

ANALISIS KEKUATAN BALL SCREW AKSIS Z TERHADAP BEBAN TEKAN AKSIAL PADA VERTICAL MACHINING CENTER PINDAD-FANUC MC 07-PF

Rachmanto Hadiputranto *

Abstraksi

Ball screw merupakan sebuah perangkat mekanik yang cukup penting pada mesin perkakas NC. *Ball screw* berfungsi sebagai pemindah gerak dari putaran motor aksis menjadi gerakan translasi linier bolak-balik meja atau kepala mesin.

Ball screw hanya didisain untuk menahan beban aksial tekan atau tarik. Selama operasi berlangsung, beban aksial yang terjadi tidak boleh melampaui beban aksial kritisnya untuk menghindari tekukan atau *buckling*.

Kata Kunci : *Ball Screw, Vertical Machining Center*

PENDAHULUAN

Makalah ini merupakan pembahasan pelengkap dari proses modifikasi perangkat mekanik *vertical machining center* Pindad-Fanuc MC 07-PF di PT Pindad Bandung. Inti dari pembahasan ini adalah perhitungan dan pemilihan *ball screw* aksis z yang berdasarkan atas beban aksial murni dan umur nominalnya.

Dasar perhitungan dan pemilihan *ball screw* aksis z ini dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan *ball screw* aksis x dan y. *Ball screw* yang digunakan untuk *vertical machining center* ini bermerk THK Japan.

KAJIAN PUSTAKA

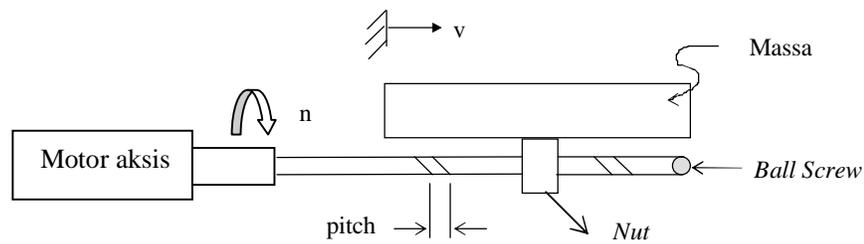
Transmisi Ulir

Mekanisme penggerak meja (*table*) atau kepala mesin *milling (head)* yang sering dijumpai pada mesin perkakas (mesin bubut dan *milling*), baik konvensional maupun non konvensional (mesin perkakas NC) adalah transmisi ulir. Transmisi ulir berfungsi mentransformasikan gerakan rotasi poros ulir (*screw*) menjadi gerakan translasi linier meja.

Namun demikian tidak dapat begitu saja menerapkan transmisi ulir mesin konvensional ke dalam mesin non konvensional. Karena tuntutan pada mesin non konvensional jauh lebih tinggi daripada mesin konvensional.

Transmisi ulir penggerak meja pada mesin konvensional disebut *lead screw* dan pada mesin non konvensional disebut *ball screw*. Dan dalam sub-bab ini akan membahas tidak hanya tentang *ball screw*, namun juga membahas mengenai *lead screw*, dengan tujuan untuk mengetahui alasan penggunaan *ball screw* pada mesin perkakas NC.

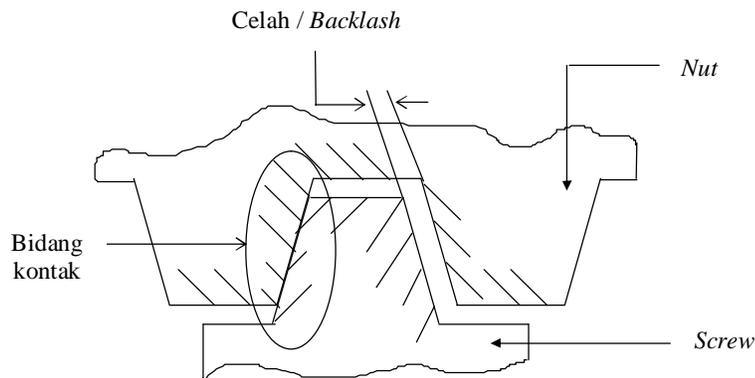
* Dosen Jurusan Teknik Mesin STT YBS



Gambar 1. *Ball Screw* Sebagai Mekanisme Penggerak Meja Mesin

a. *Lead Screw*

Lead screw adalah poros berulir yang digunakan untuk menggerakkan meja atau kepala pada mesin perkakas konvensional, yang berfungsi untuk membuat ulir pada mesin bubut misalnya. Profil ulir ini berbentuk trapesium. Gambar 2 menjelaskan penampang pasangan ulir trapesium pada mesin *turning* dan *milling* konvensional.



Gambar 2. Penampang Pasangan Ulir Trapesium.

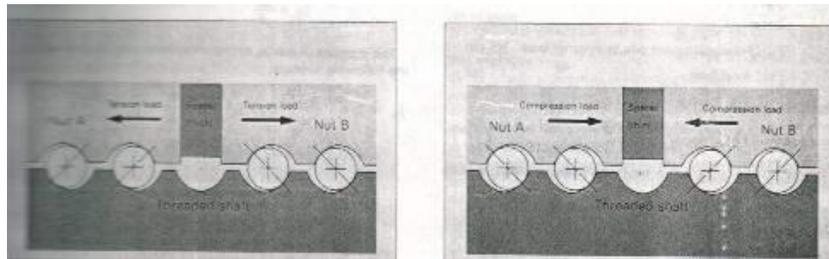
Konstruksi di atas mempunyai beberapa karakteristik yang selalu menyertainya, yang akibatnya akan membatasi kinerja dari pasangan ulir tersebut. Karakteristik tersebut adalah :

- o Bidang kontak berupa sisi yang relatif luas dan potensial menimbulkan friksi. Akibatnya membutuhkan gaya dorong yang relatif besar.
- o Adanya celah yang mengakibatkan *backlash* (kelonggaran antar ulir), sehingga ulir tidak lagi responsif dan menyebabkan ketepatan pemosisian (*positioning accuracy*) relatif rendah.
- o Panas yang timbul relatif besar.
- o Vibrasi relatif tinggi.
- o Potensi keausan relatif tinggi.

b. *Ball Screw*

Karakteristik pada *lead screw* merupakan hal negatif apabila diterapkan pada mesin perkakas NC. Karena pada mesin perkakas NC dituntut adanya pergerakan meja yang halus, responsif dan ketepatan pemosisian yang baik. Oleh karena itu dibuat konstruksi ulir yang dapat

memenuhi persyaratan tersebut. Gambar 3 menjelaskan konstruksi penampang *ball screw* yang digunakan pada mesin perkakas NC.



Gambar 3. Penampang *Ball Screw*.

Profil lengkung pada *screw* (sekerup) dan *nut* berbentuk busur gothic dan bidang kontak berupa titik yang letaknya berlawanan. Keuntungan dari konstruksi ini adalah :

- Tidak menimbulkan friksi karena bola bergerak *rolling* murni.
- *Backlash* dapat dihilangkan karena titik kontak berlawanan, sehingga lebih responsif dan ketepatan pemosisian lebih baik.
- Vibrasi sangat rendah.
- Tingkat keausan dapat ditekan.
- Panas yang ditimbulkan sangat kecil.

Dengan mempertimbangkan karakteristik diantara keduanya, penggunaan *ball screw* tentunya lebih tepat untuk diterapkan pada mekanisme penggerak meja mesin perkakas NC.

Pembebanan Pada *Ball Screw*

Ball screw didisain hanya untuk menahan beban aksial, baik tekan maupun tarik. Bilamana terjadi beban arah lateral atau radial, maka akan ditahan oleh *linear motion guide*.

Ball screw dapat diidentikkan dengan sebuah kolom yang berpenampang lingkaran. Pada kolom yang berpenampang lingkaran, kekuatan akibat pembebanan tekan lebih kecil daripada kekuatan akibat pembebanan tarik. Beban tekan terkecil yang menyebabkan tekukan atau *buckling* pada kolom disebut beban kritis ($critical\ load = P_c$). Sedangkan lokasi sepanjang kolom yang mengalami tekukan disebut jarak kritis ($critical\ distance = l_c$). Metoda pemasangan yang berhubungan dengan jenis tumpuan, jarak kritis dan diameter minor poros ulir, diantaranya akan menentukan besarnya beban kritis.

Kondisi tertekuk pada *ball screw* tentunya tidak diperbolehkan, karena dapat merusak komponen-komponen yang ada di dalamnya dan akan menurunkan kinerjanya. Oleh karena itu perlu dihitung beban tekan-aksial yang diizinkan ($allowable\ compression-axial\ load = P_{c_a}$), yang besarnya adalah 70% dari beban kritis (sesuai rekomendasi pabrik pembuat: THK). Meskipun pada kenyataannya, *ball screw* akan mengalami variasi beban tekan dan tarik, namun yang diperhitungkan hanyalah beban tekan.

Beban tekan-aksial yang diizinkan (P_{ca}) dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$P_{ca} = \frac{n \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{l_c^2} \times 70\% \quad [N]$$

dengan :

P_{ca} = beban tekan-aksial yang diizinkan (N).

n = koefisien metoda pemasangan.

Fixed - free $n = 0,25$.

Supported - supported . . $n = 1,0$.

Fixed - supported $n = 2,0$.

Fixed - fixed $n = 4,0$.

E = Modulus elastisitas bahan (21×10^4 N/mm²).

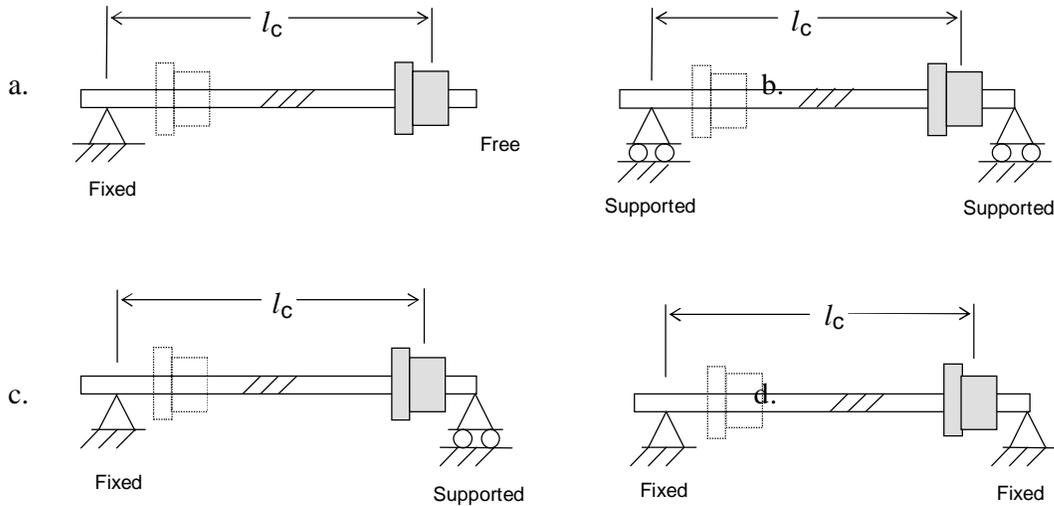
I = Inersia penampang (mm⁴).

$$= \frac{\pi \cdot d_1^4}{64}; \text{ dimana } d_1 = \text{diameter minor poros ulir (mm)}$$

l_c = jarak kritis (mm).

METODOLOGI

Ada empat alternatif metoda pemasangan *ball screw* pada mesin, yang nanti akan menentukan harga koefisien n . Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Alternatif Metoda Pemasangan *Ball Screw*.

Untuk tumpuan *fixed* dipakai *angular contact ball bearing*. Sedangkan tumpuan *supported* digunakan *deep groove ball bearing*. Untuk aplikasinya dapat dilihat pada Tabel 1 berikut :

Tabel 1. **Metoda Pemasangan *Ball Screw* Beserta Aplikasinya.**

No	Metoda Pemasangan	Aplikasi
a	<i>Fixed - Free</i>	§ Kecepatan rendah § Poros pendek
b	<i>Supported - supported</i>	§ Kecepatan menengah
c	<i>Fixed - supported</i>	§ Kecepatan menengah § Akurasi tinggi
d	<i>Fixed - fixed</i>	§ Kecepatan tinggi § Akurasi tinggi

Bila tipe *ball screw* sudah ditetapkan, selanjutnya dapat ditentukan umur nominalnya dengan persamaan berikut:

$$L_r = \left(\frac{C_a \cdot 9,81}{f_w \cdot P_{c_{aktual}}} \right)^3 \times 10^6 \quad [\text{putaran}]$$

dengan :

L_r = umur nominal *ball screw* (putaran).

C_a = Beban dinamik (kg).

f_w = faktor koreksi beban.

$P_{c_{aktual}}$ = Beban tekan-aksial aktual (N).

PEMBAHASAN

Data Awal

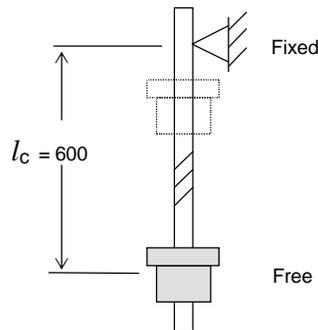
Data awal ini diambil dari pengamatan dan pengukuran pada mesin. Data selengkapnya adalah sebagai berikut:

a. *Ball screw* untuk aksis z bertipe BNF 2806-5 (THK-Japan) dengan :

- o Metoda pemasangan = *Fixed - free*.
- o Koefisien metoda pemasangan (n) = 0,25.
- o Diameter minor poros ulir (d_1) = 25,2 mm.

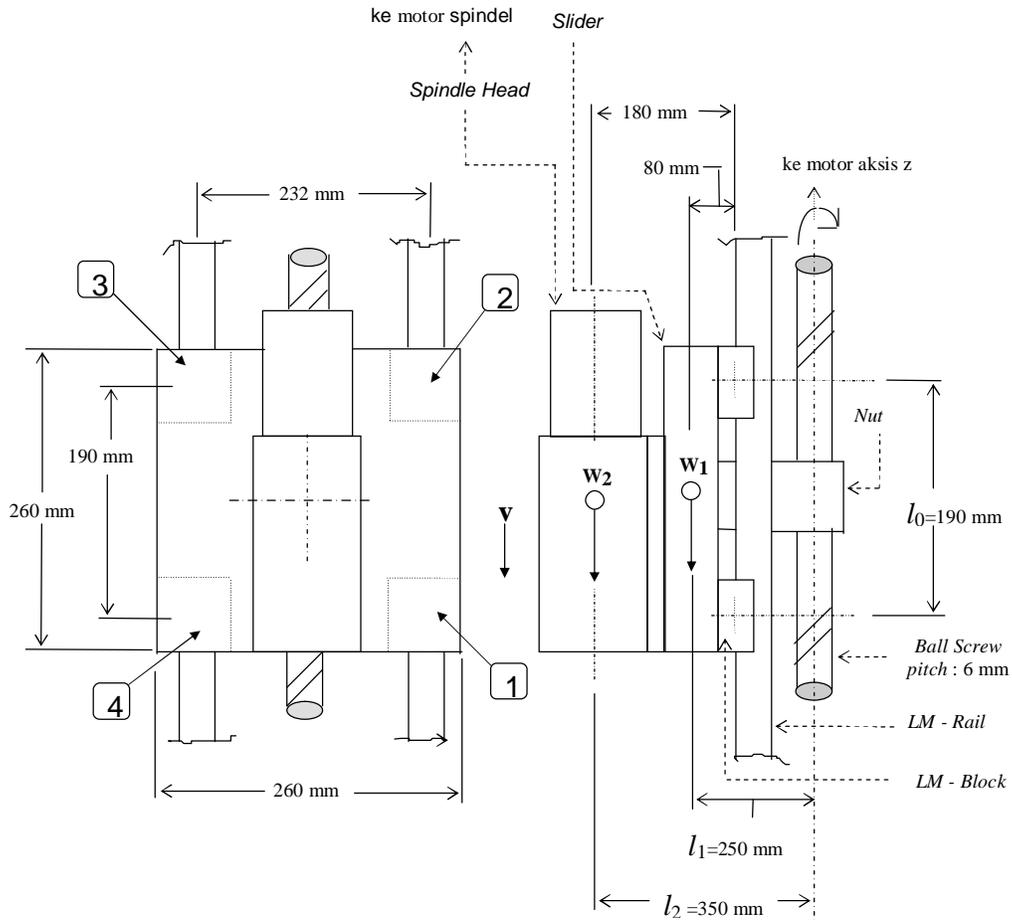
$$I = \frac{\pi \cdot (25,2)^2}{64} = 19785,72 \text{ mm}^4$$

- o Jarak kritis (l_c) = 600 mm.
- o Modulus elastisitas bahan (E) = $21 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$.



Gambar 5. **Pemasangan *Ball Screw* Aksis Z**

- b. Gaya potong arah aksis z (F_z) pada zona operasi tak kontinu (10 menit) = 4700 N dan pada zona operasi kontinu 1364 N.
- c. Konstruksi perangkat mekanik aksis z dapat dilihat pada gambar 6 berikut ini:



Gambar 6. Perangkat Mekanik Aksis Z.

Keterangan :

$$m_1 = 25 \text{ kg} / W_1 = 245 \text{ N.}$$

$$m_2 = 60 \text{ kg} / W_2 = 587 \text{ N.}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2.$$

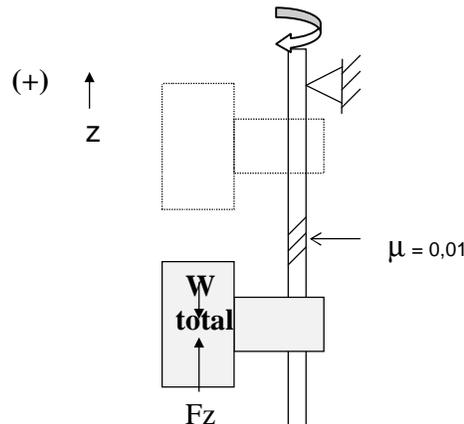
Perhitungan Beban

Beban tekan-aksial yang diizinkan (P_{ca}) untuk untuk *ball screw* tipe BNF 2806-5 dengan metoda pemasangan seperti di atas ialah :

$$P_{ca} = \frac{n \cdot p^2 \cdot E \cdot I}{lc^2}$$

$$P_{ca} = \frac{0,25 \cdot p^2 \cdot (21 \times 10^4 \text{ N/mm}^2) \cdot (19785,72 \text{ mm}^4)}{(600 \text{ mm})^2} \times 70\% = 19.914 \text{ N}$$

Pada saat pemotongan berlangsung, *ball screw* aksis z akan menerima beban tekan-aksial aktual ($P_{c_{aktual}}$) sebagai berikut :



$$\begin{aligned} W_{total} &= W_1 (\text{slider}) + W_2 (\text{spindle head}) \\ &= (245+587) \text{ N} \\ &= 832 \text{ N} \end{aligned}$$

Gambar 7. **Beban Tekan-Aksial Aktual ($P_{c_{aktual}}$)**

Berat W_{total} menyebabkan beban tarik pada *ball screw*. Pada saat pemotongan berlangsung (proses *face milling*), muncul gaya aksial F_z yang arahnya berlawanan terhadap arah W_{total} . Sehingga beban tekan-aksial aktual :

$$P_{c_{aktual}} = (F_z - W_{total}) \quad [\text{N}].$$

- o Operasi 10 menit :

$$P_{c_{aktual}} = (4700 - 832) \text{ N} = 3868 \text{ N}$$

- o Operasi kontinu :

$$P_{c_{aktual}} = (1364 - 832) \text{ N} = 532 \text{ N}.$$

Saat bekerja pada zona operasi 10 menit (kritis) ; $P_{c_{aktual}} < P_{ca} = 3868 < 19.914 \text{ N}$. Ini menandakan bahwa *ball screw* tersebut masih tetap aman, meskipun dioperasikan pada zona operasi 10 menit (pemotongan maksimum). Sehingga berdasarkan perhitungan ini diputuskan untuk tetap menggunakan *ball screw* tipe **BNF 2806-5** untuk aksis z.

Perhitungan Umur Nominal

Umur nominal *ball screw* adalah waktu yang diperlukan perangkat mekanik tersebut untuk tetap dapat melakukan operasi dalam keadaan optimal sesuai spesifikasi. Umur pemakaian nominal dapat direpresentasikan dalam jumlah putaran. Apabila umur nominal nsudah terlampaui, maka prestasi ball screw mulai menurun secara signifikan.

Sehingga umur nominal *ball screw* tipe BNF 2806-5 untuk aksis z dapat dihitung sebagai berikut:

$$L_r = \left(\frac{C_a \cdot 9,81}{f_w \cdot P_{c_{\text{aktual}}}} \right)^3 \times 10^6 \quad [\text{putaran}]$$

dengan :

$C_a = 1790$ kg (beban dinamik).

$f_w = 2$ (faktor koreksi beban untuk mengantisipasi gerakan dengan hentakan)

- o Bila digunakan pada zona operasi 10 menit dengan $P_{c_{\text{aktual}}} = 3868$ N :

$$L_r = \left(\frac{1790 \cdot 9,81}{2 \cdot 3868} \right)^3 \times 10^6 = 11,69 \times 10^6 \text{ putaran}$$

- o Bila digunakan pada zona operasi kontinu :

$$L_r = \left(\frac{1790 \cdot 9,81}{2 \cdot 532} \right)^3 \times 10^6 = 4,49 \times 10^9 \text{ putaran}$$

SIMPULAN

Dari pembahasan ini dapat diambil beberapa hal sebagai kesimpulan, antara lain :

- a. Transmisi ulir jenis *ball screw* dirancang untuk penggerak mekanisme meja (*table*) atau kepala mesin (*head*) pada mesin perkakas NC.
- b. Karakteristik positif yang dipunyai *ball screw* mampu mengakomodasi tuntutan yang tinggi pada mesin perkakas NC, seperti pemosisian yang tinggi, akselerasi gerak translasi linier yang tinggi dan vibrasi yang rendah.
- c. *Ball screw* hanya didisain untuk menahan beban aksial murni baik tekan atau tarik. Pembebanan pada saat operasi tidak boleh melebihi beban kritisnya yang akhirnya dapat menyebabkan tekukan atau *buckling*.
- d. *Ball screw* tipe BNF 2806-5 masih cukup aman digunakan pada *vertical machining center PINDAD-FANUC MC 07-PF*, walaupun dioperasikan pada kondisi kritis sekalipun dengan :
 - o $P_{c_{\text{aktual}}} < P_{ca} = 3868 < 19.914$ N
 - o $L_r = 4,49 \times 10^9$ putaran.

DAFTAR PUSTAKA

-, 1988, *Cutting, Mechanics*, Festo Didactic, Federal German Institute for Vocational Training Research (BBF).
-, *Linear Motion System*, Catalog No. 75-IBE-2, THk Co., LTD Tokyo Japan.
-, 1980, *Machining Data Handbook*, Metcut Research Associates, Inc, 3rd Edition.
-, *Parts Manual*, Main Spindle, Fanuc Tape Drill, Mate Jr, Model T.
- Niemann, Gustav, 1990, *Elemen Mesin, Desain dan Kalkulasi dari Sambungan, Bantalan dan Poros*, Jilid I, Edisi ke Dua, Penerbit Erlangga,.