

# Perancangan *Attachment* Sumbu A pada Mesin CNC EMCO TU-3A

Rayhan Fadhlhan Utama<sup>1</sup>, Undiana Bambang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung  
Jl. Gegerkalong Hilir, Ciwaruga, Kec. Parongpong, Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat 40559  
E-mail : rayhan.fadhlhan.tpkml7@polban.ac.id

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung  
Jl. Gegerkalong Hilir, Ciwaruga, Kec. Parongpong, Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat 40559  
E-mail : undianabambang@polban.ac.id

## ABSTRAK

Mesin perkakas *Computer Numerically Controlled* (CNC) saat ini menjadi alat yang sangat penting dan banyak digunakan dalam proses manufaktur. Salah satu mesin CNC yang banyak digunakan di Indonesia, terutama dalam bidang pendidikan, adalah mesin *milling* CNC EMCO TU-3A (*3-axis*) buatan EMCO Austria. Namun, karena tidak dapat memproses bentuk benda yang rumit serta tingkat kepresisian yang tidak terkontrol akibat sistem kontrol terbuka, mesin tersebut jarang digunakan sehingga menimbulkan kerugian bagi institusi. Melalui penelitian ini, dirancang alat bantu (*attachment*) sumbu A yang berotasi pada sumbu X untuk mesin CNC EMCO TU-3A sehingga diharapkan kinerja mesin CNC EMCO TU-3A meningkat dan dapat digunakan kembali. Penelitian ini menggunakan metode perancangan Pahl dan Beitz yang dilakukan dalam beberapa tahapan, yaitu merencana, merancang konsep, merancang detail dan dokumentasi. Pada penelitian ini, rancangan alat bantu (*attachment*) sumbu A untuk mesin CNC EMCO TU-3A menggunakan transmisi *cycloid* dan sistem kontrol tertutup (*closed-loop control*) dengan harga produksi Rp.4.680.000. Hasil rancangan *attachment* sumbu A ini memiliki kapasitas benda kerja berdiameter 100 mm x 150 mm, rasio reduksi 25:1, ketelitian rotasi 0.2°, putaran maksimum 40 rpm, serta menggunakan motor *stepper closed-loop* dengan daya 120 Watt.

### Kata Kunci

Mesin *milling* CNC, sumbu A, *attachment*, transmisi *cycloid*, kontrol tertutup

## 1. PENDAHULUAN

Mesin perkakas CNC (*Computer Numerically Controlled*) saat ini menjadi alat yang sangat penting dan banyak digunakan dalam proses manufaktur. Pengerjaan bentuk yang kompleks, tuntutan presisi tinggi dan jumlah produksi yang besar menjadi alasan penting dibutuhkannya mesin perkakas CNC.



Gambar 1. Mesin CNC EMCO TU-3A dan CNC EMCO TU-2A yang tidak terpakai

Salah satu mesin CNC yang banyak digunakan di Indonesia adalah mesin *milling* CNC EMCO TU-3A (*3-axis*) buatan EMCO Austria. Mesin tersebut digunakan oleh lembaga pendidikan sebagai sarana praktikum dan pengembangan riset [1]. Namun, karena hanya memiliki *3-axis* saja dan menggunakan sistem kontrol terbuka [2], mesin tersebut tidak dapat memproses bentuk benda yang rumit seperti roda gigi, serta tingkat kepresisian tidak terkontrol dengan baik sehingga jarang digunakan.

Bahkan pada beberapa institusi, mesin ini hanya disimpan di gudang atau dibuang begitu saja sehingga menimbulkan kerugian bagi institusi tersebut. Oleh karena itu dibutuhkan alat tambahan sehingga dapat memproses bentuk benda yang rumit, serta sistem yang dapat mengontrol kepresisian hasil benda kerja.

Pada tahun 2017, terdapat penelitian mengenai perancangan dan pembuatan sumbu A pada mesin CNC EMCO TU-3A [1]. Penelitian tersebut berfokus pada pengembangan sistem kontrol mesin CNC TU-3A dan modifikasi mesin CNC *3-axis* menjadi mesin CNC *4-axis* sehingga aspek-aspek yang berkaitan dengan perancangan tidak dijelaskan secara detail. Alat tambahan (*attachment*) sumbu ke-4 tersebut dibuat menggunakan spindel dan *chuck* mesin CNC TU-2A yang dimodifikasi sehingga dapat dipasang pada meja mesin CNC TU-3A. Penggunaan spindel dan *chuck* mesin CNC TU-2A ini juga pernah digunakan pada penelitian sebelumnya mengenai rancang bangun mesin CNC *4-axis* [3]. Hasil akhir dari kedua penelitian tersebut lebih berfokus pada akurasi pergerakan sumbu dan akurasi hasil pemotongan benda kerja dengan proses *Computer Aided Manufacture* (CAM).

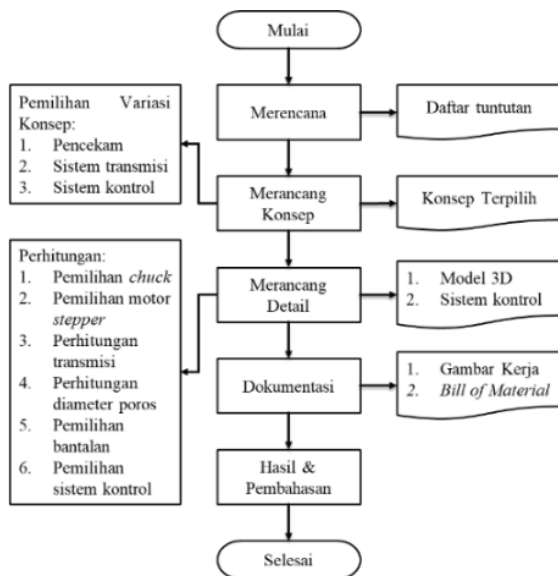
Dalam perancangan mesin CNC *4-axis* terdapat beberapa hal yang perlu dipertimbangkan. Mesin CNC *4-axis* ini sudah pernah dijadikan penelitian dengan berbagai macam tujuan. Wai dan Aung [4] membuat

mesin CNC 4-axis berkapasitas 305 mm x 350 mm x 127 mm dan daya 0,33 HP dengan mempertimbangkan kecepatan spindle, dimensi kerja, dll. Selain itu, disebut juga pentingnya penggunaan *tailstock* jika benda kerja memiliki panjang lebih dari 80 mm. Sementara, Paz dan Americano da Costa [5] membuat mesin CNC 4-axis berkapasitas 235 mm x 235 mm x 250 mm dengan daya 500 Watt yang digunakan untuk pembuatan gigi prostetik. Selain itu, disebutkan juga pentingnya biaya produksi yang rendah untuk mesin CNC agar dapat digunakan dalam berbagai bidang. Seluruh penelitian yang telah disebutkan menggunakan sistem kontrol berbasis perangkat lunak Mach 3 (komputer) yang banyak digunakan dalam mesin CNC buatan.

## 2. METODOLOGI

Berdasarkan kebutuhan pada latar belakang, tujuan pada penelitian ini, adalah membuat rancangan *attachment* sumbu A yang berotasi pada sumbu X untuk mesin CNC EMCO TU-3A dengan mempertimbangkan penggunaan sistem kontrol tertutup (*closed-loop*) sehingga diharapkan kinerja mesin meningkat dan dapat digunakan kembali. Adapun ruang lingkup dari penelitian ini meliputi pembuatan rancangan dimulai dari perencanaan hingga pembuatan gambar kerja. Sementara, batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu sistem kontrol yang digunakan adalah kontroler berbasis perangkat lunak Mach 3 dan penggerak yang digunakan adalah motor *stepper* agar sesuai dengan spesifikasi mesin CNC EMCO TU-3A.

Untuk merancang alat ini, digunakan metode perancangan Pahl dan Beitz yang terdiri dari empat tahapan, yaitu merencana, merancang konsep, merancang detail, dan dokumentasi seperti ditampilkan diagram alir pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penyelesaian penelitian

Tahap merencana meliputi identifikasi masalah berupa kajian terhadap kebutuhan pasar, rancangan yang ada

(mesin CNC TU-3A), dan permintaan pengguna melalui survei/wawancara. Dari kajian-kajian tersebut dihasilkan daftar tuntutan berupa parameter-parameter teknik yang digunakan dalam perancangan.

Tahap merancang konsep dimulai dengan kajian terhadap struktur fungsi untuk menentukan fungsi bagian. Kemudian, fungsi bagian tersebut dicari alternatif solusinya menggunakan tabel morfologi. Setelah didapat beberapa alternatif solusi, dibuat beberapa variasi konsep berupa gambar *sketch* dengan mengkombinasikan setiap alternatif solusi. Variasi konsep tersebut kemudian dievaluasi menggunakan tabel pembobotan dan penilaian bobot-*rating* hingga dihasilkan konsep terpilih.

Tahap merancang detail dimulai dengan perhitungan terhadap gaya potong yang terjadi ketika melakukan pemotongan dengan mesin CNC TU-3A. Gaya potong dihitung berdasarkan daya motor spindle dan kecepatan potong minimum dengan menggunakan Rumus 1 [6].

$$F_c = \frac{60 \cdot P}{v_c} \quad (1)$$

$F_c$  adalah gaya potong (N),  $P$  adalah daya motor spindle (Watt), dan  $v_c$  adalah kecepatan potong minimum (m/min). Berdasarkan gaya potong yang diperoleh, maka dapat dihitung torsi minimum yang diperlukan untuk menggunakan Rumus 2.

$$T = \frac{F_c \cdot D}{2} \quad (2)$$

$T$  adalah torsi yang diperlukan (Nm) dan  $D$  adalah diameter benda kerja maksimum (m). Torsi yang dibutuhkan dijadikan acuan dalam pemilihan komponen standar serta perhitungan dimensi komponen nonstandar seperti poros dan sistem transmisi. Kemudian, geometri dan dimensi yang didapatkan dari hasil perhitungan digambarkan dalam bentuk model tiga dimensi (3D) menggunakan *software* Solidworks 2020. Setelah itu, dilakukan pembuatan sistem kontrol dan kendali berbasis *software* Mach 3, termasuk komponen dan diagram kelistrikan yang digunakan.

Tahap dokumentasi berupa pembuatan gambar kerja dan daftar kebutuhan material (*bill of material*) yang diperoleh dari model 3 dimensi (3D) untuk membantu merealisasikan rancangan.

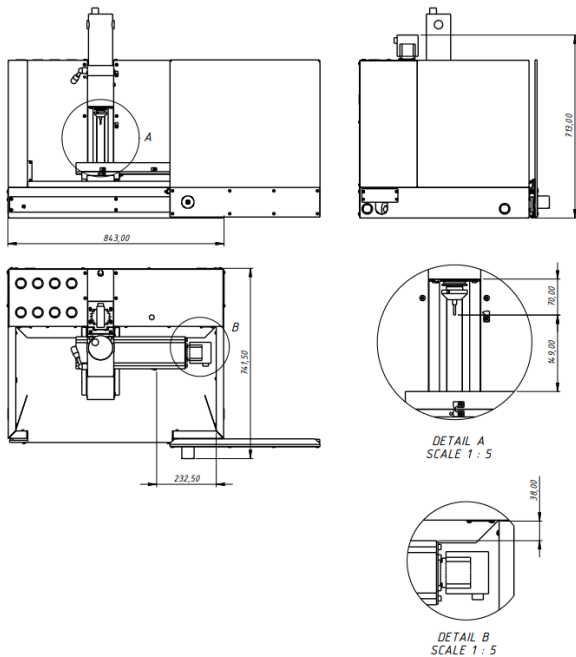
## 3. PROSES DAN HASIL

Berikut ini merupakan proses perancangan yang telah dilakukan beserta hasil dan pembahasannya.

### 3.1 Perencanaan

Kebutuhan dalam merancang *attachment* sumbu A pada mesin CNC EMCO TU-3A perlu diidentifikasi terlebih dahulu. Identifikasi kebutuhan dilakukan dengan metode observasi di lapangan terhadap mesin CNC

EMCO TU-3A dan produk *attachment* sejenis di pasar, serta wawancara terhadap pengguna.



Gambar 3. Dimensi mesin CNC EMCO TU-3A

Berdasarkan hasil observasi, didapat batasan ukuran *attachment* yang dapat ditempatkan pada mesin CNC EMCO TU-3A, yaitu tinggi maksimum 149 mm, panjang maksimum 232 mm, dan jarak dari meja mesin maksimum 35 mm seperti ditampilkan pada Gambar 3. Selain itu, didapat juga spesifikasi mesin CNC EMCO TU-3A seperti dimensi kerja maksimum sebesar 200 mm x 80 mm x 150 mm [2]. Mesin tersebut memiliki daya motor spindel sebesar 440 Watt [2] sehingga gaya pemotongan dapat dihitung menggunakan Rumus 1 dengan asumsi kecepatan potong minimum sebesar 25 m/min [2]. Hasilnya, didapat gaya pemotongan sebesar 1056 N. Berdasarkan hasil perhitungan gaya pemotongan, dapat dihitung torsi yang dibutuhkan *attachment* saat melakukan proses pemotongan menggunakan Rumus 2 dengan asumsi diameter benda kerja maksimum 100 mm. Hasilnya, didapat torsi yang dibutuhkan sebesar 53.25 Nm.

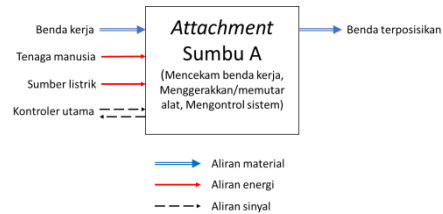
Selain itu, berdasarkan hasil observasi, produk sejenis *attachment* sumbu A di pasar memiliki beberapa kesamaan. Kesamaan tersebut diantaranya menggunakan *chuck* dan *tailstock* sebagai pencekam, serta motor *stepper* sebagai penggerak dengan harga rata-rata Rp.5.000.000 (2021) dan ketelitian rotasi rata-rata 0.3°.

Berdasarkan kajian terhadap mesin tersebut, serta mempertimbangkan produk sejenis di pasar dan hasil wawancara, didapat daftar tuntutan desain sebagai berikut, yaitu tinggi (pencekam) maksimum 149 mm, panjang maksimum 232 mm, jarak dari meja mesin maksimum 35 mm, kapasitas benda kerja berdiameter 100 mm x 150 mm, ketelitian gerakan rotasi  $\leq 1^\circ$ , torsi minimum 53.25 Nm, kompatibel dengan sistem kontrol tertutup (penggunaan *closed-loop stepper motor*) dan

sistem kontrol berbasis komputer (Mach 3), serta biaya produksi maksimum Rp.5.000.000.

### 3.2 Perancangan Konsep

Setelah didapat daftar tuntutan desain, maka dilakukan pembuatan konsep rancangan. Konsep rancangan dibuat berdasarkan pemetaan fungsi utama dengan menggunakan metode *black box* seperti pada Gambar 4.

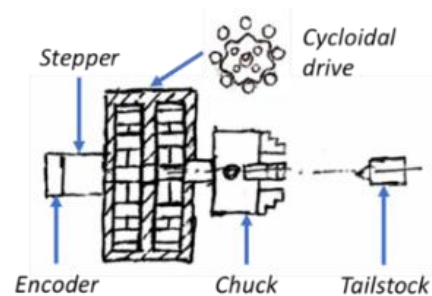


Gambar 4. Pemetaan fungsi utama

*Attachment* sumbu A ini berfungsi untuk memposisikan benda ketika melakukan proses pemotongan pada mesin CNC EMCO TU-3A. Pada penelitian sebelumnya [1], torsi yang dibutuhkan dalam pemotongan tidak dijadikan pertimbangan dalam merancang *attachment*. Pada rancangan alat ini mempertimbangkan torsi yang dibutuhkan dalam pemotongan sebesar 53.25 Nm.

Fungsi utama tersebut terdiri dari beberapa fungsi bagian, yaitu mencekam benda kerja, menggerakkan/memutar alat, dan mengontrol sistem. Fungsi bagian tersebut dibuat tabel morfologi untuk menggambarkan alternatif solusi.

Berdasarkan alternatif solusi tersebut, didapat 3 variasi konsep yang kemudian dinilai berdasarkan beberapa parameter, diantaranya: efektivitas fungsi, kemudahan manufaktur, kemudahan perawatan, dan biaya produksi. Dari hasil penilaian bobot-*rating* terhadap kriteria tersebut, dipilih konsep rancangan dengan nilai tertinggi yaitu 2.67 dari 4 yang ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Konsep terpilih

Rancangan alat ini menggunakan *chuck* dan *tailstock* sebagai pencekam karena kebutuhan benda kerja yang panjang mencapai 150 mm. Menurut Wai & Aung [4], metode pencekaman menggunakan *tailstock* diperlukan jika benda kerja memiliki panjang lebih dari 80 mm. *Attachment* ini juga menggunakan motor *stepper closed-loop* sehingga kompatibel dengan sistem kontrol tertutup. Sistem kontrol tertutup memastikan posisi benda kerja sehingga dapat meningkatkan kepresisian

hasil proses. Selain itu, sistem kontrol tertutup dapat memperingatkan jika terjadi *error* (pisau potong berhenti) sehingga meningkatkan aspek keamanan.

Selain itu, alat ini menggunakan transmisi *cycloid* untuk meningkatkan torsi motor sehingga sesuai dengan kebutuhan. Transmisi *cycloid* memiliki keunggulan dibanding transmisi roda gigi, yaitu *backlash* yang sangat kecil sehingga tidak berpengaruh besar terhadap kontrol posisi. Selain itu, transmisi *cycloid* dapat memiliki rasio reduksi tinggi dengan ukuran yang ringkas. Transmisi ini jarang tersedia di pasar, namun cukup mudah dimanufaktur. Kelemahan transmisi ini adalah banyaknya komponen yang bergesekan sehingga membutuhkan banyak pelumasan.

### 3.3 Perancangan Detail Motor Stepper

Berdasarkan daftar tuntutan desain, diketahui torsi yang dibutuhkan sebesar 53.25 Nm. Sedangkan, berdasarkan ukuran maksimum yang diperbolehkan pada daftar tuntutan, rasio transmisi *cycloid* yang digunakan adalah 25:1 sehingga kebutuhan torsi untuk motor *stepper* adalah 2.13 Nm. Selain itu, mesin CNC EMCO TU-3A menggunakan ukuran motor *stepper* setara NEMA 23. Oleh karena itu, dipilih motor *stepper* NEMA 23 dengan torsi 2.2 Nm.

### 3.4 Perancangan Detail Transmisi Cycloid

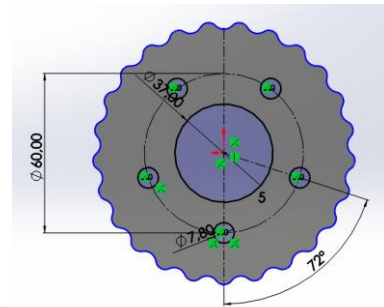
Transmisi *cycloid* yang digunakan memiliki parameter desain awal sebagai berikut, yaitu: rasio reduksi (*i*) 25:1, jumlah gigi *cycloid* ( $z_1$ ) sebanyak 25 gigi, modul (*m*) 4 mm, koefisien radius profil ( $r_c^*$ ) dengan nilai 1, jumlah pin *output* ( $z_w$ ) sebanyak 5 pin, dan radius pin *output* ( $r_2$ ) sebesar 30 mm. Berdasarkan parameter tersebut, dapat dihitung parameter lainnya sehingga didapat ukuran-ukuran yang dibutuhkan dalam rancangan [7]. Parameter-parameter desain yang didapat berdasarkan hasil perhitungan antara lain: koefisien modifikasi profil (*x*) dengan nilai 0.3, diameter *pitch cycloid disc* ( $d_1$ ) sebesar 100 mm, tebal *disc* (*B*) 5 mm, diameter *pitch pin housing* ( $d_2$ ) sebesar 104 mm, diameter pin *housing* ( $d_c$ ) sebesar 8 mm, jarak *center* (eksentrisitas) ( $a_w$ ) sebesar 1.4 mm, diameter pin *output* ( $d_p$ ) sebesar 5 mm, serta diameter lubang pin *output* pada *cycloid disc* ( $d_w$ ) sebesar 7.8 mm.

Pembuatan bentuk profil gigi *cycloid disc* pada *software* Solidworks didasarkan pada Rumus 3 dan 4 sebagai berikut [7].

$$X_W = \frac{m}{2} \left[ (z_1 + 1) \sin \varphi - (1 - x) \sin(z_1 + 1)\varphi + \frac{2r_c[(1-x) \sin(z_1+1)\varphi - \sin \varphi]}{\sqrt{1-2(1-x) \cos z_1 \varphi + (1-x)^2}} \right] \quad (3)$$

$$Y_W = \frac{m}{2} \left[ (z_1 + 1) \cos \varphi - (1 - x) \cos(z_1 + 1)\varphi + \frac{2r_c[(1-x) \cos(z_1+1)\varphi - \cos \varphi]}{\sqrt{1-2(1-x) \cos z_1 \varphi + (1-x)^2}} \right] \quad (4)$$

$X_W$  dan  $Y_W$  adalah titik koordinat profil dengan masukan nilai  $\varphi$  dari 0 hingga  $2\pi$  sehingga terbentuk garis profil seperti pada Gambar 6.

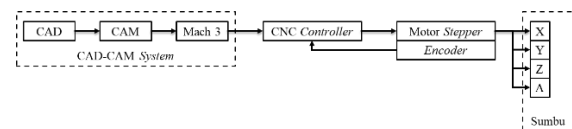


Gambar 6. Profil gigi *cycloid disc* (warna biru)

Transmisi *cycloid* meningkatkan ketelitian putaran *output*. Ketelitian putaran (*pitch*) motor NEMA 23 adalah 1.8° [5]. Sedangkan, transmisi *cycloid* memiliki rasio reduksi 25:1 sehingga ketelitian putaran *output* secara teoritis adalah 0.072°. Namun, berdasarkan hasil pengukuran menggunakan *software* Solidworks untuk mengetahui *clearance* akibat toleransi, diketahui bahwa terdapat kemungkinan penyimpangan posisi sebesar 5.08° pada *input* akibat *backlash*. Oleh karena itu, ketelitian putaran *output* hanya dapat mencapai 0.2° saja.

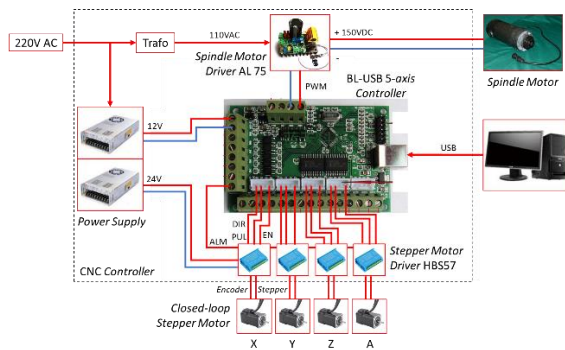
### 3.5 Perancangan Detail Sistem Kontrol

Secara umum, mekanisme sistem kontrol pada rancangan mesin CNC dapat dilihat pada diagram alir berikut.



Gambar 7. Diagram alir mekanisme sistem kontrol mesin CNC 4-axis

Desain gambar 3D dari *software* CAD disimulasikan pada *software* CAM sehingga menghasilkan gerakan pahat potong dalam bentuk *g-code* yang kemudian dimasukkan pada *software* Mach 3. *G-code* pada *software* Mach 3 kemudian diproses dalam CNC *controller* menjadi pergerakan motor *stepper*. Motor *stepper* menggerakkan sumbu yang ada pada mesin CNC sesuai dengan sinyal yang dikirim CNC *controller* yang kemudian mengirimkan umpan balik berupa posisi motor pada CNC *controller* melalui *encoder*.



Gambar 8. Rancangan diagram pengkabelan untuk mesin CNC EMCO TU-3A

Berdasarkan mekanisme sistem kontrol tersebut, dipilih komponen-komponen yang sesuai dengan kebutuhan rancangan serta kebutuhan mesin CNC TU-3A. Diagram pengkabelan untuk mesin CNC TU-3A tersebut dapat dilihat pada Gambar 8. Komponen kelistrikan yang digunakan diantaranya trafo 5 A, spindle motor driver AL75, power supply 12 V dan 24 V, BL-USB 5-axis CNC controller, dan stepper motor driver HBS57. Sementara, komponen kelistrikan untuk rancangan attachment sumbu A ini hanya meliputi stepper motor driver HBS57 sehingga mengurangi biaya dan dapat diaplikasikan pada mesin CNC 3-axis lain yang memiliki sistem kontrol serupa (Mach 3).

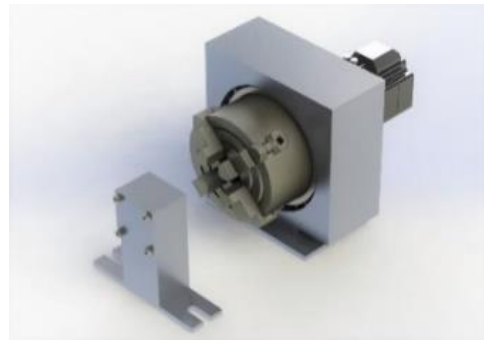
### 3.6 Spesifikasi Alat

Berdasarkan hasil perancangan dan pemodelan 3D, attachment sumbu A ini memiliki spesifikasi seperti disajikan pada Tabel 1.

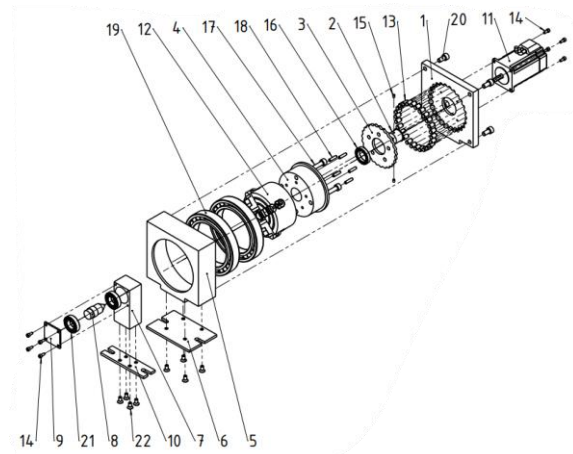
Tabel 1. Spesifikasi alat

|                           |                           |
|---------------------------|---------------------------|
| Dimensi spindel           | 225 mm x 150 mm x 155 mm  |
| Dimensi tailstock         | 59 mm x 125 mm x 102,5 mm |
| Kapasitas                 | Ø 100 mm x 150 mm         |
| Penggerak                 | Motor stepper closed-loop |
| Daya                      | 120 Watt (maksimum)       |
| Rasio reduksi             | 25:1                      |
| Ketelitian rotasi sumbu A | 0.2°                      |
| Putaran maksimum          | 40 rpm                    |
| Sistem kontrol            | Mach 3                    |

Model 3D dan exploded view dari attachment sumbu A ditunjukkan pada Gambar 9 dan 10. Gambar kerja dan exploded view digunakan sebagai acuan dalam pembuatan, perakitan dan perbaikan alat.



Gambar 9. Model 3D attachment sumbu A



Gambar 10. Exploded view attachment sumbu A

### 3.7 Bill of Material

Berdasarkan perhitungan dan pemodelan bentuk 3D pada Gambar 10, maka didapat bill of material alat yang terdiri dari 12 komponen standar dan 10 komponen nonstandar (Tabel 2) dengan biaya produksi sebesar Rp.4.680.000 (2021). Sementara, untuk memperbaiki mesin CNC TU-3A, sistem kontrol keseluruhan perlu ditambahkan sehingga biaya total untuk perbaikan dan penambahan sumbu mencapai Rp.10.800.000 (2021).

Tabel 2. Bill of Material

| No. | Nama Komponen          | Material/ Standar | Ukuran (mm)    |
|-----|------------------------|-------------------|----------------|
| 1.  | Pin Housing            | Al 5052           | 15 x 150 x 150 |
| 2.  | Poros Eksentrik        | Al 6061           | Ø28 x 30       |
| 3.  | Cycloid Disc           | Bronze            | 5 x 100 x 100  |
| 4.  | Poros Spindel          | AISI 1045         | Ø110 x 50      |
| 5.  | Bearing Housing        | Al 5052           | 50 x 150 x 150 |
| 6.  | Base                   | Al 5052           | 5 x 130 x 80   |
| 7.  | Tailstock Body         | Al 5052           | 45 x 45 x 100  |
| 8.  | Poros Tailstock        | Al 6061           | Ø22 x 60       |
| 9.  | Tailstock Cover        | Al 5052           | 3 x 50 x 50    |
| 10. | Tailstock Base         | Al 5052           | 5 x 130 x 40   |
| 11. | Motor stepper + Driver | NEMA 23 + HBS57   | 57 x 57 x 102  |
| 12. | Chuck                  | K72-100           | Ø100 x 75      |

|     |          |          |         |
|-----|----------|----------|---------|
| 13. | Bantalan | 6920     |         |
| 14. | Bantalan | 6805     |         |
| 15. | Bantalan | 6904     |         |
| 16. | Pin      | ISO 8734 | 8 x 14  |
| 17. | Pin      | ISO 8734 | 5 x 20  |
| 18. | Baut     | ISO 4762 | M8 x 40 |
| 19. | Baut     | ISO 4762 | M8 x 16 |
| 20. | Baut     | ISO 4762 | M5 x 10 |
| 21. | Baut     | ISO 4026 | M4 x 6  |
| 22. | Baut     | DIN 7991 | M6 x 12 |

### 3.8 Kelebihan Alat

*Attachment* sumbu A hasil rancangan memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan hasil penelitian dan produk sejenis sebelumnya, yaitu:

1. Torsi yang besar, yaitu 55 Nm, yang sesuai dengan kebutuhan mesin CNC TU-3A.
2. Ketelitian rotasi mencapai 0.2° (rasio reduksi 25:1) dibandingkan produk sejenis di pasar yang hanya mencapai 0.3° (rasio reduksi 6:1).
3. Sistem kontrol tertutup berbasis komputer (*software Mach 3*) dengan menggunakan motor *stepper closed-loop* sehingga tingkat kepresisian lebih terkontrol.

### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa telah dihasilkan rancangan *attachment* sumbu A untuk mesin CNC EMCO TU-3A beserta sistem kontrol tertutup (*closed-loop control*) untuk mesin tersebut sehingga dapat menyelesaikan permasalahan yang ada. *Attachment* sumbu A ini terdiri dari beberapa fungsi bagian, yaitu mencekam benda kerja menggunakan *chuck* dan *tailstock*, menggerakkan/ memutar alat menggunakan motor *stepper closed-loop* dan transmisi *cycloid*, serta mengontrol sistem menggunakan sistem kontrol tertutup berbasis komputer (*Mach 3*). Spesifikasi dari *attachment* sumbu A ini antara lain memiliki dimensi 225 mm x 150 mm x 155 mm untuk bagian spindle dan 59 mm x 125 mm x 102,5 mm untuk

bagian *tailstock*, kapasitas benda kerja berdiameter 100 mm x 150 mm, rasio reduksi 25:1, ketelitian rotasi 0.2°, putaran maksimum 40 rpm, dan menggunakan motor *stepper closed-loop* dengan daya 120 Watt.

### 5. SARAN

Penggunaan transmisi *cycloid* dan ketelitian putaran *output* dapat dilakukan pengujian langsung untuk mengetahui *backlash* sebenarnya dan meneliti cara menguranginya. Pengembangan lebih lanjut dapat ditambahkan sumbu (*axis*) ke-5 untuk mesin CNC EMCO TU-3A.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Firsya, M. Tadjuddin dan H. A. Farmansyah, "Development of CNC 4-Axis by Modifying Milling Machine EMCO TU 3-Axis," dalam *Prosiding SNTTM XVI*, Surabaya, 2017.
- [2] EMCO Maier & Co., Student's Handbook EMCO TU-3A, Hallein, 1988.
- [3] Syahriza, T. Firsya dan M. Ibrahim, "Rancang Bangun Mesin CNC 4 Axis Berbasis PC (Personal Computer)," *Jurnal Teknik Mesin Unsyiah*, vol. III, no. 2, pp. 75-79, Desember 2015.
- [4] E. E. Wai dan S. S. Aung, "Design and Implementation of 4-Axis CNC Machine," *International Journal of Recent Innovations in Academic Research*, vol. III, no. 8, pp. 60-71, 2019.
- [5] N. Paz dan M. Americano da Costa, "4-Axis CNC Milling Machine for Production of Dental Prosthesis," *Anais do XXIII Congresso Brasileiro de Automática*, vol. II, no. 1, 7 Desember 2020.
- [6] U. Fischer, R. Gomeringer, M. Heinzler, R. Kilgus, F. Naher, S. Oesterle, H. Paetzold dan A. Stephan, *Mechanical and Metal Trades Handbook*, Verlag Europa-Lehrmittel, 2010.
- [7] B. Borislavov, I. Borisov dan V. Panchev, "Design of a Planetary-Cyclo-Drive Speed Reducer: Cycloid Stage, Geometry, Element Analyses," Växjö, 2012.