

PERANCANGAN SISTEM MEKANIK EKSTRAKTOR BERKAS UNTUK SIKLOTRON PROTON 13 MEV

Ihwanul Aziz dan Widdi Usada

Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan - BATAN
Jl. Babarsari Kotak Pos 6101 Ykbb, Yogyakarta 55281
E-mail: Iwan.aziz77@yahoo.com

ABSTRAK

PERANCANGAN SISTEM MEKANIK EKSTRAKTOR BERKAS UNTUK SIKLOTRON PROTON 13 MeV. Telah dilakukan perancangan sistem mekanik ekstraktor berkas untuk siklotron proton 13 MeV. Dalam siklotron ada dua sistem ekstraktor yaitu sistem deflektor elektrostatik dan sistem stripper. Untuk siklotron proton maka digunakan foil karbon sebagai strippernya. Sistem mekanik ekstraktor terdiri dari pemegang foil dan sistem penggerak. Sistem penggerak ekstraktor terdiri dari motor stepper, feedthrough, roda gigi, poros dan penyangga. Setelah dilakukan perhitungan diperoleh data komponen yaitu pemegang foil ekstraktor terbuat dari bahan aluminium berdimensi panjang total 122,5 mm, lebar total 10 mm dan tebal total 2,5 mm, sedangkan lengan ekstraktor terbuat dari bahan aluminium berdimensi panjang tiap lengan 90 mm, lebar tiap lengan 30 mm, tinggi 10 mm, volume total $7,392 \times 10^{-5}$ dan massa 0,1995 kg. Sistem penggerak ekstraktor meliputi motor stepper yang mempunyai torsi maksimal 4 lb f, feedthrough, roda gigi, poros, dan penyangga. Torsi yang dibutuhkan 0,16 Nm atau 0,12 lb ft dan diameter poros yang dibutuhkan untuk menyangga lengan ekstraktor 29 mm. Baut pengikat untuk penyangga adalah jenis baut metris M6, sehingga seal yang digunakan viton O-Ring berdiameter 6 mm dan seal flange DN 40 CF.

Kata kunci: siklotron proton 13 MeV, sistem ekstraktor berkas, mekanik

ABSTRACT

MECHANICAL DESIGN OF BEAM EXTRACTOR SYSTEM FOR CYCLOTRON PROTON 13 MeV. Mechanical design of beam extractor system for 13 MeV proton cyclotron has been carried out. In cyclotron there are two extractor systems, the first is electrostatic deflector system, and the second is stripper system. This stripper serves to change negative charged of hydrogen ions to become positive charged hydrogen ions (protons). In proton cyclotron, the carbon foil is used as a stripper. Mechanical extractor system consists of a carbon foil holder and a driver system to control the position of foil holder and to change the foil. The driver system consists of a stepper motor extractor, a feed-through, a gear, a shaft, and a buffer. After some calculation the obtained component data as the foil follow holder is made of aluminum has total length of 12.25 mm, total width of 10 mm and the total thickness of 2.5 mm, while the length of each extractor arm is made of aluminum 90 mm, width is 30 mm, its height is 10 mm, the total volume is $7,392 \times 10^{-5}$ and a mass of 0.1995 kg. Extractor drive system includes a stepper motor having a maximum of 4 lb-ft of torque, feed-through, gear, shaft, and a buffer. Required torque is 0.16 Nm or 0.12 lb-ft diameter shaft to support the extractor arm is 29 mm. Bolt fastener for the buffer is a type of metric M6 bolt, so that the used seals viton O-ring with seal diameter of 6 mm and DN 40 CF flange.

Keyword: 13 MeV proton cyclotron, beam extractor system, mechanical

PENDAHULUAN

Siklotron adalah pemercepat partikel bermuatan dengan arah gerak berkas partikel melingkar, dari gerak melingkar berjari-jari kecil sampai pada jari-jari lintasan yang semakin besar membentuk spiral. Semakin besar jari-jari lintasannya semakin besar pula energi berkas partikel tersebut. Gerak berkas partikel dengan lintasan melingkar karena adanya percepatan oleh tegangan RF yang kemudian dibelokkan oleh medan magnet yang tegak lurus terhadap gerak lintasan berkas partikel tersebut. Sistem ekstraktor adalah salah satu sistem pada

siklotron yang berfungsi mengendalikan berkas berenergi tertentu untuk diarahkan menuju ke target. Ada dua sistem ekstraktor siklotron yaitu sistem deflektor elektrostatik, dan sistem *stripper*. Untuk siklotron proton yang memercepat ion hidrogen negatif, maka sistem ekstraktornya menggunakan sistem stripper yang *foil* karbon. *Foil* karbon ini mampu mengubah ion hidrogen bermuatan negatif menjadi ion hidrogen bermuatan positif (proton). Untuk mengarahkan proton tidak diperlukan sistem elektrostatik lagi, tetapi memanfaatkan medan

magnet yang ada, namun arah lintasan berlawanan arah dengan ion hidrogen negatif.

Saat ini siklotron berenergi dari 9 sampai dengan 13 MeV digunakan dalam produksi radiofarmaka PET untuk diagnosis penyakit seperti kanker dan pengembangan selanjutnya dengan peningkatan energi sampai orde ratusan MeV digunakan untuk terapi[1]. Untuk siklotron energi tinggi, dengan teknologi konvensional membutuhkan ukuran yang besar maka dengan meningkatkan medan magnet dengan bahan superkonduktor, ukuran siklotron dapat diperkecil. PTAPB sebagai pusat yang menekuni dalam rancangbangun akselerator di BATAN, menyusun program 2010 sampai dengan 2014 diarahkan pada rancangbangun siklotron 13 MeV untuk PET dan tahun kedua ini difokuskan pada rancangan detil siklotron 13 MeV untuk PET termasuk di dalamnya rancangan detil sistem mekanik ekstraktor yang pada makalah ini dilakukan perhitungan dan rancangannya

KRITERIA RANCANGAN

Kriteria rancangan sistem mekanik ekstraktor pada siklotron proton 13 MeV antara lain:[2]

1. Penentuan dimensi sistem ekstraktor berkas dengan mengacu pada penelitian sebelumnya.
2. Bahan yang digunakan harus material yang tidak mengandung magnet maupun menyimpan magnet secara residual karena letaknya yang berada di dekat pole magnet siklotron.
3. Rancangan sistem mekanik ekstraktor berkas yang meliputi :
 - a. Lengan ekstraktor dan pemegang foil
 - b. Sistem penggerak ekstraktor (motor *stepper*, *feedthrough*, roda gigi, poros dan penyangga)
 - c. Torsi motor penggerak
 - d. Seal
4. Mengacu pada rancangan sistem ekstraktor berkas KIRAMS

DASAR TEORI

Sistem penggerak ekstraktor terdiri dari *motor stepper* yang berada di luar tangki vakum, *feedthrough*, roda gigi, poros dan penyangga. Komponen ini merupakan sebuah sistem yang akan menjadi bagian tetap (jarang dilepas meskipun dalam proses perawatan) dari sistem ekstraktor berkas tersebut.

Poros

Poros merupakan salah satu bagian yang penting dari setiap mesin. Hampir semua mesin meneruskan tenaga bersama-sama dengan putaran. Untuk menentukan diameter poros, mula-mula daya yang akan ditransmisikan harus diketahui terlebih dahulu. Berdasarkan n_1 (jumlah putaran per menit)

yang diketahui, maka daya dapat diperoleh dengan persamaan

$$\omega = \frac{2\pi n_1}{60} \quad (1)$$

dan

$$P = \omega \times \tau_i \quad (2)$$

dengan P adalah daya nominal *output* dari motor penggerak dalam satuan kW, ω adalah kecepatan sudut dalam satuan (rad/s) dan τ_i adalah torsi dalam satuan Nm atau lb.ft. Apabila daya nominal motor penggerak diketahui, maka berbagai macam faktor keamanan biasanya dapat diambil dalam perencanaan sehingga koreksi pertama dapat diambil kecil. Jika faktor koreksi adalah f_c (Tabel 1), maka daya rencana P_d dalam satuan kW sebagai patokan diberikan pada persamaan

$$P_d = f_c P. \quad (3)$$

Tabel 1. Daya koreksi yang ditransmisikan (f_c).

Daya yang akan ditransmisikan	f_c
Daya rata-rata yang diperlukan	1,2 – 2,0
Daya maksimum yang diperlukan	0,8 – 1,2
Daya normal	1,0 – 1,5

Momen puntir atau momen rencana T dalam satuan kg.mm diberikan oleh

$$T = 9,74 \times 10^5 \frac{P_d}{n_1} \quad (4)$$

Tegangan geser yang diijinkan τ_a dalam satuan kg/mm² untuk pemakaian umum pada poros dapat diperoleh atas dasar batas kelelahan puntir yang besarnya 18% dari kekuatan tarik σ_B , sesuai dengan standar ASME. Faktor ini dinyatakan dengan Sf_1 .

Perlu ditinjau poros tersebut akan diberi alur pasak atau dibuat bertangga, karena pengaruh konsentrasi tegangan cukup besar. Untuk memasukkan pengaruh-pengaruh ini dalam perhitungan perlu diambil faktor yang dinyatakan sebagai Sf_2 dengan nilai sebesar 1,3 sampai 3,0.

Dari hal-hal di atas, maka τ_a dapat dihitung dengan persamaan

$$\tau_a = \sigma_B / (Sf_1 - Sf_2). \quad (5)$$

Momen puntir juga harus ditinjau. Faktor ini dinyatakan dengan K_t , dipilih sebesar 1,0 jika beban dikenakan secara halus, (1,0-1,5) jika terjadi sedikit kejutan atau tumbukan, dan (1,5-3) jika beban dikenakan dengan kejutan atau tumbukan besar.

Meskipun dalam perkiraan sementara ditetapkan bahwa beban hanya terdiri atas momen puntir saja, perlu ditinjau pula apakah ada kemungkinan pemakaian dengan beban lentur di masa mendatang. Jika memang diperkirakan akan

terjadi pemakaian dengan beban lentur maka dapat dipertimbangkan pemakaian faktor C_b yang nilainya antara 1,2 sampai 2,3 (jika diperkirakan tidak akan terjadi pembebanan lentur maka C_b diambil = 1).

Persamaan untuk menghitung diameter poros d_s dalam satuan mm diberikan oleh persamaan

$$d_s = \left[\frac{5,1}{\tau_a} K_t C_b T \right]^{1/3} \quad (6)$$

dengan momen puntir atau momen rencana T dalam satuan kg.mm[3].

Torsi

Torsi adalah kekuatan berputar (*rotational force/angular force*). Satuan torsi adalah Nm atau lb.ft (pound feet). Dari definisi tersebut, maka rumus torsi diberikan oleh persamaan

$$\tau_i = F r \quad (7)$$

dengan F adalah gaya dengan satuan Newton dan r adalah jarak dengan satuan meter. Gaya itu sendiri diperoleh dengan persamaan

$$F = m g \quad (8)$$

dan persamaan

$$m = \rho v \quad (9)$$

dengan m adalah massa dalam satuan kg, g adalah percepatan gravitasi dengan satuan m/s^2 , ρ adalah massa jenis dengan satuan kg/m^3 , dan v adalah volume dalam satuan m^3 .

Perhitungan diameter baut (d) menggunakan persamaan

$$d \geq \sqrt{2W / \tau_a} \quad (10)$$

dengan W adalah berat beban satuan kg, τ_a adalah tegangan tarik satuan kg/mm^2 [4]

TATA KERJA

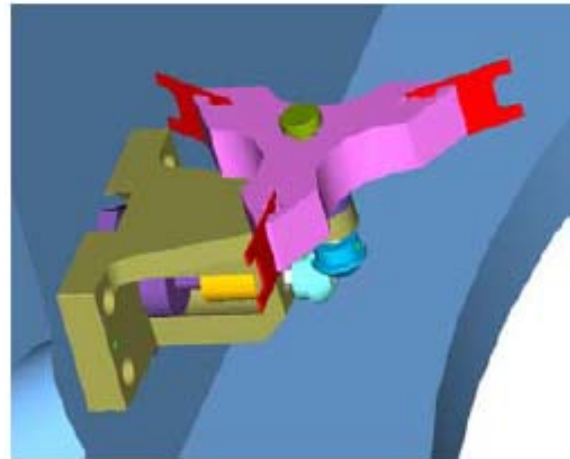
Parameter yang dibutuhkan dalam perancangan ini telah dihitung dan ditetapkan dalam penelitian sebelumnya yang berjudul "Perhitungan Parameter Fisis Sistem Ekstraktor Siklotron 13 MeV untuk PET"[1], yaitu:

1. Posisi *foil* karbon : 404 mm dari titik pusat siklotron
2. Energi defleksi : 7,77 kV/cm (bila tidak menggunakan *foil* karbon)
3. Tegangan *dee* : 40 kV
4. Jumlah putaran : 81 putaran
5. Jarak antar putaran : 5 mm
6. Lebar total *foil* : 6 mm (3 mm ke dalam dan 3 mm ke luar)
7. Tebal *foil* : 139,8 μ gram/cm²
8. Umur *foil* : 56 detik (masih dalam tahap perhitungan lanjut).

Data teknis dari *chamber* dan *pole magnet* yang diperoleh dari hasil rancangan adalah sebagai berikut:

1. Jari-jari *pole magnet* : 480 mm
2. Jarak antara *chamber* dan *pole magnet* : 140 mm
3. Tebal *chamber* : 20 mm

Dari Gambar 1 terlihat bahwa pemegang *foil* dan lengan ekstraktor berada di atas salah satu *hill* dan sistem mekaniknya berada pada celah yang terdapat diantara *pole magnet* dan dinding *chamber* vakum.



Gambar 1. Disain sistem ekstraktor berkas (KIRAMS).[2]

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komponen sistem ekstraktor berkas menggunakan aluminium EN AW 6060 T6. Aluminium EN AW 6060 merupakan aluminium dengan kekuatan menengah dan paduan yang paling sering digunakan. Pemilihan EN AW 6060 ini didasarkan pada strukturnya yang kuat tetapi juga masih memiliki sifat lunak. Selain itu juga dilihat dari segi fungsi, sistem ekstraktor berkas ini tidak menahan beban yang berat sehingga EN AW 6060 dirasa telah cocok untuk bahan dalam pembuatan komponen-komponen sistem ekstraktor berkas ini[5]. Perancangan pemegang *foil* dan lengan ekstraktor ini didasarkan pada asumsi jarak, namun harus urut mulai dari pemegang *foil*. Komponen pertama yang dirancang adalah pemegang *foil*. Pemegang *foil* ini berupa plat aluminium setebal 1,25 mm berjumlah 2 buah. Kedua plat ini disambungkan dengan sistem pasak pada bagian depan. Diketahui bahwa ukuran *foil* untuk ekstraksi adalah 6 mm × 6 mm, sehingga pemegang *foil* dibuat 10 mm × 10 mm, sehingga pada sisi atas dan bawah terdapat 2,5 mm *foil* yang dijepit agar tidak lepas dan 4 mm di sisi belakang. Panjang total pemegang *foil* adalah 122,5 mm dan panjang bagian yang dijepit oleh lengan ekstraktor adalah 50 mm. Untuk lebih jelasnya, rancangan pemegang *foil* dalam 3D dapat dilihat pada Gambar 2.

Bagian yang dapat dirancang berikutnya adalah lengan ekstraktor. Karena yang dibutuhkan adalah multi *foil* dan mengacu pada bentuk *KIRAMS*, maka dirancang 3 buah lengan ekstraktor yang masing-masing memiliki pemegang *foil*. Jari-jari *pole magnet* adalah 480 mm dan titik ekstraksi adalah 404 mm sehingga lengan ekstraktor minimal memiliki panjang 76 mm. Gambar rancangan lengan ekstraktor dalam 3D disajikan pada Gambar 3.

Lengan ekstraktor ini nantinya dapat berputar dan diletakkan pada sebuah poros serta di bawah poros tersebut terdapat roda-roda gigi, maka panjang lengan ekstraktor dibuat 90 mm dan panjang total pemegang *foil* lengan ekstraktor adalah 100 mm. Hal ini dilakukan untuk memberikan ruang pada roda gigi namun tetap menyesuaikan jarak yang ada seperti terlihat pada Gambar 4.

Sistem penggerak ekstraktor terdiri dari *motor stepper* yang berada di luar tangki vakum, *feedthrough*, roda-roda gigi, poros dan penyangga.

a) Motor stepper

Motor stepper yang digunakan sudah menjadi satu paket dengan *feedthrough* namun dapat dilepas dan diganti. *Motor stepper* ini memiliki torsi maksimal 4 lb ft, kecepatan putaran 500 rpm, tingkat ketelitian sebesar 51200 microsteps/revolution, dan 1,8° full steps (spesifikasi disajikan pada Lampiran 1).

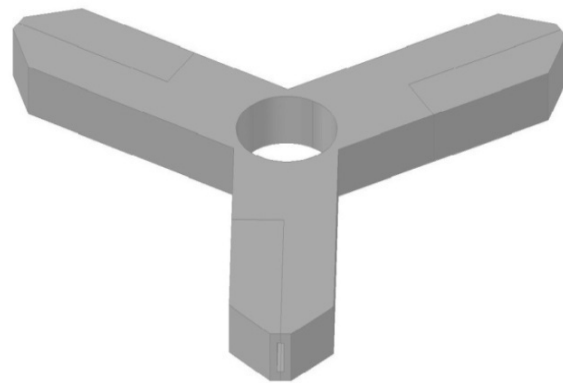
b) Feedthrough

Feedthrough yang akan digunakan adalah jenis *motorized precision rotary positioner* keluaran Huntington Mechanical Laboratories, Inc dengan kode PR-275-M. *Feedthrough* ini terbuat dari bahan *stainless steel* dengan titik leleh 200° C, suhu operasi

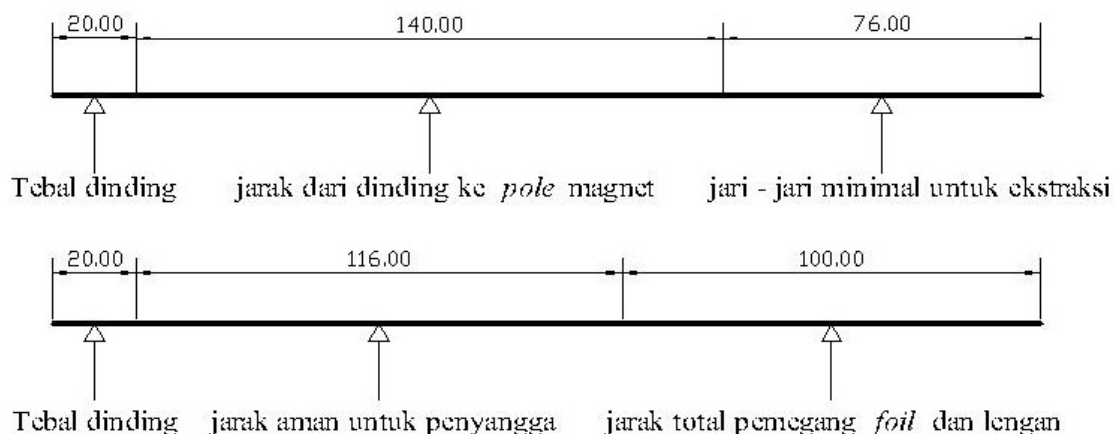
antara -20 °C sampai 100 °C, dan tekanan operasi sampai dengan 1×10^{-11} Torr (spesifikasi disajikan pada Lampiran 1)[6].



Gambar 2. Pemegang *foil*.



Gambar 3. Lengan ekstraktor.



Gambar 4. Analogi jarak yang ada dan jarak perancangan.

c) Roda Gigi

Roda gigi yang digunakan adalah roda gigi kerucut atau sering disebut roda gigi payung atau roda gigi *miter*. Roda gigi ini memiliki ratio 1:1, sehingga putaran dari motor yang ditransmisikan akan sama dengan putaran poros. Roda gigi yang akan digunakan adalah roda gigi buatan Boston Gear. Pemilihan roda gigi didasarkan pada ukuran poros *feedthrough* yaitu sebesar 0,37 inci atau sebesar 9,398 mm, maka digunakan roda gigi dengan ukuran *bore* 0,375 inci atau sebesar 9,525 mm, jumlah gigi adalah 16, diameter luar 1 inci atau 25,4 mm. Bila ditinjau berdasarkan ruang dan jarak yang ada seperti pada Gambar 4, terlihat bahwa roda gigi yang digunakan sudah cocok. Jarak yang ada adalah 140 mm, sedangkan untuk angka aman, jarak perancangan yang digunakan adalah 116 mm, maka ruang yang tersedia masih 24 mm, sedangkan jari-jari roda gigi hanya 12,7 mm. Jadi panjang total dari jarak perancangan ditambah dengan jari-jari roda gigi adalah 128,7 mm (spesifikasi disajikan pada Lampiran 2)[7].

d) Poros

Poros akan diletakkan pada penyangga dan bagian bawahnya akan disambungkan pada salah satu roda gigi. Kecepatan putaran maksimal motor adalah n_1 yaitu 500 rpm dan untuk menghitung diameter poros, maka harus dihitung terlebih dahulu daya yang dibutuhkan. dengan menggunakan persamaan (1), maka

$$\omega = \frac{2\pi n_1}{60}$$

$$\omega = \frac{2 \times 3,14 \times 500}{60} = 52,33 \text{ Rad/s}$$

Menggunakan persamaan (2), maka daya nominal output motor dapat dihitung sebagai

$$P = \omega \tau_i$$

$$P = 52,33 \frac{\text{Rad}}{\text{s}} \times 0,16 \text{ Nm} = 8,37 \text{ kW}$$

Berdasarkan persamaan (3) dan faktor koreksi yang digunakan adalah 1,2, maka daya rencananya adalah

$$P_d = f_c \times P$$

$$P_d = 1,2 \times 8,37 \text{ kW} = 10,044 \text{ kW}$$

Menggunakan persamaan (4) maka momen puntir atau momen rencana diperoleh sebagai berikut

$$T = 9,74 \times 10^5 \frac{P_d}{n_1}$$

Untuk memperoleh tegangan geser yang diijinkan, maka digunakan persamaan (5) dengan $Sf_1 = 18\%$

$$T = 9,74 \times 10^5 \times \frac{10,044 \text{ kW}}{500 \text{ rpm}}$$

$$T = 19565,71 \text{ kg mm}$$

dari σ_B yaitu sama dengan $0,18 \times 173352 \text{ kg/mm}^2 = 31203,36$ dan Sf_2 diambil 1,3, maka

$$\tau_a = \frac{\sigma_B}{(Sf_1 \times Sf_2)}$$

$$\tau_a = \frac{173352 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}}{(31203,36 \times 1,3)} = 4,27 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

Diameter poros dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (6) dan dengan mengambil K_t serta C_b masing-masing adalah 1 sebagai berikut

$$d_s = \left[\frac{5,1}{\tau_a} K_t C_b T \right]^{1/3}$$

$$d_s = \left[\frac{5,1}{4,27 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}} \times 1 \times 1 \times 19565,71 \text{ kg mm} \right]^{1/3} = 28,5 \text{ mm}$$

Agar mudah pada saat pembuatan, maka diameter yang digunakan adalah 29 mm. Berdasarkan Gambar 5, terlihat bahwa gaya yang mengenai baut adalah gaya geser dan berdasarkan data yang diperoleh dari gambar teknik maka harus dihitung massa beban terlebih dahulu.

Dari Gambar 5 dapat dijelaskan bahwa

Daerah I : volume daerah I = 85.000 mm^3

Daerah II : volume = 97.500 mm^3

Daerah III : volume = $19.634,95 \text{ mm}^3$

Dari data dan perhitungan tersebut, maka volume total penyangga adalah

Volume total = daerah I + daerah II + daerah III

$$= 85.000 \text{ mm}^3 + 97.500 \text{ mm}^3 + 19.634,95 \text{ mm}^3$$

$$= 202.134,95 \text{ mm}^3 = 2,0213495 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Setelah diperoleh volume total penyangga dan melihat massa jenis bahan, maka menggunakan persamaan (9) akan diperoleh massa

$$m = \rho V$$

$$m = 2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 2,0213495 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$m = 0,5457 \text{ kg}$$

maka beban total $W =$ massa penyangga + massa lengan ekstraktor = $0,5457 \text{ kg} + 0,1817 \text{ kg} = 0,7274 \text{ kg}$.

Asumsi tegangan geser yang diijinkan sama dengan tegangan tarik maksimal bahan Al 6060 T6 maka,

$$\tau_a = 0,6 \sigma_a$$

$$\tau_a = 0,6 \times 173352 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 104011,2 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$$d \geq \sqrt{2W / \tau_a}$$

$$d \geq \sqrt{2 \times 0,7274 \text{ kg} / 104011,2 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}} = 0,037 \text{ mm}$$

Karena diameter yang diperlukan tidak logis maka diameter baut dipilih berdasarkan lubang yang tersedia pada *flange* DN40 yaitu M6[8].

e) Penyangga

Penyangga terbuat dari bahan EN AW 6060 dengan berat 0,5457 kg. Penyangga ini akan ditahan dengan 4 buah baut. Torsi maksimal motor yang

digunakan adalah 4 lb.ft, maka untuk keamanan perlu dihitung torsi yang akan digunakan. Torsi ini menanggung beban berupa lengan ekstraktor dan pemegang *foil*. Berdasarkan ukuran-ukuran yang diperoleh dari gambar teknik seperti pada Gambar 6, maka luas dan volume dari lengan ekstraktor adalah :

Daerah I : volume 3.900 mm^3

Daerah II : volume 21.000 mm^3

Daerah III : volume 2.340 mm^3

Daerah lingkaran : volume $6.605,2 \text{ mm}^3$

Dari data dan perhitungan di atas, maka volume total lengan ekstraktor adalah

$$\text{Volume total} = d.I + (3 \times d.III) + (3 \times D.III) - d.\text{lingkaran} = 3.900 \text{ mm}^3 + (3 \times 21.000 \text{ mm}^3) + (3 \times 2.340 \text{ mm}^3) - 6605,2 \text{ mm}^3 = 67.314,8 \text{ mm}^3 = 6,73148 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

Setelah diperoleh volume total lengan ekstraktor dan melihat massa jenis bahan pada Lampiran 1, maka dengan menggunakan persamaan (9) akan diperoleh massa

$$m = \rho v$$

$$m = \left(2700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) (6,73148 \times 10^{-5} \text{ m}^3)$$

$$m = 0,1817 \text{ kg}$$

Dengan menggunakan persamaan (8), maka diperoleh gaya

$$F = m g$$

$$F = (0,1817 \text{ kg}) \left(9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$$

$$F = 1,78066 \text{ N}$$

Dengan jarak lengan ekstraktor 90 mm atau 0,09 m dan menggunakan persamaan (7), maka torsi yang dibutuhkan adalah

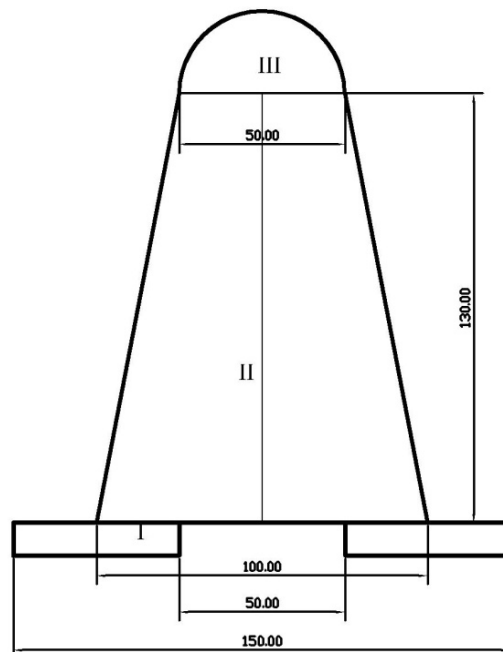
$$\tau_i = F r$$

$$\tau_i = (1,78066 \text{ N})(0,09 \text{ m})$$

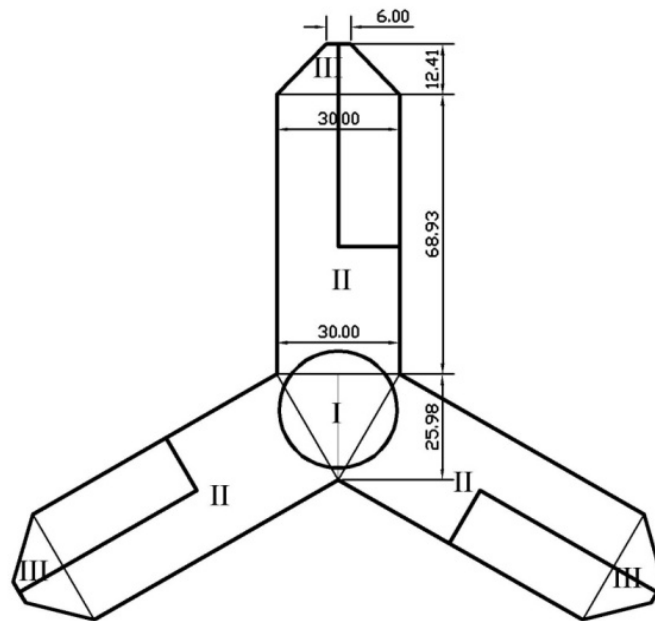
$$\tau_i = 0,16 \text{ Nm} = 0,12 \text{ lb ft}$$

KESIMPULAN

Dari hasil perancangan bahan yang digunakan adalah aluminium EN AW 6060 T6 karena tidak boleh mengandung magnet maupun menyimpan magnet secara residual. Bahan ini digunakan untuk hampir seluruh komponen ekstraktor. Komponen ekstraktor yaitu pemegang *foil* ekstraktor berdimensi panjang total 122,5 mm, lebar total 10 mm dan tebal total 2,5 mm, sedangkan lengan ekstraktor berdimensi panjang tiap lengan adalah 90 mm, lebar tiap lengan 30 mm, tinggi 10 mm, volume total $7,392 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ dan massa 0,1995 kg. Sistem penggerak ekstraktor meliputi motor *stepper* yang mempunyai torsi maksimal 4 lb.ft, *feedthrough*, roda gigi, poros, dan penyangga. Torsi yang dibutuhkan adalah 0,16 Nm atau 0,12 lb.ft dan diameter poros yang dibutuhkan untuk menyangga lengan ekstraktor adalah 29 mm. Baut pengikat untuk penyangga adalah jenis baut metris M6, sehingga *seal* yang digunakan viton *O-Ring* berdiameter 6 mm dan *seal flange* DN 40 CF. Hasil rancangan ini dapat digunakan sebagai acuan dalam konstruksi sistem mekanik pada ekstraktor siklotron proton 13 MeV.



Gambar 5. Rancangan penyangga.



Gambar 6. Rancangan lengan ekstraktor

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Ir. Suprpto dan Bapak Ir. Slamet Santosa M.Sc yang telah memberikan tugas penelitian dengan topik penelitian rancangan detail sistem ekstraktor, dan kepada segenap tim rancang bangun siklotron 13 MeV, yang selalu saling memberikan masukan dalam diskusi mingguan, dan kepada KPTF yang memberikan banyak koreksi dan masukan sehingga makalah ini lebih bermutu. Kepada Sdr. Wahyu Putra Widiyanto yang telah membantu dalam perhitungan, perancangan dan penggambaran rancangan mekanik sistem ekstraktor. Penelitian ini dibawah koordinasi sub-kegiatan Perancangan Siklotron Hidrogen 13 MeV untuk Produksi Radioisotop (MAK: 220302).

DAFTAR PUSTAKA

1. **USADA & AZIZ, W, I**, 2011, Perhitungan Parameter Fisis Sistem Ekstraktor Siklotron 13 MeV untuk PET. Yogyakarta : PTAPB-BATAN.
2. **DONG HYUN AN**, at all, New Design Of The Kirams-13 Cyclotron For Regional Cyclotron Center, Proceedings of APAC 2004, Gyeongju, Korea
3. **SULARSO DAN KIYOKATSU, S**, 1985, Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elelemen Mesin. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.
4. **MOTT, R.L**, 2004, Machine Elements in Mechanical Design. Pearson Education : Ohio
5. **ANONIM**, 2008, Alloy Data Sheet. Cosmos Aluminium. Greece

6. **ANONIM**, 2009, Catalog 2009. Huntington Mechanical Laboratories. USA
7. **ANONIM**, Gear Catalog. Boston Gear.
8. **ANONIM**, 2011, Data Sheet CF. Pfeiffer. USA

TANYA JAWAB

Ir. Suprpto

- Mohon dijelaskan pengaruh pemanasan pada ekstraktor (target) akibat tumbukan ion terhadap tingkat kevakuman!

Ihwanul Aziz

- ✓ *Pengaruh pemanasan pada ekstraktor (target) akibat tumbukan ion: tumbukan ion mengakibatkan carbon foil panas, panas ini akan menimbulkan sumbangan gas pada bejana vakum atau disebut kebocoran di dalam bejana vakum (internal leakage) sehingga pemanasan pada ekstraktor akibat tumbukan ion akan berpengaruh pada kevakuman.*

Mukh. Cholil

- Mengapa dalam sistem ekstraktor menggunakan 3 carbon foil dan berapa ukuran carbon foil tersebut?

Ihwanul Aziz

- ✓ *Karena umur foil yang tidak lama yaitu 500 jam sehingga dibuat 3 foil. Karena foil ini berada di dalam bejana vakum jadi ketika satu foil rusak masih bisa menggunakan foil yang lain tanpa*

membuka bejana vakum. Ukuran foilnya 6 mm × 6 mm.

Ir. Suyamto

1. Mengapa dipilih aluminium sebagai bahan untuk membuat sistem mekanik ekstraktor ini?
2. Mengapa digunakan sistem transisi roda gigi dengan motor *stepper* dan tidak menggunakan pneumatik/hidrolik?

Ihwanul Aziz

1. Karena dalam perancangan ini harus menggunakan bahan non magnetik dan outgassingnya rendah dan Al memenuhi persyaratan ini dibanding material lainnya.
2. Karena pneumatik/hidrolik lebih mahal dan lebih sulit dalam instalasinya. Selain itu, mencari pneumatik/hidrolik dengan bahan non magnet sangat sulit.

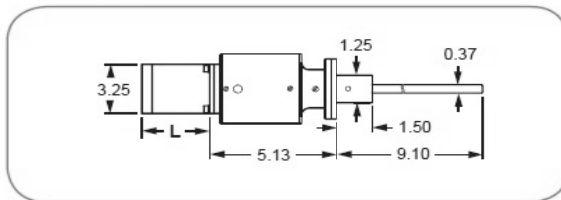
LAMPIRAN 1



Precision Motorized Rotary Feedthrough

Max. Torque	Description	L	Wt. Lbs.	Model	Price
-	No Motor	-	5.00	PR-275-M-00	Call
150 oz. in.	With Stepper Motor	3.00	7.5	PR-275-M	Call

Optional stepper motor/encoder/controller is available (see Feedthrough Options, page 158)



Specifications

- Sealing Mechanism:** Welded bellows
- Material Exposed to Vacuum:** Stainless Steel
- Standard Mounting:** 2.75 Vac-U-Flat® Flange
- Bakeout Temperature:** 200°C (with motor removed)
- Operating Temperature:** -20° to 80°C
- Pressure Range:** Atmosphere to 1 x 10⁻¹¹ Torr
- Maximum Torque:** 4 lb. in.
- Maximum Speed:** 500 rpm
- Motorized Accuracy:** 51,200 microsteps/revolution
- Stepper Motor:** 1.8° full step

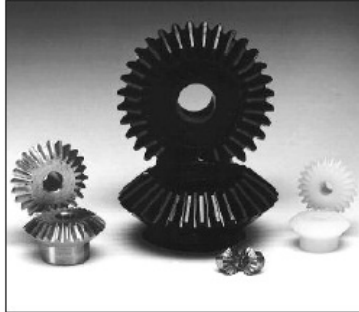
LAMPIRAN 2

MITER GEARS

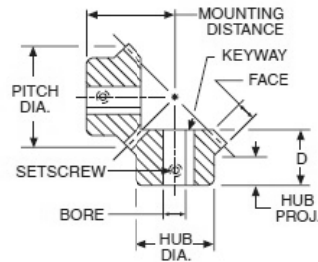
16 THROUGH 10 DIAMETRAL PITCH

1:1 RATIO 20° PRESSURE ANGLE

NYLON AND STEEL—UNHARDENED AND HARDENED



All gears have "Coniflex"® tooth form, except as noted.
All hardened steel gears have teeth only hardened, except as noted, and are equipped with standard keyways and setscrews



REFERENCE PAGES

- Alterations — 149
- Horsepower Ratings — 68, 69
- Lubrication — 149
- Materials — 150
- Selection Procedure — 67

STANDARD TOLERANCES*

DIMENSION	TOLERANCE
BORE	All ±.0005

*Steel only.

ALL DIMENSIONS IN INCHES
ORDER BY CATALOG NUMBER OR ITEM CODE

No. of Teeth	Pitch Dia.	Face	Bore	MD *	D	Hub		Catalog Number	Item Code	Catalog Number	Item Code	Catalog Number	Item Code
						Dia.	Proj.						
16 DIAMETRAL PITCH													
						MOLDED NYLON				STEEL UNHARDENED		STEEL HARDENED	
12	.750	.16	.3125	.812	.583	.62	.38	—	—	L99Y	12150	—	—
16	1.000	.23	.375	1.062	.755	.75	.44	GP1616Y†	54104	L110Y	12174	HLK110Y**	12326
20	1.250	.28	.4375	1.250	.849	1.00	.50	—	—	L111Y	12176	—	—
24	1.500	.32	.500	1.375	.880	1.00	.50	—	—	L112Y	12156	—	—
32	2.000	.39	.500	1.562	.875	1.25	.38	GP1632Y†‡	54105	—	—	—	—
14 DIAMETRAL PITCH													
14	1.000	.20	.375 .4375	1.062	.739	.88	.50	—	—	L124Y L100Y	12202 12152	—	—
12 DIAMETRAL PITCH													
15	1.250	.29	.375 .4375 .500	1.250	.864	1.00	.50	—	—	L125Y L126Y L101Y	12204 12206 12154	—	—
18	1.500	.33	.500 .625	1.500	1.021	1.25	.63	—	—	L127Y L102Y	12208 12158	HLK102Y	12330
21	1.750	.40	.500 .5625 .625 .750	1.750	1.192	1.38	.69	—	—	L119Y L120Y L121Y L133Y	12190 12192 12194 12218	HLK121Y	12334
24	2.000	.44	.500	1.875	1.224	1.31	.69	—	—	L113Y	12178	—	—
30	2.500	.55	.625	2.312	1.489	1.62	.84	—	—	L114Y	12180	HLK114Y	12332
10 DIAMETRAL PITCH													
20	2.000	.45	.500 .625 .750	2.000	1.364	1.62	.81	—	—	L128Y L129Y L103Y	12210 12212 12160	HLK129Y HLK103Y	12348 12344
25	2.500	.56	.750 .875 1.000	2.438	1.630	2.00	.94	—	—	L130Y L104Y L131Y	12214 12162 12216	HLK130Y HLK104Y HLK131Y	12350 12346 12352

*Mounting Distance (MD) must not be made less than dimension shown, see Page 144.

†Not "Coniflex" tooth form.

**Hardened all over.

‡Nylon (Mineral Filled).

LAMPIRAN 3**Tabel Spesifikasi Teknik Sistem Mekanik Ekstraktor Siklotron 13 MeV**

No	Nama Komponen	Data Teknis	Jumlah	Keterangan
1	Feedthrough	Flange: DN40 CF Torsi Max: 4 lb.in Stepper motor: 1,8° Putaran max: 500 rpm Bahan: Aluminium Suhu operasi: -20° s/d 80° Tekanan operasi: atm s/d 1×10^{-11}	1	Dibeli
2	Rodagigi	Jenis: Miter Gear Diameter bore: 0,375 in Diameter Pitch: 1 in Jumlah gigi: 16 Bahan: Aluminium	2	Dibeli
3	Pemegang Foil	Ukuran: 122,3 mm X 10 mm X 2,5 mm Bahan: Aluminium	3	Dibuat
4	Lengan Ekstraktor	Ukuran: 90 mm X 30 mm X 10 mm Bahan: Aluminium	1	Dibuat
5	Poros	Ukuran: Panjang: 116 mm Diameter: 29 mm Bahan: Aluminium	2	Dibuat
6	Penyangga	Ukuran total: 150 mm X 130 mm X 60 mm Tebal: 10 mm Bahan: Aluminium	1	Dibuat
7	Baut	Jenis: Baut tanam Ukuran: M6 Bahan: Aluminium	4	Dibeli