



DOI: <https://doi.org/10.38035/jim.v4i4>
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Rancang Bangun CNC Router Drilling Machine Untuk Mengukur Kayu Dengan Presisi Tinggi Menggunakan Mikrokontroler Dan Sistem Kontrol GRBL

Astadi Ajrinata Pratama¹, Nina Paramytha², Endah Fitriani³, Tamsir Ariyadi⁴

¹Program Studi Teknik Elektro, Universitas Bina Darma, Palembang, Sumatera Selatan, astadipratama30@gmail.com

²Program Studi Teknik Elektro, Universitas Bina Darma, Palembang, Sumatera Selatan, nina_paramitha@binadarma.ac.id

³Program Studi Teknik Elektro, Universitas Bina Darma, Palembang, Sumatera Selatan, endahfitriani@binadarma.ac.id

⁴Program Studi Teknik Elektro, Universitas Bina Darma, Palembang, Sumatera Selatan, tamsiraryadi@binadarma.ac.id

Corresponding Author: astadipratama30@gmail.com¹

Abstract: CNC (Computer Numerical Control) machines have become the primary solution in the manufacturing industry to improve efficiency and precision in production processes. This study aims to design and develop an CNC Router Machine capable of engraving wood with high precision. The system utilizes an STM32 microcontroller combined with GRBL firmware to control stepper motors along three axes (X, Y, and Z) and equipped with a monitoring system based on Arduino NANO microcontroller. The machine is also equipped with a trimmer motor for drilling and engraving wood. Testing was conducted to analyze accuracy, speed, and system performance under various working conditions. The results indicate that the developed CNC machine can produce engravings with adequate precision, making it an economical alternative for small and medium-sized industries that require CNC machines at a more affordable cost.

Keywords: CNC Router, STM32, Arduino NANO, GRBL, Wood Engraving Machine, Stepper Motor

Abstrak: Latar belakang: Mesin CNC (Computer Numerical Control) telah menjadi solusi utama dalam industri manufaktur untuk meningkatkan efisiensi dan presisi dalam proses produksi. Mesin ini juga dilengkapi dengan trimmer motor untuk melakukan pengeboran dan pengukiran kayu. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun mesin CNC Router yang mampu mengukir kayu dengan tingkat presisi tinggi. Metode: Sistem ini menggunakan mikrokontroler STM32 yang dikombinasikan dengan firmware GRBL untuk mengendalikan motor stepper pada tiga sumbu (X, Y, dan Z) dan dilengkapi dengan sistem monitoring berbasis mikrokontroler Arduino NANO. Hasil: Pengujian dilakukan untuk menganalisis tingkat akurasi, kecepatan, dan performa sistem dalam berbagai kondisi kerja. Kesimpulan: Penelitian menunjukkan bahwa mesin CNC yang dikembangkan mampu menghasilkan ukiran dengan tingkat presisi yang memadai, sehingga dapat menjadi alternatif

ekonomis bagi industri kecil dan menengah yang membutuhkan mesin CNC dengan biaya lebih terjangkau.

Kata Kunci: CNC Router, STM32, Arduino NANO, GRBL, Motor Stepper

PENDAHULUAN

Computer Numerical Control (CNC) merupakan aplikasi utama dari teknologi industri pengolahan kayu, di mana kebutuhan akan mesin yang mampu melakukan pengukiran dengan tingkat presisi tinggi semakin meningkat. *CNC Router Drilling Machine* berbasis Mikrokontroler STM32 menawarkan solusi yang lebih fleksibel, ekonomis, dan dapat diakses oleh industri kecil dan menengah (IKM). Mesin ini memungkinkan pengoperasian yang lebih mudah serta dapat dikustomisasi sesuai kebutuhan pengguna. Namun, dalam pengembangan mesin tersebut, terdapat tantangan untuk memastikan bahwa mesin memiliki akurasi yang tinggi dan mampu diintegrasikan dengan *software* yang mendukung optimalisasi desain ukir kayu.

Dengan adanya keterbatasan pada penelitian terdahulu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun *CNC Router Drilling Machine* yang memiliki akurasi tinggi dalam pengukiran kayu dengan menggunakan sistem kontrol berbasis Mikrokontroler STM32 dan GRBL. Desain ini akan mengoptimalkan stabilitas rangka, meningkatkan resolusi motor stepper, serta menerapkan algoritma kontrol yang lebih efisien guna meminimalkan kesalahan dalam proses pengukiran sehingga dapat meningkatkan presisi ukiran yang dihasilkan oleh mesin.

Sedangkan untuk sistem monitoring tegangan, arus dan kecepatan trimmer *router* saat bekerja menggunakan sensor tegangan (ZMPT101B), sensor arus (ACS712), sensor suhu (MLX90614) dan sensor kecepatan (IR Sensor) dengan sistem kontrol berbasis Arduino NANO yang dimonitoring melalui OLED Display serta dilengkapi alarm berupa Buzzer.

STM32

STM32 adalah mikrokontroler berbasis arsitektur ARM Cortex-M yang dikembangkan oleh STMicroelectronics. Mikrokontroler ini dirancang untuk berbagai sistem, mulai dari perangkat IoT, otomasi industri, robotika, hingga perangkat medis. Untuk performa dan fitur STM32 lebih unggul dibandingkan Arduino karena STM32 memiliki prosesor ARM Cortex-M dengan clock lebih cepat dibandingkan Arduino, dan sudah mendukung program *software* STM32CubeIDE dan Arduino IDE. Oleh karena itu untuk sistem kendali mesin CNC *router* menggunakan STM32 agar pemrosesan data lebih cepat.



Gambar 1. STM32

Arduino NANO

Arduino NANO adalah salah satu varian produk mikrokontroler keluaran dari Arduino. Arduino NANO merupakan board Arduino terkecil dengan chipset berupa Atmel ATmega168 yang dilengkapi dengan 14 pin digital I/O (D0 sampai D13) dan 8 pin analog (A0 sampai A7). Oleh karena itu Arduino NANO cukup untuk digunakan sebagai sistem monitoring trimmer *router*. Arduino NANO diprogram menggunakan *software* Arduino IDE.



Gambar 2. Arduino NANO

Power Supply

Power supply merupakan perangkat yang berfungsi untuk menyediakan daya listrik yang dibutuhkan pada komponen listrik atau elektronika. *Power supply* bekerja dengan mengubah energi listrik dari sumber yang tersedia (misalnya tegangan AC) menjadi tegangan yang dibutuhkan sesuai dengan kebutuhan perangkat, baik dalam bentuk tegangan AC lainnya maupun tegangan DC.



Gambar 3. Power Supply

LM2596S

LM2596S merupakan modul *step down converter* DC yang dapat mengubah tegangan DC dari input 35 V menjadi tegangan DC 0 V – 35 V sesuai kebutuhan. Pengaturan tegangan tersebut dapat dilakukan pada potensiometer yang terdapat pada modul tersebut.



Gambar 4. LM2596S

Emi Filter

EMI Filter merupakan perangkat elektronik yang dirancang khusus untuk mengurangi atau menghilangkan EMI (*Elektromagnetik Interference*) dari sirkuit elektronik. EMI bekerja dengan cara mengidentifikasi noise listrik atau frekuensi gangguan elektromagnetik pada rangkaian AC yang tidak diinginkan lalu kemudian meredam atau memblokirnya.



Gambar 5. Emi Filter

Optocoupler

Optocoupler digunakan untuk meredam *noise* listrik atau frekuensi gangguan elektromagnetik pada rangkaian DC. Filter ini tersusun dari komponen pasif seperti induktor dan kapasitor untuk mencapai ini. Induktor digunakan untuk meredam noise frekuensi tinggi, sementara kapasitor mengarahkan *noise* frekuensi tinggi ke tanah (*grounding*) atau sumber lainnya. EMI Filter dan Optocoupler digunakan pada mesin CNC router berfungsi untuk melindungi komponen mikrokontroler dan motor driver dari gangguan elektromagnetik atau noise listrik.



Gambar 6. Optocoupler

SCR Voltage Regulator

Silicon Controlled Rectifier (SCR) Voltage Regulator merupakan komponen elektronik yang berfungsi untuk mengatur arus listrik yang berasal dari sumber yang masuk ke beban. Fungsi *SCR Voltage Regulator* untuk mengatur arus listrik pada trimmer *router* sehingga kecepatan trimmer *router* dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Perangkat ini terdiri dari

komponen TRIAC (*Triode for Alternating Current*) yang menghasilkan tegangan sin dari AC yang tidak murni (tegangan AC yang sudah mengalami sudut penyulutan).



Gambar 7. SCR Voltage Regulator

Limit Switch

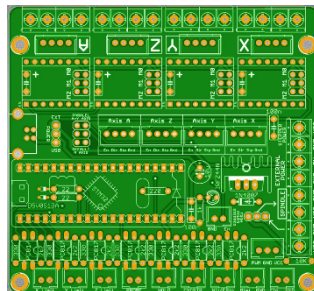
Limit switch adalah sensor mekanik atau elektronik. *Limit switch* pada penelitian ini digunakan untuk mendeteksi posisi akhir dari gerakan sumbu (X, Y, dan Z). Switch ini mencegah motor melampaui batas pergerakan yang telah ditentukan, sehingga melindungi komponen mesin dari kerusakan.



Gambar 8. Limit Switch

Breakout Board Bluepill GRBL (CNC Shield)

Breakout Board Bluepill GRBL (CNC Shield) merupakan PCB yang memungkinkan komputer untuk mengontrol mesin CNC router melalui software Openbuilds Control menggunakan port USB. Board ini berfungsi sebagai penghubung antara komputer dan mikrokontroler STM32 untuk mengendalikan Stepper Motor Driver TB6600, probe, limit switch, dan lain - lain pada sistem CNC.



Gambar 9. Breakout Board Bluepill GRBL (CNC Shield)

ACS712

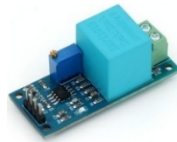
ACS712 merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur arus dengan maksimal pengukuran arus AC hingga 30 A. Sensor ini dapat digunakan untuk mengukur arus kerja trimmer *router*.



Gambar 10. ACS712

ZMPT101B

ZMPT101B merupakan sensor yang dapat digunakan untuk mengukur tegangan AC. Sensor ini dapat digunakan untuk mengukur tegangan kerja trimmer *router*.



Gambar 11. ZMPT101B

IR Sensor

IR Sensor merupakan sensor yang berbasis cahaya yang dapat digunakan untuk mengukur pergerakan objek. Sensor ini dapat digunakan untuk mengukur kecepatan putaran trimmer *router*.



Gambar 12. IR Sensor

MLX90614

MLX90614 merupakan sensor suhu non-contact yang dapat digunakan untuk mengukur temperatur objek. Sensor ini dapat digunakan untuk mengukur suhu pada trimmer *router*.



Gambar 13. MLX90614

I2C Multiplexer

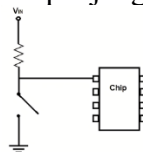
PCA9548A merupakan sebuah modul I2C Multiplexer yang digunakan untuk membantu memproses beberapa modul atau sensor yang menggunakan alamat I2C (misalnya SCL dan SDA) untuk memprosesnya dalam satu alamat I2C yang sama pada mikrokontroler, sehingga memungkinkan lebih banyak modul atau sensor terhubung tanpa adanya konflik alamat.



Gambar 14. PCA9548A

Rangkaian Pull-up Resistor

Rangkaian pull-up resistor digunakan untuk memperkuat output sinyal pembacaan suatu sensor yang di akibatkan oleh *noise* atau panjangnya kabel. Nilai resistor yang digunakan dapat disesuaikan berdasarkan tegangan input dan panjangnya kabel yang digunakan.



Gambar 15. Rangkaian Pull-up Resistor

TB6600

TB6600 adalah driver stepper motor berbasis MOSFET yang dirancang untuk mengendalikan motor bipolar seperti Nema 23. Driver ini mampu menangani tegangan input 9 V – 42 V dan arus maksimum 3.5A, sehingga cocok untuk dikombinasikan dengan Dinamo Motor NEMA 23.



Gambar 16. TB6600

NEMA23

NEMA23 merupakan standar ukuran untuk stepper motor dengan dimensi 57 mm x 57 mm (2.3" x 2.3"). Motor ini memiliki tegangan input 12 V – 24 V dan arus input 1 A – 4 A per fase dengan torsi 0.9 Nm – 3 Nm, sehingga sangat cocok digunakan untuk aplikasi mesin CNC router yang memerlukan presisi tinggi dengan posisi tetap tanpa *feedback*.



Gambar 17. NEMA23

Relay SSR

Relay SSR (*Solid State Relay*) merupakan komponen yang berfungsi sebagai switch otomatis untuk mengendalikan arus. Relay ini bekerja pada tegangan DC 3 V – 32 V dan mampu menghantarkan tegangan AC 24 V – 380 V. Relay ini digunakan untuk menyalakan trimmer secara otomatis ketika mesin CNC *router* diperintahkan untuk menyala.



Gambar 18. Relay SSR

Relay Optocoupler

Relay Optocoupler adalah modul relay yang menggunakan optocoupler sebagai penghubung sinyal antara mikrokontroler dan beban listrik tanpa kontak langsung secara elektrik. Optocoupler berfungsi sebagai isolator yang melindungi rangkaian kontrol dari arus balik atau lonjakan arus dan tegangan tinggi pada beban, sehingga dapat menghentikan seluruh sistem listrik secara otomatis jika terjadi kegagalan pada mesin. Relay ini digunakan sebagai switch otomatis untuk mengontrol mesin CNC *router*.



Gambar 19. Relay Optocoupler

Trimmer Router

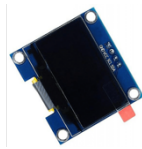
Trimmer *router* adalah komponen utama pada mesin CNC router yang berfungsi sebagai alat pemotong, pengukir, atau pengebor material. Trimmer ini memutar mata pisau (bit) dengan kecepatan tinggi untuk bekerja pada material seperti kayu, akrilik, plastik, logam ringan, dan PCB. Trimmer router yang digunakan pada penelitian ini memiliki tegangan kerja 220 V dengan daya 450 W dan kecepatan putaran sampai 30.000 Rpm.



Gambar 20. Trimmer Router

OLED Display

OLED Display merupakan sebuah modul yang digunakan untuk menampilkan teks atau gambar. Modul ini dapat digunakan untuk menampilkan hasil pembacaan dari sensor yang telah diproses oleh mikrokontroler.



Gambar 22. OLED Display

Buzzer

Buzzer merupakan sebuah komponen yang merubah arus menjadi suara. Buzzer digunakan sebagai sinyal alarm saat terjadi limit didalam pembacaan suatu sistem.



Gambar 23. Buzzer

METODE

Studi Literatur

Mengkaji dari berbagai referensi terkait perancangan *CNC Router Drilling Machine* dengan bantuan referensi dari berbagai sumber jurnal dan studi literatur yang telah disusun oleh penelitian sebelumnya.

Metode Konsultasi

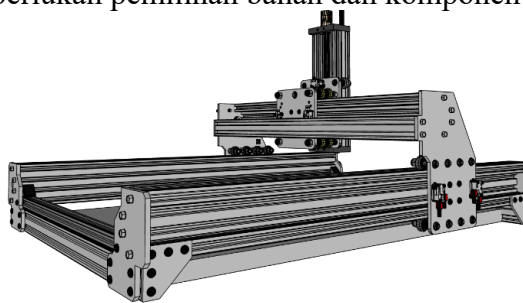
Berdiskusi bersama dosen pembimbing untuk meminta masukan ataupun perbaikan isi dan metode perancangan dan memastikan bahwa perancangan alat dapat sesuai dengan standar akademik, sehingga penelitian ini dapat berlangsung secara efektif.

Metode Pengujian dan Analisis

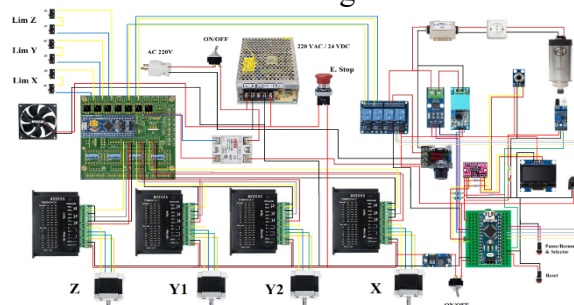
Pengujian untuk mengetahui tingkat efisiensi dan presisi hasil pola ukiran pada beberapa jenis material kayu dan hasil pembacaan sensor. Berdasarkan hasil pengujian tersebut selanjutnya akan dianalisa dan dievaluasi, sehingga dapat mengetahui faktor – faktor yang mempengaruhi hasil kinerja mesin agar mendapatkan hasil alat yang lebih optimal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam merancang suatu alat, perlu dipersiapkan dengan matang agar diharapkan hasil akhir alat tersebut dapat berfungsi dengan baik dan optimal sesuai dengan keinginan dan kebutuhan yang telah direncanakan. Proses perencanaan alat dapat dimulai dengan menggambar sketsa berupa gambar 3D untuk menggambar kerangka alat dan pembuatan layout PCB. Dalam proses ini diperlukan pemilihan bahan dan komponen yang akan digunakan.



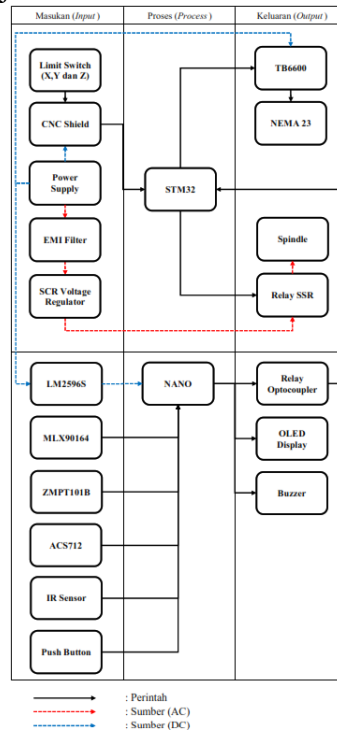
Gambar 24. Rangka Mesin



Gambar 25. Wiring Diagram

Diagram Rangkaian Alat

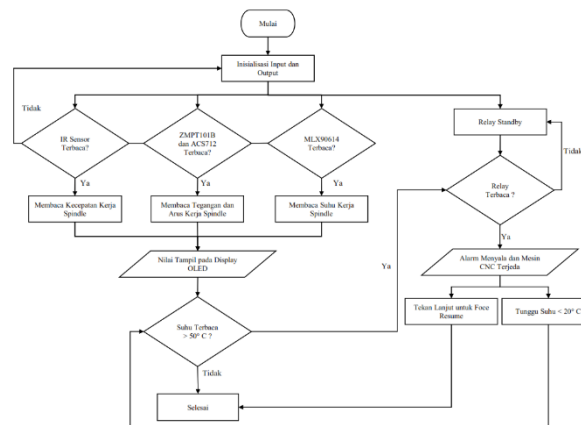
Blok diagram pada penelitian ini terdiri dari tiga tahap yang saling memiliki pengaruh kontribusi pada saat sistem bekerja.



Gambar 26. Blok Diagram

Flowchart Rangkaian Alat

Flowchart dilakukan untuk mempermudah dalam pembacaan diagram alur kerja dari sistem dan pembuatan alat.



Gambar 27. Flowchart Rangkaian Alat

Perhitungan Microstepping, Kecepatan, dan Torsi

Perhitungan *microstepping* bertujuan untuk menentukan berapa banyak langkah yang diperlukan motor stepper untuk bergerak satu putaran penuh, sehingga memengaruhi *steps per mm* pada kontrol CNC. Untuk step angel dasar dari spesifikasi NEMA 23 yaitu $1,8^\circ$ dan di-setting *microstep* 8 untuk sumbu X dan Y, sedangkan *microstep* 4 untuk sumbu Z. Selanjutnya untuk sumbu X dan Y menggunakan belt dengan *pitch* 2 mm dan gear 20 *teeth*, sedangkan untuk sumbu Z menggunakan leadscrew M8 dengan *pitch* 2 mm dan *thread starts* 1 *teeth*. Untuk setting *microstep* NEMA23 dari TB6600 dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 1. Setting microstep NEMA 23

Microstep	Step Angel Dasar
Fullstep (1)	$1,8^\circ$
1/2	$0,9^\circ$

1/4	0,45°
1/8	0,225°
1/16	0,1125°
1/32	0,05625°

Berikut rumus perhitungan *microstepping*:

$$\text{Motor Step per rev} = \frac{360^\circ}{\text{Step angel dasar}}$$

$$\text{Motor Step per rev X, Y dan Z} = \frac{360^\circ}{1,8^\circ} = 200 \text{ step/rev}$$

Jadi, NEMA23 memerlukan sebanyak 200 langkah untuk mencapai putaran penuh (360°). Selanjutnya perhitungan jumlah pulsa pada masing – masing sumbu yang diperlukan untuk mencapai putaran penuh (360°).

$$\begin{aligned} \text{Fullstep} &= \text{Motor Step per rev} \times \text{Microstep} \\ \text{Fullstep Sumbu X dan Y} &= 200 \times 16 = 3.200 \text{ pulse/rev} \\ \text{Fullstep Sumbu Z} &= 200 \times 4 = 800 \text{ pulse/rev} \end{aligned}$$

Selanjutnya menghitung jarak pergerakan linier pada masing – masing sumbu yang dihasilkan untuk mencapai putaran penuh (360°).

$$\begin{aligned} \text{Gerak per rev} &= \text{pitch} \times \text{teeth} \\ \text{Gerak per rev sumbu X dan Y} &= 2 \times 20 = 40 \text{ mm/rev} \\ \text{Gerak per rev sumbu Z} &= 2 \times 1 = 2 \text{ mm/rev} \end{aligned}$$

Jadi, jarak pergerakan linier NEMA23 pada putaran penuh (360°) untuk sumbu X dan Y sejauh 40 mm, sedangkan sumbu Z sejauh 1,25 mm. Selanjutnya hitung jumlah langkah pada setiap sumbu untuk setiap pergerakan 1 mm.

$$\begin{aligned} \text{Step per mm} &= \frac{\text{Fullstep}}{\text{Gerak per rev}} \\ \text{Step per mm sumbu X dan Y} &= \frac{3.200}{40} = 80 \text{ step/mm} \\ \text{Step per mm sumbu Z} &= \frac{800}{2} = 400 \text{ step/mm} \end{aligned}$$

Jadi, jumlah langkah untuk setiap pergerakan 1 mm pada sumbu X dan Y sebanyak 80 langkah dan sumbu Z sebanyak 160 langkah. Selanjutnya hitung RPM motor jika menggunakan *feed rate* 1000 mm/min jika tanpa beban.

$$\begin{aligned} \text{RPM} &= \frac{\text{feed rate}}{\text{gerak per rev}} \\ \text{RPM Sumbu X dan Y} &= \frac{1000}{40} = 25 \text{ RPM} \\ \text{RPM Sumbu Z} &= \frac{1000}{2} = 500 \text{ RPM} \end{aligned}$$

Untuk menghitung torsi berdasarkan dari spesifikasi NEMA23 dengan tegangan kerja 3,2 V dan diberi arus oleh TB6600 2,8 A pada setiap kecepatan masing – masing sumbu diatas yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Daya (P)} &= \text{Tegangan (V)} \times \text{Arus (I)} \\ \text{Daya (P)} &= 3,2 \times 2,8 = 8,96 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Konversi RPM ke rad/s (ω):

$$\omega = \frac{2\pi \times RPM}{60}$$

$$\omega \text{ Sumbu X dan Y} = \frac{2\pi \times 25}{60} = 2,61 \text{ rad/s}$$

$$\omega \text{ Sumbu Z} = \frac{2\pi \times 500}{60} = 52,33 \text{ rad/s}$$

Hitung torsi (τ):

$$\text{Torsi } (\tau) = \frac{\text{Daya } (P)}{\text{rad/s}(\omega)}$$

$$\text{Torsi } (\tau) \text{ Sumbu X dan Y} = \frac{8,96}{2,61} = 3,43 \text{ Nm}$$

$$\text{Torsi } (\tau) \text{ Sumbu Z} = \frac{8,96}{52,33} = 0,17 \text{ Nm}$$

Dapat disimpulkan bahwa nilai torsi sangat berpengaruh terhadap kecepatan. Jika kecepatan dinamo rendah maka nilai torsi akan semakin tinggi, sebaliknya jika kecepatan dinamo tinggi maka nilai torsi akan semakin rendah.

Perhitungan Microstepping, Kecepatan, dan Torsi

Pengujian motor dinamo NEMA 23 dilakukan dengan cara mengkalibrasi microstepping dengan driver TB6600, lalu diukur dengan menggunakan jangka sorong untuk pergerakannya. Jarak perpindahan yang diperintahkan yaitu 10 mm.

Tabel 2. Hasil Pengujian *Microstepping* Dinamo Motor NEMA 23

Sumbu	<i>Microstep Setting</i>	Target Perpindahan (mm)	Hasil Pengukuran (mm)	Selisih Error (mm)	Keterangan
X	Full Step	10,00	9,97	-0,03	-
	1/2 Step	10,00	10,02	0,02	-
	1/4 Step	10,00	9,98	-0,02	-
	1/8 Step	10,00	10,0	0,00	Stabil
	1/16 Step	10,00	10,02	+0,02	-
	1/32 Step	10,00	10,1	+0,01	-
Y	Full Step	10,00	9,99	-0,01	-
	1/2 Step	10,00	10,01	+0,01	-
	1/4 Step	10,00	9,99	-0,01	-
	1/8 Step	10,00	10,00	0,00	Stabil
	1/16 Step	10,00	10,02	+0,02	-
	1/32 Step	10,00	10,01	+0,01	-
Z	Full Step	10,00	10,02	+0,02	-
	1/2 Step	10,00	10,03	+0,03	-
	1/4 Step	10,00	10,00	0,00	Stabil
	1/8 Step	10,00	10,02	+0,02	-
	1/16 Step	10,00	9,99	-0,01	-
	1/32 Step	10,00	9,99	-0,01	-

Hasil Pengujian IR Sensor

Pengujian IR Sensor sangat sensitif dengan pantulan cahaya, oleh karena itu posisi IR Sensor diletakkan didekat *collet* trimmer dengan jarak ± 1 cm dan diberikan garis warna putih pada collet sebagai penanda untuk IR Sensor membaca pulsa. Untuk perbandinganya menggunakan alat ukur Tachometer.

Tabel 3. Hasil Pengujian IR Sensor

Light Meter (lux)	Tachometer (RPM)	IR Sensor (RPM)	Selisih (RPM)	Keterangan
±60	1.120	950	170	Terbaca
	5.329	6.840	1511	Terbaca
	11.020	13.239	2219	Terbaca
	15.191	15.591	400	Terbaca
	21.020	19.986	1034	Terbaca
	24.975	0	24.975	Tidak Terbaca
	30.212	0	30.212	Tidak Terbaca
	976	1.218	242	Terbaca
±500	5.219	5.081	138	Terbaca
	10.079	11.329	1250	Terbaca
	15.412	17.938	2526	Terbaca
	20.118	0	20.118	Tidak Terbaca
	24.712	0	24.712	Tidak Terbaca
	29.997	0	29.997	Tidak Terbaca

Hasil Pengujian Sensor MLX90614

Pengujian sensor MLX90614 dilakukan dengan suhu ruangan dan suhu lingkungan kerja. Perhitungan suhu kerja trimmer dilakukan setiap 5 menit dan menghitung waktu trimmer kembali kesuhu ideal. Untuk perbandingannya menggunakan thermometer ruangan.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sensor MLX90614

Waktu (Menit)	Suhu Ruang (°C)	Suhu Sensor (°C)	Perubahan Suhu (°C)	Kondisi	Keterangan
0	23,50	23,81	0	Ideal	Mesin menyala
±5	23,38	24,05	0,24	Ideal	Mesin menyala
±10	23,10	24,56	0,51	Ideal	Mesin menyala
±15	23,20	24,89	0,33	Ideal	Mesin menyala
±20	23,41	25,22	0,33	Normal	Mesin menyala
±25	23,31	26,50	1,28	Normal	Mesin menyala
±30	23,50	26,98	0,48	Normal	Mesin menyala
±35	23,88	27,41	0,43	Normal	Mesin menyala
±40	23,42	27,98	0,57	Normal	Mesin menyala
±45	23,35	28,63	0,65	Normal	Mesin menyala
±50	23,52	29,10	0,47	Normal	Mesin menyala
±55	23,20	30,01	0,91	Panas	Mesin mati
±60	23,25	28,10	1,91	Normal	Mesin mati
±65	23,24	26,02	2,08	Normal	Mesin mati
±70	23,31	25,51	0,51	Normal	Mesin mati
±75	23,15	24,99	0,52	Ideal	Mesin menyala
0	27,31	27,42	0	Normal	Mesin menyala
±5	27,48	27,82	0,40	Normal	Mesin menyala
±10	27,74	28,50	0,68	Normal	Mesin menyala
±15	27,61	29,21	0,71	Normal	Mesin menyala
±20	27,59	30,01	0,81	Tinggi	Mesin mati

Hasil Pengujian Sensor ACS712 dan ZMPT101B

Pengujian sensor ACS712 dan ZMPT101B dilakukan untuk mengukur arus dan tegangan pada output SCR Voltage Regulator yang digunakan untuk mengatur kecepatan putaran trimmer. Untuk perbandingannya menggunakan alat ukur Multimeter untuk mengukur arus dan tegangan.

Tabel 5. Hasil Pengujian Sensor ACS712 dan ZMPT101B

Kondisi	Multimeter			ACS712 dan ZMPT101B			Selisih			Keterangan
	V	A	W	V	A	W	ΔV	ΔA	ΔW	
Tanpa Beban	50	0.02	0.10	43	0,03	1,29	7	0,01	1,19	ZMPT101B under read
	123	0.02	2,46	131	0,03	3,39	8	0,01	0,93	ZMPT101B over read
	215	0.01	2,15	196	0,03	5,88	25	0,02	3,73	ZMPT101B under read
Dengan Beban	52	2,12	114,92	49	2,15	105,35	3	0,03	9,57	ZMPT101B under read
	120	2,83	339,60	117	2,80	327,60	3	0,03	12,00	ZMPT101B under read
	214	4,36	933,04	195	4,41	859,95	19	0,05	73,09	ZMPT101B under read

Hasil Pengujian Variasi Feed Rate

Pengujian variasi *feed rate* dilakukan dengan cara mengukir objek sederhana pada material kayu berbentuk persegi dengan ukuran 4 cm x 4 cm dan kedalaman ukiran 0,5 cm sedangkan lingkaran dengan ukuran diameter 4 cm. Selanjutnya untuk mata bor yang digunakan yaitu jenis endmill ukuran 3 mm.

Tabel 6. Hasil Pengujian Variasi Feed Rate

Feed Rate (mm/min)	Bentuk	Waktu (menit)	Ukuran Aktual (mm)	Dalam (mm)	Error (mm)	Kualitas	Keterangan
100	Persegi	± 5	40,00 x 40,00	5,00	0,00	Sangat Halus	Sangat presisi tapi waktu lama
	Lingkaran	± 4	40,00	5,00	0,00	Sangat Halus	Sangat presisi tapi waktu lama
300	Persegi	± 4	40,00 x 40,00	5,00	0,00	Halus	Presisi baik dan cukup efisien
	Lingkaran	± 3	40,00	5,00	0,00	Halus	Presisi baik dan cukup efisien
500	Persegi	± 3	40,00 x 39,95	5,00	0,05	Halus tapi ada serpihan	Akurasi mulai turun
	Lingkaran	± 2	39,97	5,00	0,03	Halus tapi ada serpihan	Akurasi mulai turun
700	Persegi	± 2	40,00 x 39,95	5,00	0,05	Cukup halus dan ada serpihan	Getaran dinamo cukup terasa
	Lingkaran	± 1	39,95	5,00	0,05	Cukup halus dan	Getaran dinamo cukup terasa

Feed Rate (mm/min)	Bentuk	Waktu (menit)	Ukuran Aktual (mm)	Dalam (mm)	Error (mm)	Kualitas	Keterangan
1.000	Persegi	<1	39,95 x 38,95	5,00	0,15	ada serpihan Kasar dan banyak serpihan	Pengerjaan cepat tapi presisi rendah
	Lingkaran	<1	38,90	5,00	0,20	Kasar dan banyak serpihan	Pengerjaan cepat tapi presisi rendah

KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil dan pembahasan tentang “Rancang Bangun CNC Router Drilling Machine Untuk Mengu`kir Kayu Dengan Presisi Tinggi Menggunakan Mikrokontroler Dan Sistem Kontrol GRBL” dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari semua hasil pengukuran alat berdasarkan spesifikasi dari datasheet rata – rata mendapatkan hasil persentase dengan toleransi $\pm 5\%$. Hal tersebut menunjukkan bahwa sistem yang bekerja dalam keadaan normal dan baik.
2. Pada sistem monitoring mesin CNC Router ada beberapa sensor yang kurang cocok untuk digunakan dalam pengukuran dikarenakan keterbatasan kemampuan pembacaan dari sensor tersebut, baik itu pengaruh dari sistem itu sendiri maupun pengaruh dari lingkup kerja.
3. Pada sistem kontrol mesin CNC Router bekerja dengan baik yang dan sesuai dengan tujuan awal pembuatan alat. Mesin CNC Router ini dapat melakukan pengukiran dengan akurat dan presisi, namun tetap mempertimbangkan nilai feed rate yang digunakan.

Pada pengembangan selanjutnya pada sistem kontrol disarankan untuk menambahkan fitur – fitur lainnya pada mesin CNC Router, misalnya:

1. Fitur sumbu tambahan hingga 4 axis sehingga dapat melakukan pekerjaan yang lebih rumit dan menghasilkan ukiran yang lebih detail.
2. Fitur probe yang digunakan sebagai penentuan zero point secara otomatis saat ingin memulai pengukiran.
3. Selanjutnya untuk pengembangan sistem monitoring disarankan mempertimbangkan komponen dan sensor yang akan digunakan dengan memperhatikan spesifikasi mesin dan kemampuan dari komponen dan sensor. Agar pembacaan sensor lebih akurat dan stabil.

REFERENSI

- Adam, P. R., Purwanto Gendroyono, & Nur Hanifah Yuninda. (2020). MONITORING SUPLAJ TEGANGAN PADA MOTOR INDUKSI TIGA FASA MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER ARDUINO DAN SENSOR TEGANGAN ZMPT101B. *Journal of Electrical Vocational Education and Technology*, 5(2), 37–43.
- Ahmad, F., Hariyawan, M. Y., & Posma, S. N. (2019). Perancangan Dan Implementasi Passive Emi Filter Pada Switching Mode Power Supply (SMPS). *Jurnal Elektro dan Mesin Terapan*, 5(1), 29–37.
- Arifianto, M. J. F., & Suprpto, H. (2023). *Perancangan Pengendali Gerakan Stepper Motor menggunakan Mikrokontroler STM32 dengan Tampilan Grafis TouchGFX*. 8(1).
- Ariyani, D. T., Najah, S., Cahayati, E., Sudarti, S., & Mahmudi, K. (2024). KONSEP RADIASI MEDAN ELEKTROMAGNETIK ELF (EXTREMELY LOW FREQUENCY) OLEH PERALATAN RUMAH TANGGA. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 8(1), 147–156.

- Beatrice Anggitha Manurung. (2023). Analisis Perbandingan Sensor Inersia dan Infrared Untuk Akurasi Perbandingan Jarak dan Putaran Roda untuk Kendaraan Pribadi. *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro dan Informatika*, 1(4), 139–149.
- Burhanudin, B., Suryono, E., Prasetyo, A., Margono, B., Zainuddin, Z., & Rahmatulloh, A. (2023). PENGEMBANGAN POLA PEMBELAJARAN PEMOGRAMAN CNC MELALUI INTEGRASI G CODE, SIMULATOR CNC DAN CAM. *Abdi Masya*, 4(2), 219–224.
- Fasha Nur Fauzan, Sri Utami, & Mulki Rezka Budi Pratama. (2024). Monitoring Sistem Kelistrikan Tiga Fasa Berbasis IoT dengan Sensor ACS712 dan ZMPT101B. *Jurnal Teknik Energi*, 13(1), 24–29.
- Fathoni, A. (2022). Analisa Pembuatan Mesin Cnc Router Menggunakan Driver Tb6560 Dan Driver A4988 Berbasis Mikrokontroller Arduino Uno Di Cv Barokah Mebel. *Journal of Science Nusantara*, 2(1), 7–16.
- Haritubagus, M., Armila, A., & Arief, R. K. (2022). Perancangan Mesin CNC Mini Untuk Praktikum Laboratorium Teknologi Material. *Creative Research in Engineering*, 2(1), 29.
- Harrizal, I. S., & Prayitno, A. (n.d.). RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL MESIN CNC MILLING 3 AXIS MENGGUNAKAN CLOSE LOOP SYSTEM.
- Kuncara, M., & Ruhyana, L. (2022). ANALISIS PENGARUH VARIASI FEED RATE TERHADAP AKURASI MESIN CNC ROUTER 3 AXIS BERBASIS MIKROKONTROLER.
- Novrialdy, Y. (n.d.). PENGARUH VARIASI FEED RATE TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN POLYETHYLENE MENGGUNAKAN MESIN CNC MILLING.
- Nugroho, E. C., Nugroho, A., & Hendriyanto, I. (2019). *Prototipe Mesin CNC 2D Berbasis Arduino Uno*. 25(1).
- Nurlaila, N., Paembonan, S., & Suppa, R. (2024). RANCANG PENDETEKSIAN KECEPATAN KENDARAAN BERBASIS ARDUINO. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 12(3).
- Nurma, M. C., & Rosyid, D. H. (2022). PERANCANGAN ALAT MONITORING SUHU MENGGUNAKAN SENSOR MLX90614 PADAMESIN DIGITAL PRINTING XEROX WORKCENTRE BERBASIS IOT. *JURNAL ILMIAH GLOBAL EDUCATION*, 3(2), 171–175.
- Pratama, M. A., & Widyartono, M. (2020). RANCANG BANGUN PROTOTIPE PEMANTAUAN BIAYA TAGIHAN LISTRIK BERBASIS ARDUINO MEGA. *Jurnal Teknik Elektro*, 09.
- Sk, R., & Fendri, A. (2019). *Implementasi Mini CNC Router 3 Axis untuk Pembuatan Huruf dan Gambar Berbasis GRBL 3.6*.
- Sya'baniah, N., Purwanti, P., & Astuti, I. A. D. (n.d.). *Rancang Bangun Contactless Thermometer Menggunakan Sensor MLX90614 Berbasis Arduino Nano*.
- Trisnanto, E. A., & Musafa, A. (n.d.). PERANCANGAN MESIN CNC PLOTTER DENGAN APLIKASI GRBL KONTROL TIGA SUMBU.