

**Pengaplikasian sistem kendali pada mesin bubut CNC TU 2A
EMCO dengan perangkat lunak Mach3**

*Application of control system on CNC lathe TU 2A EMCO with
Mach3 software*

SKRIPSI

Oleh:

**Nama: Ade Agus Mulyana
NPM: 213030061**



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

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

N a m a : Ade Agus Mulyana

Nomor Pokok Mahasiswa : 213030061

Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Dalam 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 plagiarisme.

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

Bandung, 17 Agustus 2025

Penulis,



Ade Agus Mulyana

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

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

N a m a: Ade Agus Mulyana

NPM: 213030061

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:

“Pengaplikasian sistem kendali pada mesin bubut CNC TU 2A EMCO dengan perangkat lunak mach3”.

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, 17 Agustus 2025

Yang menyatakan,



Ade Agus Mulyana

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**Pengaplikasian sistem kendali pada mesin bubut CNC TU 2A
EMCO dengan perangkat lunak mach3**



Nama: Ade Agus Mulyana
NPM: 213030061

Pembimbing Utama

Dr. Ir. Rachmad Hartono, M.T.

Pembimbing Pendamping

Dr. Ir. Sugiharto, M.T.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Pengaplikasian sistem kendali pada mesin bubut CNC TU 2A EMCO dengan perangkat lunak mach3



Nama: Ade Agus Mulyana
NPM: 213030061

Tanggal sidang skripsi: 24 Desember 2025

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

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

Anggota : Dr. Ir. Ade Bagdja, MME.

Anggota : Dr. Ir. Dedi Lazuardi, DEA.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia, rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi dengan judul:

Pengaplikasian sistem kendali pada mesin bubut CNC TU 2A EMCO dengan perangkat lunak mach3

Shalawat serta salam tercurahkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, para sahabat, serta para pengikutnya. Penulis menyadari masih banyak kekurangan dan kelemahan selama proses dalam penulisan laporan ini. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat diharapkan dari pembaca, agar dikemudian hari dapat dijadikan evaluasi dan pembelajaran. Dalam penyusunan laporan ini penulis juga berterimakasih karena mendapat bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis berterimakasih kepada:

1. Ibu Yayah Rukiyah dan Ayah Eman Sulaeman yang selalu memberikan do'a, semangat serta dukungan kepada Penulis.
 2. Kakak Ai Iyam Maryamah yang memberikan dukungan kepada Penulis.
 3. Dr. Ir. Rachmad Hartono sebagai dosen pembimbing utama yang telah membantu dan memberikan banyak saran dan masukan dalam pembuatan laporan skripsi.
 4. Dr. Ir. Sugiharto, M.T. sebagai dosen pendamping yang telah membantu dan memberikan banyak saran dan masukan dalam pembuatan laporan skripsi.
 5. Seluruh teman labolatorium yang mendukung dan memberi bantuan kepada penulis.
- Akhir kata dan tidak lupa mengucapkan *alhamdulillah*, berharap semoga laporan skripsi ini dapat bermfaat bagi penulis pada khususnya dan umumnya bagi semua pihak yang membaca. Terima kasih.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Bandung, 17 Agustus 2025

Penulis,



Ade Agus Mulyana

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	X
ABSTRAK	XI
ABSTRACT	XII
BAB I PENDAHULUAN	1
1. Latar belakang	1
2. Rumusan masalah	1
3. Tujuan	2
4. Manfaat	2
5. Lingkup masalah	2
6. Sistematika penulisan	2
BAB II STUDI LITERATUR	4
1. Kajian pustaka	4
2. Sistem kendali mesin bubut CNC TU 2A yang ada di pasaran	6
3. Mesin bubut CNC TU-2A	7
4. Bagian utama mesin bubut CNC TU 2A	8
5. Sistem kendali mesin bubut CNC TU 2A	10
BAB III METODOLOGI	16
1. Tahapan penelitian	16
2. Tempat penelitian	17
3. Rancangan keseluruhan sistem kendali mesin bubut CNC TU 2A	17
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA HASIL PENGUJIAN	19

1. Kalibrasi gerak eretan.....	19
2. Pengujian sistem kendali mesin bubut CNC TU 2A.....	21
3. Hasil pengujian sistem kendali mesin bubut CNC TU 2A	22
4. Analisis hasil pengujian.....	24
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	26
1. Kesimpulan.....	26
2. Saran	26
DAFTAR PUSTAKA.....	27
LAMPIRAN.....	31



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Mesin bubut CNC TU 2A yang telah di retrofit [3]	4
Gambar 2. Mesin bubut konvensional yang telah di retrofit [5]	5
Gambar 3. Mesin bubut konvensional model CO623CX1000 [4].....	5
Gambar 4. Mesin bubut ALPINE-350CNC [6]	6
Gambar 5. Sistem Kendali CNC1000TDB-2 [7].....	7
Gambar 6. Sistem kendali XC609T [8]	7
Gambar 7. Mesin bubut CNC TU-2A [11]	8
Gambar 8. Mekanisme arah gerakan mesin bubut CNC TU-2A [13].....	8
Gambar 9. Tampilan <i>software</i> mach3	10
Gambar 10. BreakOut Board Mach3 [20].....	11
Gambar 11. (a) Motor stepper bipolar (b) Skematis konstruksi motor stepper bipolar	12
Gambar 12. Skematis pengaturan posisi poros motor stepper	13
Gambar 13. Driver motor stepper TB6600 9-24 v 4A [26]	14
Gambar 14. Transformator Step Down [28]	15
Gambar 15. Skematis rangkaian rectifier.....	15
Gambar 16. Alur diagram penelitian.....	16
Gambar 17. Laboratorium Teknik Mesin Universitas Pasundan Bandung.....	17
Gambar 18. Rancangan sistem kendali mesin bubut CNC TU 2A	18
Gambar 19. Set up kalibrasi eretan searah sumbu X dan sumbu Z.....	19
Gambar 20 Tampilan awal software mach3.....	20
Gambar 21. Tampilan software mach3 setelah menu seting dipilih	20
Gambar 22. Tampilan software mach3 setelah <i>button set step per unit</i> dipilih	20
Gambar 23. Tampilan software mach3 setelah	21
Gambar 24. Tampilan setelah di lakukan pengukuran kembali	21
Gambar 25. Bentuk benda uji untuk pengujian 1: Poros bertingkat	22
Gambar 26. Bentuk benda uji untuk pengujian 2: Fillet	23
Gambar 27. Hasil pengujian dengan bentuk poros bertingkat	34
Gambar 28. Hasil pengujian dengan bentuk fillet.....	34
Gambar 29. Tampilan awal software Mach3 turn.....	35
Gambar 30. Tampilan <i>software</i> Mach3 setelah button auto dipilih	35
Gambar 31. Tampilan <i>software</i> Mach3 setelah button load dipilih	35
Gambar 32. Tampilan <i>software</i> Mach3 setelah button cycle dipilih.....	36

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Data hasil kalibrasi yang telah diukur menggunakan dial indicator	23
Tabel 2. Hasil pengujian panjang setiap tingkatan.....	24
Tabel 3. Hasil pengujian diameter setiap tingkatan	24
Tabel 4. Hasil pengukuran diameter, Panjang dan kemiringan setiap tingkatan	24
Tabel 5. G-code poros bertingkat dan G-code fillet.....	31



ABSTRAK

Penelitian ini membahas perakitan sistem kendali pada mesin bubut CNC TU-2A di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Pasundan, yang mengalami kerusakan pada sistem kendali sehingga tidak bisa difungsikan secara optimal. Tujuan utama penelitian adalah memanfaatkan software Mach3 dan board Mach3 yang tersedia di pasaran untuk mengendalikan mesin CNC TU-2A dengan biaya yang lebih ekonomis serta komponen yang mudah diganti jika terjadi kerusakan. Metode penelitian meliputi perancangan, perakitan, dan pengujian sistem kendali pada mesin bubut CNC TU-2A. Proses perakitan dilakukan dengan menggabungkan board Mach3, driver motor stepper TB6600, motor stepper, transformator, serta rectifier. Setelah rangkaian sistem kendali selesai, dilakukan kalibrasi dan pengujian gerak eretan pada sumbu X dan Z menggunakan benda kerja nilon untuk memastikan keakuratan pergerakan serta kinerja mesin sesuai spesifikasi yang diharapkan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem kendali yang dirakit mampu mengoperasikan mesin CNC TU-2A dengan baik dan dapat melakukan proses pemesinan benda kerja. Pergeseran eretan sesuai dengan nilai target, diamati secara visual dan diukur dengan jangka waktu sorong. Mesin CNC TU-2A dapat membentuk poros bertingkat dari bahan nilon, menandakan bahwa sistem kendali yang baru berfungsi optimal. Kesimpulan dari penelitian ini adalah perakitan sistem kendali baru berbasis Mach3 mampu menghidupkan kembali fungsi mesin CNC TU-2A, sekaligus memberikan solusi alternatif yang lebih ekonomis dibandingkan penggantian komponen asli yang mahal. Sistem ini sangat bermanfaat sebagai media praktikum dan penelitian bagi mahasiswa serta mendukung pengembangan keterampilan dalam otomasi dan teknologi CNC di lingkungan akademik.

Kata kunci: Board Mach3, CNC TU-2A, Pengujian mesin bubut, Sistem kendali Mach3.

ABSTRACT

This study discusses the assembly of the control system on the TU-2A CNC lathe at the Mechanical Engineering Laboratory of Pasundan University, which experienced damage to the control system so that it could not function optimally. The main objective of the study is to utilize Mach3 software and Mach3 boards available in the market to control the TU-2A CNC machine at a more economical cost and with components that are easy to replace if damage occurs. The research method includes designing, assembling, and testing the control system on the TU-2A CNC lathe. The assembly process is carried out by combining the Mach3 board, TB6600 stepper motor driver, stepper motor, transformer, and rectifier. After the control system circuit is completed, calibration and testing of the carriage motion on the X and Z axes using nylon workpieces are carried out to ensure the accuracy of the movement and the machine performance according to the expected specifications. The test results show that the assembled control system is able to operate the TU-2A CNC machine well and can carry out the workpiece machining process. The carriage displacement is in accordance with the target value, observed visually and measured with a vernier caliper. The TU-2A CNC machine can form multi-stage spindles from nylon, indicating optimal performance of the new control system. The conclusion of this research is that assembling a new Mach3-based control system can revitalize the TU-2A CNC machine and provide a more economical alternative to replacing expensive original components. This system is highly useful as a practical and research tool for students and supports the development of skills in CNC automation and technology in academic settings.

Keywords: CNC TU-2A, Lathe testing, Mach3 board, Mach3 control system.

BAB I PENDAHULUAN

1. Latar belakang

Proses pemesinan banyak digunakan dalam pembuatan komponen mesin atau industri lainnya. Penggunaan mesin otomatis merupakan salah satu solusi teknologi yang sedang berkembang saat ini. Dalam bidang manufaktur, sistem otomatis yang dipadukan dengan perkakas disebut dengan sistem perkakas kontrol numerik atau dikenal dengan nama mesin CNC (Computer Numerical Control) [1].

Di laboratorium Teknik Mesin Universitas Pasundan terdapat beberapa mesin CNC yang terbengkalai karena sistem kendali mesin tersebut rusak, tetapi sistem mekanik pada mesin CNC tersebut masih dapat digunakan salah satunya yaitu mesin CNC TU-2A. Sistem kendali pada mesin CNC yang rusak tidak memungkinkan untuk direparasi karena komponen pada sistem kendali tersebut begitu mahal. Sistem kendali pada mesin CNC bertindak sebagai otak mesin di mana seluruh parameter pemesinan dikonfigurasi dan dioperasikan melalui sistem kendali, oleh karena itu peran sistem kendali sangat penting bagi mesin tersebut. Salah satu fungsi sistem kendali pada CNC TU-2A, yaitu untuk mengoperasikan motor penggerak seperti motor stepper [1].

Penelitian ini fokus pada perakitan sistem kendali mesin CNC TU-2A, yang merupakan salah satu komponen utama dari mesin bubut CNC TU-2A. Sistem kendali yang dirakit terdiri dari *software* dan *hardware*. *Software* yang digunakan adalah *software* Mach3 dan *hardware* yang digunakan adalah *board* mach3 [2].

2. Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

- a. Komponen apa saja yang digunakan pada sistem kendali mesin bubut CNC TU-2A agar sistem kendali memiliki harga yang terjangkau dan dapat diganti dengan mudah ketika ada kerusakan pada komponen tersebut,
- b. Bagaimana proses perakitan sistem kendali dapat dilakukan agar mesin berfungsi dengan optimal, dan
- c. Bagaimana cara menguji performa sistem kendali yang telah dirangkai.

3. Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah memanfaatkan sistem kendali mach3 yang ada di pasaran agar dapat digunakan untuk mengendalikan mesin bubut CNC TU-2A. Sistem kendali tersebut berfungsi untuk menggerakkan eretan searah sumbu z dan sumbu x.

4. Manfaat

Penelitian ini bermanfaat untuk menghidupkan kembali fungsi mesin CNC TU-2A yang sebelumnya tidak dapat digunakan akibat kerusakan sistem kendali. Dengan perakitan sistem kendali baru menggunakan *software* Mach3 dan *board* Mach3, mahasiswa dapat memanfaatkan mesin tersebut sebagai media praktikum dan penelitian. Selain itu, penelitian ini juga memberikan solusi alternatif yang lebih ekonomis dibandingkan mengganti komponen asli yang mahal, serta mendukung pengembangan keterampilan mahasiswa dalam bidang otomasi dan teknologi CNC.

5. Lingkup masalah

Agar pembahasan penelitian ini lebih fokus, diperlukan batasan ruang lingkup masalah. Masalah yang dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana menerapkan *software* mach3 yang tersedia di pasaran, sehingga *software* mach3 dapat bekerja secara optimal pada mesin CNC TU 2A, dan
- b. Bagaimana proses pengujian pembubutan untuk mengetahui kualitas produk yang dihasilkan.

6. Sistematika penulisan

Laporan penelitian ini disusun dalam lima bab disertai dengan lampiran. Bab yang dibahas yaitu pendahuluan, studi literatur, metodologi penelitian, pengujian dan analisis hasil pengujian dan pembahasan, serta kesimpulan dan saran.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisikan tentang latar belakang yang menjadi permasalahan secara umum dan khusus penelitian ini dilakukan, rumusan masalah penelitian, tujuan penelitian, manfaat, lingkup penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II STUDI LITERATUR

Bab ini berisikan tentang kajian pustaka, sistem mekanik, *software* pemodelan atau perancangan, sistem transmisi, pemilihan material, motor stepper, dan perakitan.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisikan tentang tahapan penelitian dan tempat penelitian. Tahapan penelitian dapat berupa diagram alir atau yang sejenisnya.

BAB IV SIMULASI PENGUJIAN, HASIL, DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan tentang pengujian gerak eretan mesin bubut CNC TU 2A searah sumbu X, dan sumbu Z, Hasil pengujian, serta analisa hasil pengujian. Pemotongan dilakukan pada benda kerja nilon.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran tentang hal-hal penting yang diperoleh dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

Bagian ini berisikan tentang referensi yang digunakan dalam penelitian.

LAMPIRAN

Bagian ini berisikan tentang beberapa penjelasan yang tidak mencakup di laporan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Perakitan sistem kendali menggunakan board Mach3, driver TB6600, motor stepper, transformator, dan rectifier berhasil menghidupkan kembali mesin CNC TU-2A yang rusak. Mesin mampu memotong benda kerja nilon membentuk poros bertingkat dan fillet sesuai G-code, sehingga dapat digunakan normal untuk tujuan akademik.

2. Saran

Dari hasil penelitiann yang telah dilakukan menunjukan hasil yang baik mengenai kinerja mesin bubut CNC TU 2A. Namun terdapat beberapa saran yang kiranya perlu untuk dilakukan. Beberapa saran tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Perlu ditambahkan kontrol on-off spindle via *software* Mach3 untuk pengaturan kecepatan putar otomatis,
- b. Perlu dilakukan pengujian lanjutan pada material lain seperti aluminium untuk verifikasi ketahanan system, dan
- c. Perlu diintegrasikan sensor *limit switch* untuk mencegah overtravel eretan dan meningkatkan safety.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sugiharto *dkk.*, “Design and manufacturing of cutting motion control system on 3-axis router machine for wood carving,” 2021. doi: 10.2991/assehr.k.210909.031.
- [2] A. Suryanto, S. Widiyanto, M. STT Duta Bangsa, D. STT Duta Bangsa, P. Studi Teknik Mesin, dan S. Tinggi Teknologi Duta Bangsa Kalibaru Timur Kel Kalibaru Medan Satria Kota Bekasi, “Pengembangan dan pengujian pada rancang bangun sistem kontrol prototipe CNC bubut 2 sumbu dengan controller MACH3.” [Daring]. Tersedia pada: <https://journal.sttdb.ac.id/>
- [3] A. N. J. F. M. Irwin Syahri Cebro, “Proceeding seminar nasional politeknik negeri lhokseumawe pengaruh parameter pemotongan mesin bubut CNC TU-2A retrofit terhadap kekasaran permukaan dan keselindrisan”, Diakses: 11 September 2025. [Daring]. Tersedia pada: https://prosiding.bkstm.org/prosiding/2012/MAN-056.pdf?utm_source=chatgpt.com
- [4] U. Penelitan, “Pemanfaatan sistem kendali Mach3 untuk mengendalikan mesin bubut retrofit,” 2024. Diakses: 11 September 2025. [Daring]. Tersedia pada: https://repository.unpas.ac.id/72397/1/Musa%20Wiratama_173030001_Teknik%20Mesin.pdf?utm_source=chatgpt.com
- [5] M. Ade Iskandar, J. Teknik Mesin, P. Negeri Bandung Jl Gegerkalong Hilir, K. Parongpong, K. Bandung Barat, dan J. Barat, “Retrofit mesin bubut konvensional menjadi sistem Mesin CNC 2 axis,” 2022. Diakses: 11 September 2025. [Daring]. Tersediapada: https://jurnal.polban.ac.id/proceeding/article/view/4194?utm_source=chatgpt.com
- [6] Riswan Djambiar, “Rancang bangun sistem instalasi kontrol pada otomasi mesin bubut alpine-350”, Diakses: 11 September 2025. [Daring]. Tersedia pada: https://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=1567198&title=RANCANG+BANGUN+INSTALASI+SISTEM+KONTROL+PADA+OTOMASI+MESIN+BUBUT+ALPINE-350&val=4534&utm_source=chatgpt.com
- [7] Alibaba, “Sistem kendali CNC1000TDB-2.” Diakses: 11 September 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://indonesian.alibaba.com/product-detail/SZGH-CNC1000TDb-2-2-Axis-Lathe-60610349979.html>

- [8] Alibaba, "Sistem kendali XC609T." Diakses: 11 September 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://indonesian.alibaba.com/product-detail/XC609T-2-Axis-CNC-Control-System-1600107915158.html>
- [9] M. Iswar, J. Teknik Perawatan dan Perbaikan Mesin, P. Negeri Fakfak, J. Teknik Mesin, P. Studi Perawatan Alat Berat, dan P. Negeri Ujung Pandang, "Analisis kekasaran mesin bubut konvensional dan CNC TU-2A dengan rpm 1500 menggunakan poros aluminium," vol. 4, no. 1, hlm. 6–10, 2024, [Daring]. Tersedia pada: <https://journal.isas.or.id/index.php/JAMERE>
- [10] R. Heryanto Budiono Soemardi, "Analisis Waktu Pemotongan dengan program inkremental dan absolut pada mesin bubut CNC TU-2", Diakses: 11 September 2025. [Daring]. Tersedia pada: https://ejournal.itn.ac.id/index.php/flywheel/article/view/682?utm_source=chatgpt.com
- [11] Unit pelatihan EMCO TU 2A, "Gambar mesin bubut CNC TU 2A." Diakses: 11 September 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://cnc.ub.ac.id/fasilitas-3/emco-cnc-training-unit-2a/>
- [12] Lailatul Akbar, "Perancangan dan pembuatan sistem kendali mesin bubut CNC TU-2A mode manual," 2022. Diakses: 11 September 2025. [Daring]. Tersedia pada: https://repository.unpas.ac.id/62464/1/Lailatul%20Akbar_163030097_Teknik%20Mesin_Skripsi.pdf?utm_source=chatgpt.com
- [13] Simaguru, "Arah gerak mesin bubut CNC TU 2A." Diakses: 11 September 2025. [Daring]. Tersedia pada: https://simaguru.smkn2solo.online/uploads/files/Modul%201%20Bubut%20CNC_Bab%20III.pdf
- [14] A. T. Setiono dan Y. Ito, "Design and finite element analysis of small conventional lathe frame for regular manufacturing works," *Perwira Journal of Sains & Engineering (PJSE)*, vol. 3, no. 1, hlm. 38–42, doi: 10.54199/pjse.v3i1.
- [15] P. MESIN BUBUT KAYU KONVENSIIONAL Zulfa Firli Herdian, R. Abu, dan Z. Firli Herdian, "Design of conventional wood lathes info artikel abstrak," 2023. [Daring]. Tersedia pada: <https://ojs.ekasakti.org/index.php/UJSR/>
- [16] C. Jacob dkk., "Modifikasi sistem eretan pada EMCO COMPACT 5-PC CNC LATHE charles punuhsingon 4", Diakses: 14 November 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/poros/article/download/57190/47156/140260>

- [17] A. Kerusakan *dkk.*, “Analisis kerusakan dan perbaikan eretan melintang pada mesin bubut mawitec menggunakan metode RCFA”.
- [18] A. Salam, S. Rasyid, A. Alim, A. Uswat Hasnan, dan K. Khalid, “Pengembangan sistem kontrol mesin CNC training unit 3 axis,” *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, vol. 23, no. 1, hlm. 129–136, Sep 2025, doi: 10.31963/sinergi.v23i1.4990.
- [19] I. rasikin dan P. Wibowo, “Design and construction of computer numeric control (CNC) machines based on Microcontrollers,” *Journal of Information Technology, computer science and Electrical Engineering (JITCSE)*, vol. 1, no. 3, hlm. 1–12, 2024, doi: 10.30596/jitcse.
- [20] R. Yudhi Ardiansyah, N. A. Ariyanto, dan S. A. Romadhon, “Rancng bangun sistem control CNC router 3 axis menggunakan board mach3.” Diakses: 14 November 2025. [Daring]. Tersediapada: https://perpustakaan.poltektegal.ac.id/index.php?p=fs_tream-pdf&fid=22881&bid=4208582
- [21] “Motor stepper:teknologi metoda dan rangkaian kontrol”, Diakses: 14 November 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://repository.unikom.ac.id/30466/1/vol-6-artikel-7.pdf>
- [22] “Rancangbangun perangkat kendali motor stepper dengan mikrokontroler”, Diakses: 14 November 2025. [Daring]. Tersediapada: <https://jurnal.sttw.ac.id/index.php/jte/article/view/180/102>
- [23] A. A. Putra, “implementasi sistem kontrol penggerak motor stepper pada proses pencetakan mikroplastik berbasis pid menggunakan plc dan arduino,” *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 12, no. 1, Jan 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i1.3601.
- [24] A. W. Wardhana dan D. T. Nugroho, “Pengontrolan motor stepper menggunakan driver DRV 8825 berbasis signal square wave dari timer mikrokontroler AVR,” *JURNAL NASIONAL TEKNIK ELEKTRO*, vol. 7, no. 1, hlm. 80, Mar 2018, doi: 10.25077/jnte.v7n1.530.2018.
- [25] A. Habib Patonra, S. Masita, N. R. Wibowo, A. Fitriati, dan P. Bosowa, “Rancang bangun media pembelajaran praktik motor Stepper.” Diakses: 14 November 2025. [Daring]. Tersediapada: <https://journal.politeknikbosowa.ac.id/JMAPLE/article/download/272/127>

- [26] B. Cahyo Wibowo, M. Dahlan, dan R. R. Setiawan, "Stepper motor control analysis using acceleration-deceleration method based on PLC (programmable logic control)." Diakses: 14 November 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://journal.unm.ac.id/index.php/mediaelektrik/article/view/558/704>
- [27] R. Syahputra, L. Fajar Arrozak, K. Terpadu UMY, dan J. Lingkar Selatan Yogyakarta, "Power transformer loading analysis in order to improve the reliability of a substation," *Journal of Electrical Technology UMY (JET-UMY)*, vol. 1, no. 4, 2017, Diakses: 14 November 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://journal.umy.ac.id/index.php/jet/article/download/7451/4662/23546>
- [28] Q. Liu, F. Liu, Y. Yang, Y. Peng, K. Z. Liu, dan A. Wang, "A novel transformer winding design strategy for efficiency improvement and harmonic suppression in industrial power system," *Protection and Control of Modern Power Systems*, vol. 9, no. 6, hlm. 30–41, 2024, doi: 10.23919/PCMP.2023.000302.
- [29] A. A. Rojabi dkk., "Analisis half-wave dan full-wave rectifiers menggunakan circuit lab online," 2023. Diakses: 14 November 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://jurnal.fte.uniba-bpn.ac.id/index.php/JTE/article/view/205/106>
- [30] I. M. Muttaqin, S. I. Yuniza, dan A. T. Nugraha, "Performance analysis of a single-phase controlled half-wave rectifier applied to AC motor," Diakses: 14 November 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://inergyc.ppns.ac.id/journal/index.php/elrina/article/view/225/117>