

**Rancang bangun *rotary table* sebagai penambahan sumbu A
pada mesin *router* CNC**

***Rotary table design as an addition to the A axis
on a CNC router machine***

SKRIPSI

Oleh:

**Nama: Ahmad Wahyudi
NPM: 203030104**



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

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Ahmad Wahyudi
Nomor Pokok Mahasiswa : 203030104
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 dikemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar maka saya sanggup menerima hukuman/sanksi apapun sesuai peraturan yang berlaku.

Bandung, 9 Januari 2025

Penulis,



Ahmad Wahyudi

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

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

N a m a: Ahmad Wahyudi

NPM: 203030104

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 Noneksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Rancang Bangun Rotary Table Sebagai Penambahan Sumbu A Pada Mesin Router CNC.....

.....
.....
.....
.....

Beserta perangkat yang ada (jika ada). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif 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, 9 Januari 2025

Yang menyatakan,



Ahmad Wahyudi

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Rancang Bangun *Rotary Table* Sebagai Penambahan Sumbu A Pada Mesin *Router CNC*



Nama: Ahmad Wahyudi
NPM : 203030104

Pembimbing Utama

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Rachmad Hartono'.

Dr. Ir. Rachmad Hartono, M.T.

Pembimbing Pendamping

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Ade Bagdja'.

Dr. Ir. Ade Bagdja, MME.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Rancang Bangun *Rotary Table* Sebagai Penambahan Sumbu A Pada Mesin *Router CNC*



Nama: Ahmad Wahyudi
NPM : 203030104

Tanggal sidang skripsi: 9 Januari 2025

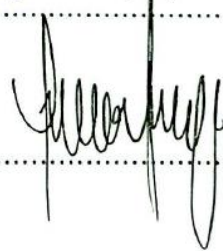
Ketua : Dr. Ir. Rachmad Hartono, M.T.



Sekretaris : Dr. Ir. Ade Bagdja, MME.



Anggota : Ir. Farid Rizayana, M.T.



Anggota : Dr. Ir Widiyanti Kwitanrini, M.T.



KATA PENGANTAR



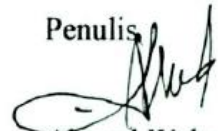
Puji dan syukur kita panjatkan kepada Allah SWT atas segala kebaikan dan rahmat-Nya yang telah memberikan kekuatan fisik dan mental yang dibutuhkan penulis untuk menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul **Rancang bangun rotary table sebagai penambahan sumbu A pada mesin router CNC**. Penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada beberapa pihak yang telah banyak membantu dalam pembuatan laporan skripsi ini. Sikap baik mereka memudahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Penghargaan dan terima kasih penulis ucapkan kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Yusman Taufik, M.P. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Pasundan Bandung,
2. Bapak Dr. Ir. Sugiharto, M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Pasundan,
3. Bapak Dr. Ir. Rachmad Hartono, M.T. selaku Pembimbing I yang selalu memberikan ilmu, arahan, kesempatan, semangat, dan motivasi serta fasilitas kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini,
4. Bapak Dr. Ir. Ade Bagdja, MME. selaku Pembimbing II yang selalu memberikan ilmu, arahan, kesempatan, semangat, dan motivasi serta fasilitas kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini,
5. Bapak Dr. Ir. Muki Satya Permana, M.T. selaku dosen wali yang telah membantu dalam kelancaran penulis selama menempuh studi,
6. Seluruh dosen dan staf tata usaha Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Pasundan yang telah mendukung dan memberikan ilmu kepada penulis selama menjadi mahasiswa,
7. Kedua orang tua saya, Bapak (Alm.) Akhmad Ginandjar, S.Pd. dan Ibu Nurhayati tercinta yang senantiasa memberikan doa, semangat, motivasi, juga dukungan baik secara moral maupun materi,
8. Kakak-kakak tercinta Riyasa Darma Guna, S.Tr., Dini Dharmayanty, S.Pd., dan Mochammad Ramadhan, A.Md. atas doa dan motivasi yang selalu diberikan,
9. Luthfiana Najmi Ramadhian, S.Pd. yang selalu mendampingi penulis dalam situasi apapun, juga memberikan doa serta dukungan dan perhatian pada penulis selama proses skripsi ini, sehingga penulis tetap fokus dalam melaksanakan penyusunan skripsi ini,
10. Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin angkatan 2020 Universitas Pasundan,
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu penulis dalam penyelesaian skripsi ini.

Untuk kebaikan semua pihak, semoga Allah Swt menggantinya dengan imbalan yang setimpal pada mereka yang telah memberikan bantuannya, dan semoga semua bantuan ini dicatat sebagai amal ibadah, Aamiin Yaa Robbal 'Alamiin. Semoga usulan penelitian ini bisa bermanfaat bagi penulis, khususnya, dan bagi kemajuan pembelajaran Teknik Mesin, umumnya.

Bandung, 9 Januari 2025

Penulis



Ahmad Wahyudi

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN.....	i
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
ABSTRAK.....	xii
ABSTRACT	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1. Latar belakang	1
2. Rumusan masalah	2
3. Tujuan.....	2
4. Batasan masalah	2
5. Manfaat.....	2
6. Sistematika penulisan	3
BAB II STUDI LITERATUR	5
1. Kajian pustaka	5
A. Penelitian Teuku Firsya, Muhammad Tadjuddin, Syahriza, dan Saddam Husaini (2014).....	5
B. Penelitian Teuku Firsya, Muhammad Tadjuddin dan Hendra Ahmad Farmansyah (2017).....	6
C. Penelitian Amapel Odenia (2023).....	6
2. Ukir kayu	7
3. <i>Computer numerical control (CNC)</i>	8
4. Mesin <i>router CNC</i>	8
5. Komponen yang digunakan	8
A. Motor <i>stepper</i>	9
B. <i>Driver motor stepper</i>	11
C. <i>Chuck</i>	11
D. Kopling fleksibel	12

E.	<i>Mounting motor stepper</i>	12
F.	Aluminium profil.....	13
G.	<i>Pillow block bearing</i>	14
H.	Poros.....	15
I.	<i>Flens</i>	15
6.	Perangkat lunak sistem kontrol.....	15
BAB III METODOLOGI.....		17
1.	Tahapan pembuatan skripsi.....	17
2.	Tempat penelitian	18
3.	Pembuatan sistem mekanik <i>rotary table</i>	19
4.	Rancangan sistem kendali pada mesin <i>router</i>	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		27
1.	Pengujian kalibrasi mesin <i>router CNC 4 axis</i>	27
A.	<i>Port and pins – motor outputs</i>	27
B.	<i>Motor tuning</i>	28
C.	Kalibrasi mach3.....	28
2.	Pengujian sistem mekanik <i>rotary table</i>	31
3.	Hasil pengujian mesin <i>router CNC 4 axis</i>	32
4.	Perbandingan harga	34
5.	Analisis hasil pengujian	35
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		36
1.	Kesimpulan.....	36
2.	Saran.....	36
DAFTAR PUSTAKA		37
LAMPIRAN.....		40
1.	Foto-foto kegiatan.....	40
2.	Gambar teknik	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Mesin CNC 4 axis penelitian pertama [5]	5
Gambar 2. Mesin CNC 4 axis penelitian kedua [6]	6
Gambar 3. Mesin CNC 4 axis penelitian ketiga [7]	7
Gambar 4. Ukiran kayu [15]	7
Gambar 5. Mesin <i>router</i> CNC [16].....	8
Gambar 6. Motor <i>stepper</i> [22]	9
Gambar 7. Skematis pengaturan posisi poros motor <i>stepper</i>	10
Gambar 8. <i>Driver</i> motor <i>stepper</i> [17]	11
Gambar 9. <i>Independent chuck</i> [18].....	12
Gambar 10. Kopling fleksibel [19].	12
Gambar 11. <i>Mounting</i>	13
Gambar 12. Profil aluminium [20].....	14
Gambar 13. <i>Pillow block bearing</i> [21].....	14
Gambar 14. Poros pada <i>rotary table</i>	15
Gambar 15. <i>Flens</i>	16
Gambar 16. Tampilan perangkat lunak mach3	16
Gambar 17. Diagram alir	17
Gambar 18. Lokasi universitas pasundan kampus IV	18
Gambar 19. Desain sistem mekanik <i>rotary table</i>	19
Gambar 20. Proses perakitan sub rakitan satu.....	22
Gambar 21. Proses perakitan sub rakitan dua	22
Gambar 22. Proses perakitan sub rakitan tiga	23
Gambar 23. Proses perakitan sub rakitan empat	23
Gambar 24. Proses perakitan sub rakitan lima	23
Gambar 25. Proses perakitan sub rakitan enam	24
Gambar 26. Proses perakitan sub rakitan tujuh.....	24
Gambar 27. Mesin <i>router</i> CNC yang belum ditambahkan <i>rotary table</i>	25
Gambar 28. Mesin <i>router</i> CNC yang sudah ditambahkan <i>rotary table</i>	25
Gambar 29. Rancangan sistem kendali yang belum ditambahkan <i>rotary table</i>	26
Gambar 30. Rancangan sistem kendali yang sudah ditambahkan <i>rotary table</i>	26
Gambar 31. Tampilan <i>engine configuration</i>	28
Gambar 32. <i>Motor tuning and setup</i>	28
Gambar 33. Tampilan <i>set steps per unit</i>	29
Gambar 34. Tampilan <i>axis selection</i>	29

Gambar 35. Tampilan pemasukan nilai kalibrasi	30
Gambar 36. Posisi alat ukur busur	30
Gambar 37. Tampilan <i>measured value</i>	30
Gambar 38. Tampilan <i>set steps per unit</i>	31
Gambar 39. Proses pengujian reliabilitas.....	32
Gambar 40. Hasil pengujian patung <i>hellboy</i>	33
Gambar 41. Hasil pengujian kepala patung	34



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Komponen yang akan digunakan pada sistem mekanik <i>rotary table</i>	19
Tabel 2. Hasil pengujian reliabilitas	32
Tabel 3. Parameter pemotongan pengujian ke-1	33
Tabel 4. Parameter pemotongan pengujian ke-2	33
Tabel 5. Perbandingan <i>rotary table</i>	34
Tabel 6. Biaya pembuatan <i>rotary table</i>	35



ABSTRAK

Skripsi ini bertujuan untuk meningkatkan kemampuan mesin *router* CNC 3 axis dengan menambahkan *rotary table* sehingga menjadi mesin CNC 4 axis yang mampu menghasilkan ukiran kayu tiga dimensi. *Rotary table* dirancang untuk memutar benda kerja dengan presisi tinggi, memungkinkan mesin menghasilkan desain kompleks dengan efisiensi waktu yang lebih baik. Proses skripsi meliputi perancangan mekanisme *rotary table*, pemasangan sistem kendali, dan pengujian kemampuan sistem mekanik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mekanik *rotary table* bekerja sesuai perintah program dengan penyimpangan rata-rata sebesar 6 mikron berdasarkan uji reliabilitas. Penyetelan parameter pemotongan pada perangkat lunak CAM terbukti memengaruhi efisiensi waktu pengerjaan. Dengan parameter optimal patung kepala hanya memerlukan 2 jam 30 menit. Penambahan *rotary table* pada mesin *router* CNC 3 axis telah berhasil dilakukan, dibuktikan dengan kemampuan mesin menghasilkan ukiran kayu 3D. Mekanisme pemasangan sistem mekanik *rotary table* telah dirancang dan dibangun dengan baik. Pengujian keandalan sistem menunjukkan tingkat kesalahan sebesar 6 mikron, yang disebabkan oleh ketidaksempurnaan pada komponen *chuck* atau poros yang belum sepenuhnya rata atau presisi.

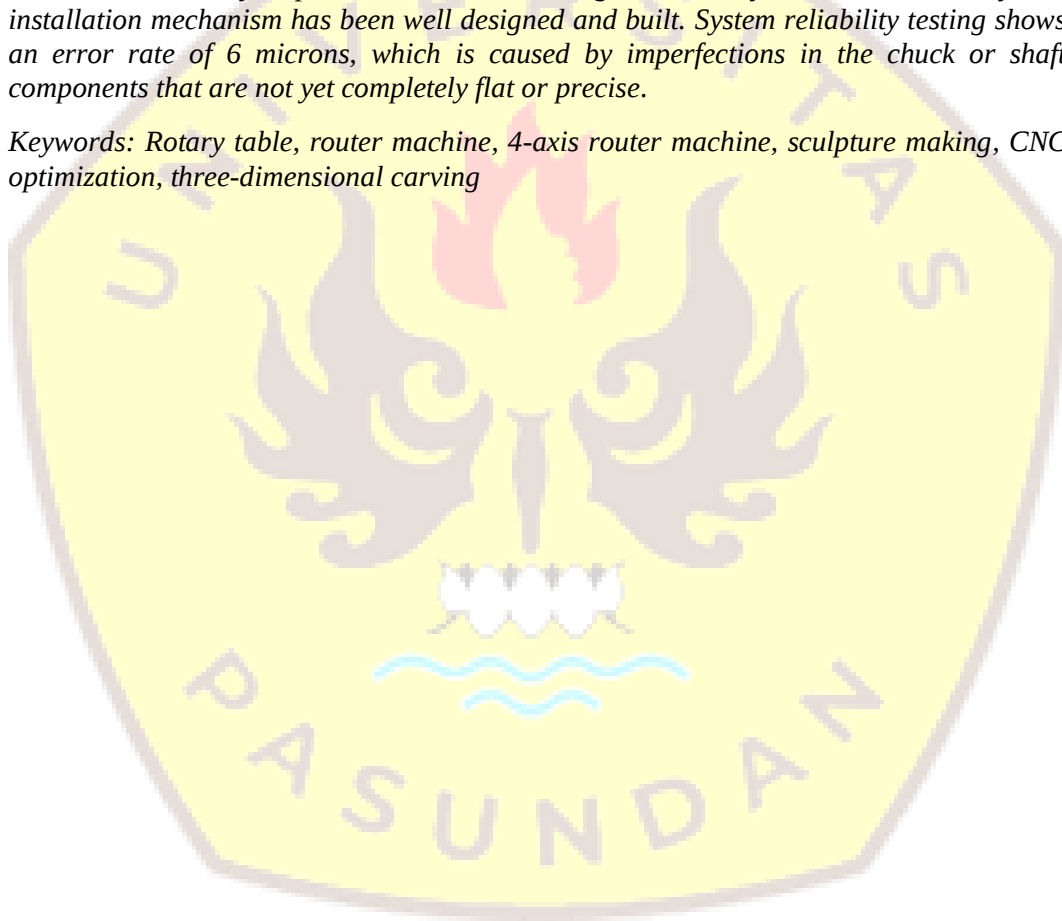
Kata kunci: *Rotary table*, mesin *router*, mesin *router* 4 axis, pembuatan patung, optimalisasi CNC, ukiran tiga dimensi.



ABSTRACT

This thesis aims to improve the capabilities of a 3-axis CNC router machine by adding a rotary table to make it a 4-axis CNC machine capable of producing three-dimensional wood carvings. The rotary table is designed to rotate the workpiece with high precision, allowing the machine to produce complex designs with better time efficiency. The thesis process includes designing the rotary table mechanism, installing the control system, and testing the mechanical system capabilities. The test results show that the rotary table mechanical system works according to program instructions with an average deviation of 6 microns based on reliability testing. The setting of cutting parameters in the CAM software has been shown to affect the efficiency of processing time. With optimal parameters, the head statue only takes 2 hours and 30 minutes. The addition of a rotary table to a 3-axis CNC router machine has been successfully carried out, as evidenced by the machine's ability to produce 3D wood carvings. The rotary table mechanical system installation mechanism has been well designed and built. System reliability testing shows an error rate of 6 microns, which is caused by imperfections in the chuck or shaft components that are not yet completely flat or precise.

Keywords: Rotary table, router machine, 4-axis router machine, sculpture making, CNC optimization, three-dimensional carving



BAB I PENDAHULUAN

1. Latar belakang

Saat ini, seni ukir kayu mengalami perkembangan pesat terutama pada pengrajin ukiran kayu yang semakin maju. Dahulu seni ukir dimaksudkan untuk melambangkan pesan-pesan yang berkaitan dengan keimanan, namun seni ukiran kayu telah berkembang menjadi seni dekoratif yang tujuan utamanya adalah untuk memperindah ruangan atau tempat di mana seni ukir tersebut dipajang [1], [2].

Seiring dengan perkembangan teknologi, pembuatan seni ukiran kayu ini dapat dilakukan dengan menggunakan mesin *router* CNC (*Computer Numerical Control*), sehingga produktivitas kerajinan ukiran kayu dapat meningkat [3]. Mesin *router* yang dikendalikan oleh CNC dapat membuat ukiran kayu yang rumit dan proses pembuatannya lebih cepat dibandingkan pengukiran kayu secara tradisional. Hal tersebut terjadi karena mesin *router* CNC menggunakan sistem kendali otomatis untuk mengendalikan gerak pahat. Mesin *router* yang menggunakan sistem kendali CNC biayanya sangat mahal, sehingga para pengrajin ukir kayu lebih memilih cara tradisional yang lebih terjangkau dibandingkan menggunakan mesin *router* CNC.

Di laboratorium Teknik Mesin Universitas Pasundan terdapat prototipe mesin *router* CNC 3 axis, hasil penelitian terdahulu yang dilakukan oleh dosen Universitas Pasundan. Prototipe ini dirancang untuk membantu pengrajin kayu mempercepat pembuatan ukiran dan memastikan hasil yang seragam, karena prosesnya membutuhkan waktu lama dan keterampilan tinggi. Namun, prototipe tersebut masih perlu ditingkatkan kualitasnya karena hanya mampu menghasilkan ukiran relief atau dua dimensi. Untuk mengatasi keterbatasan mesin *router* CNC tersebut, perlu dilakukan pengembangan. Pengembangan ini dilakukan untuk mengoptimalkan mesin *router* CNC yang telah dibuat. Salah satu cara mengatasi keterbatasan tersebut adalah dengan menambahkan *rotary table* pada mesin *router* CNC 3 axis sehingga menjadi mesin *router* CNC 4 axis. *Rotary table* pada mesin CNC adalah perangkat tambahan yang digunakan untuk menyediakan gerakan rotasi pada benda kerja, biasanya sebagai sumbu keempat (A-axis). Alat ini memungkinkan mesin CNC untuk melakukan pemesinan pada sudut-sudut tertentu atau untuk memutar benda kerja dengan presisi tinggi, sehingga memungkinkan pembuatan komponen kompleks seperti *heliks*, roda gigi, atau desain 3D yang membutuhkan pergerakan rotasional. Jika ditambahkan *rotary table* pada mesin *router* CNC 3 axis ini, maka dapat dihasilkan sebuah karya seni ukiran kayu tiga dimensi.

Berdasarkan permasalahan tersebut, muncul gagasan untuk membuat mekanisme penggerak tambahan pada sumbu A di mesin *router* CNC 3 axis. Sumbu A tersebut berfungsi untuk memutar benda kerja pada mesin *router* CNC. Dengan adanya penambahan sumbu A pada mesin *router* CNC diharapkan dapat meningkatkan kinerja mesin, meningkatkan hasil pengukiran kayu yang lebih baik, menghasilkan ukiran kayu tiga dimensi, mempercepat waktu produksi ukiran kayu, serta para pengrajin ukir kayu dapat menggunakan mesin *router* CNC ini dengan harga yang lebih terjangkau dibandingkan dengan harga yang ada di pasaran.

2. Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan di atas, rumusan masalah yang ada pada skripsi ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana cara menambahkan *rotary table* pada mesin *router* CNC 3 axis.
- b. Bagaimana melaksanakan pengujian kemampuan *rotary table* yang ditambahkan pada mesin *router* CNC 3 axis.

3. Tujuan

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah di atas tujuan yang ingin dicapai skripsi ini adalah merancang dan membangun *rotary table* yang berfungsi memutar benda kerja, sehingga mesin *router* CNC dapat menghasilkan ukiran tiga dimensi.

4. Manfaat

Skripsi ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi pekerja pengukir kayu kelas menengah ke bawah, termasuk akses ke mesin *router* CNC, meningkatkan aspek keberlanjutan dalam produksi ukiran kayu, serta meningkatkan pengetahuan dan keterampilan dalam otomatisasi.

5. Batasan masalah

Agar laporan skripsi ini lebih terarah dan terstruktur, diperlukan batasan masalah. Beberapa masalah yang dibahas pada skripsi ini adalah

- a. Komponen utama sistem kontrol mesin *router* CNC 4 axis adalah *board* Mach3 sebagai perangkat pengendali.
- b. Perangkat lunak yang digunakan untuk melihat hasil dan menjalankan program sistem kendali yaitu Mach3.

- c. Pembuatan *G-code* dan pengeditan desain patung dilakukan menggunakan perangkat lunak CAM.

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

Pada bab ini dibahas tentang latar belakang masalah secara umum dan khusus, masalah yang diangkat dalam skripsi ini, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, manfaat, dan sistematika penulisan.

BAB II STUDI LITERATUR

Pada bab ini dibahas penelitian-penelitian terdahulu serta teori yang berhubungan dan mendukung dalam skripsi ini. Skripsi ini fokus pada pembahasan kajian-kajian mesin yang sudah ada, pengertian ukiran kayu, CNC, deskripsi mesin ukir kayu CNC, komponen dan material yang digunakan, dan perangkat lunak sistem kontrol.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini dibahas tentang diagram alir tahapan pembuatan skripsi, lokasi penelitian, sistem kendali mesin *router* CNC pada *rotary table*, dan sistem mekanik mesin *router* CNC pada *rotary table*.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dibahas tentang pengujian mesin *router* CNC 4 *axis*. Benda kerja yang telah dibentuk oleh mesin *router* diamati bentuknya dengan desain yang telah dimasukkan pada perangkat lunak.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini dibahas tentang kesimpulan dan saran mengenai hal-hal penting yang diperoleh dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

Pada bab ini dibahas tentang buku acuan atau artikel yang digunakan dalam laporan skripsi.

LAMPIRAN



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Penambahan *rotary table* pada mesin *router* CNC 3 *axis* menjadi 4 *axis* telah berhasil dilakukan, dibuktikan dengan kemampuan mesin dalam menghasilkan ukiran kayu 3D. Mekanisme pemasangan *rotary table* telah dirancang dan dibangun dengan baik. Pengujian keandalan sistem menunjukkan tingkat kesalahan sebesar 6 mikron, yang disebabkan oleh ketidaksempurnaan pada komponen *chuck* atau poros yang belum sepenuhnya rata atau presisi.

Selain itu, pengaturan parameter pemotongan pada perangkat lunak CAM/CAD terbukti memengaruhi efisiensi waktu pengerjaan. Waktu tercepat yang dicapai adalah 2 jam 30 menit dengan pembuatan patung kepala menggunakan parameter optimal untuk material kayu berukuran Ø 60 mm x 60 mm. Mesin *router* CNC 4 *axis* ini mampu mengukir material kayu berbentuk silinder dengan dimensi maksimum Ø 60 mm x 110 mm, sehingga efektif digunakan untuk pembuatan patung dan berbagai ukiran lainnya.

Rotary table yang dibuat dalam skripsi ini berharga sebesar Rp 1.474.000, yang secara signifikan lebih terjangkau dibandingkan dengan *rotary table* yang ada di pasaran, yang umumnya dijual dengan harga sekitar Rp 6.000.000. Hal ini menunjukkan bahwa *rotary table* hasil penelitian ini menawarkan solusi yang lebih ekonomis.

2. Saran

Untuk penelitian selanjutnya, ada beberapa yang perlu diperhatikan agar proses pengukiran pada mesin *router* CNC dapat lebih sempurna antara lain:

- a. Perangkat lunak CAM yang digunakan dalam skripsi ini memiliki keterbatasan dalam membuat bagian yang tidak terhubung langsung dengan badan patung. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan perangkat lunak seperti Mastercam serta aplikasi desain lainnya, yang mendukung desain patung dengan kompleksitas tinggi.
- b. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat menambahkan *tailstock* pada mesin *router* CNC 4 *axis* sehingga dapat membuat ukiran kayu dengan ukuran lebih dari Ø 60 mm x 110 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. G. Ahmad, “Pesan aqidah melalui karya seni ukir kaligrafi arab proyek studi,” *Univ. Negeri Semarang*, 2015. Accessed: Nov. 4, 2024. [Online]. Available: <http://repository.metrouniv.ac.id>.
- [2] R. A. Wibowo, “Eksistensi Dan Revitalisasi Ragam Hias Tradisional Jawa Pada Aneka Bentuk Ukir Kayu,” *Univ. Negeri Malang*, 2019. Accessed: Nov. 4, 2024. [Online]. Available: <https://icadecs.um.ac.id/wp-content/uploads/2020/04/32-r-adi-prabowo.pdf>.
- [3] Tondosusanto, “Mesin Ukiran Kayu untuk Meningkatkan Produktivitas,” 2019. Accessed: Nov. 4, 2024. [Online]. Available: <https://www.asephi.com/mesin-ukir-kayu-untuk-meningkatan-produktivitas/>
- [4] T. Firsa, M. Tadjuddin, and S. Husaini, “Perancangan dan Pembuatan Prototipe Mesin CNC 4 Axis Berbasis PC (Personal Computer),” *Universitas Muhammadiyah Tasikmalaya*, 2014. [Online]. Available: <https://uilis.usk.ac.id/unsyiana/items/show/10933>.
- [5] T. Firsa, M. Tadjuddin, and H. A. Farmansyah, “Pengembangan CNC 4 Axis Dengan Pemodifikasian Mesin Milling EMCO TU 3 Axis,” *Univ. Syiah Kuala*, no. Snttm Xiv, pp. 5–6, 2017. [Online]. Available: <https://uilis.usk.ac.id/unsyiana/items/show/10933>.
- [6] O. Amapel, “Rancang Bangun Mesin Computer Numerical Control (CNC) Router 4 Axis Menggunakan Board USB Mach 3 Dan Motor Stepper Nema-23 Dengan Aplikasi Mach 3,” *Univ. lampung*, pp. 1–23, 2016. [Online]. Available: <http://digilib.unila.ac.id/78077/>.
- [7] Z. Kemaraningrat, “Abrack Visual Analysis of Stone Carving In Home Industry ‘Seni Ukir Tasikmalaya’ Purbaratu District Tasikmalaya City,” *Univ. Tasik Malaya*, 2022. [Online]. Available: www.lib.umtas.ac.id
- [8] Y. Yolanda, “Seni Ukir Kayu yang Menakjubkan di Indonesia, Ini Faktanya,” 2021. Accessed: Nov. 5, 2024. [Online]. Available: <https://www.jakartanotebook.com/blog/seni-ukir-kayu-yang-menakjubkan-di-indonesia-ini-faktanya/>

- [9] C. Okraviana, “Mesin CNC. Prinsip Kerja, Pengoperasian, Jenis,” *Indotech Group*, 2021. Accessed: Nov. 5, 2024. [Online]. Available: <https://indotech-group.co.id/mesin-cnc>.
- [10] H. R. Siregar, “Rancang Bangun Sistem Penggerak Stepper Motor dan Servo pada Mesin Grafir 2D Secara Wireless,” *UIN Sumatra Utara Medan*, vol. 20, no. 2, p. 78, 2019. [Online]. Available: <http://repository.uinsu.ac.id/id/eprint/11271>
- [11] E. Sembiring, “Modifikasi Mekanisme Penggerak Pahat Mesin Router CNC pada Arah Sumbu X,” *Univ. Pas.*, pp. 5–29, 2017. [Online]. Available: [http://repository.unpas.ac.id/id/eprint/29835%0Ahttp://repository.unpas.ac.id/29835/1/BAB III Modifikasi.pdf](http://repository.unpas.ac.id/id/eprint/29835%0Ahttp://repository.unpas.ac.id/29835/1/BAB%20III%20Modifikasi.pdf)
- [12] D. Maril, “Apa Itu Mesin CNC Router.” *Kompasiana*, 2023. Accessed: Nov. 5, 2024. [Online]. Available: <https://www.kompasiana.com/dzakyamaril2292/6511ab1f4addee3dd905fd92/apa-itu-mesin-cnc-router>
- [13] H. Hendra, “Flat Panel CNC Router Mesin Pemotong 1200X2400 1300X2500 1500x1500 Kayu Perabot Kantor Membuat Mesin HE5L,” 2024. [Online]. Available: <https://indonesian.fs-hold.com/sale-14083466-flat-panel-cnc-router-cutting-machine-1200-x-2400-1300-x-2500-1500x1500-wooden-office-furniture-maki.html>
- [14] E. Mailto, “3 Phase Stepper Motor Nema 23 Series,” 2024. Accessed: Nov. 7, 2024. [Online]. Available: <https://id.hybridservos.com/stepper-motor-nema-23-series/>
- [15] A. Ramadhani and L. S. Ramba, “Sistem Pengaturan Suhu Air Menggunakan Kendali PID Berbasis LabVIEW Water Temperature Control Using PID Control System Based on LabVIEW,” 2016. [Online]. Available: <https://ojs.unikom.ac.id/index.php/telekontran/article/download/1888/1248/>
- [16] D. Cuartielles, “Strange Motor Behavior (Code or Wiring issue?),” 2017. [Online]. Available: <https://forum.arduino.cc/t/strange-motor-behavior-code-or-wiring-issue/453424>
- [17] Tria, “Chuck Pada Mesin Bubut – Anak Bengkel Harus Tahu,” 2024. Accessed: Nov. 7, 2024. [Online]. Available: <https://teknikjaya.co.id/chuck-pada-mesin-bubut/>.

- [18] C. M. Hangzhou, “Jenis Kopling Fleksibel, Kopling Poros Fleksibel,” 2024. Accessed: Nov. 7, 2024. [Online]. Available: <https://indonesian.alibaba.com/product-detail/types-of-Flexible-Coupling-Flexible-Shaft-288847981.html>.
- [19] S. Kizia, “500mm Panjang 4040 T Slot Aluminium Profil Ekstrusi Frame,” 2024. Accessed: Nov. 07, 2024. [Online]. Available: <https://www.tokopedia.com/kiziashop/500mm-panjang-4040-t-slot-aluminium-profil-ekstrusi-frame/>.
- [20] M. Jojo, “Pillow Blocks Bearings,” 2018. Accessed: Nov. 5, 2024. [Online]. Available: <https://logam-makmur.com/bearings/pillow-blocks-bearings/>
- [21] J. A. Trisakti, “Bearing Duduk UCP207 Pillow Block UCP207,” 2024. Accessed: Nov. 7, 2024. [Online]. Available: <https://www.tokopedia.com/trisakti123/bearing-duduk-ucp207-1-14ampquot-atau-32mm-pillow-block-ucp207/>
- [22] A. J. Saifudin, Syaripuddin, and S. Hutami, “Arduino UNO,” 2023. Accessed: Nov. 7, 2024. [Online]. Available: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3>
- [23] A. H. Patonra, S. Masita, N. R. Wibowo, and A. Fitriati, “Rancang Bangun Media Pembelajaran Praktik Motor Stepper,” *Maple (Mechatronics J. Professional Entrep.*, vol. 2, no. 1, pp. 7–12, 2020. [Online]. Available: <https://jurnal.politeknikbosowa.ac.id/index.php/JMAPLE/article/view/272>
- [24] M. Budiarno, “TB6600 Stepper Motor Driver with Arduino Tutorial,” 2019. Accessed: Nov. 7, 2024. [Online]. Available: <https://www.makerguides.com/tb6600-stepper-motor-driverarduino-tutorial/>
- [25] J. C. Babilio and S. R. Matos, “Design of PI and PID Controllers with Transient Performance Specification,” *IEEE Trans. Educ.*, vol. 45, no. 4, pp. 364–370, 2002, doi: 10.1109/TE.2002.804399.
- [26] A. Hamdi, “Rex-C100/C400/C410/C700/C900 Instruction Manual,” pp. 1–8, 2012. [Online]. Available: <https://www.rkcinst.co.jp/english/downloads/8933/imnzc22e1/>

- [27] A. S. Shayea, "Council for Innovative Research," J. Adv. Chem., vol. 10, no. 1, pp. 2146–2161, 2015. [Online]. Available: https://www.academia.edu/29680888/Council_for_Innovative_Research
- [28] B. S. Budhi, "Pemrograman Kecepatan Gerak Motor Stepper Menggunakan Aplikasi Universal G-Code Sender dan Analisis Hasil Canting Dari Mesin Plotter Batik Berbasis CNC," Universitas Muhammadiyah Malang. 2019. [Online]. Available: <https://eprints.umm.ac.id/56293/>
- [29] A. R. Sonawane, A. B. Rane, and D. S. S. Sudhakar, "Development of a3-Axis CNC Milling Machine With an Open Source Controller," Int. J. Res. Eng. Technol., vol. 06, no. 08, pp. 9–15, 2017, doi: 10.15623/ijret.2017.0608002.
- [30] V. P. Srinivasan, "Design and Fabrication of Dual Axis Writing Machine," Mater. 40 Today Proc., vol. 45, pp. 6743–6749, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.12.630

