

## DESAIN DAN KONSTRUKSI CORONG PEMAYAR MESIN BERKAS ELEKTRON

**Suprpto, Sudjatmoko, Setyo Atmodjo, Sukaryono dan Sukidi**

*Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Maju, Batan*

### ABSTRAK

*DESAIN DAN KONSTRUKSI CORONG PEMAYAR MESIN BERKAS ELEKTRON. Telah dilakukan desain dan konstruksi corong pemayar mesin berkas elektron. Dalam mesin berkas elektron, corong pemayar digunakan untuk melewati berkas elektron. Agar dapat berfungsi dengan baik maka harus divakumkan sampai  $10^{-6}$  mbar. Desain ini adalah untuk menentukan jenis dan dimensi material dalam pengkonstruksian corong pemayar sehingga jika divakumkan tidak terjadi defleksi. Dari hasil desain dan konstruksi corong pemayar didapatkan hasil rancangan dalam bentuk gambar susunan dan detail serta konstruksi bagian-bagian corong pemayar untuk mesin berkas elektron. Menurut perhitungan untuk konstruksi corong pemayar digunakan bahan stainless steel 316 L. Agar didapatkan defleksi yang terjadi kurang dari 4 mm digunakan sirip penahan stainless steel 316 L dengan tebal 10 mm sebanyak 12 buah. Dalam konstruksinya untuk sirip penahan ke 7 sampai ke 12 digunakan stainless steel 316 L tebal 20 mm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa defleksi maksimum terjadi pada sirip penahan ke 5 dan ke 10 yaitu sebesar 1 mm sehingga jauh lebih kecil dibanding yang direncanakan. Tingkat kevakuman akhir dengan pompa rotari saat masih terjadi kebocoran adalah  $5 \times 10^{-1}$  mbar dan setelah diperbaiki sehingga kebocoran tidak terjadi adalah  $6,6 \times 10^{-2}$  mbar. Pengujian tingkat kevakuman akhir dengan pompa difusi saat masih ada kebocoran tidak dapat dilakukan, sedangkan setelah diperbaiki sehingga tidak terjadi kebocoran adalah  $5 \times 10^{-4}$  mbar. Tingkat kevakuman akhir yang dapat dicapai baik dengan pompa rotari maupun pompa difusi hampir mendekati kemampuan pompa rotari dan pompa difusi yang digunakan.*

### ABSTRACT

*DESIGN AND CONSTRUCTION OF SCANNING HORN FOR ELECTRON BEAM MACHINE. The design and construction of scanning horn for electron beam machine has been done. In electron beam machine, the electron beam pass through scanning horn. Therefore, the scanning horn must be evacuated up to  $10^{-6}$  mbar. The objective of the design is to determine of the type and the dimension of material for construction of scanning horn so that there is no deflection during evacuation. The result of design and construction is the drawing of the structure of scanning horn and the detail construction of parts of the scanning horn for electron beam machine. The design result the material for scanning horn of stainless steel 316 L in order that deflection is lower than 4 mm. The scanning horn use strip from 12 pieces of stainless steel 316 L of 10 mm thick. In the construction, thick of the 7th up to 12th strip is 20 mm. The test result show that the maximum deflection is 1 mm occured at the 5th and 10th strip. The ultimate pressure using rotary pump is  $5 \times 10^{-1}$  mbar (there is still a leakage) and is  $6.6 \times 10^{-2}$  mbar (no more leakage). When a leakage is occur the ultimate pressure test can not be carried out using diffusion pump. But after reparation so that there is no more leakage, the ultimate pressure test using diffusion pump can be carried out and yield  $5 \times 10^{-4}$  mbar ultimate pressure. The ultimate pressure using rotary and diffusion pumps is approach the capability of the rotary and diffusion pumps used.*

### PENDAHULUAN

Mesin berkas elektron adalah suatu peralatan yang digunakan untuk menghasilkan arus berkas elektron dimana elektron tersebut harus mempunyai energi yang cukup untuk penggunaannya. Adapun penggunaan mesin berkas elektron

antara lain dalam bidang : Industri kabel, industri alat-alat kedokteran/kesehatan, pelapisan kayu, karet, busa dan lain-lain. Untuk mesin berkas elektron yang digunakan di bidang pelapisan kayu mempunyai rentang energi antara 150 keV sampai 350 keV. Sedangkan penggunaan

mesin berkas elektron untuk pelapisan karet (ban mobil), pelapisan busa plastik dan pengolahan gas buang industri mempunyai rentang energi 300 keV sampai 1.000 keV. Salah satu cara untuk memberikan energi elektron yang dihasilkan oleh sumber elektron di dalam mesin berkas elektron digunakan sumber tegangan tinggi yang dirangkai dengan sistem pemercepat. Dengan cara ini, besarnya energi elektron yang telah dipercepat di dalam sistem pemercepat adalah sebanding dengan besarnya tegangan tinggi yang digunakan sebagai tegangan pemercepat.

Pembuatan mesin berkas elektron yang baru pertama kali dilakukan di P3TM - BATAN direncanakan untuk digunakan dibidang pelapisan kayu dan busa plastik. Dengan demikian, mesin berkas elektron yang akan dibuat mempunyai energi sampai 350 keV. Untuk menghasilkan energi elektron sebesar 350 keV diperlukan sumber tegangan tinggi sebagai tegangan pemercepat sebesar 350 kV.

Di dalam mesin berkas elektron, berkas elektron dari sumber elektron kemudian dipercepat di dalam tabung pemercepat dan selanjutnya diarahkan ke target melalui corong pemayar dan window. Agar lintasan berkas elektron dari sumber elektron sampai ke target tidak banyak mengalami gangguan maka sepanjang lintasan berkas elektron di dalam mesin berkas elektron harus divakumkan. Dalam penggunaannya, berkas elektron setelah dipercepat di dalam sistem pemercepat kemudian dimayarkan di dalam corong pemayar dan dikeluarkan melalui window ke udara atmosfer untuk irradiasi bahan (target). Karena lintasan berkas elektron dari sumber elektron sampai window harus divakumkan termasuk corong pemayar, maka corong pemayar harus didesain terlebih dahulu kemudian dilanjutkan dengan pembuatan bagian-bagiannya dan konstruksi serta pengujian. Desain corong pemayar meliputi kekuatan dinding untuk menahan kevakuman sehingga defleksi yang terjadi

tidak melebihi batas, susunan dan bentuk sirip penahan serta lay-out untuk pemasangan komponen-komponen lain yang berkaitan dengan corong pemayar (misalnya beam stopper, sensor berkas dan lain-lain).

## METODOLOGI

Didalam corong pemayar defleksi terjadi akibat gaya tekan/tarik terhadap material yang dibentangkan pada dua tumpuan atau lebih, dalam hal ini adalah dinding corong pemayar. Gaya tekan/tarik yang terjadi pada dinding corong pemayar diakibatkan oleh adanya beda tekanan antara di dalam dan di luar dinding corong pemayar karena pemvakuman. Besarnya defleksi dapat ditentukan dengan persamaan<sup>[1]</sup>

$$EIY = \frac{F \cdot L^3}{384} \quad (1)$$

dengan Y adalah defleksi yang terjadi (mm), F gaya tarik vakum (kg), L jarak tumpuan (mm), E modulus elastis ( $\text{kg/mm}^2$ ) dan I momen Inertia ( $\text{mm}^4$ ).

Pada perencanaan corong pemayar ini defleksi yang terjadi dibatasi maksimum tidak lebih dari 4 mm dengan jarak tumpuan (L) 1567 mm. Sehingga dinding corong pemayar harus mampu menahan beda tekanan antara di dalam dan di luar dinding corong pemayar. Beda tekanan ini akibat kevakuman di dalam corong pemayar minimal mencapai sekitar  $10^{-6}$  mbar, karena beda tekanan ini menyebabkan terjadinya beban pada dinding corong pemayar dan menyebabkan terjadinya defleksi. Dalam perencanaan, bahan yang digunakan adalah plat SS 316 L dengan tebal 8 mm. Agar defleksi tidak melebihi yang ditentukan yaitu 4 mm, maka banyaknya sirip dan jarak sirip dapat ditentukan dengan persamaan<sup>[1]</sup>

$$EIY_x = \frac{F \cdot L^3}{384} \quad (2)$$

dengan x adalah jumlah minimum sirip yang harus dipasang agar defleksi yang terjadi tidak melebihi 4 mm. Jumlah sirip (x) akan terkait dengan jarak tumpuan dan

penampang sirip. Untuk pemasangan sirip dengan jarak antar sirip sama, penampang sirip dapat dihitung dengan persamaan<sup>[2]</sup>

$$I = \frac{1}{12}bh^3 \quad (3)$$

dengan b adalah tebal plat dan h lebar plat.

Bentuk konstruksi corong pemayar pada rancang bangun mesin berkas elektron di P3TM - BATAN Yogyakarta ditunjukkan pada Gambar 1. Bagian 1 dari Gambar 1 adalah merupakan flens penghubung dengan standar DN 160 CF dan tebal 20 mm. Bagian ini di las dengan ujung dinding corong pemayar pada kerucut sisi pendek, dan digunakan untuk menyambung antara ruang corong pemayar dengan cross pices standar flens DN 160 CF.

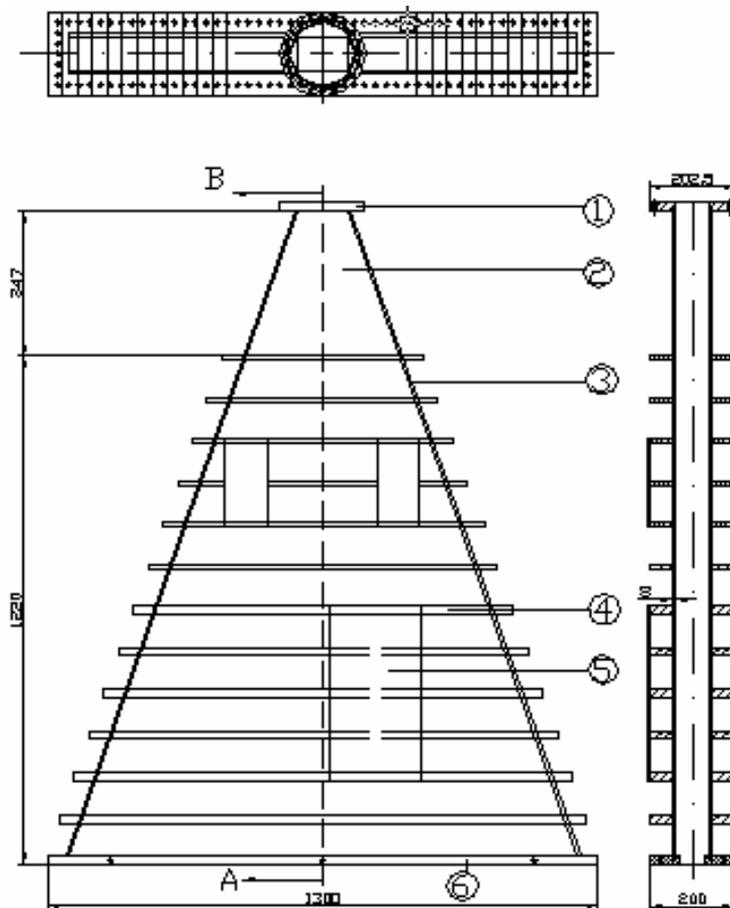
Bagian 2 dari Gambar 1 adalah dinding sisi depan dan sisi belakang yang berbentuk kerucut dengan panjang sisi atas 120 mm dan sisi alas (bawah) 1200 mm serta tinggi 1567 mm. Bagian 3 dari Gambar 1 adalah dinding corong pemayar bagian samping kiri dan kanan, bagian ini berbentuk persegi panjang, dimana sisi panjangnya sama dengan sisi miring dinding bagian sisi depan/belakang yaitu 1640 mm dan sisi lebarnya 96 mm. Bagian 4 dari Gambar 1 adalah sirip-sirip penahan agar jarak tumpuan jadi semakin pendek (l). Bagian 5 dari Gambar 1 adalah plat untuk dudukan beam stopper agar dalam menginstal beam stopper pada corong pemayar dapat dilakukan dengan mudah dan dapat berfungsi dengan baik. Bagian terakhir yaitu bagian 6 dari Gambar 1 adalah flens untuk menginstal window (cendela) dari foil titanium. Flens ini berbentuk persegi panjang dengan panjang dan lebar sisinya masing-masing adalah 1300 mm dan 200 mm serta tebal 20 mm. Bagian ini dilas dengan ujung dinding corong pemayar pada bagian bawah (sisi panjang) yang digunakan untuk menempatkan foil titanium sebagai window (cendela) corong pemayar. Window ini digunakan untuk mengisolasi tingkat kevakuman di dalam corong pemayar dan untuk tempat mengeluarkannya berkas

elektron. Berkas elektron setelah dikeluarkan dari corong pemayar digunakan untuk irradiasi pada material.

Corong pemayar (Gambar 1) mempunyai empat sisi dinding, dimana dinding satu sama lainnya saling menumpu, yaitu bagian 2 (dinding sisi depan/belakang) ditumpu oleh bagian 3 (dinding sisi kanan/kiri) begitu sebaliknya. Bahan corong pemayar direncanakan menggunakan bahan baja tahan karat jenis stainless steel 316 L dengan beberapa pertimbangan antara lain : sifat tahan karat/korosi yang tinggi dan sifat bukan feromagnetik sehingga tidak mengganggu medan magnet pemayar serta sifat porosivitas yang rendah dan ulet sehingga memungkinkan untuk digunakan dalam vakum tinggi.

### Pengujian

Pengujian corong pemayar dilakukan setelah perancangan dan konstruksi untuk mengetahui tingkat kevakuman yang dicapai dan besarnya defleksi yang terjadi. Untuk mengetahui tingkat kevakuman akhir yang dapat dicapai dilakukan dengan memvakumkan corong pemayar menggunakan pompa rotari dan difusi jenis UU Brand RD 150 serta diukur dengan pirani meter PRL 10 dan pening meter CP 25 K semuanya buatan Edward, Inggris. Untuk mengetahui besarnya defleksi yang terjadi dengan mengukur perubahan kelengkungan sirip-sirip penahan sebelum divakumkan dan pada saat divakumkan.



Keterangan

- |  |                                    |
|--|------------------------------------|
| 1. Flens DN 160 CF                     | 2. Dinding sisi depan dan belakang |
| 3. Dinding sisi samping kanan dan kiri | 4. Sirip penahan                   |
| 5. Dudukan beam stopper                | 6. Flens untuk window              |

Gambar 1. Rancangan sistem corong pemayar MBE

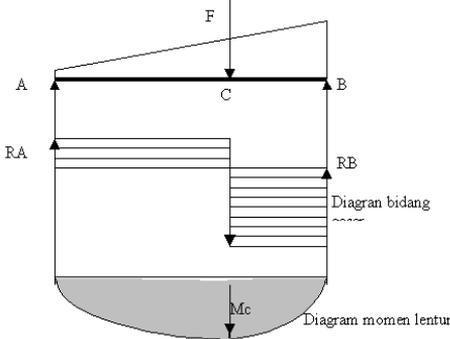
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Gambar 1 pandangan depan corong pemayar dimana gaya tarik yang terjadi akibat proses pemvakuman adalah disebabkan oleh adanya beda tekanan dikalikan dengan luas permukaan dinding tersebut. Dalam hal ini beda tekanan adalah beda tekanan antara dinding luar (tekanan atmosfer) dan dinding dalam yang tingkat kevakumannya adalah  $10^{-6}$  mbar. Untuk

memudahkan perhitungan, tekanan dinding dalam diasumsikan nol absolut karena tekanan  $10^{-6}$  mbar sangat rendah sehingga beda tekanan dapat dianggap 1 atmosfer. Dinding depan dan belakang ditumpu oleh dinding samping kanan dan kiri, flens DN 160 CF serta flens dudukan window.

Dalam perancangan diambil hubungan antara momen lentur dan tegangan lentur yang terjadi sehingga harus diasumsikan :

bidang penampang dinding tetap, bahan dinding dianggap homogen dan mengikuti hukum Hooke, modulus elastis tarik dan tekan sama, balok lurus dan penampang tetap serta bidang beban harus mengandung sumbu proporsional dengan penampang dinding dan beban harus tegak lurus terhadap sumbu longitudinal dinding.



Gambar 2. Diagram bidang geser dan momen lentur

Penekanan dan pembatasan ini untuk membatasi permasalahan.

$$F = \Delta P \cdot A \quad \text{kg}$$

$$\Delta P = 1 \text{ atm} = 1,033 \text{ kg/cm}^2$$

$$A = \left( \frac{a+b}{2} \right) l \quad \text{cm}^2$$

dengan a adalah panjang sisi atas = 12 cm, b panjang sisi bawah = 120 cm dan l tinggi corong pemayar = 156,7cm, maka didapatkan

$$F = 10560 \text{ kg}$$

sehingga

$$R_a = \frac{1}{3} F \quad \text{dan} \quad R_b = \frac{2}{3} F$$

$$= 3520 \text{ kg}$$

$$= 7040 \text{ kg}$$

Karena bentuk kerucut, maka momen terbesar akibat adanya gaya tarik akan terjadi pada daerah 1/3 L dari titik tumpu B atau 2/3L dari titik tumpu A yaitu :

$$M_c = R_b \cdot \frac{1}{3} L = R_a \cdot \frac{2}{3} L$$

$$= 363.200 \text{ kg cm.}$$

Besarnya defleksi yang terjadi akibat adanya gaya tarik sehingga menimbulkan momen lentur adalah

$$EIY = \frac{F \cdot L^3}{384}$$

atau

$$Y = \frac{F \cdot L^3}{384 \cdot EI} = 1,7 \text{ cm}$$

Besarnya defleksi (Y) yang terjadi tidak boleh lebih besar 0,4 cm agar tidak mengganggu lintasan berkas elektron, sehingga untuk memenuhi persyaratan dapat dilakukan dengan mempertebal bahan dinding atau memasang sirip penahan.

Dalam perancangan ini diambil alternatif yang kedua yaitu dengan memasang sirip penahan, jarak sirip penahan maksimal (l) agar defleksi yang terjadi maksimum 0,4 cm adalah :

$$l^3 = \frac{384 \cdot E \cdot I \cdot Y}{F}$$

$$l = \sqrt[3]{\frac{384 \cdot EIY}{F}}$$

$$= \sqrt[3]{\frac{384 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 3,584 \cdot 0,4}{10560}}$$

$$l = 13 \text{ cm}$$

Dengan jarak sirip maksimum 13 cm, jumlah sirip (n) yang dipasang adalah  $n = L/l = 156.7/13 = 12,05$  buah dibulatkan 12 buah

Pemasangan sirip penahan bisa dilakukan dengan jarak antar sirip sama panjang atau dengan jarak sirip makin pendek pada daerah jarak tumpu yang semakin panjang terutama pada daerah 1/3 dari tumpuan B.

Penampang sirip dihitung dengan menggunakan persamaan (3)

$$I = \frac{1}{12} bh^3$$

dengan h adalah tinggi sirip = 50 mm, sehingga I diperoleh dari  $EIY = Fl^3 = MI2$ . Sedangkan F adalah gaya tarik parsial pada dua sirip penahan dan gaya tarik tarik

maksimum terjadi pada 1/3 dari titik tumpuan B, panjang sirip disekitar sepertiga dari titik B adalah 84 dan 91 cmm. Luas parsial antara dua sirip penahan (A) adalah

$$A = \frac{(84 + 91)}{2} \cdot 13 = 1.137,5 \text{ cm}^2$$

dengan  $\Delta p = 1 \text{ atm} = 1,033 \text{ kg/cm}^2$ , maka didapatkan gaya tarik ( $F$ ) sebesar

$$F = \Delta p \cdot A$$

$$F = 1.137,5 \cdot 1,033 = 1.175 \text{ kg}$$

dengan faktor keamanan ( $k$ ) diambil 3 untuk beban statis, sehingga gaya tarik untuk menentukan lebar sirip ( $Fd$ ) adalah

$$Fd = F \cdot k = 3 \cdot 1.175 = 3.525 \text{ kg}$$

dan

$$M = Fd \cdot l = 3.525 \cdot 13 = 45.825 \text{ kg cm}$$

sehingga

$$I = \frac{Ml^2}{EY}$$

dengan  $E$  adalah modulus elastisitas stainless steel 316 L yang besarnya  $2,04 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$ .<sup>[3]</sup> Jadi besarnya momen inerti ( $I$ ) adalah

$$I = \frac{Ml^2}{EY} = \frac{45.825 \cdot 13^2}{2,04 \cdot 10^6 \cdot 0,4} = 9,49 \text{ cm}^4$$

dan

$$I = \frac{1}{12} bh^3$$

untuk lebar sirip penahan ( $h$ ) ditentukan 5 cm, maka

$$b = \frac{12 I}{h^3} = \frac{12 \cdot 9,49}{5^3}$$

$$= 0,911 \text{ cm} \approx 1 \text{ cm} = 10 \text{ mm}$$

### Evaluasi

Tegangan yang timbul akibat gaya tarik vakum harus lebih kecil dari pada tegangan yang diijinkan bahan sirip penahan. Tegangan yang diijinkan bahan sirip penahan adalah  $50 \text{ kg/mm}^2$  untuk bahan stainless steel 316 L<sup>[3]</sup>, jadi

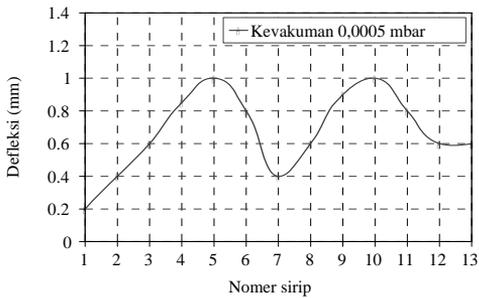
$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{MY}{I} \leq \bar{\sigma} \\ &= \frac{45.825 \cdot 0,4}{9,49} \leq 50 \text{ kg/mm}^2 \\ &= 19,31 \text{ kg/mm}^2 \leq 50 \text{ kg/mm}^2 \end{aligned}$$

Faktor keamanan ( $k$ ) berdasarkan hasil evaluasi adalah

$$k = \frac{50}{19,31} = 2,59$$

Dengan demikian ukuran tinggi dan lebar sirip penahan cukup baik.karena tegangan lentur yang timbul masih lebih kecil dibandingkan dengan tegangan ijin bahan, walaupun dari hasil evaluasi menunjukkan bahwa faktor keamanan ( $k$ ) = 2,59. Faktor keamanan ini masih dalam rentang yang diperbolehkan untuk beban statis. Jadi ukuran sirip adalah lebar ( $h$ ) = 50 mm dan tebal ( $b$ ) = 10 mm.

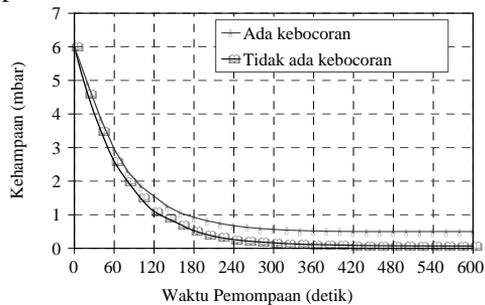
Dari hasil perhitungan, dilanjutkan membuat gambar susunan dan detil dari corong pemayar. Gambar detil dari corong pemayar tidak dibahas dalam laporan ini, namun dibuat untuk dokumen konstruksi corong pemayar dalam rancang bangun mesin berkas elektron. Dari gambar susunan dan detil, dibuat bagian-bagiannya dan dilanjutkan pengkonstruksian serta pengujian corong pemayar. Pengujian corong pemayar dilakukan dengan memvakumkan corong pemayar dan mengukur tingkat kevakuman yang dapat dicapai serta mengamati besarnya defleksi yang terjadi. Hasil pengamatan defleksi terjadi pada tingkat kevakuman  $10^{-4}$  mbar ditunjukkan pada Gambar 3. Penomoran sirip penahan didasarkan Gambar 1 dengan urutan dari atas ke bawah. Besarnya defleksi pada sirip pertama adalah 0,2 mm. Besarnya defleksi pada sirip pertama adalah paling kecil dibandingkan dengan sirip-sirip yang lain.



Gambar 3. Hubungan defleksi vs. nomer sirip

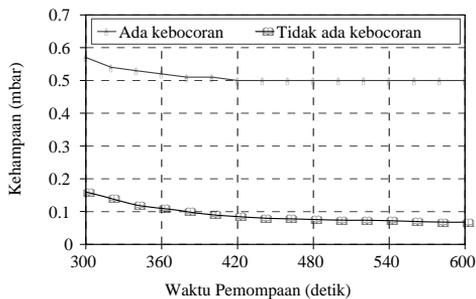
Hal ini disebabkan karena luasan yang menerima tekanan paling kecil sehingga beban yang terjadi paling kecil. Semakin kebawah yaitu pada urutan sirip ke 2 sampai ke 12, luasan yang menerima tekanan semakin besar sehingga beban yang terjadi semakin besar. Akibatnya defleksi yang terjadi semakin besar. Defleksi terbesar terjadi pada sirip ke 5 dan ke 10. Defleksi naik hampir mendekati linier dari sirip pertama sampai ke lima, sedangkan pada sirip ke 6 dan ke 7 turun. Hal ini disebabkan untuk sirip pertamaa sampai ke 6 dibuat dengan tebal 10 mm, sedangkan mulai sirip ke 7 sampai ke 12 serta flens corong pemayar (13) dibuat dengan tebal 20 mm. Karena ketebalan sirip ke 7 adalah 20 mm (2 kali tebal sirip ke 6), maka dapat menahan beban lebih besar dan terjadi penurunan defleksi yang signifikan serta berdampak pada sirip ke 6. Tetapi karena semakin ke bawah beban yang terjadi semakin besar sampai pada sepertiga dari bawah. Akibatnya defleksi yang terjadi pada sirip ke 8, 9 dan 10 naik dan pada sirip ke 11 mulai turun sampai pada flens ke 12 serta flens corong pemayar (13). Diantara sirip ke 9 dan 10 mendapat beban yang terbesar karena terletak pada sepertiga dari bawah. Pada sirip ke 10 defleksi yang terjadi paling besar yaitu sama dengan sirip ke 5, walaupun sirip ke 10 dibuat dengan tebal 20 mm (2 kali sirip ke 5). Untuk sepertiga dari bawah tepatnya terletak pada sirip yang ke 9,33, sehingga beban yang terbesar pada sirip ke 9. Namun defleksi

terbesar pada sirip ke 5 dan ke 10 yaitu sebesar 1 mm. Untuk defleksi terbesar pada sirip ke 10 terjadi pergeseran yang seharusnya pada sirip ke 9. Hal ini disebabkan karena flens corong pemayar (13) yang diasumsikan sebagai tumpuan pada kenyataannya mengalami defleksi sebesar 0,6 mm. Defleksi pada flens corong pemayar (13) disebabkan karena pada perhitungan diasumsikan berbentuk plat tebal 20 mm tanpa lubang, tetapi kenyataannya dengan lubang untuk window dari foil titanium. Dalam perencanaan ditentukan defleksi maksimum 4 mm, tetapi defleksi yang terjadi maksimum adalah 1 mm yaitu 25 % dari perencanaan. Hal ini disebabkan karena faktor keamanan (k) hasil evaluasi adalah 2,59 dan dalam konstruksinya sirip ke 7 sampai flens corong pemayar (13) dibuat dengan tebal 2 kali dari perencanaan.



Gambar 4.a. Hubungan kevakuman vs. waktu pemompaan

Untuk mengetahui tingkat kevakuman yang dapat dicapai, dilakukan dengan memvakumkan corong pemayar dengan pompa rotari dan dilanjutkan dengan pompa difusi. Hasil pengujian laju kevakuman menggunakan pompa rotari ditunjukkan pada Gambar 4.a. dan 4.b. Gambar 4.b. menunjukkan pembesaran Gambar 4.a. pada daerah waktu pemompaan setelah 300 detik dari tingkat kevakuman 6 mbar.



Gambar 4.b. Hubungan kevakuman vs. waktu pemompaan

Pada Gambar 4 ditunjukkan 2 data yaitu data dimana terjadi kebocoran pada lasan dari dinding corong pemayar dan data dimana kebocoran lasan tersebut telah diperbaiki sehingga tidak terjadi kebocoran. Untuk pengamatan tingkat kevakuman dimulai dari 6 mbar dan tidak mulai dari tekanan atmosfer. Hal ini disebabkan jika dimulai dari tekanan atmosfer, minyak pelumas pompa rotari akan ikut keluar dengan gas yang dipompa dan dapat mengurangi jumlah minyak pelumas sehingga merusakkan pompa. Terikutnya minyak pelumas keluar dengan gas yang dipompa ini disebabkan karena volume ruangan yang divakumkan terlalu besar yaitu  $75,2 \text{ dm}^3$ . Dengan volume ruangan yang besar maka untuk menurunkan tekanan dari tekanan atmosfer menjadi tekanan dalam orde mbar harus mengeluarkan gas dalam ruangan tersebut dengan laju pemindahan massa gas yang besar. Jika pemompaan dengan laju pemindahan massa besar maka sebagian minyak pelumaskeluar bersama-sama dengan gas yang dipompa. Untuk mengatasi hal ini perlu dilakukan penercepatan pada sisi masuk pompa rotari dengan tidak membuka penuh kran (valve) pada sisi masuk pompa. Penercepatan ini dilakukan untuk mengatur laju pemindahan massa gas yang dipompa agar tidak terlalu besar sehingga minyak pelumas tidak keluar bersama-sama dengan massa gas tersebut. Penercepatan hanya dilakukan saat mulai pemompaan dari tekanan atmosfer hingga

kevakuman mencapai orde mbar (6 mbar). Jika penercepatan dilakukan selama pemompaan menyebabkan hambatan dalam sistem saluran sehingga daya hantar saluran rendah dan laju pemompaan efektif rendah serta tingkat kevakuman akhir yang dapat dicapai rendah. Setelah kevakuman mencapai orde mbar (6 mbar), kran pada sisi masuk pompa rotari dibuka penuh dan baru dilakukan pengamatan tingkat kevakuman. Untuk hasil pengujian sebelum lasan diperbaiki yaitu saat masih ada kebocoran, kevakuman akhir yang dapat dicapai hanya  $5 \cdot 10^{-1}$  mbar. Walaupun corong pemayar terus divakumkan dengan pompa rotari, kevakuman akhir yang dapat dicapai tidak bisa naik. Hal ini disebabkan karena sudah mencapai kondisi keseimbangan (*steady state*) antara kapasitas pemompaan dari pompa rotari dengan beban gas yang dipompa. Jika sudah mencapai kondisi keseimbangan, walaupun divakumkan secara terus menerus tidak akan menaikkan tingkat kevakuman akhir (Gambar 4, kurva ada kebocoran). Pada Gambar 4.b. untuk kurva ada kebocoran lebih jelas bahwa setelah 420 detik dari kevakuman 6 mbar sudah mencapai kondisi keseimbangan yaitu pada kevakuman  $5 \cdot 10^{-1}$  mbar sehingga sudah tidak dapat menaikkan tingkat kevakuman. Pada tingkat kevakuman ini tidak dapat dilanjutkan dengan pompa difusi, karena rentang operasi pompa difusi berkisar antara  $10^{-2}$  mbar sampai  $10^{-8}$  mbar. Untuk pengujian setelah lasan dari dinding corong pemayar diperbaiki sehingga tidak ada kebocoran pada lasan, tingkat kevakuman akhir yang dapat dicapai dengan pompa rotari adalah  $6,6 \cdot 10^{-2}$  mbar (Gambar 4, kurva tidak ada kebocoran). Pada Gambar 4.b. untuk kurva tidak ada kebocoran lebih jelas bahwa setelah 420 detik dari kevakuman 6 mbar sudah mencapai tingkat kevakuman  $8,5 \cdot 10^{-2}$  mbar. Kemudian setelah 600 detik dari tingkat kevakuman 6 mbar dapat dicapai tingkat kevakuman  $6,6 \cdot 10^{-2}$  mbar. Pada tingkat kevakuman ini

dilanjutkan pemvakuman dengan pompa difusi hingga dicapai tingkat kevakuman  $5 \times 10^{-4}$  mbar. Tingkat kevakuman akhir yang dapat dicapai baik dengan pompa rotari maupun pompa difusi hampir mendekati kemampuan pompa ratari dan pompa difusi yang digunakan, sehingga corong pemayar tidak terjadi kebocoran pada lasan. Untuk mencapai tingkat kevakuman akhir sekitar  $10^{-6}$  mbar, dalam pengujian atau dalam pengoperasiannya harus menggunakan pompa difusi atau pompa turbomolekular yang berukuran lebih besar yaitu dengan laju pemompaan sekitar  $500 \text{ m}^3/\text{detik}$  dan tingkat kevakuman akhir dari pompa sekitar  $10^{-7}$  mbar.

### KESIMPULAN

Dari hasil desain dan konstruksi corong pemayar didapatkan hasil rancangan dalam bentuk gambar susunan dan detil serta konstruksi bagian-bagian corong pemayar untuk mesin berkas elektron. Menurut perancangan untuk konstruksi corong pemayar digunakan bahan stainless steel 316 L. Agar didapatkan defleksi yang terjadi kurang dari 4 mm digunakan sirip penahan stainless steel 316 L dengan tebal 10 mm sebanyak 12 buah dan jarak antar sirip 130 mm. Dalam konstruksinya untuk sirip penahan ke 7 sampai ke 12 digunakan stainless steel 316 L tebal 20 mm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa defleksi maksimum terjadi pada sirip penahan ke 5 dan ke 10 yaitu sebesar 1 mm sehingga jauh lebih kecil dibanding defleksi yang dipersyaratkan. Tingkat kevakuman akhir dengan pompa rotari saat masih terjadi kebocoran adalah  $5 \cdot 10^{-1}$  mbar dan setelah diperbaiki sehingga kebocoran tidak terjadi adalah  $6,6 \times 10^{-2}$  mbar. Pengujian tingkat kevakuman akhir dengan pompa difusi saat masih ada kebocoran tidak dapat dilakukan, sedangkan setelah diperbaiki sehingga tidak terjadi kebocoran adalah  $5 \times 10^{-4}$  mbar. Tingkat kevakuman akhir yang dapat dicapai baik dengan pompa rotari maupun pompa

difusi hampir mendekati kemampuan pompa ratari dan pompa difusi yang digunakan.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada saudara Sumilan, Suraji, Sumaryadi, Untung Margono dan Supriyanto, staf Bidang Akselerator, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Maju yang telah membantu dalam pengkonstruksian dan pengujian corong pemayar untuk mesin berkas elektron.

### DAFTAR PUSTAKA

1. FERDINAND, L., ANDREW, P., Strength of Material, diterjemahkan oleh Ir. Darwin Sembayang, Erlangga, Jakarta, (1985).
2. SORMITRI, H.W., Mekanika Teknik, Erlangga, Jakarta, (1986).
3. O'HANLON, J.F., A'User,s Guide to Vacuum Technology, John Wiley & Sons, New York, (1989).
4. WILSON, E.H., Mechanical Engineering, Guildford, (1976).
5. SUDJATMOKO, Perancangan Mesin Berkas Elektron 500 kV/20mA, Seminar Sehari Perencanaan Mesin Berkas Elektron, PPNY-BATAN, Yogyakarta, (1996).