

# Rancang Bangun Mesin *Computer Numerical Control* Plasma Arc Cutting 3 Sumbu Dengan *Controller Mach 3*

Dimas Surya Aldi Chandra<sup>1</sup>, I Kadek Dana Putra<sup>2</sup>, Agus Surya Nata Mahendra<sup>3</sup>, Cokorde Gede Indra Partha<sup>4</sup>, I Gusti Agung Putu Raka Agung<sup>5</sup>

[Submission: 05-09-2024, Accepted: 09-10-2024]

**Abstract**—Penelitian ini menyelidiki tentang perancangan mesin CNC dengan *controller MACH 3* dan *floating sumbu Z* untuk meningkatkan efisiensi dan presisi dalam proses pemotongan plat besi, terutama untuk pembuatan badan mesin laundry di Adhi Teknik, sebuah UMKM di Bali. Metodologi penelitian meliputi observasi dan eksperimen yang dilakukan di *Workshop Adhi Teknik dan Laboratorium Program Studi Teknik Elektro*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mesin CNC yang dirancang mampu bekerja maksimal dengan akurasi pergerakan tinggi dengan nilai error sebesar 0.00315% hingga 0.0125%. Penggunaan energi listrik mesin CNC yang diuji pada benda kerja plat stainless 304 dengan ketebalan 1 mm memiliki rata-rata sebesar 104 hingga 718 Wh pada sistem kontrol plasma dan kompresor. Nilai error pemotongan plat berkisar antara 0% hingga 0,266% untuk pola dasar dan 0,66% hingga 0,518% untuk pola tambahan. Berdasarkan hasil penelitian, mesin CNC yang dirancang berhasil meningkatkan efisiensi dan presisi pemotongan. Pengembangan lebih lanjut dapat dilakukan dengan pembuatan rangka *knockdown*, penggunaan *hard gear*, *inverter blowback*, dan penambahan bak air.

**Intisari**— *This study investigates the design of a CNC machine with a MACH 3 controller and a floating Z-axis to enhance efficiency and precision in the cutting process of iron plates, particularly for the production of laundry machine bodies at Adhi Teknik, a small and medium-sized enterprise (SME) in Bali. The research methodology includes observations and experiments conducted at the Adhi Teknik Workshop and the Laboratory of the Electrical Engineering Study Program. The test results show that the designed CNC machine is able to work optimally with high movement accuracy with an error value of 0.00315% to 0.0125%. The use of electrical energy of CNC machines tested on 304 stainless plate workpieces with a thickness of 1 mm has an average of 104 to 718 Wh on plasma and compressor control systems. The cutting error for basic patterns ranges from 0% to 0.266%, and for additional patterns, it ranges from 0.66% to 0.518%. Based on the research results, the designed CNC machine successfully improves cutting efficiency and precision. Further development could include the creation of a knockdown frame, the use of hard gears, an inverter blowback system, and the addition of a water tank.*

**Kata Kunci**—CNC; MACH 3; Floating Z Axis; Mesin Laundry; Pemotongan Besi.

<sup>1, 2, 3</sup>, Mahasiswa, Jurusan Teknik Elektro dan Komputer Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jln. Jalan Kampus Bukit Jimbaran 80361 INDONESIA (telp: 0361-703315; fax: 0361-4321; e-mail: [dimassurya420@gmail.com](mailto:dimassurya420@gmail.com), [kadekdana84@gmail.com](mailto:kadekdana84@gmail.com), [agus.s1te@gmail.com](mailto:agus.s1te@gmail.com))

<sup>4, 5</sup> Dosen, Jurusan Teknik Elektro dan Komputer Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jln. Jalan Kampus Bukit Jimbaran 80361 INDONESIA (telp: 0361-703315; fax: 0361-4321; e-mail: [cokindra@unud.ac.id](mailto:cokindra@unud.ac.id), [rakaagung@unud.ac.id](mailto:rakaagung@unud.ac.id))

## I. PENDAHULUAN

Pada era industri modern, faktor utama yang menentukan daya saing sebuah perusahaan manufaktur adalah efisiensi dan kualitas produksi. Salah satu teknologi yang mendukung peningkatan efisiensi tersebut adalah penggunaan mesin *Computer Numerical Control* (CNC), khususnya dalam proses pemotongan material menggunakan teknologi plasma Arc cutting [1]. Mesin CNC dengan plasma Arc cutting memiliki kemampuan untuk melakukan pemotongan logam dengan presisi tinggi, kecepatan yang lebih baik, serta fleksibilitas dalam mengolah berbagai bentuk dan ketebalan material [2].

Namun, di tengah berkembangnya kebutuhan akan mesin CNC yang lebih canggih, masih terdapat kendala yang signifikan, terutama terkait dengan biaya investasi awal yang tinggi [3]. Banyak perusahaan mikro, kecil, dan menengah (UMKM) kesulitan mengakses teknologi ini karena keterbatasan anggaran. Adhi Teknik merupakan salah satu UMKM yang bergerak dibidang produksi mesin laundry berupa pengering dan pencuci pakaian. Penjualan mesin laundry pada Adhi Teknik mengalami peningkatan yang cukup signifikan dari tahun 2020, sehingga memerlukan proses produksi yang lebih efisien untuk memenuhi permintaan produksi mesin. Oleh karena itu, terdapat kebutuhan untuk merancang dan membangun mesin CNC plasma Arc cutting yang tidak hanya efisien tetapi juga memiliki biaya produksi yang rendah.

Penelitian ini berfokus pada rancang bangun mesin CNC plasma Arc cutting 3 sumbu dengan menggunakan *controller Mach 3* sebagai upaya untuk menjawab tantangan tersebut. Desain mesin ini menggunakan komponen-komponen yang terjangkau namun memiliki kualitas yang memadai untuk aplikasi industri skala kecil. Komponen utama seperti motor stepper NEMA23, motor driver DM542, relay OMRON 24 Volt, EMI filter, dan power supply switching 20 Ampere dipilih berdasarkan kinerja, keandalan, dan kesesuaian dengan kebutuhan proyek. Penggunaan *controller Mach 3* juga dipilih karena fleksibilitas dan kemudahan penggunaannya, serta kemampuannya untuk diintegrasikan dengan berbagai komponen hardware yang tersedia di pasaran [4].

Dengan memanfaatkan perangkat lunak *Mach 3*, yang dikenal dengan biaya rendah dan kemampuannya untuk dikustomisasi, diharapkan mesin yang dihasilkan dapat memberikan solusi yang ekonomis tanpa mengorbankan kualitas dan efisiensi [5]. Selain itu, pengembangan mesin ini



juga bertujuan untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi di industri manufaktur, terutama bagi UMKM Adhi Teknik yang ingin bersaing dalam pasar yang semakin kompetitif. Dengan adanya mesin ini, diharapkan dapat terjadi peningkatan dalam hal presisi, pengurangan waktu produksi, dan penurunan biaya operasional.

## II. STUDI PUSTAKA

### A. Tinjauan Pustaka

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas tentang perancangan mesin CNC sebagai upaya untuk meningkatkan presisi dan efisiensi aplikasi manufaktur. Penelitian dengan judul “Rancang Bangun Mesin CNC Router 3 Axis Berbantu Perangkat Lunak Autodesk Inventor 2015” [6] membahas tentang perancangan mesin CNC dengan tingkat presisi yang tinggi menggunakan *software*. *Software* yang digunakan memungkinkan untuk proses visualisasi dan simulasi desain sebelum manufaktur untuk menyesuaikan ketahanan mesin yang dikembangkan. Penelitian selanjutnya berjudul “Pengaruh Ketinggian Torch Terhadap Lebar KERF dan Kekasaran Permukaan pada Pemotongan CNC Plasma ARC Cutting dengan Bahan Baja ST37” [7] membahas tentang beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas pemotongan dan bagaimana parameter operasional dapat dioptimalkan untuk mencapai hasil pemotongan yang lebih baik untuk material baja ST37. Penelitian kali ini memiliki perbedaan dari sisi komponen yang digunakan beserta metode yang digunakan dalam proses penyusunan dan pengujian alat. Penelitian ini menggunakan material utama berupa plat besi dan sistem pengoperasiannya memanfaatkan laptop yang dihubungkan dengan kabel USB-B.

### B. CNC (Computer Numerical Control)

CNC (*Computer Numerical Control*) merupakan teknologi yang memanfaatkan pemrograman komputer untuk kontrol alat atau mesin pada proses manufaktur. CNC dioperasikan dengan instruksi *G-code* untuk mengatur gerak alat sebagai sistem pemotong, pengebor, ataupun penggiling dengan bentuk dan hasil produk yang presisi [8]. Mesin CNC diterapkan secara masif pada beberapa industri seperti industri pembuatan logam, plastik, dan kayu. Kelebihan dari mesin CNC adalah mampu menghasilkan komponen yang presisi dengan tingkat repetabilitas yang tinggi, menghasilkan proses manufaktur yang otomatis, dan mengurangi kesalahan manusia [9]. Mesin CNC bekerja dengan memasukkan instruksi yang kemudian diterjemahkan untuk melakukan berbagai operasi permesinan dengan akurasi dan konsistensi tinggi [10]. Proses penerjemahan dimulai dengan format *.DXF* (*Drawing Exchange Format*) menuju proses *Slicing* untuk modelisasi 3D dan diberikan *G-code* (*Geometris code*) agar dapat dipahami CNC

### C. Mach 3 Breakout Board

*Mach 3* adalah sebuah perangkat yang digunakan untuk mengendalikan mesin CNC dengan komputer. Perangkat ini mampu mengelola hingga enam sumbu gerakan dan mendukung berbagai jenis mesin CNC seperti *router*, *lathe*, plasma, dan *mill* [11]. Dalam proses pengoperasiannya, *mach 3* akan menerima perintah dari *G-code* yang kemudian

diterjemahkan menjadi sinyal untuk memberikan instruksi gerakan pada motor *stepper* atau servo. Perangkat ini mampu mengontrol kecepatan dan posisi alat pemotong dengan tingkat presisi yang tinggi [12].



Gambar 1: Mach 3 Breakout Board

### D. Motor Stepper NEMA23

Motor *stepper* NEMA23 adalah jenis motor listrik yang digunakan untuk menggerakkan mekanisme dalam mesin CNC dengan presisi tinggi. Motor ini bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik, di mana rotor berputar melalui langkah-langkah diskrit yang dikendalikan oleh sinyal listrik. Motor NEMA23 memiliki dimensi yang standar dengan ukuran rangka 2,3 inci, yang memudahkan integrasi dalam berbagai aplikasi [13]. Motor *stepper* ini populer dalam aplikasi yang memerlukan kontrol posisi yang akurat, seperti pada mesin CNC, *printer* 3D, dan robotika. Keunggulannya termasuk torsi yang stabil dan kemampuan untuk mempertahankan posisi saat tidak ada arus listrik [14].



Gambar 2: Motor Stepper NEMA23

### E. Motor Driver DM542

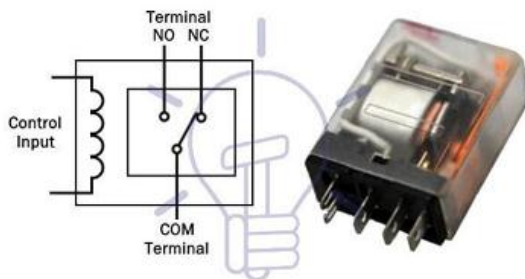
Motor *driver* DM542 adalah pengendali motor *stepper* yang dirancang untuk menggerakkan motor *stepper* dua fase, seperti NEMA23. Driver ini bekerja dengan memberikan arus listrik dalam pola yang teratur untuk menggerakkan motor sesuai dengan sinyal yang diterima dari *controller*, seperti *mach 3*. DM542 mendukung pengaturan *microstepping*, yang memungkinkan peningkatan resolusi pergerakan motor hingga 256 langkah per putaran, sehingga menghasilkan gerakan yang lebih halus dan presisi [15]. Selain itu, DM542 dilengkapi dengan perlindungan terhadap *over-voltage*, *over-current*, dan *overheating*, menjadikannya andal dalam aplikasi yang memerlukan kinerja tinggi dan keandalan.



Gambar 3: Motor Driver DM542

#### F. Relay OMRON 24 Volt

Relay OMRON 24 Volt adalah komponen elektromekanis yang digunakan untuk mengontrol aliran listrik dalam rangkaian. Relay ini bekerja dengan menggunakan sinyal tegangan rendah (24 Volt) untuk mengaktifkan atau memutuskan sirkuit listrik tegangan tinggi. Relay OMRON dikenal karena keandalan dan durabilitasnya, sering digunakan dalam sistem otomasi industri untuk mengendalikan mesin, motor, dan perangkat lainnya [16]. Dalam konteks mesin CNC, relay digunakan untuk mengontrol berbagai fungsi, seperti menghidupkan atau mematikan motor atau perangkat lain yang memerlukan isolasi listrik antara sirkuit kontrol dan beban.



Gambar 4 : Relay OMRON 24V

#### G. EMI Filter

EMI (*Electromagnetic Interference*) Filter adalah komponen yang digunakan untuk mengurangi gangguan elektromagnetik yang dapat mempengaruhi kinerja peralatan elektronik. EMI dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk motor listrik, *switching power supply*, dan perangkat elektronik lainnya. EMI Filter berfungsi menyaring *noise* atau gangguan yang terjadi di jalur listrik, sehingga mencegah interferensi yang dapat mengganggu fungsi dari komponen elektronik lainnya [17]. Dalam mesin CNC, penggunaan EMI Filter penting untuk memastikan sinyal-sinyal kontrol tidak terganggu oleh *noise* yang dihasilkan oleh motor atau perangkat lain.



Gambar 5 : EMI Filter

#### H. Power Supply Switching 20 Ampere

*Power supply switching* 20 Ampere adalah catu daya yang digunakan untuk memberikan tegangan dan arus yang stabil kepada komponen-komponen dalam mesin CNC. *Switching power supply* bekerja dengan mengkonversi tegangan AC dari jaringan listrik menjadi tegangan DC yang dibutuhkan oleh komponen seperti motor *stepper*, *driver* motor, dan perangkat kontrol. Keunggulan dari *power supply* jenis *switching* adalah efisiensinya yang tinggi, ukurannya yang lebih kecil dibandingkan *power supply* linier, dan kemampuan untuk menyediakan arus besar dengan tegangan yang stabil. *Power supply* 20 Ampere umumnya digunakan untuk aplikasi yang memerlukan daya besar, seperti dalam operasi mesin CNC yang menggerakkan beberapa motor sekaligus [18].



Gambar 6 : Power Supply Switching 20A

### III. METODOLOGI

Proses pengerjaan penelitian dan pengujian dilakukan pada *Workshop* Adhi Teknik dan Lab *Workshop* Teknik Elektro Universitas Udayana. Waktu pelaksanaan dimulai dari bulan Januari hingga Juni 2024. Alur penelitian dimulai dari perancangan mesin CNC, integrasi mesin, hingga tahap akhir penerapan dan pengujian kerja mesin. Masing-masing tahapan penelitian dijabarkan dalam sub berikut.

#### A. Perancangan Mesin CNC

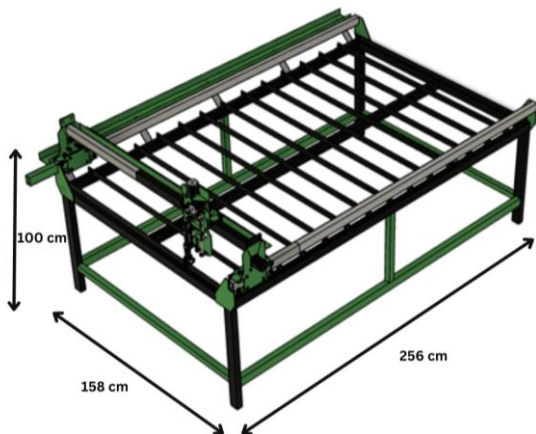
Tahap awal penelitian ini adalah perancangan mesin CNC dengan memperhatikan rancangan luas potongan benda kerja, material pembuat alat, dan aplikasi pendukung alat. Perancangan mesin dilakukan dengan beberapa bagian proses, mulai dari perancangan rangka mesin, perancangan meja kontrol mesin panel, perancangan *gantry* sumbu mesin, perancangan *belt drive*, dan perancangan *floating* sumbu Z.



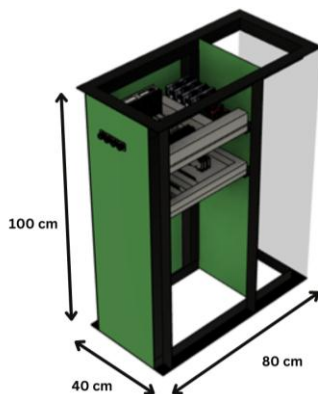
Desain struktur mesin dirancang dengan mempertimbangkan stabilitas dan rigiditas yang dibuat dengan bantuan perangkat lunak CAD (*Computer Aided Design*) [19]. Tabel 1 menunjukkan spesifikasi rangka mesin yang kemudian dihasilkan desain rangka mesin seperti gambar 7.

TABEL 1  
Spesifikasi Rangka Mesin

No	Nama	Spesifikasi Bahan	Spesifikasi Dimensi
1	Rangka Mesin	Besi hollow 40mm x 60mm 304 STALL tebal 2 mm	Panjang :158 cm Lebar : 256 cm Tinggi : 100 cm
2	Rangka sumbu Y	Besi hollow 40mm x 60mm 304 STALL tebal 2 mm dan Plat Besi 304 tebal 3 mm	Panjang :184 cm Lebar :26 cm Tinggi : 35 cm
3	Rangka sumbu X	Besi hollow 40mm x 60mm 304 STALL tebal 2 mm dan Plat Besi 304 tebal 3 mm	Panjang :184 cm Lebar :20 cm Tinggi : 40 cm
4	Rangka sumbu Z	i besi 12 mm, Plat besi 304 tebal 3 mm	Panjang :10 cm Lebar :14 cm Tinggi : 18 cm

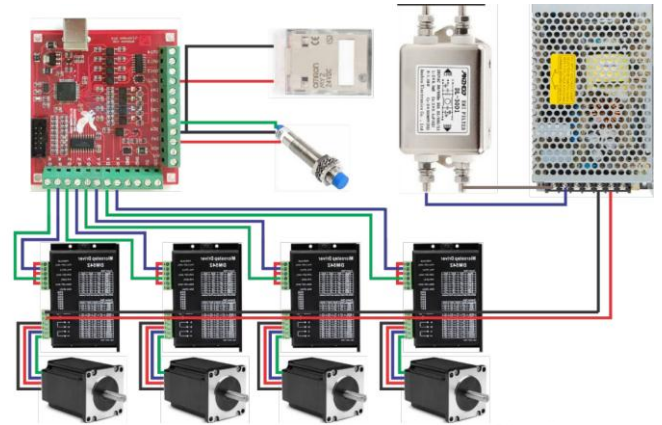


Gambar 7: Desain Rangka Mesin CNC



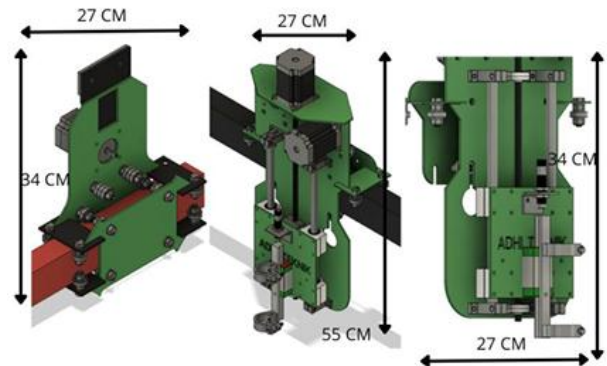
Perancangan selanjutnya dilakukan untuk bagian meja kontrol panel dan komponen elektronika yang digunakan. Pada penelitian ini menggunakan beberapa komponen elektronika seperti *mach 3 breakout board*, motor *stepper* NEMA23, motor *driver* DM542, *relay* OMRON 24 Volt, *EMI filter*, dan *power supply switching* 20 Ampere. Hasil desain meja kontrol ditunjukkan pada gambar 8 dan hasil perancangan elektronika ditunjukkan pada gambar 9. *Mach 3 breakout board* nantinya dihubungkan ke laptop menggunakan koneksi USB.

Gambar 8: Desain Meja Kontrol Panel Mesin CNC

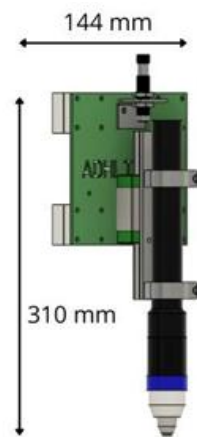


Gambar 9: Wiring Diagram Rangkaian Elektronika

Kemudian tahap selanjutnya adalah melakukan perancangan sumbu mesin CNC. Mesin CNC dirancang dengan tiga sumbu, yaitu X, Y, dan Z. Sumbu X dan Y dirancang menggunakan sistem *gantry* dengan *bearings* sebagai roda yang berfungsi untuk memperhalus pergerakan *gantry*. *Floating* sumbu Z menggunakan *linear guide* dengan tipe MGN12C sebagai jalur vertikal. Desain sumbu mesin CNC ditunjukkan pada gambar 10 dan 11.



Gambar 10: Desain Gantry Sumbu X, Y, dan Z

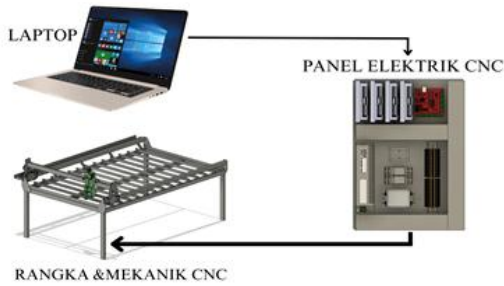


Gambar 11: Desain Floating Sumbu Z

B. Integrasi Mesin CNC

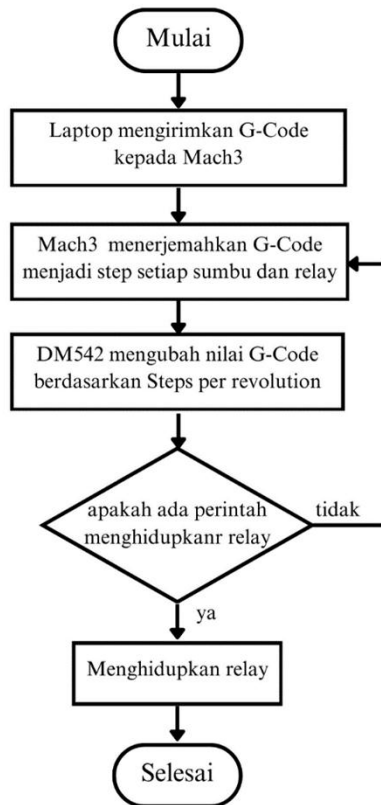
Setelah melalui tahap perancangan mekanik dan elektronik, tahap berikutnya adalah integrasi sistem. Integrasi

sistem dilakukan dengan kalibrasi dan pengujian fungsi dasar dari mesin untuk memastikan seluruh komponen dan bagian berfungsi dengan baik. Sistem kerja mesin CNC ditunjukkan pada gambar 12.



Gambar 12: Gambaran Alur Kerja Mesin CNC

Sistem bekerja dimulai dari sebuah laptop yang akan mengubah berkas foto dengan format .JPG, .JPEG, atau .PNG menjadi sebuah format DXF. Kemudian dari berkas dengan format .DXF tersebut user akan melakukan proses CAM atau *slicing*, dimana proses ini mengubah berkas dengan format .DXF menjadi sebuah berkas dengan format .TAP atau yang sering disebut dengan *G-code*. *G-code* berisi instruksi gerakan yang nantinya dilakukan oleh mesin CNC untuk melakukan proses pemotongan [20]. Gambar 13 menunjukkan tahapan pengiriman instruksi kerja mesin *Computer Numerical Control Plasma Arc Cutting*.

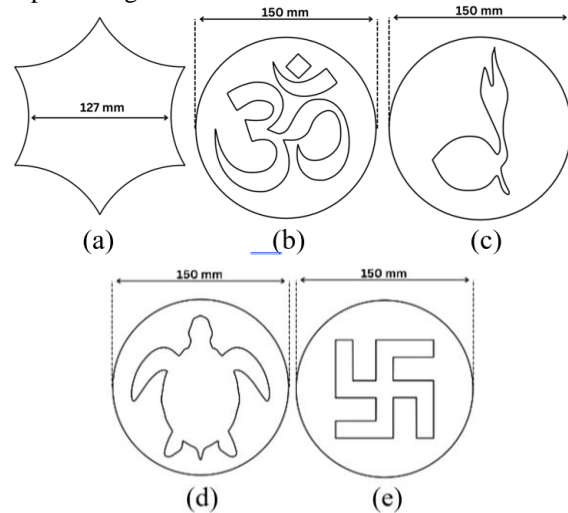


Gambar 13: Flowchart Sistem Kerja Mesin CNC

### C. Pengujian dan Evaluasi Kinerja Mesin CNC

Tahap akhir penelitian adalah melakukan pengujian dan evaluasi kinerja mesin CNC. Pengujian dilakukan pada komponen elektronika, pengujian penggunaan energi, dan pengujian pemotongan. Pengujian hasil rancangan elektronika pada penelitian ini dilakukan dengan mengukur pergerakan motor *stepper* dari tiap sumbu agar bergerak sesuai dengan perintah *G-code*. Proses ini dilakukan dengan memberikan *input* pada *software* dengan perintah *G-code*, kemudian melihat nilai setelah dijalankan melalui *software*. Perintah *G-code* yang diberikan berupa arah gerakan yang didefinisikan dengan nama CW (*Clock Wise*) yang berarti searah jarum jam dan CCW (*Counter Clock Wise*) yang berarti berlawanan arah jarum jam.

Tahap pengujian hasil rancang bangun mesin *Computer Numerical Control Plasma Arc Cutting* ini dilakukan dengan pemotongan plat besi yang memiliki ketebalan 1 mm. Pada tahap ini juga dilakukan pengujian terhadap penggunaan energi listrik yang digunakan pada mesin *Computer Numerical Control Plasma Arc Cutting* saat melakukan pemotongan. Pengukuran penggunaan energi listrik dilakukan dengan menggunakan *Power* meter PZEM-004T. Pengujian pemotongan dilakukan dengan pembentukan pola yang bervariasi untuk memastikan akurasi hasil pemotongan oleh mesin CNC. Gambar 14 menunjukkan contoh pola yang akan digunakan untuk pengujian pemotongan. Hasil potongan dari mesin CNC akan diukur kembali menggunakan jangka sorong untuk membandingkan hasil pemotongan dengan rencana desain pemotongan.



Gambar 14: Jenis Pola Pemotongan

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Hasil Perancangan Mesin CNC

Hasil perancangan mesin CNC *Plasma Arc Cutting* terdiri dari dua rangka, yaitu rangka mesin dan rangka sumbu. Rangka mesin difungsikan sebagai tempat untuk meletakkan benda kerja mesin CNC, sedangkan rangka sumbu berfungsi sebagai tempat pemasangan *gantry*. Rangka mesin CNC pada



penelitian ini terbuat dari besi hollow 40mm x 60mm dan plat besi 304 dengan ketebalan 3mm. Hasil perancangan rangka mesin

No.	Nama	Bagian Rangka	Ukuran
1	Rangka Mesin	Panjang	158 cm
		Lebar	256 cm
		Tinggi	100 cm
2	Rangka Sumbu Y	Panjang	260 cm
		Lebar	16 cm
		Tinggi	25 cm
3	Rangka Sumbu X	Panjang	170 cm
		Lebar	25 cm
		Tinggi	40 cm
4	Rangka Sumbu Z	Panjang	15 cm
		Lebar	4 cm
		Tinggi	28 cm

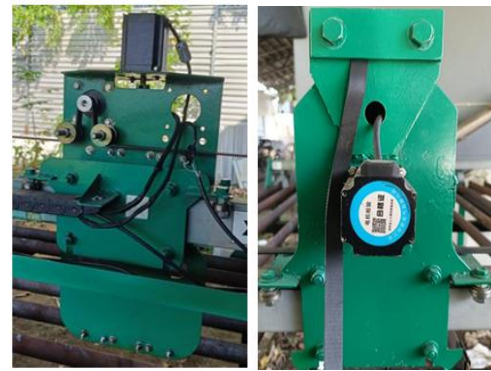
ditunjukkan pada gambar 15 dengan dimensi rangka sesuai tabel 2.



Gambar 15: Rangka Mesin CNC

TABEL 2  
Dimensi Rangka Mesin CNC

Mesin CNC Plasma Arc Cutting memiliki gantry dengan total 3 sumbu, yakni sumbu X, Y, dan Z seperti pada gambar 16. Gantry berfungsi sebagai penghubung antara rel dengan masing masing sumbu. Gantry dibuat menggunakan plat dengan ketebalan 3 mm yang dihubungkan dengan 8 buah bearing. Gantry sumbu X dan Y menggunakan bearings yang berfungsi sebagai roda untuk memperhalus gerakan gantry pada rel. Dimensi gantry yang telah dirancang ditunjukkan pada tabel 3.



(a) Gantry Sumbu X

(b) Gantry Sumbu Y



(c) Gantry Sumbu Z

Gambar 16: Hasil Perancangan Gantry Sumbu X, Y, dan Z

TABEL 3  
Dimensi Rancang Bangun Gantry

No.	Gantry Sumbu	Ukuran	Dimensi
1	X	Panjang	34cm
		Lebar	27cm
2	Y	Panjang	40cm
		Lebar	27cm
3	Z	Panjang	15cm
		Lebar	19cm

B. Hasil Pengujian Elektronika




Pengujian rancangan elektronika bertujuan untuk memastikan komponen bekerja sesuai dengan perintah pengguna. Pengujian rancangan elektronika dilakukan dengan memberikan perintah berupa G-code melalui aplikasi MACH 3 Loader. Perintah G-code yang diberikan berupa arah gerakan yang didefinisikan dengan nama CW (Clock Wise) yang berarti






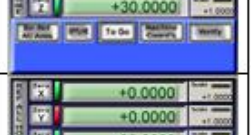

searah jarum jam dan *CCW* (*Counter Clock Wise*) yang berarti berlawanan arah jarum jam. *G-code* yang dijalankan pada pengujian ini juga memiliki nilai berupa angka yang merupakan nilai jarak yang harus ditempuh dengan satuan milimeter. Sehingga hasil pengujian ini akan memberikan pergerakan arah putar dan jarak yang ditempuh motor *stepper* pada setiap sumbu. Nilai yang diperoleh kemudian dihitung dengan formula 1 untuk menampilkan nilai kesalahan atau *error*.

$$\text{Persentase Nilai Error} = \frac{(\text{Nilai Perintah} - \text{Nilai Aktual})}{\text{Nilai Perintah}} \times 100\% \quad (1)$$

Berdasarkan data hasil pengujian pada tabel 4 didapatkan bahwa arah pergerakan setiap sumbu sudah sesuai dengan perintah *CW* (*Clock Wise*) dan *CCW* (*Counter Clock Wise*) yang diberikan pada *input*. Hasil jarak tempuh yang didapat memiliki kesalahan nilai yang relatif kecil yakni sebesar 0.00315% sampai 0.0125%. Dari hasil pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa mesin CNC yang dirancang mampu bekerja sesuai dengan perintah yang diberikan karena memiliki nilai kesalahan atau *error* yang relatif kecil.

TABEL 4  
Hasil Pengujian Rancangan Elektronika

No	G-code	Perintah		Actual		Keterangan
		Direction	Step	Direction	Step	
1	X100	CW	100	CW	99,9938	
2	X200	CW	200	CW	200,0063	
3	X-100	CCW	100	CCW	-99,9938	

4	X-200	CCW	200	CCW	200,0063	
5	Y100	CW	100	CW	100,0125	
6	Y200	CW	200	CW	199,9875	
7	Y-100	CCW	100	CCW	-99,9750	
8	Y-200	CCW	200	CCW	199,9875	
9	Z30	CW	100	CW	30	
10	Z-30	CW	200	CCW	-30	

### C. Hasil Pengujian Penggunaan Energi Listrik




Pengujian selanjutnya dilakukan pada penggunaan energi listrik untuk mengetahui kebutuhan daya listrik selama alat dioperasikan. Nilai pada pengujian ini didapatkan dengan melakukan pemotongan benda kerja dan mengukur konsumsi energi listrik yang digunakan disaat yang bersamaan. Prosedur pengujian ini dilakukan dengan memotong benda kerja plat *stainless 304* dengan ketebalan 1 mm dalam durasi yang berbeda sesuai tabel 5. Pada pengujian ini didapatkan dua hasil pengukuran, yaitu pengukuran energi listrik plasma dan kompresor serta pengukuran energi listrik sistem kontrol CNC. Ketika 1 menit pertama mesin cnc diaktifkan mendapatkan menggunakan energi yang besar yaitu 104 Wh. Sedangkan penggunaan energi mesin CNC pada 5 menit dan 10 menit pertama lebih rendah yaitu 414 Wh dan 718 Wh dalam perhitungan per menit.

Berdasarkan hasil pengukuran didapatkan bahwa pada menit pertama, kedua parameter memerlukan konsumsi daya yang besar karena pengaruh proses *starting* dan pengisian angin pada kompresor. Sedangkan pada menit kelima sampai kesepuluh, konsumsi energi listrik menunjukkan peningkatan nilai yang konstan apabila diamati setiap menitnya. Sehingga dari hasil pengukuran tersebut dapat disimpulkan bahwa



mesin CNC bekerja dengan konsumsi daya yang ideal dan stabil dari proses *starting*.

TABEL 5  
Penggunaan Energi Listrik Mesin CNC

No	Durasi	Energi Listrik (Wh)		Keterangan
		Plasma dan Kompresor	Sistem Kontrol CNC	
1	1 menit	104 Wh	5 Wh	
2	5 menit	414Wh	14 Wh	
3	10 menit	718Wh	30 Wh	

D. Hasil Pemotongan Plat Besi

Tahap akhir pengujian dilakukan dengan pengujian pemotongan material berupa plat besi *stainless 304* dengan ukuran 1 mm untuk memastikan keberhasilan rancang bangun *floating* sumbu Z pada mesin CNC. Terdapat 3 jenis desain pola dasar dan 4 jenis desain pola tambahan yang digunakan pada pengujian ini. Kedua jenis desain diatur dalam format *G-code* untuk menyesuaikan mesin CNC dalam melakukan proses pemotongan pola. Hasil pemotongan kemudian diukur kembali dengan jangka sorong untuk membandingkan dimensi hasil pemotongan dengan dimensi desain yang direncanakan. Setelah itu dilakukan pengukuran nilai kesalahan atau *error* berdasarkan formula 2. Hasil pemotongan ditampilkan pada tabel 6 dan tabel 7.

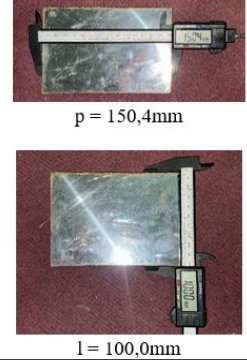
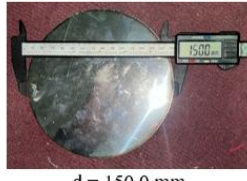

$$\text{Persentase Nilai Error} = \frac{(\text{Dimensi Desain} - \text{Dimensi Aktual})}{\text{Dimensi Desain}} \times 100\% \quad (2)$$

Berdasarkan tabel 6 pemotongan pola dasar berupa persegi panjang mendapatkan nilai *error* sebesar 0,266% dengan kelebihan hasil pemotongan sebesar 0,4 mm. Kemudian pola dasar kedua yang berbentuk lingkaran menghasilkan dimensi yang sesuai antara desain dan aktual. Pola dasar berikutnya yang berbentuk poligon mendapatkan nilai *error* sebesar 0,066% dengan hasil pemotongan yang kurang sebesar 0,1 mm. Kemudian pada pemotongan pola tambahan yang dapat dilihat



pada tabel 7, didapatkan hasil bahwa pemotongan pola poligon dengan radian mendapatkan nilai *error* sebesar 0,078%, lalu pada pengujian kedua pola penyu mendapatkan nilai *error* sebesar 0,125%. Pada percobaan ketiga pola omkara mendapatkan nilai 0,066%. Yang juga sama didapatkan yaitu pada pola keempat dengan bentuk pramuka mendapatkan nilai *error* yang paling kecil yaitu 0,066%. Dan

yang terakhir pola swastika mendapatkan nilai rata - rata *error* sebesar 0,518%.








TABEL 6  
Hasil Pemotongan Pola Dasar

No	Pola Pemotongan	Dimensi Desain	Dimensi Aktual	Error	Keterangan
1	Persegi Panjang	p = 150 mm l = 100 mm		0,266%	Sesuai dengan toleransi
2	Lingkaran	d = 150 mm		0%	Sesuai
3	Poligon	D = 150 mm		0,066%	Sesuai dengan toleransi

TABEL 7  
Hasil Pemotongan Pola Tambahan

No	Pola Pemotongan	Dimensi Desain	Dimensi Aktual	Error	Keterangan
1	Poligon Radian	d = 127 mm		0.078%	Sesuai dengan toleransi
2	Penyu	d = 150 mm			



		<p>p = 109,782 mm</p>  <p>p = 109,7 mm</p>  <p>l = 117,442 mm</p> <p>l = 117,4 mm</p>	0,125%	Sesuai dengan toleransi
3	<u>Omkara</u>	<p>d = 150 mm</p>  <p>d = 150,1 mm</p>	0,066%	Sesuai dengan toleransi
4	<u>Pramuka</u>	<p>d = 150 mm</p>  <p>d = 149,9 mm</p>	0,066%	Sesuai dengan toleransi
5	Swastika	<p>d = 150 mm</p>  <p>d = 149,1 mm</p> <p>p = 79,878 mm</p>  <p>p = 79,7 mm</p> <p>D = 113,833 mm</p>  <p>D = 113,0 mm</p>	0,518%	Sesuai dengan toleransi

Berdasarkan hasil pengujian pemotongan plat besi dengan berbagai macam pola, didapatkan kesimpulan bahwa mesin CNC yang dirancang mampu menghasilkan pemotongan yang mengikuti pola dan sesuai dengan toleransi. Beberapa hasil pemotongan yang kurang presisi disebabkan oleh pemuaian yang terjadi pada plat besi. Pemotongan pada pola dasar memiliki nilai kesalahan atau *error* yang berkisar dari 0 hingga 0,266%. Sedangkan pemotongan pola tambahan memiliki nilai kesalahan atau *error* sebesar 0,066 hingga 0,518%. Dari nilai kesalahan yang masih tergolong kecil dapat disimpulkan bahwa rancang bangun *floating* sumbu Z pada mesin CNC plasma Arc *cutting* berhasil bekerja dengan baik.

## V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian terkait rancang bangun dan pengujian terhadap mesin CNC plasma Arc *cutting* didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Rancang bangun mesin CNC plasma Arc *cutting* 3 sumbu berbasis kontroler *Mach 3* berhasil dilakukan dan dapat diterapkan oleh UMKM Adhi Teknik untuk melakukan pemotongan material.
2. Sistem *floating* sumbu Z yang diimplementasikan memungkinkan penyesuaian otomatis terhadap ketebalan plat atau material yang digunakan untuk mendukung proses pemotongan dengan presisi tinggi.
3. Konsumsi energi listrik pada saat mesin CNC diperasikan menunjukkan nilai yang ideal dan stabil. Penggunaan energi listrik oleh plasma dan kompresor adalah 104 hingga 718 Wh, sedangkan penggunaan energi listrik oleh sistem kontrol CNC adalah 5 hingga 30 Wh.
4. Hasil pengujian pemotongan menunjukkan bahwa mesin CNC yang dibangun memiliki tingkat akurasi yang tinggi dengan nilai kesalahan sebesar 0 hingga 0,266% pada pemotongan pola dasar dan 0,066 hingga 0,518% pada pola tambahan.

## REFERENSI

- [1] E. Gyasi dkk, "Prospectt of Robot Laser Cutting in the Era of Industry 4.0", World Journal of Engineering and Technology Vol. 10 No. 3, DOI: 10.4236/wjet.2022.103042, (2022)
- [2] I. Permatasari, "Rancang Bangun Mesin Computer Numerical Control (CNC) Laser Cutter 3 Axis Menggunakan Breakout Board USB *MACH3* dan Motor Stepper NEMA 23," Universitas Lampung, Bandar Lampung, 2024.
- [3] Anrinal, I. M. Putra, and R. O. Viola, "Desain Sistem Manufaktur Mesin CNC Laser Engraver," *Jurnal Teknik Mesin Institut Teknologi Padang*, vol. 12, no. 1, pp. 32–38, Apr. 2022, doi: 10.21063/jtm.2022.v12.i1.32-38.
- [4] Suparno, Suwanto, Z. Arifin, and Susanna, "RANCANG BANGUN MESIN CNC PLASMA CUTTING 3 AXIS," *Jurnal Sains Terapan Teknologi Informasi*, vol. 14, no. 2, pp. 36–41, Jul. 2022, doi: 10.46964/justti.v14i2.1549.
- [5] A. B. Hendrawan and N. A. Ariyanto, "Rancang Bangun Mesin CNC Router 3 Axis Berbantu Perangkat Lunak Autodesk Inventor 2015," *Journal Mechanical Engineering*, vol. 9, no. 2, pp. 31–37, 2020.
- [6] X. Liu dan D. Chang, "An Improved Method for Optimizing CNC Laser Cutting Paths for Ship Hull Components with Thicknesses up to 24mm", *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(3), p.652., <https://doi.org/10.3390/jmse11030652>, (2023)



- [7] F. N. Saputro and W. Sumbodo, "Pengaruh Ketinggian Torch Terhadap Lebar KERF dan Kekasaran Permukaan pada Pemotongan CNC Plasma ARC Cutting dengan Bahan Baja ST37," *Jurnal Kompetensi Teknik*, vol. 11, no. 2, pp. 22–27, 2019.
- [8] A. Z. Rahman, T. S. Prabowo, and P. M. Santika, "Desain dan Manufaktur Mesin CNC Plasma 3 Sumbu PT. Bangun Mesin Sejahtera," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 3, no. 1, pp. 1–6, Feb. 2019.
- [9] Roswaldi, Julsam, Kartika, A. Fendri, and Mulyadi, "Implementasi Mini CNC Router 3 Axis untuk Pembuatan Huruf dan Gambar Berbasis GRBL 3.6.1," *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, vol. 3, no. 1, pp. 95–102, Oct. 2019.
- [10] H. Harja, H. Setiawan, D. Muslim, A. Priyamanggala, and R. Kurniawan, "Preliminary Development of Concrete 3D Printing Machine Controller Based on Mach3 Control Board," in *Proceedings of the 5th International Conference on Applied Science and Technology on Engineering Science*, INSTICC, Dec. 2023, pp. 931–936. doi: 10.5220/0011958800003575.
- [11] Mahmood Ali and Haider Mohsin, "Design and Fabrication of 3 Axes Mini CNC Milling Machine", IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1094 012005, (2021)
- [12] A. Anrinal, M. A. Zamhari, and A. Yanto, "Pengaruh Setting Firmware terhadap Hasil Engraving pada Mesin CNC Laser Engraver," *Jurnal Teknik Mesin Institut Teknologi Padang*, vol. 14, no. 1, pp. 21–26, Apr. 2024, doi: 10.21063/jtm.2024.v14.i1.21-26.
- [13] D. U. Suwarno, "Using a Stepper Motor as a Low-Power, Low-rotation DC Generator For Renewable Energy Harvesting," in *E3S Web of Conferences*, EDP Sciences, Jan. 2024, pp. 1–5. doi: 10.1051/e3sconf/202447503004.
- [14] B. C. Wibowo and F. Nugraha, "Stepper Motor Speed Control Using Start-Stop Method Based on PLC," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 10, no. 3, pp. 213–220, Dec. 2021, Accessed: Aug. 27, 2024. [Online]. Available: <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/elekdankom>
- [15] Syafii, S. A. Putri, and Y. Mayura, "Improve Continuity Supply Of PV System Using Arduino-Based Transfer Switch," *INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH*, vol. 9, no. 2, pp. 768–772, 2020, [Online]. Available: [www.ijstr.org](http://www.ijstr.org)
- [16] A. Rakhim, "ANALISIS PENGGUNAAN EMI FILTER 220 VAC/40A SEBAGAI PENYARING DERAU TEGANGAN PADA PERANGKAT DAC-SIK REAKTOR TRIGA 2000 BANDUNG," 2021.
- [17] I. Rasyidin dan Hamdani, "Design and Build Microcontroller-Based Computer Numerical Control (CNC) Machine", *Journal of Information Technology, Computer Science and Electrical Engineering*, 1(3), 24–35. <https://doi.org/10.61306/jitcse.v1i3.73>, (2024)
- [18] T. Vishnu Vardhan dan B. Sridhar Babu, "Chapter nine - Multiaxis CNC Programming and machining", *Modern Manufacturing Processes by Woodhead Publishing*, Pages 167-175, ISBN 9780128194966, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819496-6.00009-9>, (2020)
- [19] E. Rui, "Design and Application of a Desktop CNC Lathe Control System", *6GN for Future Wireless Networks, Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, vol 439., [https://doi.org/10.1007/978-3-031-04245-4\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-031-04245-4_15), (2021)
- [20] Z. H. Khan et al., "Development of a Low-Cost CNC Machine Laser Engraver," *IEEE 12th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference (UEMCON)*, pp. 0376-0382, doi: 10.1109/UEMCON53757.2021.9666661., (2021)