

TUGAS AKHIR

**RANCANG BANGUN CNC LASER CO2 UNTUK
KERAJINAN NON-LOGAM**



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh

ANAK AGUNG BAGUS SURYA

PROGRAM STUDI D3 TEKNIK MESIN

**JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI BALI**

2025

TUGAS AKHIR

**RANCANG BANGUN CNC LASER CO2 UNTUK
KERAJINAN NON-LOGAM**



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh

ANAK AGUNG BAGUS SURYA

NIM. 2215213046

PROGRAM STUDI D3 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

POLITEKNIK NEGERI BALI

2025

ABSTRAK

Mesin Laser CO₂ Berbasis CNC ini merupakan alat yang dirancang untuk memotong material non-logam dengan presisi dan efisien. Mesin ini memanfaatkan teknologi CNC (Computer Numerical Control) untuk mengendalikan pergerakan kepala laser secara akurat sesuai dengan desain yang diinput melalui perangkat lunak CAD/CAM. Dilengkapi dengan sistem pengaturan daya, mesin ini mampu menyesuaikan intensitas laser berdasarkan jenis dan ketebalan material, seperti kayu, akrilik, kulit, kain, dan bahan non-logam lainnya. Hal ini memungkinkan pemotongan yang bersih tanpa merusak material.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang, membuat serta menguji Mesin Laser CO₂ Berbasis CNC yang dapat melakukan akurasi memotong material non-logam yang memiliki dimensi yang akurat, presisi, rapi, dan efektif. Dalam penelitian ini dilakukan rancang bangun untuk merancang mesin Laser CO₂ Berbasis CNC yang sesuai kebutuhan industri skala menengah keatas. Prinsip kerja dari Mesin Laser CO₂ Berbasis CNC yaitu membuat desain dengan software CAD atau software Coreldraw, Selanjutnya desain dikonversi menjadi G-code (kode mesin), sehingga mesin dapat bekerja sesuai dengan koordinat G-code. Hasil dari penelitian ini mencakup rancang bangun yang membuat desain rancangan, perhitungan rancangan, proses pembuatan, dan hasil dari akurasi pemotongan terhadap bahan non-logam.

Hasil rancang bangun konstruksi Mesin Laser CO₂ Berbasis CNC yaitu area kerja pemotongan dan mengukir 600mm x 400mm, menggunakan kontroller ESP32 yang telah disematkan sistem FluidNC sebagai Kontroller, menggunakan Komputer, laptop, dan handphone yang terkoneksi dengan internet sebagai mengetahui MDI (Manual Data Input) pergerakan koordinat G-code dan mengirim file G-code ke mesin. Hasil pemotongan berpengaruh dari daya laser yang digunakan dan percepatan pergerakan mesin. Kesimpulan dari daya yang divariasikan dan kecepatan pergerakan divariasikan yaitu: semakin besar daya yang digunakan maka tujuannya untuk memotong benda dan daya yang kecil digunakan untuk mengukir benda. Untuk kecepatan pergerakan disesuaikan dengan daya yang digunakan pada laser CO₂.

Kata kunci: Mesin CNC laser CO₂, pengaturan daya, G-code, kerajinan non-logam

CO₂ LASER CNC DESIGN FOR NON-METAL CRAFTS

ABSTRACT

This CNC-based CO₂ Laser Machine is a tool designed to cut non-metallic materials precisely and efficiently. This machine utilizes CNC (Computer Numerical Control) technology to accurately control the movement of the laser head according to the design inputted through CAD/CAM software. Equipped with a power control system, this machine can adjust the laser intensity based on the type and thickness of the material, such as wood, acrylic, leather, fabric, and other non-metallic materials. This allows for clean cuts without damaging the material.

This research aims to design, build, and test a CNC-based CO₂ Laser Machine that can accurately cut non-metallic materials with accurate, precise, neat, and effective dimensions. This research conducted a design to design a CNC-based CO₂ Laser Machine suitable for the needs of medium- to large-scale industries. The working principle of a CNC-based CO₂ Laser Machine is to create a design using CAD software or CorelDraw. The design is then converted into G-code (machine code), so that the machine can operate according to the G-code coordinates. The results of this study include the design, design calculations, manufacturing process, and cutting accuracy results for non-metallic materials.

The design and construction of a CNC-based CO₂ laser machine consists of a 600mm x 400mm cutting and engraving work area, using an ESP32 controller embedded with the FluidNC system. A computer, laptop, and internet-connected mobile phone are used to determine the MDI (Manual Data Input) coordinates for the G-code movement and send the G-code file to the machine. The cutting results are influenced by the laser power used and the machine's movement acceleration. The conclusion from varying the power and movement speed is that higher power is used for cutting objects, while lower power is used for engraving objects. The movement speed is adjusted according to the power used on the CO₂ laser.

Keywords: CO₂ laser CNC machine, power setting, G-code, non-metal crafts

DAFTAR ISI

SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	iv
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	v
UCAPAN TERIMAKASIH.....	vi
ABSTRAK	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
KATA PENGANTAR.....	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.4.1 Tujuan Umum	2
1.4.2 Tujuan Khusus.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.5.1 Bagi Penulis	3
1.5.2 Bagi Politeknik Negeri Bali	3
1.5.3 Bagi Masyarakat.....	3
BAB II LANDASAN TEORI	4
2.1 LASER	4
2.1.1 Jenis- jenis Laser	5
2.1.2 Perencanaan Laser CO ₂	7
2.2 Bahan Non-Logam (Akrilik).....	10
2.2.1 Jenis-jenis Akrilik	10
2.2.2 Sifat-sifat Akrilik.....	11

2.2.3	Kelebihan dan kekurangan Akrilik.....	12
2.3	Mesin CNC	12
2.3.1	Bagian-bagian sistem mesin CNC	13
2.3.2	Prinsip kerja CNC	14
2.4	Aktuator.....	15
2.4.1	Motor <i>Stepper</i>	15
2.5	Perencanaan Pulley GT2	17
2.6	Perencanaan <i>Belt</i> GT2.....	18
2.7	Perencanaan Sekrup penggerak (<i>Lead screw</i>).....	19
2.8	<i>Linear Guide</i>	21
2.8.1	Perencanaan <i>Linear Guide</i>	21
2.9	Komponen Elektronik Sistem Control CNC.....	22
2.9.1	MCU (<i>Machine Control Unit</i>).....	22
2.9.2	MCU (<i>Machine Control Unit</i>).....	22
2.9.3	<i>Driver</i> Motor <i>stepper</i>	23
2.9.4	Sensor jarak (<i>Limit switch</i>).....	24
2.9.5	Relay	25
2.9.6	Catu daya rangkaian (<i>Power Supply</i>).....	26
2.9.7	Catu daya Laser CO ₂ (<i>Power supply</i>)	27
2.10	Perangkat lunak (firmware) <i>FluidNC</i>	28
2.11	Perawatan	29
2.11.1	Manajemen pemeliharaan (<i>Maintenance</i>).....	29
2.11.2	Pembagian <i>Maintenance</i> Perawatan	30
BAB III METODE PENELITIAN		32
3.1	Rancang bangun	32
3.1.1	Rangkaian Kelistrikan mesin CNC Laser CO ₂	33
3.1.2	Cara kerja mesin CNC Laser CO ₂	33
3.2	Jenis Penelitian.....	34
3.3	Alur Penelitian	35
3.4	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	36
3.5	Penentuan Sumber Data	36
3.6	Sumber Daya Penelitian.....	37

3.6.1	Alat.....	37
3.6.2	Bahan dan Komponen	38
3.7	Instrumen Penelitian.....	38
3.8	Prosedur Penelitian.....	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		40
4.1	Hasil Penelitian	40
4.1.1	Wiring diagram	46
4.1.2	Perhitungan dan perencanaan pulley gt2	47
4.1.3	Perencanaan dan perhitungan <i>belt</i> GT2	48
4.1.4	Perencanaan Motor <i>Stepper</i>	54
4.1.5	Perencanaan dan perhitungan <i>linear guide</i>	55
4.1.6	Pembuatan Komponen	56
4.2	Pembahasan.....	70
4.2.1	Pengujian Mesin.....	70
4.2.2	Pengujian akurasi pemotongan	71
4.2.3	Prosedur pengoperasian mesin.....	72
4.2.4	Perawatan Mesin	74
4.2.5	Angaran biaya	77
BAB VPENUTUP.....		79
5.1.	Kesimpulan	79
5.2.	Saran.....	80
DAFTAR PUSTAKA.....		81
LAMPIRAN.....		84

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kelebihan dan kekurangan Akrilik.....	12
Tabel 3.1 <i>Time schedule</i> penelitian	36
Tabel 3.2 Hasil pengujian desain lingkaran variasi border speed daya 58,8 dengan pengukuran jangka sorong ketelitian 0.05 mm	36
Tabel 3.3 Hasil pengujian desain kotak variasi border speed daya 58,8 dengan pengukuran jangka sorong ketelitian 0.05 mm	37
Tabel 3.4 Hasil pengujian desain bintang variasi border speed daya 58,8 dengan pengukuran jangka sorong ketelitian 0.05 mm	37
Tabel 3.5 Bahan dan Komponen	38
Tabel 4.1 Hasil pengujian desain lingkaran variasi border speed daya 58,8 dengan pengukuran jangka sorong ketelitian 0.05 mm	71
Tabel 4.2 Hasil pengujian desain kotak variasi border speed daya 58,8 dengan pengukuran jangka sorong ketelitian 0.05 mm	72
Tabel 4.3 Hasil pengujian desain bintang variasi border speed daya 58,8 dengan pengukuran jangka sorong ketelitian 0.05 mm	72
Tabel 4.4 Anggaran biaya.....	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Mesin Laser Nd-YAG.....	5
Gambar 2.2 Mesin Laser Fiber.....	5
Gambar 2.3 Laser Dioda	6
Gambar 2.4 Mesin Laser CO ₂	6
Gambar 2.5 Lembaran akrilik bening dan bewarna	10
Gambar 2.6 Gambar diagram bagian-bagian sistem Mesin CNC.....	13
Gambar 2.7 Motor <i>stepper</i>	15
Gambar 2.8 <i>Pulley</i> GT2	17
Gambar 2.9 Belt GT2.....	19
Gambar 2.10 <i>Stepper Driver</i> Tb6600.....	24
Gambar 2.11 <i>Limit switch</i>	25
Gambar 2.12 Gambar bentuk relay dan simbol relay	25
Gambar 2.13 Gambar komponen-komponen relay	26
Gambar 2.14 Gambar <i>power supply</i>	26
Gambar 2.15 <i>Power supply</i> Laser CO ₂	27
Gambar 2.16 Gambar manajemen pembagian perawatan.....	30
Gambar 3.1 Desain Mesin CNC Laser CO ₂ Untuk Kerajinan non-logam.....	32
Gambar 3.2 Rangkaian Mesin CNC Laser CO ₂	33
Gambar 3.3 Alur Penelitian.....	35
Gambar 4.1 Mesin CNC Laser CO ₂	40
Gambar 4.2 Ukuran rangka utama	42
Gambar 4.3 Leadscrew nut	42
Gambar 4.4 Papan kontroller CNC	44
Gambar 4.5 <i>Wiring diagram mesin laser</i>	46
Gambar 4.6 Rangka meja.....	56
Gambar 4.7 Rangka utama.....	57
Gambar 4.8 Rangka gantri	57
Gambar 4.9 Proses pembuatan rangka	57
Gambar 4.10 Ukuran breket penghubung 1 dan 2	58

Gambar 4.11 Ukuran breket penghubung 3 dan 4	58
Gambar 4.12 Proses pembuatan breket.....	59
Gambar 4.13 Proses mendesain skematik PCB	61
Gambar 4.14 Proses mendesain <i>layout</i> PCB.....	62
Gambar 4.15 Proses perakitan rangka.....	63
Gambar 4.16 File YAML	67
Gambar 4.17 Dimensi (mm) desain uji coba	71
Gambar 4.18 Hasil pengujian akurasi pemotongan (Cutting) akrilik	71
Gambar 4.19 Tampilan awal software LaserGRBL	73
Gambar 4.20 Tampilan edit gambar	73
Gambar 4.21 Tampilan mengatur ukuran, speed,dan daya	73

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Usaha Mikro, Kecil dan Menengah (UMKM), khususnya pengrajin ukiran di berbagai daerah di Indonesia, dalam produksinya masih ada beberapa kendala, membutuhkan waktu yang lama untuk membuat kerajinan tangan secara manual. Hal ini menyebabkan keterbatasan dalam memenuhi permintaan pasar yang semakin meningkat. Oleh karena itu, teknologi berbasis CNC semakin relevan untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas produk kerajinan (Hendrawan, 2021).

Akrilik, salah satu material yang banyak digunakan dalam kerajinan modern, memiliki potensi besar untuk menghasilkan produk dengan nilai estetika tinggi. Namun pengolahan akrilik secara manual sering memakan waktu lama dan kurang presisi. Dengan kehadiran mesin Laser CO₂ berbasis CNC, diharapkan dapat mempercepat proses produksi dan meningkatkan akurasi, terutama untuk kerajinan non-logam seperti akrilik, kayu, kulit, dan kain. Selain itu, teknologi ini memungkinkan pengrajin menghasilkan desain yang lebih rumit dengan kualitas konsisten.

Teknologi CNC memanfaatkan kontrol berbasis komputer untuk mengatur pergerakan alat potong sesuai dengan program G-code. Hal ini memberikan fleksibilitas lebih dalam mengolah berbagai jenis material non-logam. Dengan memanfaatkan *firmware FluidNC* pada kontroler ESP32, sistem ini juga memungkinkan integrasi dengan perangkat modern seperti laptop dan smartphone untuk pengoperasian lebih mudah.

Mesin CNC Laser CO₂ juga dapat mengurangi kesalahan produksi akibat keterbatasan tenaga manusia. Dengan parameter seperti daya laser yang dapat disesuaikan dan kecepatan pergerakan yang presisi, teknologi ini mampu meningkatkan produktivitas dan mengurangi biaya produksi dalam jangka panjang.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang diatas maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang dan membuat mesin CNC Laser CO₂ berbasis ESP32 yang mampu beroperasi dengan efisien, ditinjau dari desain mekanik, pemilihan komponen elektronik, dan efisiensi sistem kontrol?
2. Apakah mesin yang dirancang bangun mampu melakukan proses pemotongan dengan akurat pada bahan non-logam yang diukur melalui tingkat ketelitian hasil potongan menggunakan jangka sorong?
3. Bagaimana pengaruh variasi kecepatan pergerakan terhadap hasil pemotongan maupun pengukuran, dengan indikator ketelitian alat ukur jangka sorong?

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan tidak meluas maka batasan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sistem pengendalian menggunakan kontroler ESP32 yang dilengkapi firmware FluidNC.
2. Mesin CNC dirancang untuk bekerja pada tiga sumbu (X, Y, dan Z).
3. Pengujian dilakukan untuk bahan non-logam seperti akrilik.
4. Penelitian berfokus pada variasi kecepatan pergerakan sebagai parameter utama.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian terdiri dari tujuan umum dan tujuan khusus yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

1.4.1 Tujuan Umum :

1. Tujuan umum dari perancangan ini sebagai persyaratan untuk menyelesaikan program studi D3 Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali.
2. Mengaplikasikan ilmu-ilmu yang telah didapatkan selama perkuliahan di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali.

1.4.2 Tujuan Khusus :

1. Dapat merancang dan membuat mesin CNC Laser CO₂ berbasis ESP32 (*Espressif Systems Protocol 32-Bit*) dengan fitur kontrol modern menggunakan firmware FluidNC.
2. Dapat menguji kemampuan mesin dalam menghasilkan pemotongan dan pengukiran dengan tingkat akurasi yang tinggi.
3. Dapat menganalisis pengaruh variasi daya laser dan kecepatan pergerakan terhadap kualitas hasil pemotongan dan pengukiran.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang penulis dapatkan setelah melakukan perancangan terhadap mesin CNC Laser CO₂ adalah sebagai berikut :

1.5.1 Bagi Penulis

1. Menambah Pengalaman serta wawasan terhadap pengembangan terutama terhadap ilmu rekayasa manufaktur.
2. Meningkatkan daya kreativitas, inovasi, dan keahlian mahasiswa.
3. Sebagai suatu penerapan teori dan praktik kerja yang diperoleh saat di bangku perkuliahan.

1.5.2 Bagi Politeknik Negeri Bali

1. Dapat mengembangkan teknologi yang tepat guna bagi dunia industri.
2. Dapat membangun kerja sama antara Lembaga Pendidikan dengan dunia industri.
3. Dapat dijadikan referensi atau acuan bagi peneliti selanjutnya.

1.5.3 Bagi Masyarakat

1. Meningkatkan pekerjaan pengukiran dan pemotongan material.
2. Membantu para Pengrajin Kreatif
3. Memberikan keuntungan yang lebih banyak bagi industri kerajinan non-logam.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Hasil dari rancang bangun mesin CNC Laser CO₂ dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Mesin CNC Laser CO₂ berhasil dirancang dan dibuat berbasis mikrokontroller ESP32 dengan firmware FluidNC yang mampu beroperasi secara efisien. Dari sisi mekanik, rangka dan system Gerak dirancang kokoh menggunakan aluminium profile dan komponen linear guide, sehingga mendukung presisi pergerakan. Dari sisi elektronik, pemilihan ESP32 memberikan keunggulan dalam fleksibilitas control dan konektivitas nirkabel disbanding system konvensional. Sistem kontrol ini mampu mengeksekusi G-Code secara stabil, baik melalui koneksi Wi-Fi maupun USB, menjadikan sistem lebih modern dan efisien.
2. Mesin yang dirancang mampu melakukan pemotongan dengan akurasi tinggi terhadap bahan non-logam seperti akrilik. Pengujian menggunakan jangka sorong dengan ketelitian 0,05 mm menunjukkan bahwa hasil potongan memiliki deviasi rata-rata sekitar $\pm 0,3$ mm dari desain asli. Hal ini menunjukkan bahwa mesin dapat digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan ketelitian dimensi dalam skala kecil hingga menengah.
3. Variasi kecepatan pergerakan mesin berpengaruh signifikan terhadap kualitas hasil pemotongan dan pengukiran. Hasil terbaik diperoleh pada kecepatan 150-300 mm/menit dengan daya 58,8%, yang mampu memberikan hasil potong bersih tanpa meleleh atau gagal potong. Kecepatan terlalu tinggi menyebabkan potongan tidak sempurna, sementara kecepatan terlalu rendah menyebabkan material terbakar. Pengaruh ini dapat terdeteksi melalui deviasi hasil ukuran menggunakan jangka sorong, sehingga kombinasi daya dan kecepatan perlu diatur sesuai kebutuhan material.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan sehubungan dengan rancang bangun mesin CNC Laser CO₂ untuk kerajinan Non logam yaitu :

1. Seiring berkembangnya teknologi disarankan kepada Politeknik Negeri Bali khususnya Jurusan Teknik Mesin untuk memberikan materi tentang pembelajaran CNC Maupun Sistem Kontrol lainnya.
2. Untuk peneliti selanjutnya yang ingin membuat mesin CNC Laser CO₂ lakukan pendesainanudukan mirror yang bisa diatur posisinya sevariasi mungkin karena memposisikan mirror untuk menghantarkan Laser sangat penting untuk akurasi mesin Laser.

DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, R. (2022, Desember 21). Relay: Pengertian, Fungsi, Gambar Simbol, Cara Kerja, Jenis.
- Black, P. and Adams, L. (2015) *Mechanical Engineering Design*. New York: McGraw-Hill.
- Bolton, W. (2015) *Mechatronics: Electronic Control Systems in Mechanical and Electrical Engineering*. Harlow: Pearson Education Limited.
- Budynas, R.G. and Nisbett, J.K. (2011) *Mechanical Engineering Design*. New York: McGraw-Hill.
- Callister, W.D., Jr. (2007) *Materials Science and Engineering: An Introduction*. 7th edn. New York: John Wiley & Sons.
- Davis, C.C. (1996) *Lasers and Electro-Optics: Fundamentals and Engineering*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Dhar, R. (2001) *Fundamentals of Mechanical Engineering*. New Delhi: Tata McGraw-Hill.
- Firsa, T. (2015). Developmen Of Cnc 4-Axis By Modifying Milling Machine Emco Tu 3-Axis (Vol. Xiv). Sulawewsi Selatan: Akademi Teknik Saroko.
- Firsa, T. (2015). Development Of Cnc 4-Axis By Modifying Milling Machine Emco. 66-71.
- Groover, M.P. (2020) *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*. Pearson.
- Hamrock, B.J. (1999) *Fundamentals of Machine Elements*. New York: McGraw-Hill.
- Harrizal (2015) *Rancang Bangun Sistem Kontrol Mesin CNC Milling 3 Axis* (Vol. IV). Jakarta: JOM FTeknik.
- Hasriyono. (2009). Management Perawatan Dan Perbaikan Mesin. Repository, li_1-li_22.
- Hendrawan, A.B. and Qurohman, M.T. (2021) 'Desain Mesin CNC Router 3 Axis Berbantu Perangkat Lunak Autodesk Inventor', *Nozzle: Journal Mechanical Engineering*, 10(1), pp. 1–5
- Ikhlash, S.H., Syafri and Adh, P. (2017) *Rancang Bangun Sistem Kontrol Mesin CNC*.
- Incropera, F.P. and DeWitt, D.P. (1996) *Introduction to Heat Transfer*. 4th edn. New York: Wiley.

- Juvinall, R.C. and Marshek, K.M. (2012) *Fundamentals of Machine Component Design*. New York: Wiley.
- Kogelnik, H. and Li, T. (1966) 'Laser Beams and Resonators', *Applied Optics*, 5(10), pp. 1550–1567.
- Lade, S. (2023) *Project Report Design and Development of Step Lift* (Doctoral dissertation, Sant Gadge Baba Amravati University, Amravati).
- Mitzner, K. (2007) *Complete PCB Design Using OrCAD Capture and PCB Editor*. Elsevier.
- Niemann, G. and Winter, H. (2003) *Maschinenelemente: Band 1*. Springer-Verlag.
- Norton, R.L. (2004) *Machine Design: An Integrated Approach*. Pearson Prentice Hall.
- Norton, R.L. (2021) *Machine Design: An Integrated Approach*. Pearson.
- Pardiñas, P., Canzobre, D.S., Lamas, J., Gómez-Coronel, M., Ramil, A., Lista, D.M.F. and López, A.J. (2024) 'Development of a high-precision, portable and automated mobile laser scanner for the recording and digitization of texture and micro-marks in archaeological and heritage stone', *EPJ Web of Conferences*, 305, p. 00022.
- Permana, A. (2011) *Linier dan Roller Sliding Ball Bearing*. Jakarta.
- Powell, J. (1993) *CO₂ Laser Cutting*. Springer.
- Pressman. (2009). *Prosedur Perancangan Dan Bangun Mesin*. Yogyakarta: Harnaningrum L.N.
- Rsyidin, I. (2024). Design and Build Microcontroller-Based Computer Numerical Control (CNC) Machine. *Journal of Information Technology, computer science and Electrical Engineering*, 1(3), 24-35.
- Ready, J.F. (1971) *Effects of High Power Laser Radiation*. Academic Press.
- Redyantanu, B.P. (2017) 'CNC Technology Implementation in Architectural Design', *Jurnal Kopertis* 7, 14(2), pp. 51–56.
- Robith. (2013). *Arcylic Bending Machine Dengan Sudut Yang Dapat Ditentukan*. Portal Garuda.
- Sadiku, M.N.O. and Smith, S.V. (2018) *Fundamentals of Electric Circuits*. McGraw Hill.
- Sari, R.P. (2023) *Rancang Bangun Mesin CNC (Computer Numerical Control) Laser Cutting CO₂ 40W Berbasis Mikrokontroler*. Institut Teknologi Sumatera.

- Sarjono, & Haryadi. (2009). Analisis Proses Perawatanmesindenganmetode Total Productive. Perawatan Preventif Untuk Mempertahankan Utilitas Performance, 28-43.
- Shigley, J.E. and Mischke, C.R. (2004) *Mechanical Engineering Design*. McGraw-Hill.
- Siegman, A.E. (1986) *Lasers*. University Science Books.
- Silfvast, W.T. (1996) *Laser Fundamentals*. Cambridge University Press.
- Steen, W.M. and Mazumder, J. (2010) *Laser Material Processing*. 4th edn. Springer.
- Subagyo, I.R. and Prasetyaningrum, P.T. (2024) 'Optimizing Arduino-Based Laser Cut Machine Settings for Home Industry', *International Journal of Artificial Intelligence and Science*, 1(1), pp. 1–13.
- Wang, B., Si, Y., Chadha, C., Allison, J.T. and Patterson, A.E. (2018) 'Nominal stiffness of GT-2 rubber-fiberglass timing belts for dynamic system modeling and design', *Robotics*, 7(4), p. 75.
- Zulfikar, Z. and Syafri (2017) *Proses Produksi Prototipe Mesin CNC Router 3 Axis*. Universitas Riau.