

PENGEMBANGAN LENGAN ROBOT 3 AXIS BERBASIS CNC: FOKUS PADA SISTEM ELEKTRIKAL

DEVELOPMENT OF 3 AXIS ROBOT ARM BASED ON CNC: FOCUS ON ELECTRICAL SYSTEM

¹Syaiful Arif, ²Munzir Qadri, ³Sustono, ⁴Mohammad Rafli Juliansyah, ⁵ Nurmisbahul Ulum

^{1,2,3,4,5} Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang
Jl. Raya Jakarta Km 5 No.6, Kalodran, Kec. Walantaka, Kota Serang, Banten 42183
email : 1dosen03225@unpam.ac.id

ABSTRAK

Perkembangan teknologi robotika saat ini menunjukkan kemajuan yang pesat, ditandai dengan beragam model, bentuk, dan tujuan perancangan simulasi lengan robot. Dari robot berteknologi sederhana hingga yang kompleks, semuanya bertujuan untuk mempermudah pekerjaan manusia. Penelitian ini merancang dan mensimulasikan lengan robot 3 axis berbasis kontroler CNC sebagai media pembelajaran teknologi robotik sederhana. Sistem dikendalikan melalui perangkat lunak MACH3, yang berfungsi untuk mengatur pergerakan motor sesuai perintah kerja yang dimasukkan. Seluruh sistem kelistrikan, termasuk motor stepper, catu daya, motor driver, dan breakout board (BOB), telah dirancang dengan spesifikasi tertentu dan disusun berdasarkan panduan pengkabelan yang tersedia. Penulis hanya melakukan penyambungan antar terminal komponen sesuai diagram yang telah ditentukan. Tata letak komponen disesuaikan dengan kondisi tempat yang tersedia dan bersifat sementara untuk memudahkan perakitan dan pembongkaran ulang. Diharapkan, perancangan lengan robot 3 axis ini dapat memberikan kontribusi positif dalam memperluas pemahaman mengenai sistem robotika sederhana dan aplikasinya dalam dunia pendidikan.

Kata Kunci: Lengan robot, 3 axis, kontroler CNC, MACH3, motor stepper, perancangan robotik, sistem kelistrikan, pembelajaran teknologi.

ABSTRACT

The development of robotics technology is currently showing rapid progress, marked by various models, shapes, and purposes of designing robotic arm simulations. From simple to complex technology robots, all aim to make human work easier. This study designs and simulates a 3-axis robotic arm based on a CNC controller as a learning medium for simple robotic technology. The system is controlled through MACH3 software, which functions to regulate motor movement according to the work commands entered. The entire electrical system, including stepper motors, power supplies, motor drivers, and breakout boards (BOB), has been designed with certain specifications and arranged based on the available wiring guide. The author only makes connections between component terminals according to the specified diagram. The layout of the components is adjusted to the conditions of the available space and is temporary to facilitate reassembly and disassembly. It is hoped that the design of this 3-axis robotic arm can provide a positive contribution in expanding understanding of simple robotics systems and their applications in the world of education.

Keywords: Robot arm, 3 axis, CNC controller, MACH3, stepper motor, robotic design, electrical system, technology learning

I. LATAR BELAKANG

Dalam bidang perancangan saat ini integrasi dan pendekatan antar disiplin ilmu diperlukan untuk saling melengkapi.[1] Umpamanya ilmu mekatronik yang merupakan integrasi ilmu mekanik - elektrik dan pengontrolan yang saat ini digunakan untuk mengatasi proses perancangan lebih murah, lebih mudah diwujudkan dan dengan sistem yang lebih fleksibel.[2]

Pada era perkembangan zaman saat ini, hampir semua aspek kehidupan manusia mengalami perkembangan yang pesat. Ini diiringi dengan perkembangan teknologi disegala bidang yang bertujuan untuk membantu manusia.[3]

Robot banyak digunakan dibidang industri sebagai pembantu manusia dalam mengerjakan pekerjaan yang berat, serta pengendaliannya yang mudah. Robot dikendalikan untuk dapat mengangkat / memindahkan barang atau mengerjakan pekerjaan yang tidak dapat dilakukan manusia.[4,5] Bentuk serta ukuran dan kategorinya pun beragam sesuai kebutuhan dan perkembangan zaman. Pengendalian pun beragam dari yang rumit sampai dengan yang sederhana. Teknologi robotika saat ini telah menjadi salah satu pilar utama dalam revolusi industri 4.0.[6,7] Kehadirannya tidak hanya membantu meningkatkan efisiensi produksi dalam dunia industri, tetapi juga menjadi sarana strategis dalam pengembangan riset dan pendidikan teknik. Salah satu jenis robot yang sering digunakan dalam berbagai bidang tersebut adalah lengan robot (robotic arm).[8,9] Lengan robot berfungsi menyerupai pergerakan tangan manusia untuk melakukan tugas-tugas seperti mengangkat, memutar, memindahkan, hingga melakukan proses manufaktur secara otomatis dan presisi.[10,11]

Dalam konteks pembelajaran teknik dan rekayasa, lengan robot dengan 3 derajat kebebasan (3 axis) merupakan pilihan ideal karena desainnya yang relatif sederhana namun cukup untuk menggambarkan prinsip kerja sistem mekanik dan kontrol. [12] Robot dengan tiga sumbu gerak ini mampu melakukan rotasi dasar, gerak vertikal, dan horizontal—menjadikannya sangat relevan sebagai platform edukatif maupun eksperimen awal dalam otomasi. Salah satu sistem kendali yang umum digunakan dalam pengoperasian robot adalah Computer Numerical Control (CNC). [13] CNC bekerja dengan prinsip memberikan perintah numerik melalui perangkat lunak, yang kemudian diubah menjadi sinyal elektronik untuk menggerakkan motor sesuai lintasan yang diinginkan.[12,14] Dalam penelitian ini, digunakan perangkat lunak MACH3, yang dikenal sebagai software open-source CNC untuk mengontrol motor stepper secara langsung dari komputer.[13,15] MACH3 memungkinkan pengguna merancang, memodifikasi, dan menjalankan perintah-perintah G-code dengan antarmuka yang user-friendly. Aspek penting dalam keberhasilan sistem ini terletak pada integrasi sistem elektrikal, termasuk penggunaan komponen seperti motor stepper, motor driver, breakout board (BOB),

dan power supply (catu daya). [16] Setiap komponen memiliki peran krusial dalam mengatur daya, arah gerak, dan komunikasi antara software dengan perangkat keras.[17] Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam mengenai rangkaian kelistrikan, sistem koneksi antar terminal, serta pengkabelan yang tepat menjadi sangat penting agar sistem dapat bekerja secara optimal dan aman.[17,18]

Dalam proyek ini, fokus utama adalah pada pengembangan dan penataan sistem elektrikal dari lengan robot 3 axis berbasis CNC. Penelitian ini tidak hanya menyusun komponen secara fungsional, namun juga merancang tata letak sistem yang fleksibel dan efisien, agar mudah dibongkar pasang dalam proses pengujian maupun perbaikan.[19] Komponen disusun sedemikian rupa agar kompatibel dengan lingkungan terbatas dan tetap memberikan kestabilan dalam pengoperasian. Melalui pengembangan ini, diharapkan tercipta sebuah prototype lengan robot edukatif yang aplikatif, mudah dirakit, dan dapat digunakan sebagai media pembelajaran dalam bidang teknik elektro, mekatronika, dan otomasi.[19,20] Selain itu, proyek ini juga dapat menjadi dasar bagi pengembangan robot dengan kompleksitas yang lebih tinggi di masa depan, serta memberikan kontribusi nyata terhadap peningkatan keterampilan praktis mahasiswa dalam bidang teknologi robotik dan sistem kendali otomatis.

II. METODE PERANCANGAN

Metode perancangan dalam pengembangan lengan robot 3 sumbu berbasis CNC dengan fokus pada sistem elektrik melibatkan beberapa tahapan sistematis yang dimulai dari identifikasi kebutuhan hingga pengujian prototipe. Metode PAHL dan BEITZ seperti disebutkan diatas sebenarnya tidaklah harus dikelompokan menjadi 4 fase. Akan tetapi pada setiap proses fase berakhir dengan hasil dari fase tersebut dan menghasilkan masukan untuk fase berikutnya dan juga menjadi umpan balik fase yang terdahulu. Proses ini mengikuti pendekatan *engineering design process* yang terdiri dari:

A. Identifikasi Kebutuhan dan Spesifikasi Sistem

Langkah pertama dilakukan dengan menganalisis kebutuhan pengguna terhadap lengan robot 3 axis yang mampu melakukan pergerakan akurat dan terkontrol dalam koordinat X, Y, dan Z. Fokus utama diarahkan pada sistem

penggerak elektrik, integrasi kontrol, dan efisiensi sistem. Spesifikasi teknis yang ditentukan meliputi:

- 1) Tipe motor: Stepper motor NEMA 17
- 2) Sistem kontrol: CNC shield berbasis Arduino Uno
- 3) Sumber daya: DC 12V – 5A
- 4) Driver motor: A4988
- 5) Komunikasi: USB dan G-code interpreter

B. Perancangan Diagram Sistem Elektrik

Perancangan sistem elektrik dilakukan melalui pembuatan diagram blok dan *wiring diagram* yang menggambarkan hubungan antara komponen-komponen seperti power supply, microcontroller, motor driver, dan aktuator. Software pendukung seperti Fritzing dan Proteus digunakan untuk simulasi rangkaian sebelum perakitan fisik.

C. Pemilihan Komponen Elektrik

Pemilihan komponen mengacu pada efisiensi konsumsi daya, kompatibilitas sistem CNC, dan ketersediaan di pasaran. Komponen utama meliputi:

- 1) Arduino Uno sebagai pusat kontrol logika
- 2) CNC Shield v3 sebagai antarmuka driver motor
- 3) 3x A4988 sebagai driver stepper
- 4) 3x NEMA 17 stepper motor sebagai penggerak axis
- 5) Limit switch untuk kalibrasi awal sumbu
- 6) Kabel jumper dan konektor DC

D. Integrasi Perangkat Keras dan Perangkat Lunak

Tahapan ini melibatkan penyusunan komponen elektrik di atas *frame* robot arm serta integrasi firmware GRBL sebagai interpreter perintah G-code. Pengujian dilakukan menggunakan software sender seperti Universal G-code Sender (UGS).

E. Pengujian dan Kalibrasi

Sistem diuji untuk memastikan setiap axis dapat bergerak sesuai input G-code. Pengujian fokus pada:

- 1) Akurasi gerak setiap sumbu (X, Y, Z)
- 2) Stabilitas arus listrik selama operasi
- 3) Respons sistem terhadap limit switch

Kalibrasi dilakukan dengan mengatur langkah per mm pada firmware GRBL untuk memastikan gerak aktual sesuai koordinat perintah.

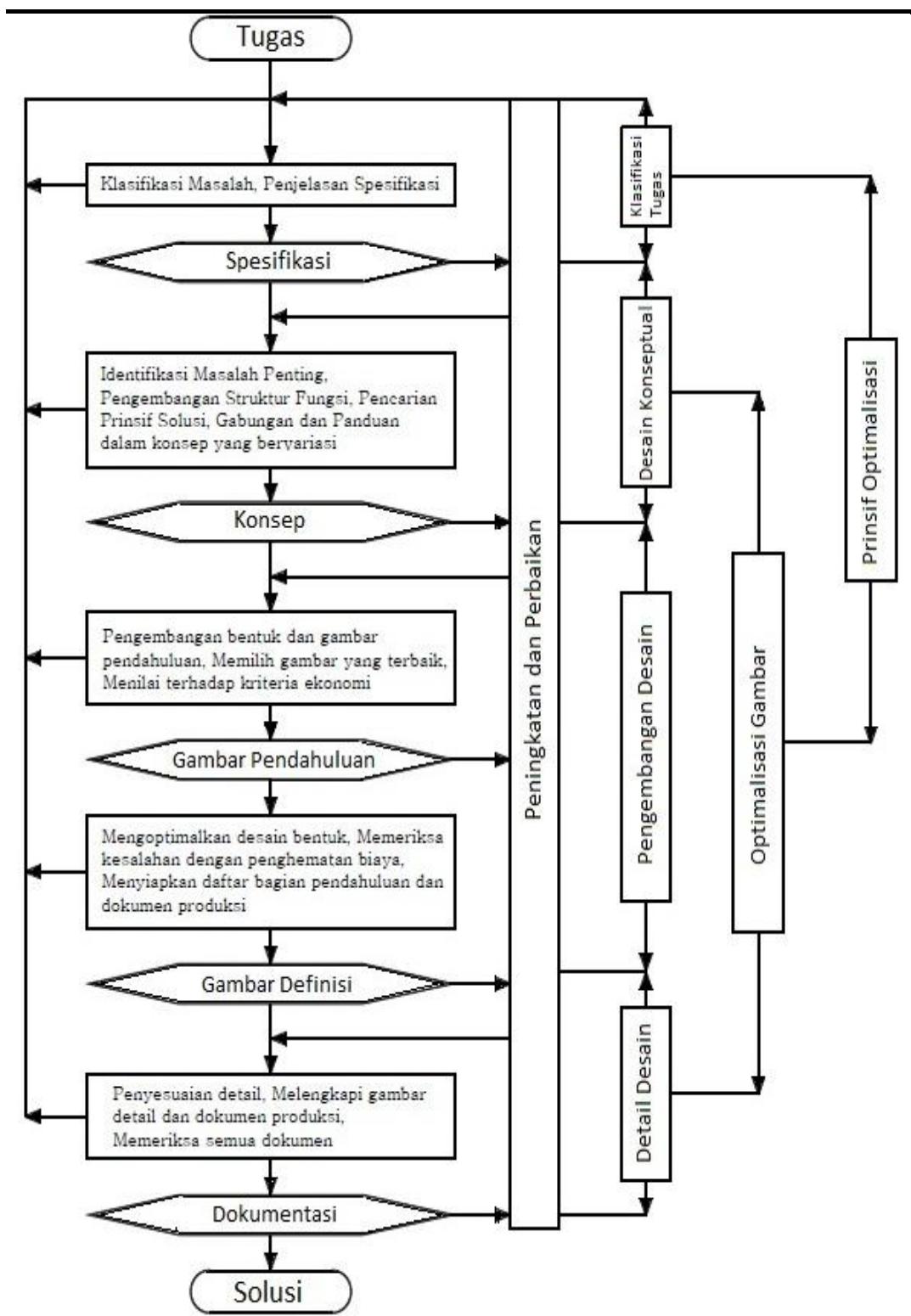
F. Pengumpulan Data

Dalam perancangan *lengan robot dengan penggerak motor listrik 3 axis* diperlukan adanya data-data teknik persediaan material di pasaran yang menjadi kebutuhan perancangan. Utamanya komponen elektriknya. Spesifikasi tersebut meliputi informasi ukuran motor, motor driver, BOB, catu daya dan sebagainya. Dalam perancangan ini terdapat beberapa data yang didapat melalui internet dan juga buku referensi, diantaranya :

1. 1 (satu) buah Catu daya dengan keluaran 12 volt 20 amper
2. 1 (satu) buah Catu daya dengan keluaran 5 volt 5 amper
3. 1 (satu) buah BOB,yaitu untuk penghubung antara PC dan komponen yang dikendalikan dengan jenis konfigurasi port DB25
4. 3 (tiga) buah Motor driver tipe TB6600
5. 3 (tiga) buah motor stepper NEMA23 jenis Bipolar dengan sudut step $1,8^\circ$
6. 2 (dua) buah kipas dengan voltase 12 volt sebagai pendingin
7. Kabel AWG 23 dengan panjang dan warna disesuaikan kebutuhan.

G. Diagram Alur Proses Perancangan

Dalam proses perancangan, tentu harus mempunyai *progress* atau rencana yang akan dilakukan, mulai langkah pertama dan sampai terakhir, sehingga dalam proses perancangan akan lebih terarah dan tepat waktu. Dibawah tertera alur diagram perancangan model Pahl & Beitz, terlihat pada gambar 1



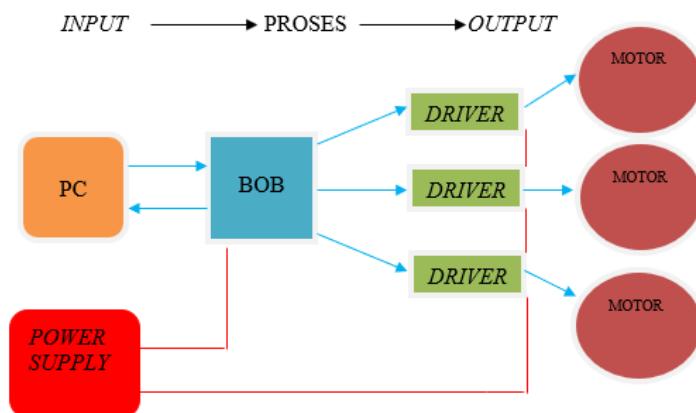
Gambar 1. Diagram Alir Proses

III. PEMBAHASAN

Perancangan lengan robot 3 axis dengan kontroler CNC merupakan salah satu contoh robot dengan teknologi sederhana / teknologi rendah. Robot ini

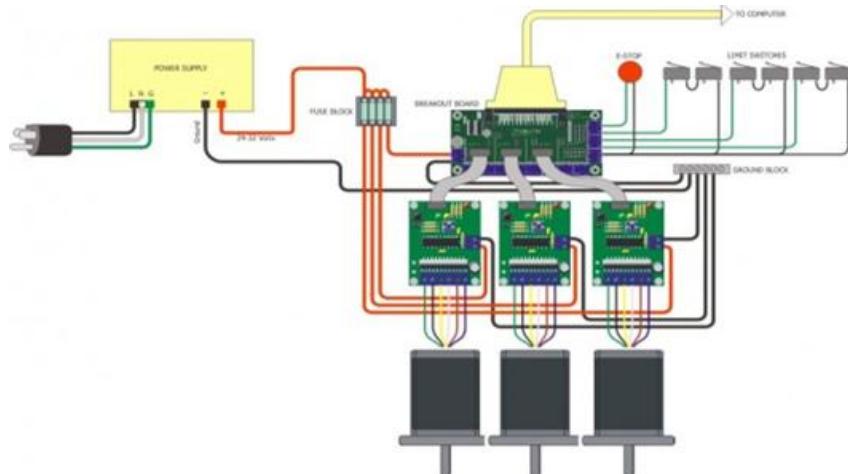
digunakan dalam lingkungan industri untuk pekerjaan seperti mesin pemasangan & pelepas, penanganan material, operasi pengepresan dan operasi perakitan sederhana. Setelah dilakukan perancangan dan integrasi sistem elektrik pada lengan robot CNC 3 sumbu, didapatkan hasil sistem yang mampu mengendalikan gerakan linear sumbu X, Y, dan Z melalui input perintah G-code. Rangkaian elektrik menggunakan Arduino Uno sebagai pusat pengendali, CNC Shield V3 sebagai interface antara microcontroller dan driver motor A4988, serta motor stepper NEMA 17 untuk menggerakkan lengan robot. Setiap sumbu dilengkapi limit switch sebagai sistem referensi awal (*homing system*) untuk menjaga akurasi awal posisi. Sistem mendapatkan suplai daya dari adaptor DC 12V-5A, cukup untuk menggerakkan ketiga motor secara simultan. Karakteristiknya meliputi:

- 1) Memiliki 2-4 pergerakan siku, biasanya merupakan robot non servo.
- 2) Beban kerja berkisar 3-13,6 kg.
- 3) Memiliki siklus yang tinggi yaitu 5-10 sekon.
- 4) Ketelitian berkisar 0,050-0,025.
- 5) Menggunakan motor listrik sebagai aktuasinya, terlihat pada gambar 2



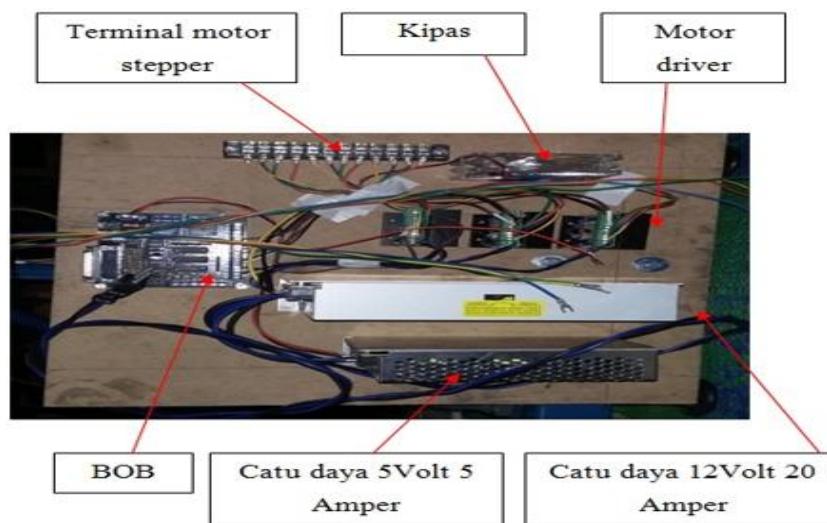
Gambar 2. Diagram I/O

Kalibrasi sistem dilakukan dengan menyesuaikan nilai *steps per mm* pada GRBL configuration file. Langkah ini penting untuk memastikan bahwa jarak aktual pergerakan sesuai dengan perintah digital dari G-code. Hasil kalibrasi menunjukkan deviasi maksimum sebesar ± 0.5 mm, yang masih dapat diterima dalam toleransi sistem edukatif dan semi-industri. Limit switch berfungsi dengan baik untuk mengatur titik nol (*home*) pada masing-masing sumbu, serta mencegah motor bergerak melebihi batas mekanis. Prosedur *homing* bekerja otomatis setiap kali sistem diaktifkan, terlihat gambar 3.



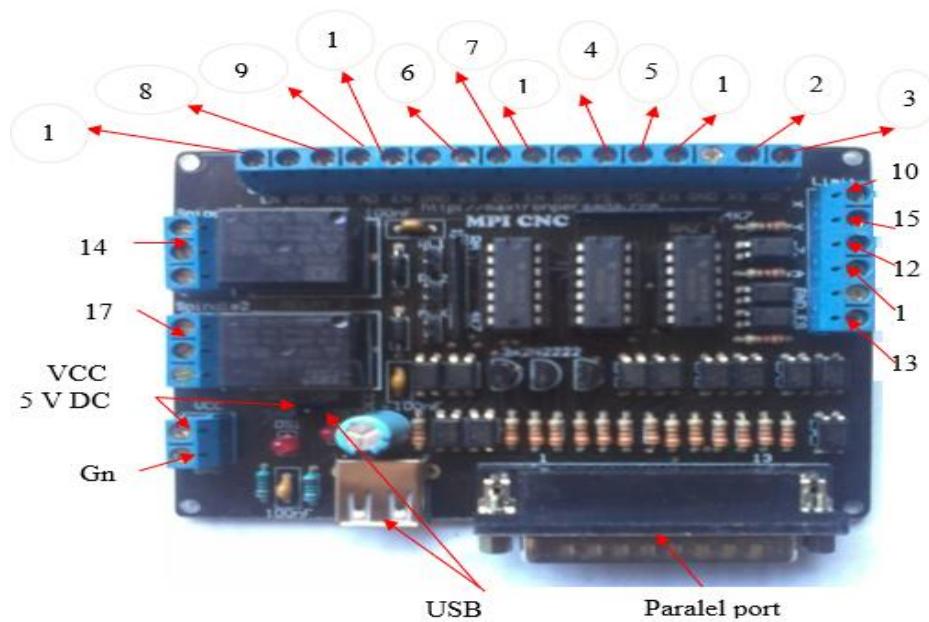
Gambar 3. Diagram Sistem Elektrik

Setelah dilakukan perancangan dan integrasi sistem elektrik pada lengan robot CNC 3 sumbu, didapatkan hasil sistem yang mampu mengendalikan gerakan linear sumbu X, Y, dan Z melalui input perintah G-code. Rangkaian elektrik menggunakan Arduino Uno sebagai pusat pengendali, CNC Shield V3 sebagai interface antara microcontroller dan driver motor A4988, serta motor stepper NEMA 17 untuk menggerakkan lengan robot, terlihat gambar 4



Gambar 4. Gambar Rangkaian kelistrikan perancangan alat

Breackout Board Module (Bob) merupakan komponen yang berfungsi sebagai jembatan untuk menyampaikan perintah / masukan dan diteruskan sebagai bentuk hasil / keluaran. Setiap sumbu dilengkapi limit switch sebagai sistem referensi awal (*homming system*) untuk menjaga akurasi awal posisi. Sistem mendapatkan suplai daya dari adaptor DC 12V-5A, cukup untuk menggerakkan ketiga motor secara simultan. terlihat gambar 5



Gambar 5. Bagian-bagian BOB

Peta PIN paralel BOB

1	2	3	4	5	6	7	8	9
EN	XS	XD	YS	YD	ZS	ZD	AS	AD

0	11	12	13	14	15	16	17	18-25
LX	LA	LZ	ES	Spdl 1	LY	Aux	Spdl 2	Grnd

Keterangan:

- 1) LX = Input Limit X
- 2) LY = Input Limit Y
- 3) LZ = Input Limit Z
- 4) LA = Input Limit A
- 5) ES = Input Estop

Catu daya disini menggunakan trafo penurun tegangan atau disebut trafo distribusi, karena digunakan untuk menurunkan tegangan menjadi tegangan distribusi yaitu tegangan input 110/220 volt (PLN) menjadi 12 volt dan 5 volt. Catu daya 12 volt untuk komponen motor driver, motor stepper, kipas, serta kelengkapan lainnya, juga sebagai sumber masukan tenaga listrik ke catu daya dengan out put 5 volt. Sedangkan untuk catu daya dengan out put 5 volt akan digunakan untuk BOB sebagai control. Berikut perhitungan daya catu daya :

- A. Catu daya 12 volt 20 amper dengan rumus

$$P = V \times I = 12 \times 20 = 240 \text{ watt}$$

- B. Catu daya 5 volt 5 amper dengan rumus yang sama

$$P = V \times I = 5 \times 5 = 25 \text{ watt}$$

Driver Motor Yang digunakan adalah driver TB6600T1, dengan kapasitas maksimal 4,5 A dan tegangan 12 Volt. Dari spesifikasi diatas didapat perhitungan sederhana dari daya listrik yang digunakan yaitu $P = V \cdot I$

$$P = 12 \times 4,5 = 50 \text{ Watt}$$

Dan driver yang digunakanpun berjumlah tiga buah, sehingga didapat total daya yang digunakan yaitu :

$$3 \times 50 = 150 \text{ Watt}$$

Jumlah motor yang digunakan adalah tiga buah,berjenis NEMA23 yaitu motor stepper bipolar dengan torsi 270 Oz-inch. Cocok bekerja dengan driver TB6600T1, dengan tegangan catu daya 12 Volt. Ukuran poros 8 mm, konsumsi arus maksimal 3 A. Sehingga didapat daya motor dengan rumus :

$$P = V \cdot I = 12 \times 3 = 36 \text{ watt/motor}$$

Karena menggunakan tiga buah motor, maka total daya motor menjadi :

$$3 \times 36 = 108 \text{ Watt}$$

IV. KESIMPULAN & SARAN

A. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan implementasi sistem elektrik pada robot lengan 3 sumbu berbasis CNC, dapat disimpulkan bahwa:

1. Sistem elektrik yang terdiri dari mikrokontroler (Arduino Uno), motor stepper, driver A4988, power supply, dan CNC shield berhasil diterapkan dengan baik untuk menggerakkan lengan robot secara presisi sesuai koordinat sumbu X, Y, dan Z.
2. Penggunaan firmware GRBL sebagai interpreter G-code terbukti memudahkan dalam proses kendali dan kompatibel dengan berbagai perangkat lunak CAM/CAD untuk CNC, seperti Universal Gcode Sender (UGS).
3. Sistem kendali elektrik yang dirancang mampu bekerja dengan stabil pada variasi arus listrik yang sesuai (misalnya 12V dengan arus 2A per motor), serta menghasilkan pergerakan yang akurat dan responsif.

4. Kestabilan sinyal, keakuratan feedback posisi, dan pengaturan limit switch juga turut mempengaruhi performa keseluruhan sistem.

B. SARAN

Untuk pengembangan lebih lanjut dari penelitian dan perancangan ini, beberapa saran yang dapat diberikan antara lain:

1. Integrasi Sensor Feedback Penambahan sensor encoder atau sistem closed-loop dapat meningkatkan akurasi posisi dan deteksi kesalahan pergerakan pada sistem.
2. Pemilihan Motor dan Driver yang Lebih Kuat: Untuk aplikasi industri atau beban kerja lebih tinggi, sebaiknya menggunakan motor stepper NEMA23 atau motor servo dengan driver yang memiliki arus lebih besar.
3. Pengembangan GUI (Graphical User Interface): Penggunaan antarmuka grafis berbasis PC atau smartphone akan mempermudah pengguna dalam mengontrol dan memantau lengan robot.
4. Peningkatan Manajemen Kabel dan Pendinginan: Disarankan untuk menambahkan sistem pendingin (fan) dan pengaturan kabel yang rapi untuk menghindari overheating dan gangguan sistem.
5. Uji Beban dan Presisi Lebih Lanjut: Perlu dilakukan pengujian terhadap ketahanan dan presisi dalam kondisi beban yang bervariasi untuk memastikan keandalan sistem dalam jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Ardito, L., et al. (2018). "The Role of Digital Technologies in Open Innovation: A Review of the Literature." *Technological Forecasting and Social Change*, 133, 263–281.
- 2) Bahreini, M., & Aghakhani, M. (2020). "Design and Implementation of a Low-Cost 3-Axis CNC Machine Using Arduino and GRBL." *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11(8), 512–518.
- 3) Budiyanto, M. A., et al. (2016). *Robotika: Teori dan Implementasi Mikrokontroler Arduino*. Yogyakarta: ANDI.
- 4) Dastjerdi, A. V., et al. (2020). "Integration of Stepper Motor and CNC Control Using Open Source Firmware." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 912(2), 022027.
- 5) Deaecto, G. S., et al. (2019). "Modeling and Control of Electric Drive Systems for Robotics." *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 66(12), 9386–9394.
- 6) Elattar, H. M. (2021). "Analysis of Stepper Motor Control Techniques for Industrial Robots." *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, 8(1), 1–12.

- 7) GRBL GitHub Repository. (2023). *GRBL v1.1 – Open Source G-code Interpreter for CNC*. Retrieved from: <https://github.com/gnea/grbl>
- 8) Hadi, R. A., & Firmansyah, D. (2020). "Rancang Bangun Mini CNC 3 Axis Berbasis Arduino Uno." *Jurnal Teknik Mesin*, 9(2), 55–60.
- 9) Hakim, L., & Prasetyo, A. (2021). "Implementasi Sistem Elektrik pada Lengan Robot Edukatif." *Jurnal Teknik Elektro Terapan*, 10(1), 44–51.
- 10) Irawan, A., & Nugroho, S. (2019). *Dasar-Dasar Perancangan Sistem Kontrol Elektrik Robotika*. Surabaya: ITS Press.
- 11) Kurniawan, D., & Wahyudi, S. (2018). "Pengembangan Lengan Robot CNC 3 Axis untuk Aplikasi Pemotongan Laser." *Seminar Nasional Teknik Mesin UNY*, 3(1), 215–222.
- 12) Lee, S., & Kim, H. (2016). "Design of Educational Low-Cost CNC Machine Using Arduino." *Procedia Engineering*, 168, 1502–1506.
- 13) Mitra, M., & Nayak, J. (2020). "Stepper Motor Control for Industrial Applications." *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(6), 764–769.
- 14) Oyeleye, M. A., et al. (2022). "Development of 3-Axis CNC System for Automated Machining." *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 11(4), 542–549.
- 15) Pratama, A., & Susilo, Y. (2023). *Arduino CNC Project: Panduan Praktis Sistem Kendali Motor Stepper*. Bandung: Informatika.
- 16) Rahman, M. F., & Azlan, M. (2021). "Design and Testing of CNC Controller Using GRBL Firmware for Educational Purposes." *ASEAN Journal of Engineering Education*, 5(1), 1–8.
- 17) Rizki, R. R., et al. (2017). "Analisis Penggunaan Motor Stepper dan Driver A4988 pada Rangkaian Mini CNC." *Jurnal Elektro dan Telekomunikasi Terapan*, 5(3), 29–36.
- 18) Roy, S., & Sen, S. (2019). "Application of CNC Shield with Arduino in Robotic Arm Control." *International Journal of Robotics and Automation*, 6(2), 102–107.
- 19) Taufik, A., & Nugraha, D. (2022). "Desain dan Implementasi Sistem Elektrik Lengan Robot Berbasis Mikrokontroler." *Jurnal Teknologi Mesin Indonesia*, 4(2), 69–74.
- 20) Wibowo, A., & Kartiko, D. (2023). "Evaluasi Kinerja Sistem Elektrik pada Prototipe Lengan Robot CNC." *Jurnal Teknologi dan Rekayasa*, 11(1), 88–95.