

## RANCANGAN DAN KONSTRUKSI BEAM SHUTTER MESIN BERKAS ELEKTRON 350 keV/20 mA

Rany Saptaaji, Sutadi, Suprpto

Puslitbang Teknologi Maju - Badan Tenaga Nuklir Nasional

### ABSTRAK

**RANCANGAN DAN KONSTRUKSI BEAM SHUTTER MESIN BERKAS ELEKTRON 350 keV/20 mA.** Telah dilakukan perancangan dan konstruksi beam shutter mesin berkas elektron (MBE). Beam shutter merupakan salah satu bagian penting dari sistem MBE yang berfungsi sebagai penyetop dan media pengukur berkas elektron sebelum dikenakan pada bahan target. Beam shutter terdiri dari tiga bagian yaitu transmisi penggerak, lengan ayun dan penyetop berkas. Pembuatan beam shutter meliputi penentuan rancangan bentuk, dimensi, bahan, gambar kerja dan konstruksi. Lengan ayun berfungsi untuk membawa penyetop berkas dengan gerakan membuka dan menutup terhadap jendela pemayar berkas. Bergeraknya lengan ayun karena adanya transmisi penggerak yang terdiri dari piringan berengkol, roda gigi reduksi dan motor penggerak 150 watt. Lengan ayun dibuat dari bahan stainless steel, dengan panjang langkah gerakan maksimum 20 cm. Sedangkan penyetop berkas dibuat dari bahan aluminium yang didalamnya diberi aliran air sebagai pendingin dengan debit aliran 15–25 liter/menit. Setelah dikonstruksi, pengujian beam shutter dilakukan dengan cara merangkai beam shutter pada corong pemayar berkas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa beam shutter dapat bergerak membuka dan menutup dengan baik, dapat digunakan sebagai media pengukur arus berkas dan kondisi panasnya tidak berlebihan, pada saat MBE beroperasi dengan tegangan 350 kV, arus berkas 5 mA (kondisi operasi maksimum yang dapat dicapai pada saat pengujian).

**Kata kunci:** rancangan dan konstruksi, beam shutter, mesin berkas elektron.

### ABSTRACT

**DESIGN AND CONSTRUCTION OF BEAM SHUTTER FOR ELECTRON BEAM MACHINE 350 keV/20 mA.** The design and construction of beam shutter for electron beam machine (EBM) 350 keV/20 mA has been done. The beam shutter is one of important parts of EBM system, which functioning as stopper and measurement media of electron beam before the beam arrived at the material target. The beam shutter consists of three parts, these are activator transmission, swing arm and beam stopper. The making of the beam shutter includes of the determination of shape design, the dimension, material, work drawing and construction. Swing arm is functioning to bring the beam stopper with open and close movement to scanning window. Swing arm movement done by activator transmission, which consists of the crank saucer, reduction gear and 150 watt activator motor. Swing arm is made of stainless steel, with the maximum movement of 20 cm length. The beam stopper is made of aluminium, which inside of it is given water cooler with the stream debit of 15-25 litre/minute. While it is constructed, the examination of the beam shutter is done by stringing up beam shutter at scanner cone bind. The result of the examination indicates that the beam shutter can move to open and close easily, and can be used as a media of current measurement and its condition is not too heat, when the EBM is operated in 350 kV of voltage and 5 mA of beam current (it is maximum operation condition which can be reached at the time of examination).

**Key words:** design and construction, beam shutter, electron beam machine.

### PENDAHULUAN

**M**esin berkas elektron (MBE) merupakan suatu perangkat yang menghasilkan berkas elektron dari sumber

elektron dan dipercepat oleh beda potensial listrik di dalam tabung akselerator. Berkas elektron setelah dipercepat dilewatkan melalui corong pemayar dan dikeluarkan melewati window menuju target yang diiradiasi. Jika

dikehendaki berkas elektron untuk sementara tidak mengenai target, maka berkas tersebut dihentikan dengan *beam shutter*. *Beam shutter* ini merupakan salah satu bagian penting dari MBE yang berfungsi sebagai penyetop berkas elektron dan media pengukur arus berkas sebelum dikenakan pada target. Dengan demikian *beam shutter* dapat digunakan untuk mengetahui besar arus berkas elektron yang dihasilkan MBE, dan mengatur waktu irradiasi dengan cara membuka dan menutup lintasan berkas elektron. Dalam pengoperasian MBE, sebelum berkas elektron dikenakan pada target, besar arus berkas elektron diukur lebih dahulu menggunakan *beam shutter*. Setelah bahan target siap diiradiasi, arus berkas elektron dilewatkan dengan jalan membuka *beam shutter*.

*Beam shutter* terdiri dari tiga bagian yaitu transmisi penggerak, lengan ayun dan penyetop berkas. Lengan ayun berfungsi untuk membawa penyetop berkas yang digerakan oleh motor melalui transmisi roda gigi reduksi sehingga terjadi gerakan membuka dan menutup terhadap jendela (*window*) pemayar berkas. Sebagian besar bahan lengan ayun ini dibuat dari *stainless steel*. Penyetop berkas dibuat dari bahan aluminium yang didalamnya diberi aliran air sebagai pendingin, dan transmisi penggerak dibuat dari gabungan motor, roda gigi reduksi dan piringan berengkol. Rancangan sistem *beam shutter* dibuat berdasarkan pada pertimbangan daya maksimum yang dihasilkan MBE. Dalam makalah ini dibahas masalah rancangan dan pembuatan *beam shutter* yang meliputi penentuan bentuk, dimensi, bahan, gambar kerja dan konstruksi.

## TATA KERJA

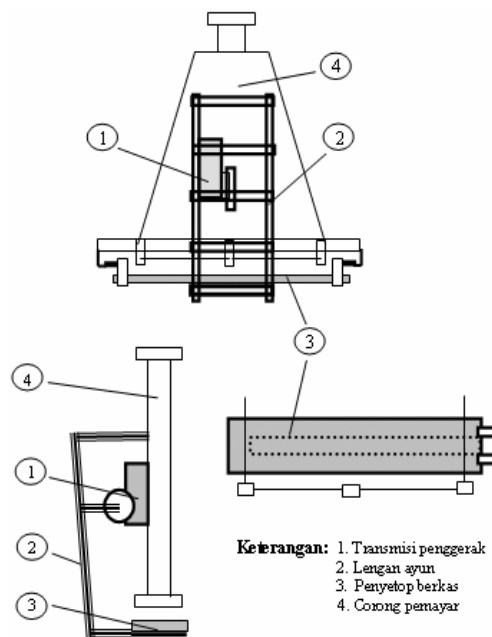
Di dalam perancangan sistem *beam shutter* untuk MBE, ada beberapa hal yang menjadi pertimbangan supaya dapat berfungsi dengan baik, antara lain:

1. Penyetop berkas elektron harus dapat berfungsi sebagai media pengukur arus berkas elektron yang dihasilkan oleh MBE dan mampu menahan berkas elektron.
2. Pada saat penyetop berkas elektron terbuka, berkas elektron dapat menuju ke target tanpa tertahan oleh penyetop berkas, sedangkan

pada saat tertutup, semua berkas elektron tertahan oleh penyetop berkas.

3. Motor penggerak pada sistem transmisi, melalui lengan ayun harus mampu menggerakkan serta mampu menahan beban penyetop berkas.
4. Air pendingin penyetop berkas harus mampu memindahkan panas yang timbul pada penyetop berkas.
5. Secara estetika, *beam shutter* terlihat kompak, mudah dirawat dan diperbaiki apabila terjadi kerusakan.
6. Dalam pembuatannya, sistem *beam shutter* dapat dibuat menggunakan bahan-bahan lokal yang tersedia.

Dalam rancangan *beam shutter* dibagi menjadi tiga bagian pokok yaitu: transmisi penggerak, lengan ayun dan penyetop berkas, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema *beam shutter*.

## Transmisi Penggerak

Transmisi penggerak merupakan peralatan penggerak dengan gerakan lurus, yaitu gerak maju dan mundur. Pada saat posisi maju,

berkas elektron akan tertahan oleh penyetop berkas dan pada saat posisi mundur, berkas elektron akan dilewatkan menuju target. Gerakan lurus pada penyetop berkas diperoleh dari piringan berengkol yang berfungsi mengubah gerak putar dari motor menjadi gerak lurus.

Transmisi penggerak terdiri dari motor listrik, piringan berengkol dan rangkaian roda gigi transmisi yang berfungsi sebagai roda gigi reduksi (*reduction gear*). Motor listrik yang digunakan sebagai penggerak mempunyai putaran 1500 rpm, dan roda gigi reduksi dirancang dengan perbandingan 1:50. Jadi putaran motor listrik tersebut diturunkan dengan roda gigi reduksi sehingga putarannya sesuai dengan gerakan penyetop berkas yaitu 30 rpm. Roda gigi reduksi ini juga berfungsi sebagai alat rem pada saat posisi penyetop berkas membuka maupun pada saat posisi menutup. Untuk merubah gerak putar menjadi gerak lurus (bolak-balik) digunakan piringan berengkol yang dipasang menjadi satu sumbu dengan roda gigi reduksi, sedangkan ujung engkol dihubungkan dengan lengan ayun. Hal yang perlu diperhatikan dalam transmisi penggerak adalah motor penggerak harus mempunyai daya cukup kuat untuk menggerakkan lengan ayun dan penyetop berkas, agar dapat membuka atau

menutup secara penuh. Dengan demikian besar daya yang diperlukan harus diperhitungkan. Konstruksi motor penggerak dan lengan ayun pada *beam shutter* ditunjukkan pada Gambar 2.

Saat piringan berengkol digerakan setengah putaran pertama maka posisi penyetop berkas menutup, dan pada gerakan setengah putaran berikutnya penyetop berkas membuka. Gerakan membuka dan menutup tersebut ditentukan selama 2 detik, sehingga putaran piringan penggerak ( $n$ ) = 30 rpm. Kecepatan gerak penyetop berkas ( $V$ ) dapat dihitung sebagai berikut:

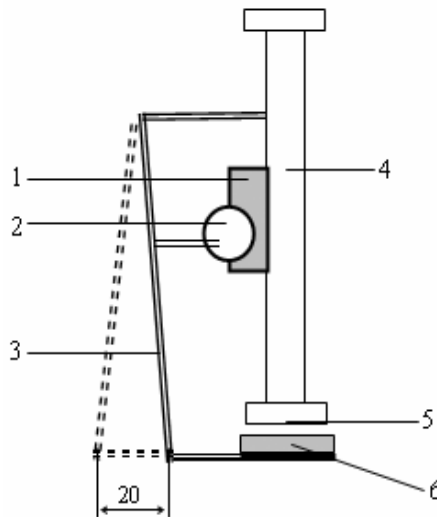
$$V = \frac{S}{t} \quad (1)$$

dengan  $S$  adalah panjang langkah (cm) dan  $t$  waktu buka-tutup (detik).

Daya motor penggerak ( $N$ ) dapat ditentukan dengan persamaan berikut<sup>[1]</sup>:

$$N = \frac{PV}{102 \eta} \quad (2)$$

dengan  $P$  adalah berat penyetop berkas yang digerakkan (kg),  $V$  kecepatan gerak penyetop berkas (m/det),  $\eta$  efisiensi (%).



#### Keterangan:

1. Motor penggerak dan roda gigi reduksi
2. Piringan berengkol
3. Lengan ayun
4. Corong pemayar
5. Window
6. Penyetop berkas

Gambar 2. Konstruksi motor penggerak dan lengan ayun.

### Lengan Ayun

Lengan ayun berfungsi untuk membawa penyetop berkas dengan gerakan membuka dan menutup jendela pemayar berkas. Gerakan ini dilakukan oleh transmisi penggerak yang berupa piringan berengkol yang digerakan oleh motor listrik melalui roda gigi reduksi. Lengan ayun dibuat dari bahan *stainless steel* profil U ukuran 4 cm × 4 cm × 4 cm, dengan tebal 3 mm. Panjang langkah gerakan penyetop berkas ditentukan maksimum 20 cm, berdasarkan lebar jendela pemayar yaitu 6 cm. Panjang langkah ini dapat diatur dengan ulir yang ada pada poros engkol penggerak, dengan jangkauan antara 12,5 cm sampai 20 cm.

### Penyetop Berkas

Penyetop berkas berfungsi untuk menahan berkas elektron dan mengukur arus berkas sebelum dikenakan pada target. Karena berkas elektron ditahan oleh penyetop berkas sebelum dikenakan pada target, maka daya berkas elektron terdisipasi menjadi panas yang menyebabkan penyetop berkas menjadi panas dan perlu pendingin untuk mendinginkan penyetop berkas. Penyetop berkas dibuat dari aluminium berbentuk balok lempeng persegi panjang dengan ukuran panjang 120 cm, lebar 10 cm, tinggi 3 cm, dan tebal bahan 3 mm. Pada bagian tengah berongga dengan penampang lintang 10 cm × 3 cm dialiri air pendingin pada arah memanjang. Penyetop berkas ini berada di bawah jendela *titanium foil* dari sistem pemayar berkas dengan jarak 14 cm dan dihubungkan dengan tanah melewati suatu tahanan sehingga besar arus berkas elektron dapat diukur. Besar arus berkas elektron yang diukur pada penyetop berkas ini dengan menggunakan prinsip *Faraday Cup*<sup>[2]</sup>.

Agar supaya berkas elektron tidak menembus penyetop berkas, maka perlu ditentukan tebal bahan penyetop berkas agar mampu menahan berkas elektron. Dalam perhitungan ini hal yang penting adalah jangkauan elektron ( $R$ ) dengan energi tertentu di dalam bahan aluminium (bahan penyetop berkas). Untuk menghitung jangkauan elektron ( $R$ ) di dalam materi menggunakan persamaan berikut<sup>[3]</sup>:

$$R = \left\{ \frac{\ln [1 + a_2 (\gamma - 1)]}{a_2} - \frac{a_3 (\gamma - 1)}{1 + a_4 (\gamma - 1)^{a_5}} \right\} (\text{kg/m}^2) \quad (3)$$

dengan :

$$a_1 = 2,335 A / Z^{1,209}$$

$$a_2 = 1,78 \times 10^{-4} Z$$

$$a_3 = 0,9891 - (3,01 \times 10^{-4} Z)$$

$$a_4 = 1,468 - (1,180 \times 10^{-2} Z)$$

$$a_5 = 1,232 / Z^{0,109}$$

$A$  = nomor massa materi

$Z$  = nomor atom materi

$$\gamma = (T + mc^2) / mc^2 = 1/(1-\beta^2)^{0,5}$$

$T$  = energi kinetic =  $(\gamma - 1) mc^2$

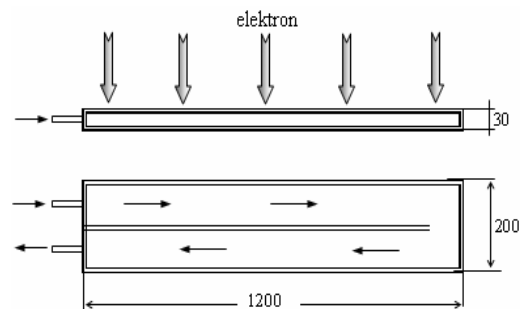
$mc^2$  = energi massa diam elektron = 0,511 keV

$\beta$  =  $v/c$

$c$  =  $3 \cdot 10^8$  m/dtk

Yang perlu diperhatikan untuk mendinginkan penyetop berkas, adalah kemampuan pendinginan agar dapat mengatasi panas yang diakibatkan oleh disipasi daya berkas elektron pada penyetop berkas. Untuk itu perlu dilakukan perhitungan pendinginan untuk mendinginkan penyetop berkas.

Jika berkas elektron dengan tegangan pemercepat 350 kV dan arus berkas 20 mA menumbuk penyetop berkas, maka terjadi disipasi daya berkas elektron menjadi panas. Panas yang dibangkitkan oleh berkas elektron ini diasumsikan bahwa semua daya berkas elektron yang dihasilkan MBE terserap oleh penyetop berkas dan terdisipasi menjadi panas. Besar disipasi panas ini harus mampu didinginkan oleh air pendingin agar tidak terjadi panas lebih (*over heat*) pada dinding penyetop berkas. Adapun skema penyetop berkas ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Penyetop berkas.

Untuk mendinginkan penyetop berkas dengan cara mengalirkan air pendingin ke dalam penyetop berkas. Dengan cara pendinginan ini dan berdasarkan keseimbangan energi maka<sup>[4]</sup>:

$$q = m C_p (T_{out} - T_{in})$$

atau:

$$T_{out} = T_{in} + (q/m C_p) \quad (4)$$

dengan  $q$  adalah beban panas (W),  $m$  massa pendingin air (kg/detik),  $C_p$  kapasitas panas air pendingin (J/kg<sup>o</sup>K),  $T_{out}$  suhu keluar air pendingin (°C),  $T_{in}$  suhu masuk air pendingin (°C).

Jumlah air yang harus dialirkan ditentukan berdasarkan jumlah panas yang terdisipasi dan laju perpindahan panas yang terjadi. Laju perpindahan panas dihitung berdasarkan bilangan *Reynold* ( $Re$ ), bilangan *Nusselt* ( $Nu$ ) dan koefisien perpindahan panas secara konveksi ( $h$ ). Besar bilangan *Reynold* ( $Re$ ) adalah<sup>[4]</sup>:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (5)$$

$D = Dh$  (diameter hidrolis)

$$Dh = \frac{4A}{p} \quad (6)$$

dengan  $\rho$  adalah densitas air pendingin (kg/m<sup>3</sup>),  $V$  kecepatan air pendingin (m/detik),  $\mu$  viskositas air pendingin (N detik/m<sup>2</sup>),  $A$  luas penampang (m<sup>2</sup>),  $p$  keliling bidang terbasahi (m).

Bilangan  $Nu$  (*Nusselt*) untuk aliran turbulen ditentukan sebagai berikut<sup>[4]</sup>:

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,3} \quad (7)$$

dengan  $Pr$  bilangan *Prandl*.

Dengan mengetahui harga bilangan *Nusselt* dapat digunakan untuk menghitung koefisien perpindahan panas konveksi dan panas yang dapat diambil oleh air pendingin atau laju perpindahan panas dari penyetop berkas ke air pendingin. Besar koefisien

perpindahan panas secara konveksi ( $h$ ) ditentukan sebagai berikut<sup>[4]</sup>:

$$h = \frac{Nu k}{Dh} \quad (8)$$

dengan  $k$  adalah koefisien konduksi aluminium (W/m<sup>o</sup>K)

Dari besar koefisien perpindahan panas secara konveksi ( $h$ ) yang diperoleh dan beban panas yang terjadi serta suhu air pendingin masuk dapat ditentukan suhu dinding penyetop berkas yang kontak langsung dengan air dan suhu dinding atas penyetop berkas sebagai berikut<sup>[4]</sup>:

$$T_{w,i} = \frac{q''}{h} + T_i \quad (9)$$

$$T_{w,o} = \frac{q''}{h} + T_o \quad (10)$$

$$q'' = q/A$$

dengan  $T_{w,i}$  adalah suhu dinding pada sisi masuk air pendingin (°C),  $T_{w,o}$  suhu dinding pada sisi keluar air pendingin (°C),  $T_i$  suhu air pendingin masuk (°C),  $T_o$  suhu air pendingin keluar (°C).

Menentukan suhu dinding atas penyetop berkas berdasarkan pada proses perpindahan panas konduksi sebagai berikut<sup>[4]</sup>:

$$T_{w,o2} = \frac{q'' x}{k} + T_{w,o} \quad (11)$$

dengan:  $T_{w,o2}$  adalah suhu dinding atas (°C),  $T_{w,o}$  suhu dinding dalam (°C),  $x$  tebal bahan penyetop berkas (m).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam rancangan *beam shutter* ini ada beberapa hal yang menjadi perhatian, terutama kemampuan motor penggerak, pompa pendingin penyetop berkas dan penetrasi berkas elektron pada bahan penyetop berkas. Penentuan komponen tersebut merupakan bagian yang cukup penting, agar supaya *beam shutter* dapat berfungsi dengan baik. Motor penggerak

berfungsi untuk memutar piringan berengkol sehingga dapat menggerakkan lengan ayun yang mendorong penyetop berkas. Gerak putar dari motor dirubah menjadi gerakan lurus oleh piringan berengkol. Agar supaya motor mampu menggerakkan lengan ayun dan penyetop berkas, maka diperlukan daya motor yang memadai. Dengan menggunakan persamaan 1 dan 2 serta harga panjang langkah ( $S$ ) = 0,2 m, waktu buka- tutup ( $t$ ) = 2 detik, kecepatan buka-tutup ( $V$ ) = 0,1 m/detik, efisiensi ( $\eta$ ) = 50 %, dan berat penyetop berkas ( $P$ ) = 50 kg, dapat diperoleh besar daya motor 108 watt. Berdasarkan hasil tersebut maka ditentukan motor penggerak untuk *beam shutter* menggunakan motor AC dengan daya 150 watt.

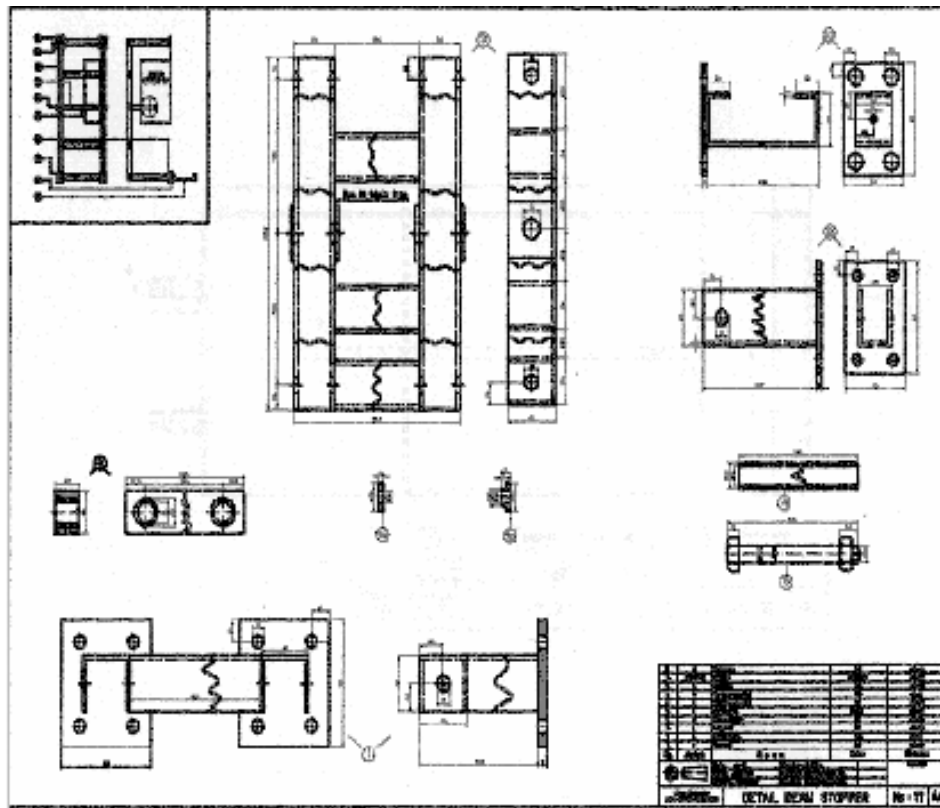
Pada penyetop berkas ditetapkan tebal bahan aluminium 3 mm, hal ini mempertimbangkan daya tembus (penetrasi) elektron dan kebutuhan konstruksi penyetop berkas. Dengan menggunakan persamaan 3 dan data fisik aluminium yaitu nomor massa ( $A$ ) = 27, nomor atom ( $Z$ ) = 13, densitas ( $\rho$ ) = 2,699 gr/cm<sup>3</sup>, serta energi elektron  $T = 350$  keV = 0,35 MeV, dapat diperoleh besar jangkau elektron ( $R$ ) = 0,350635 mm. Dari hasil perhitungan besarnya jangkau elektron di dalam bahan aluminium, diperoleh hasil yang jauh lebih kecil daripada ketebalan bahan penyetop berkas. Ini berarti elektron dengan energi 350 keV tidak dapat menembus bahan penyetop berkas, karena besarnya jangkau elektron jauh lebih kecil daripada tebal bahan penyetop berkas yaitu  $R = 0,350635$  mm  $\ll$  3 mm.

Selain kedua hal diatas, penentuan pompa pendingin penyetop berkas merupakan masalah yang cukup penting. Dalam hal ini perhitungan kebutuhan pompa pendingin berdasarkan pada besar daya berkas elektron yang diberikan kepada penyetop berkas. Untuk lebih amannya dalam perhitungan diambil asumsi bahwa semua daya berkas elektron diserap oleh penyetop berkas dan dirubah menjadi panas yaitu  $350$  kV  $\times$   $20$  mA =  $7000$  VA =  $7000$  watt. Dengan menggunakan persamaan 4 sampai 11 dan suhu air pendingin masuk ( $T_i$ ) =  $20$  °C, perkiraan suhu *bulk* =  $25$  °C, serta sifat-sifat fisik air sesuai tabel yaitu viskositas air ( $\mu$ ) =  $0,00108$  N detik/m<sup>2</sup>, koefisien konduksi air ( $k$ ) =  $0,598$  W/m<sup>2</sup>K, kapasitas panas air ( $C_p$ ) =  $4184$  J/kg<sup>o</sup>K, maka dapat diketahui besar panas maksimum yang

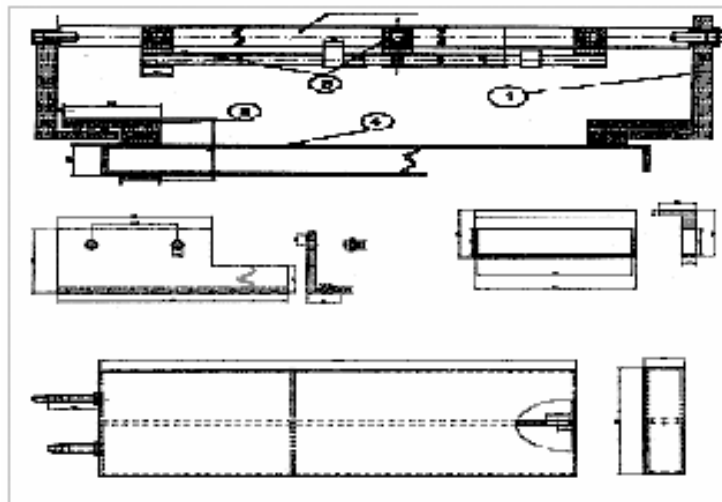
terjadi pada *beam shutter* yaitu  $103$ °C, apabila menggunakan pendingin air dengan debit aliran  $15$  liter/menit. Hal ini menunjukkan bahwa daya berkas elektron yang mengenai *beam shutter* selama operasi MBE tidak akan merusak (melelehkan) *beam shutter*, karena titik lebur aluminium ( $660$ °C) jauh lebih tinggi dari panas yang timbul. Dengan demikian untuk pompa pendingin *beam shutter* ditetapkan menggunakan pompa pendingin dengan debit antara  $15$  sampai  $25$  liter/menit.

Dalam konstruksi *beam shutter* ini hampir semua menggunakan bahan-bahan lokal, seperti aluminium, besi, *stainless steel*, motor dan roda gigi reduksi yang ada di pasaran, dan hasil gambar rancangan *beam shutter* seperti pada Gambar 4, 5, dan 6. Sedangkan masing-masing bagian (komponen) dirancang untuk mudah dirawat dan dapat diganti dengan komponen yang ada di pasaran apabila terjadi kerusakan. Pada penyetop berkas, panjang langkah ditentukan maksimum  $20$  cm. Hal ini dengan pertimbangan lebar jendela keluaran berkas elektron  $6$  cm, jarak antara jendela keluaran berkas dengan penyetop berkas  $14$  cm, sehingga kepastian bahwa berkas elektron dapat tertahan oleh penyetop berkas akan lebih terjamin. Namun demikian panjang langkah penyetop berkas ini juga dapat diatur dengan menggunakan ulir yang ada pada engkol pendorong, dengan panjang langkah antara  $12,5$  cm sampai dengan  $20$  cm.

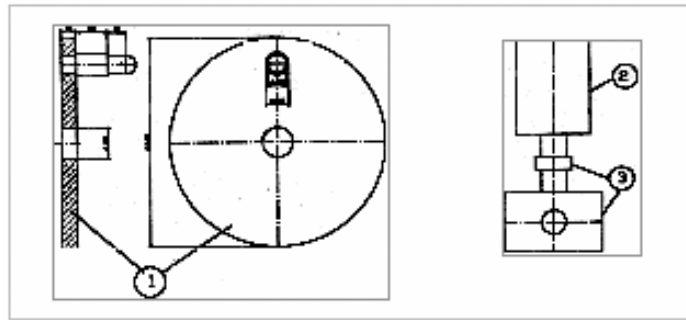
Dari hasil konstruksi, kemudian dilakukan pengujian unjuk kerja *beam shutter* dengan cara merangkai transmisi penggerak, lengan ayun dan penyetop berkas pada corong pemayar berkas. Dengan menggunakan motor penggerak melalui transmisi roda gigi dan piringan berengkol, lengan ayun yang membawa penyetop berkas digerakan maju mundur dengan panjang langkah divariasi antara  $12,5$  cm sampai  $20$  cm secara berulang-ulang. Hasil uji coba menunjukkan bahwa *beam shutter* dapat bergerak maju mundur dengan baik. Dari uji operasi MBE selama  $45$  menit menunjukkan bahwa *beam shutter* dapat digunakan sebagai media pengukur arus berkas dan kondisi panasnya tidak berlebihan, pada saat MBE beroperasi dengan tegangan  $350$  kV, arus berkas  $5$  mA (kondisi operasi maksimum yang dapat dicapai pada saat pengujian).



Gambar 4. Lengan ayun.



Gambar 5. Penyetop berkas.



Gambar 6. Transmisi penggerak.

## KESIMPULAN

Pembuatan *beam shutter* meliputi rancangan bentuk, dimensi, bahan, gambar kerja dan konstruksi. *Beam shutter* terdiri dari tiga bagian yaitu transmisi penggerak, lengan ayun dan penyetop berkas, yang berfungsi sebagai penyetop dan pengukur berkas elektron sebelum dikenakan pada target. *Beam shutter* dibuat dari bahan *stainless steel*, besi dan alumunium dengan panjang langkah gerakan maksimum 20 cm. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa *beam shutter* dapat bergerak maju mundur dengan baik, dapat digunakan sebagai media pengukur arus berkas dan kondisi panasnya tidak berlebihan, pada saat MBE beroperasi selama 45 menit dengan tegangan 350 kV, arus berkas 5 mA (kondisi operasi maksimum yang dapat dicapai pada saat pengujian).

## UCAPAN TERMAKASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Bp. Ir. Sigit Haryanto (almarhum), Bp. Ir. Purnomo E., Bp. Bisno Mulyono, BE dan rekan teknis Kelompok Pengembangan Akselerator yang telah banyak membantu penulis sehingga dapat terselesainya pembuatan makalah ini. Harapan penulis, semoga bantuan tersebut mendapat imbalan dari Allah SWT.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. RIDA ISMU W., *Instalasi Cahaya dan Tenaga*, Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan, 1979.

- [2] SUDJATMOKO, dkk., *Perancangan Mesin Berkas Elektron 350 keV, 20 mA*, Seminar Sehari Perancangan mesin berkas elektron 500keV/10mA, PPNY-BATAN, Yogyakarta, 1996.
- [3] TOULFANIDIS, NICHOLAS, *Measurement and Detection of Radiataion*, Mc.Graw Hill, New York, 1983.
- [4] INCROPERA F.P., DEWITT D.R., *Fundamental of Heat Transfer*, John Wiley and Sons, New York 1995.

## TANYA JAWAB

### Sunardi

- Di P3TM sudah ada MBE 350 keV/10 mA kenapa baru saat ini ada rancangan dan konstruksi *beam shutter*.
- Berarti sampai saat ini (berapa kali operasi MBE) belum pengujian terhadap *beam shutter*.

### Rany Saptaji

- *Beam shutter* dirancang dan dikonstruksi pada tahun 2003.
- *Beam shutter* diuji pada akhir tahun 2003, dalam kondisi operasi MBE, pada tegangan 240 keV, dengan arus berkas 25  $\mu$ A. Pada tahun 2004, pengujian dilanjutkan sampai kondisi operasi MBE pada tegangan 350 keV dengan arus berkas 5 MA. Pada tahun 2005, makalah tentang *beam shutter* baru dapat dipublikasikan.