

DISAIN CORONG PEMAYAR MESIN BERKAS ELEKTRON 300 keV/20 mA UNTUK INDUSTRI LATEKS

Sukidi, Suprpto, Djasiman

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Maju

ABSTRAK

DISAIN CORONG PEMAYAR MESIN BERKAS ELEKTRON 300 keV/20 mA UNTUK INDUSTRI LATEKS. Telah dilakukan disain corong pemayar mesin berkas elektron 300 keV/ 20 mA untuk industri lateks. Corong pemayar (*scanning horn*) merupakan salah satu bagian dari mesin berkas elektron yang digunakan untuk media pemayar berkas elektron. Berkas elektron yang dihasilkan oleh sumber elektron ditarik keluar dari ruang sumber elektron menuju ke window dan dimayarkan dicorong pemayar serta dikeluarkan ke atmosfir. Agar berkas elektron tidak banyak mengalami hambatan, maka ruang yang akan dilalui berkas elektron termasuk corong pemayar, divakumkan minimal sampai orde 10^{-6} Torr. Akibat divakum dinding corong pemayar terjadi defleksi dan defleksi maksimum yang disyaratkan 2 mm. Hasil perhitungan dengan tebal dinding 8 mm, besar defleksi yang terjadi sebesar 3,5 mm, masih lebih besar dari yang direncanakan, hasil perhitungan dengan tebal dinding 10 mm diperoleh besar defleksi 1,8 mm hasil ini lebih kecil dari defleksi yang direncanakan. Dengan demikian maka tebal minimum dinding corong pemayar harus ≥ 10 mm. Alternatif lain adalah dengan memasang kisi-kisi pada dinding yang tebalnya < 10 mm, hal ini dimaksudkan untuk memperpendek jarak tumpu, dengan memperpendek jarak tumpu akan diperoleh defleksi yang lebih kecil dari yang direncanakan.

ABSTRACT

DESIGN THE SCANNING HORN OF ELECTRON BEAM MACHINE 300 keV/ 200 mA FOR INDUSTRY OF LATEXS. It has been done the design of scanning horn of electron beam machine 300 keV/20 mA for industry of latex. Scanning horn is a part of electron beam machine components which is used for medium scanning of electron beam. Electron beam which is produced by electron source is extracted out toward the window and scanned in the scanning horn and then out to atmosphere. To minimize the resistance of electron beam hence the space trajectory include of scanning horn must be evacuated to the order of 10^{-6} Torr. The maximum deflection of scanning horn wall which is affected by vacuum action must be less than 2 mm. Result calculation wall thickness of 8 mm gives deflection 3,5 mm, is still bigger than the requirement, the result calculation on wall thickness of 10 mm gain deflection is 1,8 mm, this is smaller than planned deflection. Hence the minimum of wall thickness of scanning horn is ≥ 10 mm. The other alternative is installing same grilles on the out side scanning horn wall for thickness < 10 mm, this means is to reduce supporting distance there force it will obtain smaller deflection than planned.

PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan pemanfaatan mesin berkas elektron yang sangat pesat diberbagai bidang, misalnya industri dan kesehatan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Maju dalam melakukan salah satu kegiatannya adalah rancang bangun mesin berkas elektron 300 keV/20 mA. Mesin berkas elektron ini akan dimanfaatkan untuk proses

pravolkanisasi lateks karet alam. Kegiatan ini dimulai dengan membuat rancangan dasar dilanjutkan dengan rancangan detil serta gambar susunan dan detil dari bagian bagian mesin berkas elektron. Bagian-bagian utama mesin berkas elektron adalah sumber elektron, tabung akselerator, tabung optik, sumber tegangan tinggi, pemayar, corong pemayar (*scanning horn*), dan *window*.. Khusus corong pemayar digunakan untuk media pemayar berkas elektron

sampai ke *window*. Agar lintasan yang dilalui oleh berkas elektron sampai ke *window* tidak banyak mengalami hambatan maka corong pemayar harus divakumkan.

Untuk disain corong pemayar agar mampu divakumkan sampai orde 10^{-6} Torr dibutuhkan perhitungan yang teliti. Dengan kevakuman tersebut dinding corong pemayar harus mampu menahan defleksi yang terjadi akibat beda tekanan diluar dan di dalam ruang yang divakumkan. Apabila dinding tidak mampu menahan defleksi yang terjadi, maka celah corong pemayar makin kecil dan berkas elektron menumbuk dinding. Jika hal ini terjadi dinding corong pemayar akan panas dan berlangsung dalam waktu yang lama yaitu selama proses iradiasi. Akibatnya dapat menimbulkan kerusakan pada bagian dinding yang di las maupun yang tidak di las dan dapat mengakibatkan kebocoran sehingga, kevakuman akhir tidak bisa dicapai dengan baik. Tingkat kevakuman akhir yang diharapkan ini adalah lebih tinggi dari 10^{-6} Torr. Sebagai pertimbangan bahan yang akan digunakan dalam disain corong pemayar adalah bahan yang mempunyai sifat kuat, liat, tahan terhadap korosi, mudah pengerjaan, serta mudah didapatkan dipasar lokal, sehingga bahan tersebut memenuhi kriteria dalam rancangan dasar dan berdasar standar ASTM, ISO, ASME^[1,2].

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam menentukan jenis bahan yang akan digunakan untuk corong pemayar perlu diperhatikan dari segi kekuatan, kebersihan, kemampuan vakum dan mudah pengerjaan serta pengadaannya. Selain itu bahan mekanik yang digunakan harus memenuhi standar ASME, ISO, ASTM^[1,2]. Untuk menentukan tebal dinding corong pemayar agar mampu menahan defleksi maksimum yang dipersyaratkan akibat kevakuman orde 10^{-6} Torr digunakan persamaan^[2]:

$$384EI\delta = FL^3 \text{ atau } \delta = \frac{FL^3}{384EI} \quad (1)$$

dengan F adalah gaya tekan/tarik (kg), L panjang tumpuan (cm), E modulus elastisitas (kg/cm^2), dan I momen inerti (cm^4). Dari

persamaan (1) akan diperoleh besar defleksi (δ) dengan mengasumsikan tebal dinding rata (*homogen*) dan menghitung dengan coba-coba untuk beberapa ketebalan plat dari bahan tertentu Besar momen inerti dapat dihitung dengan persamaan^[2]

$$I = \frac{bh^3}{12} \text{ cm}^4 \quad (2)$$

dengan b lebar bahan (cm), h tebal bahan (cm).

Jika hasil dari perhitungan besar defleksi melebihi dari yang disyaratkan maka pada dinding corong pemayar dipasang kisi-kisi penahan. Kisi-kisi ini dimaksudkan untuk memperpendek jarak tumpuan (L) jumlah kisi-kisi yang diperlukan adalah

$$x = \frac{FL^3}{384EI\delta} \quad (3)$$

Besar momen inerti dan jumlah kisi-kisi penahan dari hasil perhitungan dengan persamaan (1),(2),dan (3) digunakan untuk menentukan spesifikasi ketebalan dinding corong pemayar. Untuk menghitung lebar dan tebal dari kisi-kisi penahan digunakan persamaan^[2]

$$\delta = \frac{7WL^3}{1920EI} \longrightarrow I = \frac{7WL^3}{1920E\delta} \quad (4)$$

dari persamaan (4) akan diperoleh besar momen inerti (I). Dengan besar momen inerti sisi kisi-kisi penahan (h dan b) dapat dihitung dengan persamaan (2) dimana tinggi kisi-kisi (h) ditentukan terlebih dahulu dan tebal (b) dihitung. Untuk mengevaluasi hasil perhitungan penampang kisi-kisi yang menyatakan pada kondisi aman digunakan persamaan^[2,3].

$$\sigma = \frac{M\delta}{I} \leq \bar{\sigma} \text{ kg/cm}^2 \quad (5)$$

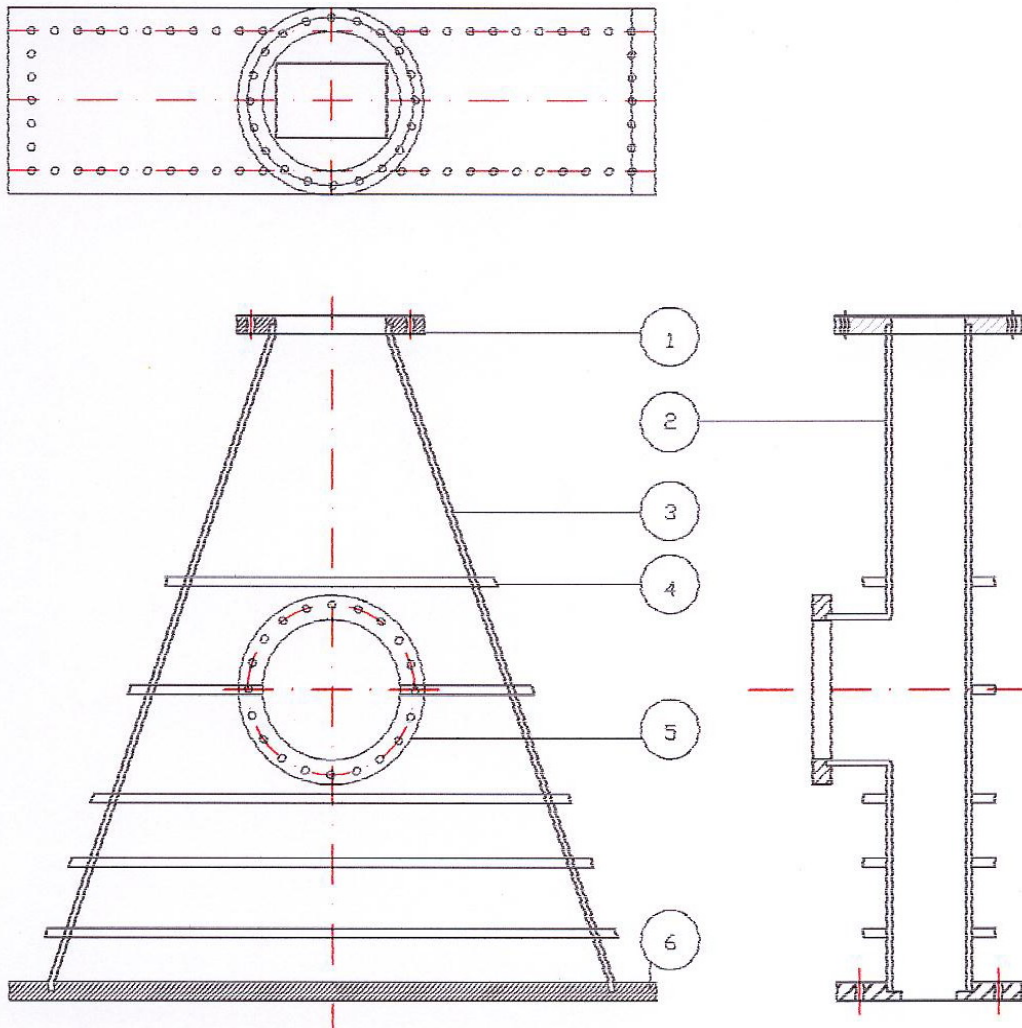
TATA KERJA

Corong pemayar didisain mempunyai empat sisi dinding satu sama lainnya saling menumpu yaitu bagian sisi depan dan belakang ditumpu oleh bagian sisi kanan dan kiri begitu sebaliknya. Disain corong pemayar ini di-

tunjukkan pada Gambar 1. Bagian 1 merupakan *flange* perantara dengan standar DN 160 CF tebal 20 mm, bagian ini di las dengan ujung dinding corong pemayar pada kerucut sisi pendek dan untuk menghubungkan antara corong pemayar dengan *flange* pada *base plate* bejana tekan.

Bagian 2. adalah dinding sisi depan dan sisi belakang yang berbentuk trapesium sama kaki dengan panjang sisi atas 120 mm dan sisi

bawah 600 mm serta tinggi 700 mm, pada dinding depan terdapat lubang yang dilas dengan *flange* standar DN 160 CF (bagian 5) untuk penghubung corong pemayar dengan pompa turbomolekul. Bagian 3. adalah dinding corong pemayar bagian samping kiri dan kanan, bagian ini berbentuk persegi panjang dimana sisi panjangnya sama dengan sisi miring dinding sisi depan atau belakang yaitu 720 mm dan lebarnya 80 mm.



Keterangan

- | | | |
|-----------------------|---|-----------------------------------|
| 1. <i>Flange</i> atas | 2. Dinding depan dan belakang | 3. Dinding samping kiri dan kanan |
| 4. Kisi-kisi | 5. <i>Flange</i> ke pompa turbomolekul. | 6. <i>Flange</i> bawah |

Gambar 1. Skema corong pemayar.

Bagian 4. adalah kisi-kisi penahan, kisi-kisi penahan ini dimaksudkan untuk memperpendek jarak tumpu (l) dan jumlahnya tergantung dari tebal dinding yang akan digunakan. Bagian 6. adalah *flange* bawah yang digunakan untuk menempatkan *window* dari bahan foil titanium, *flange* ini berbentuk segi empat dengan panjang dan lebar masing-masing 700 mm dan 200 mm serta tebal 20 mm. *Flange* ini di las dengan ujung dinding corong pemayar pada bagian bawah.

PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

Perhitungan corong pemayar di dasarkan pada beban yang terjadi akibat proses pemvakuman, sehingga besar beban yang terjadi merupakan beda tekanan dikalikan dengan luas permukaan dinding pemayar. Dalam hal ini beda tekanan adalah beda tekanan antara permukaan dinding luar (tekanan atmosfer) dan permukaan dinding dalam yang divakum dengan tingkat kevakuman dalam orde 10^{-6} Torr. Untuk memudahkan perhitungan, tekanan dinding dalam diasumsikan nol absolut karena tekanan 10^{-6} Torr sangat rendah dibandingkan dengan atmosfer, sehingga beda tekanan dapat dianggap 1 atmosfer. Dalam perhitungan

corong pemayar ini diambil hubungan antara momen lentur dan tegangan tarik yang terjadi, sehingga diasumsikan bidang penampang dinding tetap, bahan dinding dianggap homogen. Modulus elastis tarik dan tekan sama serta mengikuti hukum Hooke yaitu balok lurus dan panjang tetap. Disamping itu bidang beban mempunyai sumbu proporsional dengan penampang dinding dan beban tegak lurus terhadap sumbu longitudinal. Untuk perhitungan ini perlu digambarkan tegangan geser dan momen lentur yang terjadi pada corong pemayar untuk analisa kebutuhan beban. Penggambaran gaya-gaya dan momen lentur ini ditunjukkan pada Gambar 2.

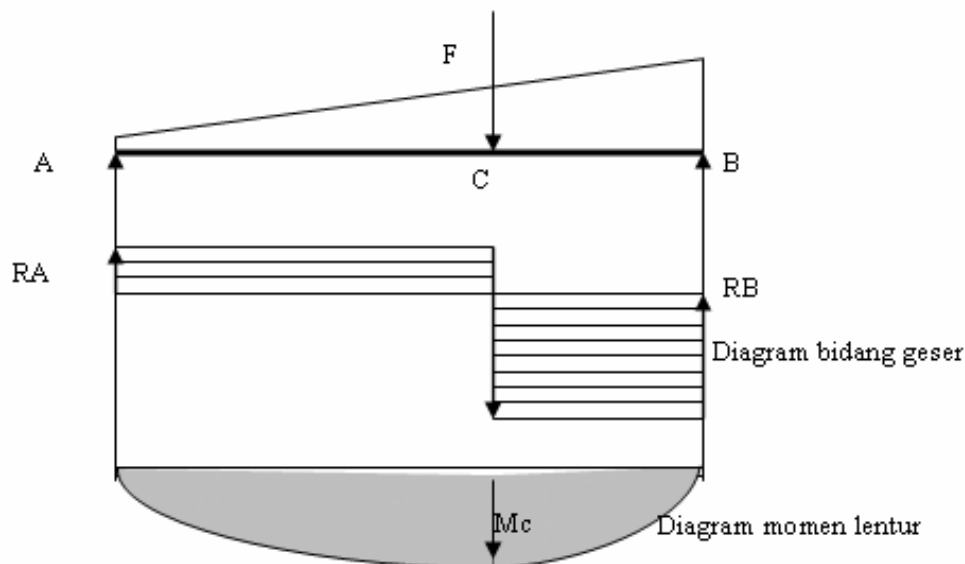
Penekanan dan pembatasan ini untuk membatasi permasalahan.

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

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

$$A = \left(\frac{a+b}{2} \right) l - \frac{\pi}{4} d^2 = 2319 \text{ cm}^2$$

dengan a adalah panjang sisi atas = 12 cm, b panjang sisi bawah = 60 cm dan l tinggi corong pemayar = 70 cm, serta d adalah diameter lubang *flange* = 15 cm maka didapatkan



Gambar 2. Diagram tegangan geser dan momen lentur.

$$F = \Delta P A = 1,033 \times 2319 = 2395,5 \text{ kg}$$

Besar gaya-gaya reaksi pada titik tumpu A dan titik tumpu B adalah

$$R_a = \frac{1}{3} F = 798,5 \text{ kg} \text{ dan } R_b = \frac{2}{3} F = 1597 \text{ kg}$$

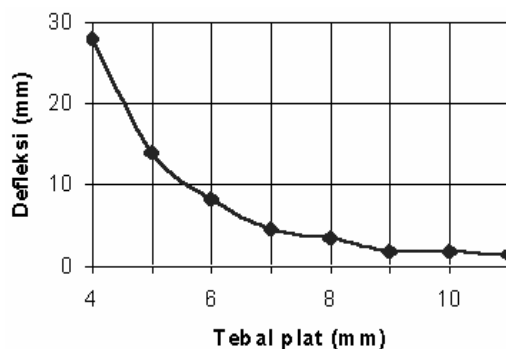
Karena bentuk kerucut, maka momen lentur terbesar akibat adanya gaya tarik akan terjadi pada daerah $1/3 L$ dari titik tumpu B atau $2/3 L$ dari titik tumpu A yaitu :

$$M_c = R_b \frac{1}{3} L = R_a \frac{2}{3} L = 35135 \text{ kg}$$

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

$$EI \delta = \frac{F L^3}{384} \text{ atau } \delta = \frac{F L^3}{384 EI} \text{ (mm)}$$

Besarnya defleksi (δ) yang terjadi tidak boleh lebih besar dari 2 mm agar tidak mengganggu lintasan berkas elektron, sehingga untuk memenuhi persyaratan dapat dilakukan dengan mempertebal bahan dinding dengan mencoba menghitung untuk beberapa ketebalan plat diperoleh besar defleksi. Hasil perhitungan yang ditunjukkan pada Gambar 3 adalah perhitungan dari bahan jenis stainless steel.



Gambar 3. Tebal dinding vs defleksi.

Pada Gambar 3 ditunjukkan hasil perhitungan besar defleksi, dimana dengan tebal dinding 4 mm diperoleh besar defleksi 28 mm

hasil ini jauh dari yang dipersyaratkan. Hasil perhitungan dengan ketebalan dinding 5 mm, 6 mm, dan 8 mm diperoleh besar defleksi masing-masing adalah 14 mm, 8,2 mm dan 3,5 mm hasil ini masih lebih besar dari batas maksimum yang dipersyaratkan yaitu 2 mm. Sedang hasil perhitungan dengan ketebalan dinding 10 mm dan 11 mm masing-masing diperoleh besar defleksi 1,8 mm dan 1,35 mm, hasil ini lebih kecil dari persyaratan. Untuk itu konstruksi corong pemayar dapat menggunakan ketebalan dinding ≥ 10 mm. Namun jika ingin menggunakan tebal dinding ≤ 10 mm agar konstruksi corong pemayar dapat menahan defleksi yang terjadi, dapat digunakan alternatif lain yaitu dengan memberikan kisi-kisi penahan. Perhitungan dengan kisi-kisi penahan ini dilakukan dengan berbagai tebal plat baik untuk dinding corong pemayar maupun kisi-kisi penahan. Dengan jarak antar kisi-kisi maksimum (l) (cm), sehingga jumlah kisi-kisi yang harus dipasang adalah (n). Hasil perhitungan ini ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 4a.

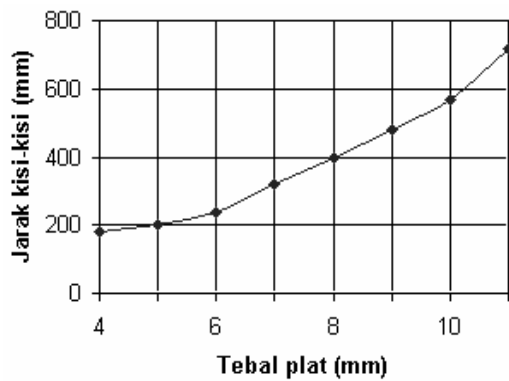
Perancangan dengan alternatif memasang kisi-kisi penahan, jarak kisi-kisi penahan maksimum (l) dan angka keamanan $k = 1,5$, agar defleksi yang terjadi maksimum 2 mm adalah :

$$l^3 = \frac{384 EI \delta}{1,5 F}$$

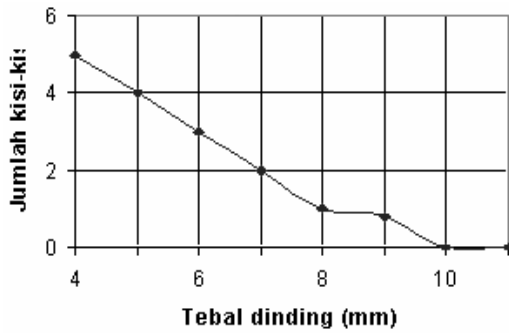
$$l^3 = \sqrt[3]{\frac{384 EI \delta}{1,5 F}}$$

$$= \sqrt[3]{\frac{384 \cdot 2,04 \times 10^6 \cdot 1 \cdot 0,2}{3593,25}} = 30,14 \sqrt[3]{I} \text{ cm}$$

Pada Gambar 4. ditunjukkan hubungan tebal dinding dengan jumlah kisi-kisi penahan yang harus dipasang agar jarak tumpu jadi lebih pendek, dengan memasang kisi-kisi penahan diharapkan defleksi yang terjadi lebih kecil. Hasil perhitungan dengan kisi-kisi penahan didapatkan bahwa makin besar tebal plat dinding corong pemayar makin sedikit jumlah kisi-kisi penahan. Untuk tebal plat corong pemayar 4 mm, 5 mm, 6 mm, 8 mm, jumlah kisi-kisi penahan yang harus dipasang masing-masing adalah 5 buah, 4 buah, 3 buah dan 1 buah, atau dengan jarak kisi-kisi penahan masing-masing 180 mm, 200 mm, 240 mm, 400 mm.



Gambar 4. Hubungan antara tebal dinding vs jarak kisi-kisi.



Gambar 4a. Hubungan antara tebal dinding vs jumlah kisi-kisi.

Pada dasarnya kisi-kisi penahan yang digunakan dapat berbentuk segi empat pejal maupun segi empat bentuk profil U. Berdasarkan pada hasil perhitungan dengan persamaan (4) diperoleh besar momen inerti minimum yang harus

dipenuhi untuk ketebalan plat kisi-kisi penahan. Hasil perhitungan ini ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Pada Tabel 1 ditunjukkan hasil perhitungan tebal dan tinggi kisi-kisi penahan dengan menggunakan bahan segi empat pejal.

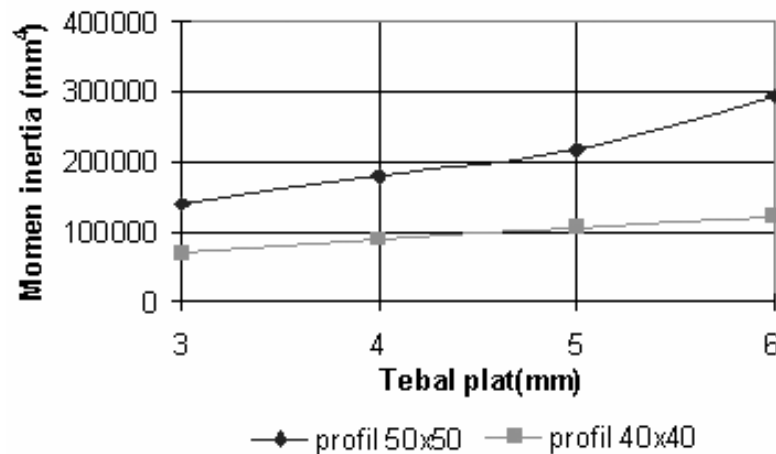
Pada Tabel 2 ditunjukkan hasil perhitungan dengan menggunakan kisi-kisi penahan profil U. perhitungan dengan memvariasi dua macam ukuran profil dan empat macam ketebalan. Variasi ukuran dan ketebalan tersebut adalah untuk ukuran profil (40 mm x 40 mm) dan (50 mm x 50 mm) dengan ketebalan plat 3 mm, 4 mm, 5 mm dan 6 mm. Berdasarkan pada besar momen inerti minimum yang dibolehkan sesuai dengan persamaan (4), maka dengan menggunakan profil U didapatkan hasil perhitungan yang lebih menguntungkan. Momen inerti minimum agar defleksi lebih kecil dari 2 mm adalah 73422 mm⁴. hasil perhitungan ukuran profil (40 mm x 40 mm) dengan tebal profil 3 mm didapatkan momen inerti 69800 mm⁴. jadi untuk ukuran profil (40 mm x 40 mm) dengan ketebalan 3 mm belum memenuhi persyaratan. Untuk perhitungan ukuran profil (40 mm x 40 mm) dengan ketebalan ≥ 4 mm didapatkan hasil momen inerti ≥ 73422 mm⁴, yaitu untuk tebal 4 mm didapatkan 88900 mm⁴ dan makin tebal plat yang digunakan makin besar momen inerti yang dihasilkan. Jika menggunakan ukuran profil (50 mm x 50 mm) dengan tebal 3 mm didapatkan momen inerti 140000 mm⁴ jadi lebih besar dari momen inerti minimum yang dibolehkan. Dengan demikian untuk profil U ukuran (50 mm x 50 mm) dengan tebal 3 mm telah memenuhi persyaratan kekuatan bahan yang diperlukan.

Tabel 1. Tebal kisi-kisi penahan dengan bahan segi empat pejal.

Tinggi (h) x tebal (b) (mm x mm)	Momen inerti (mm ⁴)	Defleksi (mm)
30 x 32,6	73422	2
40 x 13,0	73422	2
50 x 7,05	73422	2

Tabel 2. Tebal kisi-kisi penahan dengan profil U.

Tebal profil (t) (mm)	Tinggi × lebar h × b (mm × mm)	Momen inerti (mm ⁴)	Defleksi (mm)
3	40 × 40	69800	2
4	40 × 40	88900	2
5	40 × 40	106000	2
6	40 × 40	121000	2
3	50 × 50	140000	2
4	50 × 50	180000	2
5	50 × 50	217000	2
6	50 × 50	293675	2



Gambar 5. Hubungan tebal plat profil U vs momen inerti.

Untuk mengevaluasi besaran-besaran penampang kisi-kisi penahan dari hasil perhitungan digunakan persamaan (5). Tegangan yang timbul akibat gaya tarik vakum harus lebih kecil dari pada tegangan yang diijinkan dari bahan kisi-kisi penahan.

$$\sigma = \frac{MY}{I} \leq \bar{\sigma} = 50 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan tarik yang diijinkan bahan kisi-kisi penahan adalah 50 kg/cm². Hasil perhitungan tegangan tarik akibat gaya tarik vakum ditunjukkan pada Tabel 3.

Hasil perhitungan tersebut (Tabel 3) menunjukkan bahwa untuk kisi-kisi penahan profil U dengan ukuran 40 mm x 40 mm dan tebal plat 3 mm didapatkan tegangan tarik 21,2 kg/cm², sedangkan jika menggunakan tebal plat 4 mm didapatkan 15,4 kg/cm², untuk ukuran profil 50mm x 50mm dengan tebal plat 3 mm didapatkan tegangan 9,35 kg/cm², sedangkan untuk tebal plat 4 mm didapatkan tegangan tarik 7,6 kg/cm². Jadi dari hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa tegangan tarik yang terjadi akibat gaya tarik vakum jauh dibawah tegangan tarik yang diijinkan sehingga pada kondisi aman.

Tabel 3. Perhitungan tegangan tarik terhadap ketebalan profil U.

Tebal plat (mm)	Lebar x tinggi (mm × mm)	Tegangan tarik (σ) (kg/cm ²)
3	40 × 40	21,2
4	40 × 40	15,4
5	40 × 40	12,9
6	40 × 40	11,26
3	50 × 50	9,35
4	50 × 50	7,6
5	50 × 50	6,3
6	50 × 50	4,66

KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan disain corong pemayar mesin berkas elektron 300 keV/20mA untuk industri latek agar didapatkan defleksi < 2 mm dapat disimpulkan bahwa :

1. Untuk konstruksi corong pemayar tanpa kisi-kisi penahan diperlukan tebal plat minimum ≥ 10 mm
2. Untuk konstruksi corong pemayar dengan kisi-kisi penahan profil U dengan ukuran 40 mm × 40 mm diperlukan tebal plat minimum 4 mm dengan jarak antar kisi-kisi penahan 180 mm.
3. Untuk konstruksi corong pemayar dengan kisi-kisi penahan profil U dengan ukuran 50 mm × 50 mm diperlukan tebal plat minimum 3 mm dengan jarak antar kisi-kisi penahan 200 mm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Bp Setyo Atmojo, ST, Bp Sumilan, BE dan teman-teman di Bidang akselerator yang telah banyak membantu sehingga dapat diselesaikan disain corong pemayar tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] SULARSO, *Elemen Mesin*, Pradnya Paramita, Jakarta, 1978.
- [2] SHIGLY E Diterjemahkan Oleh GANDI H, *Perencanaan Teknik Mesin*, Erlangga, Jakarta, 1986.
- [3] FERDINAND L SINGER, *Strength of Material*, Diterjemahkan Oleh DARWIN SEBAYANG Erlangga, Jakarta, 1985.

TANYA JAWAB

Triyono

- *Pertimbangan apa saja yang diperlukan dalam disain corong pemayar tersebut dan berapa kapasitas maksimalnya.*

Sukidi

- Yang perlu dipertimbangkan dalam mendisain corong pemayar adalah

- Kekuatan bahan, kebersihan, mampu vakum.
- Mudah pengerjaannya dan pengadaannya.

Semua itu untuk mengantisipasi terjadinya defleksi akibat karena tekanan antara di

dalam dan di luar dinding corong pemayar. Sehingga ruang corong pemayar tidak terganggu lintasan elektron beamnya. Batas maksimum defleksi 0,2 cm (2 mm).

Sunardi

- *Mohon penjelasan perbedaan corong pemayar untuk lateks, untuk flue gas treatment, corong yang sudah ada di P3TM.*

Sukidi

- Perbedaan corong pemayar (scanning horn) untuk lateks dan flue gas treatment serta yang telah ada di P3TM pada prinsipnya sama, namun karena ukuran dari masing-masing berbeda sehingga kasus (problem) yang terjadi juga berbeda, sehingga penyelesaian masalahnya juga berbeda.