

## OPTIMASI UJI KINERJA OPERASI PROTOTIP LITBANG MBE-PSTA PADA 200 KEV

Darsono, Suprpto, Rany Saptaaji, Elin Nuraini

Bidang Fisika Partikel, PSTA\_BATAN

e-mail: b\_darsono@batan.go.id

### ABSTRAKS

*OPTIMASI UJI KINERJA OPERASI POTOTIP LITBANG MBE-PSTA PADA 200 keV. Telah dilakukan optimasi uji kinerja operasi prototip litbang MBE-PSTA dengan mengoptimasi komponen utama transport MBE-PSTA meliputi sumber elektron, sistem optik, dan vakum pada tegangan operasi STT-MBE 200 kV. Optimasi dengan cara memodifikasi sumber elektron dan sistem optik, dilanjutkan pengukuran profil berkas elektron, dan uji kinerja MBE-PSTA pada tegangan operasi 200 kV untuk berbagai arus filamen sumber elektron serta uji kehandalannya. Hasil pengujian profil berkas elektron MBE-PSTA menunjukkan bahwa profil berkas elektron dapat dimayarkan di tengah-tengah jendela Ti dengan nisbah keseragaman dosis  $D_{min}/D_{max}$  sebesar 65%. Sedangkan hasil uji kinerja operasi MBE-PSTA menunjukkan bahwa makin besar arus filamen sumber elektron maka keluaran arus berkas elektron membesar secara gradual untuk interval tegangan variak 54 – 80 V, kemudian menaik drastis ekponensial untuk tegangan variak di atas 80 V. Kenaikan arus berkas menyebabkan tingkat kevakuman menurun karena adanya outgassing dari jendela Ti yang diperlihatkan adanya burning spot pada jendela. Hal ini dibuktikan pada operasi MBE-PSTA dengan keluaran berkas elektron 2,2 mA selama 5 menit terjadi trip STT pada kondisi vakum  $10^{-5}$  torr. MBE-PSTA dapat dioperasikan cukup stabil pada teganan 200 kV dan arus berkas elektron 2 mA.*

*Kata Kunci : MBE, optimasi, arus berkas elektron, transport berkas elektron*

### ABSTRACT

*OPTIMIZATION OF AN OPERATING PERFORMANCE TEST FOR R&D PROTOTYPE EBM-PSTA AT 200 keV. The optimization of an operating performance test of R & D prototype of MBE-PSTA has been done by optimizing the transport major components of MBE-PSTA which consist of electron source, optical systems, and vacuum at the STT-MBE operating voltage of 200 kV. Optimization was performed by modifying the electron source and an optical system, followed electron beam profile measurements and performance test of MBE-PSTA on the operating voltage of 200 kV for various filament currents of electron source then it was continued by reliability test. The measurement results of the electron beam profile of the MBE-PSTA indicates that the electron beam profile can be scanned in amid Ti window with dose uniformity ratio  $D_{min}/D_{max}$  by 65%. While the MBE-performance test results show that if the filament current of the electron source was increased, then the electron beam current output gradually enlarged for the variac voltage interval 54-80 V and drastically exponential ascended for variac voltage above 80 V. The increase in the electron beam current caused the vacuum level decreased due to an outgassing from Ti window shown the burning spot on the window. This is evidenced when MBE-PSTA was operated at the electron beam current output of 2.2 mA for duration of 5 minutes, the HV trip occured at the vacuum condition of  $10^{-5}$  torr. MBE-PSTA can be operated fairly stable in the high voltage of 200 kV and the electron beam current of 2 mA.*

*Keywords: EBM, electron beam transport, optimization, electron beam current.*

### 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. Pemanfaatan MBE dalam bidang industri telah berkembang pesat baik di negara-negara maju maupun berkembang, terutama dalam

proses pembentukan ikatan silang (*crosslinking*) pada plastik, karet untuk ban mobil dan isolasi kabel[1]. Keunggulan proses iradiasi elektron apabila dibandingkan dengan proses konvensional adalah: 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 masal[1,2].

PSTA-BATAN sedang melakukan rancang-bangun MBE dengan kapasitas 300 keV/20 mA dengan sasaran kegiatan satu prototip MBE skala industri untuk proses pra-vulkanisasi karet alam[3]. Prototip MBE pada tahun 2012 telah diuji fungsi, namun masih banyak kendala antara lain sumber tegangan tinggi (STT) yang sering *discharge*, kebocoran vakum, arus berkas elektron yang masih kecil orde ratusan mikro amper[4]. Darsono dkk[5] melaporkan bahwa pada uji kinerja operasi MBE ketika dilakukan pemayaran berkas elektron selang waktu puluhan menit terjadi penurunan sistem vakum sehingga STT-MBE terjadi *trip*. Setelah dilakukan pengecekan ternyata terdapat bekas bakar (*burning spot*) sepanjang jejak pemayaran berkas elektron yang tidak sejajar sumbu panjang jendela Ti atau miring dan nampak pada bagian ujung pojok jendela Ti bekas bakar lebih jelas. Pada dokumen laporan teknis tersebut juga dilaporkan bahwa STT-MBE mampu dikondisioning tanpa beban (arus) sampai dengan 225 kV.

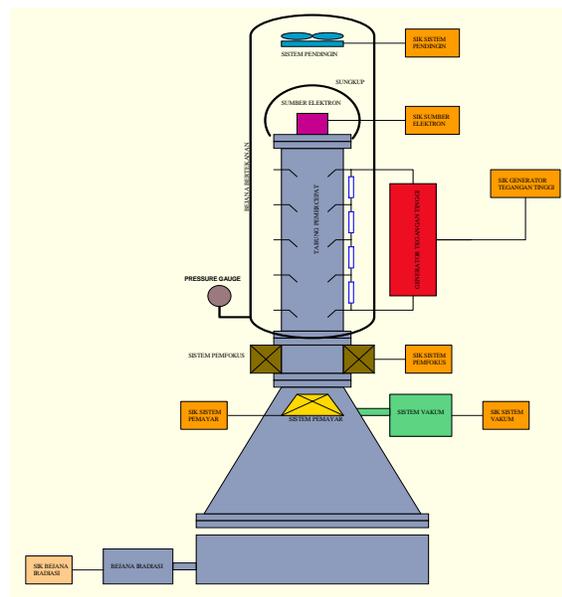
Keluaran berkas arus elektron yang sampai ke atmosfer dari MBE sangat ditentukan oleh komponen utama yaitu sistem sumber elektron, sistem vakum, sistem pemfokus, sistem pemayar, sistem pemercepat elektron. Sistem tersebut merupakan parameter utama transportasi berkas elektron dari sumber elektron sampai dengan jendela Ti sistem pemayar. Sistem pemayar berfungsi memayarkan berkas elektron yang telah melewati sistem pemfokus untuk dikeluarkan ke atmosfer melalui jendela foil Ti pada corong pemayar. Sistem pemayar terdiri dari corong pemayar, dan satu pasang magnet pemayar yang saling sejajar diinstal pada ujung bagian atas corong pemayar[6]. Pada tahun 2013 Darsono[7] melakukan optimasi kinerja operasi sistem pemayar prototip litbang MBE-PSTA dengan cara memodifikasi kutub magnet sistem pemayar dan setup ulang, dan melakukan simulasi penentuan medan magnet yang diperlukan untuk pemayaran yang optimal, serta pengamatan jejak berkas pemayaran dengan kertas kalkir. Namun tak kalah pentingnya bahwa berkas elektron yang masuk ke sistem pemayar harus bertransport pada sumbu pemfokus agar berkas jatuh ditengah-tengah sumbu pendek jendela Ti ketika medan magnet pemayar nol. Untuk itu sumber elektron harus dimodifikasi agar berkas elektron yang keluar dari sumber elektron bertransport pada sumbu tabung pemercepat. Disamping itu juga dilaporkan bahwa telah dilakukan modifikasi komponen utama transport berkas elektron yaitu pertama pemasangan *spacer* tebal spacer 2,7 ke 1,5 mm atau sudut kemiringan 0,4 derajat menggunakan bahan flexiglass pada *flange* antara sumber elektron dan tabung pemercepat agar transportasi berkas elektron pada sumbu tabung[7]. Selanjutnya dilakukan pengujian pada energi elektron 178 keV dan arus STT 180  $\mu$ A (arus berkas elektron orde 30

$\mu$ A) untuk mengecek keberhasilan dari modifikasi yang dilakukan, dengan cara mengamati bentuk jejak berkas elektron pemfokus, dan pemayar menggunakan kertas kalkir.

Pada makalah ini dilaporkan optimasi kinerja operasi prototip litbang MBE-PSTA pada tegangan operasi 200 kV dan arus keluaran 2 mA. Optimasi kinerja operasi prototip litbang MBE-PSTA dilakukan dengan tahapan sbb: pertama optimasi kinerja operasi komponen utama transport berkas elektron yaitu menyetel sumber elektron dan sistem optik dilanjutkan dengan pengukuran profil berkas menggunakan kertas kalkir dan detektor kawat Faraday, kedua uji kinerja operasi prototip litbang MBE-PSTA pada 200 kV untuk berbagai arus filamen sumber elektron kemudian mengukur keluaran berkas elektron dengan meletakkan lempeng Faraday di bawah jendela Ti. Selanjutnya dilakukan uji kestabilan operasi prototip litbang STT-MBE pada keluaran berkas arus elektron 2 mA.

## TATA KERJA

Skema prototip litbang MBE-PSTA seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Dalam optimasi kinerja operasi prototip litbang MBE-PSTA dilakukan dua langkah yaitu pertama optimasi kinerja operasi komponen utama transport berkas elektron, kemudian dilanjutkan uji kinerja operasi pada 200 kV untuk berbagai arus filamen dari sumber elektron dan uji kehandalan STT-MBE pada energi 200 kV dan arus berkas elektron 2 mA.



Gambar 1. Skema prototip litbang MBE-PSTA[8].

## Optimasi Kinerja Operasi Komponen Utama Transport Berkas Elektron

Untuk meningkatkan kinerja operasi prototip litbang MBE-PSTA telah dilakukan modifikasi dan penyetelan komponen transport berkas elektron dengan langkah sbb:

1. Pertama mengingat *beam spot* pada jendela Ti terletak tidak pada sumbu tabung pemercepat atau di tengah-tengah jendela Ti maka dilakukan pemasangan *spacer* bahan *flexiglass* pada *flange* antara sumber elektron dan tabung pemercepat agar berkas elektron yang keluar dari sumber elektron bergerak pada sumbu tabung[5].
2. Kedua dilakukan perbaikan magnet pemayar dengan memodifikasi jarak antar pole magnetnya agar elektromagnet pemayar dapat diatur supaya tidak miring dengan cara di-*polish pole* magnetnya masing-masing pole setebal 3 mm[7].
3. Ketiga penyetelan serta penaikan frekuensi *scanning* magnet pemayar untuk mengatasi masalah *burning* pada ujung jendela Ti.
4. Keempat melakukan pengukuran profil berkas elektron menggunakan detektor kertas kalkir. Pada pengukuran profil berkas elektron untuk uji pemayaran, kertas kalkir diletakkan di luar vakum di bawah jendela Ti. Mengingat jendela Ti pada keadaan divakum akan melengkung maka untuk memperoleh jejak berkas elektron MBE yang mendekati sebenarnya maka kertas kalkir ditempelkan pada kasa yang mempunyai kelengkungan seperti jendela Ti. Kemudian kertas kalkir pada kasa ini diletakkan di bawah jendela Ti dengan jarak 2 cm. Fungsi kasa di samping sebagai pembentuk kelengkungan agar sesuai dengan jendela Ti juga sebagai pengukur arus berkas elektron.
5. Kelima pengukuran distribusi berkas elektron menggunakan detektor kawat Faraday. Detektor Faraday dapat dipasang di bawah jendela Ti searah atau melintang sumbu panjang. Ada lima detektor kawat digunakan untuk mengukur profil berkas pemayaran dengan tiap kawat dihubungkan dengan pengukur arus mikroamper meter yang di hubungkan ke *ground*. Ketika berkas elektron menerobos jendela Ti dan mengenai detektor kawat yang terletak di bawah jendela Ti maka kawat yang terisolasi terhadap *ground* ini akan termuati elektron sehingga arus akan mengalir ke *ground* dan mikroamper meter akan menampilkan besarnya arus tersebut.

## Uji Kinerja Operasi prototip litbang MBE-PSTA

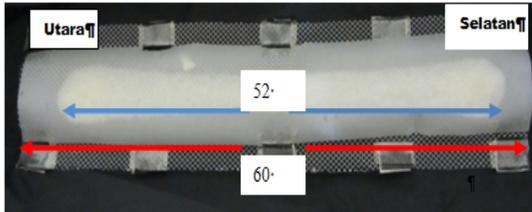
Uji kinerja operasi prototip litbang MBE-PSTA dilakukan setelah eksperimen optimasi kinerja

operasi komponen utama transport berkas elektron selesai. Uji kinerja operasi prototip litbang MBE-PSTA dilakukan pada kondisi parameter operasi pemfokus 0,5 A, parameter operasi pemayar 0,43 A, frekuensi osilator daya STT-Cockcroft Walton 25 kHz, suhu ruangan 30° C, humiditas ruangan 85. Kondisi vakum dan suhu jendela Ti pada saat sebelum ada berkas elektron masing-masing sekitar  $10^{-7}$  torr dan 25° C, dan kondisi ini sangat tergantung kondisi ruangan laboratorium pengujian prototip litbang MBE-PSTA. Uji kinerja operasi diawali kondisioning STT-MBE dengan memvariasi *variac* trafo STT secara bertahap dan mengamati *input* dan *output* STT-MBE pada setiap kenaikan *output* 10 kV. Setelah STT-MBE mencapai 200 kV selanjutnya dioperasikan sumber elektron dengan memvariasi arus filamen dan mengukur keluaran berkas elektron dengan meletakkan lempeng Faraday di bawah jendela Ti. Pada saat yang sama mengamati kondisi vakum, arus STT, arus kolom, tegangan STT pada saat perubahan filamen sumber elektron, dan suhu jendela Ti.

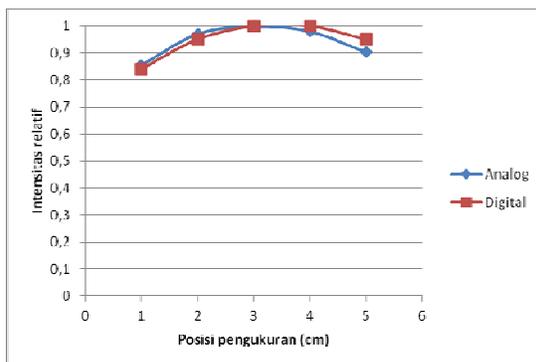
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil optimasi kinerja komponen transport berkas elektron prototip litbang MBE-PSTA ditunjukkan pada Gambar 2 sampai dengan Gambar 3. Gambar 2 menunjukkan profil (jejak) berkas pemayaran sedangkan Gambar 3 menunjukkan distribusi profil berkas pemayaran arah sumbu pendek jendela Ti (detektor kawat Faraday arah searah pemayaran) sedangkan Gambar 4 menunjukkan distribusi profil berkas pemayaran arah sumbu panjang jendela Ti (detektor kawat Faraday di letakkan di daerah ujung jendela Ti melintang arah pemayaran). Baik tidaknya pemayaran berkas elektron dapat diidentifikasi dari karakteristik profil distribusi dosis berkas hasil pemayaran. Karakteristik distribusi profil dosis berkas pemayaran merupakan parameter iradiasi karena terkait dengan efisiensi utilitas berkas elektron pada aplikasi MBE. Profil berkas ini sangat ditentukan dari bentuk berkas keluaran sumber elektron, efek pemercepatan, pemfokusan dan pemayaran. Ada dua profil distribusi dosis berkas pemayaran yang harus diamati yaitu profil berkas yang searah pemayaran dan melintang arah pemayaran. Dalam aplikasi MBE untuk industri sangat diperlukan karakteristik profil berkas searah pemayaran yang akan menentukan  $D_{\min}$  (dosis minimal) dan  $D_{\max}$  (dosis maksimal) dari profil berkas. Pengukuran profil distribusi dosis berkas tegak lurus (melintang) arah pemayaran dilakukan dengan menggunakan detektor kawat yang dipasang dibawah jendela Ti searah sumbu panjang. Sedangkan pengukuran  $D_{\min}$  (dosis minimal) dan  $D_{\max}$  (dosis maksimal) dapat dilakukan dengan

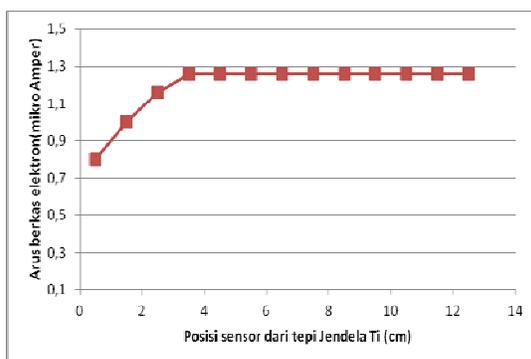
menggunakan detektor kawat yang dipasang di bawah jendela Ti pada daerah ujung pemayaran arah melintang berkas pemayaran. Kondisi eksperimen pengukuran distribusi berkas sama dengan kondisi pengamatan jejak berkas elektron namun arus yang digunakan pada pengukuran distribusi berkas elektron lebih besar yaitu sekitar 300 mikro amper.



**Gambar 2. Jejak pemayaran pada kertas kalkir (diluar vakum) selama iradiasi 30 menit.**



**Gambar 3. Distribusi profil berkas pemayaran arah sumbu pendek jendela Ti.**

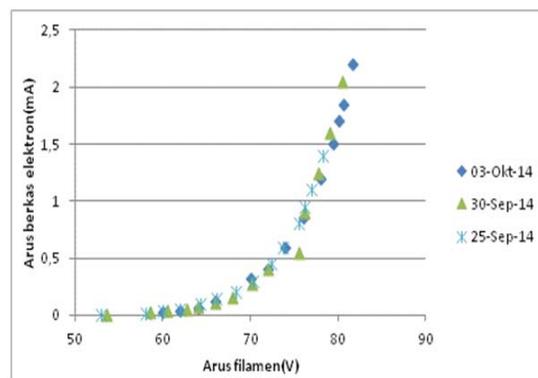


**Gambar 4. Distribusi profil berkas pemayaran arah sumbu panjang jendela Ti.**

Distribusi profil berkas elektron di tengah jendela Ti (posisi 3) mempunyai intensitas yang

sedikit lebih besar jika dibandingkan dengan yang dipinggir seperti ditunjukkan pada Gambar 3, hal ini adalah wajar mengingat bentuk berkas elektron keluar dari sumber elektron umumnya berbentuk Gaussian. Dari Gambar 4 dapat diperoleh data  $D_{min}$  (dosis minimal) dan  $D_{max}$  (dosis maksimal) yang sangat menentukan dalam aplikasi industri. Dari Gambar 4 terlihat bahwa arus berkas elektron di tengah jendela Ti mempunyai arus yang konstan kemudian makin ke pinggir jendela Ti makin mengecil. Besarnya arus berkas pada daerah tengah disebut dengan  $D_{max}$  sedangkan arus terkecil pada daerah pinggir disebut  $D_{min}$ . Nilai perbandingan  $D_{max}/D_{min}$  dari prototip litbang MBE-PSTA sekitar 65 % masih belum baik yang seharusnya 70-80%. Namun demikian  $D_{max}/D_{min}$  sekitar 65% lebih baik dari pengujian sebelumnya[7].

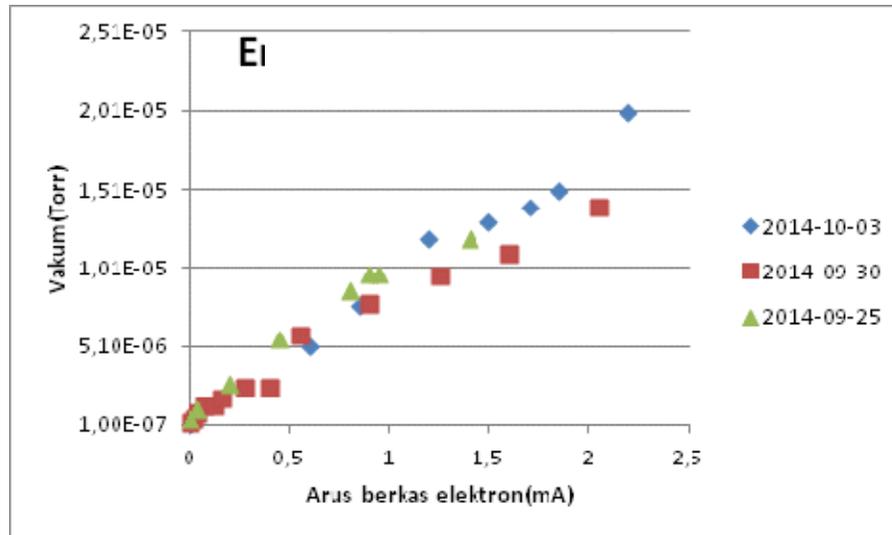
Hasil uji kinerja operasi prototip litbang MBE-PSTA terlihat pada Gambar 5 sampai dengan Gambar 7. Pada Gambar 5 diperlihatkan pengaruh arus filamen sumber elektron terhadap keluaran berkas elektron prototip litbang MBE-PSTA. Dari Gambar 5 terlihat bahwa pada arus filamen 54 V (ini adalah tegangan suplai daya filamen yang belum dikalibrasi ke arus) arus berkas elektron sudah keluar dengan orde beberapa mikro Amper. Dari Gambar 5 terlihat bahwa keluaran berkas elektron prototip litbang MBE-PSTA untuk interval arus filamen 54 - 80 V naik proporsional mendekati kuadrat arus filamen, namun untuk arus filamen di atas 80 V terlihat kenaikan arus berkas elektron sangat besar dengan perubahan arus filamen dengan kenaikan arus berkas elektron mendekati ekponensial. Hal ini bersesuaian dengan watak sumber elektron termionik dengan katoda filamen<sup>[9,10]</sup>. Arus berkas elektron MBE yang dapat dicapai hanya 2,2 mA dikarenakan jika dioperasikan di atas 2,2 mA terjadi *burning* pada jendela Ti, dan bahkan dapat menyebabkan jendela Ti bocor.



**Gambar 5. Hasil pengulangan uji kinerja MBE-PSTA pada energi 200 keV.**

Gambar 6 memperlihatkan pengaruh arus berkas elektron terhadap kevakuman sistem vakum prototip litbang MBE-PSTA. Terlihat dari Gambar 6 bahwa makin besar arus berkas elektron kevakuman sistem vakum MBE-PSTA menurun dan STT-MBE terjadi *trip* pada arus berkas elektron 2,2 mA setelah dioperasikan 5 menit. Menurunnya kevakuman sistem vakum MBE-PSTA dikarenakan terjadi *outgasing* akibat jendela Ti terjadi *burning* seperti terlihat pada Gambar 7. Pada Gambar 7a terlihat *burning spot* pada jendela Ti akibat arus berkas elektron yang apabila operasi MBE-PSTA

dipertahankan akan menyebabkan kerusakan jendela seperti terlihat pada Gambar 7b. Fenomena *burning spot* yang akan mengakibatkan jendela Ti bocor ini dikarenakan sistem pendingin jendela belum sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Dari Gambar 7a terlihat *burning spot* pada ujung jendela Ti lebih parah dibandingkan pada bagian tengah, hal ini dikarenakan sistem penghambusan udara pendingin jendela Ti belum merata. Padahal pada ujung jendela waktu proses pendinginan jendela Ti sangat pendek dibandingkan pada bagian tengah dikarenakan adanya perubahan balik arah pemayaran (*scanning*).



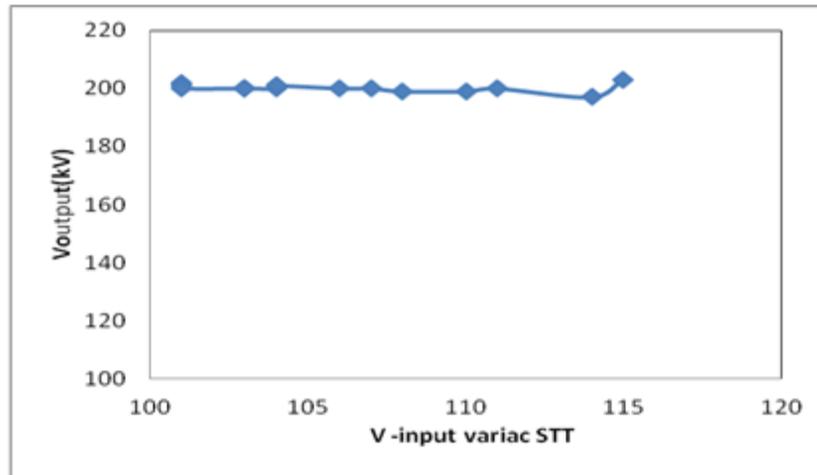
Gambar 6. Pengaruh berkas elektron terhadap kevakuman pada uji fungsi MBE-PSTA pada energi 200 keV.



Gambar 7a. Jendela Ti MBE terjadi *burning*.



Gambar 7b. Jendela Ti yang rusak karena berkas elektron yang sudah dilepas dari MBE.



Gambar 8. Kestabilan tegangan STT-MBE pada arus berkas elektron 2 mA.

Kehandalan MBE-PSTA diuji pada energi 200 keV dan arus berkas elektron 2 mA seperti diperlihatkan pada Gambar 8. Terlihat dari Gambar 8 bahwa MBE-PSTA belum begitu stabil karena untuk mempertahankan arus berkas elektron pada 2 mA maka suplai variac STT harus diatur. Penyebab belum baiknya kehandalan kinerja operasi prototip litbang MBE-PSTA ini terutama dikarenakan ketidakstabilan kondisi vakum yang disebabkan oleh adanya *burning* pada jendela Ti yang menyebabkan tingkat kevakuman menurun, dan penyebab lainnya diduga dikarenakan ketidakstabilan STT-MBE. Menurunnya tingkat kevakuman disebabkan *outgassing* dari jendela Ti yang suhunya meningkat terbukti pada pengoperasian MBE pada keluaran berkas elektron di atas 2,2 mA terjadi *trip* STT pada kondisi vakum  $10^{-5}$  torr.

## KESIMPULAN

Dengan mengoptimasi setup komponen utama MBE-PSTA khususnya sumber elektron dan sistem optik maka MBE-PSTA dapat dioperasikan pada tegangan 200 kV dan arus berkas elektron 2,2 mA. Makin besar arus filamen sumber elektron maka keluaran arus berkas elektron membesar namun tingkat kevakuman menurun dikarenakan *outgassing* meningkat akibat temperatur jendela Ti meningkat. Sistem pendinginan jendela Ti belum sesuai spesifikasi yang diharapkan terbukti pada pengoperasian MBE dengan keluaran berkas elektron di atas 2,2 mA terjadi *trip* STT pada kondisi vakum  $10^{-5}$  torr. Profil berkas elektron jatuh di tengah-tengah jendela Ti dan pemyaran berkas sudah pada sumbu panjang jendela dengan nisbah keseragaman dosis  $D_{\min}/D_{\max}$  sebesar

65%, namun masalah pembalikan pulsa pemyaran masih belum sempurna. MBE-PSTA dapat dioperasikan cukup stabil pada tegangan 200 kV dan arus berkas elektron 2 mA.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kegiatan penelitian ini dibiayai dengan anggaran DIPA-PSTA Tahun 2014. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Sdr.Suhartono, Sumaryadi, Sutadi, dan Heri Sudarmanto yang telah banyak membantu pada perbaikan komponen utama MBE-PSTA dan pengoperasiannya.

## ACUAN

1. Darsono, Peran Teknologi Akselerator Dalam Mendukung Industri, Prosiding PPI Teknologi Akselerator dan Aplikasinya, Vol.10, Oktober 2008, PSTA-BATAN.
2. MAKUUCHI, K., *Electron Beam Processing of Rubbers*, Proceedings of the Workshops on the Utilization of Electron Beams, JAERI-M, 90-194, 1990.
3. Darsono, dkk., Pengembangan dan Rancang-bangun Mesin Berkas Elektron, LAPTEK-PTAPB, 2010.
4. Rany Saptajaji, dkk., Pengembangan dan Rancang-bangun Mesin Berkas Elektron, LAPTEK-PTAPB, 2012.

5. Darsono, dkk., Peningkatan Keluaran Arus Berkas Elektron MBE lateks 300 keV/20mA dengan Optimasi Parameter Utama Transport Berkas, LAPTEK-PTAPB, 2013.
6. Tono W, Saminto, Bambang Spd, Penyempurnaan Dan Uji Sistem Pemayar MBE 350 keV/10mA, Prosiding Peretemuan Dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya, Yogyakarta, 1 Oktober 2004.
7. Darsono, Suhartono, Elin Nuraini, Sutadi, Optimasi Kinerja Operasi Sistem Pemayar MBE Lateks 300 keV/20mA, Prosiding PPI Teknologi Akselerator dan Aplikasinya, Vol.16, Oktober 2013, PSTA-BATAN.
8. Eko Priyono, Sistem Instrumentasi dan Kendali Mesin Berkas Elektron 300 keV/20 mA, Dokumen paket teknologi pengembangan dan rancangbangun Mesin berkas elektron, No.Dok : PTEK-SIK.010.3/OT 00 01/STA 2, Revisi 0, PSTA-BATAN, 2014.
9. Djoko S.P., Sntadji S., Suprpto, Sukidi, Rancang Bangun Sumber Elektron Untuk Mesin Berkas Elektron PPNY - BATAN Yogyakarta, Prosiding PPI Teknologi Akselerator dan Aplikasinya, Volume 1 Nomor 1 Juli, 1999.
10. H. P. Bluem, D. Dowell\*, A. M. M. Todd And L. M. Young\*, *High Brightness Thermionic Electron Gun Performance*, Proceedings of ERL, Tsukuba, Japan, 2011.

---

## TANYA JAWAB

### Silakhuddin

- Selain pengukuran homogenitas arus berkas elektron secara visual, adakah cara/teknik pengukuran homogenitas secara kuantitatif. Bagaimana konstruksi pengukurannya.

### Darsono

- Hasil pengukuran distribusi homogenitas arus berkas elektron secara kuantitatif menggunakan *Faraday Cup*, tapi pada gambar untuk mempermudah analisis, data pengukuran dinormalisasi. Teknik lain dapat pakai dosimeter menggunakan CTA dosimeter.