yang rendah masih dapat diarahkan oleh medan equipotensial. Sementara itu di daerah tengah dan ujung tabung pemercepat dimana energi berkas elektron telah tinggi, medan equipotensial sudah tidak dapat mengarahkan berkas elektron. Hasil simulasi lintasan berkas menunjukkan bahwa pada kondisi tegangan maksimal, berkas elektron bisa mencapai energi maksimal tanpa kehilangan berkas yang diakibatkan karena menabrak elektroda pemercepat. Akan tetapi lintasan berkas mengalami *cross over* sehingga pada ujung akhir tabung pemercepat berkas elektron cenderung untuk menyebar.

Untuk mengetahui pengaruh tegangan pemercepat terhadap lintasan berkas elektron, maka tegangan pemercepat divariasikan setiap 10 kV sampai 200 kV. Hasil simulasi lintasan berkas elektron menunjukkan bahwa lintasan berkas elektron mengalami *cross over* pada posisi yang berbeda. Adapun pengaruh tegangan pemercepat terhadap titik *cross over* (fokus) berkas elektron pada diameter berkas 3 mm ditunjukkan pada Gambar 3. Berdasarkan Gambar 3, semakin besar tegangan pemercepat, semakin besar jarak titik *cross over* dari sumber elektron. Oleh karena itu pada



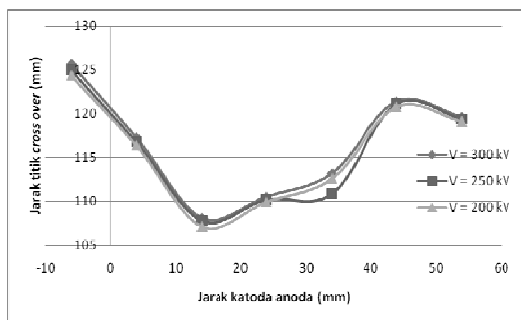
Gambar 3. Pengaruh tegangan pemercepat terhadap titik *cross over*.



Gambar 4. Medan equipotensial pada jarak katoda-anoda yang berbeda dengan tegangan pemercepat 300 kV.

tegangan pemercepat yang lebih kecil lintasan berkas elektron di ujung cenderung bertambah menyebar.

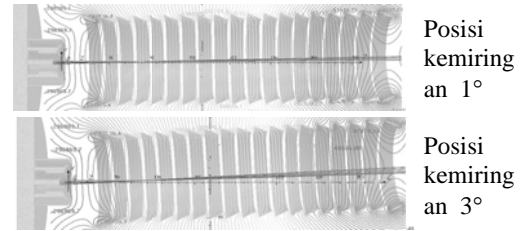
Jarak antara sumber elektron (katoda) dan elektroda pemercepat (anoda) pada MBE lateks ditentukan 23,9 mm. Untuk mengetahui pengaruh jarak katoda dan anoda pada lintasan berkas maka variasi jarak katoda dan anoda dilakukan pada jarak -6,1 mm, 3,9 mm, 13,9 mm, 33,9 mm, 43,9 mm dan 53,9. Medan equipotensial dari beberapa variasi jarak katoda dan anoda ditunjukkan pada Gambar 4. Berdasarkan Gambar 4, semakin dekat jarak anoda dan katoda semakin besar gradien equipotensial dan sebaliknya. Besar gradien equipotensial tidak berbanding lurus dengan jarak titik *cross over* lintasan berkas yang dihasilkan. Pengaruh jarak katoda-anoda terhadap titik *cross over* lintasan berkas ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh jarak katoda anoda terhadap titik *cross over*.

Pada Gambar 5 ditunjukkan bahwa titik *cross over* yang paling besar terjadi pada jarak anoda-katoda -6,1 mm. Selain gradien equipotensial, bentuk dari medan equipotensialnya juga ikut berubah terhadap pengaruh jarak anoda dan katoda. Kedua hal inilah yang mengakibatkan titik *cross over* lintasan berkas menjadi berubah. Perubahan jarak katoda-anoda pada sumber elektron jenis dioda tidak berpengaruh besar pada jarak titik *cross over*. Berdasarkan Gambar 5, tampak bahwa untuk tegangan pemercepat yang lebih kecil, kurva pengaruh jarak katoda-anoda terhadap jarak titik *cross over* lebih rendah dibandingkan pada tegangan pemercepat yang lebih besar. Hasil pada Gambar 5 sesuai dengan Gambar 3 dimana semakin besar tegangan pemercepat, semakin besar jarak titik *cross over*.

Kesimetrian posisi sumber elektron dan tabung pemercepat akan mempengaruhi bentuk lintasan berkas elektron. Instalasi sumber elektron dan tabung pemercepat yang miring (tidak satu pusat sumbu) mengakibatkan posisinya tidak simetri. Pengaruh kemiringan posisi sumber elektron dan tabung pemercepat terhadap bentuk lintasan berkas ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Pengaruh kemiringan posisi sumber elektron dan tabung pemercepat pada lintasan berkas elektron

Berdasarkan Gambar 6, tampak bahwa pada posisi sumber elektron dan tabung pemercepat yang miring, lintasan berkas elektron tidak lurus mengikuti pusat sumbu sumber elektron, akan tetapi mengalami pembelokan dari pusat sumbu sumber elektron. Pada saat melewati tabung pemercepat, lintasan berkas elektron dibelokkan mengikuti pusat sumbu tabung pemercepat. Meskipun berkas elektron dibelokkan mengikuti pusat sumbu tabung pemercepat, lintasan berkas elektron di ujung tabung pemercepat tetap mengalami kemiringan terhadap pusat sumbu tegangan pemercepat. Hal ini disebabkan karena pada saat energi elektron masih kecil, berkas masih bisa dibelokkan dengan medan equipotensial, namun setelah energinya bertambah besar pengaruh medan equipotensial dalam pembelokan berkas semakin berkurang. Semakin besar kemiringan posisi sumber elektron dan tabung pemercepat semakin besar kemiringan lintasan berkas elektron terhadap pusat sumbu tabung pemercepat.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Program perangkat lunak akselerator OPERA-3D sangat bermanfaat untuk memprediksi pengaruh parameter transport berkas elektron. Tegangan elektroda tabung akselerator pada sumber elektron MBE PTAPB berstruktur dioda sangat mempengaruhi bentuk transport berkas elektron. Hasil simulasi memperlihatkan bahwa tiga parameter transport berkas yang diteliti yaitu pengaruh jarak katoda anoda SE, tegangan pemercepat, dan ketidak simetrisan katoda anoda mempengaruhi bentuk lintasan berkas elektron. Sumber elektron diode belum dapat menghasilkan berkas elektron yang sejajar, akan tetapi bentuk lintasan terbaik (koaksial sumbu tabung pemercepat) diperoleh pada jarak katoda anoda -6,1 mm, tegangan pemercepat 300 kV dan pada kondisi katoda anoda simetri.

Untuk menghasilkan berkas elektron yang sejajar (tidak mengalami *cross over*) maka perlu ditambahkan elektroda pemfokus diantara sumber elektron dan tabung pemercepat yang dikenal sebagai sumber elektron tipe trioda.

**DAFTAR PUSTAKA**

1. Darsono, (2008), "Peran Teknologi Akselerator Dalam Mendukung Industri" Prosiding PPI Teknologi Akselerator dan Aplikasinya, Vol.10, vii-xvi.
2. Darsono, dkk., (2010), Pengembangan dan Rancangbangun Mesin Berkas Elektron, LAPTEK-PTAPB
3. Iqbal, M., et.al, (2012), "Optimization of Electrostatic Focusing for Line Source Electron Beam Emmitter Assembly", Physics Procedia 32 891-895.
4. Suprpto, dkk., (2006), "Rancangan dan Konstruksi Sumber Elektron untuk Mesin Berkas Elektron Industri Lateks" Prosiding PPI – Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan–BATAN, Yogyakarta.
5. Suprpto, dkk., (2000), "Simulasi Lintasan Berkas Elektron pada Sumber Elektron Tipe Termionik dengan Elektrode Pierce", Prosiding Seminar Nasional Teknologi Akselerator dan Aplikasinya, Vol.2, 36-44.
6. Cobham, (1999), "OPERA-3D User Guide", Vector Field Limited 24 Bankside Kidlington Oxford OX5 1JE England.
7. Schiller, S., Heisig, U., Panzer, S., (1982), "Electron Beam Technology", John Wiley & Sons, New York.

**Tri Mardji Atmono**

- Seberapa besar kontribusi stand simulasi ini ( dengan menggunakan OPERA-3D) terhadap arus dan tegangan MBE yang direncanakan?.
- Berapa derajat kevakuman, sehingga sepertinya diabaikan pada simulasi ini, gambar derajat kevakuman tersebut sudah dianggap mencukupi, apa sebabnya, apa buktinya?

**Taufik**

- *Kontribusi studi simulasi dapat digunakan sebagai prediksi dari output arus dan parameter lainnya saat perancangan dan perencanaan eksperimen yang akan dilakukan, sehingga pada eksperimen tidak memerlukan perubahan variasi parameter lebih banyak untuk memperoleh parameter optimal.*
- *Derajat kevakuman pada sistem nyata diperoleh antara  $10^{-6}$  sampai  $10^{-7}$  mbar, akan tetapi parameter derajat kevakuman tidak dapat diinputkan ke program, sehingga simulasi perlu divalidasi.*

**Imam Kambali**

- Apakah program opera-3d bisa digunakan untuk mempelajari kestabilan elektron tiap saat?

**Taufik**

- *Model yang disimulasi adalah model yang dibuat dengan asumsi tidak ada gangguan fungsi waktu, karena parameter fungsi waktu (sistem vakum dan elektoda pemercepat) tidak dapat dimasukkan dalam program opera-3D, sehingga kestabilan elektron tiap saat tidak bisa diperoleh dengan program opera 3D.*