

Rotary axis pada mesin laser engraving

Rotary axis on a laser engraving machine

SKRIPSI

Oleh:
Nama: Fahru Rozi
NPM: 203030041



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2025**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Fahru Rozi
Nomor Pokok Mahasiswa : 203030041
Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Skripsi yang saya kerjakan ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan /ditulis oleh orang lain untuk memperoleh gelar dari suatu perguruan tinggi,
2. Sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis dan diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu/dikutip/disitasi dalam naskah ini dan disebutkan dalam referensi,
3. Naskah laporan skripsi yang ditulis bukan dilakukan secara *copy paste* dari karya orang lain dan mengganti beberapa kata yang tidak perlu,
4. Naskah laporan skripsi bukan hasil *plagiarism*.

Apabila di kemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar maka saya sanggup menerima hukuman/sanksi apapun sesuai peraturan yang berlaku.

Bandung, 29 April 2025

Penulis,



Fahru Rozi

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini, sebagai civitas akademik Universitas Pasundan, saya:

Nama : Fahru Rozi

NPM : 203030041

Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS

Jenis Karya : Skripsi

Menyatakan bahwa sebagai pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, saya menyetujui memberikan kepada Universitas Pasundan Hak Bebas Royalti Noneksekutif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Rotary axis pada mesin laser engraving

Beserta perangkat yang ada (jika ada). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Pasundan berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pakalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta,

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Bandung, 29 April 2025

Yang menyatakan,



Fahru Rozi

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Rotary axis pada mesin laser engraving



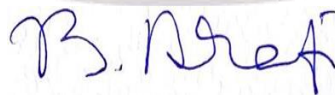
Nama : Fahru Rozi
NPM : 203030041

Pembimbing Utama



Dr. Ir. Rachmad Hartono, M.T.

Pembimbing Pendamping



Dr. Ir. Bambang Ariantera, M.T.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Rotary axis pada mesin laser engraving



Nama : Fahru Rozi
NPM : 203030041

Tanggal sidang skripsi: 29 April 2025

Ketua : Dr. Ir. Rachmad Hartono, M.T.



Sekretaris : Dr. Ir. Bambang Ariantara, M.T.



Anggota : Dr. Ir. Sugiharto, M.T.



Anggota : Prof. Dr. Ir. Hery Sonawan, M.T.



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada yang mahakuasa, Allah SWT sebagai pencipta atas segala kehidupan yang senantiasa memberikan rahmat kepada hamba-Nya. Dengan penuh syukur, penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini yang berjudul “**Rotary axis pada mesin laser engraving**”. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada semua orang yang telah memberikan dukungan dan motivasi selama proses penulisan skripsi ini. Ucapan terimakasih yang mendalam disampaikan kepada:

1. Allah SWT atas rahmat-Nya yang telah memberikan kemudahan dan petunjuk selama pembuatan laporan ini.
2. Keluarga saya, khususnya Ibu Siti Hodijah, dan Bapak Endi Supiandi yang selalu memberikan Doa serta dorongan, baik membantu secara moral dan material yang kuat sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Ir. Rachmad Hartono, M.T. selaku dosen pembimbing utama.
4. Bapak Dr. Ir. Bambang Ariantara, M.T. selaku dosen pembimbing pendamping.
5. Bapak Dr. Ir. Sugiharto, M.T. selaku Ketua Jurusan Program Studi Teknik Mesin Universitas Pasundan.
6. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Teknik Mesin yang telah memeberikan bekal ilmu pengetahuan kepada penulis selama penyelesaian studi.
7. Semua rekan-rekan seperjuangan Teknik Mesin 2020 yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Pada penulisan laporan ini jauh dari kata sempurna dan dimungkinkan masih banyak kekurangan yang harus diperbaiki oleh karena itu saya mengharapkan saran dan kritik yang dapat membangun penulis guna menyempurnakan laporan ini.

Bandung, 29 April 2025

Penulis,



Fahru Rozi

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN	i
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	VI
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	ix
ABSTRAK.....	x
ABSTRACT.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1. Latar belakang.....	1
2. Rumusan masalah.....	2
3. Tujuan	2
4. Lingkup masalah	2
5. Manfaat	3
6. Sistematika penulisan	3
BAB II STUDI LITERATUR.....	5
1. Kajian Pustaka.....	5
A. Penelitian Adi Susanto (2018)	5
B. Penelitian Mafazi Ripqi, Irfan Santosa, M. Agus Shidiq (2022)	6
C. Penelitian Abdul Hamid (2023)	6
D. Penelitian Demas Cahyadi Ningrat (2024).....	7
2. Mesin <i>laser gravir</i>	8
3. <i>Gravir</i>	8
4. <i>Rotary axis</i>	9
5. Sistem mekanik	9
A. Poros.....	9
B. <i>Teeth pulley</i>	10
C. <i>Teeth belt</i>	10
D. Motor <i>stepper</i>	11
E. <i>Driver motor stepper</i>	14
BAB III METODE PENELITIAN.....	15

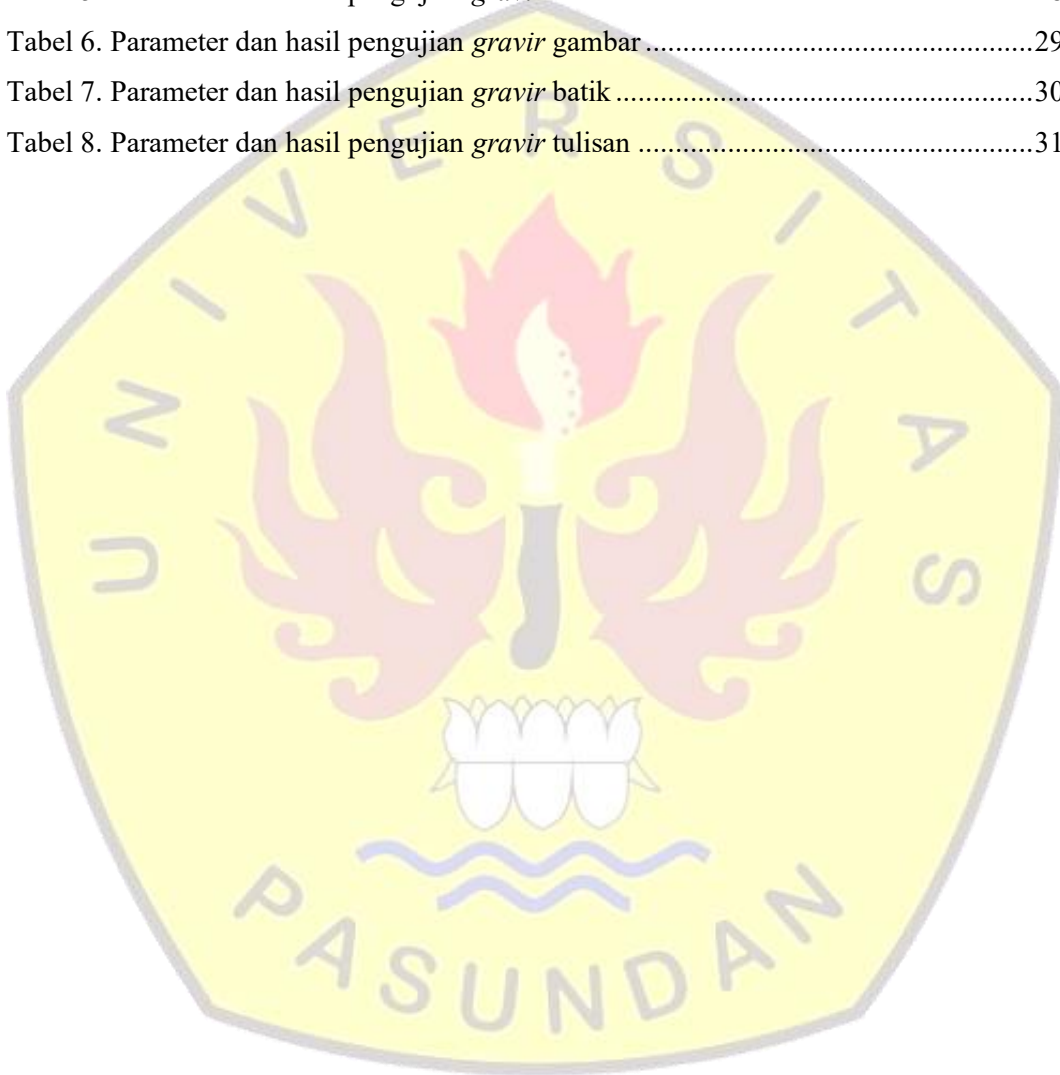
1. Tahapan pembuatan skripsi	15
2. Tempat penelitian.....	16
3. Desain sistem mekanik <i>rotary axis</i>	17
4. Perakitan (<i>assembly</i>) sistem mekanik <i>rotary axis</i>	18
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA HASIL PENGUJIAN	26
1. Kalibrasi sumbu X dan Y	26
A. Kalibrasi sumbu X	26
B. Kalibrasi sumbu Y	26
2. Pengujian <i>gravir</i> dengan bentuk bujur sangkar pada <i>tumbler stainless steel</i>	28
3. Pengujian <i>gravir</i> tulisan pada <i>tumbler stainless steel</i>	30
4. Pengujian <i>gravir</i> tulisan posisi vertikal pada <i>tumbler stainless steel</i>	31
5. Pengujian <i>gravir</i> gambar pada <i>tumbler stainless steel</i>	32
6. Pengujian <i>gravir</i> batik pada kayu silindris	33
7. Pengujian <i>gravir</i> tulisan pada kayu silindris	33
8. Analisa hasil pengujian	34
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	36
1. Kesimpulan	36
2. Saran	36
DAFTAR PUSTAKA.....	37
LAMPIRAN	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. <i>Rotary spindell</i>	5
Gambar 2. Mesin CNC laser	6
Gambar 3. <i>Rotary fixture</i>	7
Gambar 4. <i>Rotary fixture</i>	7
Gambar 5. Poros <i>rotary axis</i>	9
Gambar 6. <i>Teeth pulley</i>	9
Gambar 7. <i>Teeth belt</i>	10
Gambar 8. Skematis konstruksi motor <i>stepper</i> bipolar.....	10
Gambar 9. Skematis pengaturan posisi poros motor <i>stepper</i>	11
Gambar 10. Motor <i>stepper</i> NEMA 17.....	12
Gambar 11. <i>Driver</i> motor <i>steppe</i>	13
Gambar 12. Diagram alir.....	14
Gambar 13. Lokasi penelitian	16
Gambar 14. Desain <i>rotary axis</i>	16
Gambar 15. Komponen yang dirakit dan sub rakitan satu	18
Gambar 16. Komponen yang dirakit dan sub rakitan dua.....	18
Gambar 17. Komponen yang dirakit dan sub rakitan tiga	19
Gambar 18. Komponen yang dirakit dan sub rakitan empat.....	19
Gambar 19. Gambar poros jarak minimum dan maksimum	21
Gambar 20. Gambar <i>rotary axis</i> yang direncanakan	21
Gambar 21. <i>Rotary axis</i> pada mesin <i>laser engraving</i>	22
Gambar 22. Tampilan pada fitur GRBL	24
Gambar 23. Tampilan pada fitur GRBL <i>configuration</i>	25
Gambar 24. Pengujian <i>gravir</i> bujur sangkar.....	26
Gambar 25. Pengujian <i>gravir</i> tulisan pada <i>tumbler stainless steel</i>	27
Gambar 26. Pengujian <i>gravir</i> tulisan posisi vertikal	29
Gambar 27. Pengujian <i>gravir</i> gambar	29
Gambar 28. Pengujian <i>gravir</i> batik pada kayu silindris.....	30
Gambar 29. Pengujian <i>gravir</i> tulisan pada kayu silindris.....	31
Gambar 30. Proses <i>gravir</i>	36
Gambar 31. <i>Rotary axis</i>	36

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Komponen <i>rotary axis</i>	17
Tabel 2. Hasil pengujian <i>gravir</i> bujur sangkar	26
Tabel 3. Hasil pengujian <i>gravir</i> bujur sangkar setelah dilakukan perbaikan	26
Tabel 4. Parameter dan hasil pengujian <i>gravir</i> tulisan pada <i>tumbler stainless steel</i>	27
Tabel 5. Parameter dan hasil pengujian <i>gravir</i> tulisan vertikal.....	28
Tabel 6. Parameter dan hasil pengujian <i>gravir</i> gambar	29
Tabel 7. Parameter dan hasil pengujian <i>gravir</i> batik	30
Tabel 8. Parameter dan hasil pengujian <i>gravir</i> tulisan	31



ABSTRAK

Proses *gravir* pada industri kreatif biasanya dilakukan dengan dua cara yaitu secara manual dan otomatis. Pengerjaan secara manual dilakukan dengan menggunakan alat berupa solder yang digoreskan pada permukaan benda kerja sampai tampak gambar atau tulisan. Keunggulan dari *gravir* manual adalah ketersediaan alat yang mudah didapat dan harga relatif murah. Keterbatasan *gravir* manual adalah proses pengerjaan yang relatif lama dan hasil yang kurang presisi. Dari keterbatasan tersebut penggunaan mesin otomatis merupakan sebuah solusi untuk membantu proses *gravir* pada industri kreatif, salah satunya yaitu mesin laser engraving. Berdasarkan latar belakang yang sudah dijelaskan di atas, rumusan masalah yang harus di selesaikan adalah bagaimana cara membuat *rotary axis* pada mesin laser engraving agar mesin tersebut mampu mengerjakan proses *gravir* pada benda kerja yang memiliki ukuran panjang dan diameter lebih besar. Beberapa hal yang diselesaikan yaitu pemilihan part yang digunakan pada sistem mekanik *rotary axis*, pengujian fungsional pada gerak *rotary axis* sumbu x dan y, pemilihan *software* yang digunakan pada sistem kendali *rotary axis*, dan penentuan tahap perakitan *rotary axis* agar dapat mudah dibongkar pasang. Tujuan penelitian ini adalah membuat *rotary axis* pada mesin laser engraving sebagai alat bantu proses *gravir* pada benda kerja berbentuk silindris atau tabung yang memiliki ukuran panjang, dan diameter yang lebih besar, sehingga laser dapat menjangkau seluruh permukaan benda kerja secara efektif. Perancangan dan pembuatan *rotary axis* telah berhasil direalisasikan untuk melakukan proses *gravir* atau menggambar pada tumbler *stainles steel*. Benda kerja yang mampu dirotasi oleh *rotary axis* yaitu benda kerja berdiameter Ø 10 x 400 mm sampai Ø 120 x 400 mm dan beban benda kerja maksimal 1 kg. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa sistem mekanik *rotary axis* dapat dioperasikan untuk melakukan proses *gravir* tulisan, gambar dan motif batik.

Kata kunci: laser engraving, peningkatan kinerja, *rotary axis*

ABSTRACT

The gravir process in the creative industry is usually carried out in two ways, namely manually and automatically. Manual work is carried out using a tool in the form of solder that is scratched on the surface of the workpiece until a drawing or writing appears. The advantage of manual gravir is the availability of tools that are easy to get and relatively cheap. The limitation of manual gravir is the relatively long processing process and the results are less precise. From these limitations, the use of automatic machines is a solution to help the gravir process in the creative industry, one of which is the laser engraving machine. Based on the background that has been explained above, the formulation of the problem that must be solved is how to make a rotary axis on a laser engraving machine so that the machine is able to work on the gravir process on workpieces that have a larger length and diameter. Some of the things that were completed were the selection of parts used in the rotary axis mechanical system, functional testing on the motion of the x and y axis rotary axes, the selection of software used in the rotary axis control system, and the determination of the stage of rotary axis assembly so that it can be easily disassembled. The purpose of this research is to make a rotary axis in the laser engraving machine as an aid to the gravir process on cylindrical or tubular workpieces that have a larger length and diameter, so that the laser can reach the entire surface of the workpiece effectively. The design and manufacture of rotary axis has been successfully realized to carry out the gravir process or draw on the stainless steel tumbler. Workpieces that are able to be rotated by the rotary axis are workpieces with a diameter of Ø 10 x 400 mm to Ø 120 x 400 mm and a maximum workpiece load of 1 kg. From the test results, it can be concluded that the rotary axis mechanical system can be operated to carry out the gravation process of writings, images and batik motifs.

Keywords: laser engraving, performance improvement, rotary axis

BAB I PENDAHULUAN

1. Latar belakang

Seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang elektronika dan mekanika, industri kreatif yang dikerjakan secara manual sekarang beralih menjadi otomatis. Salah satu industri kreatif yaitu kerajinan *gravir*. *Gravir* merupakan kegiatan memahat atau mengikis permukaan suatu benda sesuai dengan hasil atau bentuk desain gambar yang diinginkan.

Proses *gravir* pada industri kreatif biasanya dilakukan dengan dua cara yaitu secara manual dan otomatis. Pengerjaan secara manual dilakukan dengan menggunakan alat berupa solder yang digoreskan pada permukaan benda kerja sampai tampak gambar atau tulisan. Keunggulan dari *gravir* manual adalah ketersediaan alat yang mudah didapat dan harga relatif murah. Keterbatasan *gravir* manual adalah proses pengerjaan yang relatif lama dan hasil yang kurang presisi. Dari keterbatasan tersebut penggunaan mesin otomatis merupakan sebuah solusi untuk membantu proses *gravir* pada industri kreatif, salah satunya yaitu mesin laser *engraving*.

Mesin laser *engraving* merupakan suatu mesin yang dikombinasikan dengan sistem kendali CNC (*Computer Numerical Control*). Mesin laser *engraving* adalah salah satu jenis mesin yang sering digunakan pada industri kreatif untuk membuat berbagai macam jenis desain gambar dan motif pada permukaan suatu benda kerja. Teknologi laser *engraving* memiliki beberapa keunggulan seperti kecepatan proses, dan ketepatan hasil yang presisi.

Salah satu alat yang dibutuhkan pada mesin laser *engraving* yaitu *rotary axis*. Mesin laser *engraving* yang dilengkapi *rotary axis* memiliki kemampuan untuk mengerjakan benda kerja yang berbentuk silindris atau tabung. *Rotary axis* berfungsi untuk memutar benda kerja sehingga laser dapat menjangkau seluruh permukaan benda kerja. Namun, tidak semua mesin laser *engraving* memiliki *rotary axis*. Beberapa mesin laser *engraving* hanya mampu mengerjakan benda kerja yang berbentuk datar. Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah rancangan dan implementasi *rotary axis* yang dapat dikombinasikan dengan mesin laser *engraving*.

Di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Pasundan terdapat mesin laser *engraving*. Prinsip kerja mesin laser *engraving* ini adalah memanfaatkan pembakaran laser pada permukaan benda kerja, sehingga terjadi pembakaran permukaan pada benda kerja sampai tampak gambar atau tulisan. Kekurangan mesin laser *engraving* yang ada di

laboratorium yaitu mesin tersebut hanya mampu menggambar pada benda kerja silindris dengan dimensi maksimal berdiameter 30 x 100 mm sampai diameter 80 x 100 mm dengan beban kerja maksimum 500 gr. Oleh karena itu dibutuhkan alat bantu pada mesin laser *engraving* yang memiliki kemampuan untuk memutar benda kerja dengan ukuran diameter lebih besar ketika proses *gravir*.

Skripsi ini fokus pada perancangan dan pembuatan *rotary axis* pada mesin *laser engraving* yang dapat dikombinasikan dengan mesin laser *engraving* sebagai alat bantu untuk proses *gravir*. *Rotary axis* diharapkan dapat meningkatkan kemampuan mesin *laser engraving* dalam mengerjakan benda kerja yang berbentuk silindris atau tabung dengan ukuran diameter yang lebih besar. Kendali *rotary axis* diambil dari salah satu sumbu pada mesin *laser engraving*. Sistem kendali pada *rotary axis* dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Laser GBRL*.

2. Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah dijelaskan di atas, rumusan masalah yang harus diselesaikan adalah bagaimana cara membuat *rotary axis* pada mesin *laser engraving* agar mesin tersebut mampu mengerjakan proses *gravir* pada benda kerja yang memiliki ukuran panjang dan diameter lebih besar. Beberapa hal yang diselesaikan yaitu:

- a. Pemilihan part yang digunakan pada sistem mekanik *rotary axis*,
- b. Pengujian fungsional pada gerak *rotary axis* sumbu x dan y,
- c. Pemilihan *software* yang digunakan pada sistem kendali *rotary axis*, dan
- d. Penentuan tahap perakitan *rotary axis* agar dapat mudah dibongkar pasang.

3. Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah membuat *rotary axis* untuk mesin *laser engraving* sebagai alat bantu proses *gravir* pada benda kerja berbentuk silindris. Ukuran benda kerja minimum adalah $\varnothing 10 \times 400$ mm dan maksimum adalah $\varnothing 120 \times 400$ mm dengan bobot maksimum 1 kg.

4. Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi industri kreatif khususnya yang menggunakan mesin *laser engraving*. Hasil perancangan dan pembuatan *rotary axis* ini diharapkan dapat menyelesaikan masalah yang ada di industri kreatif. Selain itu, *rotary axis* diharapkan dapat melakukan proses *gravir* pada benda kerja yang berbentuk silindris yang memiliki diameter yang lebih besar.

5. Lingkup masalah

Lingkup penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. *Survey* mesin *laser engraving* yang telah dibuat sebelumnya,
- b. Perancangan *rotary axis* untuk mesin yang telah dibuat,
- c. Pembuatan dan perakitan *rotary axis*, dan
- d. Pengujian *rotary axis* membuat *gravir* pada *tumbler* dengan diameter 30 mm, 60 mm, dan 120 mm.

6. Sistematika penulisan

Laporan skripsi ini disusun bab demi bab yang terdiri dari lima bab. Beberapa bab pada skripsi ini terdiri dari pendahuluan, studi literatur, metode penelitian, hasil dan pembahasan, serta kesimpulan dan saran.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisikan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, lingkup pembahasan, dan sistematika penulisan.

BAB II STUDI LITERATUR

Bab ini berisikan tentang materi yang diambil dari jurnal atau buku teks. Materi dapat berupa gambar, tabel, ataupun teori yang berhubungan dengan penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisikan tentang tahapan pembuatan skripsi, rancangan keseluruhan sistem, dan rancangan system mekanik *rotary axis*.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan tentang hasil pengujian dan pembahasan. Pengujian yang dilakukan antara lain pengujian factor konversi gerak sumbu x dan y dan pengujian *gravir*.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dan saran yang terkait dengan skripsi perancangan dan pembuatan sistem mekanik *rotary axis*.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Perancangan dan pembuatan *rotary axis* telah berhasil direalisasikan untuk melakukan proses *gravir* pada benda kerja berbentuk silindris. Benda kerja yang mampu diputar oleh *rotary axis* yaitu benda kerja berdiameter $\varnothing 10 \times 400$ mm sampai $\varnothing 120 \times 400$ mm dan bobot benda kerja maksimal 1 kg. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa sistem mekanik *rotary axis* dapat dioperasikan untuk melakukan proses *gravir* tulisan, gambar, dan motif batik.

2. Saran

Pada *rotary axis* diperlukan penempatan posisi yang presisi untuk menghasilkan hasil *gravir* yang bagus dan teliti. Oleh karena itu dibutuhkan rangka tambahan sebagai pengunci pada *rotary axis*. Dalam proses *gravir* diperlukan kualitas gambar yang bagus dan ukuran gambar perlu disesuaikan dengan ukuran benda kerja yang akan dilakukan proses *gravir*. Hasil *garvir* akan lebih bagus dan cepat apabila menggunakan daya *laser* yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Susanto, “Perancangan dan Pembuatan Sistem Kontrol *Rotary Flexible Fixture* Berbasis PLC dengan Kompensator PID,” 2018, Surabaya.
- [2] I. Santosa, M. Rifqi, and M. Shidiq, “Rancang Bangun Mesin CNC Laser *Grafir* Untuk Pembuatan Bidang Silinder dan Datar,” *Machine : Jurnal Teknik Mesin*, vol. 8, no. 2, pp. 6–11, Oct. 2022, doi: 10.33019/jm.v8i2.2741.
- [3] A. Hamid Studi, Teknik. Mesin, Fakultas. Teknik, and Universitas. Pasundan, “Pembuatan Model *Rotary fixture* pada Mesin *Laser Engraving*,” 2023.
- [4] D. C. Ningrat Studi, Teknik. Mesin, Fakultas Teknik, and Universitas. Pasundan, “Pengembangan *Rotary fixture* pada Mesin *Laser Engraver*,” 2024.
- [5] M. Rosadi *et al.*, “Rancang Bangun Mesin CNC 2 Axis Sebagai Mesin *Laser Engraving* Menggunakan Laser Dioda pada Media Kayu, akrilik dan tripleks,” *Mechatronics Journal in Professional and Entrepreneur (MAPLE)*, vol. 1, no. 1, pp.13–20, 2019.
- [6] T. U. Syamsuri “Perancangan dan Pembuatan Prototype Mesin CNC Laser Engraving dengan Mikrokontroler sebagai Komunikasi Wireless,” *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 10, no. 1, pp. 60–65, 2023, doi: 10.33795/elposys.v10i1.1008.
- [7] N. A. Sutisna and H. Fauzi, “Rancang Bangun Prototipe Mesin Gravir Laser Berbasis Mikro-kontroler Arduino,” *JIE Scientific Journal on Research and Application of Industrial System*, vol. 3, no. 2, p. 90, 2019, doi: 10.33021/jie.v3i2.525.
- [8] R. A. Putra, A. Rukmana, and A. F. Ikhsan, “Rancang Bangun Mesin Laser Engraving 2-D Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno,” *Fuse-teknik Elektro*, vol. 2, no. 1, p. 21, 2022, doi: 10.52434/jft.v2i1.1901.
- [9] M. Setiawan “Perancangan Rotary Anjig Valve pada Mesin Sandblasting,” Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta, pp. 538–543, 2022, [Online]. Available: <http://prosiding.pnj.ac.id>
- [10] K. Lintas “Jurnal Kalibrasi Perancangan Mekanisme Rotary Table untuk Meningkatkan Kapasitas,” vol. 7, no. 2, pp. 80–87, 2024.

- [11] D. E. Cruikshank, "Mechanical systems," *Canadian Consulting Engineer*, vol. 46, no. 5, pp. 26–28, 2005.
- [12] S. Nahdiy, "Rancang Bangun Alat Penggerak Pompa Peristaltik Dengan Sistem Mekanik Mengubah Gerak Translasi Menjadi Gerak Rotasi," pp. 1–48, 2018.
- [13] M. Ariska, H. Akhsan, and M. Muslim, "Dinamika Sistem Mekanik Non-Holonomik dengan Metode Koneksi Levi-Civita Terkendala Berbasis Komputasi Fisika," *JoP*, vol. 6, no. 1, pp. 20–23, 2020.
- [14] A. Jatmoko, "Analisa Kegagalan Poros dengan Pendekatan Metode Elemen Hingga," *Turbo*, vol. 2, no. 2, pp. 1–6, 2014, [Online]. Available: <https://ojs.ummetro.ac.id/index.php/turbo/article/view/31>
- [15] Mp Sitompul, "Poros 11," Universitas Medan Area, pp. 4–48, 2017, [Online]. Available: [file:///C:/Users/USER/Downloads/referensi TA/12.813.0013_file5 \(2\).pdf](file:///C:/Users/USER/Downloads/referensi%20TA/12.813.0013_file5(2).pdf)
- [16] R. Basso, "Detection of reduced tooth stiffness in synchronous belts by means of pulley vibration monitoring," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, vol. 220, no. 7, pp. 947–957, 2006, doi: 10.1243/09544070JAUTO142.
- [17] B. Stojanović and N. Miloradović, "Development of timing belt drives," *Mobility and Vehicle Mechanics*, vol. 35, no. 2, pp. 31–36, 2009.
- [18] H. Mahendra "Rancang Bangun Lengan Robot Penggambar Bidang Datar Dua Dimensi," *IMDeC*, vol. 2, pp. 200–207, 2020, [Online]. Available: <https://publikasi.atmi.ac.id/index.php/imdecatmi/article/view/70>
- [19] M. Luqman and A. Dwi Sapto, "Perancangan sistem transmisi penggerak mesin bubut mini konvensional," *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, vol. 18, no. 1, pp. 77–83, 2023, doi: 10.36289/jtmi.v18i1.289.
- [20] G. Domek and I. Malujda, "Modeling of timing belt construction," *Pamm*, vol. 7, no. 1, pp. 4070045–4070046, 2007, doi: 10.1002/pamm.200701115.
- [21] O. KROL and V. SOKOLOV, "Research of toothed belt transmission with arched teeth," *Diagnostyka*, vol. 21, no. 4, pp. 15–22, 2020, doi: 10.29354/diag/127193.
- [22] M. Kukla, P. Tarkowski, I. Malujda, K. Talaśka, and J. Górecki, "Determination of the torque characteristics of a stepper motor," *Procedia Eng*, vol. 136, pp. 375–379, 2016, doi: 10.1016/j.proeng.2016.01.226.

- [23] L. Warguła, P. Krawiec, J. M. Adamiec, and K. J. Waluś, "The Investigations of Dynamic Characteristics of a Stepper Motor," *Procedia Eng*, vol. 177, pp. 318–323, 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.02.232.
- [24] B. K. Tunggal *et al.*, "Desain dan Implementasi Sistem Kontrol Putaran Motor," vol. 4, no. 1, pp. 77–86, 2021.
- [25] H. Timothy Wijaya, D. Pangestu, M. Timothy Sutjipto, W. Surya Widjaja, K. Octavianus, and T. Nur, "Simulasi Sistem Pengendalian Motor Stepper dengan Metode Pulse Width Modulation," *Jurnal Elektro*, vol. 15, no. 1, pp. 21–30, 2024, doi: 10.25170/jurnalelektro.v15i1.5120.
- [26] A. Alhinqari and A. Alhengari, "Simulation of Stepper Motor Motion and Control," *2021 IEEE 1st International Maghreb Meeting of the Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering, MI-STA 2021 - Proceedings*, no. June, pp. 573–578, 2021, doi: 10.1109/MI-STA52233.2021.9464460.
- [27] M. Y. Tarnini, "Fast and cheap stepper motor drive," *2015 International Conference on Renewable Energy Research and Applications, ICRERA 2015*, no. November 2015, pp. 689–693, 2015, doi: 10.1109/ICRERA.2015.7418499.
- [28] N. Soedjarwanto, "Prototipe Smart Door Lock Menggunakan Motor Stepper Berbasis Iot (Internet Of Things)," *Electrician*, vol. 15, no. 2, pp. 73–82, 2021, doi: 10.23960/elc.v15n2.2167.
- [29] A. A. P. Anggiana, M. Rifa'i, and H. K. Safitri, "Implementasi sistem kontrol penggerak motor stepper pada proses molding microplastic berbasis PID menggunakan PLC," *Jurnal Eltek*, vol. 21, no. 2, pp. 58–67, 2023, doi: 10.33795/eltek.v21i2.2024.
- [30] S. Supriyadi, A. Burhanudin, Y. Setiyoadi, and I. B. Setyono, "Analisis Kinerja Ventilator Mekanis dengan Pengerak Motor Stepper Berbasis Arduino," *Seminar Nasional Hasil Penelitian (Snhp)*, pp. 662–677, 2020.