

RANCANG BANGUN SUMBU Z PADA PROTOTIPE CNC SANDING SURFACE 3 AXIS DENGAN CONTROLER CNC & SOFTWARE MACH3

Eko prasetyo¹, Sigit Widiyanto²

¹Mahasiswa STT Duta Bangsa, ²Dosen STT Duta Bangsa Cikarang Utara, Bekasi
Ekop66108@gmail.com; widiyantosigit997@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini membahas tentang “RANCANG BANGUN SUMBU Z PADA CNC SANDING SURFACE 3 AXIS DENGAN CONTROLER CNC & SOFTWARE MACH3”. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan presisi dan akurasi pada pengoperasian sumbu Z, yang sangat penting dalam proses pemesinan permukaan. Rancang bangun ini melibatkan perancangan mekanik, pemilihan komponen, dan implementasi kontroler berbasis *Software Mach3*.

Perhitungan dilakukan untuk menentukan spesifikasi motor penggerak sumbu Z, termasuk torsi dan kecepatan yang dibutuhkan. Dengan beban maksimum 3 kg, perhitungan menunjukkan bahwa torsi minimum yang dibutuhkan adalah 0,0009 Nm. Pemilihan motor stepper dengan torsi 0,0017 Nm dan resolusi 60 Putaran per menit memastikan pergerakan yang halus dan presisi. Sistem ini diuji dengan variasi kecepatan antara 10 hingga 100 mm/menit, dan hasil pengukuran menunjukkan deviasi posisi kurang dari 0,02 mm, yang memenuhi standar toleransi dalam aplikasi pemesinan presisi tinggi.

Implementasi kontroler *Mach3* memungkinkan integrasi yang mudah dengan perangkat keras dan menawarkan fleksibilitas dalam pengaturan parameter operasional. Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa rancang bangun sumbu Z ini mampu beroperasi dengan stabil dan akurat, memberikan peningkatan kualitas hasil pemesinan pada mesin CNC 3 axis.

Kata kunci : *z axis, Autocad, Mastercam, Mach3, dan pemograman*

I. PENDAHULUAN

Pada saat ini perkembangan ilmu Pengetahuan dan Teknologi sangat berkembang dengan pesat seiring dengan proses globalisasi dalam segala bidang, ini juga merambah dunia industri, sehingga dapat di butuhkan temuan – temuan inovatif yang dapat mendukung perkembangan industri tersebut yang dapat berupa teori – teori ataupun berupa alat – alat, Temuan tersebut tentu harus sudah melalui proses banyak penelitian dan percobaan untuk menghasilkan efesiensi yang besar, sebagai contoh dari kemajuan tersebut, mesin-mesin produksi atau mesin-mesin perkakas sudah banyak menggunakan teknologi berbasis komputer seperti mesin bor, mesin pemotong dan mesin gerinda.

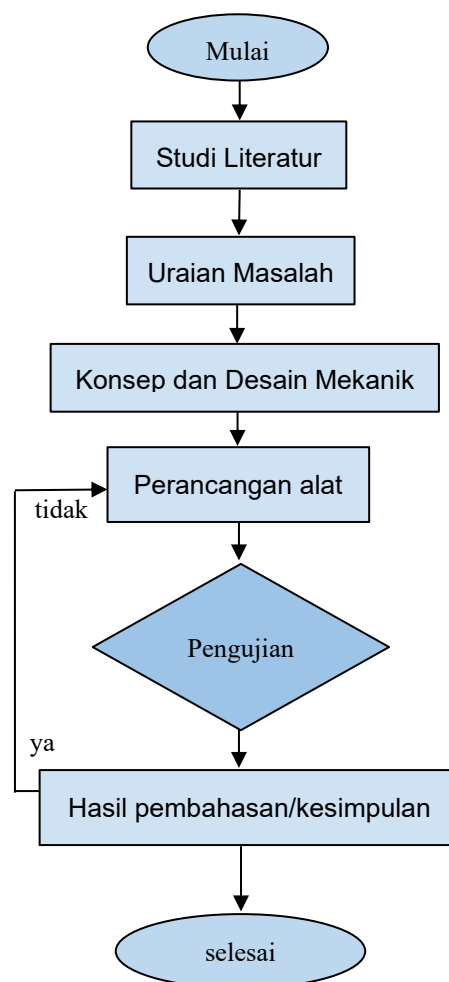
Untuk saat ini dalam industri Manufacture sudah menerapkan mesin-mesin dengan kemampuan operassional 3 axis bahkan 5 axis pergerakan.dan saat ini di lab Sekolah Tinggi Teknologi memiliki mesin CNC Sanding surface 2 axis jadi hanya bisa digunakan untuk permukaan yang rata saja dan tidak adanya sumbu Z axis karena keterbatasan perancang/ Pembuat saat itu.

Melihat kondisi tersebut untuk penambahan sumbu Z axis sehingga pengamplasan lebih oktimal karena bisa

melakukan mengamplasan dengan benda kerja yang tidak rata,bergelombang dan tidak beraturan,karena untuk industri maufacture sekarang penerapan mesin-mesin sudah dibekali minimal 3 axis .

II. METODE

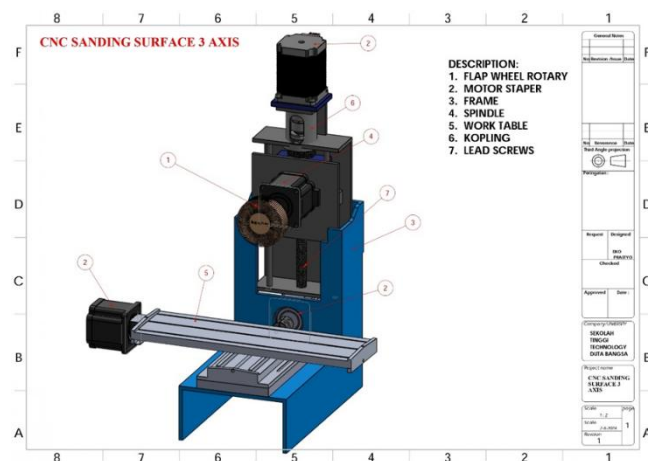
Metode penelitian dapat digambarkan pada diagram alir berikut ini :



III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Desain Mesin

Untuk membuat desain mesin CNC sanding surface 3 axis ini menggunakan aplikasi/software solidwork 2020. Sebagai berikut :



Gambar. 1. Mesin CNC sanding surface 3 axis

B. Bahan Komponen

Adapun bahan komponen yang diperlukan untuk dilakukan perakitan sebagai berikut :

Tabel. 1. Bahan komponen

No	Komponen	Type	Jumlah
1	Power supply	12 volt	1
2	Power supply	5 volt	1
3	Break out board	BOB DB25	1
4	Limit switch	Push limit switch	6
5	Driver motor stepper	TB6600	3
6	Motor stepper	Nema 23	4
7	Push button	Emergency button	1
8	Kabel	Kabel terisolasi	Secukupnya
9	Rangka /frame	Plat	1
10	Pulse width modulation	20 A DC, 1200 watt	1
11	Piot lamp led	Hijau, merah	2

4.1 Menentukan Motor Stepper Pada Spindle

A. Menentukan Inersia dan Torsi Yang Dibutuhkan
Langkah pertama yang perlu dilakukan adalah menentukan kebutuhan inersia dan torsi.
Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

Diketahui :

Keterangan :

- $d_s = 50 \text{ mm}$ - d_s = diameter batu gerinda
- $b_s = 20 \text{ mm}$ - b_s = lebar batu gerinda
- $m_s = 0,1 \text{ kg}$ - m_s = massa batu gerinda
- $n_s = 500 \text{ rpm}$ - = putaran batu gerinda

- $V_{ft} = 20 \text{ mm/s}$ V_{ft} = Kecepatan pemakanan
- $f_r = a = 0,010 \text{ mm/Langkah}$
- $f_a = 2 \text{ mm/langkah}$
- $l_w = 200 \text{ mm}$

1. Kecepatan Periferal / Kecepatan Potong (*Cutting Speed*)

Untuk mengetahui berapa nilai kecepatan perifer/ kecepatan potong maka rumus yang digunakan adalah $V_s = \frac{\pi \times d_s \times n_s}{60000}$

$$V_s = \frac{\pi \times d_s \times n_s}{60000}$$

$$V_s = \frac{3,14 \times 50 \times 500}{60000}$$

$$V_s = \frac{78500}{60000}$$

$$V_s = 1,31 \text{ m/s}$$

2. Kecepatan Penghasilan Geram

a. Pemakanan Melintang (*Traverse Grinding*).

$$Z = a x f_a x U x V_{ft}$$

$$Z = 0,010 \times 2 \times 10 \times 20$$

$$Z = 4 \text{ mm}^2/\text{s}$$

b. Pemakanan Radial (*Plunge Grinding*).

$$Z = a x b_s x V_{ft}$$

$$Z = 0,010 \times 20 \times 20$$

$$Z = 20 \text{ mm}^2/\text{s}$$

3. Tebal Geram Ekuifalen

$$h_{eq} = \frac{Z^l}{V_s}$$

$$h_{eq} = \frac{Z^l}{V_s} = \frac{f_r x V_{ft}}{V_s}$$

$$h_{eq} = \frac{0,010 \times 20}{1,31}$$

$$h_{eq} = 0,15 \text{ } \mu\text{m}$$

1. Menghitung Gaya

a. Gaya Tangensial (per lebar aktif b_s)

$$F'_t = F_1 x h_{eq}^f$$

$$F'_t = 15 x (0,15)^{0,60}$$

$$F'_t = 15 x 0,32$$

$$F'_t = 4,8 \text{ N/mm}$$

b. Gaya Radial / Normal (per leb ar aktif b_s)

$$F'_n = \frac{F_1}{\mu} x h_{eq}^f$$

$$F'_n = \frac{15}{0,32} x (0,15)^{0,60}$$

$$F'_n = 46,87 x 0,32$$

$$F'_n = 15 \text{ N/mm}$$

2. Gaya Potong (*Cutting Force*)

a. Gaya Potong Tangensial

$$F_t = F'_t x f_a$$

$$F_t = 4,8 \times 2$$

$$F_t = 9,6 \text{ N} = 9600 \text{ mN}$$

b. Gaya Potong Radial

$$F_r = F'_r x f_r$$

$$F_r = 15 \times 0,010$$

$$F_r = 0,15 \text{ N} = 150 \text{ mN}$$

4. Inertia Flap wheel rotary

$$J_s = \frac{M_s(D_{s1}^2 + D_{s2}^2)}{8} \times 10^{-6}$$

$$J_s = \frac{0,1(50^2 + 20^2)}{8} \times 10^{-6}$$

$$J_s = \frac{0,1(2500 + 400)}{8} \times 10^{-6}$$

$$J_s = \frac{290}{8} \times 10^{-6}$$

$$J_s = 36,25 \times 10^{-6} \text{ kg.m}^2$$

$$J_s = 36,25 \times 10^{-2} \text{ kg.cm}^2 = 0,3625 \text{ kg.cm}^2$$

5. Torsi Batu Gerinda

$$T_m = (F_t + F_r) x d_s / 2$$

$$T_m = (4,8 + 0,15) \times 50 / 2$$

$$T_m = 4,95 \times 25$$

$$T_m = 123,75 \text{ N.mm} = 12,375 \text{ N.cm}$$

B. Menentukan Tipe Motor Stepper

1. Rotor / inersia dari motor stepper yang dipilih lebih dari 1/30 beban

$$J_m \geq J_s$$

$$J_m \geq \frac{0,36}{30}$$

$$J_m \geq 0,012$$

Dalam penelitian ini sementara model motor stepper yang dipilih adalah TPE23M-71A dengan inersia $J_m = 0,14 \text{ kg.cm}^2$

2. 80% dari tingkat torsi motor stepper yang dipilih lebih dari torsi beban dari nilai konversi poros motor stepper

Torsi dari motor stepper tipe TPE23M-71A yaitu $T_m = 71 \text{ N.cm}$

$$T_m \times 0,8 > T_s$$

$$71 \times 0,8 > 12,375$$

$$56,8 > 12,375$$

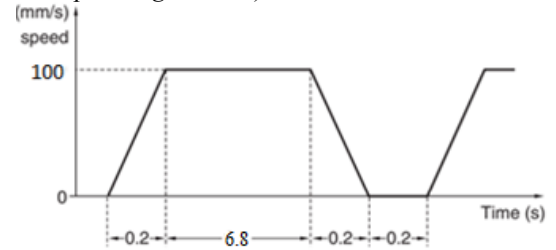
4.2 Menentukan Motor Stepper Pada Meja Melintang (Axis X)

4.2.1 Pemilihan Mesin (*Machinery Selection*)

1. Massa Beban (*Load Mass*) $m_x = 21,5 \text{ Kg}$
2. *Ball Screw Pitch* $P = 10 \text{ mm}$ (referensi dari tabel spesifikasi ballscrew Hiwin)
3. *Ball Screw Diameter* $D = 25 \text{ mm}$ (referensi dari tabel spesifikasi ballscrew Hiwin)
4. Massa Ball Screw (*Ball Screw Mass*) $m_B = 0,5 \text{ Kg}$ (referensi dari tabel spesifikasi ballscrew Hiwin)
5. Koefisien Gesek Ball Screw (*Ball Screw Friction Coefficient*) $\mu = 0.1$

6. Since there is no decelerator, $G = 1, \eta = 1$

4.2.2 Pola Perhitungan Operasi (*Determining Operating Pattern*)



Gambar 4.6 Menentukan Pola Operasi Untuk Axis X

1. Perubahan Satu Kecepatan (*One Speed Change*)
2. *Velocity for a Load Travel* $V_{ft} = 20 \text{ mm/s}$
3. *Strokes* $L = 700 \text{ (mm)}$
4. *Stroke Travel Time* $t_s = 7,2 \text{ (s)}$
5. *Acceleration / Deceleration Time* $t_A = 0,2 \text{ (s)}$
6. *Positioning Accuracy* $A_p = 0,01 \text{ (mm)}$

4.2.3 Perhitungan dari *Shaft Motor* yang dikonversi *Kebeban Inersia* (*Calculation of Motor Shaft Conversion Load Inertia*)

1. Inersia *Ball screw* J_B

$$J_B = \frac{m_B D^2}{8} \times 10^{-6}$$

$$J_B = \frac{0,5 \times 25^2}{8} \times 10^{-6} = 39,06 \times 10^{-6} \text{ kg.m}^2$$

2. Inersia Beban J_W

$$J_w = m_x \left(\frac{P}{2\pi} \right)^2 \times 10^{-6} + J_B$$

$$J_w = 21,5 \left(\frac{10}{2 \times 3,14} \right)^2 \times 10^{-6} + (39,06 \times 10^{-6})$$

$$J_w = 54,18 \times 10^{-6} + (39,06 \times 10^{-6}) = 93,24 \times 10^{-6} \text{ kg.m}^2$$

3. Inersia Beban Dikonversi ke Poros Motor (*Motor shaft conversion Load Inertia*) J_L

$$J_L = G^2 \times (J_w + J_2) + J_1$$

$$J_L = 1^2 \times (93,24 \times 10^{-6} + 0) + 0$$

$$J_L = 93,24 \times 10^{-6} \text{ kg.m}^2$$

4.2.4 Perhitungan Beban Torsi (*Load Torque Calculation*)

1. Torsi Terhadap Torsi Gesekan (*Torque against friction Torque*) T_W

$$T_W = \mu \cdot m_x \cdot g \cdot \frac{P}{2\pi} \times 10^{-3}$$

$$T_W = 0,1 \times 21,5 \times 10 \times \frac{10}{2 \times 3,14} \times 10^{-3} =$$

$$34,23 \times 10^{-3} \text{ N.m}$$

2. *Motor shaft conversion*

Load torque T_L

$$T_L = \frac{G}{\eta} \times T_W$$

$$T_L = \frac{1}{1} \times 34,23 \times 10^{-3} = 34,23 \times 10^{-3} \text{ N.m}$$

4.2.5 Perhitungan Kecepatan Putaran (Calculation of Rotation Speed)

Rotations n-

$$n = \frac{60 \times V_{ft}}{P \times G}$$

$$n = \frac{60 \times 20}{10 \times 1} = 120 \text{ r/min}$$

4.2.6 Pemilihan Motor Sementara (Motor Temporary Selection)

1. Rotor / inersia dari motor stepper yang dipilih lebih dari 1/30 beban

$$J_M \geq \frac{J_L}{30}$$

$$J_M \geq \frac{932,4 \times 10^{-7} \text{ kg.m}^2}{30}$$

$$J_M \geq 31,08 \times 10^{-7} \text{ kg.m}^2$$

$$J_M \geq 31,08 \times 10^{-3} \text{ kg.cm}^2$$

Pemilihan motor stepper sementara yaitu motor stepper model TPE17M-44A ($J_M = 0,0606 \text{ kg.cm}^2 = 60,6 \times 10^{-3} \text{ kg.cm}^2$)

2. 80% dari tingkat torsi motor stepper yang dipilih lebih dari torsi beban dari nilai konversi poros motor stepper

Torsi terukur dari model TPE17M-44A yaitu:

$$T_M = 44 \text{ N.cm} = 0,44 \text{ N.m}$$

$$T_M = 0,44 \times 0,8 > T_L = 34,23 \times 10^{-3} \text{ N.m}$$

$$T_M = 0,352 > T_L = 34,23 \times 10^{-3} \text{ N.m}$$

4.2.7 Perhitungan di Percepatan / Perlambatan Torsi (Calculation of Acceleration / Deceleration Torque)

Acceleration / deceleration Torque T_A

$$T_A = \frac{2 \times \pi \times n}{60 \times t_A} \left(J_M + \frac{J_L}{\eta} \right)$$

$$T_A = \frac{2 \times 3,14 \times 120}{60 \times 0,2} \left(6,06 \times 10^{-6} + \frac{93,24 \times 10^{-6}}{1} \right)$$

$$T_A = 62,8 (99,3 \times 10^{-6})$$

$$T_A = 6236,04 \times 10^{-6} \text{ N.m} = 0,006 \text{ N.m}$$

4.2.8 Perhitungan di Torsi Momen Maksimal, Torsi Efektif (Calculation of Maximal Momentary Torue, Efektive Torque)

1. Requered max, momentary torque is

$$- T_1 = T_A + T_L$$

$$T_1 = 0,006 + 0,034$$

$$T_1 = 0,040 \text{ N.m}$$

$$- T_2 = T_L = 0,034 \text{ N.m}$$

$$- T_3 = T_L - T_A$$

$$T_3 = 0,034 - 0,006$$

$$T_3 = 0,028 \text{ N.m}$$

2. Effective Torque Trms is

$$Trms = \sqrt{\frac{T_1^2 \cdot t_1 + T_2^2 \cdot t_2 + T_3^2 \cdot t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}}$$

$$Trms = \sqrt{\frac{(0,040)^2 \cdot 0,2 + (0,034)^2 \cdot 6,8 + (0,028)^2 \cdot 0,2}{0,2 + 6,8 + 0,2 + 0,2}}$$

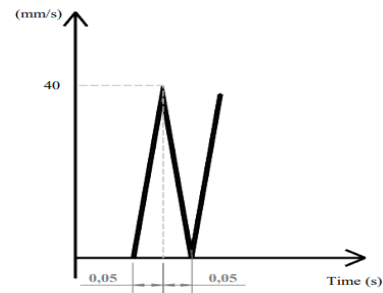
$$Trms = \sqrt{0,00113} = 0,034 \text{ N.m}$$

4.3 Menentukan Motor Servo Pada Rail Tengah (Axis Y)

4.3.1 Pemilihan Mesin (Machinery Selection)

1. Load Mass $m_T = m_x + m_y = 21,5 + 16 = 37,5 \text{ Kg}$
2. Ball Screw Pitch P = 10 mm (referensi dari tabel spesifikasi ballscrew Hiwin)
3. Ball Screw Diameter D = 25 mm (referensi dari tabel spesifikasi ballscrew Hiwin)
4. Ball Screw Mass $m_B = 0,25 \text{ Kg}$ (referensi dari tabel spesifikasi ballscrew Hiwin)
5. Ball Screw Friction Coefficient $\mu = 0.1$
6. Since there is no decelerator, G = 1, $\eta = 1$

4.3.2 Pola Perhitungan Operasi (Determining Operating Pattern)



Gambar 4.8 Menentukan Pola Operasi Untuk Axis Y

1. One Speed Change
2. Velocity for a Load Travel V = 40 (mm/s)
3. Strokes L = 2 (mm)
4. Stroke Travel Time $t_s = 0,1$ (s)
5. Acceleration / Deceleration Time $t_A = 0,05$ (s)
6. Positioning Accuracy $A_p = 0,01$ (mm)

4.3.3 Perhitungan dari shaft motor dikonversi ke beban inersia (Calculation of Motor Shaft Conversion Load Inertia)

1. Inersia Ballscrew J_B

$$J_B = \frac{m_B D^2}{8} \times 10^{-6}$$

$$J_B = \frac{0,5 \times 25^2}{8} \times 10^{-6} = 39,06 \times 10^{-6} \text{ Kg.m}^2$$

2. Inersia Beban J_W

$$J_W = m_T \left(\frac{P}{2\pi} \right)^2 \times 10^{-6} + J_B$$

$$J_W = 37,5 \left(\frac{10}{2 \times 3,14} \right)^2 \times 10^{-6} + (39,06 \times 10^{-6})$$

$$J_W = 94,87 \times 10^{-6} + (39,06 \times 10^{-6}) \\ = 133,93 \times 10^{-6} \text{ Kg.m}^2$$

3. Motor shaft conversion

Load inertia J_L

$$J_L = G^2 \times (J_W + J_2) + J_1$$

$$J_L = 1^2 \times (133,93 \times 10^{-6} + 0) + 0$$

$$J_L = 133,93 \times 10^{-6} \text{ Kg.m}^2$$

4.3.4 Perhitungan Beban Torsi (Load Torque Calculation)

1. Torque against friction

Torque T_W

$$T_W = \mu \cdot m_t \cdot g \cdot \frac{P}{2\pi} \times 10^{-3}$$

$$T_W = 0,1 \times 37,5 \times 10 \times \frac{10}{2 \times 3,14} \times 10^{-3} = 59,71 \times 10^{-3} \text{ N.m}$$

2. Motor shaft conversion

Load torque T_L

$$T_L = \frac{G}{\eta} \times T_W$$

$$T_L = \frac{1}{1} \times 59,71 \times 10^{-3} = 59,71 \times 10^{-3} \text{ N.m}$$

4.3.5 Perhitungan Kecepatan Putaran (Calculation of Rotation Speed)

Rotations n

$$n = \frac{60 \times V}{P \times G}$$

$$n = \frac{60 \times 40}{10 \times 1} = 240 \text{ r/min}$$

4.3.6 Pemilihan Motor Sementara (Motor Temporary Selection)

1. Rotor / inersia dari motor stepper yang dipilih lebih dari 1/30 beban

$$J_M \geq \frac{J_L}{30}$$

$$J_M \geq \frac{1.339,3 \times 10^{-7} \text{ Kg.m}^2}{30}$$

$$J_M \geq 44,64 \times 10^{-7} \text{ Kg.m}^2$$

$$J_M \geq 44,64 \times 10^{-3} \text{ Kg.cm}^2$$

Pemilihan motor stepper sementara yaitu motor stepper model TPE17M-44A ($J_M = 0,0606 \text{ kg.cm}^2 = 60,6 \times 10^{-3} \text{ kg.cm}^2$).

2. 80% dari tingkat torsi motor stepper yang dipilih lebih dari torsi beban dari nilai konversi poros motor stepper

Torsi terukur dari model TPE17M-44A yaitu:

$$T_M = 44 \text{ N.cm} = 0,44 \text{ N.m}$$

$$T_M = 0,44 \times 0,8 > T_L = 59,71 \times 10^{-3} \text{ N.m}$$

$$T_M = 0,352 > T_L = 59,71 \times 10^{-3} \text{ N.m}$$

4.3.7 Perhitungan di Percepatan / Perlambatan Torsi (Calculation of Acceleration / Deceleration Torque)

Acceleration / deceleration Torque T_A

$$T_A = \frac{2\pi \times n}{60 \times t_A} \left(J_M + \frac{J_L}{\eta} \right)$$

$$T_A = \frac{2 \times 3,14 \times 240}{60 \times 0,05} \left(6,06 \times 10^{-6} + \frac{133,93 \times 10^{-6}}{1} \right)$$

$$T_A = 502,4 (139,99 \times 10^{-6})$$

$$T_A = 70.330,97 \times 10^{-6} \text{ N.m} = 0,07 \text{ N.m}$$

4.3.8 Perhitungan di Torsi Momen Maksimal, Torsi Efektif (Calculation of Maximal Momentary Torue, Efektive Torque)

1. Required max, momentary torque is

$$T_1 = T_A + T_L$$

$$T_1 = 0,07 + 0,05$$

$$T_1 = 0,12 \text{ N.m}$$

$$T_2 = T_L - T_A$$

$$T_2 = 0,05 - 0,07$$

$$T_2 = -0,02 \text{ N.m}$$

2. Effective Torque Trms is

$$\text{Trms} = \sqrt{\frac{T_1^2 \cdot t_1 + T_2^2 \cdot t_2}{t_1 + t_2}}$$

$$\text{Trms} = \sqrt{\frac{(0,12)^2 \cdot 0,05 + (-0,02)^2 \cdot 0,05}{0,05 + 0,05}}$$

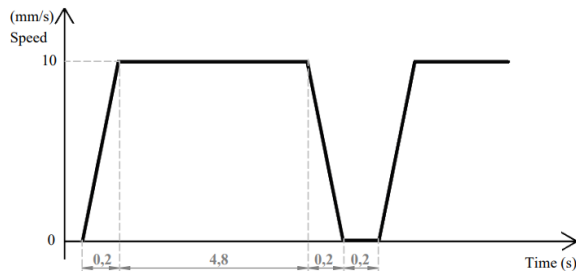
$$\text{Trms} = \sqrt{0,0074} = 0,08 \text{ N.m}$$

4.4 Menentukan Motor Servo Atas (Axis Z)

4.4.1 Pemilihan Mesin (Machinery Selection)

1. Load Mass $m_z = 3 \text{ Kg}$
2. Screw Pitch M18, $P = 2,5 \text{ mm}$ (referensi dari Khurmi & Gupta, *A Texbook of Machine Design*).
3. Screw Diameter M18, $D = 18 \text{ mm}$ (referensi dari Khurmi & Gupta, *A Texbook of Machine Design*).
4. Screw Mass $m_B = 0,5 \text{ Kg}$.
5. Ball Screw Friction Coefficient $\mu = 0,1$
6. Since there is no decelerator, $G = 1$, $\eta = 1$

4.4.2 Pola Perhitungan Operasi (Determining Operating Pattern)



Gambar 4.10 Menentukan Pola Operasi Untuk Axis Z

1. One Speed Change
2. Velocity for a Load Travel $V = 10 \text{ (mm/s)}$
3. Strokes $L = 50 \text{ (mm)}$
4. Stroke Travel Time $t_s = 5,2 \text{ (s)}$
5. Acceleration / Deceleration Time $t_A = 0,2 \text{ (s)}$
6. Positioning Accuracy $A_p = 0,01 \text{ (mm)}$

4.4.3 Perhitungan dari shaft motor dikonversi ke beban inersia (Calculation of Motor Shaft Conversion Load Inertia)

1. Inersia Ballscrew J_B

$$J_B = \frac{m_B D^2}{8} \times 10^{-6}$$

$$J_B = \frac{0,5 \times 18^2}{8} \times 10^{-6} = 20,25 \times 10^{-6} \text{ Kg.m}^2$$

2. Inersia Beban J_W

$$J_W = m_z \left(\frac{P}{2\pi} \right)^2 \times 10^{-6} + J_B$$

$$J_W = 3 \left(\frac{2,5}{2 \times 3,14} \right)^2 \times 10^{-6} + (20,25 \times 10^{-6})$$

$$J_W = 0,47 \times 10^{-6} + (20,25 \times 10^{-6}) = 20,72 \times 10^{-6} \text{ Kg.m}^2$$

3. Motor shaft conversion

Load inertia J_L

$$J_L = G^2 \times (J_W + J_2) + J_1$$

$$J_L = 1^2 \times (20,72 \times 10^{-6} + 0) + 0$$

$$J_L = 20,72 \times 10^{-6} \text{ Kg.m}^2$$

4.4.4 Perhitungan Beban Torsi (Load Torque Calculation)

1. Torque against friction

Torque T_W

$$T_W = \mu \cdot m_z \cdot g \cdot \frac{P}{2\pi} \times 10^{-3}$$

$$T_W = 0,1 \times 3 \times 10 \times \frac{2,5}{2 \times 3,14} \times 10^{-3} = 1,19 \times 10^{-3} \text{ N.m}$$

2. Motor shaft conversion

Load torque T_L

$$T_L = \frac{G}{\eta} \times T_W$$

$$T_L = \frac{1}{1} \times 1,19 \times 10^{-3} = 1,19 \times 10^{-3} \text{ N.m}$$

4.4.5 Perhitungan Kecepatan Putaran (Calculation of Rotation Speed)

Rotations n

$$n = \frac{60 \times V}{P \times G}$$

$$n = \frac{60 \times 10}{10 \times 1} = 60 \text{ r/min}$$

4.4.6 Pemilihan Motor Sementara (Motor Temporary Selection)

1. Rotor / inersia dari motor stepper yang dipilih lebih dari 1/30 beban

$$J_M \geq \frac{J_L}{30}$$

$$J_M \geq \frac{20,72 \times 10^{-6} \text{ Kg.m}^2}{30}$$

$$J_M \geq 0,69 \times 10^{-6} \text{ Kg.m}^2$$

$$J_M \geq 0,69 \times 10^{-2} \text{ Kg.cm}^2$$

$$J_M \geq 6,9 \times 10^{-3} \text{ Kg.cm}^2$$

Pemilihan motor stepper sementara yaitu motor stepper model TPE17M-32A ($J_M = 0,0407 \text{ kg.cm}^2 = 40,7 \times 10^{-3} \text{ kg.cm}^2$).

2. 80% dari tingkat torsi motor stepper yang dipilih lebih dari torsi beban dari nilai konversi poros motor stepper

Torsi terukur dari model TPE17M-32A yaitu:

$$T_M = 32 \text{ N.cm} = 0,32 \text{ N.m}$$

$$T_M = 0,32 \times 0,8 > T_L = 1,19 \times 10^{-3} \text{ N.m}$$

$$T_M = 0,25 > T_L = 1,19 \times 10^{-3} \text{ N.m}$$

4.4.7 Perhitungan di Percepatan / Perlambatan Torsi (Calculation of Acceleration / Deceleration Torque)

Acceleration / deceleration Torque T_A

$$T_A = \frac{2\pi\eta n}{60\omega_A} \left(J_M + \frac{J_L}{\eta} \right)$$

$$T_A = \frac{2\pi \cdot 3,14 \cdot 60}{60 \cdot 0,2} \left(40,7 \times 10^{-7} + \frac{207,2 \times 10^{-7}}{1} \right)$$

$$T_A = 31,4(247,9 \times 10^{-7})$$

$$T_A = 7784,06 \times 10^{-7} \text{ N.m} = 0,0007 \text{ N.m}$$

4.4.8 Perhitungan di Torsi Momen Maksimal, Torsi Efektif (*Calculation of Maximal Momentary Torue, Efektive Torque*)

1. Required max, momentary torque is

$$T_1 = T_A + T_L$$

$$T_1 = 0,0007 + 0,001$$

$$T_1 = 0,0017 \text{ N.m}$$

$$T_2 = T_L = 0,001$$

$$T_3 = T_L - T_A$$

$$T_3 = 0,001 - 0,0007$$

$$T_3 = 0,0003 \text{ N.m}$$

2. Effective Torque Trms is

$$\text{Trms} = \sqrt{\frac{T_1^2 \cdot t_1 + T_2^2 \cdot t_2 + T_3^2 \cdot t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}}$$

$$\text{Trms} = \sqrt{\frac{(0,0017)^2 \cdot 0,2 + (0,001)^2 \cdot 4,8 + (0,0003)^2 \cdot 0,2}{0,2 + 4,8 + 0,2 + 0,2}}$$

$$\text{Trms} = \sqrt{9,99 \times 10^{-7}} = 9,48 \times 10^{-4} \text{ N.m}$$

4.4.9 Hasil Pengujian (*Result of Examination*)

4.5 Tegangan Geser Pada Ulir

Ukuran Ulir yang dipakai untuk naik turun motor gerinda adalah M18x2.5 maka tegangan geser pada ulir dapat dihitung sebagai berikut:

$$\sigma_b = \frac{F_T + W}{A_b}$$

$$\sigma_b = \frac{F_t + F_r + (m \cdot a)}{\frac{\pi}{4} d^2}$$

$$\sigma_b = \frac{13500 + 210 + (3,10)}{\frac{3,14}{4} \cdot 15,5^2}$$

$$\sigma_b = \frac{13740}{188,59}$$

$$\sigma_b = 72,85 \text{ N/mm}^2 = 72,85 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

4.6 Umur Pakai Ballscrew

4.6.1 Ballscrew Pada Axis X

Untuk mengetahui umur pakai ballscrew maka kita perlu mengetahui gaya yang terjadi meja mesin grinding, yaitu:

$$\sum F_T = W_B + F_t + F_r$$

$$\sum F_T = (m_X \cdot g) + F_t + F_r$$

$$\sum F_T = (21,5 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2) + 13,5 \text{ N} + 0,21 \text{ N}$$

$$\sum F_T = 228,71 \text{ N}$$

Maka umur pakai ballscrew dapat dihitung dengan rumus dibawah ini, dimana untuk nilai $C = 1260 \text{ kgf} \times 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 12600 \text{ N}$ (referensi dari tabel 2.3.1) :

$$L = \left(\frac{C}{F_T} \right)^3 \times 10^6$$

$$L = \left(\frac{12600}{228,71} \right)^3 \times 10^6$$

$$L = 167207662000 \text{ ref}$$

$$4644657 \text{ hours}$$

$$L = \frac{\left(\frac{C}{F_T} \right)^3 \times 10^6}{60 \cdot n}$$

$$L = \frac{167207662000}{60 \times 600}$$

$$L = 4644657 \text{ hours}$$

4.6.2 Ballscrew Pada Axis Y

Untuk mengetahui umur pakai ballscrew maka kita perlu mengetahui gaya yang terjadi meja mesin grinding, yaitu:

$$\sum F_T = W_B + F_t + F_r$$

$$\sum F_T = (m_T \cdot g) + F_t + F_r$$

$$\sum F_T = (37,5 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2) + 13,5 \text{ N} + 0,21 \text{ N}$$

$$\sum F_T = 388,71 \text{ N}$$

Maka umur pakai ballscrew dapat dihitung dengan rumus dibawah ini, dimana untuk nilai $C = 1260 \text{ kgf} \times 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 12600 \text{ N}$ (referensi dari tabel 2.3.1) :

$$L = \left(\frac{C}{F_T} \right)^3 \times 10^6$$

$$L = \left(\frac{12600}{388,71} \right)^3 \times 10^6$$

$$L = 34059204200 \text{ ref}$$

$$2365222 \text{ hours}$$

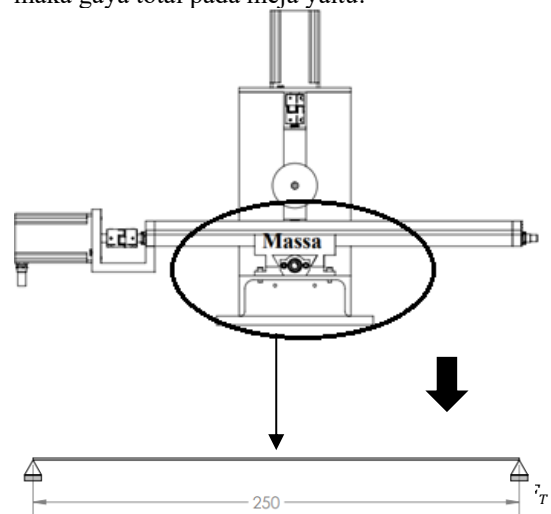
$$L = \frac{\left(\frac{C}{F_T} \right)^3 \times 10^6}{60 \cdot n}$$

$$L = \frac{34059204200}{60 \times 240}$$

$$L = 2365222 \text{ hours}$$

4.7 Table

Untuk mengetahui tegangan bengkok yang terjadi pada meja kita perlu mengetahui gaya total pada meja mesin, maka gaya total pada meja yaitu:



Gambar 4.11 Diagram Benda Kerja Bebas Moment Banding Yang Terjadi Pada Meja Mesin

$$\sum F_T = W_B + F_t + F_r$$

$$\sum F_T = (m_T \cdot g) + F_t + F_r$$

$$\sum F_T = (37,5 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2) + 13,5 \text{ N} + 0,21 \text{ N}$$

$$\sum F_T = 388,71 \text{ N}$$

- a.) Maka momen bengkok (M_b) pada meja yaitu:

$$M_b = F_T \cdot l$$

$$M_b = 388,71 \text{ N} \times 0,25 \text{ m}$$

$$M_b = 97,17 \text{ N.m}$$

- b.) Tegangan izin material

Tabel 4.1 Nilai Faktor Keamanan (Sumber: R.S. Khurmi & J.K. Gupta, *A Textbook of Machine Design*)

Material	Steady load	Live load	Shock load
Cast iron	5 to 6	8 to 12	16 to 20
Wrought iron	4	7	10 to 15
Steel	4	8	12 to 16
Soft materials and alloys	6	9	15
Leather	9	12	15
Timber	7	10 to 15	20

Tabel 4.2 Nilai Modulus Elastisitas Material (Sumber: R.S. Khurmi & J.K. Gupta, *A Textbook of Machine Design*)

Material	Modulus of elasticity (E) in GPa i.e. GN/m ² or kN/mm ²
Steel and Nickel	200 to 220
Wrought iron	190 to 200
Cast iron	100 to 160
Copper	90 to 110
Brass	80 to 90
Aluminium	60 to 80
Timber	10

$$\sigma_a = \frac{E}{S_f} \sigma$$

$$\sigma_a = \frac{200}{6}$$

$$\sigma_a = 33,33 \text{ kN/mm}^2 = 33,33 \times 10^9 \text{ N/m}^2$$

c.) Tegangan Bengkok

$$I_x = \frac{B.H^3 - B_1.H_1^3}{12}$$

$$I_x = \frac{B.H^3 - (B - 2.t_2).(H - t_1)^3}{12}$$

$$I_x = \frac{250 \times 90^3 - (250 - 2 \times 13).(90 - 9)^3}{12}$$

$$I_x = \frac{182250000 - 119042784}{12} = \frac{63207216}{12}$$

$$I_x = 5267268 \text{ mm} = 5267,268 \text{ m}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{I_x}$$

$$\sigma_b = \frac{97,17}{5267,268} = 18,44 \times 10^{-3} \text{ N/m}^2$$

Kesimpulan tegangan bengkok (σ_b) lebih kecil dibandingkan dengan tegangan ijin material (σ_a) yaitu $\sigma_b = 18,44 \times 10^{-3} \text{ N/m}^2 < \sigma_a = 33,33 \times 10^9 \text{ N/m}^2$. Dengan demikian meja mesin cnc grinding dengan menggunakan UNP 125x65 masih dinyatakan aman.

DAFTAR PUSTAKA

1. ZULFIKAR, Zoro; SYAFRI, Syafri. *Proses Produksi Prototipe Mesin CNC Router 3-axis*. 2017. PhD Thesis. Riau University.
2. David Gibbs., Thomas M. Crandell. *Dasar-Dasar Teknik pemrograman CNC*. Bandung : PT. Rosda Jayaputra (1991)
3. G. Takeshi sato, N. Sugiarto hartanto. *Menggambar Mesin Menurut Standart Iso*. 1996)
4. J.J.M. Hagendoorn. *Konstruksi Mesin*. Bandung : Rosdajaya putra., 1989
5. Sularso dan Kiyokatsu suga, "Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin" Jakarta: PT. Pradnya Paramita, 1997
6. R.S. Khurmi and J.K. Gupta, "A Text Book of Machine Design". Ram Nagar. New Delhi: Eurasia Publishing House, 1982
7. *Omron Technical Guide Servo Motor*
8. Marsudi. "Memprogram Mesin CNC dengan Mastercam" Penerbit Informatika, 2009