

Perancangan Dan Implementasi Panel Kelistrikan Pada Mesin *Cnc Router*

Saprudin^{1*}, Agung Nugroho², Ayu Ningrum³

¹⁻³ Program Studi D3 Teknik Elektronika Industri, Politeknik Baja

Email: saprudin1970@gmail.com^{*}

Abstract. This study aims to design and implement the electrical system of a CNC Router Machine using Mach 3 as the main Control unit. The system was developed to support the automation of X, Y, and Z axis movements, ensuring accurate, efficient, and safe cutting processes. The design covers power requirements, stepper motor configuration with TB6600 drivers, limit switches, emergency stop, and G-code communication through supporting software. The methodology includes schematic design, hardware installation, and functional testing. Results show that the system operates as intended, with responsive axis movements, high motion accuracy, and power consumption of about ± 195 Watts under full load. Safety features such as contactors, RCBO, emergency stop, grounding, and fuses also function properly. Therefore, the designed electrical system successfully integrates all Control functions of the CNC Router and has the potential to serve as a reference for developing small-scale CNC systems based on microControllers that are efficient, affordable, and easy to expand.

Keywords: CNC Router, electrical panel, protection, automation.

Abstrak. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem kelistrikan pada mesin CNC Router berbasis Mach 3 sebagai unit kontrol utama. Sistem dirancang untuk mendukung otomatisasi pergerakan sumbu X, Y, dan Z agar proses pemotongan lebih akurat, efisien, dan aman. Perancangan mencakup kebutuhan daya, konfigurasi motor *stepper* dengan *driver* TB6600, *limit switch*, *emergency stop*, serta komunikasi *G-code* melalui perangkat lunak. Metode meliputi penyusunan skematik, instalasi perangkat keras, dan pengujian fungsional. Hasil menunjukkan sistem berfungsi sesuai rancangan, dengan gerakan sumbu responsif, akurasi tinggi, dan konsumsi daya ± 195 Watt saat beban penuh. Sistem proteksi seperti kontraktor, *RCBO*, *emergency stop*, *grounding*, dan sekring juga bekerja optimal. Dengan demikian, sistem kelistrikan terbukti mampu mengintegrasikan fungsi kontrol CNC Router secara baik, serta berpotensi menjadi referensi bagi pengembangan CNC skala kecil berbasis *mikrokontroler* yang efisien dan terjangkau.

Kata kunci: CNC Router, panel kelistrikan, proteksi, otomatisasi.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi manufaktur dewasa ini mengalami kemajuan pesat, seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan efisiensi, presisi, dan otomatisasi dalam proses produksi. Salah satu inovasi yang menjadi tonggak penting dalam dunia industri adalah penggunaan mesin *CNC* (*Computer Numerical Control*). Mesin *CNC* merupakan sistem pemesinan otomatis yang dikendalikan oleh komputer untuk melakukan proses pemotongan, pengeboran, dan pembentukan material secara presisi sesuai dengan rancangan digital. Salah satu jenis mesin *CNC* yang banyak digunakan dalam skala industri kecil hingga menengah adalah *CNC Router*. *CNC Router* banyak dimanfaatkan untuk pengerjaan material kayu, plastik, akrilik, bahkan logam ringan. Mesin ini bekerja dengan menggerakkan mata potong secara otomatis berdasarkan program yang dimasukkan melalui komputer. Agar mesin *CNC Router* dapat bekerja secara optimal, diperlukan sistem kelistrikan yang stabil, aman, dan sesuai standar. Sistem kelistrikan pada mesin *CNC* mencakup berbagai komponen mulai dari *box panel*, *power supply*, *driver* motor, motor *stepper*, serta perangkat proteksi yang harus dirancang secara terintegrasi dan efisien. Namun demikian, dalam praktiknya, masih banyak ditemukan permasalahan terkait sistem kelistrikan mesin *CNC* yang dibuat secara manual atau modifikasi, seperti pengkabelan yang tidak tertata, sistem proteksi yang kurang memadai, hingga kesalahan pemilihan komponen kelistrikan yang berdampak pada penurunan performa dan keselamatan kerja. Oleh karena itu, perancangan sistem kelistrikan yang terstruktur dan implementasi yang tepat

sangat diperlukan untuk mendukung kinerja mesin *CNC Router* secara keseluruhan. (Julian dkk, 2020)

Melalui penelitian perancangan dan implementasi sistem kelistrikan pada mesin *CNC Router* ini mengacu pada aspek teknis dan keselamatan, termasuk pemilihan komponen, skema kelistrikan, dan integrasi dengan sistem mekanik dan kontrol. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi kontribusi dalam pengembangan teknologi optimasi, khususnya dalam bidang rekayasa sistem kelistrikan mesin berbasis *CNC*, baik di lingkungan pendidikan vokasi maupun industri kecil- menengah.

LANDASAN TEORI

1. Pengertian *CNC*

CNC (*Computer Numerical Control*) adalah teknologi yang digunakan untuk mengontrol mesin dengan menggunakan komputer. *CNC* memungkinkan mesin untuk menjalankan operasi tertentu secara otomatis berdasarkan program atau perintah yang telah diprogram sebelumnya. Teknologi ini banyak digunakan dalam industri manufaktur untuk membuat berbagai produk dengan presisi tinggi.

Hal tersebut membuat pengerjaan produk menjadi lebih mudah dan cepat. Mesin *CNC* mampu menggerakkan perkakas utamanya, seperti bor atau pemahat, dengan menggunakan sistem koordinat kartesian X, Y, dan Z. Titik nol pada sistem tersebut dapat dipindah-pindahkan sesuai dengan rancangan atau desain yang telah dibuat. (Nugroho, 2019).

2. Sistem Kelistrikan pada Mesin

CNC (Computer Numeric Control)

Sistem kelistrikan merupakan komponen krusial dalam operasional mesin *CNC (Computer Numeric Control) Router*. Fungsi utamanya adalah menyediakan, mengatur, dan mendistribusikan energi listrik ke seluruh bagian mesin, seperti motor penggerak, *spindle*, *kontroler*, serta sistem proteksi. Kinerja mesin *CNC* sangat bergantung pada stabilitas dan efisiensi sistem kelistrikan yang digunakan.

Sistem kelistrikan pada mesin *CNC* umumnya terdiri dari beberapa bagian utama, antara lain: catu daya, *driver* motor, sistem kontrol, sistem proteksi, dan panel distribusi. Penjelasan tiap bagian dijabarkan dalam sub bab berikut:

a. Panel Kelistrikan dan Distribusi Daya

Sistem kelistrikan distribusi daya yang berfungsi melindungi dan mencegah kerusakan akibat lonjakan arus, hubungan singkat, atau kesalahan pemakaian. Panel kelistrikan adalah tempat utama instalasi dan pengaturan sistem daya.

Panel harus dirancang dengan *wiring* diagram yang rapi dan sesuai standar kelistrikan industri yang meliputi:

1) Panel

Panel listrik adalah sebuah kotak atau kabinet yang berisi komponen- komponen listrik yang berfungsi untuk mendistribusikan, mengendalikan, dan melindungi aliran listrik dari sumber utama ke berbagai beban (peralatan listrik) dalam suatu instalasi.



Gambar 1. 2 Panel Listrik

2) Volt Ampere Meter

Voltmeter adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur beda potensial arus atau tegangan listrik antara dua titik dalam suatu rangkaian. Dalam bahasa lain, voltmeter sama dengan alat ukur tegangan.



Gambar 1. 3 Volt Ampere Meter

3) Current Tranformator

Current Tranformator sama dengan trafo arus. Dalam bahasa Inggris, *Current Tranformator* disingkat menjadi CT. Trafo arus adalah jenis trafo yang digunakan untuk mengubah arus tinggi (arus bolak-balik) menjadi arus yang lebih rendah, yang lebih aman dan mudah diukur oleh alat ukur.



Gambar 1. 4 Current Tranformator

4) Sekring (fuse)

Sekring atau fuse adalah satu komponen listrik penting yang berfungsi untuk melindungi sistem listrik dari kerusakan yang disebabkan oleh korsleting atau arus listrik berlebih.



Gambar 1. 5 Sekring (fuse)

5) *ELCB (Earth Leakage Circuit Breaker)*

ELCB, singkatan dari *Earth Leakage Circuit Breaker*, adalah pemutus sirkuit yang dirancang untuk mendeteksi dan memutus aliran listrik ketika terjadi kebocoran arus ke tanah. Fungsinya adalah untuk melindungi manusia dari sengatan listrik dan mencegah kebakaran akibat arus bocor.



Gambar 1. 6 *ELCB (Eart Leakage Circuit Breaker)*

6) *MCCB (Molded Case Circuit Breaker)*

MCCB atau *Moulded Case Circuit Breaker* merupakan perangkat listrik yang berfungsi sebagai pelindung dan pemutus arus, yang melindungi sirkuit dari kelebihan beban (*overload*) atau ketika terjadi arus pendek (*korsleting*), yang dapat menyebabkan kerusakan pada motor listrik dan kebakaran karena adanya percikan bunga api.



Gambar 1. 7 *MCCB (Miniatur Case Circuit Breaker)*

7) *Kontaktor*

Kontaktor adalah saklar elektromagnetik yang digunakan untuk menghubungkan dan memutuskan sirkuit listrik arus besar yang berfungsi untuk mengontrol aliran listrik ke beban, seperti motor, pemanas, atau *lampa*, dan sering digunakan dalam sistem kontrol otomatis.



Gambar 1. 8 *Kontaktor*

8) *MCB (Miniature Circuit Breaker)*. *MCB*, atau *Miniature Circuit Breaker*, berfungsi sebagai pemutus arus listrik otomatis untuk melindungi instalasi listrik dari gangguan seperti arus berlebih (*overload*) dan korsleting (*short circuit*).



Gambar 1. 9 MCB (Miniatrur Circuit Breaker)

9) *Emergency stop (E-Stop)*

E- Stop adalah komponen tombol yang berfungsi sebagai penghenti darurat arus listrik yang dihubungkan ke sirkuit kontrol peralatan dan dihubungkan secara seri dengan perangkat keselamatan lainnya. Saat E- Stop diaktifkan, sirkuit akan memutus, sehingga listrik tidak langsung mencapai motor mesin atau komponen penting lainnya dan mematikannya.



Gambar 1. 10 Emergency- Stop

10) *Lampu Pilot*

Pilot lamp adalah sebuah lampu indikator yang bisa membantu dalam mengetahui ada tidaknya aliran listrik yang masuk pada bagian panel listrik. Mengingat fungsi lampu indikator ini sangat penting bagi kelistrikan industri, maka keberadaan lampu ini harus terpasang pada struktur panel listrik.



Gambar 1. 11 Lampu Pilot

standar keselamatan kerja terutama di lingkungan industri atau bengkel. Proteksi kelistrikan bertujuan untuk mencegah kerusakan akibat lonjakan arus, hubung singkat, atau kesalahan pemakaian. Panel kelistrikan adalah tempat utama instalasi dan pengaturan sistem daya. Panel harus dirancang dengan *wiring* diagram yang rapi dan sesuai standar kelistrikan industri.



Gambar 1. 12 Pembumian
Desain sistem kelistrikan
dan
distribusi daya harus memperhatikan

METODE PENELITIAN

1. Jenis dan Pendekatan penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah penelitian terapan (*applied research*), yaitu penelitian yang bertujuan untuk mengatasi masalah praktis tertentu melalui penerapan teori atau konsep teknis ke dalam praktik nyata. Penelitian ini menekankan pada pembuatan solusi rekayasa, khususnya dalam bentuk perancangan dan implementasi sistem kelistrikan yang dapat diaplikasikan secara langsung pada mesin *CNC Router*. Adapun pendekatan yang digunakan adalah pendekatan rekayasa (*engineering approach*), yaitu suatu metode sistematis dalam merancang, menguji, dan mengevaluasi suatu sistem teknik berdasarkan prinsip dan prosedur teknik elektro serta *mekatronika*. Pendekatan ini melibatkan proses identifikasi kebutuhan sistem, perancangan rangkaian kelistrikan, pemilihan komponen, perakitan sistem, serta pengujian fungsional dan analisis performa dari sistem kelistrikan yang telah dibuat. Melalui pendekatan rekayasa ini, peneliti merancang sistem kelistrikan secara detail dan terstruktur agar mampu mendukung kinerja mesin *CNC Router* secara optimal, aman, dan efisien. Pendekatan ini juga memungkinkan untuk mengevaluasi kesesuaian antara rancangan teknis dengan hasil implementasi di lapangan melalui serangkaian uji kinerja sistem.

HASIL DAN PEMBAHASAN HASIL

1. Implementasi Kelistrikan

Setelah perancangan dan perakitan sistem

kelistrikan selesai dilakukan, tahap selanjutnya adalah proses implementasi sistem ke dalam unit mesin *CNC Router* secara menyeluruh. Implementasi ini mencakup pengintegrasian semua komponen elektrik, mekanik, dan kontrol ke dalam satu sistem yang berfungsi secara otomatis. Selanjutnya, dilakukan pengujian untuk memastikan bahwa seluruh sistem berjalan sesuai dengan desain, aman, serta mampu menjalankan fungsi permesinan secara stabil dan akurat.

Langkah-langkah implementasi sistem kelistrikan pada mesin *CNC Router* meliputi:

- Instalasi Panel: Panel kelistrikan yang telah dirakit dipasang ke dalam kerangka mesin *CNC*, dengan kabel yang diatur secara rapi dan diberi label sesuai fungsinya.



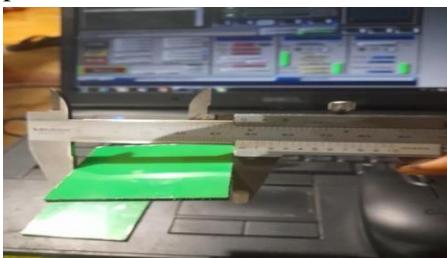
Gambar 4. 3 Panel

- Integrasi Komponen: Semua komponen seperti *power supply*, *driver*, *mikrokontroler*, *motor stepper*, *limit switch*, dan *emergency stop switch* disambungkan sesuai skematis yang telah dirancang.



Gambar 4. 4 Komponen Rangkaian

- c. Koneksi Komputer: *Mikrokontroler (Mach 3)* dihubungkan ke komputer melalui kabel USB untuk menerima perintah *G-code*.



Gambar 4. 5 Mach 3

2. Implementasi Pada Mesin *CNC Router*

Setelah seluruh komponen kelistrikan dirancang dan dirakit, tahap berikutnya adalah mengimplementasikan sistem tersebut pada unit mesin *CNC Router*. Tahap ini mencakup pemasangan komponen ke dalam struktur fisik mesin, integrasi antara sistem kelistrikan dan mekanik, serta pengujian fungsional secara langsung dalam kondisi nyata.

2. Proses Instalasi dan Integrasi

Proses instalasi dilakukan dengan menempatkan seluruh komponen kelistrikan ke dalam mesin *CNC Router* sesuai dengan *layout* yang telah dirancang. Beberapa tahapan utama dalam proses instalasi dan integrasi adalah sebagai berikut:

- a. Pemasangan Panel Kelistrikan

Panel kelistrikan dipasang di bagian samping atau belakang bodi mesin *CNC*. Posisi panel dipilih agar mudah dijangkau untuk keperluan perawatan, namun tetap aman dari getaran dan serpihan pemesinan.

b. Pengkabelan ke Motor *Stepper*

Kabel dari *driver* motor disambungkan ke masing-masing motor *stepper* (X, Y, dan Z). Kabel dikunci dengan konektor dan diikat menggunakan cable ties agar rapi dan tidak mengganggu pergerakan mesin.

c. Integrasi dengan Sistem Mekanik

Limit switch dipasang di ujung rel gerak masing-masing sumbu sebagai deteksi batas maksimal pergerakan. *Switch* ini dihubungkan ke *mikrokontroler* dan dikonfigurasi dalam *firmware GRBL*.

d. Koneksi Kontrol ke Komputer

Mach 3 terhubung ke komputer melalui kabel USB. Di sisi komputer, *software G-code sender* seperti Universal *G-code Sender* (UGS) atau *Candle* digunakan untuk mengirimkan instruksi gerak.

e. Uji Fungsi Manual

Setelah semua komponen terpasang, dilakukan pengujian fungsi manual, seperti:

- 1) Pergerakan sumbu secara individu
- 2) Deteksi *limit switch*
- 3) Respons tombol *emergency stop*
- 4) Pemutaran spindle (jika disertakan)
- 5) Kalibrasi Awal Mesin

Kalibrasi dilakukan untuk menentukan langkah per mm (*steps/mm*) pada masing-masing sumbu. Nilai kalibrasi ini dimasukkan ke *firmware GRBL* untuk menjamin ketepatan gerak.

Hasil dari tahap ini adalah sistem kelistrikan yang telah terintegrasi penuh

ke dalam unit mesin *CNC Router* dan siap menjalankan perintah permesinan secara otomatis.

Selama proses implementasi, ditemukan beberapa permasalahan teknis yang harus diselesaikan agar sistem berfungsi dengan baik. Berikut adalah rangkuman *Troubleshooting* dan solusi yang diterapkan:

Tabel 1 Komponen Bahan Kelistrikan Mesin *CNC Router*

No	Permasalahan	Gejala	Penyebab Kemungkinan	Solusi Perbaikan
1.	Motor <i>stepper</i> bergetar tetapi tidak berputar	Motor hanya berbunyi tanpa gerakan	Kabel koil motor terbalik	Menutkar posisi kabel A+ ↔ A- atau B+ ↔ B-
2.	Arduino tidak terdeteksi di komputer	Software tidak bisa menghubungkan ke port COM	Driver USB belum terinstal	Menginstal ulang driver CH340/FTDI
3.	<i>Limit switch</i> tidak merespons	Mesin tidak berhenti saat menyentuh limit	Kabel putus atau konfigurasi GRBL salah	Mengecek koneksi dan ulang set <i>firmware</i>
4.	<i>Emergency stop</i> tidak memutus sistem	Sistem tetap aktif saat tombol ditekan	Saklar <i>emergency stop</i> salah wiring	Mengatur ulang wiring sebagai NC (<i>normally closed</i>)
5.	Motor cepat panas	Suhu <i>driver/motor</i> naik dalam 10-15 menit	Arus <i>driver</i> terlalu tinggi	Menyesuaikan setting arus pada DIP switch
6.	Gerakan tidak akurat	Gerakan lebih pendek/panjang dari yang diperintahkan	Nilai steps/mm belum dikalibrasi	Melakukan kalibrasi GRBL \$100, \$101, \$102

Proses *Troubleshooting* merupakan bagian penting dari implementasi, karena memastikan bahwa setiap fungsi sistem berjalan normal dan tidak menimbulkan risiko kerusakan lebih lanjut. Implementasi sistem kelistrikan pada mesin *CNC Router* telah berhasil dilakukan melalui proses instalasi panel, integrasi mekanik-elektrik, dan pengujian fungsional. Beberapa kendala teknis yang ditemukan selama proses telah diidentifikasi dan diperbaiki, sehingga sistem dapat bekerja stabil dan siap digunakan untuk operasi permesinan berbasis *G-code*.

PEMBAHASAN

Pengujian dan Analisis Kinerja Sistem Proteksi

Uji fungsi dilakukan untuk mengetahui apakah sistem kelistrikan bekerja sesuai dengan kebutuhan operasional mesin *CNC Router*. Pengujian dilakukan menggunakan *software G-code sender*, dengan mengirim perintah-perintah dasar (gerakan sumbu dan pemotongan sederhana).

Tabel 2. Hasil Pengujian

No	Komponen Di Uji	Metode Uji	Hasil
1.	Gerakan Sumbu X	Perintah G01 X100 F500	Motor bergerak sejauh 100 mm dengan kecepatan stabil
2.	Gerakan Sumbu Y	Perintah G01 Y100 F500	Gerak presisi, tidak ada getaran berlebih
3.	Gerakan Sumbu Z	Perintah G01 Z-10 F200	Gerak lancar dan kembali ke posisi awal
4.	Home Position	G28 / G30	Mesin kembali ke titik awal dengan mendeteksi limit
5.	Jalur Potong	Eksekusi file <i>G-code</i> berbentuk kotak	Bentuk hasil pemotongan sesuai dimensi yang diatur

Tabel 3. Hasil Pengukuran Daya

Parameter	Nilai
Tegangan output <i>power supply</i>	24,2 Volt DC
Arus saat idle	±0,6 Ampere
Arus saat aktif	±2,3-2,8 Ampere
Daya rata-rata aktif	±65 Watt per motor (total ±195 W)

Tabel 4. Hasil Pengujian Proteksi

No	Sistem Proteksi	Simulasi Kondisi	Hasil
1.	<i>Emergency stop</i>	Tombol ditekan saat mesin aktif	Sistem langsung mati, tidak ada arus ke <i>driver/motor</i>
2.	<i>Limit switch</i>	Pergerakan sumbu melewati batas	Mesin otomatis berhenti. GRBL memberi sinyal alarm
3.	<i>Fuse</i> (Sekring)	Simulasi hubung singkat ringan	Fuse putus dan memutus arus
4.	<i>Grounding</i> Sistem	Pengukuran resistansi ke <i>ground</i>	Nilai resistansi = ±2,7 Ohm → dalam batas aman

Tabel 5. log pengujian CNC

Waktu	Aktivitas	Perintah <i>G-code</i>	Status Sistem	Konsumsi Daya	Catatan
09:00 WIB	Idle (hidup tanpa beban)	—	Normal	15 W	Semua komponen
09:10 WIB	Gerakan sumbu X	G01 X100 F500	Berhasil	65 W	Pergerakan lancar
09:20 WIB	Gerakan sumbu Y	G01 Y100 F500	Berhasil	68 W	Stabil, tanpa getaran

09:30 WIB	Gerakan sumbu Z	G01 Z-10 F200	Berhasil 1	62 W	Akurat kembali ke posisi awal
09:45 WIB	Proses pemotongan	File <i>G-code</i> (Kotak 50x50)	Berhasil 1	195 W	Semua motor aktif serempak
10:00 WIB	<i>Emergency stop</i> aktif	–	Sistem OFF	0 W	Tombol darurat ditekan
10:15 WIB	Simulasi <i>OverCurrent</i>	Beban > 3A	Sistem proteksi aktif	–	MCB Memutus Arus otomatis

Hasil implementasi sistem kelistrikan pada mesin *CNC Router* menunjukkan bahwa rancangan yang dibuat telah berhasil diimplementasikan secara fungsional, efisien, dan aman. Pembahasan pada bagian ini menguraikan sejauh mana sistem memenuhi tujuan penelitian, serta membandingkan antara harapan perancangan dengan kenyataan yang terjadi di lapangan.

Sistem kelistrikan yang telah dirancang mencakup komponen utama seperti *power supply*, *mikrokontroler* (*Mach 3*), *driver* motor (TB6600), motor *stepper*, *limit switch*, *emergency stop*, serta *software* kontrol berbasis *G-code* sender. Hasil

implementasi menunjukkan bahwa semua komponen tersebut dapat diintegrasikan dengan baik ke dalam mesin *CNC* dan berfungsi sesuai harapan. Perintah *G-code* dapat dijalankan dengan lancar, gerakan motor stabil dan akurat, serta sistem proteksi berjalan efektif. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa hasil implementasi memiliki tingkat kesesuaian tinggi terhadap rancangan awal.

Berdasarkan pengujian konsumsi daya, sistem menunjukkan efisiensi energi yang baik, di mana daya total saat sistem aktif penuh berada di kisaran

±195 Watt, masih dalam batas aman dan efisien untuk kelas mesin *CNC* skala kecil. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan komponen seperti motor, *driver*, dan *power supply* telah dilakukan secara tepat. Respon sistem terhadap perintah gerak juga tergolong cepat (delay < 250 ms), serta tidak

ada loncatan langkah yang menyebabkan kesalahan posisi. Efektivitas sistem kontrol dinilai sangat baik, karena dapat menjalankan file *G-code* tanpa hambatan.

Sistem proteksi seperti *emergency stop*, *limit switch*, *fuse*, dan *grounding* telah diuji dan mampu berfungsi dengan baik. *Emergency stop* berhasil memutus aliran daya secara instan, *limit switch* mampu menghentikan gerakan sebelum melebihi batas, dan sistem *grounding* memiliki resistansi < 5 Ohm, sesuai standar keamanan. Dari sisi keandalan, sistem mampu beroperasi terus-menerus selama lebih dari 30 menit tanpa terjadi *overheat* pada *driver* maupun motor. Ini menunjukkan bahwa sistem aman digunakan dalam pengoperasian berulang atau berkelanjutan.

Selama proses implementasi, ditemukan beberapa permasalahan teknis seperti koneksi motor yang terbalik, *limit switch* tidak terbaca, serta delay koneksi USB antara *Arduino* dan *software*. Namun, semua masalah tersebut dapat diatasi melalui:

- f. Koreksi wiring koil motor
- g. Pengecekan ulang parameter *GRBL*
- h. Instalasi ulang *driver* komunikasi *Mach 3*

Dengan adanya *Troubleshooting* yang tepat, sistem akhirnya dapat

berfungsi optimal dan tidak lagi mengalami gangguan.

PENUTUP

1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, pengujian, dan analisis kinerja sistem kelistrikan pada mesin *CNC Router* yang telah dijabarkan dalam bab sebelumnya, maka kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Perancangan kelistrikan *CNC Router* berbasis *mikrokontroler Mach 3* dan TB6600 berhasil dilakukan dengan mempertimbangkan aspek fungsional, keamanan, serta efisiensi daya. Rancangan mencakup sistem catu daya, penggerak motor *stepper* untuk tiga sumbu (X, Y, dan Z), serta perlengkapan proteksi seperti *limit switch* dan *emergency stop*.
- b. Implementasi sistem kelistrikan ke dalam struktur fisik mesin *CNC* berhasil dilakukan secara menyeluruh. Integrasi antar komponen dilakukan sesuai dengan wiring diagram, dan sistem berhasil dijalankan menggunakan *software G-code sender*. Proses kalibrasi dan pengujian awal menunjukkan bahwa sistem berfungsi sesuai spesifikasi.
- c. Pengujian performa sistem menunjukkan hasil positif, di mana gerakan motor presisi dan stabil, konsumsi daya terukur efisien (± 195 W pada beban penuh), serta respon sistem terhadap perintah *G-code* cepat dan akurat ($delay < 250$ ms). Sistem kontrol berjalan optimal untuk mendukung operasional *CNC Router*.
- d. Sistem proteksi dan keamanan seperti *emergency stop*, *fuse*, dan *grounding* berfungsi dengan baik,

memastikan keselamatan sistem dan pengguna saat terjadi gangguan kelistrikan. Pengujian simulasi kegagalan menunjukkan bahwa sistem dapat merespon kondisi abnormal secara cepat dan efektif.

- e. *Troubleshooting* selama proses implementasi dapat diselesaikan dengan perbaikan *wiring*, konfigurasi *firmware*, dan penyesuaian setting perangkat keras. Hal ini menunjukkan bahwa sistem bersifat adaptif dan mudah untuk dilakukan perawatan atau pengembangan lebih lanjut.

Dengan demikian, penelitian ini berhasil membuktikan bahwa sistem kelistrikan yang dirancang mampu menunjang kinerja mesin *CNC Router* secara otomatis, aman, dan efisien, serta dapat digunakan sebagai referensi dalam pengembangan sistem serupa berbasis *mikrokontroler*.

2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan implementasi sistem kelistrikan pada mesin *CNC Router*, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan lebih lanjut maupun untuk penelitian sejenis di masa mendatang:

- a. Pengembangan Sistem Otomatisasi Lebih Lanjut Diharapkan sistem kelistrikan dapat dikembangkan lebih jauh dengan menambahkan fitur otomatisasi seperti *auto tool changer*, *monitoring* suhu motor, dan kontrol kecepatan *spindle* secara dinamis menggunakan sensor dan

feedback loop.

- b. Penggunaan Komponen yang Lebih Presisi dan Tahan Lama Untuk keperluan industri atau *closed-loop* agar akurasi gerakan tetap terjaga walau dalam beban tinggi.
- c. Integrasi Sistem Keselamatan Tambahan Selain *emergency stop*, sistem dapat dilengkapi dengan sensor arus lebih, sensor suhu *driver*, dan fitur auto- shutdown apabila terjadi kondisi tidak normal. Hal ini untuk meningkatkan faktor keamanan dan mencegah kerusakan komponen.
- d. Penggunaan Box Panel Tertutup Untuk pemakaian jangka panjang, disarankan menggunakan *box panel* tertutup dengan pendingin pasif (ventilasi) atau aktif (kipas) untuk menjaga suhu tetap stabil dan mencegah masuknya debu/serpihan permesinan ke dalam panel kelistrikan.
- e. Kalibrasi dan Perawatan Berkala Sistem kontrol dan mekanik perlu dikalibrasi ulang secara berkala agar tetap presisi. Disarankan pula membuat jadwal perawatan sistem kelistrikan (pemeriksaan konektor, *driver*, dan sistem *grounding*) secara rutin.
- f. Peningkatan Antarmuka Pengguna (UI/UX) Untuk kenyamanan operator, penggunaan antarmuka grafis berbasis *touchscreen* atau *software* kontrol *CNC* berbasis web bisa menjadi pengembangan lanjutan agar sistem lebih ramah pengguna.

DAFTAR PUSTAKA

- Arduino. (2024). Arduino Uno Documentation. Retrieved from <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>
- Dwidjono, A. (2020). Dasar-Dasar Elektronika dan Aplikasinya.

pemakaian intensif, disarankan untuk menggunakan *driver* motor dengan kualitas industri dan motor *stepper* tipe

- Yogyakarta: Andi Offset. Hasan, F., & Maulana, A. (2021). Perancangan dan Implementasi Mesin CNC Mini 3 Axis Menggunakan Arduino Berbasis GRBL. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 9(2), 83–90. <https://doi.org/10.31294/jtek.v9i2.12345>
- Kurniawan, R. (2019). Pemrograman Arduino untuk Otomasi Industri. Bandung: Informatika.
- Putra, M. D., & Siregar, B. (2022). Analisis Kinerja Motor *Stepper* dan *Driver* TB6600 pada Mesin *CNC Router* Mini. *Jurnal Rekayasa Sistem dan Teknologi*, 10(1), 45–52.
- Pratama, A. (2020). Penggunaan *G-code* Sender dan GRBL pada Pergerakan Motor *Stepper* Mesin *CNC*. *Jurnal Otomasi dan Robotika*, 5(3), 29–37.
- Rasyid, A., & Wibowo, H. (2023). Rancang Bangun Sistem Keselamatan pada Panel Kontrol Mesin Berbasis Arduino. *Jurnal Teknik Elektro UNJ*, 11(1), 15–22.
- Sutanto, E. (2021). Teknologi *CNC Router*: Perancangan dan Aplikasi. Jakarta: Bumi Aksara.
- Arduino. (2024). Arduino Uno Documentation. Retrieved from <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>
- GRBL. (2024). GRBL v1.1 Configuration Guide. Retrieved from <https://github.com/gnea/grbl/wiki>
- TB6600 Datasheet. (2020). Toshiba TB6600 Stepper Motor Driver IC. Retrieved from <https://toshiba.semicon-storage.com>.