

PERANCANGAN INNER SERVO MOTOR SPINDLE MESIN MILLING CNC DENGAN DAYA 1,5 KW DAN OUTPUT ARBOR BT40-ER32

Sularman^{1*}, Oky Harry Panuju², Ramdan Pakaya³, Tata Setiawan⁴, Yohan Sanjaya⁵, Iden Danur Basunjaya⁶

^{1,2,3,4,5,6} Teknik Mesin Industri, Politeknik ATMI Surakarta

Jl. Mojo No. 1 Karangasem, Laweyan, Surakarta 57145

*Email: Sularman@atmi.ac.id

Abstrak

Di era perkembangan dunia industri sekarang dituntut untuk mampu berkembang ke arah era yang lebih maju dengan otomasi. Dengan kemajuan teknologi yang ada, Indonesia masih tertinggal jauh. Dalam hal ini, perkakas seperti spindle adalah bagian penting dari mesin perkakas dan sangat dibutuhkan. Karena banyak jenis mesin perkakas yang membutuhkan spindle untuk melakukan pekerjaan manufaktur. Spindle membutuhkan penggerak agar dapat berputar diporosnya. Dalam bidang industri tentunya dibutuhkan efisiensi dalam pengoperasian mesin untuk meminimalkan biaya. Oleh karena itu digunakanlah servo motor supaya menghasilkan efisiensi tinggi dalam mengerakkan spindle. Spindle bermotor adalah salah satu bagian inti dari perkakas mesin berkecepatan tinggi. Desain perancangan dispesifikan untuk edukasi dan pengerjaan material Aluminium, Acrylic, Mild Steel, Carbon Steel dengan depth of cut (DoC) 0,5 mm sampai 2,5 mm dengan arbor maksimal cutter Ø10-25 mm. Dengan daya 1,5 KW mampu berputar kurang lebih 3000 rpm dengan spindle mengalami momen puntir sebesar 4775 N.mm akibat torsi motor dan mampu digunakan untuk cutting force steel 7000 MPa dengan minimal cutter Ø10 mm, maksimal Ø25 mm dan depth of cut (DoC) hingga 2,5 mm, dan lebar pemotongan 25 mm.

Kata kunci: efisiensi tinggi, mesin perkakas, servo motor, spindle, torsi

1. PENDAHULUAN

Kemajuan dalam bidang teknologi yang semakin berkembang merupakan aspek sebuah pengetahuan dan teknologi yang mengharuskan kalangan pendidikan tinggi untuk dapat meningkatkan kemampuan dalam penguasaan teknologi. Kemajuan teknologi yang ada di Indonesia masih tertinggal jauh, karena di Indonesia masih kurang akan produksi mesin-mesin perkakas dan alat-alat perkakas. Banyaknya produsen berbanding terbalik dengan banyaknya distributor mesin-mesin perkakas dan alat-alat perkakas industri. Bagian utama dari mesin perkakas adalah *spindle*, maka dari itu *spindle* adalah elemen yang sangat penting dalam mesin perkakas. Kemajuan industri yang sangat pesat dan dengan tuntutan yang besar, harus mampu bersaing pada industri 4.0, seperti pembuatan *spindle* di negara-negara maju sudah mampu membuat dan memproduksi sendiri, tetapi berbeda dengan Indonesia yang justru ditemukan banyak sekali penjual *spindle* yang diimpor dari negara lain.

Ketertinggalan pendidikan di Indonesia dengan negara maju dikarenakan kurangnya penelitian atau dana untuk mengembangkan suatu produk. Penelitian diperlukan untuk membuat suatu *spindle* mesin *milling CNC* dengan *inner servo motor*. Pembuatan desain *servo motor* ditujukan untuk edukasi dengan maksimal pemotongan material *medium carbon steel*. *Spindle* dirancang dengan sistem *pneumatic* sebagai tenaga penggerak *piston* yang mampu menggerakkan *clamping* dan *unclamping* pada *piston spindle*. Karena sistem ini bergerak menggunakan tenaga penggerak udara, maka cara kerja sistem ini adalah tekanan udara menggerakkan sebuah silinder kerja yang kemudian mengubahnya menjadi tenaga mekanik.

2. METODOLOGI

Proses penelitian ini memerlukan beberapa bahan dan peralatan sebagai perlengkapan dalam proses perancangan serta beberapa metode pengumpulan data dan perumusan masalah.

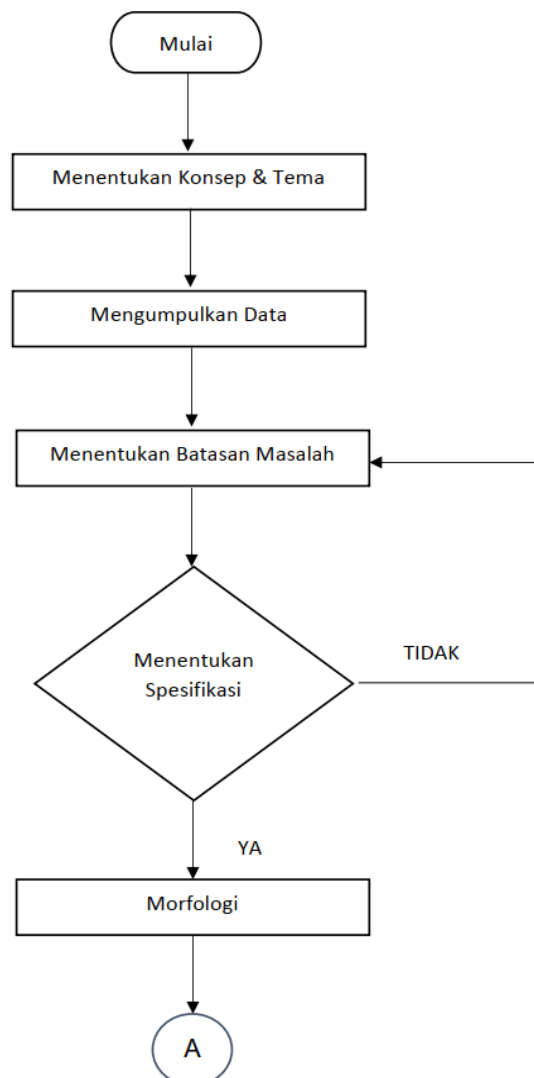
2.1. Metode Penelitian

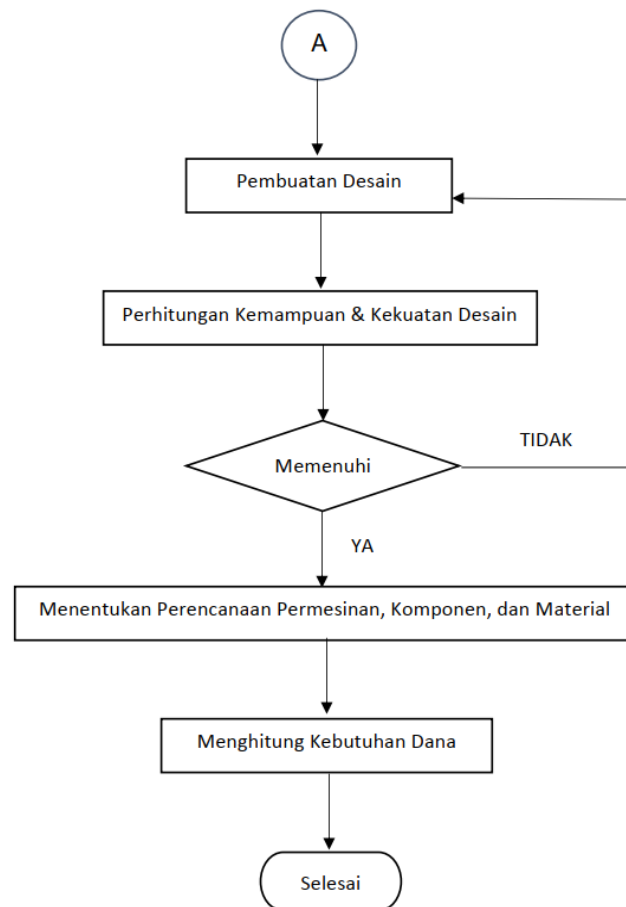
yang mengapitnya, serta satu garis lagi berada pada bagian paling bawah dari isi tabel. Antara tabel dengan teks di bawahnya diberi jarak satu spasi, demikian juga sebelumnya.

Penulisan Metode penelitian pada Perancangan *Inner Servo Motor Spindle* Mesin Milling CNC dengan Daya 1,5 Kw dan *Output Arbor* BT 40-ER32 menggunakan analisa dari metode penelitian kuantitatif yang didahului dengan metode penelitian kualitatif. Alur pengerjaan dimulai urutan proses *flowchart* mempertimbangkan unsur-unsur penelitian yang dibahas secara kualitatif untuk kemudian diubah menjadi kuantitatif dengan melibatkan *scoring* pada morfologi desain, memperhitungkan kekuatan desain, dan memperhitungkan anggaran pada desain.

2.2. Proses Penelitian

Metode pengerjaan dilakukan dengan beberapa tahapan yang ditunjukkan pada *flowchart* di gambar 1.





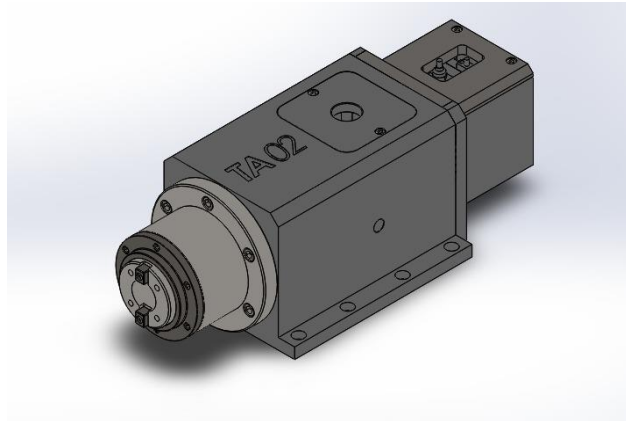
Gambar 1. Flowchart Proses Penelitian

2.3. Penentuan Matriks Kebutuhan

Matriks kebutuhan didasarkan pada kebutuhan yang menjadi dasar perakitan suatu desain. Pemilihan alat dan bahan menjadi pertimbangan perancangan desain *spindle*.

2.3.1 Pemilihan Alat dan Bahan

- 1) Motor penggerak menggunakan *motor servo* AC 1,5 Kw.
- 2) Poros dibuat dengan bahan VCL 140.
- 3) *Housing* dibuat dengan bahan VCL 140.
- 4) *Cover Luar* dibuat dengan bahan St. 60.
- 5) *Motor Base/Flange* dibuat dengan bahan St. 60.
- 6) Penghubung dengan kopling dibuat dengan bahan Aluminium.
- 7) *Collet type* menggunakan ER32.
- 8) *Arbor type* menggunakan *Collet Arbor* BT40.
- 9) Pengujian menggunakan *Software Solidwork*.
- 10) Pembuatan desain menggunakan *Solidwork*.



Gambar 2. Assembly Desain Spindle Inner Servo Motor Mesin Milling CNC

3. Hasil dan Pembahasan

Perhitungan dilakukan untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan kapasitas desain yang akan di buat, sehingga menghasilkan desain yang kuat.

3.1. Perhitungan Spesifikasi Motor

Motor digunakan sebagai penggerak. Perhitungan spesifikasi motor digunakan untuk mendapatkan daya motor sebagai penggeraknya.

3.1.1 Perhitungan Daya Motor Pada DOC 2,5 mm

Untuk mengerjakan material S45C dengan diameter HSS *End Mill Cutter Roughing* sebesar 16 mm, diketahui angka putaran (n) = 500 rpm dengan *feeding* 45 mm/min.

$$v = \frac{\pi \times dx \times n}{60} \text{ m/s}$$

$$v = \frac{\pi \times (16 \times 10^{-3}) \times 500}{60} \text{ m/s}$$

$$v = 25,133 \text{ m/menit}$$

Untuk mengerjakan material S45C dengan diameter HSS *End Mill Cutter Roughing* sebesar 16 mm, dan angka putaran (n) = 500 rpm diketahui $f = 45$ mm/min. Untuk mencari luasan dari suatu *chip* dengan dalamnya pemakanan 2,5 mm dan *feeding* sebesar 0,75 mm/rev, maka:

$$ap = \frac{A}{f}$$

$$2,5 \text{ mm} = \frac{A}{0,75}$$

$$A = 1,875 \text{ mm}^2/\text{min}$$

$$Kc1_1 = 1450 \text{ N}, Vc = 10 \dots 30, C1 = 1,3 \text{ Faktor } C2 \text{ Milling} = 0,8$$

$$kc = \frac{kc1_1}{h^{mc}} \times C1 \times C2$$

$$kc = \frac{1450}{0,5^{0,27}} \times 1,3 \times 0,8$$

$$kc = 1748,421 \times 1,3 \times 0,8$$

$$kc = 1818,358 \text{ N/mm}^2$$

Dari perhitungan gaya potong (kc) material S45C dan luasan potong *chip* (A) diperoleh $kc = 1818,358 \text{ N/mm}^2$ dan $A = 1,875 \text{ mm}^2$.

$$F_{cz} = A \times kc$$

$$F_{cz} = 1,875 \text{ mm}^2/\text{min} \times 1818,358 \text{ N}/\text{mm}^2$$

$$F_{cz} = 3409,422 \text{ N}/\text{min}$$

Hasil perhitungan diperoleh gaya potong setiap mata potong sebesar 678,884 N/min, maka:

$$F_c = 2 \times F_{cz}$$

$$F_c = 2 \times 3409,422 \text{ N}/\text{min}$$

$$F_c = 6818,843 \text{ N}/\text{min}$$

Dengan gaya potong yang dihasilkan 6818,843 N/min, kecepatan potong 25,133 m/mnt, dan satuan dijadikan menit, maka:

$$P_c = \frac{F_c \times v_c}{2 \times 60}$$

$$P_c = \frac{6818,843 \frac{\text{N}}{\text{min}} \times 25,133 \frac{\text{m}}{\text{menit}}}{2 \times 60} \text{ Nm}/\text{s}$$

$$P_c = \frac{171377,981}{2 \times 60} \text{ Nm}/\text{s}$$

$$P_c = \frac{171377,981}{120} \text{ Nm}/\text{s}$$

$$P_c = 1427,412 \text{ W (roughing)}$$

$$P_c = 1,427 \text{ kW (roughing)}$$

Jadi, motor servo membutuhkan daya 1,5 Kw untuk melakukan proses pemotongan dengan *Depth of Cut* 2,5 mm

3.1.2 Perhitungan Daya Motor Pada DOC 1,5 mm

Untuk mengerjakan material S45C dengan diameter HSS *End Mill Cutter Finishing* sebesar 16 mm, diketahui angka putaran (n) = 500 rpm dengan *feeding* 125 mm/min.

$$v = \frac{\pi \times d \times n}{60} \text{ m}/\text{s} \quad (7)$$

$$v = 25,133 \text{ m}/\text{menit}$$

Untuk mencari luasan dari suatu *chip* dengan dalamnya pemakanan 1 mm dan *feeding* sebesar 125 mm/min atau 2,083 mm/rev, maka:

$$ap = \frac{A}{f}$$

$$1 \text{ mm} = \frac{A}{2,083}$$

$$A = 2,083 \text{ mm}^2/\text{min}$$

Gaya potong spesifik untuk material S45C dengan tebal 1 mm dan diambil $C_1 = 1,3$; $C_2 = 0,8$ diperoleh angka sebagai berikut:

$$kc = \frac{kc_{1-1}}{h^{mc}} \times C_1 \times C_2$$

$$kc = \frac{1450}{1^{0.27}} \times 1,3 \times 0,8$$

$$kc = 1508 \text{ N}/\text{mm}^2$$

Dari perhitungan gaya potong (kc) material S45C dan luasan potong chip (A) diperoleh $kc = 1508 \text{ N}/\text{mm}^2$ dan $A = 2,083 \text{ mm}^2$

$$F_{cz} = A \times k_c$$

$$F_{cz} = 2,083 \text{ mm}^2 \times 1508 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{cz} = 3141,164 \text{ N}$$

Hasil perhitungan diperoleh gaya potong setiap mata potong sebesar 181,0358 Newton, maka:

$$F_c = 2 \times F_{cz}$$

$$F_c = 2 \times 3141,164 \text{ N}$$

$$F_c = 6282,328 \text{ N}$$

Dengan gaya potong yang dihasilkan 6282,328 N/min, kecepatan potong 25,133 m/mnt, dan satuan dijadikan menit, maka:

$$P_c = \frac{F_c \times v_c}{2 \times 60}$$

$$P_c = \frac{6282,328 \frac{\text{N}}{\text{min}} \times 25,133 \text{ m/menit}}{2 \times 60} \text{ N}$$

$$P_c = \frac{157893,7496}{120} \text{ Nm/s}$$

$$P_c = 1315,781 \text{ W (finishing)}$$

3.2. Perhitungan Poros

Poros *spindle* digunakan untuk tempat *arbor* dan merupakan bagian yang sangat utama. *Spindle* poros merupakan poros yang menanggung beban paling besar (kritis). Selain itu poros *spindle* mengalami momen puntir 4,775 N.mm akibat torsi motor. Material dari poros *spindle* adalah VCL140 dengan properti sebagai berikut: $\sigma_b = 1300 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_{bw} = 540 \text{ N/mm}^2$, $\tau_{sch} = 630 \text{ N/mm}^2$ (padanan material VCL150 adalah 42 CrMo 4). Dengan Perhitungan poros berlubang didapatkan nilai $M_t = 28650 \text{ N.mm}$, $R_A = 11.760 \text{ N}$, $R_B = -4760 \text{ N}$, $m_{bmax} = 238000 \text{ N.mm}$, $\alpha_0 = 0,5$ $M_v = 238321,109 \text{ N.mm}$ sehingga dinding berlubang didapatkan nilai diameter dalam minimal adalah 39,26 mm dibulatkan menjadi 40 mm. Maka 40 mm merupakan diameter minimal untuk lubang yang didapat dengan hitungan M_v (momen *virtual* yang sangat kecil, karena *arbor* BT40-ER32 dengan ukuran $\varnothing 40 \text{ mm}$, maka masih memungkinkan bahwa lubang dibuat $\varnothing 40 \text{ mm}$ dengan penipisan dinding 10 mm persisi.

3.3. Perhitungan Bearing

Bearing = SKF 7212 (\varnothing luar = 110 mm; \varnothing dalam 60 mm; B (tebal) = 22 mm; C (dinamik) = 57,2 kN; C_0 (statik) = 45,5 kN.

Bearing SKF dengan susunan O menggunakan *type single row*, dengan nilai $e = 0,68$ pada katalog *calculation factors for bearing* SKF dan memiliki nilai gaya radial = 7000 N dan nilai gaya aksial = 7000 N.

$$\frac{F_a}{F_r} > e$$

$$\frac{7000 \text{ N}}{7000 \text{ N}} > 0,68$$

$$1 > 0,68$$

$$P = x \cdot F_r + y_2 \cdot F_a$$

$$P = 0,67 \cdot 7000 + 1,41 \cdot 7000$$

$$P = 4690 \text{ N} + 9870 \text{ N}$$

$$P = 14560 \text{ N}$$

Maka masa pakai bearing adalah:

$$L_h = \left(\frac{C}{p}\right)^q = \frac{L_h \cdot n \cdot 60}{10^6}$$

$$L_h = \left(\frac{57,2}{14,56}\right)^3 = \frac{10^6}{500 \cdot 60}$$

$$L_h = 13952,3 \text{ jam}$$

Jadi, *bearing* dengan susunan *type 0* memiliki masa pakai 13952,3 jam, masa pakai *bearing* meningkat bila diberikan suatu pelumasan.

3.4. Perhitungan Momen Puntir

Momen puntir torsi pada rpm 500 adalah $M_t = 28650 \text{ N.mm}$, momen inersia polar $202.500.000 \text{ mm}^2$, sudut puntir = $0,00218^\circ$, sudut massa = $0,0375$, rpm kehalusan yang di hindari = $4174,2425$. Maka, untuk menghasilkan kontur dengan kehalusan N6, operator harus menghindari pemakaian pada $2000-4174,225 \text{ rpm}$ dan kelipatannya.

3.5. Anggaran Biaya

Perancangan *spindle inner servo motor* membutuhkan dana kurang lebih Rp19.780.056,36

4. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian Perancangan *Inner Servo Motor Spindle* Mesin *Milling CNC* dengan Daya 1,5 KW dan *Output Arbor* BT40-ER32:

1. Perancangan *spindle* ditujukan untuk edukasi dengan maksimal pemotongan material *medium carbon steel*.
2. Pemakanan pada proses pemotongan untuk *roughing* 2,5 mm dan *finishing* 1 mm.
3. *Spindle* menggunakan diameter poros berlubang dengan hasil perhitungan diameter dalam 45 mm referensi *Arbor* BT40-ER32.
4. *Spindle* menggunakan *Angular Contact Bearing* dengan tipe 7012 dan 7010.

4.2. Saran

Dari kesimpulan yang diperoleh, saran untuk pengembangan Perancangan *Inner Servo Motor Spindle* Mesin *Milling CNC* dengan Daya 1,5 KW dan *Output Arbor* BT40-ER32 adalah sebagai berikut:

1. Mesin *milling* sebaiknya memiliki *base* yang kuat agar dalamnya pemotongan maksimal dapat tercapai.
2. Proses permesinan sebaiknya menggunakan mesin yang presisi dikarenakan tingkat toleransi yang sangat tinggi dan presisi.

DAFTAR PUSTAKA

- Jeng-Shyong Chen Wei-Yao Hsu., 2003, *Characterizations and models for the thermal growth of a motorized high speed spindle. International Journal of Machine Tools & Manufacture* 43 116-1170. National Chung-Cheng University: Taiwan
- Royandi Aditya Muhammad, Effendi Apriana Iman., 2016, *Perancangan Sistem Transmisi Spindle Mesin Bubut PMSPICCO 450 Menggunakan Mekanisme Continuously Variable Transmission dengan Pendekatan Metode Retrofit*. Jakarta: Seminar Sains
- Deping Liu, Hang Zhang, Zheng Tao and YufengSU., 2011, *Finite Element Analysis of High-Speed Motorized Spindle Based on ANSYS. School of Mechanical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001: China*
- Rachmat Asep, S.T., M.T., Rumaha Ade, S.T., 2014, *Perancangan dan Pembuatan Alat Uji Motor Listrik Induksi AC 3 Fasa Menggunakan Dinaometer Tali (Rope Brake Dynamometer)*. Majalengka: Jurnal J-ENSITEC

- Syath Abuthakeer. S 1, Abuthakeer. S 1, Mohanram P.V 1, Mohan Kumar, *Design and analysis of high-speed motorized spindle. Department of Mechanical Engineering, PSG College of Technology, Coimbatore Park College of Engineering and Technology: Coimbatore*
- Vinoth, S., Azhagu Murugan, T. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) Design and Analysis of High Speed Motorized Spindle. Mahendra College: India*
- Sudibyoy, B. Ing. HTL. *Bantalan Gelinding. Politeknik ATMI. Surakarta: ATMI PRESS Solo*
- Sudibyoy, B. Ing. HTL. *Kekuatan dan Tegangan Ijin. Politeknik ATMI. Surakarta: ATMI PRESS Solo*
- Sudibyoy, B. Ing. HTL. *Poros Penyangga dan Poros Transmisi. Politeknik ATMI. Surakarta: ATMI PRESS Solo*
- Sularso, MSME. Ir., Suga, Kiyokatsu. 1991. *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin. Jakarta: PT. Pradnya Paramita*