

RANCANG BANGUN SISTEM MEKANIK PENGGERAK TABUNG SINAR X MEDIS BERBASIS BALLSCREW

Suroso^{1*}, Andri Sulistiyo², Sujatno³

^{1,2,3}. Program Studi Elektromekanik, Jurusan Teknofisika
Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir BATAN

Jl. Babarsari, PO Box 6101, YKBB, Yogyakarta 55283

*Email: surosohadi09@gmail.com

Abstrak

Telah dilakukan penelitian yang bertujuan untuk menghasilkan disain dan pembuatan sistem mekanik penggerak tabung pesawat sinar-X medis berbasis ballscrew yang digunakan untuk percobaan diagnostik pada hewan dan tumbuhan. Pesawat sinar-X dirancang mempunyai gerak mekanik untuk menyesuaikan posisi tabung sinar-X terhadap obyek yang akan didiagnostik. Pemilihan sistem gerak mekanik dengan menggunakan ballscrew dan linier guideway bertujuan untuk mendapatkan konversi gerak rotasi dari motor penggerak menjadi gerakan linear. Perhitungan dilakukan terhadap pemilihan komponen agar mampu mengangkat beban berupa tabung sinar-x, didapat spesifikasi ballscrew dengan diameter 15 mm sepanjang 600 mm dengan penggerak motor stepper yang mempunyai torsi 12 Nm. Hasil dari disain dan peralatan yang dibuat mampu digunakan untuk mengangkat tabung sinar-x dengan kecepatan gerak naik dan turun sebesar 50 mm/detik.

Kata kunci: sistem mekanik, penggerak tabung sinar-X, Ballscrew)

1. PENDAHULUAN

Pada saat ini, pesawat sinar X banyak dimanfaatkan dalam bidang Radiologi diagnostik, dimana sinar X digunakan untuk mendiagnostik kesehatan tubuh manusia, namun pada perkembangannya sinar X juga dapat digunakan untuk mendiagnostik hewan dan tumbuhan. Penggunaan sinar X untuk radiologi diagnostik memungkinkan melihat kondisi organ tubuh bagian dalam pada mahluk hidup baik manusia, hewan maupun tumbuhan tanpa harus melakukan pembedahan langsung terlebih dahulu (Batan,2003), (Yufita, 2012).

Pemanfaatan dan penggunaan pesawat sinar X sudah banyak diterapkan diberbagai bidang, diantara adalah di bidang industri, kesehatan, pendidikan dan ilmu pengetahuan (Tri Kasjono, 2007). Pada bidang pendidikan dan ilmu pengetahuan, pesawat sinar X dimanfaatkan sebagai alat praktikum dan penelitian di laboratorium perguruan tinggi.

Beberapa pesawat sinar X medis yang ditemui, sistem operasinya untuk mengatur ketinggian tabung dengan obyek diatur secara manual, sehingga perlu dilakukan pengembangan otomasi mekanik penggerak. Dengan pesawat Sinar X medis berbasis ballscrew, dapat mengatur ketinggian gerak mekanik untuk melakukan gerak dengan menyesuaikan posisi tabung sinar X terhadap obyek yang akan didiagnostik.

Pemilihan sistem gerak mekanik dengan menggunakan ballscrew bertujuan untuk mendapatkan konversi gerak rotasi dari motor penggerak menjadi gerakan linear dengan sedikit gesekan antara nuts atau bantalan bola. Dengan sistem gerak mekanik ballscrew kecil kemungkinan terjadi selip antara bantalan bola dengan ulir sehingga mampu menahan kapasitas beban yang berat dengan umur yang panjang, mempermudah perawatan, keawetan sparepart, serta kebutuhan oli pelumas yang sedikit (Hiwin, 2014).

Rancang bangun sistem mekanik penggerak tabung sinar-X medis berbasis ballscrew ini bertujuan untuk memenuhi kebutuhan alat praktikum dan penelitian serta untuk perkuliahan di STTN.

Pesawat Sinar X pada dasarnya terdiri dari bagian utama yaitu sumber tegangan tinggi (HV), unit control dan tabung sinar X. Sumber tegangan tinggi (HV) yang berfungsi untuk memberi catu tegangan kerja tabung yang diatur oleh unit kontrol sehingga tabung dapat menghasilkan sinar X. Adapun tabung sinar X terdiri atas katoda, anoda, dan target yang diselubungi dengan selubung gelas atau bahan lain. Selubung tabung dilindungi dengan rumah tabung yang terbuat dari bahan logam. Diantara selubung dan rumah tabung diberi cairan selain

berguna sebagai isolasi, juga untuk menghindari kontak listrik, dan juga sebagai pendingin (Sujatno dkk, 2010). Tabung sinar X yang akan diatur ketinggiannya dalam penelitian ini mempunyai berat 50 kg.

Ballscrew adalah sistem gerak mekanik yang mengubah gerak rotasi menjadi gerak linear dengan sedikit gesekan. Terdiri dari *spindle screw* dan mur yang terintegrasi dengan bola bantalan dan mekanisme pengembalian bola bantalan berupa *return tubes* atau *return caps* ²⁾, *ballscrew* menjadi sistem penggerak yang paling umum digunakan dalam aktuator permesinan. Ketika mendapat beban transmisi, beban seperti diteruskan ke bantalan bola, beban dipindah dari sekrup ke bola, dari bola ke mur, dan dari mur ke perangkat didorong atau dipindah. Dengan *Ballscrew*, bola bergulir antara poros sekrup dan mur untuk mencapai efisiensi yang tinggi. Hal ini hanya memerlukan daya torsi yang hanya sepertiga dibanding sekrup biasa (*lead screw*). Hal ini menjadikan *Ballscrew* tidak hanya mampu mengubah gerak rotasi ke gerak lurus, tetapi juga mengubah gerak lurus gerak rotasi.

Perhitungan untuk mendapatkan ukuran diameter ulir pada *ballscrew* agar mampu mengangkat beban tabung sinar X maka perlu dilakukan perhitungan, (Khurmi, 2005) dengan menggunakan persamaan 1:

$$\sigma_t = \frac{P \cdot K_t}{\frac{\pi}{4} \cdot d_k^3} \tag{1}$$

- dengan: σ_t : Tegangan tarik yang diizinkan (kg/cm^2)
 P : Beban (kg)
 d_k : Diameter tengah teras poros ulir (cm)
 K_t : Nilai disain awal

Nilai disain awal untuk K_t , dipertimbangkan di sini adalah jenis diskontinuitas geometris yang paling sering ditemukan pada poros (diameter *ballscrew*) untuk transmisi.

Beban P maksimum yang disarankan dapat dihitung dari persamaan 2 (Sularso, 1997).

$$P \leq F_1 \cdot N_t \tag{2}$$

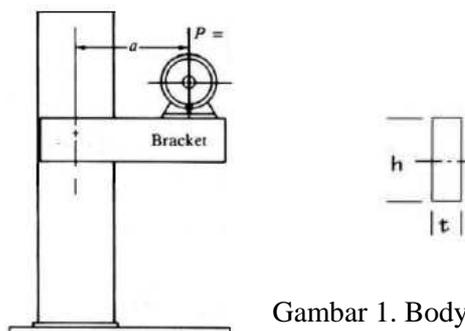
Dengan F_1 adalah bidang dukung ulir sekrup sedangkan N_t adalah tekanan bidang yang diperbolehkan antara poros (diameter *ballscrew*) dan tabung ulir (*nut*). Apabila tinggi *nut* diumpamakan dengan H dan S adalah jarak puncak ulir, maka tabung ulir/*nut ballscrew* mempunyai H/S jalan sekrup. Luas bidang jadi kita dapat dengan persamaan 3 (Khurmi, 2005) :

$$F_1 = \frac{H}{S} \cdot \frac{\pi}{4} (d^2 - d_k^2) \tag{3}$$

- dengan: P : Beban (kg)
 H : Tinggi tabung (mm)
 d : Diameter luar ulir (mm)
 S : Jarak puncak ulir (mm)
 d_k : Diameter tengah teras poros ulir (mm)
 N_t : Tekanan bidang yang diperbolehkan antara batang ulir dan tabung ulir (kg/cm^2)

Untuk menguji kekuatan dari *ballscrew* maka dihitung tegangan bengkok σ_b , tegangan geser τ_D dan tegangan ideal σ_i . Perhitungan tersebut dilakukan untuk mengetahui apakah besar gaya-gaya yang terjadi lebih kecil dari tegangan ijin yg bekerja pada diameter *ballscrew*.

Perhitungan pada *frame body X-ray* (gambar 1) yaitu, tegangan yang bekerja pada *body* penumpu *X ray* dapat berupa kombinasi tegangan, bengkok dan geser juga tegangan yang lain.



Gambar 1. Body X-ray

Bodi *X-ray* dapat ditentukan dengan memperhitungkan beban dari tabung *X ray*. Bahan menggunakan AISI 1040 Steel Bar. (*Yield Strength* $S_y = 42000$ Psi) (L. Mott, 2004).

Adapun untuk menghitung dimensi bodi *X ray* (L.Mott,2004):

$$\sigma = M / S \quad (4)$$

$$\sigma = \sigma_d = S_y / N \quad (5)$$

Dengan : S : *Section modulus* = $t.h^2/6$

h : 3 t

N : *disain Factor*

Pemilihan motor dan perhitungan torsi motor. Untuk pemilihan motor yang berfungsi sebagai penggerak untuk menaikkan dan menurunkan beban tabung sinar x dipilih motor DC. Torsi yang digunakan untuk menggerakkan beban menaikkan ulir dapat dihitung dengan persamaan 6. Perbedaan ulir *acme* dan ulir persegi yaitu sudut ulir ϕ sebesar $14,5^\circ$. Apabila $\tan \lambda = p/\pi D_p$ maka didapat persamaan 6 sebagai berikut (Hiwin, 2014):

$$T_u = \frac{F \cdot D_p}{2} \left[\frac{(\cos \phi \tan \lambda + f)}{(\cos \phi - f \tan \lambda)} \right] \quad (6)$$

Dengan: T_u : Torsi untuk menaikkan beban (lb.in)

F : Beban (lb)

D_p : Diameter jarak bagi minimum (inchi)

f : Koefisien gesekan 0,15

Sedangkan Torsi untuk menurunkan beban dapat dihitung dengan rumus persamaan 7 yaitu:

$$T_d = \frac{F \cdot D_p}{2} \left[\frac{(f - \cos \phi \tan \lambda)}{(\cos \phi + f \tan \lambda)} \right] \quad (7)$$

Dengan : T_d : Torsi untuk menurunkan beban (lb.in)

F : Beban (lb)

D_p : Diameter jarak bagi minimum (inchi)

f : Koefisien gesekan 0,15

2. METODOLOGI

Metode dalam penelitian yang digunakan, mulai dari langkah disain, dilanjutkan perancangan awal, perhitungan, pemilihan bahan, pembuatan-pembuatan rangka dan komponen, pemilihan motor dan perakitan penggerak serta pengujian. Secara umum rancangan sistem mekanik penggerak tabung sinar x dapat ditunjukkan pada gambar 2. Dasar awal untuk perhitungan, dimulai dari berat tabung sinar X dari pemilihan tabung sinar X, ternyata mempunyai berat 50 kilogram namun demi keamanan maka diumpamakan beban yang akan diangkat sebesar 100 kilogram.

2.1. Perhitungan *Ballscrew*

Dari tabel referensi *Acme-Screw Threads* (L. Mott, 2004) diameter yang akan digunakan untuk mengangkat berat beban, seperti sketsa pada Gambar 4. Berat total tabung *X ray* adalah $F = 100$ kg = 220 lb, Pilihan sekrup yang dipilih dari Tabel 17-1 atas dasar kekuatan tarik, dibatasi tegangan tarik $\sigma_t = 10\ 000$ psi, luas penampang $A = F/\sigma_t = 220/10000 = 0,026$ in², dari tabel didapat diameter terkecil = $1/4$ in = 6,35 mm, ditentukan 10 mm (batas aman diameter poros ulir). Didapat garis tengah teras 12,92 mm, garis tengah luar batang *ballscrew* 15,87 mm ,jarak puncak sekrup $s = k = 4$ mm, tekanan bidang $N_t = 106$ kg/cm².

Dengan menggunakan persamaan 2 dan 3 maka didapat perhitungan sebagai berikut:

$$P \leq \frac{H}{s} \cdot \frac{\pi}{4} (d^2 - dk^2) N_t = 100 \leq \frac{H}{0,4} \cdot \frac{\pi}{4} (1,587^2 - 1,292^2) 106, \text{ sehingga } H = 35,3$$

mm. Dari hasil hitungan tersebut maka tinggi tabung *ballscrew* sekurang-kurangnya 35,3 mm, namun demi keamanan maka dalam perencanaan tinggi tabung *ballscrew* ditentukan menjadi 50 mm.

2.2. Perhitungan Motor Penggerak

Kecepatan gerak linear naik dan turun yang dibutuhkan, jika direncanakan 5 cm/detik. Untuk mengangkat beban tabung sinar X, motor penggerak sekurang-kurangnya harus memenuhi besaran torsi sesuai dengan perhitungan. Apabila diketahui bahwa $p = 0,125$ maka sudut kisarnya

yaitu $l = \tan^{-1} p/\pi D_p = \tan^{-1} 0,125/3,14 \cdot 0,5408 = 11,983^\circ$. Dengan menggunakan persamaan 9 maka torsi yang dibutuhkan untuk mengangkat beban dihitung sebagai berikut:

$$T_u = \frac{F \cdot D_p}{2} \left[\frac{(\cos \theta \tan \lambda + f)}{(\cos \theta - f \tan \lambda)} \right]$$

Dengan $\cos \theta = \cos 14,5^\circ = 0,986$, $\tan \lambda = \tan 11,98^\circ = 0,212$, berat $100 \text{ kg} = 220 \text{ lb}$

$$T_u = \frac{220 \cdot 0,5408}{2} \left[\frac{(0,968)(0,212) + 0,15}{0,968 - (0,15)(0,212)} \right] = 22,51 \text{ lb.in}$$

Lalu, menggunakan rumus persamaan 9 dan 10 dapat dihitung kebutuhan torsi untuk menurunkan beban, didapat $T_d = 12,20 \text{ lb.in}$

Dengan torsi untuk menaikkan beban yang dibutuhkan sebesar $22,51 \text{ lb.in}$ dan torsi untuk menurunkan beban sebesar $12,20 \text{ lb.in}$ maka perlu dipilih motor stepper dengan torsi yang mampu mengangkat 25 lb.in (dibulatkan), yaitu digunakan untuk menaikkan atau menurunkan beban. Dapat juga dihitung dengan perhitungan $F_a = \text{frictional resistance} = \mu \times \text{beban} \times \text{grafitasi}$, dengan μ adalah *rolling frictional coefficient* = 0,003), sehingga $F_a = 0,003 \times 100 \text{ kg} \times 9,8 = 2,94 \text{ Newton}$. (Hiwin, 2014)

$$T = \frac{F_a \cdot 10}{2 \pi \cdot 0,96} = \frac{2,94 \cdot 10}{2 \pi \cdot 0,96} = 4,87 \text{ N.mm}$$

2.3. Perhitungan frame body Tabung Sinar X

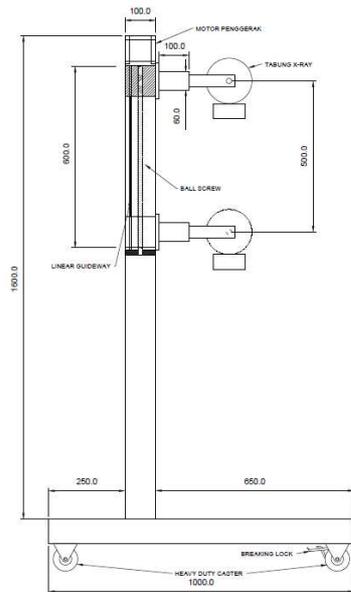
Ukuran *table/meja* untuk diagnostic secara umum mempunyai tinggi 70 cm sehingga tinggi frame body untuk gerak beban yang akan digunakan pada *ballscrew* memiliki panjang minimal 170 cm dan ukuran luas penampang h dan t (lihat gambar 1).

Jika bahan dipilih AISI 1040 Steel Bar, maka *Yield Strength* $S_y = 42000 \text{ psi}$, Design factor (N) = 2, Design Stress $\sigma_d = 42000/2 = 21000 \text{ psi}$. akhirnya didapat ukuran material *rectangular bar* $6 \times 4 \times 1/4$.

2.4. Pembuatan Mekanik Penggerak Pesawat Sinar X.

Hasil dari perhitungan digunakan untuk menentukan dimensi dan ukuran dalam pembuatan otomasi mekanik penggerak pesawat Sinar X medis, termasuk pemilihan diameter ballscrew, kemudian pemilihan motor, untuk motor dipilih motor stepper dengan Torsi sebesar 12 Nm, Mekanik yang dibangun dipersyaratkan dapat bekerja dengan tepat, akurat, dengan kecepatan waktu (gerak naik turn 60 cm – 600 mm) ≤ 4 detik, dapat dioperasikan dengan mengatur ketinggian yang dikehendaki dari layar LCD. Untuk material *Frame body* dibuat dari bahan AISI 1040 Steel Bar, yaitu material *rectangular bar* $6 \times 4 \times 1/4$, yaitu 6 in *vertical depth*, 4 in *width* dan $1/4$ in *wall thickness*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN



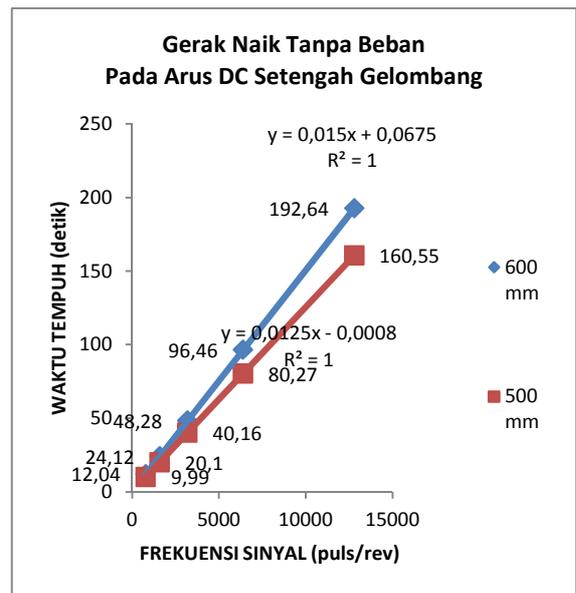
Gambar 2. Hasil Rancang Bangun Mekanik Penggerak Tabung Sinar X



Gambar 3. Penggerak tabung sinar X stelah dirakit.

Tabel 1 Waktu tempuh gerak naik tanpa beban

Frekuensi sinyal (puls/rev)	Jarak 600 mm	Jarak 500 mm
800	12.04 detik	9.99 detik
1600	24.12 detik	20.10 detik
3200	48.28 detik	40.16 detik
6400	96.46 detik	80.27 detik
12800	192.64 detik	160.55 detik



Grafik 1. Gerak naik tanpa beban arus dc setengah gelombang

3.1. Pengujian Linieritas Gerak Naik dan Turun Tanpa Beban

Pengujian gerakan ini dilakukan dengan jarak tempuh 500 mm dan 600 mm pada 5 variasi perubahan frekuensi sinyal atau pulsa dengan memberikan arus DC. Jarak untuk pengujian 500 mm dan jarak 600 mm, untuk travel length ballscrew yang terjauh pada penelitian ini adalah 600 mm.

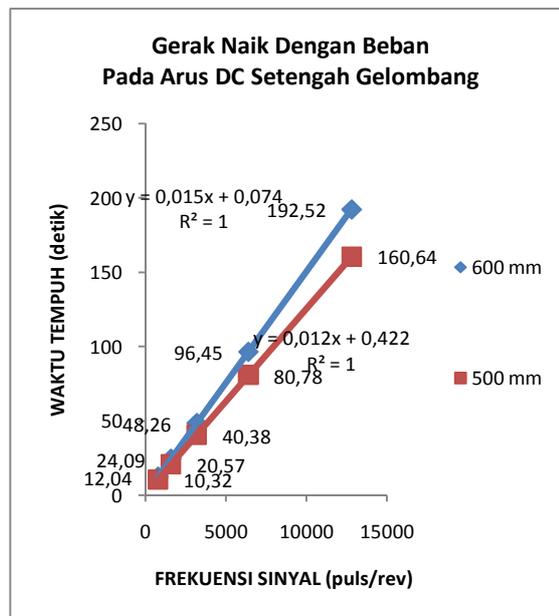
Digunakan 5 variasi perubahan sinyal atau pulsa tersebut meliputi: 800 puls/rev, 1600 puls/rev, 3200 puls/rev, 6400 puls/rev dan 12800 puls/rev, seperti pada tabel 1.

Data-data tabel 1. kemudian dibuat menjadi grafik. Dari grafik tersebut nantinya dapat diketahui linieritas pergerakan ballscrew, apabila persamaan linier pada grafik menghasilkan

koefisien determinasi $R^2=1$ atau mendekati maka linieritas gerakan yang dihasilkan dianggap sangat baik.

Tabel 2. Waktu tempuh gerak naik tanpa beban

Frekuensi sinyal (puls/rev)	Jarak 600 mm	Jarak 500 mm
800	12.04 detik	10.32 detik
1600	24.09 detik	20.57 detik
3200	48.26 detik	40.38 detik
6400	96.45 detik	80.78 detik
12800	192.52 detik	160.64 detik



Grafik 2. Gerak naik tanpa beban arus dc setengah gelombang

Data-data yang dihasilkan pada pengujian gerakan naik dengan beban pada arus dc setengah gelombang jarak 600 mm dan 500 mm ditarik rata-rata dan dibuat menjadi tabel 2 dan grafik 2.

Grafik 2 menghasilkan persamaan linier $y = 0.015x + 0.074$ untuk pergerakan pada jarak 600 mm. Pada jarak tersebut, koefisien determinasi yang didapat adalah $R^2=1$ sehingga linieritas gerak naik dengan beban pada arus dc setengah gelombang untuk jarak 600 mm adalah sangat baik.

Untuk mencari kecepatan gerak linear yang nantinya akan digunakan dapat memanfaatkan data-data waktu tempuh yang ada (tabel 3 dan tabel 4). Pada Tabel 4. Kecepatan gerak linear turun dengan beban arus dc gelombang penuh, kemudian pada beban turun dengan kecepatan gerak linear yang dihasilkan ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 3. Kecepatan gerak linier naik dengan beban arus DC

Frekuensi sinyal (puls/rev)	Jarak 600 mm	Jarak 500 mm
800	49,83 mm/detik	48,44 mm/detik
1600	24,90 mm/detik	24,57 mm/detik
3200	12,43 mm/detik	12,38 mm/detik
6400	6,22 mm/detik	6,18 mm/detik
12800	3,12 mm/detik	3,11 mm/detik

Tabel 4. Kecepatan gerak linear turun dengan beban arus DC

Frekuensi sinyal (puls/rev)	Jarak 600 mm	Jarak 500 mm
800	50,20 mm/detik	47,80 mm/detik
1600	24,88 mm/detik	24,42 mm/detik
3200	12,42 mm/detik	12,37 mm/detik
6400	6,21 mm/detik	6,21 mm/detik
12800	3,15 mm/detik	3,11 mm/detik

Pada perancangan awal direncanakan kecepatan gerak linear yang akan digunakan adalah Dengan memperhatikan aspek-aspek yang sudah disebutkan, menghasilkan kecepatan gerak linier untuk kinerja sistem mekanik (50 mm/detik) adalah dengan memberi motor penggerak frekuensi sinyal 800 *puls/rev* dengan jarak 600 mm dengan menggunakan arus dc setengah gelombang sebesar 5,7 *ampere*.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Alat yang dibuat sesuai perencanaan berupa sistem mekanik penggerak tabung sinar-X berbasis *ballscrew* mampu digunakan untuk menggerakkan beban berupa tabung sinar-X seberat 42,3 kg secara vertikal.
2. Gerakan yang dihasilkan oleh alat yang dibuat berjalan dengan linieritas sangat baik ($R^2=1$).
3. Kecepatan gerak linier yang paling mendekati 50 mm/detik didapat dengan memberi motor penggerak sinyal sebesar 800 *puls/rev* dengan arus dc setengah gelombang sebesar 5,7 Ampere yang menghasilkan kecepatan 49,83 mm/detik ketika dinaikan dan 50,37 mm/detik ketika turun.
4. Kerangka alat dari sistem mekanik penggerak tabung sinar-X berbasis *ballscrew* kuat menopang beban tabung sinar-X dalam kondisi diam, ketika beban digerakan dan ketika alat dipindah-pindah.

4.2. Saran

Alat yang dihasilkan pada penelitian ini dapat dikembangkan menjadi 3 derajat kebebasan dengan menambahkan gerak sumbu x dan z sehingga fleksibilitias alat dapat dicapai.

DAFTAR PUSTAKA

- Asril, dan Abbas B. 1952. Konstruksi Perhitungan Pemakaian Bagian-Bagian Pesawat Sederhana. H. Stam : Jakarta.
- BATAN,2003, Sumber Radiasi dan Peralatan Radiografi, Pusat Pendidikan dan Pelatihan Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta.
- Evi Yufita, Rini Safitri 2012, Analisis *Output Tolerance Limits X-Ray Machine Diagnostic*, Jurnal Nautal Vol 12, Nomor 1, 2012
- HIWIN. 2014. *HIWIN Ballscrew Technical Information*. Minsk : Belarussia

- Khurmi RS, Gupta JK, 2005, *A Text Book Of Machine Design*, Eurasia Publishing House LTD, New Delhi.
- Robert L Mott, 2004, *Machine Elements in Mechincal Design*, Prentice Hall.
- Sularso, 1997, *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*, Pradnya paramita, Jakarta
- Sujatno, Lely Yuniarsari dan Beny Syawaludin. 2010. *Perekayasaan Prototip Pesawat Sinar-X Diagnosis Berbasis Mikrokontroler*. PRFN-BATAN. Tangerang.
- Toto Tri Kasjono, Djoko Marjanto, Agung Nugroho, 2007, *Perancangan Ruang Pengujian Kebocoran Pesawat Sinar X Rigaku 250 KV*, Seminar Nasional III SDM Teknologi Nuklir, STTN BATAN Yogyakarta