



## PERANCANGAN TABUNG AKSELERATOR UNTUK MESIN BERKAS ELEKTRON 500 keV/10 mA

W. Maksum, Sudjatmoko, Suprpto

PPNY-BATAN, Jl. Babarsari, P.O. Box 1008, Yogyakarta 55010

### ABSTRAK

*PERANCANGAN TABUNG AKSELERATOR UNTUK MESIN BERKAS ELEKTRON 500 KEV/10 MA. Telah dilakukan perancangan suatu tabung akselerator untuk Mesin Berkas Elektron 500 keV/10 mA. Tabung ini berfungsi sebagai pemfokus dan pemercepat berkas elektron. Tabung akselerator dirancang terdiri dari beberapa buah elektroda, tabung isolator dan sistem pembagi tegangan. Sebagai elektroda dipilih bahan stainless-steel karena mempunyai laju "outgassing" rendah dan tahan karat, tabung isolator dipilih bahan gelas pyrex karena mempunyai laju "outgassing" rendah dan tahan panas, serta pembagi tegangan berupa resistor dengan nilai ohm-tinggi untuk mendistribusikan tegangan pemercepat pada elektroda-elektroda. Elektroda stainless-steel dirancang berbentuk kerucut dengan tebal 3 mm, diameter lubang masuk 134 mm dan diameter lubang keluar 60 mm. Jumlah elektroda adalah 34 buah agar supaya beda potensial antara elektroda tidak lebih dari 15 kV. Tabung isolator yang akan digunakan mempunyai ketebalan 5 mm, diameter luar 150 mm, diameter dalam 140 mm dan panjang 32 mm. Tabung isolator disambungkan pada elektroda dengan menggunakan perekat epoxy sehingga terbentuk satu unit tabung akselerator. Diharapkan tabung akselerator yang dirancang dapat dikonstruksi dan dioperasikan pada tingkat kehampaan sekitar  $10^{-6}$  torr dan dapat untuk mempercepat berkas elektron hingga energi 500 keV.*

### ABSTRACT

*DESIGN OF AN ACCELERATOR TUBE FOR 500 keV/10 mA ELECTRON BEAM MACHINE. A design of an accelerator tube for 500 keV/10 ma electron beam machine was carried out. This tube was used for focussing and accelerating of elektron beams. The tube was designed to consist of some electrodes insulator tubes and a voltage divider. The electrodes was made of stainless steel due to its low outgassing constant and stainlees, the insulator was made of pyrex glass due to its low outgassing constant and high temperature proof, and the voltage divider was made of high-ohmic resistors used for accelerating potential distribution at the electrodes. The stainless steel electrodes were conic shaped 3 mm thick with 134 mm inlet diameter and 60 mm outlet diameter. The number of this electrodes was 34 so that the potensial gap between adjacent electrodes not exceed 15 kV. The insulators were 5 mm thick, 150 mm outer diameter, 140 mm inner diameter and 32 mm long. The insulators were joined to the elctrodes by using an epoxy form an accelerator tube. The designed accerelator tube could be constructed and operated at a vacuum of  $10^{-6}$  torr and accelerated electron beam at an energy of 500 keV*

## I. PENDAHULUAN

Salah satu komponen utama dari MBE (Mesin Berkas Elektron) adalah tabung akselerator yaitu suatu tabung dengan medan listrik konstan untuk mempercepat partikel bermuatan (berkas elektron). Tabung akselerator dikonstruksi dari bahan isolator, berupa gelas atau porselin dan elektroda-elektroda logam berbentuk kerucut yang dipasang antara ruas-ruas isolator dengan menggunakan perekat vinyl-acetat atau bahan perekat lainnya.

Dalam proses pemercepatan berkas elektron di dalam tabung akselerator diperlukan tingkat kehampaan minimal  $10^{-6}$  torr agar supaya elektron-elektron yang dipercepat tidak bertumbukan dengan atom-atom di dalam tabung, sehingga elektron akan memperoleh energi yang sebanding dengan beda potensial yang terpasang

antara ujung-ujung tabung. Untuk mencapai tingkat kehampaan tersebut perlu dilakukan pemilihan bahan isolator yang mempunyai nilai laju "outgassing" cukup rendah.

Elektroda-elektroda yang terpasang pada tabung akselerator menyalurkan tegangan DC positif terhadap terminal tegangan tinggi yang terpasang tingkat pemercepat pertama. Dengan menggunakan sistem resistor, suatu beda tegangan akan terjaga tetap antara setiap tingkat pemercepatan, sehingga berkas elektron menerima dorongan aliran sepanjang tabung dengan nilai energi yang sama. Pada ujung akhir tabung akselerator, berkas elektron telah memperoleh energi yang nilainya sama dengan penurunan tegangan total antara terminal tegangan tinggi dan tanah (ground). Fungsi elektroda adalah untuk menghasilkan medan pemercepat dan pemfokusan berkas elektron. Untuk keperluan tersebut maka

perlu dirancang bentuk, ukuran dan bahan serta jumlah elektroda sehingga dapat berfungsi sesuai dengan yang diharapkan.

## II. TEORI DAN PRINSIP PERANCANGAN

Dalam suatu MBE berkas elektron yang dihasilkan oleh sumber elektron diarahkan menuju kanal keluaran dan masuk ke dalam sistem pemfokus berkas elektron, kemudian masuk ke dalam tabung akselerator. Tabung akselerator tersebut terdiri dari beberapa buah elektroda dan tabung isolator, dimana tabung akselerator ini berfungsi ganda yaitu memfokuskan dan mempercepat berkas elektron yang masuk hingga mencapai suatu nilai energi tertentu yang besarnya sebanding dengan tegangan tinggi yang dipasang pada elektroda-elektroda tabung akselerator<sup>(1)</sup>.

$$E_e = qV \quad (1)$$

dengan :  $E_e$  adalah energi elektron  
 $q$  adalah muatan elektron  
 $V$  adalah tegangan tinggi pemercepat berkas elektron.

Untuk memberikan distribusi tegangan pemercepat yang seragam elektroda, maka digunakan suatu sistem pembagi tegangan yang terdiri dari resistor dengan nilai ohm-tinggi sehingga beda potensial akan terjaga tetap antara setiap tingkat pemercepat (antara dua buah elektroda), serta setiap elektroda maksimal menerima pembagian tegangan 15 kV<sup>(2)</sup>. Selain juga berfungsi sebagai pemercepat berkas elektron, elektroda yang terpasang pada tabung akselerator berfungsi sebagai pemfokus berkas elektron. Fungsi pemfokusan ini sangat penting karena sepanjang lintasan mulai saat masuk sampai keluar dari tabung akselerator, berkas elektron mempunyai kecenderungan untuk menyebar. Agar supaya elektroda-elektroda tersebut dapat berfungsi sebagai pemfokus berkas elektron, maka elektroda dibuat mempunyai bentuk kerucut. Besarnya sudut miring dari bidang tabung elektroda dapat ditentukan dengan persamaan

$$\tan \alpha = \frac{[\Phi_1 - \Phi_d]}{2l} \quad (2)$$

dengan :  $\alpha$  adalah sudut kemiringan bidang tabung elektroda  
 $\Phi_1$  adalah diameter luar lubang elektroda  
 $\Phi_d$  adalah diameter dalam lubang elektroda  
 $l$  adalah tinggi kerucut dari elektroda.  
 Tabung isolator pada tabung akselerator berbentuk silinder dipilih dari bahan isolator yang

mempunyai laju "outgassing" rendah, sehingga akan mampu dioperasikan pada tingkat kehampaan minimal  $10^{-6}$  torr. Selain itu dipilih bahan isolator karena tabung tersebut berfungsi untuk penggendeng elektroda-elektroda tegangan tinggi dimana beda potensial antara dua buah elektroda mencapai nilai 15 kV. Dengan demikian pada prinsipnya pemilihan bahan tabung harus berdasarkan dua aspek tersebut di atas, yaitu suatu bahan yang mempunyai nilai laju outgassing rendah dan bahan tersebut adalah suatu isolator yang baik untuk tegangan tinggi.



Gambar 1. Bagan Tabung Elektroda

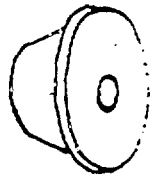
## III. PERANCANGAN SISTEM

### A. Cetakan Pembentuk Elektroda

Tabung elektroda akan lebih baik apabila dalam pembuatannya dirancang menggunakan bahan masif atau pejal kemudian dibubut, namun cukup memakan waktu yang relatif lama dan mahal sekali. Untuk mengatasi masalah di atas ada suatu cara yang lebih mudah namun hasilnya cukup memadai yaitu dengan memakai cetakan dimana tenaga yang dipakai untuk mendorong bahan plat dibentuk dalam cetakan memerlukan mesin press hidrolik. Adapun cetakan untuk membentuk elektrode terdiri dari 2 cetakan yaitu satu cetakan sebagai pola (cetakan pola) dan cetakan lainnya sebagai penekan (cetakan penekan). Kedua cetakan ini direncanakan dari baja tabung (st-50), bahan ini mampu dibuat permukaannya halus dan licin serta tidak mudah berkarat dan mempunyai tegangan permukaan cukup besar.

#### A.1. Cetakan penekan

Pada umumnya cetakan penekan dalam mesin press dijadikan satu dengan batangan pendorong sehingga akan bergerak naik turun atau maju mundur. Cetakan penekan untuk membentuk tabung elektroda ini mempunyai ukuran sama besar dengan ukuran lubang dari tabung elektroda yaitu D 134 mm, d 60 mm, tinggi 32 mm, yang pengerjaan pembuatan cetakan ini dari bahan pejal atau masif selanjutnya dibuat dengan sudut kemiringan  $50^\circ$ .



Gambar 2. Cetakan penekan

### A.2. Cetakan pola

Bagian dalam dari cetakan pola mempunyai bentuk dan ukuran sama dengan diameter luar dari tabung elektroda, sedangkan bagian luar cetakan pola boleh dibuat bulat atau persegi disesuaikan dengan mesin press yang dipakai. Bibir cetakan dan sudut miring harus disiapkan secara halus dan licin, karena cetakan pola digunakan sebagai wadah pembentukan elektrode.



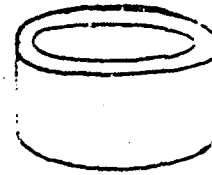
Gambar 3. Cetakan pola

### A.3. Bahan Elektrode

Elektrode dibuat dari bahan stainless steel. Bahan ini dipilih karena mempunyai outgassing rendah yaitu  $180 \cdot 10^{-7} \text{ W/m}^2$  pada rentang waktu sampai 1 jam<sup>7)</sup>, tahan karat dan dapat dibentuk dengan mudah dengan pengepresan. Pengepresan dilakukan dengan cetakan penekan dan cetakan pola sehingga didapatkan bentuk elektrode komert

### B. Tabung Isolator

Gelas pyrex merupakan bahan tabung isolasi yang cukup baik karena mempunyai outgassing rendah yaitu  $98 \cdot 10^{-7} \text{ W/m}^2$  pada rentang waktu sampai 1 jam, tahan panas dan dapat bertindak sebagai tempat mendepositkan metal sputter yang dihasilkan oleh elektroda metal akibat tertabrak oleh berkas elektron. Syarat utama permukaan tabung isolasi harus rata dan halus, agar pada waktu perangkaian dengan tabung elektroda cukup mudah dan sistem penyambungan menggunakan lem epoxy akan berhasil baik, karena diperlukan tingkat kehampaan yang tinggi sekitar  $10^{-6}$  torr. Ukuran tabung isolasi direncanakan berdiameter luar 150 mm, diameter lubang 140 mm dan tingginya 32 mm, berjumlah 35 buah potongan.



Gambar 4. Tabung Isolator

### C. Flange

Dikedua ujung tabung akselerator dipasang flange yang dibuat dari bahan stainless-steel dengan tebal antara 12,5 mm - 15 mm, diameter luar 200 dan diameter lubang 100 mm. Adapun lingkaran jarak baut mur disesuaikan dengan flange sumber elektron, flange sistem vakum.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Seperti telah diuraikan di atas bahwa tabung akselerator terdiri dari sejumlah elektroda identik yang dipisahkan oleh tabung isolator, selanjutnya membentuk dinding vakum dari tabung akselerator. Fungsi dari elektroda adalah mempercepat dan memfokuskan berkas elektron yang melewati tabung akselerator. Sebagai pemercepat berkas elektron maka setiap elektroda diberi beda potensial tertentu sesuai dengan energi elektron yang dikehendaki. Dalam perancangan MBE, energi elektron yang diharapkan adalah 500 keV maka sesuai dengan persamaan (1) di atas sehingga beda potensial yang terpasang pada tabung akselerator adalah sebesar 500 kV. Beda potensial diantara elektroda kira-kira mempunyai nilai yang sama sehingga berkas elektron memperoleh jumlah tambahan energi yang konstan pada saat melewati setiap elektroda. Agar supaya tidak terjadi lucutan listrik diantara elektroda dan berkas elektron mengalami percepatan yang seragam setiap melewati medan listrik diantara dua elektroda, maka beda potensial yang terpasang tidak lebih dari 15 kV. Oleh karena itu dalam perancangan tabung akselerator ini, jumlah elektroda yang diperlukan untuk mempercepat berkas elektron hingga energi 500 keV dapat ditentukan sebagai berikut,

$$N = 500 \text{ kV} / 15 \text{ kV} \approx 34 \text{ buah}$$

dimana N adalah jumlah elektroda yang terpasang pada sistem tabung akselerator.

Elektroda-elektroda yang terpasang pada tabung akselerator harus mampu menyalurkan tegangan DC positif terhadap terminal tegangan tinggi sampai 500 kV yang terpasang pada tingkat

pemercepat pertama. Sedangkan tabung akselerator dirancang dapat dioperasikan pada tingkat kehampaan sekitar  $10^{-6}$  torr. Oleh karena itu perlu dilakukan pemilihan jenis bahan elektroda dalam perancangan tabung akselerator ini yang memenuhi kriteria tersebut di atas. Dalam perancangan ini dipilih bahan stainless-steel sebagai bahan elektroda berdasarkan pada kriteria,

1. mempunyai laju outgassing sangat rendah
2. mempunyai nilai konduktivitas yang baik
3. tahan terhadap korosi dan panas.

Fungsi yang lain dari elektroda adalah untuk memfokuskan berkas elektron yang melewati tabung akselerator. Agar dapat berfungsi sebagai pemfokus berkas elektron maka dipilih bentuk kerucut, sehingga garis-garis gaya medan listrik diantara dua elektroda berbentuk sedemikian rupa sehingga dapat memfokuskan berkas elektron yang lewat. Besarnya kemiringan sudut dari bidang tabung elektroda ditentukan dari persamaan (2) di atas. Ukuran lubang masuk dari elektroda 134 mm yang disesuaikan dengan diameter tabung isolator, diameter lubang keluar 60 mm dan tinggi kerucut elektroda adalah 32 mm. Dengan demikian besarnya sudut kemiringan dapat dihitung, yaitu

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{[\Phi_1 - \Phi_d]}{2l}$$

$$= [134 - 60]/64 = 1,156$$

sehingga  $\alpha \approx 50^\circ$

Selanjutnya akan diperoleh besarnya sudut pada bibir tabung elektroda yaitu  $90^\circ + 50^\circ = 140^\circ$ . Skema diagram bentuk tabung elektroda dapat dilihat dalam Gambar 1 pada lampiran.

Tabung isolator pada sistem tabung akselerator adalah menggandengkan elektroda-elektroda dan bertindak sebagai isolator. Dalam perancangan sistem tabung akselerator maka harus dipilih suatu bahan yang bersifat isolator dan mampu beroperasi pada tingkat kehampaan sekitar  $10^{-6}$  torr. Maka dalam perancangan ini dipilih gelas pyrex sebagai bahan tabung isolator berdasarkan pertimbangan

1. mempunyai laju outgassing cukup rendah
2. mempunyai sifat isolator
3. tahan panas tinggi.

Ukuran tabung isolator direncanakan berdiameter luar 150 mm, diameter lubang 140 mm, panjang setiap tabung 32 mm dan jumlah tabung isolator untuk satu unit tabung akselerator adalah 35 buah. Dengan jarak antar elektrode sebesar 32 mm mempunyai tegangan dadal sebesar  $85,8 \text{ kV}^{(6)}$  Geometri dari tabung isolator dapat dilihat dalam Gambar 2 yang terdapat pada lampiran.

Berdasarkan pembahasan di atas dan hasil perancangan yang telah dilakukan maka diperoleh

spesifikasi teknis dari tabung akselerator untuk MBE 500 keV/10 mA sebagai berikut.

### 1. Bagian-bagian Tabung Akselerator

- a) Tabung isolator : gelas pyrex
- b) Elektroda : stainless-steel
- c) Tahanan pembagi tegangan : resistor ohm-tinggi

### 2. Dimensi Tabung Akselerator

- a) Geometri tabung isolator :  $\phi_{\text{luar}} = 150 \text{ mm}$   
 $\phi_{\text{dalam}} = 140 \text{ mm}$   
panjang = 320 mm
- b) Geometri elektroda : tebal = 3 mm  
 $\phi_{\text{luar}} = 134 \text{ mm}$   
 $\phi_{\text{dalam}} = 60 \text{ mm}$   
jumlah = 34 buah
- c) Geometri tabung akselerator :  $\phi_{\text{luar}} = 150 \text{ mm}$   
 $\phi_{\text{dalam}} = 60 \text{ mm}$   
panjang = 1.212 mm.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan tersebut di atas dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut. Tabung akselerator terdiri dari elektroda dengan bahan stainless steel sebanyak 34 buah dan tabung isolator dari bahan gelas pyrex berdiameter 150 mm dan panjang 32 mm sebanyak 34 buah. Bahan ini mempunyai laju pelepasan gas (outgassing) cukup rendah. bahan perekat untuk memasang elektrode dan tabung isolator dengan lem epoxy, sedangkan untuk pembagi tegangan pada tiap-tiap elektroda digunakan tahanan dengan nilai ohm tinggi. Dengan perancangan ini diharapkan tabung akselerator dapat dioperasikan pada tingkat kehampaan sekitar  $10^{-6}$  Torr sebagai tabung akselerator mesin berkas elektron 500 keV/10 mA.

1. Tabung akselerator untuk MBE 500 keV/10 mA terdiri dari beberapa buah elektroda dan tabung isolator dilengkapi dengan sistem pembagi tegangan. Sebagai bahan elektroda dipilih stainless-steel dengan dasar pertimbangan bahwa bahan tersebut mempunyai nilai konduktivitas yang baik, mempunyai laju outgassing sangat rendah, tahan terhadap korosi dan panas. Elektroda sebagai pemfokus berkas elektron, maka elektroda dibuat berbentuk kerucut sehingga garis-garis gaya medan listrik yang terbentuk diantara dua buah elektroda akan bertindak sebagai pemfokus berkas elektron.
2. Tabung isolator yang menggandengkan antara dua buah elektroda dipilih dari gelas

pyrex karena bahan tersebut adalah bahan isolator, mempunyai laju outgassing cukup rendah dan tahan terhadap panas. Dengan demikian diharapkan tabung akselerator yang dirancang akan dapat dioperasikan pada tingkat kehampaan sekitar  $10^{-6}$  torr. Sebagai bahan perekat, yaitu bahan untuk menggandengkan tabung isolator dengan elektroda dipilih bahan perekat epoxy. Dasar pertimbangan pemilihan bahan ini karena perekat epoxy mempunyai laju outgassing cukup rendah dan tahan panas.

3. Elektroda-elektroda pemfokus menyalurkan tegangan DC positif terhadap terminal tegangan tinggi 500 kV yang terpasang pada tingkat pemercepat pertama. Sebagai pembagi tegangan digunakan sistem resistor pembagi tegangan sehingga beda potensial akan terjaga tetap antara setiap tingkat pemercepat. Sistem resistor pembagi tegangan ini terdiri dari resistor ohm-tinggi sehingga diharapkan akan dapat memberikan keseragaman tegangan pada setiap elektroda yang terpasang pada tabung akselerator.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. LIVINGSTON, M.S. & BLEWETT, J.P., Particle Accelerators, McGraw-Hill Book Company, New York, 1962.
2. NARGOLWALLA, S.S., & PRZYBYLOWICZ, E.P., Activation Analysis with Neutron Generator, John Wiley & Sons, New York, 1973.
3. ALBERTINSKY, B.I., High Voltage Electron Accelerators for Radiation Technology. The Main Characteristics, The Design of Accelerators and Their Elements, Training Course on Low Energy Accelerators

and Their Applications, Leningrad, USSR, 1988.

4. Nissin HIGH VOLTAGE CO.LTD., "Electron Beam Processing System", Tokyo, Japan (1992).
5. ZHOU QIZHANG, "Electron Accelerators Manufactured in China, UNDP/IAEA/RCA Regional Training Course on EB Irradiation Technology, Jia Ding, Shanghai, China (1991).

---

#### TANYA JAWAB

*Purnomo*

*Bahan dari kaca pyrex apakah sudah cukup menahan panas ? menurut pengalanan kami dengan bahan dan tebal yang sama, dekat keluaran sumber elektron retak*

**W. Maksum**

Kalau sistem dalam MBE terutama tabung akselerator cukup baik maka, gelas pyrex cukup kuat, gelas pyrex pecah karena sistemnya jelek dan panas yang timbul disitu menabrak dinding-dinding sistem

*Supriyanto*

*Apakah sudah diperhitungkan hambatan-hambatan laju berkas elektron dalam tabung akselerator*

**W. Maksum**

Secara mekanik agar tidak ada hambatan pada tabung akselerator : sistem tabung lurus, dinding tabung akselerator halus dan sambungan baik