

LAPORAN PROYEK AKHIR

PENGEMBANGAN MODUL SISTEM KENDALI ROBOT LENGAN 5 DOF BERBASIS PLC DAN HMI

Abdul Karim

NIM. 2221312001

Pembimbing

Nur Khamdi, S.Si., M.T.

**PROGRAM STUDI
TEKNOLOGI REKAYASA MEKATRONIKA
POLITEKNIK CALTEX RIAU**

2026

LEMBAR PENGESAHAN

PENGEMBANGAN MODUL SISTEM KENDALI ROBOT LENGAN 5 DOF BERBASIS PLC DAN HMI

Abdul Karim

NIM. 2221312001

Laporan Proyek Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan
memperoleh gelar **Sarjana Terapan (S.Tr.T.)**
di Politeknik Caltex Riau

Pekanbaru, 18 Agustus 2026

Disetujui oleh:

Pembimbing 1 : Nur Khamdi, S.Si., M.T
NIP. 007511

Penguji 1 : Prof. Hendriko, S.T., M.Eng
NIP. 007606

Penguji 2 : Made Rahmawaty, S.T., M.Eng
NIP. 038105

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Mekatronika

Edilla, S.S.T., M.T.

NIP. 038004

PERNYATAAN PENGGUNAAN KECERDASAN BUATAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa penelitian yang berjudul:

PENGEMBANGAN MODUL SISTEM KENDALI ROBOT LENGAN 5 DOF BERBASIS PLC DAN HMI

Menggunakan teknologi Kecerdasan Buatan (*Artificial Intelligence*) dalam penyusunan dokumen ini sebatas pada hal-hal berikut:

1. Penggunaan AI untuk penerjemahan kata asing pada bagian abstrak.
2. Penggunaan AI untuk mencari jurnal yang sesuai dengan penelitian.
3. Penggunaan AI untuk mencari informasi terkait komponen dan Aplikasi.

Penggunaan tersebut **tidak menyangkut substansi utama penelitian**, seperti analisis, penyusunan ide pokok, perumusan konsep ilmiah, atau penentuan hasil penelitian. Seluruh substansi utama dalam dokumen ini merupakan hasil pemikiran dan karya saya sendiri. Apabila di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap pernyataan ini, saya bersedia menerima konsekuensi sesuai ketentuan yang berlaku.

Pekanbaru, 18 Agustus 2026

Yang menyatakan,

Abdul Karim

NIM. 2221312001

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa penelitian yang berjudul:

PENGEMBANGAN MODUL SISTEM KENDALI ROBOT LENGAN 5 DOF BERBASIS PLC DAN HMI

Adalah benar hasil karya saya, dan tidak mengandung karya ilmiah atau tulisan yang pernah diajukan di suatu Perguruan Tinggi

Setiap kata yang dituliskan tidak mengandung plagiat, pernah ditulis maupun diterbitkan orang lain kecuali secara tertulis diacu dalam dokumen ini dan disebutkan pada daftar pustaka. Saya siap menanggung seluruh akibat apabila terbukti melakukan plagiat.

Pekanbaru, 18 Agustus 2026

Yang menyatakan,

Abdul Karim

NIM. 2221312001

KESEPAKATAN PUBLIKASI

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, dengan ini saya menyatakan:

1. Memberikan persetujuan kepada Politeknik Caltex Riau untuk menyimpan, mengolah dalam bentuk pangkalan data, merawat, mengalih media/formatkan dan mempublikasikan **LAPORAN PROYEK AKHIR** ini selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.
2. Tidak melakukan alih media/format dan publikasi dalam bentuk makalah ilmiah dari bagian atau keseluruhan **LAPORAN PROYEK AKHIR** ini ke suatu publikasi ilmiah, pada seminar ataupun jurnal, skala nasional maupun internasional, kecuali ada persetujuan dari saya dan Dosen Pembimbing Utama, dan mencantumkan nama saya, Dosen Pembimbing Utama dan nama-nama lain (jika ada) yang berkontribusi pada makalah.

Pekanbaru, 18 Agustus 2026

Yang menyatakan,

Abdul Karim

NIM. 2221312001

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis **Laporan Proyek Akhir** dapat menyelesaikan penelitian berjudul “**Pengembangan Modul Sistem Kendali Robot Lengan 5 Dof Berbasis PLC Dan HMI**”. yang disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan jenjang pendidikan **D4** pada Program Studi **Teknologi Rekayasa Mekatronika** Politeknik Caltex Riau.

Penulis menyadari bahwa laporan penelitian ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, segala bentuk kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa mendatang. Penulis berharap laporan ini dapat memberikan manfaat dan wawasan bagi para pembaca, serta menjadi bahan referensi untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

Pekanbaru, 18 Agustus 2026

Abdul Karim

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji dan syukur atas kehadiran Allah subhanahu wata'ala atas limpah rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proyek akhir yang berjudul “Pengembangan Modul Sistem Kendali Robot Lengan 5 DOF Berbasis PLC dan HMI”. Laporan proyek akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan jenjang Pendidikan Diploma IV pada Program Studi Teknologi Rekayasa Mekatronika Politeknik Caltex Riau.

Penyelesaian laporan proyek akhir ini telah mendapat banyak bantuan, bimbingan, pembelajaran, serta petunjuk dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung dari segi ilmu pengetahuan, materi, tenaga, pikiran maupun motivasi. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya yang ditujukan kepada:

1. Bapak Dr. Erwin Setyo Nugroho, S.T., M.Eng. selaku Direktur Politeknik Caltex Riau yang telah mendedikasikan waktunya untuk meningkatkan perkembangan institusi Pendidikan Politeknik Caltex Riau.
2. Bapak Edilla, S.S.T., M.T. selaku KaProdi Teknologi Rekayasa Mekatronika.
3. Bapak Nur Khamdi, S.Si., M.T. selaku pembimbing, yang telah memberikan ilmu dan bimbingan dengan penuh kesabaran kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian.
4. Seluruh Dosen Pengajar Program Studi Teknologi Rekayasa Mekatronika Politeknik Caltex Riau yang telah memberikan bekal ilmu kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian.
5. Kedua orang tua penulis atas dukungan dan kasih sayang tak terhingga, sehingga penulis bisa menyelesaikan penelitian tepat waktu.
6. Teman-teman Sesama Program Studi Teknologi Rekayasa Mekatronika atas dukungan dan kasih sayang tak terhingga, sehingga penulis bisa menyelesaikan penelitian tepat waktu.

ABSTRAK

Perkembangan sistem otomasi industri membutuhkan sistem kendali yang mampu mengatur pergerakan robot secara terprogram dan terintegrasi. Programmable Logic Controller (PLC) merupakan salah satu perangkat kendali yang dapat digunakan untuk mengatur proses otomasi berdasarkan program yang telah ditentukan, sedangkan Human Machine Interface (HMI) digunakan sebagai antarmuka antara operator dengan sistem. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan merealisasikan sistem kendali robot lengan Lab-Volt berbasis PLC Schneider TM221CE16T dan HMI untuk mengendalikan pergerakan robot secara manual maupun otomatis. Sistem yang direalisasikan ini terdiri atas PLC sebagai pengendali utama, HMI sebagai antarmuka operator, Arduino Uno sebagai media komunikasi antara PLC dan driver robot, serta rangkaian interface sebagai penghubung antarperangkat. Pengujian sistem dilakukan melalui dua tahapan, yaitu pengujian pergerakan manual dan pengujian pergerakan otomatis pada empat posisi target, yaitu posisi awal benda kerja, posisi awal tutup, posisi akhir benda kerja, dan posisi akhir tutup, di mana masing-masing posisi dilakukan sebanyak lima kali percobaan. Parameter nilai register (%MW) tidak dapat dijadikan acuan posisi presisi pergerakan otomatis sistem *open-loop*. Rata-rata error sudut pergerakan lintasan pengujian otomatis berada pada rentang 60,35% hingga 86,86%. Rata-rata akurasi sudut pergerakan lintasan pengujian otomatis berada pada rentang 7,88% hingga 31,76%. Standar deviasi sudut pengujian otomatis hingga 19,78° dan pergeseran end-effector hingga 14 cm. Tingkat keberhasilan operasional pengujian otomatis sebesar 0%.

Kata kunci: PLC Schneider TM221CE16T, HMI, Arduino Uno, Robot Lengan Lab-Volt, Pergerakan Otomatis.

ABSTRACT

The development of industrial automation systems requires a control system capable of managing robot movement in a programmed and integrated manner. Programmable Logic Controller (PLC) is a control device used to manage automation processes based on predetermined programs, while Human Machine Interface (HMI) serves as the interface between the operator and the system. This study aims to design and implement a control system for a Lab-Volt articulated robot arm based on the Schneider TM221CE16T PLC and HMI to control robot movement both manually and automatically. The implemented system consists of a PLC as the main controller, an HMI as the operator interface, an Arduino Uno as a communication medium between the PLC and the robot driver, and an interface circuit as an inter-device connector. System testing was conducted in two stages: manual movement testing and automatic movement testing across four target positions: initial workpiece position, initial cover position, final workpiece position, and final cover position, with each position tested in five trials. Register value parameters (%MW) cannot be used as precise position references for open-loop automatic movement systems. The average trajectory movement angular error of automatic testing ranges from 60.35% to 86.86%. The average trajectory movement angular accuracy of automatic testing ranges from 7.88% to 31.76%. The angular standard deviation of automatic testing reaches up to 19.78°, and the end-effector displacement reaches up to 14 cm. The operational success rate of automatic testing is 0%.

Keywords: *Schneider TM221CE16T PLC, Human Machine Interface (HMI), Arduino Uno, Lab-Volt Robotic Arm, Automatic Movement.*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN PENGGUNAAN KECERDASAN BUATAN.....	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
KESEPAKATAN PUBLIKASI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan dan Manfaat	2
1.3.1 Tujuan.....	2
1.3.2 Manfaat	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Terdahulu.....	4
2.2 Landasan Teori	9
2.2.1 Sistem Kendali Otomatis	9
2.2.2 Robot Lengan	10
2.2.3 Programmable Logic Controller (PLC)	11
2.2.4 Human Machine Interface (HMI)	11
2.2.5 Motor Stepper	12
2.2.7 Vakum Gripper	13
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Perancangan Sistem	15

3.1.1	Diagram Blok	15
3.1.2	Flowchart	16
3.2	Perancangan Mekanik	16
3.3	Perancangan Elektronika.....	19
3.4	Perancangan Program.....	30
BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISIS.....		33
4.1	Hasil Realisasi Sistem	33
4.2	Pengujian Pergerakan Manual Robot.....	36
4.2.1	Metode Pengujian.....	36
4.2.2	Hasil Pengujian	37
4.2.2.1	Posisi Awal Benda Kerja	37
4.2.2.2	Posisi Awal Tutup.....	38
4.2.2.3	Posisi Akhir Benda Kerja	39
4.2.2.4	Posisi Akhir Tutup.....	41
4.2.3	Analisis.....	42
4.3	Pengujian Pergerakan Otomatis	43
4.3.1	Metode Pengujian.....	43
4.3.2	Hasil Pengujian	45
4.3.2.1	Posisi Awal Benda Kerja	45
4.3.2.2	Posisi Awal Tutup.....	47
4.3.2.3	Posisi Akhir Benda Kerja	50
4.3.2.4	Posisi Akhir Tutup.....	53
4.3.3	Analisis.....	55
BAB 5 PENUTUP.....		57
5.1	Kesimpulan	57
5.2	Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA.....		58
LAMPIRAN.....		60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Robot Lengan 3 DOF	4
Gambar 2. 2 Plc Logo! 8 dan Robot Lengan	5
Gambar 2. 3 Robot Lengan SCARA.....	6
Gambar 2. 4 Robot Lengan Pemindah Barang.....	7
Gambar 2. 5 Robot Lengan Lab Volt R5150.....	8
Gambar 2. 6 Robot Lengan Lab Volt	11
Gambar 2. 7 PLC Schneider	11
Gambar 2. 8 HMI Schneider	12
Gambar 2. 9 Poros Magnet Dalam Motor Stepper.....	13
Gambar 2. 11 Vakum Gripper	14
Gambar 3. 1 Diagram Blok Sistem Robot Lengan	16
Gambar 3. 2 Flowchart Sistem Robot Lengan	16
Gambar 3. 3 Desain Mekanik Robot Lengan Tampak Atas	17
Gambar 3. 4 Desain Mekanik Robot Lengan Tampak Isometri.....	18
Gambar 3. 5 Dimensi Meja Kerja	18
Gambar 3. 6 Incoming 220VAC.....	19
Gambar 3. 7 Distribusi Tegangan DC	20
Gambar 3. 8 PLC Overview	21
Gambar 3. 9 Terminal Overview	22
Gambar 3. 10 Relay & Penguat Tegangan Overview	23
Gambar 3. 11 Digital Input PLC	24
Gambar 3. 12 Digital Input PLC	24
Gambar 3. 13 Digital Input PLC	25
Gambar 3. 14 Digital Output PLC	26
Gambar 3. 15 Digital Output PLC	27
Gambar 3. 16 Driver Motor Robot Lab-Volt	27
Gambar 3. 17 Analog Output PLC.....	28
Gambar 3. 18 Analog Output PLC.....	29
Gambar 3. 19 Analog Input PLC.....	29
Gambar 3. 20 Software SoMachine Basic	30

Gambar 3. 21 Software Vijeo Designer	30
Gambar 3. 22 Tampilan Awal HMI	31
Gambar 3. 23 Tampilan Panel Kontrol.....	31
Gambar 3. 24 Tampilan Posisi Sudut Lengan	31
Gambar 3. 25 Tampilan Manual Posisi	31
Gambar 3. 26 Tampilan Pergerakan Robot	32
Gambar 4. 1 Sistem Robot Lengan Lab Volt	34
Gambar 4. 2 Panel Kontrol	35
Gambar 4. 3 Tampilan HMI	35
Gambar 4. 4 Interface Kendali	36
Gambar 4. 5 Tampilan Nilai %MW pada posisi awal benda kerja	37
Gambar 4. 6 Robot pada posisi awal benda kerja	37
Gambar 4. 7 Tampilan Nilai %MW pada posisi awal tutup.....	38
Gambar 4. 8 Robot pada posisi awal tutup	38
Gambar 4. 9 Tampilan Nilai %MW pada posisi akhir benda kerja.....	39
Gambar 4. 10 Robot pada posisi akhir benda kerja	39
Gambar 4. 11 Tampilan Nilai %MW pada posisi akhir tutup	41
Gambar 4. 12 Robot pada posisi akhir tutup.....	41
Gambar 4. 13 Posisi Target Awal Benda Kerja	45
Gambar 4. 14 Posisi Robot Pergerakan Otomatis Awal Benda Kerja.....	45
Gambar 4. 15 Tampilan Nilai %MW Pada HMI.....	45
Gambar 4. 16 Tampilan Nilai %MW pada Program PLC.....	45
Gambar 4. 17 Posisi Target Awal Tutup	47
Gambar 4. 18 Posisi Robot Pergerakan Otomatis Awal Tutup	47
Gambar 4. 19 Tampilan Nilai %MW Pada HMI.....	48
Gambar 4. 20 Tampilan Nilai %MW pada Program PLC.....	48
Gambar 4. 21 Posisi Target Akhir Benda Kerja	50
Gambar 4. 22 Posisi Robot Pergerakan Otomatis Akhir Benda Kerja.....	50
Gambar 4. 23 Tampilan Nilai %MW Pada HMI.....	50
Gambar 4. 24 Tampilan Nilai %MW pada Program PLC.....	50
Gambar 4. 25 Posisi Target Akhir Tutup	53
Gambar 4. 26 Posisi Robot Pergerakan Otomatis Akhir Tutup	53

Gambar 4. 27 Tampilan Nilai %MW Pada HMI.....	53
Gambar 4. 28 Tampilan Nilai %MW pada Program PLC.....	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Gap Analisis	8
Tabel 4. 1 Hasil pengujian manual posisi awal benda kerja	37
Tabel 4. 2 Hasil pengujian manual posisi awal tutup	38
Tabel 4. 3 Pengujian manual posisi akhir benda kerja	40
Tabel 4. 4 Pengujian manual posisi akhir tutup	41
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Otomatis Posisi Awal Benda Kerja	45
Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Otomatis Posisi Awal Tutup	48
Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Otomatis Posisi Akhir Benda Kerja	50
Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Otomatis Posisi Akhir Tutup	53

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi di dunia industri mendorong perusahaan untuk meningkatkan sistem kerja yang lebih cepat, efisien, dan akurat. Untuk mencapai tujuan tersebut, banyak industri mulai menerapkan sistem otomatisasi dalam proses produksinya. Dengan adanya otomatisasi, mesin-mesin dapat bekerja secara mandiri berdasarkan program yang telah dirancang. Hal ini membantu meningkatkan produktivitas, mengurangi kesalahan manusia, dan menekan biaya operasional. Salah satu bentuk dari penerapan otomatisasi adalah penggunaan robot lengan. Robot lengan merupakan perangkat mekanik yang dapat diprogram untuk melakukan tugas-tugas berulang seperti mengambil, memindahkan, dan menyusun komponen dengan tingkat presisi yang tinggi. Kemampuannya untuk diprogram sesuai kebutuhan menjadikannya fleksibel dan dapat digunakan di berbagai jenis industri. Selain itu, robot lengan juga dimanfaatkan dalam dunia pendidikan sebagai media pembelajaran sistem kendali otomatis. Menurut Buddhasukh (2013) dijelaskan bahwa penggunaan platform *robotic arm* dalam pendidikan teknik memiliki peran penting dalam menyiapkan mahasiswa menghadapi kebutuhan industri.

Dalam praktiknya banyak media pembelajaran robot lengan di lingkungan pendidikan yang masih menggunakan sistem kontrol manual, seperti pengoperasian menggunakan tombol-tombol panel atau *joystick* sederhana. Salah satunya adalah robot lengan *Lab-Volt* yang ada di Laboratorium Politeknik Caltex Riau, yang masih menggunakan kontrol *teach pendant* sebagai antarmuka utama dalam pengoperasiannya. Penggunaan *teach pendant* dalam mengatur pergerakan robot lengan seringkali sulit, memakan waktu, dan rentan terhadap kesalahan karena setiap pergerakan harus dikontrol secara terpisah (Lin & Lin, 2014). Di sisi lain beberapa pengembangan robot lengan sudah menggunakan *PLC* dan *HMI* sebagai sistem kontrol serta pemantauan. Meski demikian, dalam penggunaannya sebagian besar sistem tersebut belum dilengkapi dengan *sensor* posisi sebagai umpan balik ke *PLC*. Hal ini menyebabkan kontrol gerakan robot lengan kurang presisi karena

sistem kendali tidak menerima informasi posisi aktual secara *real-time*. Umpan balik secara signifikan dapat mengurangi *error* dan meningkatkan akurasi pergerakan robot lengan (Kim et al., 2022). Sebagai solusi atas permasalahan tersebut, dirancanglah sistem kendali otomatis pada robot lengan *Lab-Volt* berbasis *PLC* dan *HMI*. Dalam sistem ini, *PLC* berfungsi sebagai otak pengendali yang mengatur pergerakan robot lengan secara otomatis sesuai program. *PLC* menerima sinyal dari tombol atau *HMI*, lalu mengirimkan perintah ke motor untuk menjalankan gerakan seperti mengambil, memindahkan, dan meletakkan objek. Selanjutnya *HMI* digunakan sebagai layar kontrol, tempat pengguna bisa melihat status robot atau memberi perintah dengan sentuhan layar. Dengan integrasi ini diharapkan mahasiswa dapat belajar langsung bagaimana sistem kendali robot lengan bekerja seperti yang digunakan di dunia industri.

1.2 Rumusan Masalah

1. Mengintegrasikan robot lengan *Lab-Volt* dengan sistem kendali berbasis *PLC* dan *HMI*.
2. Merancang program *PLC* dan *HMI* untuk mengendalikan robot lengan *Lab-Volt* secara otomatis.
3. Memanfaatkan robot lengan *Lab-Volt* dapat sebagai media pembelajaran sistem kendali otomatis seperti yang digunakan di industri.

1.3 Tujuan dan Manfaat

1.3.1 Tujuan

1. Mengintegrasikan robot lengan *Lab-Volt* dengan sistem kendali otomatis berbasis *PLC* dan *HMI*.
2. Merancang program kendali pada *PLC* dan *HMI* untuk mengoperasikan robot lengan *Lab-Volt* secara otomatis.
3. Menjadikan robot lengan *Lab-Volt* sebagai media pembelajaran yang mencerminkan sistem kendali otomatis di dunia industri.

1.3.2 Manfaat

1. Memberikan media pembelajaran yang lebih nyata tentang sistem kendali otomatis yang digunakan di dunia industri.
2. Mendukung pengembangan kurikulum berbasis praktik industri.

1.4 Batasan Masalah

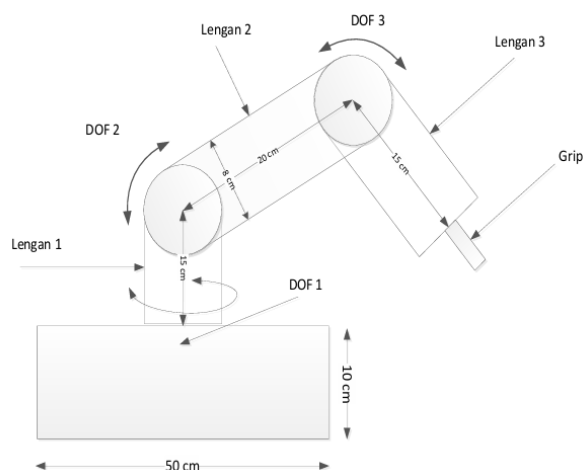
1. Robot yang digunakan terbatas pada robot lengan *Lab-Volt* yang tersedia di Laboratorium Politeknik Caltex Riau.
2. Penelitian difokuskan pada penerapan dan pembelajaran sistem kendali otomatis, bukan pada aspek desain ulang mekanik atau modifikasi fisik robot.
3. Pergerakan robot lengan dibatasi pada gerakan dasar seperti mengambil, memindahkan, dan meletakkan objek secara otomatis.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang dilakukan oleh Irwan (2024) dengan judul “Perancangan Lengan Robot Sebagai Media Pembelajaran Programmable Logic Controller di Laboratorium *PLC* Politeknik Kampar” bertujuan untuk mengatasi kurangnya alat bantu praktik dalam bidang *PLC* di institusi tersebut. Saat ini mahasiswa cenderung lebih banyak belajar teori tanpa kesempatan untuk berlatih langsung. Penelitian ini merancang sebuah lengan robot dari bahan akrilik yang memiliki 3 derajat kebebasan (*DOF*), dioperasikan oleh tiga motor *stepper*. Lengan robot ini dilengkapi dengan enam tombol input dan enam lampu indikator untuk mengontrol arah gerakannya. Sistem kontrol menggunakan *PLC Omron CPM2A* dan diatur melalui program *CX-Programmer* dalam bentuk *ladder diagram*. Hasil uji coba menunjukkan bahwa lengan robot bekerja seperti yang diharapkan, motor bergerak ketika tombol ditekan dan berhenti ketika tombol dilepas. Meski begitu alat ini masih memiliki beberapa kekurangan, yaitu hanya mampu melakukan tiga gerakan, masih dikendalikan secara manual tanpa sensor, dan belum diuji untuk digunakan dalam jangka waktu yang lama. Bentuk robot lengan 3 *DOF* dapat dilihat pada Gambar 2. 1 (Irwan, 2024).



Gambar 2. 1 Robot Lengan 3 *DOF*

Penelitian oleh Al-Naib (2022) yang berjudul “Desain Pengendali Robot Lengan Industri Berbasis *PLC*” bertujuan membuat sistem pengendalian robot

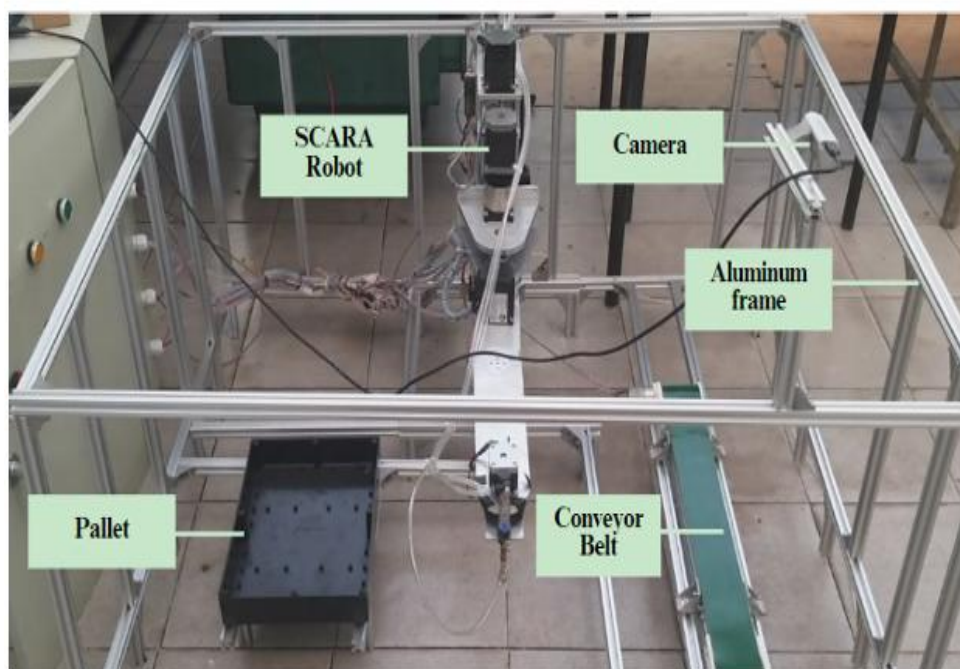
lengan yang murah, mudah digunakan, dan bisa diawasi *via smartphone*. Penelitian ini fokus pada stabilitas dan kesesuaian sistem dalam lingkungan pabrik. *PLC Siemens LOGO! 8* dipilih karena tahan terhadap kondisi pabrik, dan digunakan untuk mengendalikan motor *stepper* dengan tiga cara: satu fase ON (gerakan halus, daya rendah), dua fase ON (torsi besar, daya tinggi), dan satu-dua fase ON (gerakan stabil dan resolusi tinggi). Program ini dibuat menggunakan bahasa *Function Block Diagram (FBD)* dengan perangkat lunak *LOGO! Soft Comfort V8*. 2. Sistem bisa menampilkan arah, sudut, dan kecepatan motor melalui layar *PLC* maupun di *browser handphone*. Hasil menunjukkan semua cara kerja metode tersebut berjalan baik, dengan metode one-two-phase ON yang paling efisien. Namun, sistem belum memiliki umpan balik otomatis karena tidak menggunakan sensor. Selain itu, jumlah *I/O* yang terbatas pada *PLC LOGO! 8* juga membatasi kemampuan sistem untuk menjadi lebih kompleks. Untuk pengembangan sistem kontrol yang lebih lengkap di masa depan, direkomendasikan menggunakan *PLC Siemens S7-1200*. Bentuk sistem kendali robot lengan industri berbasis *PLC* robot lengan 3 DOF dapat dilihat pada Gambar 2. 2 (Al-Naib, 2022).



Gambar 2. 2 Plc Logo! 8 dan Robot Lengan

Penelitian oleh Cong (2024) yang berjudul “Desain dan Pengembangan Robot Lengan dengan Kontroler Berbasis *PLC* yang Murah dan Efisien” bertujuan membuat robot lengan *SCARA 3-DOF* yang murah namun tetap akurat untuk tugas

pick and place. Kontrol utama menggunakan *PLC Delta DVP-SV2*. Sistem ini menggunakan motor stepper jenis *NEMA 17* dan *NEMA 23*, serta *driver DM542* dan *TB6600*. Sistem juga dilengkapi dengan switch batas dan tombol start serta stop. Program ditulis menggunakan perangkat lunak *WPLSoft* dengan pendekatan sub-program. Pengembangan sistem menggunakan metode kinematika maju dan kinematika balik untuk menentukan posisi dan sudut gerak robot. Hasil uji menunjukkan robot bisa bergerak cepat, yaitu 1,2 hingga 2,5 detik untuk mengangkat satu benda, dan stabil hingga 360 derajat per detik tanpa melewati langkah. Simulasi dan perhitungan gerak juga sesuai dengan hasil dari uji fisiknya. Namun, menggunakan motor stepper membuat pengendalian posisi kurang tepat dibandingkan motor *servo*. Selain itu, kemampuan kontrol *PLC Delta* terbatas jika sistemnya lebih rumit. Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan menambahkan sensor penglihatan, menggunakan motor *servo*, serta meningkatkan kontrol otomatis dan kemampuan sistem agar lebih fleksibel. Bentuk robot lengan dengan kontroler berbasis *PLC* dapat dilihat pada Gambar 2. 3 (Cong, 2024).



Gambar 2. 3 Robot Lengan SCARA

Penelitian yang dilakukan oleh Wiliam et al (2019) dengan judul “Pengendalian Lengan Robot untuk Proses Pemindahan Barang” bertujuan untuk mengurangi ketergantungan pada tenaga manusia di industri dengan membuat sistem otomatis berbasis lengan robot. Sistem ini bisa memindahkan benda sesuai

warnanya menggunakan sensor warna *TCS230*, *Arduino Uno*, *relay modul*, *PLC*, dan motor *DC*. *Arduino* membaca warna benda lalu mengirim data ke *PLC*, setelah itu *PLC* menggerakkan lengan robot melalui sistem pneumatik. Seluruh proses bisa dilihat secara langsung melalui antarmuka *HMI iFIX*. Hasil uji coba menunjukkan robot mampu mengenali dan memindahkan benda berwarna merah, biru, hijau, dan transparan, dengan beban maksimal 65 gram. Namun, robot masih kurang memiliki sistem umpan balik untuk kepresisian posisi, serta hanya bisa menangani beban ringan. Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan menggunakan sensor yang lebih baik. Bentuk lengan robot untuk proses pemindahan barang dapat dilihat pada Gambar 2. 4 (Wiliam et al. 2019).



Gambar 2. 4 Robot Lengan Pemindah Barang

Penelitian yang dilakukan oleh Abdulridha (2017) berjudul “Differential Motion Analysis of Lab-Volt R5150 Robot Arm” bertujuan untuk menganalisis gerakan ujung lengan robot *Lab-Volt R5150* yang memiliki lima derajat kebebasan (*DOF*). Analisis ini menggunakan metode *forward kinematics* dan *Jacobian* untuk memahami hubungan antara kecepatan pergerakan sendi dan kecepatan ujung lengan. Model matematika dalam penelitian ini dibuat dengan menggunakan

parameter *Denavit-Hartenberg*, lalu hasil perhitungan dibandingkan dengan simulasi yang dilakukan pada perangkat lunak *RoboCIM*. Hasil menunjukkan bahwa kesalahan perhitungan sangat kecil, kurang dari 0,6%. Dari semua sendi, sendi kedua yang berfungsi sebagai bahu memberikan kontribusi kecepatan paling besar. Namun, masih terdapat beberapa kelemahan dalam penelitian ini, seperti kesalahan tertinggi terjadi pada sumbu *z* karena pengaruh gravitasi, serta tidak dilakukannya analisis dinamika sistem. Untuk meningkatkan akurasi, penelitian lanjutan disarankan untuk menggabungkan model dinamis agar hasilnya lebih realistis. Bentuk robot Lab-Volt R5150 dapat dilihat pada Gambar 2. 5 (Abdulridha, 2017).



Gambar 2. 5 Robot Lengan Lab Volt R5150

Tabel 2. 1 Gap Analisis

NO	Tahun	Judul	Metode	Gap
1	2024	Perancangan Lengan Robot Sebagai Media Pembelajaran PLC di Politeknik Kampar	3 DOF, motor stepper, kontrol manual via push button, PLC Omron	Kontrol masih manual, tanpa feedback, tidak mencerminkan

NO	Tahun	Judul	Metode	Gap
				sistem industri sebenarnya
2	2022	Desain Pengendali Robot Lengan Industri Berbasis PLC	PLC Siemens LOGO! 8, motor stepper (3 metode aktivasi)	Kontrol open-loop, tidak ada sensor atau umpan balik posisi
3	2024	Desain dan Pengembangan Robot Lengan dengan Kontroler Berbasis PLC yang Murah dan Efisien	PLC Delta, motor stepper, inverse kinematics, limit switch	Tidak pakai feedback posisi real-time, tidak scalable
4	2019	Pengendalian Lengan Robot untuk Proses Pemindahan Barang	Menggunakan sensor warna dan <i>PLC</i> untuk mengontrol lengan robot pneumatik via <i>Arduino</i> .	Belum ada sistem umpan balik dan hanya mampu menangani beban ringan.
5	2017	Differential Motion Analysis of Lab-Volt R5150 Robot Arm	Menganalisis gerak robot dengan <i>forward kinematics</i> dan <i>Jacobian</i> , divalidasi lewat <i>RoboCIM</i> .	Tidak mencakup dinamika dan belum diuji dalam kondisi nyata.

Dari penelitian terdahulu serta *gap* yang ada pada Tabel 2. 1 maka dirancang Pengembangan Sistem Kendali Otomatis Pada Robot Lengan Lab Volt Berbasis PLC dan HMI yang dapat mengontrol robot lengan Lab Volt secara otomatis. Selain itu sistem ini juga dirancang untuk dapat melakukan *assembly* barang.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sistem Kendali Otomatis

Menurut Ainnur Rahman et al (2024) Sistem kendali otomatis adalah suatu sistem yang secara otomatis mengendalikan proses atau perangkat tanpa intervensi langsung manusia. Dengan menggunakan sensor untuk mengukur variabel lingkungan atau kondisi proses, data tersebut diolah oleh kontroler untuk mengambil keputusan dan memberikan perintah kepada aktuator. Aktuator ini kemudian menyesuaikan atau mengendalikan kondisi sistem, memungkinkan sistem untuk memelihara atau mengoptimalkan output tanpa campur tangan manusia secara terus-menerus. Sistem kontrol otomatis digunakan luas di berbagai bidang seperti industri, energi, dan kendaraan untuk meningkatkan efisiensi, konsistensi, dan respon sistem.

2.2.2 Robot Lengan

Menurut Prasetyo et al., (2024) Lengan robot adalah salah satu alat yang digunakan manusia untuk mempermudah pekerjaan manusia. Lengan robot biasanya dikendalikan melalui sistem kontrol yang dapat mengatur gerakan dan posisi lengan sesuai dengan kebutuhan. Kontrol tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan metode manual maupun otomatis. Lengan robot dapat memiliki berbagai tingkat kebebasan gerak tergantung pada jumlah persendian atau engsel yang dimilikinya. Lengan robot yang paling sederhana memiliki tiga tingkat kebebasan gerak (3-DOF) yang memungkinkan gerakan pada sumbu tiga dimensi seperti panjang, lebar, dan tinggi. Robot Lab Volt adalah lengan robot yang diproduksi oleh LabVolt Inc. Robot ini merupakan manipulator koordinat dengan lima sendi, menggunakan motor stepper sebagai aktuator pada setiap sendi, dan gerakannya dikontrol oleh perangkat lunak RoboCIM. Lengan robot Lab-Volt R5150 memiliki komponen seperti alas, bahu, siku, gerak pitch alat, dan gerak roll alat, semuanya terdiri dari sambungan putar, memberikan total 5 arah gerakan (DOF) ditambah kemampuan gerak pada pegangan. Sambungan ini memungkinkan gerakan bahu, rotasi bahu, rotasi siku, gerakan pergelangan tangan ke atas dan ke bawah, rotasi pergelangan tangan, serta gerakan gripper. Lab-Volt R5150 memiliki lima sambungan putar, lima sumbu (tiga sumbu utama yaitu alas, bahu, dan siku untuk menempatkan pergelangan tangan, serta dua sumbu tambahan yaitu pitch dan roll untuk mengarahkan gripper) dan pegangan yang dapat bergerak. Bentuk robot lengan dapat dilihat pada Gambar 2. 6 (Prasetyo et al. 2024).



Gambar 2. 6 Robot Lengan Lab Volt

2.2.3 Programmable Logic Controller (PLC)

Menurut Ajudin (2015) Programmable Logic Controllers (PLC) adalah komputer elektronik yang mudah digunakan yang memiliki fungsi kendali untuk berbagai tipe dan tingkat kesulitan yang beraneka ragam. Definisi Programmable Logic Controller menurut Capiel (1982) adalah sistem elektronik yang beroperasi secara digital dan didisain untuk pemakaian di lingkungan industri, dimana sistem ini menggunakan memori yang dapat diprogram untuk penyimpanan secara internal instruksi-instruksi yang mengimplementasikan fungsi-fungsi spesifik seperti logika, urutan, perwaktuan, pencacahan dan operasi aritmatik untuk mengontrol mesin atau proses melalui modulmodul I/O digital maupun analog. Bentuk PLC schneider dapat dilihat pada Gambar 2. 7 (Ajudin, 2015).



Gambar 2. 7 PLC Schneider

2.2.4 Human Machine Interface (HMI)

Menurut Haryanto & Hidayat, (2016) HMI (Human Machine Interface) adalah sistem yang menghubungkan antara manusia dan teknologi mesin. HMI dapat berupa pengendali dan visualisasi status baik dengan manual maupun melalui visualisasi komputer yang bersifat real time. Sistem HMI biasanya bekerja secara online dan real time dengan membaca data yang dikirimkan melalui I/O port yang digunakan oleh sistem controller-nya. Port yang biasanya digunakan untuk

controller dan akan dibaca oleh HMI antara lain adalah port com, port USB, port RS232 dan ada pula yang menggunakan port serial. Tugas dari HMI (Human Machine Interface) yaitu membuat visualisasi dari teknologi atau sistem secara nyata. Sehingga dengan desain HMI dapat disesuaikan sehingga memudahkan pekerjaan fisik. Tujuan dari HMI adalah untuk meningkatkan interaksi antara mesin dan operator melalui tampilan layar komputer dan memenuhi kebutuhan pengguna terhadap informasi sistem. Bentuk HMI dapat dilihat pada Gambar 2. 8 (Haryanto & Hidayat, 2016)

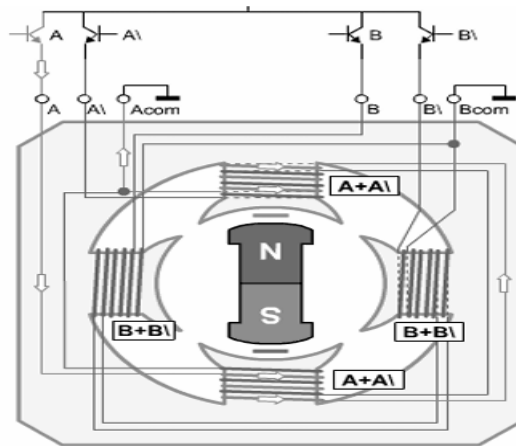


Gambar 2. 8 HMI Schneider

2.2.5 Motor Stepper

Motor stepper merupakan komponen aktuator yang umum dimanfaatkan dalam aplikasi pengendalian posisi. Motor ini beroperasi dengan prinsip gerakan yang terbagi dalam tahap-tahap kecil, di mana posisi sudutnya dikontrol secara bertahap atau dengan cara *step by step*. Meskipun secara umum mirip dengan motor DC karena keduanya menggunakan tegangan DC untuk membuat medan magnet, motor *stepper* memiliki perbedaan penting dalam struktur konstruksinya. Pada motor DC, magnet tetap berada di bagian *stator*, sedangkan pada motor *stepper*, magnet berada di bagian *rotor*. Selain itu, motor *stepper* tidak bisa berputar terus-menerus tanpa adanya sinyal penggerak, melainkan hanya bergerak sesuai dengan urutan langkah yang telah ditentukan. Kelebihan dari motor ini adalah kemampuannya menghasilkan torsi besar pada kecepatan rendah. Motor *stepper* bekerja berdasarkan prinsip medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan atau kabel di dalamnya. Saat satu kabel dialiri arus, maka terbentuk medan magnet dengan kutub utara dan selatan. Kutub tersebut membuat poros motor yang

merupakan magnet permanen berubah posisi sesuai dengan kutub magnet yang terbentuk. Ketika kabel lainnya diaktifkan secara bergantian, poros motor terus berubah posisi mengikuti arah medan magnet, sehingga menghasilkan gerakan berputar secara perlahan. Untuk itu, penggunaan motor *stepper* membutuhkan penyuplai arus ke setiap kabel secara berurutan agar gerakan putar dapat terjadi. Bentuk motor stepper dapat dilihat pada Gambar 2. 9 (Yudhaswana, 2011).



Gambar 2. 9 Poros Magnet Dalam Motor Stepper

2.2.7 Vakum Gripper

Vacuum gripper adalah salah satu jenis *end-effector* yang digunakan pada lengan robot industri untuk mengangkat dan memindahkan objek. Cara kerjanya berdasarkan prinsip *Bernoulli*, yaitu dengan menghasilkan aliran udara cepat antara pelat gripper dan permukaan benda, sehingga tercipta tekanan rendah yang menciptakan gaya hisap. Gaya ini memungkinkan objek terangkat dan dipindahkan tanpa harus bersentuhan secara langsung. Untuk menciptakan tekanan negatif tersebut, sistem ini umumnya menggunakan perangkat seperti *vacuum pump*, *ejector*, *suction bellows*, atau *pneumatic cylinder*. *Vacuum gripper* biasanya digunakan untuk mengangkat objek yang permukaannya datar dan halus, seperti kaca, logam, plastik, serta bahan kemasan. Bentuk vakum gripper dapat dilihat pada Gambar 2. 10 (Kumar et al., 2017).



Gambar 2. 10 Vakum Gripper

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Perancangan merupakan tahap awal dari proses pembuatan dan pengerjaan alat atau sistem guna memperlancar proses pembuatannya. Dalam proses pengerjaan ini, perancangan menjadi bagian utama untuk menentukan hasil akhir keseluruhan dari alat atau sistem ini.

Perancangan Meliputi :

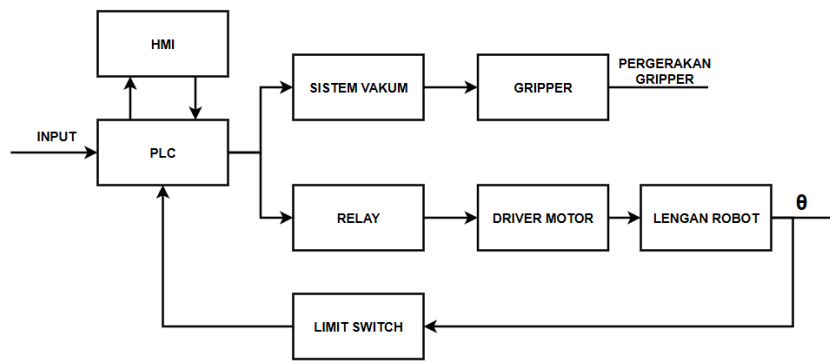
1. Perancangan Sistem
2. Perancangan Mekanik
3. Perancangan Elektronika
4. Perancangan Program

3.1 Perancangan Sistem

Dalam perancangan dan pengembangan sistem kendali robot lengan Lab-Volt berbasis PLC dan HMI, alur kerja serta hubungan antar komponen disusun secara terstruktur. Secara garis besar, keseluruhan arsitektur dan prinsip kerja sistem ini dapat dijelaskan melalui diagram blok yang menggambarkan integrasi perangkat keras, serta *flowchart* yang menjelaskan logika urutan pergerakan sistem secara bertahap.

3.1.1 Diagram Blok

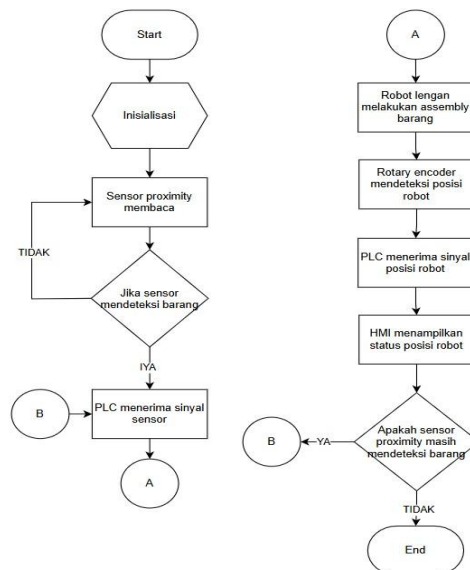
Dalam perancangan suatu sistem, keberadaan diagram blok menjadi bagian yang sangat krusial untuk menguraikan prinsip kerja dan interkoneksi antarperangkat secara keseluruhan. Penggunaan diagram blok ini bertujuan agar sistem kendali yang dirancang dapat terbangun secara terstruktur serta berfungsi dengan baik sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Gambaran umum mengenai arsitektur dan aliran sinyal pada sistem kendali robot ini dapat dilihat pada Gambar 3. 1.



Gambar 3. 1 Diagram Blok Sistem Robot Lengan

3.1.2 Flowchart

Dalam perancangan suatu sistem dibutuhkan suatu *flowchart* yang dapat menjelaskan alur sistem secara keseluruhan agar sistem yang dibuat dapat dioperasikan sebagai mana yang telah direncanakan. *Flowchart* pengembangan sistem kendali robot *Lab Volt* berbasis *PLC* dan *HMI* dapat dilihat pada Gambar 3. 2.

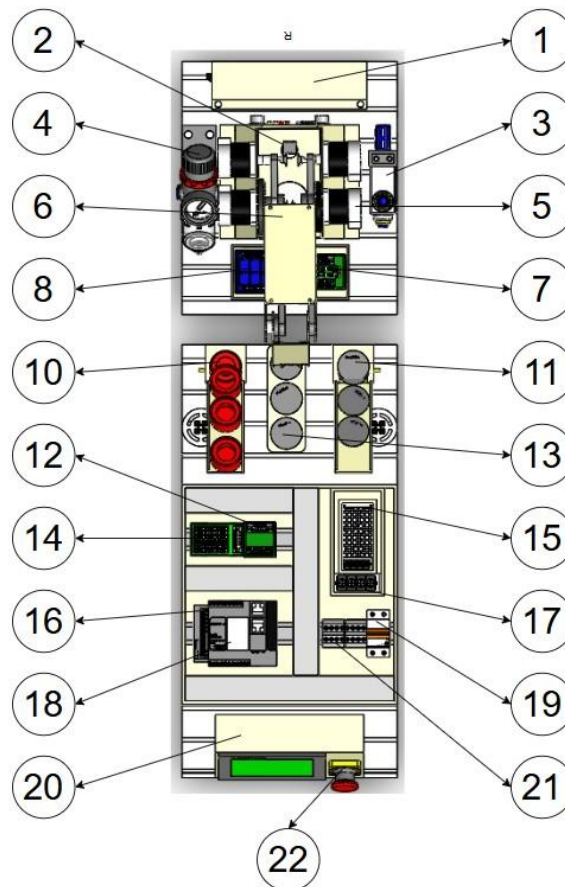


Gambar 3. 2 Flowchart Sistem Robot Lengan

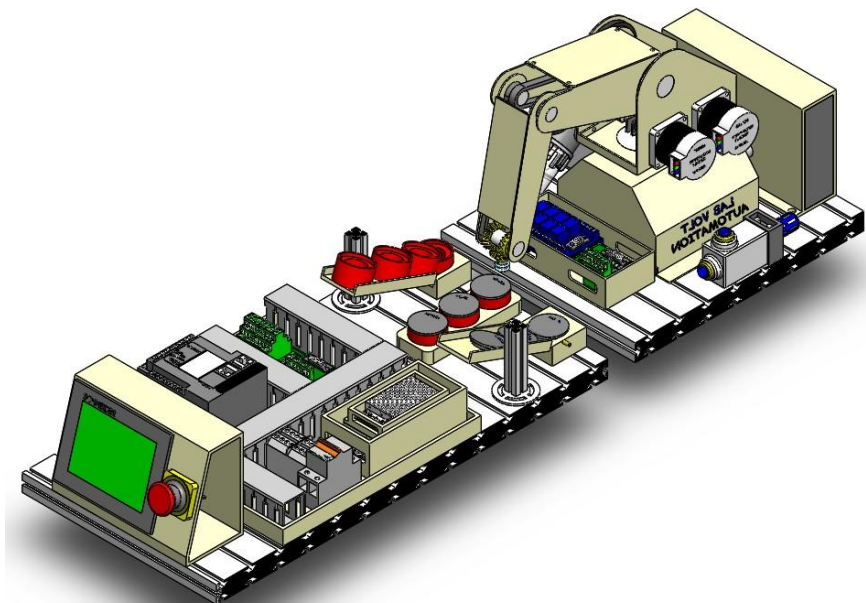
3.2 Perancangan Mekanik

Perancangan awal alat 3D untuk pengembangan sistem kendali robot lengan *Lab-Volt* berbasis *PLC* dan *HMI* dilakukan dengan menggunakan *software SolidWorks*. Tahap ini bertujuan untuk menampilkan secara jelas bentuk fisik dari alat bantu atau komponen tambahan yang akan digunakan dalam mengintegrasikan robot lengan dengan sistem kendali otomatis. Dengan bantuan *SolidWorks*, setiap bagian dari sistem seperti tempat penempatan sensor, rangka pendukung, hingga

komponen mekanik lainnya bisa dirancang dengan tepat. Bahan yang digunakan dalam sistem ini cukup beragam serta disesuaikan dengan fungsi masing-masing komponen. Struktur utama berupa meja kerja berukuran 40 cm × 70 cm dibuat dari aluminium profil, yang dipilih karena memiliki kekuatan yang baik, ringan, serta fleksibel dalam proses perakitan maupun modifikasi. Untuk bagian *workpiece* beserta *cover* pelindungnya, digunakan material filamen hasil proses pencetakan 3D (*3D printing*). Desain mekanik dapat dilihat pada Gambar 3. 3 sampai Gambar 3. 4Gambar 3. 5.

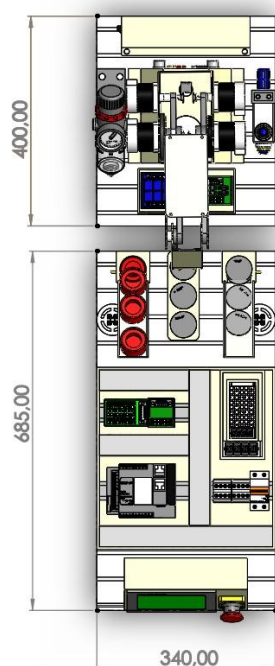


Gambar 3. 3 Desain Mekanik Robot Lengan Tampak Atas



Gambar 3. 4 Desain Mekanik Robot Lengan Tampak Isometri

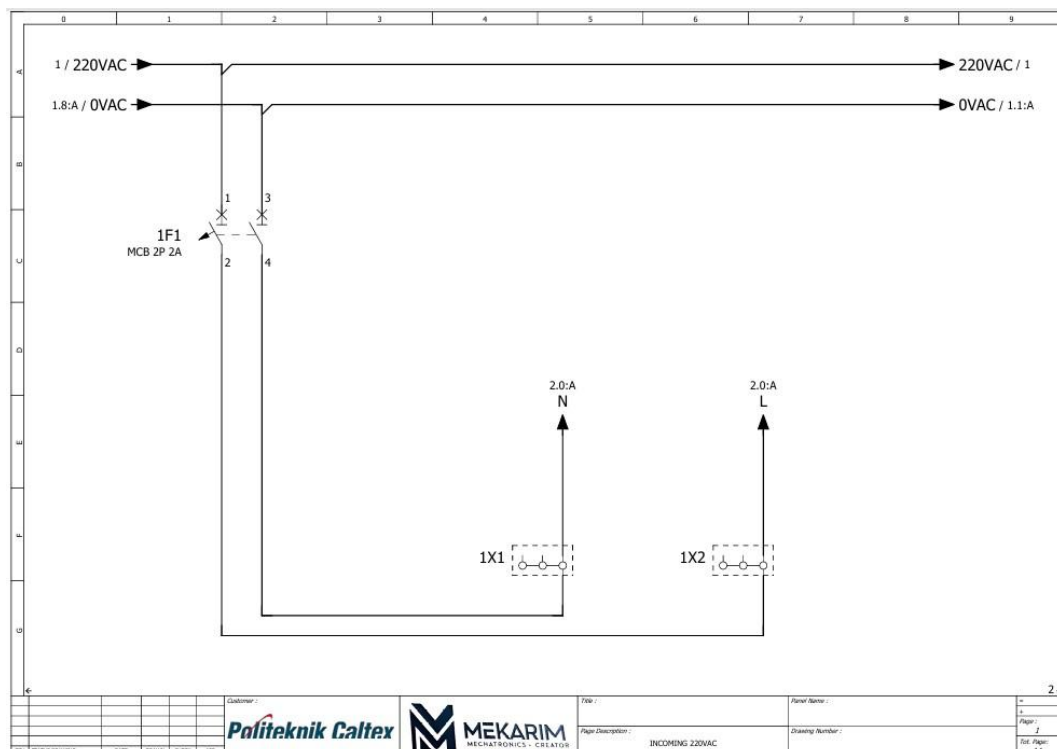
- | | | |
|-------------------------|-----------------------|------------------------|
| 1. Power Supply 13.5vdc | 8. Modul Relay 24vdc | 16. Ekspansi PLC |
| 2. Rotary Encorder | 10. Workpiece | 17. Power Supply 24vdc |
| 3. Valve vakum | 11. Cover Workpiece | 18. PLC |
| 4. Air Service Unit | 12. Terminal Analog | 19. MCB |
| 5. Motor Stepper | 13. End Workpiece | 20. HMI |
| 6. Robot Lengan LabVolt | 14. Terminal Digital | 21. Terminal Blok |
| 7. Modul Penguat | 15. Power Supply 5vdc | 22. Emergency Switch |



Gambar 3. 5 Dimensi Meja Kerja

3.3 Perancangan Elektronika

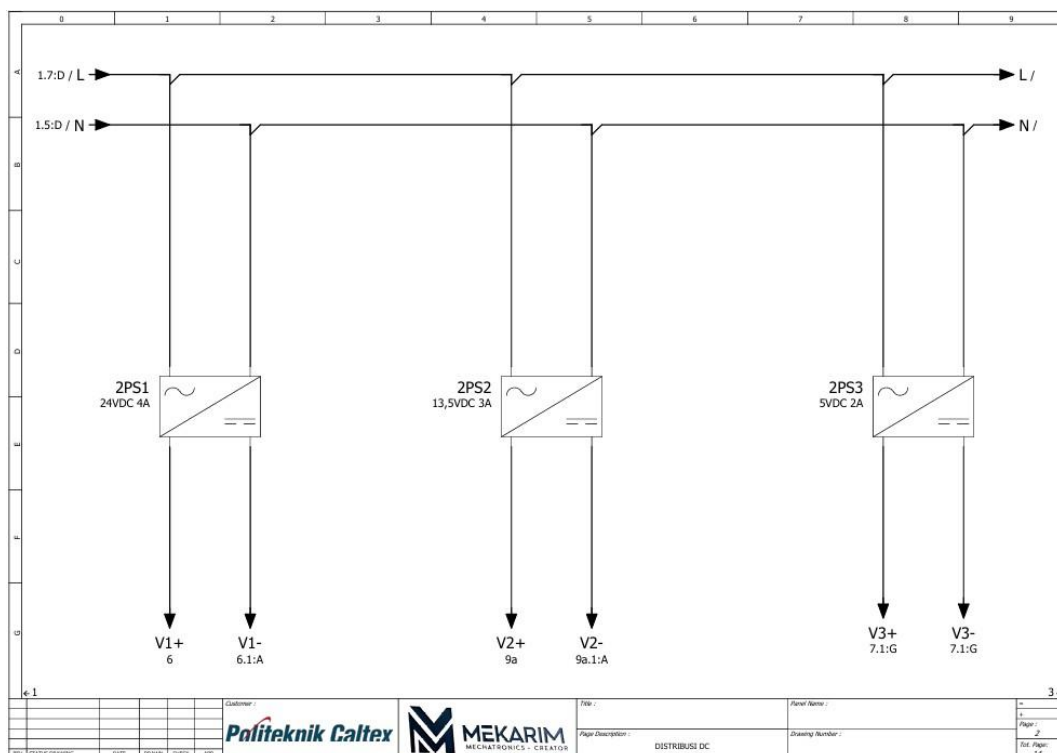
Rangkaian elektronika yang akan digunakan pada pengembangan sistem kendali robot lengan Lab Volt berbasis PLC dan HMI adalah PLC sebagai *controller* mendapat sinyal dari hmi dan sensor rotary dan akan memerintahkan motor stepper. *Wiring* kontrol pada sistem ini dirancang menggunakan *software* EPLAN P8. EPLAN merupakan *software* perancangan kelistrikan yang telah memiliki standar internasional dan secara luas digunakan dalam dunia otomasi industri. Dengan menggunakan EPLAN, rancangan *wiring* dapat dibuat lebih terstruktur, konsisten, serta sesuai dengan standar simbol kelistrikan yang berlaku. Hal ini memberikan kemudahan dalam proses dokumentasi dan analisis. Pada Gambar 3. 6 menunjukkan aliran listrik dari sumber ke panel. Listrik yang digunakan adalah tegangan 220 volt AC dengan dua kabel, yaitu fasa (L) dan netral (N). Kedua kabel tersebut masuk ke MCB 2 pole. Kabel fasa (L) masuk ke terminal 1X2, sedangkan kabel netral (N) masuk ke terminal 1X1. Dari kedua terminal ini listrik didistribusikan *power supply* nantinya.



Gambar 3. 6 Incoming 220VAC

Sementara itu , Gambar 3. 7 memperlihatkan tiga buah *power supply* yang digunakan untuk menghasilkan tegangan DC dengan nilai berbeda. Sumber listrik

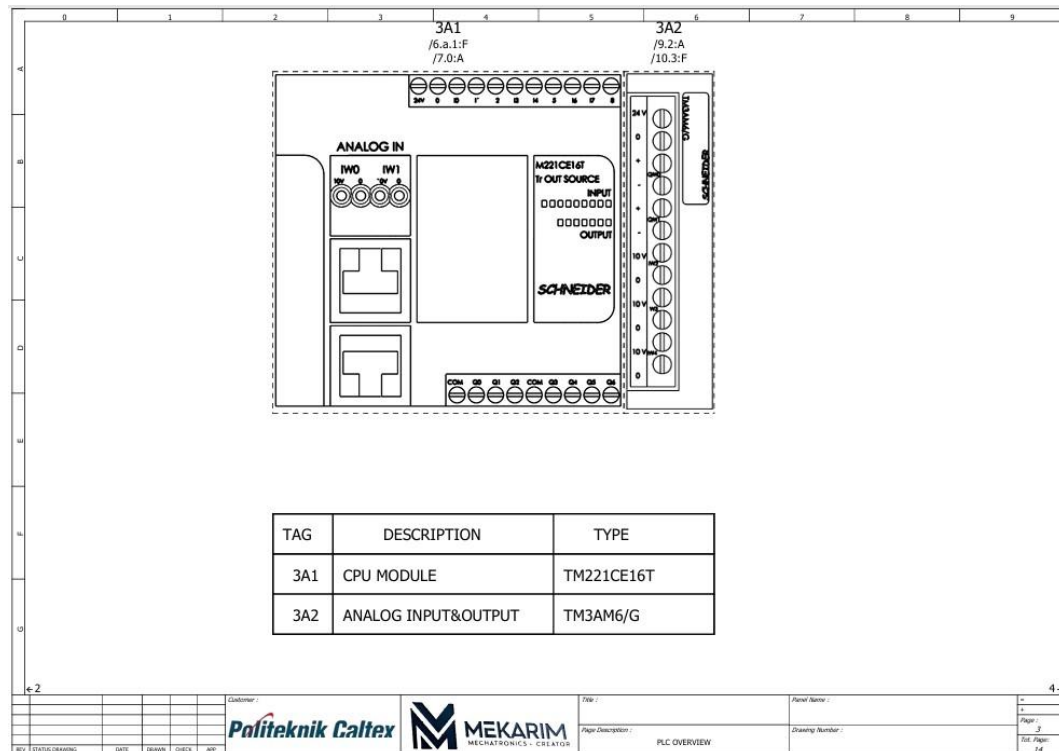
AC berasal dari jalur *phase* (L) dan *netral* (N) yang dibagikan ke masing-masing *power supply*. *Power supply* 2PS1 menghasilkan 24 VDC 4A dengan keluaran positif menuju terminal V1+ dan keluaran negatif menuju terminal V1-. *Power supply* 2PS2 menghasilkan 13,5 VDC 3A dengan keluaran positif menuju terminal V2+ dan keluaran negatif menuju terminal V2-. Sedangkan *power supply* 2PS3 menghasilkan 5 VDC 2A dengan keluaran positif menuju terminal V3+ dan keluaran negatif menuju terminal V3-. Ketiga *power supply* ini berfungsi untuk menyediakan suplai tegangan DC sesuai kebutuhan masing-masing rangkaian pada sistem.



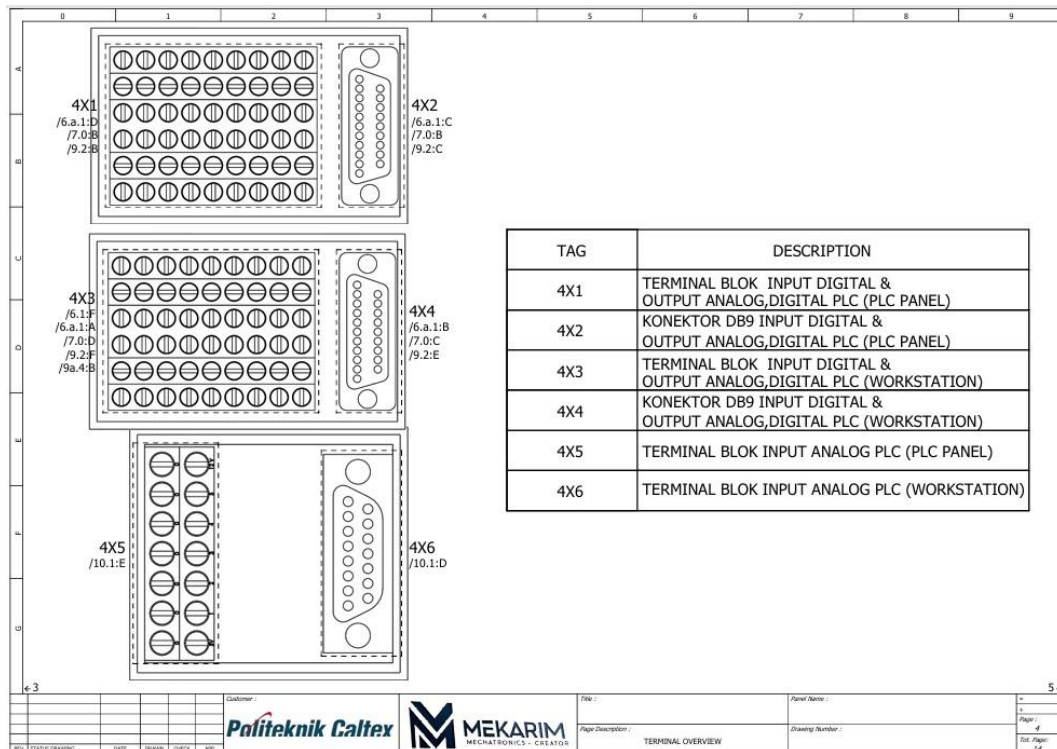
Gambar 3. 7 Distribusi Tegangan DC

Pada Gambar 3. 8 menunjukkan perangkat kendali utama yang digunakan pada sistem. PLC yang digunakan adalah *Schneider* TM221CE16T sebagai *CPU Module* (3A1) yang berfungsi untuk memproses logika program dan mengendalikan seluruh sistem. PLC ini dilengkapi dengan terminal *input* dan *output* digital serta *port* komunikasi. Pada sisi kanan PLC terpasang modul ekspansi analog TM3AM6/G (3A2) yang berfungsi sebagai analog *input* dan *output* untuk membaca sinyal analog dari sensor dan memberikan sinyal analog ke aktuator atau perangkat lain. Sementara itu, Gambar 3. 9 menunjukkan susunan terminal blok dan

konektor yang digunakan untuk menghubungkan *input* dan *output* PLC baik pada panel maupun *workstation*. Terminal 4X1 merupakan terminal blok untuk *input* digital dan *output* analog/digital PLC pada panel. 4X2 adalah konektor DB9 yang digunakan untuk menghubungkan *input* digital dan *output* analog/digital PLC pada panel. 4X3 merupakan terminal blok untuk *input* digital dan *output* analog/digital PLC pada *workstation*, sedangkan 4X4 adalah konektor DB9 untuk fungsi yang sama pada *workstation*. 4X5 merupakan terminal blok khusus untuk *input* analog PLC pada panel, dan 4X6 adalah terminal blok *input* analog PLC pada *workstation*. Susunan ini memudahkan proses pengkabelan, pemeliharaan, dan pemisahan antara jalur panel dengan *workstation*.

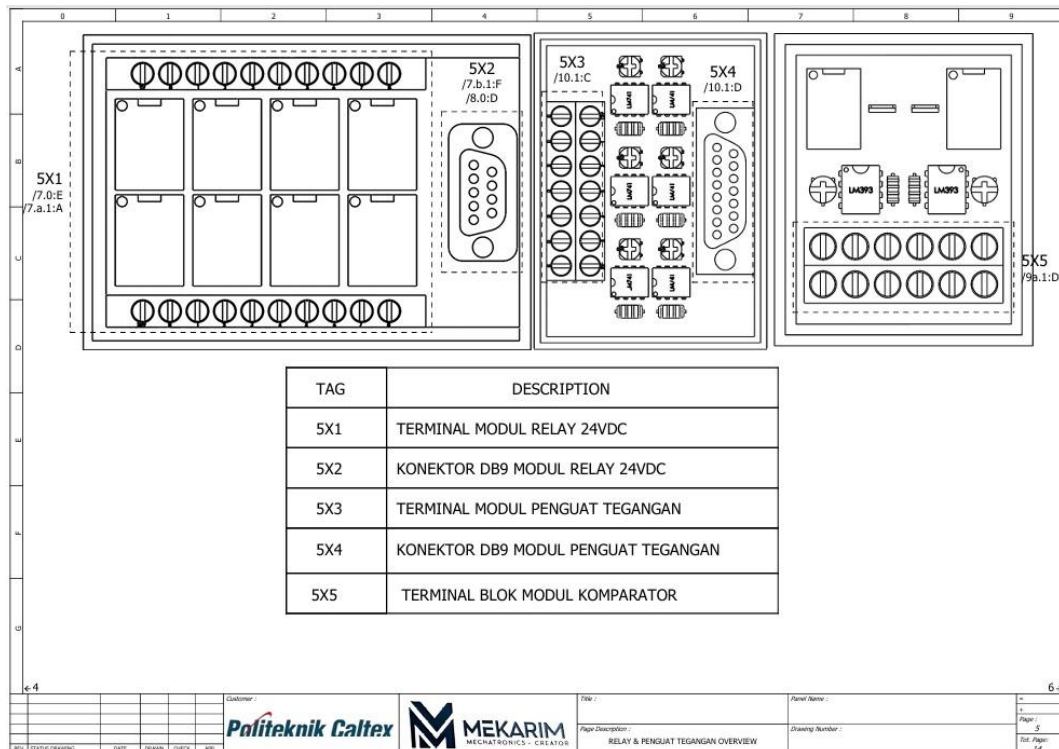


Gambar 3. 8 PLC Overview



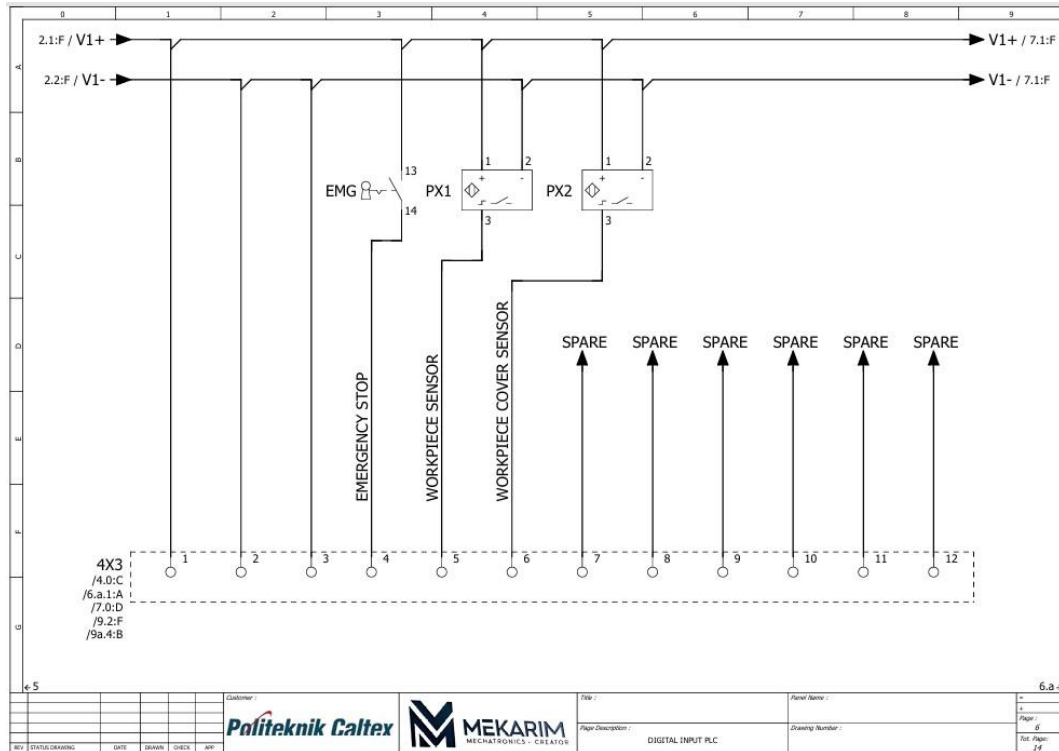
Gambar 3. 9 Terminal Overview

Pada Gambar 3. 10 memperlihatkan susunan terminal dan konektor pada beberapa modul yang digunakan dalam sistem. Terminal 5X1 merupakan terminal untuk modul relay 24 VDC yang berfungsi mengubah sinyal *output* 24 VDC dari PLC menjadi sinyal 5 VDC yang sesuai dengan kebutuhan kontrol robot lengan. 5X2 adalah konektor DB9 yang digunakan untuk menghubungkan sinyal kontrol ke modul relay 24 VDC. 5X3 merupakan terminal untuk modul penguat tegangan yang digunakan untuk meningkatkan *level* tegangan sinyal sensor *rotary encoder*. 5X4 adalah konektor DB15 untuk menghubungkan modul penguat tegangan dengan *workstation*. Terakhir 5X5 merupakan terminal blok untuk modul komparator yang berfungsi membandingkan dua sinyal dan menghasilkan sinyal logika sebagai *output*.

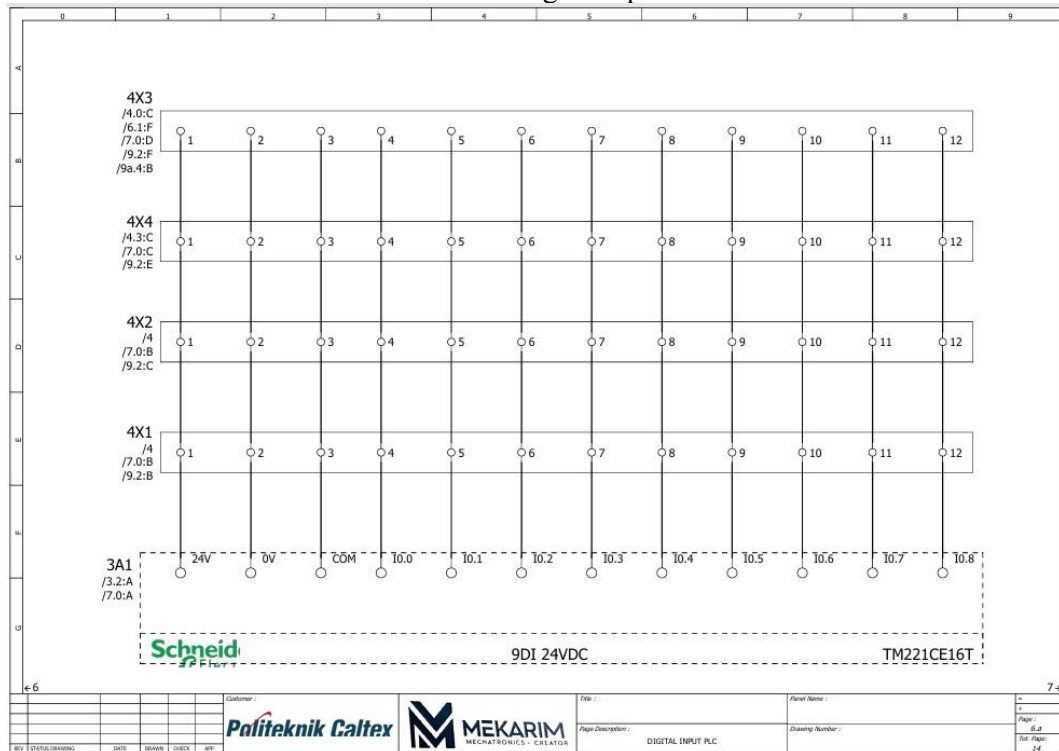


Gambar 3. 10 Relay & Penguat Tegangan Overview

Pada Gambar 3. 11 menunjukkan rangkaian *input digital* yang terhubung ke PLC melalui terminal blok 4X3. Sumber tegangan 24 VDC dari terminal V1+ dan V1- digunakan untuk memberi suplai pada perangkat *input*. Terdapat beberapa perangkat *input* utama, yaitu tombol *Emergency Stop* (EMG) untuk mematikan sistem secara darurat, sensor *workpiece* (PX1) untuk mendeteksi keberadaan benda kerja, dan sensor penutup *workpiece* (PX2) untuk mendeteksi posisi atau keberadaan penutup benda kerja. Selain itu tersedia beberapa jalur *spare* yang belum digunakan, sehingga dapat dimanfaatkan untuk penambahan *input* di kemudian hari. Sementara itu, Gambar 3. 12 memperlihatkan susunan terminal *input* digital pada PLC *Schneider* TM221CE16T yang memiliki 9 *input* 24 VDC. Terminal blok yang digunakan terdiri dari 4X1, 4X2, 4X3, dan 4X4. Sumber tegangan 24 VDC masuk melalui terminal 3A1 dengan pin 24V dan 0V sebagai suplai utama. Sinyal *input* masuk ke terminal PLC mulai dari I0.0 sampai I0.8, yang masing-masing terhubung ke perangkat seperti tombol, sensor, dan *emergency stop*. Penomoran terminal memudahkan proses instalasi nantinya.



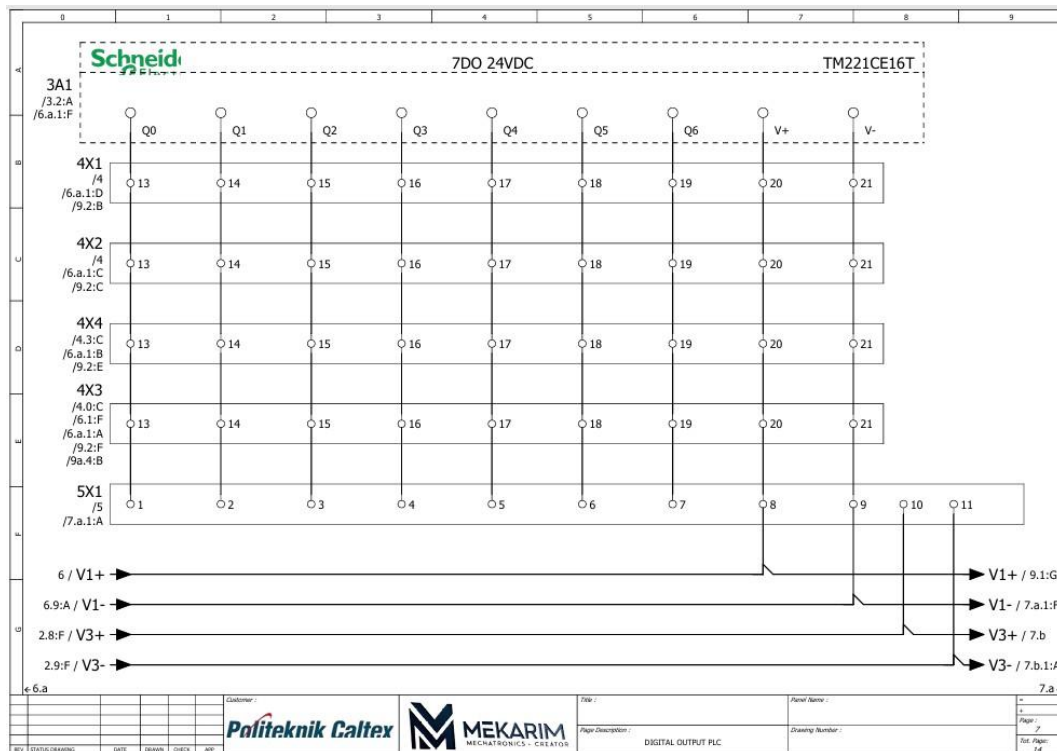
Gambar 3. 11 Digital Input PLC



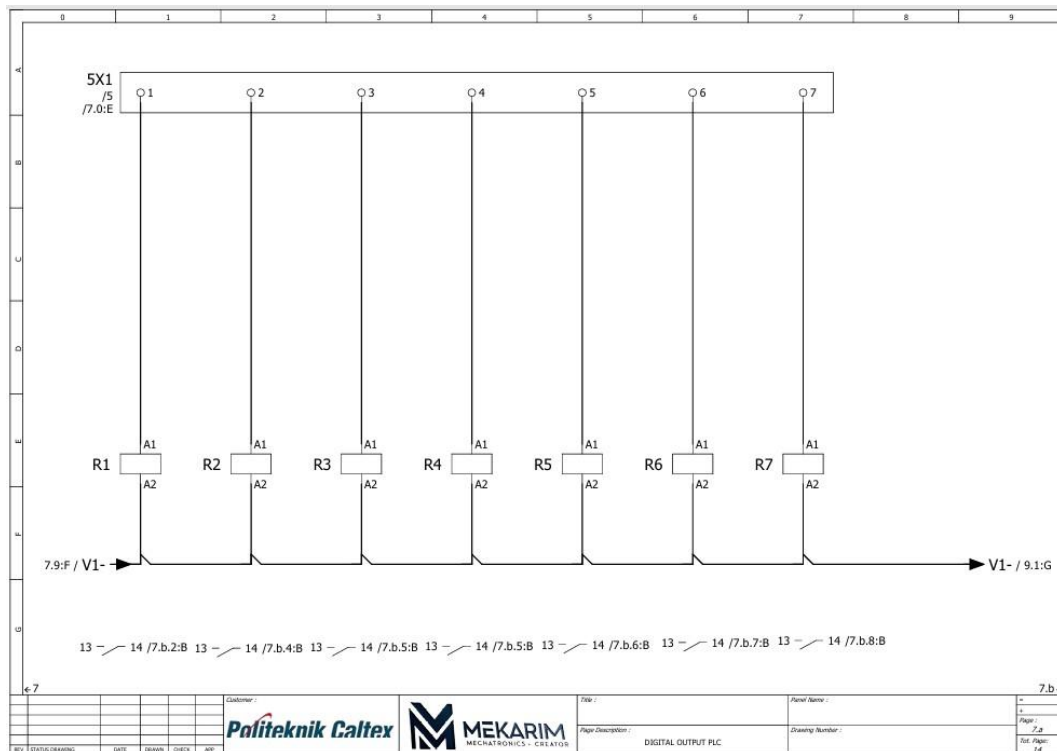
Gambar 3. 12 Digital Input PLC

Pada Gambar 3. 13 memperlihatkan konfigurasi terminal *output* digital pada PLC *Schneider* TM221CE16T yang memiliki 7 *output* transistor 24 VDC, yaitu Q0 hingga Q6. Setiap *output* terhubung ke terminal blok 4X1, 4X2, 4X3, 4X4, dan

5X1, yang mempermudah distribusi sinyal ke aktuator seperti relay, *solenoid valve*, atau *motor driver*. Terminal V+ dan V- menyediakan suplai 24 VDC untuk seluruh *output*. Pada bagian bawah gambar terdapat koneksi V1+, V1-, V3+, dan V3- yang menghubungkan suplai daya eksternal ke aktuator sesuai kebutuhan sistem. Sementara itu, Gambar 3. 14 menampilkan rangkaian *output digital* PLC yang terhubung ke tujuh buah relay DC 24V (R1 sampai R7). Masing-masing relay memiliki terminal kumparan A1 dan A2, di mana A1 terhubung ke *output* PLC dan A2 terhubung ke jalur V1- sebagai negatif. Relay ini digunakan sebagai perantara untuk mengubah sinyal *output* 24VDC dari PLC menjadi 5VDC yang dibutuhkan oleh sistem kendali robot lengan.



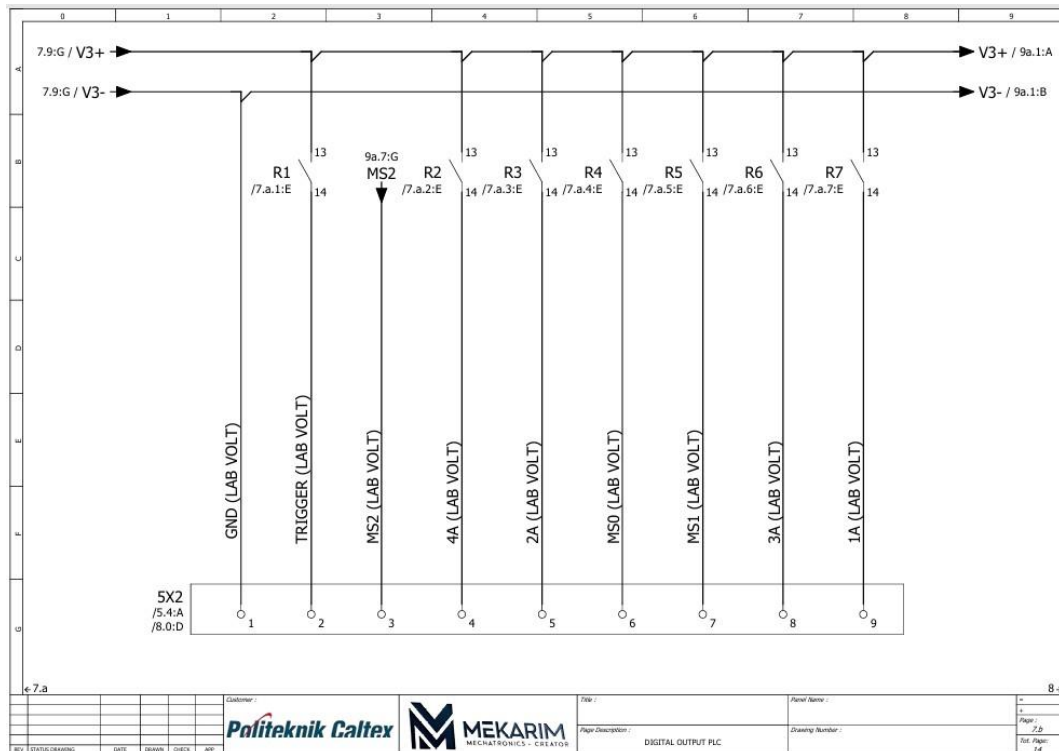
Gambar 3. 13 Digital Input PLC



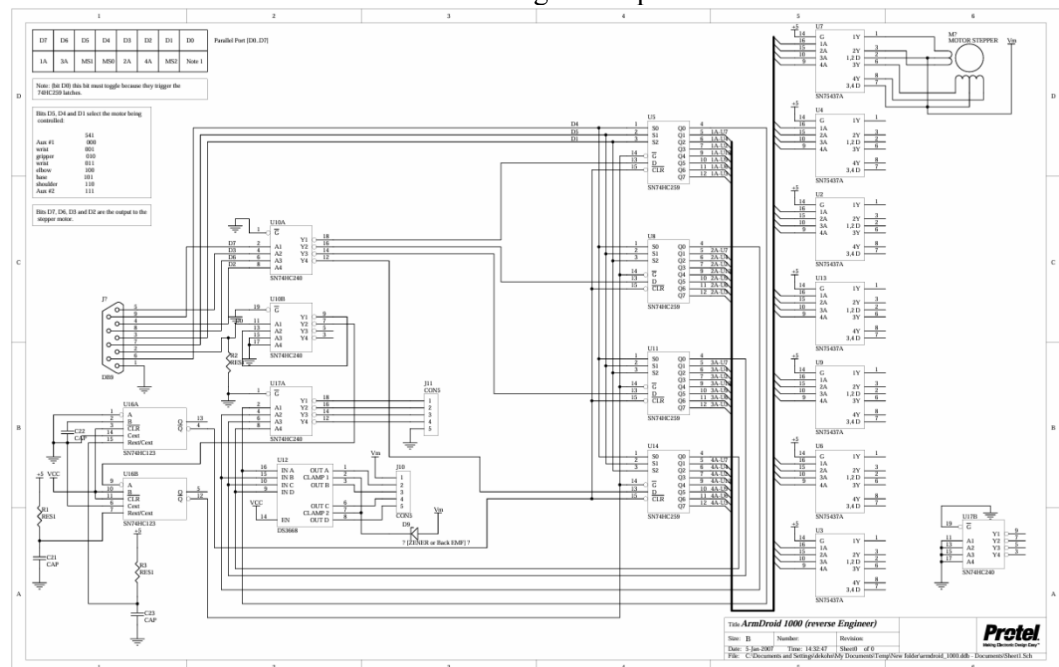
Gambar 3. 14 Digital Output PLC

Pada Gambar 3. 15 memperlihatkan konfigurasi pengkabelan antara *output* digital PLC *Schneider* TM221CE16T dengan rangkaian penggerak robot lengan *Lab-Volt* melalui tujuh buah relay 24 VDC (R1–R7). Setiap *output* PLC mengaktifkan kumparan relay melalui terminal A1 dan A2, sementara kontak NO relay digunakan untuk menghubungkan sumber tegangan 5 VDC (V3+) dan ground (V3–) menuju pin-pin kontrol robot lengan, yaitu GND, *TRIGGER*, MS2, 4A, 2A, MS0, MS1, 3A, dan 1A. Penggunaan relay ini berfungsi sebagai konverter *level* tegangan dari 24 VDC menjadi 5 VDC agar sinyal keluaran PLC aman dan sesuai dengan kebutuhan robot lengan. Dapat dilihat pada Gambar 3. 16 terdapat rangkaian *driver* berbasis IC SN75437ANE dan DS3668N yang digunakan untuk mengendalikan motor-motor pada robot *arm* Lab-Volt. Sinyal *input* berasal dari terminal blok 5X2 yang terhubung dengan PLC, kemudian diteruskan menuju IC *buffer* dan *driver* untuk memperkuat sinyal kontrol. IC SN75437ANE berfungsi sebagai penguat arus sekaligus pengendali arah gerakan motor, sementara IC DS3668N digunakan sebagai penggerak beban dengan keluaran *open-collector* yang sesuai untuk motor stepper. Dengan konfigurasi ini robot *arm* dapat menerima perintah dari PLC melalui *relay* 24 VDC yang telah dikonversi menjadi sinyal

logika 5 VDC, kemudian diterjemahkan oleh rangkaian *driver* menjadi gerakan aktual pada masing-masing motor stepper.



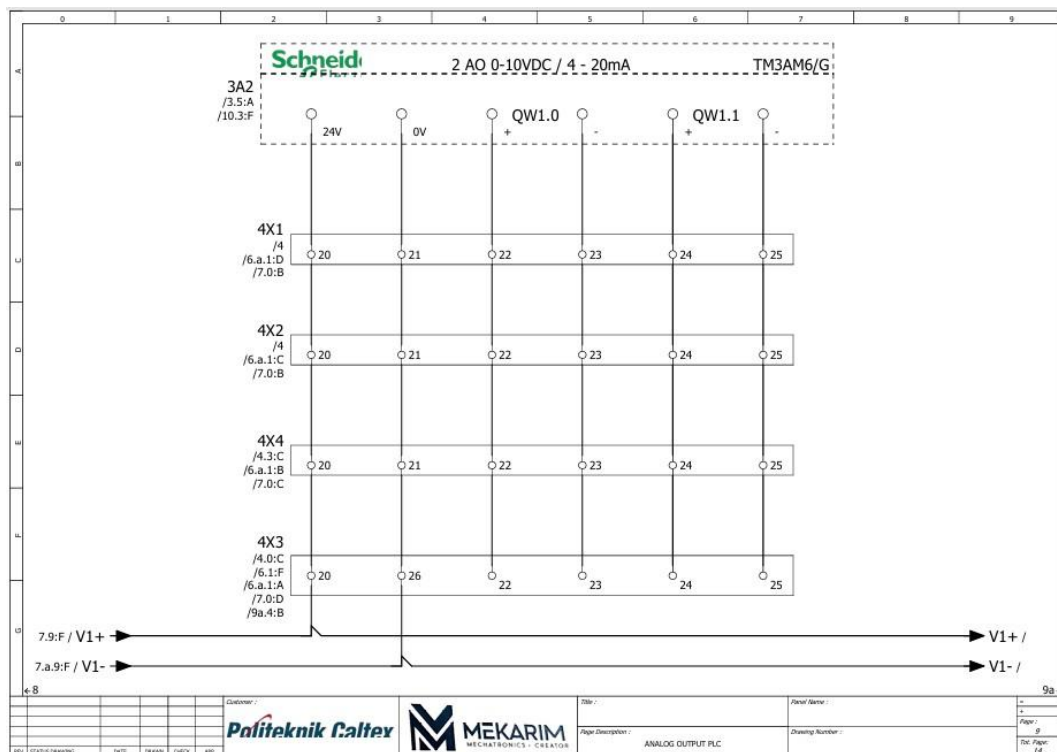
Gambar 3. 15 Digital Output PLC



Gambar 3. 16 Driver Motor Robot Lab-Volt

Pada Gambar 3. 17 memperlihatkan konfigurasi terminal blok analog *output* dari modul ekspansi TM3AM6/G yang terhubung ke PLC Schneider TM221CE16T. Modul ini memiliki dua *output* analog (QW1.0 dan QW1.1) dengan

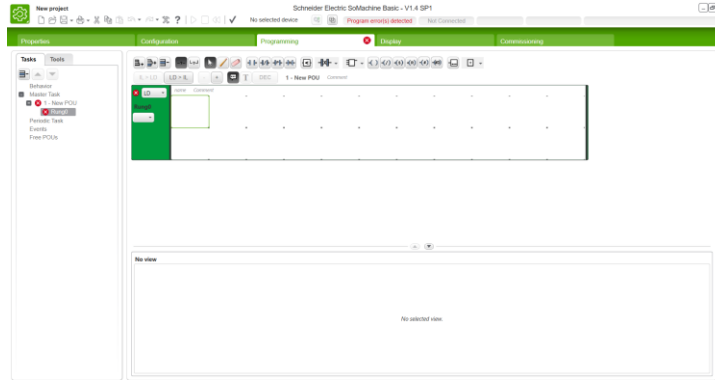
rentang sinyal 0–10 VDC. Terminal blok 4X1 hingga 4X4 digunakan untuk distribusi sinyal analog menuju *workstation*. Sementara itu, Gambar 3. 18 menunjukkan rangkaian analog *output* PLC yang menggunakan modul ekspansi TM3AM6/G. Keluaran analog ini didistribusikan melalui terminal konektor dan digunakan untuk mengendalikan pin MS2 pada robot *arm* Lab-Volt serta *vacuum gripper* melalui *solenoid valve*. Dan pada Gambar 3. 19 menunjukkan rangkaian analog *input* pada PLC Schneider TM221CE16T yang menggunakan modul ekspansi TM3AM6/G. Empat buah sensor *rotary encoder* (RE1, RE2, RE3, dan RE4) digunakan sebagai sumber sinyal analog dengan keluaran berupa tegangan 0–10V. Setiap *rotary encoder* dihubungkan melalui terminal blok (5X3, 5X4, 4X6, dan 4X5) yang kemudian diteruskan ke terminal *input* analog pada modul PLC (IW1.0, IW1.1, IW1.2, dan IW1.3). Dengan rangkaian tersebut PLC dapat membaca perubahan posisi atau perputaran dari *rotary encoder* dalam bentuk sinyal analog untuk diproses lebih lanjut pada program.



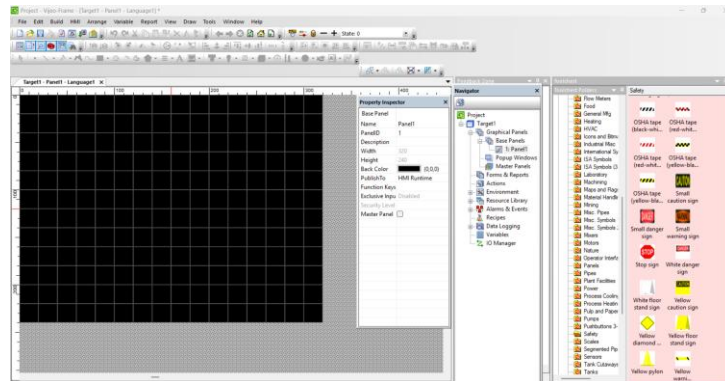
Gambar 3. 17 Analog Output PLC

3.4 Perancangan Program

Perancangan program dibuat menggunakan *software SoMachine Basic* dapat dilihat pada Gambar 3. 20 dengan diagram *ladder*. Selanjutnya untuk desain HMI menggunakan *software Vijeo Designer* dapat dilihat pada Gambar 3. 21.



Gambar 3. 20 Software SoMachine Basic



Gambar 3. 21 Software Vijeo Designer

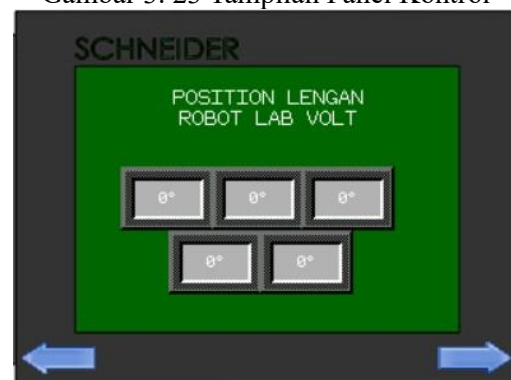
Desain HMI pada sistem ini bertujuan agar pengguna lebih mudah mengendalikan dan memantau robot lengan secara visual. Gambar 3. 22 menunjukkan tampilan awal HMI yang menampilkan bentuk keseluruhan dari robot lengan. Gambar 3. 23 menampilkan panel kontrol yang dilengkapi dengan tombol Start, Stop, Reset, serta lampu indikator yang menunjukkan status sistem. Selanjutnya, Gambar 3. 24 menampilkan informasi mengenai sudut posisi robot lengan, sehingga gerakan robot dapat diawasi secara langsung dan dalam waktu nyata. Gambar 3. 25 menampilkan pengatur manual yang memungkinkan pengguna mengontrol gerakan robot secara langsung untuk tujuan pengujian atau kalibrasi. Dan terakhir Gambar 3. 26 menampilkan animasi dari pergerakan robot *Lab Volt*.



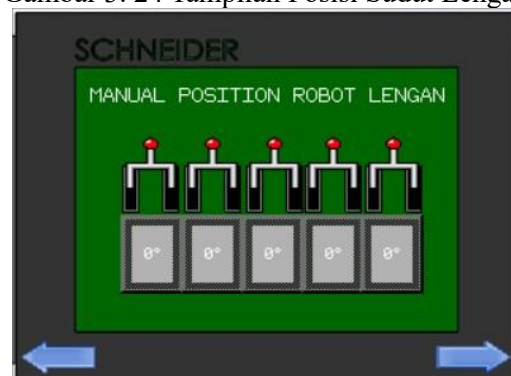
Gambar 3. 22 Tampilan Awal HMI



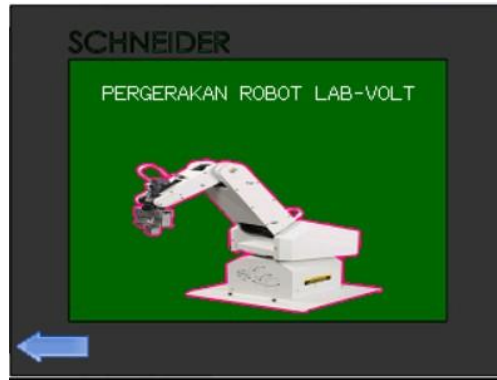
Gambar 3. 23 Tampilan Panel Kontrol



Gambar 3. 24 Tampilan Posisi Sudut Lengan



Gambar 3. 25 Tampilan Manual Posisi



Gambar 3. 26 Tampilan Pergerakan Robot

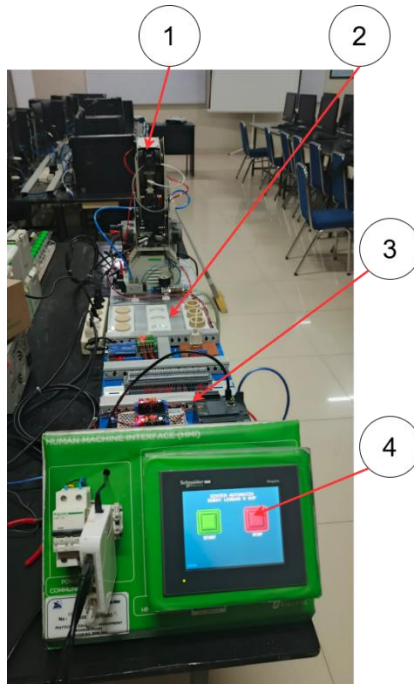
BAB 4

PENGUJIAN DAN ANALISIS

Proses pengujian dilakukan untuk memperoleh gambaran mengenai kinerja sistem kendali robot lengan Lab-Volt berbasis PLC dan HMI yang telah dikembangkan. Melalui pengujian ini dapat diamati kinerja setiap bagian sistem, mulai dari catu daya, PLC, interface kendali, HMI, hingga pergerakan robot lengan dalam menjalankan perintah yang diberikan. Selain itu, pengujian juga dilakukan untuk mengevaluasi proses pengembangan interface kendali robot sehingga diperoleh solusi yang mampu menghubungkan PLC dengan driver robot secara optimal. Data hasil pengujian yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam melakukan analisis untuk mengetahui tingkat keberhasilan sistem serta mengevaluasi kinerja setiap komponen yang telah diintegrasikan.

4.1 Hasil Realisasi Sistem

Hasil realisasi sistem merupakan implementasi dari perancangan yang telah dijelaskan pada Bab III. Pada tahap ini seluruh komponen sistem kendali robot lengan Lab-Volt berbasis PLC dan HMI telah direalisasikan, dirakit, serta dihubungkan sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Realisasi sistem dilakukan agar seluruh komponen dapat bekerja sebagai satu kesatuan sebelum dilakukan pengujian terhadap setiap bagian sistem. Sistem yang telah direalisasikan terdiri atas robot lengan Lab-Volt, panel kontrol, PLC Schneider TM221CE16T, Human Machine Interface (HMI), catu daya, rangkaian interface kendali, rotary encoder, serta perangkat pendukung lainnya. Hasil realisasi sistem secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 4. 1.



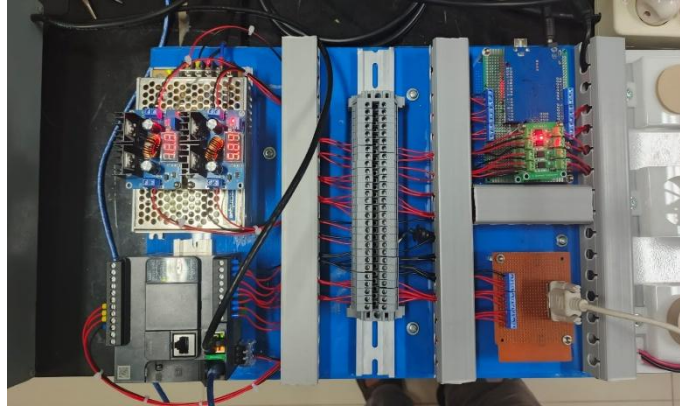
Gambar 4. 1 Sistem Robot Lengan Lab Volt

Gambar 4. 1 menunjukkan hasil realisasi sistem kendali robot lengan Lab-Volt berbasis PLC dan HMI yang telah selesai dirakit. Sistem terdiri atas robot lengan Lab-Volt, panel kontrol, Human Machine Interface (HMI), rotary encoder, serta komponen pendukung lainnya yang saling terhubung menjadi satu kesatuan. Seluruh komponen tersebut berfungsi untuk mendukung proses pengendalian robot, mulai dari pemberian perintah melalui HMI, pemrosesan sinyal oleh PLC, penerusan sinyal melalui rangkaian interface kendali, hingga robot lengan melakukan gerakan sesuai dengan program yang telah dirancang.

Berdasarkan Gambar 4. 1, komponen-komponen utama yang terdapat pada sistem kendali robot lengan adalah sebagai berikut.

1. Robot Lengan Lab-Volt, berfungsi sebagai aktuator utama yang melakukan gerakan sesuai dengan perintah yang diberikan oleh sistem kendali.
2. Area Kerja Robot, merupakan tempat robot melakukan proses pemindahan objek sesuai dengan program yang telah ditentukan.
3. Panel Kontrol, berfungsi sebagai tempat pemasangan komponen kelistrikan dan sistem kendali sehingga seluruh perangkat terhubung dalam satu panel.

4. Human Machine Interface (HMI), berfungsi sebagai media interaksi antara pengguna dengan sistem untuk memberikan perintah pengoperasian serta menampilkan informasi kondisi sistem.



Gambar 4. 2 Panel Kontrol

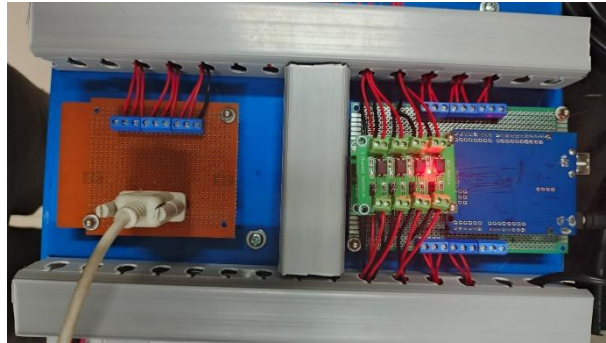
Gambar 4. 2 menunjukkan panel kontrol yang digunakan sebagai pusat kendali sistem robot lengan. Panel kontrol berfungsi sebagai tempat pemasangan komponen kelistrikan dan sistem kendali yang terdiri atas PLC Schneider TM221CE16T, Human Machine Interface (HMI), catu daya, Arduino Uno, modul optocoupler PC817, terminal penghubung, serta komponen pendukung lainnya. Seluruh komponen tersebut dirangkai dan dihubungkan sesuai dengan perancangan sehingga mampu mendukung proses komunikasi antara PLC, HMI, dan robot lengan selama sistem beroperasi.



Gambar 4. 3 Tampilan HMI

Gambar 4. 3 menunjukkan tampilan Human Machine Interface (HMI) yang digunakan sebagai media interaksi antara pengguna dengan sistem kendali robot lengan. Melalui HMI, pengguna dapat memberikan perintah pengoperasian robot, memilih mode kerja, serta memantau informasi yang ditampilkan oleh sistem. Tampilan HMI dirancang dengan antarmuka yang sederhana sehingga

memudahkan operator dalam mengoperasikan robot sesuai dengan kebutuhan proses.



Gambar 4. 4 Interface Kendali

Gambar 4. 4 menunjukkan rangkaian interface kendali yang digunakan sebagai media komunikasi antara PLC dan driver robot. Interface kendali terdiri atas modul optocoupler PC817 dan Arduino Uno yang berfungsi untuk menerima sinyal keluaran PLC, kemudian mengolah dan meneruskan sinyal tersebut agar sesuai dengan kebutuhan driver robot. Penggunaan rangkaian interface ini memungkinkan proses komunikasi antara PLC dan driver robot berlangsung dengan baik sehingga robot dapat menjalankan perintah sesuai dengan program yang telah dirancang.

4.2 Pengujian Pergerakan Manual Robot

4.2.1 Metode Pengujian

Pengujian pergerakan manual dilakukan untuk memperoleh nilai register (%MW) pada setiap sumbu robot yang akan digunakan sebagai acuan dalam pergerakan otomatis. Sebelum pengujian dilakukan, robot terlebih dahulu dikembalikan ke posisi awal (*home position*) menggunakan limit switch yang terpasang pada sumbu Base, Shoulder, dan Elbow. Selanjutnya robot digerakkan secara manual menuju setiap posisi target menggunakan tombol kendali pada Human Machine Interface (HMI).

Posisi yang diuji terdiri atas empat posisi, yaitu:

1. Posisi awal benda kerja.
2. Posisi awal tutup.
3. Posisi akhir benda kerja.

4. Posisi akhir tutup.

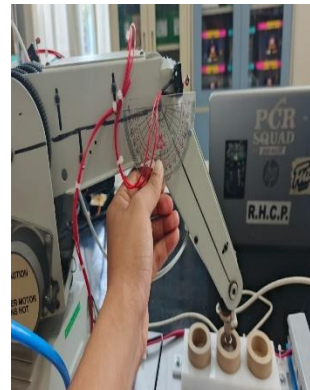
Pada setiap posisi dilakukan sebanyak lima kali percobaan. Setelah robot mencapai posisi target, nilai register (%MW) pada sumbu Base, Shoulder, dan Elbow dicatat. Nilai rata-rata hasil lima kali percobaan kemudian digunakan sebagai parameter posisi pada program PLC untuk pengujian pergerakan otomatis.

4.2.2 Hasil Pengujian

4.2.2.1 Posisi Awal Benda Kerja



Gambar 4. 5 Tampilan Nilai %MW pada posisi awal benda kerja



Gambar 4. 6 Robot pada posisi awal benda kerja

Gambar 4. 5 menampilkan layar HMI yang memvisualisasikan nilai register PLC (%MW) secara *real-time* untuk sendi *Base*, *Shoulder*, dan *Elbow* sebagai sinyal perintah gerak digital. Kesesuaian posisi fisik aktual robot terhadap perintah digital tersebut diperlihatkan pada Gambar 4. 6, di mana posisi sudut setiap sendi diukur langsung menggunakan busur derajat saat *end-effector* berada tepat di atas posisi awal benda kerja

Tabel 4. 1 Hasil pengujian manual posisi awal benda kerja

No	Nilai Register PLC dan Sudut Lengan						Status
	Base		Shoulder		Elbow		
	(%MW)	Sudut	(%MW)	Sudut	(%MW)	Sudut	
1	150	12°	833	8°	1337	131°	Berhasil
2	152	12°	842	9°	1318	131°	Berhasil
3	144	11°	858	8°	1311	130°	Berhasil
4	152	12°	867	8°	1304	132°	Berhasil
5	146	13°	862	9°	1304	131°	Berhasil
Rata2	149	12°	852	8°	1315	131°	-

Tingkat Keberhasilan= $5/5 \times 100\% = 100\%$

Tabel 4. 1 merupakan hasil lima kali pengujian pada posisi awal benda kerja, diperoleh nilai register %MW dan sudut pergerakan pada masing-masing sumbu robot yang relatif konsisten. Nilai rata-rata register %MW yang didapatkan adalah 149 dengan sudut 12° untuk sumbu Base, 852 dengan sudut 8° untuk sumbu Shoulder, dan 1315 dengan sudut 131° untuk sumbu Elbow. Nilai rata-rata register ini selanjutnya digunakan sebagai parameter posisi acuan pada program PLC, sedangkan nilai sudut digunakan sebagai target posisi pada pergerakan otomatis. Dari lima kali percobaan yang dilakukan, robot berhasil mencapai posisi target sebanyak 5 kali tanpa kegagalan, sehingga diperoleh tingkat keberhasilan pergerakan sebesar 100%.

4.2.2.2 Posisi Awal Tutup



Gambar 4. 7 Tampilan Nilai %MW pada posisi awal tutup



Gambar 4. 8 Robot pada posisi awal tutup

Gambar 4. 7 menampilkan layar HMI Magelis yang memvisualisasikan nilai register PLC (%MW) secara *real-time* untuk sendi *Base*, *Shoulder*, dan *Elbow* sebagai sinyal perintah gerak digital pada posisi awal tutup. Kesesuaian posisi fisik aktual robot terhadap perintah digital tersebut diperlihatkan pada Gambar 4. 8, di mana posisi sudut setiap sendi diukur langsung menggunakan busur derajat saat *end-effector* berada tepat di atas titik pengambilan tutup.

Tabel 4. 2 Hasil pengujian manual posisi awal tutup

No	Nilai Register PLC dan Sudut Lengan						Status
	Base		Shoulder		Elbow		
	(%MW)	Sudut	(%MW)	Sudut	(%MW)	Sudut	
1	-119	351°	854	5°	1292	134°	Berhasil

No	Nilai Register PLC dan Sudut Lengan						Status
	Base		Shoulder		Elbow		
	(%MW)	Sudut	(%MW)	Sudut	(%MW)	Sudut	
2	-120	351°	865	5°	1294	134°	Berhasil
3	-119	352°	868	6°	1278	133°	Berhasil
4	-122	351°	867	6°	1289	134°	Berhasil
5	-122	351°	851	5°	1295	134°	Berhasil
Rata2	-120	351°	861	5°	1290	133°	-

Tingkat Keberhasilan = $5/5 \times 100\% = 100\%$

Tabel 4. 2 merupakan hasil lima kali pengujian pada posisi awal tutup, diperoleh nilai register %MW dan sudut pergerakan pada masing-masing sumbu robot yang relatif konsisten. Nilai rata-rata register %MW yang didapatkan adalah -120 dengan sudut 351° untuk sumbu Base, 861 dengan sudut 5° untuk sumbu Shoulder, dan 1290 dengan sudut 133° untuk sumbu Elbow. Nilai rata-rata register ini selanjutnya digunakan sebagai parameter posisi dalam program PLC, sedangkan nilai sudut digunakan sebagai target posisi pada pergerakan otomatis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa robot berhasil mencapai posisi target sebanyak 5 kali dari lima kali percobaan sehingga diperoleh tingkat keberhasilan sebesar 100%.

4.2.2.3 Posisi Akhir Benda Kerja



Gambar 4. 9 Tampilan Nilai %MW pada posisi akhir benda kerja



Gambar 4. 10 Robot pada posisi akhir benda kerja

Gambar 4. 9 menampilkan layar HMI Magelis yang memvisualisasikan nilai register PLC (%MW) secara real-time untuk sendi Base, Shoulder, dan Elbow

sebagai sinyal perintah gerak digital pada posisi akhir benda kerja. Kesesuaian posisi fisik aktual robot terhadap perintah digital tersebut diperlihatkan pada Gambar 4. 10, di mana posisi sudut setiap sendi diukur langsung menggunakan busur derajat saat end-effector meletakkan benda kerja pada titik tujuan akhir.

Tabel 4. 3 Pengujian manual posisi akhir benda kerja

No	Nilai Register PLC dan Sudut Lengan						Status
	Base		Shoulder		Elbow		
	(%MW)	Sudut	(%MW)	Sudut	(%MW)	Sudut	
1	0	0°	826	10°	1370	120°	Berhasil
2	0	0°	821	10°	1364	119°	Berhasil
3	0	0°	823	10°	1363	119°	Berhasil
4	0	0°	840	11°	1417	124°	Berhasil
5	0	0°	812	9°	1373	120°	Berhasil
Rata2	0	0°	824	10°	1377	120°	-

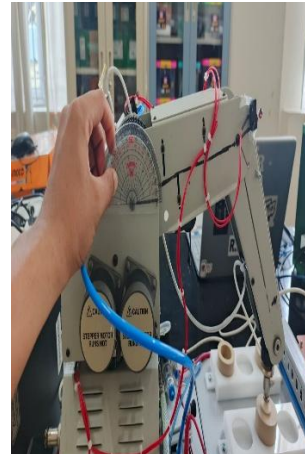
Tingkat Keberhasilan = $5/5 \times 100\% = 100\%$

Tabel 4. 3 merupakan hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai register %MW pada posisi akhir benda kerja diperoleh dari lima kali percobaan manual. Nilai rata-rata register %MW yang didapatkan adalah 0 dengan sudut 0° untuk sumbu Base, 824,4 dengan sudut 10° untuk sumbu Shoulder, dan 1377,4 dengan sudut 120,4° untuk sumbu Elbow. Nilai rata-rata register %MW tersebut digunakan sebagai acuan posisi pada program PLC, sedangkan nilai sudut digunakan sebagai target posisi pada pergerakan otomatis. Robot berhasil mencapai posisi target sebanyak 5 kali sehingga tingkat keberhasilan pengujian sebesar 100%.

4.2.2.4 Posisi Akhir Tutup



Gambar 4. 11 Tampilan Nilai %MW pada posisi akhir tutup



Gambar 4. 12 Robot pada posisi akhir tutup

Gambar 4. 11 menampilkan layar HMI Magelis yang memvisualisasikan nilai register PLC (%MW) secara real-time untuk sendi Base, Shoulder, dan Elbow sebagai sinyal perintah gerak digital pada posisi akhir tutup. Kesesuaian posisi fisik aktual robot terhadap perintah digital tersebut diperlihatkan pada Gambar 4. 12, di mana posisi sudut setiap sendi diukur langsung menggunakan busur derajat saat end-effector meletakkan tutup pada titik tujuan akhir.

Tabel 4. 4 Pengujian manual posisi akhir tutup

No	Nilai Register PLC dan Sudut Lengan						Status
	Base		Shoulder		Elbow		
	(%MW)	Sudut	(%MW)	Sudut	(%MW)	Sudut	
1	0	0°	758	4°	1365	112°	Berhasil
2	0	0°	765	4°	1376	113°	Berhasil
3	0	0°	777	5°	1366	112°	Berhasil
4	0	0°	786	5°	1369	112°	Berhasil
5	0	0°	787	5°	1366	112°	Berhasil
Rata2	0	0°	775	5°	1368	112°	-

Tingkat Keberhasilan = $5/5 \times 100\% = 100\%$

Tabel 4. 4 merupakan hasil lima kali pengujian pada posisi akhir tutup, diperoleh nilai register %MW dengan rata-rata 0 dengan sudut 0° untuk sumbu Base, 774,6 dengan sudut 5° untuk sumbu Shoulder, dan 1368,4 dengan sudut 112°

untuk sumbu Elbow. Nilai rata-rata register %MW tersebut digunakan sebagai parameter posisi pada program PLC, sedangkan nilai sudut digunakan sebagai target posisi pada pergerakan otomatis. Robot berhasil mencapai posisi target sebanyak 5 kali dari lima kali percobaan sehingga tingkat keberhasilan pengujian sebesar 100%.

4.2.3 Analisis

Berdasarkan hasil pengujian pergerakan manual pada empat posisi target, yaitu posisi awal benda kerja, posisi awal tutup, posisi akhir benda kerja, dan posisi akhir tutup, robot mampu mencapai seluruh posisi yang telah ditentukan dengan tingkat keberhasilan sebesar 100% pada masing-masing posisi. Hal ini menunjukkan bahwa sistem kendali manual melalui Human Machine Interface (HMI) dapat menggerakkan setiap sumbu robot menuju posisi target sesuai dengan perintah yang diberikan. Nilai rata-rata register %MW dan sudut yang diperoleh pada masing-masing posisi target bervariasi. Pada posisi awal benda kerja, didapatkan nilai Base sebesar 149 dengan sudut 12° , Shoulder sebesar 852 dengan sudut 8° , dan Elbow sebesar 1315 dengan sudut 131° . Pada posisi awal tutup, diperoleh nilai Base sebesar -120 dengan sudut 351° , Shoulder sebesar 861 dengan sudut 5° , dan Elbow sebesar 1290 dengan sudut 133° . Untuk posisi akhir benda kerja, diperoleh nilai Base sebesar 0 dengan sudut 0° , Shoulder sebesar 824,4 dengan sudut 10° , dan Elbow sebesar 1377,4 dengan sudut 120° . Sementara pada posisi akhir tutup, diperoleh nilai Base sebesar 0 dengan sudut 0° , Shoulder sebesar 774,6 dengan sudut 5° , dan Elbow sebesar 1368,4 dengan sudut 112° . Perbedaan nilai register %MW dan sudut pada sumbu Base, Shoulder, dan Elbow menggambarkan bahwa setiap posisi memiliki koordinat gerak yang berbeda sehingga diperlukan parameter yang berbeda sebagai acuan posisi robot. Selain itu, terdapat sedikit variasi nilai register %MW antarpercobaan pada posisi yang sama karena proses penentuan posisi dilakukan secara manual oleh operator, sehingga tingkat ketelitian dalam menghentikan robot tepat pada posisi target dapat sedikit bervariasi pada setiap percobaan. Meskipun demikian, robot tetap mampu mencapai posisi target pada seluruh pengujian dengan tingkat keberhasilan sebesar 100%. Berdasarkan hasil lima kali percobaan pada masing-masing posisi, nilai rata-rata register %MW yang diperoleh digunakan sebagai acuan posisi pada program PLC,

sedangkan nilai sudut digunakan sebagai target posisi pada pergerakan otomatis. Penggunaan nilai rata-rata ini mewakili hasil dari beberapa kali pengujian sehingga lebih sesuai dibandingkan menggunakan nilai dari satu kali percobaan. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa proses penentuan posisi secara manual telah berhasil menghasilkan parameter posisi yang dapat digunakan sebagai referensi pada pengujian pergerakan otomatis. Oleh karena itu, pengujian manual menjadi tahapan awal yang penting sebelum dilakukan pengujian pergerakan otomatis untuk memastikan robot dapat bergerak menuju posisi target sesuai dengan nilai register %MW dan sudut yang telah ditentukan.

4.3 Pengujian Pergerakan Otomatis

4.3.1 Metode Pengujian

Pengujian pergerakan otomatis dilakukan untuk mengetahui kemampuan robot dalam mencapai posisi target menggunakan parameter nilai register (%MW) yang diperoleh dari hasil pengujian pergerakan manual. Nilai rata-rata register (%MW) pada setiap posisi dimasukkan ke dalam program PLC sebagai parameter pergerakan otomatis. Sebelum pengujian dimulai, robot dikembalikan terlebih dahulu ke posisi awal (*home position*) menggunakan limit switch pada sumbu Base, Shoulder, dan Elbow. Selanjutnya sistem dijalankan dalam mode otomatis sehingga robot bergerak menuju posisi target sesuai dengan parameter yang telah diprogram. Setiap posisi target diuji sebanyak lima kali. Pada setiap percobaan dilakukan pengamatan terhadap posisi akhir robot. Apabila robot berhenti tepat pada posisi target, maka percobaan dinyatakan berhasil. Sebaliknya, apabila posisi akhir robot mengalami pergeseran dari posisi target, maka percobaan dinyatakan gagal. Besarnya pergeseran posisi diukur menggunakan penggaris busur.

Hasil pengukuran tersebut selanjutnya digunakan untuk mengetahui besarnya penyimpangan posisi robot terhadap posisi target. Penyimpangan posisi pada masing-masing sumbu dinyatakan dalam bentuk error sudut, yaitu selisih antara sudut target dan sudut aktual yang dicapai robot. Konsep penyimpangan posisi sudut (*angular positioning deviation*) digunakan untuk menunjukkan perbedaan antara posisi sudut yang diperintahkan dan posisi sudut aktual pada sumbu rotasi

robot (Cui & Ibaraki, 2024). Oleh karena itu error sudut pada pengujian ini dihitung menggunakan Persamaan (4.1):

$$E\theta = |\theta_{target} - \theta_{aktual}| \quad (4.1)$$

Keterangan :

$E\theta$ = error sudut ($^{\circ}$)

θ_{target} = sudut target ($^{\circ}$)

θ_{aktual} = sudut aktual yang dicapai robot ($^{\circ}$)

Setelah nilai error sudut diperoleh, nilai tersebut dinyatakan dalam bentuk persentase. Persentase error sudut pada penelitian ini dihitung menggunakan Persamaan (4.2):

$$Error(\%) = \frac{E\theta}{|\theta_{target} - \theta_{awal}|} \times 100\% \quad (4.2)$$

Keterangan :

$Error(\%)$ = persentase error (%)

$E\theta$ = error sudut ($^{\circ}$)

360° = rentang pengukuran penuh (*full scale*)

Selanjutnya, nilai akurasi ditentukan berdasarkan selisih antara nilai maksimum 100% dengan persentase error yang diperoleh. Persamaan akurasi yang digunakan adalah Persamaan (4.3):

$$Akurasi (\%) = 100\% - Error(\%) \quad (4.3)$$

Nilai akurasi tersebut kemudian digunakan sebagai parameter untuk mengevaluasi ketepatan robot dalam mencapai setiap posisi target pada pengujian pergerakan otomatis. Semakin kecil penyimpangan antara posisi target dan posisi aktual, maka nilai error semakin kecil sehingga nilai akurasi yang diperoleh semakin tinggi. Selain nilai akurasi, tingkat konsistensi dan presisi pergerakan otomatis robot dari lima kali percobaan pada masing-masing sumbu dievaluasi menggunakan standar deviasi sampel (S). Berdasarkan Montgomery & Runger (2021) standar deviasi sampel dihitung menggunakan Persamaan (4.4):

$$S = \sqrt{\frac{\sum(\theta_i - \bar{\theta})^2}{n - 1}} \quad (4.4)$$

Keterangan :

S = Standar deviasi (tingkat presisi pergerakan)

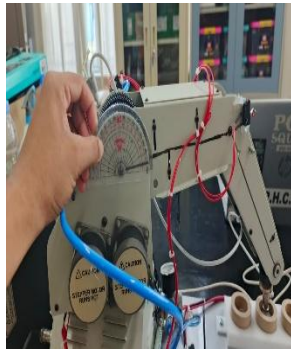
θ_i = Nilai sudut hasil pengujian ke – i ($^{\circ}$)

$\bar{\theta}$ = Nilai rata – rata sudut dari 5 kali percobaan ($^{\circ}$)

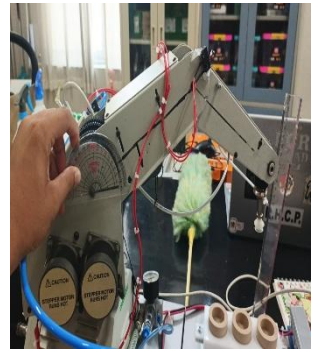
n = Jumlah percobaan

4.3.2 Hasil Pengujian

4.3.2.1 Posisi Awal Benda Kerja



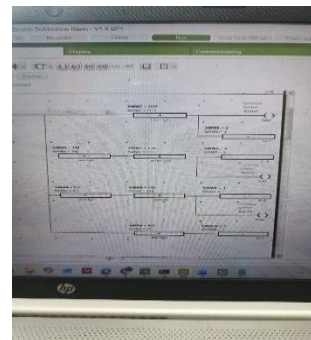
Gambar 4. 13 Posisi Target Awal Benda Kerja



Gambar 4. 14 Posisi Robot Pergerakan Otomatis Awal Benda Kerja



Gambar 4. 15 Tampilan Nilai %MW Pada HMI



Gambar 4. 16 Tampilan Nilai %MW pada Program PLC

Gambar 4. 13 memperlihatkan posisi target awal benda kerja yang ditentukan sebagai titik acuan pergerakan. Setelah sistem dijalankan, Gambar 4. 14 menunjukkan posisi robot setelah pergerakan otomatis mencapai target tersebut. Proses pergerakan otomatis ini didukung oleh pemrosesan data register pada kontroler, di mana Gambar 4. 15 menampilkan nilai %MW pada HMI secara real-

time, dan Gambar 4. 16 menampilkan nilai %MW pada program PLC sebagai bentuk sinkronisasi data antarperangkat kontrol.

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Otomatis Posisi Awal Benda Kerja

Sumbu	Target	aktual					Rata rata	Error (%)	Standar Deviasi
		1	2	3	4	5			
Base	12°	11°	12°	32°	28°	39°	24,4°	103,33%	12,42°
Shoulder	8°	24°	45°	8°	50°	41°	33,6°	320%	15,5°
Elbow	131°	132°	122°	119°	131°	120°	124,8°	4,73%	6,22°
Pergeseran End Effector (cm)	0	13,1	14,5	10,8	16,2	15,4	14	-	2,13
Hasil Keseluruhan								142,58%	

Tingkat Keberhasilan = $0/5 \times 100\% = 0\%$

$$E\theta = |\theta_{target} - \theta_{aktual}|$$

$$E\theta = |12^\circ - 24,4^\circ| = 12,4^\circ$$

$$Error(\%) = \frac{E\theta}{|\theta_{target} - \theta_{awal}|} \times 100\%$$

$$Error(\%) = \frac{12,4^\circ}{12^\circ - 0^\circ} \times 100\% = 103,33\%$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum(\theta_i - \bar{\theta})^2}{n - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{(\theta_1 - \bar{\theta})^2 + (\theta_2 - \bar{\theta})^2 + (\theta_3 - \bar{\theta})^2 + (\theta_4 - \bar{\theta})^2 + (\theta_5 - \bar{\theta})^2}{n - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{(11 - 24,4)^2 + (12 - 24,4)^2 + (32 - 24,4)^2 + (28 - 24,4)^2 + (39 - 24,4)^2}{5 - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{179,56 + 153,76 + 57,76 + 12,96 + 213,16}{5 - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{617,2}{4}} = \sqrt{154,3} = 12,42^\circ$$

Tabel 4. 5 merupakan hasil lima kali pengujian, robot belum mampu mencapai posisi benda kerja sesuai dengan parameter register (%MW) yang diprogram pada PLC. Meskipun nilai program yang digunakan sama dengan pengujian manual, posisi fisik akhir robot tetap mengalami pergeseran sudut dari target pada ketiga sumbunya. Perhitungan menggunakan metode persentase kesalahan relatif pergerakan menunjukkan bahwa persentase error keseluruhan robot berada pada nilai 142,58%. Nilai error ini secara langsung mencerminkan kondisi fisik yang sebenarnya, di mana tingkat kepresisian robot sangat rendah akibat deviasi yang besar pada sumbu Base (standar deviasi 12,42°) dengan error sebesar 103% dan sumbu Shoulder (standar deviasi 15,5°) dengan error mencapai 320%. Akumulasi penyimpangan sudut pada ketiga sendi tersebut berdampak langsung pada ujung lengan robot, menghasilkan rata-rata pergeseran End-Effector sebesar 14 cm dari posisi sasaran dengan standar deviasi sebesar 2,13 cm. Ditinjau dari kecenderungan nilai sudut aktual sumbu Base rata-rata 24,4° dari target 12° dan sumbu Shoulder rata-rata 33,6° dari target 8° yang selalu melebihi target, arah pergeseran fisik end-effector ini secara dominan menyimpang ke arah samping atas (sumbu +Y dan sumbu +Z). Pergerakan yang tidak stabil dan selalu berubah-ubah di setiap pengulangan dengan pergeseran fisik terbesar mencapai 16,2 cm menyebabkan ujung gripper selalu meleset dari benda kerja, sehingga tingkat keberhasilan pengujian pada posisi ini adalah 0%.

4.3.2.2 Posisi Awal Tutup



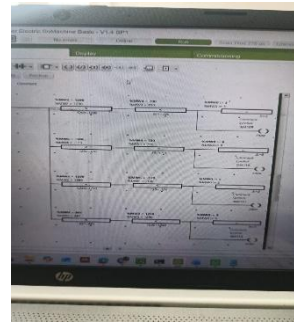
Gambar 4. 17 Posisi Target Awal Tutup



Gambar 4. 18 Posisi Robot Pergerakan Otomatis Awal Tutup



Gambar 4. 19 Tampilan Nilai %MW Pada HMI



Gambar 4. 20 Tampilan Nilai %MW pada Program PLC

Gambar 4. 17 memperlihatkan posisi target awal tutup yang ditentukan sebagai titik acuan pergerakan. Setelah sistem dijalankan, Gambar 4. 18 menunjukkan posisi robot setelah pergerakan otomatis mencapai target tersebut. Proses pergerakan otomatis ini didukung oleh pemrosesan data register pada kontroler, di mana Gambar 4. 19 menampilkan nilai %MW pada HMI secara real-time, dan Gambar 4. 20 menampilkan nilai %MW pada program PLC sebagai bentuk sinkronisasi data antarperangkat kontrol.

Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Otomatis Posisi Awal Tutup

Sumbu	Target	aktual					Rata rata	Error (%)	Standar Deviasi
		1	2	3	4	5			
Base	-9°	-9°	-12°	-32°	-25°	-38°	-23°	155,56%	12,52°
Shoulder	5°	18°	8°	5°	22°	14°	13,4°	168%	6,99°
Elbow	133°	102°	125°	98°	146°	108°	113,2°	85,11%	19,78°
Pergeseran End Effector (cm)	0	10,3	5,8	12,6	11,5	12,8	10,6	-	2,86
Hasil Keseluruhan								136,22	

Tingkat Keberhasilan = $0/5 \times 100\% = 0\%$

$$E\theta = |\theta_{target} - \theta_{aktual}|$$

$$E\theta = |-23,2^\circ - (-9^\circ)| = -14,2^\circ$$

$$Error(\%) = \frac{E\theta}{|\theta_{target} - \theta_{awal}|} \times 100\%$$

$$Error(\%) = \frac{14^\circ}{-9 - 0^\circ} \times 100\% = 155,56\%$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum(\theta_i - \bar{\theta})^2}{n - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{(\theta_1 - \bar{\theta})^2 + (\theta_2 - \bar{\theta})^2 + (\theta_3 - \bar{\theta})^2 + (\theta_4 - \bar{\theta})^2 + (\theta_5 - \bar{\theta})^2}{n - 1}}$$

$$S$$

$$= \sqrt{\frac{(-9 - (-23,2))^2 + (-12 - (-23,2))^2 + (-32 - (-23,2))^2 + (-25 - (-23,2))^2 + (-38 - (-23,2))^2}{5 - 1}}$$

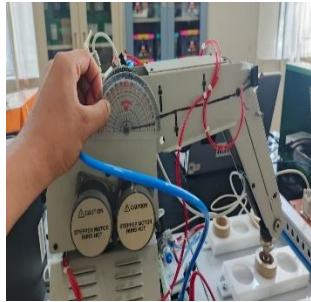
$$S = \sqrt{\frac{201,64 + 125,44 + 77,44 + 3,24 + 219,04}{5 - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{626,8}{4}} = \sqrt{156,7} = 12,52^\circ$$

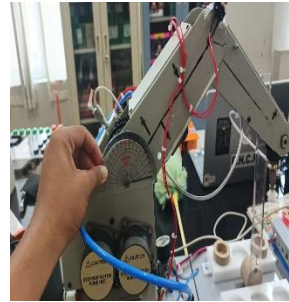
Tabel 4. 6 merupakan hasil lima kali pengujian, robot belum mampu mencapai posisi benda kerja sesuai dengan parameter register (%MW) yang diprogram pada PLC. Meskipun nilai program yang digunakan sama dengan pengujian manual, posisi fisik akhir robot tetap mengalami pergeseran sudut dari target pada ketiga sumbunya. Perhitungan menggunakan metode persentase kesalahan relatif pergerakan menunjukkan bahwa persentase error keseluruhan robot berada pada nilai 60,35%. Nilai error ini secara langsung mencerminkan kondisi fisik yang sebenarnya, di mana tingkat kepresisian robot sangat rendah akibat deviasi yang besar pada sumbu Elbow (standar deviasi 19,78°) dengan error 85,11%, serta sumbu Base (standar deviasi 12,52°) dengan error 155,56% dan sumbu Shoulder (standar deviasi 6,99°) dengan error mencapai 168,00%. Akumulasi penyimpangan sudut pada ketiga sendi tersebut berdampak langsung pada ujung lengan robot, menghasilkan rata-rata pergeseran End-Effector sebesar 10,60 cm dari posisi sasaran dengan standar deviasi sebesar 2,86 cm. Ditinjau dari kecenderungan nilai sudut aktual sumbu Base rata-rata -23° (setara 337°) dari target -9° (setara 351°) yang kurang dari target dan sumbu Shoulder rata-rata 13,4° dari target 5° yang melebihi target, arah pergeseran fisik end-effector ini secara dominan

menyimpang ke arah samping-atas (sumbu -Y dan sumbu +Z). Pergerakan yang tidak stabil dan selalu berubah-ubah di setiap pengulangan dengan pergeseran fisik terbesar mencapai 12,8 cm menyebabkan ujung gripper selalu meleset dari benda kerja, sehingga tingkat keberhasilan pengujian pada posisi ini adalah 0%.

4.3.2.3 Posisi Akhir Benda Kerja



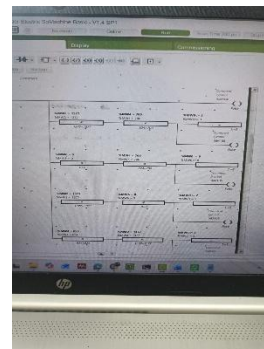
Gambar 4. 21 Posisi Target Akhir Benda Kerja



Gambar 4. 22 Posisi Robot Pergerakan Otomatis Akhir Benda Kerja



Gambar 4. 23 Tampilan Nilai %MW Pada HMI



Gambar 4. 24 Tampilan Nilai %MW pada Program PLC

Gambar 4. 21 memperlihatkan posisi target akhir benda kerja yang ditentukan sebagai titik acuan pergerakan. Setelah sistem dijalankan, Gambar 4. 22 menunjukkan posisi robot setelah pergerakan otomatis mencapai target tersebut. Proses pergerakan otomatis ini didukung oleh pemrosesan data register pada kontroler, di mana Gambar 4. 23 menampilkan nilai %MW pada HMI secara real-time, dan Gambar 4. 24 menampilkan nilai %MW pada program PLC sebagai bentuk sinkronisasi data antarperangkat kontrol.

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Otomatis Posisi Akhir Benda Kerja

Sumbu	Target	aktual					Rata rata	Error (%)	Standar Deviasi
		1	2	3	4	5			
Base	0°	2°	0°	18°	12°	24°	11,2°	93,33%	10,26°
Shoulder	10°	39°	25°	10°	31°	21°	25,2°	83%	10,87°
Elbow	120°	104°	115°	111°	120°	108°	111,6°	76,36%	6,19°
Pergeseran End Effector (cm)	0	14,2	8,5	11,2	13,8	15,3	12,6	-	2,74
Hasil Keseluruhan								84,23%	

Tingkat Keberhasilan = $0/5 \times 100\% = 0\%$

$$E\theta = |\theta_{target} - \theta_{aktual}|$$

$$E\theta = |120^\circ - 111,6^\circ| = 8,4^\circ$$

$$Error(\%) = \frac{E\theta}{|\theta_{target} - \theta_{awal}|} \times 100\%$$

$$Error(\%) = \frac{8,4^\circ}{120^\circ - 131^\circ} \times 100\% = 76,36\%$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum(\theta_i - \bar{\theta})^2}{n - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{(\theta_1 - \bar{\theta})^2 + (\theta_2 - \bar{\theta})^2 + (\theta_3 - \bar{\theta})^2 + (\theta_4 - \bar{\theta})^2 + (\theta_5 - \bar{\theta})^2}{n - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{(2 - 11,2)^2 + (0 - 11,2)^2 + (18 - 11,2)^2 + (12 - 11,2)^2 + (24 - 11,2)^2}{5 - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{84,64 + 125,44 + 46,24 + 0,64 + 163,84}{5 - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{420,8}{4}} = \sqrt{105,2} = 10,26^\circ$$

Tabel 4. 7 merupakan hasil lima kali pengujian, robot belum mampu mencapai posisi benda kerja sesuai dengan parameter register (%MW) yang diprogram pada PLC. Meskipun nilai program yang digunakan sama dengan pengujian manual, posisi fisik akhir robot tetap mengalami pergeseran sudut dari target pada ketiga sumbunya. Perhitungan menggunakan metode persentase kesalahan relatif pergerakan menunjukkan bahwa persentase error keseluruhan robot berada pada nilai 84,23%. Nilai error ini secara langsung mencerminkan kondisi fisik yang sebenarnya, di mana tingkat kepresisian robot sangat rendah akibat deviasi yang besar pada sumbu Shoulder (standar deviasi $10,87^\circ$) dengan error 83% dan sumbu Base (standar deviasi $10,26^\circ$) dengan error mencapai 93,33%, serta sumbu Elbow (standar deviasi $6,19^\circ$) dengan error 76,36%. Akumulasi penyimpangan sudut pada ketiga sendi tersebut berdampak langsung pada ujung lengan robot, menghasilkan rata-rata pergeseran End-Effector sebesar 12,60 cm dari posisi sasaran dengan standar deviasi sebesar 2,74 cm. Ditinjau dari kecenderungan nilai sudut aktual sumbu Base rata-rata $11,2^\circ$ dari target 0° dan sumbu Shoulder rata-rata $25,2^\circ$ dari target 10° yang selalu melebihi target, arah pergeseran fisik end-effector ini secara dominan menyimpang ke arah samping atas (sumbu +Y dan sumbu +Z). Pergerakan yang tidak stabil dan selalu berubah-ubah di setiap pengulangan dengan pergeseran fisik terbesar mencapai 15,3 cm menyebabkan ujung gripper selalu meleset dari benda kerja, sehingga tingkat keberhasilan pengujian pada posisi ini adalah 0%.

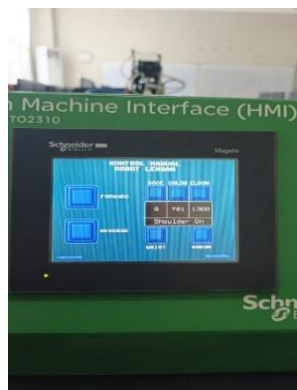
4.3.2.4 Posisi Akhir Tutup



Gambar 4. 25 Posisi Target Akhir Tutup



Gambar 4. 26 Posisi Robot Pergerakan Otomatis Akhir Tutup



Gambar 4. 27 Tampilan Nilai %MW Pada HMI



Gambar 4. 28 Tampilan Nilai %MW pada Program PLC

Gambar 4. 25 memperlihatkan posisi target akhir tutup yang ditentukan sebagai titik acuan pergerakan. Setelah sistem dijalankan, Gambar 4. 26 menunjukkan posisi robot setelah pergerakan otomatis mencapai target tersebut. Proses pergerakan otomatis ini didukung oleh pemrosesan data register pada kontroler, di mana Gambar 4. 27 menampilkan nilai %MW pada HMI secara real-time, dan Gambar 4. 28 menampilkan nilai %MW pada program PLC sebagai bentuk sinkronisasi data antarperangkat kontrol.

Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Otomatis Posisi Akhir Tutup

Sumbu	Target	aktual					Rata rata	Error (%)	Standar Deviasi
		1	2	3	4	5			
Base	0°	1°	0°	16°	10°	22°	9,8°	108,89%	9,5°
Shoulder	5°	38°	22°	5°	28°	17°	22°	117,4%	12,31°
Elbow	112°	107°	102°	98°	112°	105°	104,8°	34,29%	5,26°

Sumbu	Target	aktual					Rata rata	Error (%)	Standar Deviasi
		1	2	3	4	5			
Pergeseran (cm)	0	11,5	7,6	10,8	12,4	13,7	11,2	-	2,29
Hasil Keseluruhan								86,86%	

Tingkat Keberhasilan = $0/5 \times 100\% = 0\%$

$$E\theta = |\theta_{target} - \theta_{aktual}|$$

$$E\theta = |112^\circ - 104,8^\circ| = 7,2^\circ$$

$$Error(\%) = \frac{E\theta}{|\theta_{target} - \theta_{awal}|} \times 100\%$$

$$Error(\%) = \frac{7,2^\circ}{112^\circ - 133} \times 100\% = 34,29\%$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum(\theta_i - \bar{\theta})^2}{n - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{(\theta_1 - \bar{\theta})^2 + (\theta_2 - \bar{\theta})^2 + (\theta_3 - \bar{\theta})^2 + (\theta_4 - \bar{\theta})^2 + (\theta_5 - \bar{\theta})^2}{n - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{(1 - 9,8)^2 + (0 - 9,8)^2 + (16 - 9,8)^2 + (10 - 9,8)^2 + (22 - 9,8)^2}{5 - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{77,64 + 96,04 + 38,44 + 0,04 + 148,84}{5 - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{360,8}{4}} = \sqrt{90,2} = 9,5^\circ$$

Tabel 4. 8 merupakan hasil lima kali pengujian, robot belum mampu mencapai posisi benda kerja sesuai dengan parameter register (%MW) yang diprogram pada PLC. Meskipun nilai program yang digunakan sama dengan pengujian manual, posisi fisik akhir robot tetap mengalami pergeseran sudut dari target pada ketiga sumbunya. Perhitungan menggunakan metode persentase

kesalahan relatif pergerakan menunjukkan bahwa persentase error keseluruhan robot berada pada nilai 84,23%. Nilai error ini secara langsung mencerminkan kondisi fisik yang sebenarnya, di mana tingkat kepresisian robot sangat rendah akibat deviasi yang besar pada sumbu Shoulder (standar deviasi $10,87^\circ$) dengan error 83% dan sumbu Base (standar deviasi $10,26^\circ$) dengan error mencapai 93,33%, serta sumbu Elbow (standar deviasi $6,19^\circ$) dengan error 76,36%. Akumulasi penyimpangan sudut pada ketiga sendi tersebut berdampak langsung pada ujung lengan robot, menghasilkan rata-rata pergeseran End-Effector sebesar 12,60 cm dari posisi sasaran dengan standar deviasi sebesar 2,74 cm. Ditinjau dari kecenderungan nilai sudut aktual sumbu Base rata-rata $11,2^\circ$ dari target 0° dan sumbu Shoulder rata-rata $25,2^\circ$ dari target 10° yang selalu melebihi target, arah pergeseran fisik end-effector ini secara dominan menyimpang ke arah samping atas (sumbu +Y dan sumbu +Z). Pergerakan yang tidak stabil dan selalu berubah-ubah di setiap pengulangan dengan pergeseran fisik terbesar mencapai 15,3 cm menyebabkan ujung gripper selalu meleset dari benda kerja, sehingga tingkat keberhasilan pengujian pada posisi ini adalah 0%.

4.3.3 Analisis

Berdasarkan hasil pengujian pergerakan otomatis pada keempat posisi target, parameter nilai register (%MW) yang diambil dari rata-rata pengujian manual berhasil dikirimkan oleh PLC untuk menggerakkan tiap sumbu robot (Base, Shoulder, dan Elbow). Namun secara fisik, posisi akhir robot selalu mengalami penyimpangan sudut di setiap pengujian. Berbeda dengan pengujian manual, nilai rata-rata error sudut pada keempat posisi tersebut secara perhitungan kesalahan relatif pergerakan berada pada rentang 60,35% hingga 86,86%, yang menunjukkan bahwa tingkat presisi robot tergolong sangat rendah. Hal ini ditunjukkan oleh nilai standar deviasi yang besar pada tiap sumbu, dengan nilai tertinggi mencapai $15,50^\circ$ pada sumbu Shoulder dan $19,78^\circ$ pada sumbu Elbow. Ketidakpresisian sudut tersebut berdampak langsung pada posisi fisik end-effector, menghasilkan rata-rata pergeseran linier yang signifikan pada keempat posisi target, yaitu sebesar 14,00 cm pada Posisi Awal Benda Kerja, 10,60 cm pada Posisi Awal Tutup, 12,60 cm pada Posisi Akhir Benda Kerja, dan 11,20 cm pada Posisi Akhir Tutup. Pola penyimpangan fisik ini secara dominan mengarah ke bidang samping atas

(kombinasi sumbu -Y/+Y dan sumbu +Z). Akumulasi deviasi fisik yang tidak stabil di setiap pengulangan ini membuat ujung end-effector (vacuum gripper) selalu meleset dari lokasi target pada kelima percobaan di tiap posisi. Akibatnya tingkat keberhasilan operasional pengujian otomatis secara keseluruhan bernilai 0%. Kegagalan ini membuktikan bahwa penggunaan nilai register (%MW) hasil pengujian manual belum mampu menghasilkan pergerakan fisik yang identik dan presisi saat dijalankan secara otomatis. Ketidaksesuaian ini dipengaruhi oleh faktor teknis seperti keterlambatan respon penghentian motor oleh PLC, serta ketiadaan sensor umpan balik untuk memverifikasi posisi aktual secara real time. Sistem yang bekerja secara open loop ini membuat PLC hanya mengirim sinyal berdasarkan nilai register (%MW) tanpa bisa melakukan koreksi saat terjadi pergeseran sudut maupun pergeseran spasial fisik. Secara keseluruhan penyebab utama kegagalan operasional ini adalah rendahnya presisi posisi akhir akibat ketiadaan sistem kendali lingkaran tertutup (closed-loop system). Tingginya persentase error sudut terbukti tidak menjamin keberhasilan sistem jika tidak diimbangi dengan presisi pergerakan yang tinggi. Oleh karena itu penambahan sensor encoder sebagai umpan balik posisi fisik secara real time menjadi solusi yang diperlukan untuk mencapai keberhasilan pergerakan otomatis pada pengembangan robot ini selanjutnya.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Nilai register (%MW) tidak dapat dijadikan parameter acuan posisi yang presisi untuk pergerakan otomatis pada sistem pada sistem *open loop*.
2. Pengujian pergerakan otomatis menghasilkan rata-rata *error* sudut pergerakan lintasan yang tinggi, yaitu berada pada rentang 60,35% hingga 86,86%.
3. Pengujian pergerakan otomatis menghasilkan standar deviasi sudut hingga 19,78° dan pergeseran *end-effector* hingga 14 cm.
4. Pengujian pergerakan otomatis menghasilkan tingkat keberhasilan operasional sebesar 0%.

5.2 Saran

1. Menambahkan sensor umpan balik posisi, seperti rotary encoder atau sensor posisi lainnya, sehingga posisi aktual robot dapat dipantau dan dikoreksi selama proses pergerakan otomatis.
2. Melakukan penyempurnaan pada sistem mekanik robot untuk mengurangi pengaruh toleransi mekanik yang dapat menyebabkan pergeseran posisi saat robot bergerak menuju target.
3. Melakukan pengembangan metode pengendalian posisi agar parameter pergerakan tidak hanya mengandalkan nilai register (%MW), tetapi juga mempertimbangkan kondisi aktual robot selama proses pergerakan sehingga ketepatan posisi akhir dapat ditingkatkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulridha, H. H. (2017). *G j e s r m.* 4(10), 152–160.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.1034505>
- Ainnur Rahman, R., Nurdyawan, O., & Rinaldi Dikananda, A. (2024). Penerapan Kendali Sistem Otomatis Pada Lampu Halaman Asrama Menggunakan Arduino Pada Pondok Pesantren Al- Ma'Rifah. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 8(1), 645–652. <https://doi.org/10.36040/jati.v8i1.8422>
- Ajudin, D. (2015). Pengenalan dasar PLC (Programmable Logic Controllers). *Wordpress.Com, December*, 0–6.
- Al-Naib, A. (2022). Design an Industrial Robot Arm Controller Based on PLC. *Przegląd Elektrotechniczny*, 98(7), 105–109.
<https://doi.org/10.15199/48.2022.07.18>
- Buddhasukh, D. (2013). Maejo international journal of science and technology. *Maejo International Journal of Science and Technology*, 7(1).
- Cong, V. D. (2024). Design and Development of a Costefficiency Robot Arm with a PLC-based Robot Controller. *FME Transactions*, 52(2), 226–236.
<https://doi.org/10.5937/fme2402226C>
- Cui, T., & Ibaraki, S. (2024). Calibration of rotary axis angular positioning deviations in a six - axis robotic manipulator by using the R - Test. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 3845–3862.
<https://doi.org/10.1007/s00170-024-14260-w>
- Fadhil Abbas, T. (2013). Forward Kinematics Modeling of 5 DOF Stationary Articulated Robots. *Engineering and Technology Journal*, 31(3A), 500–512.
<https://doi.org/10.30684/etj.31.3a.8>
- Haryanto, H., & Hidayat, S. (2016). Perancangan HMI (Human Machine Interface) Untuk Pengendalian Kecepatan Motor DC. *Setrum : Sistem Kendali-Tenaga-Elektronika-Telekomunikasi-Komputer*, 1(2), 58.
<https://doi.org/10.36055/setrum.v1i2.476>
- Irwan, P. (2024). *Perancangan Lengan Robot Sebagai Media Pembelajaran Programmable Logic Controller Di Laboratorium PLC Politeknik Kampar.* 2(1).

- Kalatiku Yuri Yudhaswana, P. P. J. (2011). Pemrograman Motor Stepper Dengan Menggunakan Bahasa Pemrograman C. *Mektek, Vol 13, No 1 (2011)*.
- Kim, N., Oh, D., Oh, J. Y., & Lee, W. (2022). Disturbance-Observer-Based Dual-Position Feedback Controller for Precision Control of an Industrial Robot Arm. *Actuators, 11*(12). <https://doi.org/10.3390/act11120375>
- Kumar, B., Jaiswal, A. K., & Kumar, B. (2017). Vacuum Cup Grippers for Material Handling In Industry. *Int. J. Sci. Technol.*, 7(1), 1–8.
- Lin, H. I., & Lin, Y. H. (2014). A novel teaching system for industrial robots. *Sensors (Switzerland)*, 14(4), 6012–6031. <https://doi.org/10.3390/s140406012>
- Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2021). *Applied Statistics and Probability for Engineers, 7th Edition Evaluation Copy (7th Edition)* kibooki.com/download/applied-statistics-and-probability-for-engineers-7th-edition-evaluation-co This Book is Available on YakiBooki.com.
- Prasetyo, B. P., Fauzi, R., Subito, M., Ardias, E., & Mustari, A. (2024). Rancang Bangun Trainer Robot Lengan Untuk Praktikum Robotika Pada Prodi S1 Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tadulako. *Foristek, 14*(1). <https://doi.org/10.54757/fs.v14i1.373>
- Wang, S., Wei, X., Weng, Y., Zhao, Y., & Jiang, Z. (2018). A Novel Single-Axis MEMS Tilt Sensor with a High Sensitivity in the Measurement Range. <https://doi.org/10.3390/s18020346>
- Wiliam, W., Kartadinata, B., & Wijayanti, L. (2019). Pengendalian Lengan Robot untuk Proses Pemindahan Barang. *TESLA: Jurnal Teknik Elektro, 21*(1), 69. <https://doi.org/10.24912/tesla.v21i1.3252>

LAMPIRAN

Lampiran 1

Page 1 of 72 - Cover Page

Submission ID trn:old::3618:146009669

Abdul Karim

Abdul Karim.pdf

 Politeknik Caltex Riau

Document Details

Submission ID	trn:old::3618:146009669	67 Pages
Submission Date	Jul 20, 2026, 3:15 PM GMT+7	10,175 Words
Download Date	Jul 20, 2026, 3:19 PM GMT+7	66,515 Characters
File Name	Abdul Karim.pdf	
File Size	2.7 MB	

Page 1 of 72 - Cover Page

Submission ID trn:old::3618:146009669

13% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- Bibliography
- Quoted Text
- Cited Text
- Small Matches (less than 10 words)

Top Sources

- 13%  Internet sources
- 6%  Publications
- 3%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Pin 1 **Pin 2** **Pin 3** **Pin 4** **Pin 5** **Pin 6** **Pin 7** **Pin 8** **Pin 9** **Pin 10** **Pin 11** **Pin 12** **Pin 13** **Pin 14** **Pin 15** **Pin 16** **Pin 17** **Pin 18** **Pin 19** **Pin 20** **Pin 21** **Pin 22** **Pin 23** **Pin 24** **Pin 25** **Pin 26** **Pin 27** **Pin 28** **Pin 29** **Pin 30** **Pin 31** **Pin 32** **Pin 33** **Pin 34** **Pin 35** **Pin 36** **Pin 37** **Pin 38** **Pin 39** **Pin 40** **Pin 41** **Pin 42** **Pin 43** **Pin 44** **Pin 45** **Pin 46** **Pin 47** **Pin 48** **Pin 49** **Pin 50** **Pin 51** **Pin 52** **Pin 53** **Pin 54** **Pin 55** **Pin 56** **Pin 57** **Pin 58** **Pin 59** **Pin 60** **Pin 61** **Pin 62** **Pin 63** **Pin 64** **Pin 65** **Pin 66** **Pin 67** **Pin 68** **Pin 69** **Pin 70** **Pin 71** **Pin 72** **Pin 73** **Pin 74** **Pin 75** **Pin 76** **Pin 77** **Pin 78** **Pin 79** **Pin 80** **Pin 81** **Pin 82** **Pin 83** **Pin 84** **Pin 85** **Pin 86** **Pin 87** **Pin 88** **Pin 89** **Pin 90** **Pin 91** **Pin 92** **Pin 93** **Pin 94** **Pin 95** **Pin 96** **Pin 97** **Pin 98** **Pin 99** **Pin 100** **Pin 101** **Pin 102** **Pin 103** **Pin 104** **Pin 105** **Pin 106** **Pin 107** **Pin 108** **Pin 109** **Pin 110** **Pin 111** **Pin 112** **Pin 113** **Pin 114** **Pin 115** **Pin 116** **Pin 117** **Pin 118** **Pin 119** **Pin 120** **Pin 121** **Pin 122** **Pin 123** **Pin 124** **Pin 125** **Pin 126** **Pin 127** **Pin 128** **Pin 129** **Pin 130** **Pin 131** **Pin 132** **Pin 133** **Pin 134** **Pin 135** **Pin 136** **Pin 137** **Pin 138** **Pin 139** **Pin 140** **Pin 141** **Pin 142** **Pin 143** **Pin 144** **Pin 145** **Pin 146** **Pin 147** **Pin 148** **Pin 149** **Pin 150** **Pin 151** **Pin 152** **Pin 153** **Pin 154** **Pin 155** **Pin 156** **Pin 157** **Pin 158** **Pin 159** **Pin 160** **Pin 161** **Pin 162** **Pin 163** **Pin 164** **Pin 165** **Pin 166** **Pin 167** **Pin 168** **Pin 169** **Pin 170** **Pin 171** **Pin 172** **Pin 173** **Pin 174** **Pin 175** **Pin 176** **Pin 177** **Pin 178** **Pin 179** **Pin 180** **Pin 181** **Pin 182** **Pin 183** **Pin 184** **Pin 185** **Pin 186** **Pin 187** **Pin 188** **Pin 189** **Pin 190** **Pin 191** **Pin 192** **Pin 193** **Pin 194** **Pin 195** **Pin 196** **Pin 197** **Pin 198** **Pin 199** **Pin 200** **Pin 201** **Pin 202** **Pin 203** **Pin 204** **Pin 205** **Pin 206** **Pin 207** **Pin 208** **Pin 209** **Pin 210** **Pin 211** **Pin 212** **Pin 213** **Pin 214** **Pin 215** **Pin 216** **Pin 217** **Pin 218** **Pin 219** **Pin 220** **Pin 221** **Pin 222** **Pin 223** **Pin 224** **Pin 225** **Pin 226** **Pin 227** **Pin 228** **Pin 229** **Pin 230** **Pin 231** **Pin 232** **Pin 233** **Pin 234** **Pin 235** **Pin 236** **Pin 237** **Pin 238** **Pin 239** **Pin 240** **Pin 241** **Pin 242** **Pin 243** **Pin 244** **Pin 245** **Pin 246** **Pin 247** **Pin 248** **Pin 249** **Pin 250** **Pin 251** **Pin 252** **Pin 253** **Pin 254** **Pin 255** **Pin 256** **Pin 257** **Pin 258** **Pin 259** **Pin 260** **Pin 261** **Pin 262** **Pin 263** **Pin 264** **Pin 265** **Pin 266** **Pin 267** **Pin 268** **Pin 269** **Pin 270** **Pin 271** **Pin 272** **Pin 273** **Pin 274** **Pin 275** **Pin 276** **Pin 277** **Pin 278** **Pin 279** **Pin 280** **Pin 281** **Pin 282** **Pin 283** **Pin 284** **Pin 285** **Pin 286** **Pin 287** **Pin 288** **Pin 289** **Pin 290** **Pin 291** **Pin 292** **Pin 293** **Pin 294** **Pin 295** **Pin 296** **Pin 297** **Pin 298** **Pin 299** **Pin 300** **Pin 301** **Pin 302** **Pin 303** **Pin 304** **Pin 305** **Pin 306** **Pin 307** **Pin 308** **Pin 309** **Pin 310** **Pin 311** **Pin 312** **Pin 313** **Pin 314** **Pin 315** **Pin 316** **Pin 317** **Pin 318** **Pin 319** **Pin 320** **Pin 321** **Pin 322** **Pin 323** **Pin 324** **Pin 325** **Pin 326** **Pin 327** **Pin 328** **Pin 329** **Pin 330** **Pin 331** **Pin 332** **Pin 333** **Pin 334** **Pin 335** **Pin 336** **Pin 337** **Pin 338** **Pin 339** **Pin 340** **Pin 341** **Pin 342** **Pin 343** **Pin 344** **Pin 345** **Pin 346** **Pin 347** **Pin 348** **Pin 349** **Pin 350** **Pin 351** **Pin 352** **Pin 353** **Pin 354** **Pin 355** **Pin 356** **Pin 357** **Pin 358** **Pin 359** **Pin 360** **Pin 361** **Pin 362** **Pin 363** **Pin 364** **Pin 365** **Pin 366** **Pin 367** **Pin 368** **Pin 369** **Pin 370** **Pin 371** **Pin 372** **Pin 373** **Pin 374** **Pin 375** **Pin 376** **Pin 377** **Pin 378** **Pin 379** **Pin 38**