

**Perancangan dan Pembuatan Sistem Kendali
Mesin Pemotong Styrofoam Berbasis CNC 3 Axis Menggunakan
Hot Cutting Pen**

*Design and Manufacturing of Control System for 3 Axis CNC
Styrofoam Cutting Machine Using Hot Cutting Pen*

SKRIPSI

Oleh:

Nama: Mochamad Rizky

NPM: 203030078



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2024**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Mochamad Rizky
Nomor Pokok Mahasiswa : 203030078
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, 5 Desember 2024

Penulis,



Mochamad Rizky

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

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

Nama : Mochamad Rizky
NPM : 203030078
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:

“Perancangan dan Pembuatan Sistem Kendali Mesin Pemotong *Styrofoam* Berbasis CNC 3 Axis Menggunakan *Hot Cutting Pen*”

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, 5 Desember 2024

Yang menyatakan,



Mochamad Rizky

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Perancangan dan Pembuatan Sistem Kendali Mesin Pemotong Styrofoam Berbasis CNC 3 Axis Menggunakan *Hot Cutting Pen*



Nama : Mochamad Rizky
NPM : 203030078

Pembimbing Utama

Dr. Ir. Rachmad Hartono, M.T.

Pembimbing Pendamping

Dr. Ir. Sugiharto, M.T.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Perancangan dan Pembuatan Sistem Kendali Mesin Pemotong *Styrofoam* Berbasis CNC 3 Axis Menggunakan *Hot Cutting Pen*



Nama : Mochamad Rizky
NPM : 203030078

Tanggal sidang skripsi: 5 Desember 2024

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

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

Anggota : Prof. Dr. Ing. Ir. Priyono Soetikno, DEA.

Anggota : Dr. Ir. Widiyanti Kwintarini, 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 **Perancangan dan Pembuatan Sistem Kendali Mesin Pemotong Styrofoam Berbasis CNC 3 Axis Menggunakan Hot Cutting Pen**. Penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada beberapa pihak yang telah banyak membantu dalam pembuatan laporan skripsi ini. Sikap baik memudahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Penghargaan dan terimakasih penulis ucapkan kepada:

1. Allah SWT atas rahmat-Nya yang telah memberikan kemudahan dan petunjuk selama pembuatan laporan ini,
2. Keluarga saya, Bapak Achmad Thamim dan Ibu Haryati yang selalu memberikan doa serta dorongan, baik membantu secara moral dan material yang kuat sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini,
3. Bapak Dr. Ir. Sugiharto, M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Pasundan,
4. Bapak Dr. Ir. Rachmad Hartono, M.T. selaku dosen pembimbing utama,
5. Bapak Dr. Ir. Sugiharto, M.T. selaku dosen pembimbing pendamping,
6. Semua dosen Program Studi Teknik Mesin yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan kepada penulis selama penyelesaian studi,
7. Malika Nur'aini Qolbiyah yang senantiasa membantu dan mendukung penulis, dan
8. Semua rekan satu perjuangan Mahasiswa Teknik Mesin angkatan 2020 Universitas Pasundan.

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

Bandung, 5 Desember 2024

Penulis,



Mochamad Rizky

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. Manfaat	2
5. Lingkup pembahasan	3
6. Sistematika penulisan.....	3
BAB II STUDI LITERATUR	5
1. Kajian alat pemotong <i>styrofoam</i>	5
A. Penelitian Putut Dwi Wijaya, Muhammad Rivai, dan Tasripan (2017)	5
B. Penelitian A. Fashiha Iلمان, Ahmad Mustofa, dan A. Taufik As'ad (2021) .	5
C. Penelitian Syahriza, Teuku Firsya, dan Zulhalimi (2021).....	6
D. Penelitian M. Fikriatul Aslam (2022).....	6
E. Penelitian M. Ramdan Taufik K dan M. Bagja Shaleh (2023).....	7
2. Mesin pemotong <i>styrofoam</i>	8
A. Alat pemotong <i>styrofoam</i> manual	8
B. Alat pemotong <i>styrofoam</i> otomatis	8
3. Mesin <i>Computer Numerical Control</i> (CNC).....	9
4. Kajian-kajian mesin yang sudah ada.....	10
A. CN22R.....	10
B. Mesin <i>cutting styrofoam</i>	11

5.	Sistem kendali mesin pemotong <i>styrofoam</i> berbasis CNC	11
A.	Mikrokontroller	11
B.	Motor stepper	12
C.	Driver motor stepper	15
D.	Kontroller PID	16
6.	<i>Software interface</i>	17
BAB III METODE PENELITIAN		19
1.	Tahapan pembuatan skripsi.....	19
2.	Rancangan keseluruhan sistem	20
3.	Rancangan sistem kendali mesin pemotong <i>styrofoam</i>	21
4.	Program sistem kendali.....	23
5.	Rancangan eksperimen pengujian.....	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		25
1.	Kalibrasi aksis.....	25
2.	Pengujian <i>hot cutting pen</i>	27
3.	Pengujian pemotongan <i>styrofoam</i>	28
4.	Hasil pengujian pemotongan <i>styrofoam</i>	30
5.	Analisa hasil pengujian	35
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		36
1.	Kesimpulan	36
2.	Saran	36
DAFTAR PUSTAKA.....		37
LAMPIRAN.....		41
1.	Program GRBL	41
2.	Pengaturan diameter mata potong pada <i>software inkscape</i>	41
3.	Foto-foto kegiatan.....	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Mesin pemotong <i>styrofoam</i> penelitian 2 [3]	6
Gambar 2. Mesin CNC <i>foam cutter</i> penelitian 3 [4]	6
Gambar 3. Mesin pemotong <i>styrofoam</i> penelitian 5 [5][6]	7
Gambar 4. Pemotongan <i>styrofoam</i> dengan media potong <i>cutter</i> [5]	8
Gambar 5. Mesin CNC <i>router</i> [12]	9
Gambar 6. Mesin CN22R [14]	10
Gambar 7. Mesin <i>cutting styrofoam</i> [15]	11
Gambar 8. <i>Board</i> arduino UNO [18]	12
Gambar 9. Skematik motor <i>Stepper</i> bipolar	13
Gambar 10. Skematis pengaturan posisi poros motor <i>stepper</i>	14
Gambar 11. Motor <i>stepper</i> NEMA 23 [21]	15
Gambar 12. <i>Driver</i> motor <i>stepper</i> TB6600 [24]	16
Gambar 13. Kontroler PID [26]	17
Gambar 14. Tampilan <i>software</i> UGS	17
Gambar 15. Tahapan penelitian	19
Gambar 16. Rancangan keseluruhan sistem kendali	20
Gambar 17. Rancangan instalasi sistem kendali mesin pemotong <i>styrofoam</i>	22
Gambar 18. Sistem kendali mesin pemotong <i>styrofoam</i>	22
Gambar 19. Fitur <i>Machine</i> pada <i>software</i> UGS	26
Gambar 20. Tampilan <i>firmware setting</i>	26
Gambar 21. Hasil osilasi pada temperatur 180 °C-190 °C	27
Gambar 22. Hasil osilasi pada temperatur 250 °C	28
Gambar 23. Hasil osilasi pada temperatur 200 °C-240 °C	28
Gambar 24. Tampilan <i>software interface</i> saat melakukan pemotongan	31
Gambar 25. Visualisasi dan hasil dari pemotongan dengan bentuk ornamen islam	34
Gambar 26. Motif pemotongan <i>styrofoam</i> yang dihasilkan	34
Gambar 27. Motif pemotongan <i>styrofoam</i> yang dihasilkan	35
Gambar 28. Program GRBL saat dibuka di <i>software</i> arduino IDE	41
Gambar 29. Fitur ekstensi pada <i>software inkscape</i>	42
Gambar 30. Tampilan pustaka alat potong	42
Gambar 31. Proses pemotongan <i>styrofoam</i>	43

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Variabel pengujian.....	23
Tabel 2. Rancangan eksperimen	24
Tabel 3. Konfigurasi variabel pengujian.....	24
Tabel 4. Hasil osilasi berdasarkan temperatur	27
Tabel 5. Hasil pengujian pemotongan <i>styrofoam</i>	29
Tabel 6. Hasil pengujian	31



ABSTRAK

Perkembangan industri kreatif *styrofoam* semakin pesat. Saat ini, industri kreatif berkembang pesat pada sektor musik, fashion, game, film, dan dekorasi. Salah satu sektor yang menarik pusat perhatian penelitian ini yaitu dekorasi, karena memiliki potensi besar untuk terus tumbuh dan berkembang di masa depan, terutama dalam hal dekorasi *Styrofoam*. Pemotongan *styrofoam* secara manual sangat sulit dan tidak dapat konsisten, maka dibutuhkan mesin pemotong *styrofoam* yang dapat memotong secara otomatis. Di laboratorium Teknik Mesin Universitas Pasundan terdapat rangka mesin CNC *router*. Mesin tersebut memiliki tiga sumbu gerak. Sumbu gerak tersebut terdiri dari sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z. Sistem mekanik pada mesin ini akan dimanfaatkan menjadi pemotong *styrofoam* dengan cara *spindle* pada mesin CNC *router* diganti dengan *hot cutting pen* sebagai alat untuk memotong *styrofoam*. Berdasarkan uraian tersebut timbul gagasan untuk membuat model mesin pemotong *styrofoam* otomatis berbasis mesin CNC. Pada penelitian ini penulis membuat mesin pemotong *styrofoam* 3 axis menggunakan *hot cutting pen* yang dapat memotong dari titik awal manapun sesuai dengan kehendak operator, sehingga dapat memotong lebih efektif. Pada aktuator terdapat sistem kontrol temperatur dengan metode PID agar selama proses pemotongan temperatur tetap stabil sehingga hasil pemotongan rapi dan konsisten. Untuk mengontrol keseluruhan kerja mesin, digunakan mikrokontroler arduino. Pemotongan dilakukan dengan mengirimkan file g-code kepada mikrokontroler melalui *software Universal G-code Sender*, kemudian mikrokontroler mengirimkan sinyal untuk menggerakkan motor *stepper* sehingga dihasilkan gerakan aktuator sesuai dengan gambar pada *file g-code*. Pada pemotongan *styrofoam* didapatkan beberapa temperatur dan *feed rate* yang optimal sebesar 600 mm/min dengan temperatur 220 °C, 600 mm/min dengan temperatur 230 °C, dan 800 mm/min dengan temperatur 240 °C. Diharapkan mesin ini dapat menyongkong industri kreatif *styrofoam* di Indonesia.

Kata kunci: *styrofoam*, *hot cutting pen*, kontrol PID

ABSTRACT

The development of the styrofoam creative industry is increasingly rapid. Currently, the creative industry is growing rapidly in the music, fashion, game, film, and decoration sectors. One sector that attracts the attention of this research is decoration, because it has great potential to continue to grow and develop in the future, especially in terms of Styrofoam decoration. Cutting styrofoam manually is very difficult and inconsistent, so a styrofoam cutting machine is needed that can cut automatically. In the Mechanical Engineering laboratory of Pasundan University, there is a CNC router machine frame. The machine has three axes of motion. The axes of motion consist of the X axis, Y axis, and Z axis. The mechanical system on this machine will be used as a styrofoam cutter by replacing the spindle on the CNC router machine with a hot cutting pen as a tool for cutting styrofoam. Based on this description, the idea arose to create an automatic styrofoam cutting machine model based on a CNC machine. In this study, the author created a 3-axis styrofoam cutting machine using a hot cutting pen that can cut from any starting point according to the operator's wishes, so that it can cut more effectively. In the actuator there is a temperature control system with the PID method so that during the cutting process the temperature remains stable so that the cutting results are neat and consistent. To control the entire work of the machine, an Arduino microcontroller is used. Cutting is done by sending a g-code file to the microcontroller via the Universal G-code Sender software, then the microcontroller sends a signal to drive the stepper motor so that the actuator movement is produced according to the image in the g-code file. In cutting styrofoam, several optimal temperatures and feed rates were obtained, namely 600 mm/min with a temperature of 220 °C, 600 mm/min with a temperature of 230 °C, and 800 mm/min with a temperature of 240 °C. It is hoped that this machine can support the creative styrofoam industry in Indonesia.

Keywords: styrofoam, hot cutting pen, PID control

BAB I PENDAHULUAN

1. Latar belakang

Industri kreatif di Indonesia mengalami perkembangan yang sangat pesat. Perkembangan tersebut merupakan dampak dari mudahnya akses teknologi dan internet yang digunakan oleh seluruh masyarakat Indonesia. Saat ini, industri kreatif berkembang pesat pada sektor musik, fashion, game, film, dan dekorasi. Salah satu sektor yang menarik pusat perhatian penelitian ini yaitu dekorasi, karena memiliki potensi besar untuk terus tumbuh dan berkembang di masa depan, terutama dalam hal dekorasi *styrofoam* [1].

Styrofoam atau polistiren ekspandid (ESP) telah menjadi bahan yang populer dalam berbagai industri, terutama dalam pembuatan model arsitektur, dekorasi, dan produk kreatif lainnya. *Styrofoam* menjadi pilihan utama karena keberagaman bentuk yang dapat dihasilkannya dengan mudah. Namun, besarnya peluang penggunaan *styrofoam* tidak sejalan dengan kemampuan pengrajin untuk memenuhi kebutuhan pasar tersebut. Hal tersebut dikarenakan hampir semua pengrajin *styrofoam* masih menggunakan pisau atau kawat panas sebagai alat potongnya. Selain itu, proses pembuatan *styrofoam* yang cukup rumit berdampak pada jumlah pengrajin *styrofoam* yang semakin sedikit. Berdasarkan inilah timbul gagasan untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Di laboratorium Teknik Mesin Universitas Pasundan terdapat rangka mesin CNC router. Mesin tersebut memiliki tiga sumbu gerak. Sumbu gerak tersebut terdiri dari sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z. Sistem mekanik pada mesin ini akan dimanfaatkan menjadi pemotong *styrofoam* dengan cara *spindle* pada mesin CNC router diganti dengan *hot cutting pen* sebagai alat untuk memotong *styrofoam*. Berdasarkan uraian tersebut timbul gagasan untuk membuat model mesin pemotong *styrofoam* otomatis berbasis mesin CNC.

Mesin pemotong *styrofoam* otomatis ini menggunakan mesin CNC router sehingga fokus skripsi ini adalah membuat sistem kendali mesin pemotong *styrofoam* otomatis. Komponen utama sistem kendali mesin pemotong *styrofoam* otomatis yaitu *board* Arduino. Pada *board* Arduino terdapat mikrokontroler yang berfungsi untuk mengolah data dan memberikan perintah berdasarkan program yang telah dimasukkan ke dalamnya.

Perangkat lain yang digunakan pada skripsi ini yaitu *software* Inkscape dan *Universal G-Code Sender* (UGS). *Software* Inkscape digunakan untuk membuat desain grafis berbasis vektor, kemudian hasil desain tersebut disimpan dalam bentuk *g-code* ke *board* Arduino melalui koneksi USB atau serial. *G-code* tersebut diterjemahkan oleh

mikrokontroler yang terdapat pada *board* Arduino menjadi pulsa-pulsa gelombang elektromagnetik, dan gelombang tersebut diterima *driver*. *Driver* yang telah terhubung dengan motor *stepper* digunakan untuk menggerakkan pena pemotong sesuai dengan *input g-code* yang telah diterima [2]. Dengan adanya mesin tersebut, diharapkan dapat membantu para pengrajin ataupun masyarakat yang ingin memulai usaha dengan skala rumahan, khususnya usaha yang memanfaatkan *styrofoam*.

2. Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat diketahui rumusan masalah yang akan diselesaikan yaitu bagaimana cara membuat sistem kendali mesin pemotong *styrofoam* berbasis CNC menggunakan *hot cutting pen* yang kompatibel dengan sistem mekanik yang sudah dibuat oleh peserta skripsi sebelumnya. Pembuatan sistem kendali tersebut meliputi:

- a. Pemilihan komponen apa saja yang digunakan pada sistem kendali mesin pemotong *styrofoam* berbasis CNC,
- b. *Software* apa yang digunakan untuk membuat sistem kontrol pada mesin pemotong *styrofoam* berbasis CNC, dan
- c. Jenis kontroller apa yang digunakan pada sistem kontrol mesin pemotong *styrofoam* berbasis CNC.

3. Tujuan

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang sudah dikemukakan, tujuan yang ingin dicapai pada skripsi ini yaitu menghasilkan sistem kendali gerak motor pada tiap sumbu yang dapat digunakan pada mesin pemotong *styrofoam* berbasis CNC menggunakan *hot cutting pen*.

4. Manfaat

Skripsi ini diharapkan dapat memberi manfaat bagi penulis, bagi akademik, maupun bagi pembaca. Bagi penulis skripsi dapat dijadikan sebagai sarana untuk menerapkan pengetahuan yang diperoleh selama menempuh studi khususnya dalam perancangan sistem kontrol mesin pemotong *styrofoam*. Bagi akademik skripsi ini dapat dijadikan sebagai sarana tambahan pengetahuan di Universitas Pasundan mengenai permasalahan yang terkait dengan penelitian ini. Bagi pembaca skripsi ini dapat menjadi sumber informasi dan tambahan pustaka bagi peneliti lain atau pengajar lain tentang model mesin pemotong

styrofoam berbasis CNC. Dengan adanya mesin tersebut, diharapkan dapat membantu para pengrajin ataupun masyarakat yang ingin memulai usaha dengan skala rumahan, khususnya usaha yang memanfaatkan *styrofoam*.

5. Lingkup pembahasan

Lingkup bahasan dalam penelitian skripsi ini adalah memilih motor, memilih komponen, memilih *software interface*, dan merangkainya sehingga sistem kendali yang dibuat dapat diaplikasikan pada mesin pemotong *styrofoam*.

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 kajian alat pemotong *Styrofoam*, mesin pemotong *styrofoam*, mesin *Computer Numerical Control* (CNC), kajian-kajian mesin yang sudah ada, sistem kendali mesin pemotong *styrofoam* berbasis CNC, dan *software interface*.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisikan tentang tahapan pembuatan skripsi, rancangan keseluruhan sistem, dan rancangan sistem kendali mesin pemotong *styrofoam*.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan tentang hasil pengujian dan pembahasan. Pengujian yang dilakukan antara lain pengujian factor konversi gerak sumbu, pengujian error, dan pengujian pemotongan *styrofoam*.

BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dan saran yang terkait dengan skripsi perancangan dan pembuatan sistem kendali mesin pemotong *styrofoam*.

DAFTAR PUSTAKA

Pada bab ini disebutkan buku, artikel, dan sumber lain yang menjadi acuan skripsi ini.

LAMPIRAN



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, pembuatan dan pengujian sistem kendali pada penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- a. Penggunaan *hot cutting pen* pada penelitian ini memiliki kelebihan dapat memotong *styrofoam* dari titik mulai manapun sesuai dengan kehendak operator tanpa memotong salah satu sisi *styrofoam*, sehingga proses pemotongan dapat lebih efektif.
- b. Osilasi yang dihasilkan cukup besar yaitu sebesar 5 mm pada temperatur 200 °C-240 °C.
- c. Minimal *feed rate* dan temperatur yang dapat digunakan untuk memotong *styrofoam* dengan ketebalan 10 mm adalah 400 mm/min dengan temperatur sebesar 220 °C, sedangkan maksimal *feed rate* dan temperatur yang dapat digunakan untuk memotong *styrofoam* dengan ketebalan 10 mm adalah 800 mm/min dengan temperatur sebesar 240 °C.

2. Saran

Area kerja mesin pemotong *styrofoam* pada penelitian ini berukuran 88 cm x 60 cm, alangkah baiknya prototipe mesin tersebut harus diperbesar agar dapat memotong *styrofoam* lembaran dengan ukuran besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Gumulya, "Bisnis Model Kanvas Untuk Industri kreatif Sub Sektor Kriya," *Senada*, vol. 6, pp. 218–229, 2023, [Online]. Available: <https://eprosiding.idbbali.ac.id/index.php/senada/article/view/735/485>
- [2] P. D. Wijaya, M. Rivai, and T. Tasripan, "Rancang Bangun Mesin Pemotong Styrofoam 3 Axis Menggunakan Hot Cutting Pen dengan Kontrol PID," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 2, pp. 2–7, 2017, doi: 10.12962/j23373539.v6i2.26252.
- [3] A. F. Ilman and A. Mustofa, "Dengan Bahan Styrofoam Berbasis Cnc," vol. 8, no. 1, pp. 1–6, 2021.
- [4] T. Syahriza and Z. Firsia, "Rancang Bangun CNC Foam Cutter Dengan Gerakan 3 Axis Untuk Pemotongan Dekorasi Styrofoam," *J. Tek. Mesin Unsyiah*, vol. 9, no. 1, pp. 13–19, 2021.
- [5] M. Ramdan, "Perancangan dan Pembuatan Sistem Kendali Mesin Pemotong Styrofoam Otomatis Design and Manufacture of Automatic Styrofoam Cutting Machine Control System," 2023.
- [6] M. B. Shaleh, "Perancangan dan Pembuatan Sistem Mekanik Mesin a Studi," 2023.
- [7] E. Barita and A. Nuryono, "Reducing complaints of pain in workers' bodies in the hardware cleaning process using NBM, RULA and anthropometry analysis," *Oper. Excell. J. Appl. Ind. Eng.*, vol. 14, no. 3, p. 272, 2022, doi: 10.22441/oe.2022.v14.i3.061.
- [8] H. S. B. Riyanto and B. G. Sakanegara, "Development of styrofoam cutter NC machine for intricate cutting path," *7th Int. Annu. Eng. Semin.*, pp. 1–4, 2017, doi: 10.1109/INAES.2017.8068562.
- [9] Fahrizal, M. F. Aslam, N. Anwar, Isminarti, and A. Fitriati, "Rancang Bangun Mesin Pemotong Styrofoam Berbasis Cnc 2 Axis Menggunakan Hot Wire," *Maple*, vol. 4, no. 2, pp. 31–36, 2022.
- [10] A. Abeysinghe, S. Abeysiriwardena, R. Nanayakkarawasam, W. Wimal Siri, T. D. Lalitharatne, and S. Tennakoon, "Development of a numerically controlled hot wire foam cutting machine for wing mould construction," *2nd Int. Moratuwa Eng. Res. Conf. MERCon 2016*, no. April 2016, pp. 60–65, 2016, doi:

10.1109/MERCon.2016.7480116.

- [11] M. Jufrizal, I. Ilyas, and M. Marzuki, "Rancang Bangun Mesin Cnc Milling Menggunakan System Kontrol Grbl Untuk Pembuatan Layout Pcb," *J. Mesin Sains Terap.*, vol. 4, no. 1, p. 37, 2020, doi: 10.30811/jmst.v4i1.1743.
- [12] B. Suhermanto, "Mesin CNC Router," 2020, [Online]. Available: <https://id.bossgoo.com/product-detail/6040z-4-axis-cnc-router-machine-57048996.html>
- [13] I. K. M. Mardika, "Alat Pemotong Aluminium Berbasis Cnc Router," *Semin. Nas. Terap. Ris. Inov.*, vol. 7, pp. 379–386, 2021, [Online]. Available: <https://proceeding.isas.or.id/index.php/sentrinov/article/view/990>
- [14] R. Florrist, "CN22R," 2019. [Online]. Available: <https://www.tokopedia.com/rosseflorrist/mesin-pemotong-cutting-styrofoam-gabus-otomatis-cn22r-mesin-saja>
- [15] Hendradanu, "Mesin Cutting Styrofoam." [Online]. Available: [https://www.tokopedia.com/discovery/rekomendasi?recomProdId=8492773849&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=\[shp\]:ma%7Ctroasvoo_purchase_pmax_act_ord-pg-id51pgce51-0000-alongshp&utm_term=8492773849&ref=googleshopping&c=21627648432&m=468325258&gclid=EAiaIQobChMIIttHYn7W_iAMVUQJmAh0TzRQrEAQYBSABEgLo8PD_BwE](https://www.tokopedia.com/discovery/rekomendasi?recomProdId=8492773849&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=[shp]:ma%7Ctroasvoo_purchase_pmax_act_ord-pg-id51pgce51-0000-alongshp&utm_term=8492773849&ref=googleshopping&c=21627648432&m=468325258&gclid=EAiaIQobChMIIttHYn7W_iAMVUQJmAh0TzRQrEAQYBSABEgLo8PD_BwE)
- [16] R. Hartono, Sugiharto, B. Tarigan, and T. Supriyono, "Perancangan dan Pembuatan Sistem Kendali Gerak Pahat pada Mesin Router NC 3-Axis untuk Kriya Seni Ukiran Kayu," *Rotasi*, vol. 22, no. 1, pp. 36–42, 2020, [Online]. Available: <http://repository.unpas.ac.id/63495/>
- [17] B. Suhendar, T. D. Fuady, and Y. Herdian, "Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Controlling Suhu Ideal Tanaman Stroberi Berbasis Internet of Things (IoT)," *J. Ilm. Sains dan Teknol.*, vol. 5, no. 1, pp. 48–60, 2020, doi: 10.47080/saintek.v5i1.1198.
- [18] A. J. Saifudin, Syaripuddin, and S. Hutami, "Arduino UNO," 2023. [Online]. Available: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3/>
- [19] T. Satriani and D. Pancawati, "Penggerak Motor Listrik, Motor Stepper, Stepper

- Motor Types, Driven Modes.,” no. May, pp. 2–18, 2015, [Online]. Available: https://www.academia.edu/12255460/Stepper_Motor
- [20] M. Farid, “Analisa Efisiensi Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Variable Speed Drive (VSD) Di PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang,” *Politek. negeri Sriwij.*, 2022, [Online]. Available: <http://eprints.polsri.ac.id/13285>
- [21] I. Swadiyan, “Pengaturan Kecepatan Spindle Pada Mesin Bor CNC dengan Kontroler PI,” *Concept Commun.*, vol. null, no. 23, pp. 301–316, 2019, doi: 10.15797/concom.2019..23.009.
- [22] N. Soedjarwanto, “Prototipe Smart Dor Lock Menggunakan Motor Stepper Berbasis Iot (Internet Of Things),” *Electrician*, vol. 15, no. 2, pp. 73–82, 2021, doi: 10.23960/elc.v15n2.2167.
- [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.
- [24] M. Budiarto, “TB6600 Stepper Motor Driver with Arduino Tutorial,” 2019, [Online]. Available: <https://www.makerguides.com/tb6600-stepper-motor-driver-arduino-tutorial/>
- [25] J. C. Basilio 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.
- [27] A. S. Al-Shayea, “Council for Innovative Research,” *J. Adv. Chem.*, vol. 10, no. 1, pp. 2146–2161, 2015.
- [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. [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.*

Today Proc., vol. 45, pp. 6743–6749, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.12.630.

- [31] M. Prashil, N. Patel, M. Shreyas, D. Pavagadhi, and S. G. Acharya, “Design and Development of Portable 3-Axis CNC Router Machine,” *Int. Res. J. Eng. Technol.*, pp. 1452–1455, 2019, [Online]. Available: www.irjet.net
- [32] M. Ali, A. Abed, M. A. Al-Ibraheem, and A. A. Mohammed, “Implementation of an Economic Light Duty Three-Axis Computer Numerical Control,” *Qalaai Zanist Sci. J.*, vol. 2, no. 2, pp. 323–331, 2017, doi: 10.25212/lfu.qzj.2.2.33.

