



TUGAS AKHIR – TLI

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI PROGRAM PLC BERBASIS SEQUENTIAL FUNCTION CHART (SFC) PADA MODUL PEMBELAJARAN ROBOT KARTESIAN TIGA SUMBU

Oleh:

TRIANA AGUSTIN

NRP. 33112301027

Dosen Pembimbing:

M. Sohibul Hajah, S.T., M.T. (Pembimbing I)

Mohammad Nur, S.Si., M.T. (Pembimbing II)

**PROGRAM STUDI DIII TEKNIK LISTRIK INDUSTRI
JURUSAN TEKNOLOGI ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI MADURA
SAMPANG
2026**



TUGAS AKHIR – TLI

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI PROGRAM PLC BERBASIS SEQUENTIAL FUNCTION CHART (SFC) PADA MODUL PEMBELAJARAN ROBOT KARTESIAN TIGA SUMBU

Oleh:

TRIANA AGUSTIN

NRP. 33112301027

Dosen Pembimbing:

M. Sohibul Hajah, S.T., M.T. (Pembimbing I)

Mohammad Nur, S.Si., M.T. (Pembimbing II)

**PROGRAM STUDI DIII TEKNIK LISTRIK INDUSTRI
JURUSAN TEKNOLOGI ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI MADURA
SAMPANG
2026**

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN

Saya mahasiswa Politeknik Negeri Madura, Kementerian Pendidikan, Tinggi, Sains dan Teknologi:

Nama : Triana Agustin
NRP : 33112301027
Program Studi : D3 Teknik Listrik Industri
Jurusan : Teknologi Elektro

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang saya buat dengan judul “Perancangan dan Implementasi Program PLC Berbasis *Sequential Function Chart* (SFC) Pada Modul Pembelajaran Robot Kartesian Tiga Sumbu”:

- Dibuat dan diselesaikan sendiri dengan menggunakan literatur hasil kuliah, survei lapangan, bimbingan dengan dosen pembimbing dan pembimbing penelitian, melalui tanya jawab maupun asistensi serta buku-buku jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada Tugas Akhir ini.
- Bukan merupakan duplikasi yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas/Perguruan Tinggi lain, kecuali pada bagian-bagian tertentu digunakan referensi pendukung untuk melengkapi informasi dan sumber informasi dengan

dicantumkan melalui referensi yang semestinya.

- Bukan merupakan karya tulis terjemahan dari kumpulan buku atau jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada Tugas Akhir ini.

Jika terbukti saya tidak memenuhi apa yang telah saya nyatakan seperti apa yang di atas, maka Tugas Akhir saya ini dibatalkan.

Lampung, 13 Agustus 2026




Triana Agustin
NRP. 33112301027

LEMBAR PENGESAHAN

Perancangan dan Implementasi Program PLC Berbasis Sequential Function Chart (SFC) Pada Modul Pembelajaran Robot Kartesian Tiga Sumbu

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh
gelar Ahli Madya Teknik
Pada,
Jurusan Teknologi Elektro
Politeknik Negeri Madura

Oleh:
Triana Agustin
NRP. 33112301027

Tugas Akhir ini telah disidangkan pada tanggal, 16 April
2026 dan telah sesuai dengan ketentuan.

Disetujui Tim Penguji Tugas Akhir:

1. M. Sohibul Hajah, S.T., M.T.(Pembimbing I)
2. Mohammad Nur, S.Si., M.T.(Pembimbing II)
3. Moch. Nur Adiwana, M.T.(Penguji I)
4. Ibrahim Saiful Millah, S.T., M.Sc.(Penguji II)
5. Ir. Akhmad Arif Kurdianto, S.ST, M.T.(Penguji III)

Sampang

13 Agustus 2026

LEMBAR PERSETUJUAN SIDANG TUGAS AKHIR

Judul Tugas Akhir : Perancangan dan Implementasi
Program PLC Berbasis Sequential
Function Chart (SFC) Pada Modul
Pembelajaran Robot Kartesian Tiga
Sumbu

Penulis : Triana Agustin
NRP : 33112301027
Program Studi : D3 Teknik Listrik Industri
Jurusan : Teknologi Elektro

Tugas Akhir ini telah diperiksa dan disetujui untuk disidangkan.
Ditandatangani di Politeknik Negeri Madura.

Menyetujui,

Pembimbing II



Mohammad Nur, S.Si., M.T.
NIP. 198605082019031007

Pembimbing I



M. Sohibul Hajah, S.T., M.T.
NIP. 197505272015041001

Koordinator Program Studi
Teknik Listrik Industri



Bayu Praharsena, S.ST., M.T.
NIP. 199405312019031009

Ketua Jurusan
Teknologi Elektro



Mohammad Nur, S.Si., M.T.
NIP. 198605082019031007



ABSTRAK

**PERANCANGAN DAN MPLEMENTASI PROGRAM
PLC BERBASIS SEQUENTIAL FUNCTION CHART
(SFC) PADA MODUL PEMBELAJARAN ROBOT
KARTESIAN TIGA SUMBU**

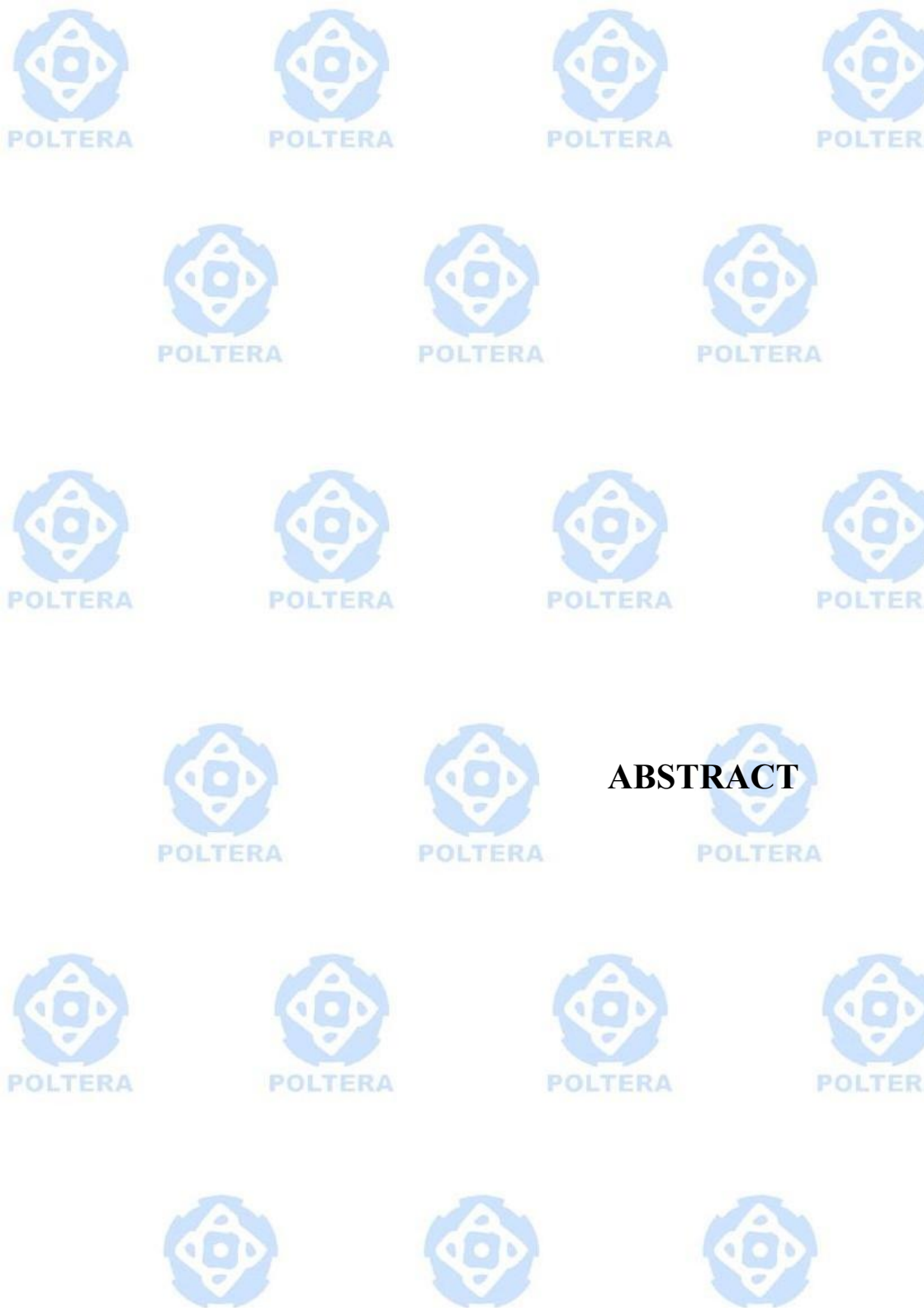
Nama : Triana Agustin
NRP : 33112301027
Dosen Pembimbing I : M. Sohibul Hajah, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing II : Mohammad Nur, S.Si., M.T.

ABSTRAK

Robot kartesian tiga sumbu merupakan salah satu sistem otomasi yang dapat digunakan untuk melakukan proses pemindahan barang berdasarkan koordinat tertentu. Dalam proses pemindahan barang, diperlukan pengaturan pergerakan yang terstruktur agar mekanisme dapat melakukan pengambilan, pemindahan, dan peletakan barang sesuai dengan urutan yang telah ditentukan. Tugas Akhir ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan program PLC berbasis *Sequential Function Chart* (SFC) pada modul pembelajaran robot kartesian tiga sumbu. Implementasi logika pada setiap tahapan SFC disusun

menggunakan Ladder Diagram untuk mengatur pergerakan stepper pada sumbu X, Y, dan Z. Selain itu, digunakan Arduino untuk mengendalikan sensor proximity dan servo pada mekanisme gripper. Program SFC digunakan untuk mengatur urutan pergerakan berdasarkan koordinat, sedangkan timer dan counter digunakan sebagai penanda perpindahan antar-koordinat serta waktu tunggu pada proses pencapitan dan peletakan barang. Simulasi dilakukan melalui dua studi kasus dengan jalur koordinat yang berbeda. Hasil simulasi menunjukkan bahwa program SFC yang diimplementasikan menggunakan Ladder Diagram mampu menjalankan pergerakan mekanisme sesuai dengan urutan koordinat yang telah ditentukan. Program Arduino juga mampu mengendalikan servo berdasarkan kondisi sensor proximity, yaitu servo bergerak dari 0° hingga 180° pada proses pencapitan dan kembali dari 180° ke 0° pada proses peletakan dengan acuan jarak ± 10 cm. Kedua studi kasus berhasil menjalankan proses pemindahan barang dari posisi Home, menuju titik pengambilan, titik peletakan, hingga kembali ke posisi Home sesuai jalur yang telah diprogram.

Kata Kunci : Robot Kartesian, PLC, *Sequential Function Chart*, Arduino, Sensor Proximity, Gripper.



ABSTRACT

***DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A PLC
PROGRAM BASED ON SEQUENTIAL FUNCTION
CHART (SFC) ON A THREE-AXIS CARTESIAN
ROBOT LEARNING MODULE***

Name : Triana Agustin
NRP : 33112301027
Supervisor I : M. Sohibul Hajah, S.T., M.T.
Supervisor II : Mohammad Nur, S.Si., M.T.

ABSTRACT

A three-axis Cartesian robot is an automation system that can be used to move objects based on predetermined coordinates. In the object transfer process, structured control is required to ensure that the mechanism can perform picking, transferring, and placing operations according to the specified sequence. This Final Project aims to design and implement a Programmable Logic Controller (PLC) program based on a Sequential Function Chart (SFC) for a three-axis Cartesian robot learning module. The logic for each SFC stage is implemented using a Ladder Diagram to control the movement of the stepper motors on the X, Y, and

Z axes. In addition, an Arduino is used to control the proximity sensor and servo motor of the gripper. The SFC program determines the movement sequence based on the specified coordinates, while timers and counters are used to indicate transitions between coordinates and provide delays during the object gripping and placing processes. The simulation was conducted using three different case studies with different coordinate paths. The simulation results show that the SFC program implemented using a Ladder Diagram can control the mechanism according to the predetermined coordinate sequences. The Arduino program also successfully controls the servo based on the proximity sensor conditions, with the servo moving from 0° to 180° during the gripping process and returning from 180° to 0° during the placing process based on a distance of approximately 10 cm. All three case studies successfully completed the object transfer process from the Home position to the picking point, then to the placing point, and finally back to the Home position according to the programmed paths.

Keywords : Cartesian Robot, Programmable Logic Controller, Sequential Function Chart, Ladder Diagram, Arduino, Proximity Sensor, Gripper.



KATA PENGANTAR

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga tugas akhir ini dapat disusun dengan baik, yakni yang berjudul “Perancangan dan Implementasi Program PLC Berbasis Sequential Function Chart (SFC) Pada Modul Pembelajaran Robot Kartesian Tiga Sumbu”. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan pada Program Studi Diploma Tiga Teknik Listrik Industri, Jurusan Teknologi Elektro, Politeknik Negeri Madura.

Tugas Akhir ini dilaksanakan sebagai upaya untuk merancang dan mengimplementasikan program *Programmable Logic Controller* (PLC) berbasis metode *Sequential Function Chart* (SFC) pada modul pembelajaran robot kartesian tiga sumbu. Hasil dari perancangan dan implementasi ini diharapkan dapat menjadi salah satu media pendukung kegiatan praktikum, khususnya dalam proses pembelajaran dan pemahaman pemrograman PLC menggunakan metode SFC.

Dalam proses penyusunan dan penyelesaian Tugas Akhir ini, penulis tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, arahan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada;

1. Ibu Laily Ulfiyah, S.T., M.T., selaku Direktur Politeknik Negeri Madura.
2. Bapak M. Musta'in, S.T., M.T., selaku Wakil Direktur Bidang Akademik Politeknik Negeri Madura.
3. Bapak Mohammad Nur, S.Si., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknologi Elektro sekaligus Dosen Pembimbing II yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan masukan kepada penulis selama proses penyusunan Tugas Akhir.
4. Bapak Ibrahim Saiful Millah, S.T., M.Sc., selaku Sekretaris Jurusan Teknologi Elektro Politeknik Negeri Madura.
5. Bapak Bayu Praharsena, S.ST., M.T., selaku Koordinator Program Studi Diploma Tiga Teknik Listrik Industri.
6. Bapak M. Sohibul Hajah, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang senantiasa memberikan bimbingan, arahan, motivasi, dan masukan kepada penulis selama proses pengerjaan Tugas Akhir.
7. Kedua orang tua penulis, Bapak Rachmad Jusuf dan Ibu Kustiah, yang senantiasa memberikan doa, dukungan, kasih sayang, dan motivasi kepada penulis.
8. Kakak-kakak penulis, Amalia Ramadhanti dan Junita Adin, serta seluruh keluarga yang selalu memberikan semangat, doa, dan dukungan kepada penulis.

9. Seluruh dosen dan tenaga kependidikan Politeknik Negeri Madura yang telah memberikan ilmu, bimbingan, serta pelayanan selama penulis menempuh pendidikan.
10. Seluruh teman Angkatan XII yang telah memberikan dukungan, kebersamaan, dan semangat selama proses perkuliahan hingga penyelesaian Tugas Akhir.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam tugas akhir ini. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun untuk tugas akhir ini.

Lampung, 13 Agustus 2026

Triana Agustin
NRP. 3311230102



DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR PERSETUJUAN SIDANG TUGAS AKHIR.....	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG.....	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Tujuan Penelitian.....	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
1.5.1 Manfaat Bagi Mahasiswa	7
1.5.2 Manfaat Bagi Politeknik Negeri Madura.....	7
1.6 Luaran.....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Penelitian Sebelumnya	9
2.2 Landasan Teori.....	15
2.2.1 Programmable Logic Controller (PLC).....	15
2.2.2 Metode Sequential Function Chart (SFC)	22

2.2.3	Robot Kartesian Tiga Sumbu	23
2.2.4	Mikrokontroler Arduino Uno	25
2.2.5	Sensor <i>Proximity</i>	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		29
3.1	Tahapan Penelitian	29
3.2	Diagram Alir Penelitian.....	32
3.2.1	Flowchart Sistem Pengendalian RobotKartesian	33
3.2.2	Blok Diagram Sistem	36
3.2.3	Wiring Diagram Sistem.....	38
3.2.4	Desain rancang Mekanik	41
3.3	Spesifikasi Alat Dan Bahan.....	45
3.4	Rencana Pemrograman dan Simulasi	48
3.4.1	Pemrograman Arduino	48
3.4.2	Rencana Program SFC dan Simulasi Studi Kasus.....	49
3.5	Pelaksanaan Penelitian	52
3.5.1	Pelaksanaan Penelitian	52
3.5.2	Timeline Proses Pengerjaan.....	52
3.5.3	Deskripsi Tahapan Kegiatan.....	53
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		54
4.1	Hasil Pemrograman Arduino.....	54
4.2	Hasil Program SFC.....	58
4.2.1	Hasil Program SFC Simulasi Studi Kasus 1.....	59
4.2.2	Hasil Program SFC Simulasi Studi Kasus 2.....	64
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		70
5.1	Kesimpulan.....	70
5.2	Saran.....	71



DAFTAR PUSTAKA.....73

BIODATA PENULIS.....79



DAFTAR TABEL

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya.....	14
Tabel 3.2.3 Komponen Beserta Fungsi Pada Wiring	39
Tabel 3.2.4 Komponen dan Fungsinya.....	43
Tabel 3.3 Spesifikasi Alat dan Bahan	45
Tabel 3.5.2 Proses Pengerjaan.....	52
Tabel 3.5.3 Deskripsi Tahapan Kegiatan	53
Tabel 4.2 Input/ Output Program	58
Tabel 4.2.1 Urutan Pengujian Studi Kasus 1	60
Tabel 4.2.2 Urutan Pengujian Studi Kasus 2	64



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



DAFTAR GAMBAR

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.2.1.1	PLC MITSUBHI FX3U	20
Gambar 2.2.2	Struktur program pada SFC	23
Gambar 2.2.3	Konfigurasi Robot Kartesian	24
Gambar 2.2.4	Board Arduino Uno ATmega328	26
Gambar 2.2.5	Sensor Proximity.....	28
Gambar 3.2	Diagram Alir Penelitian	32
Gambar 3.2.1	Flowchart Sistem Pengendalian Robot Kartesian.....	35
Gambar 3.2.2	Blok Diagram Sistem.....	37
Gambar 3.2.3	Wiring Diagram Sistem	38
Gambar 3.2.4.1	Desain Modul Robot Kartesian Tampak Atas.....	41
Gambar 3.2.4.2	Desain Modul Robot Kartesian Tampak Samping Kiri	41
Gambar 3.2.4.3	Desain Modul Robot Kartesian Tampak Samping Kanan	42
Gambar 3.2.4.4	Desain Modul Robot Kartesian Tampak Belakang.....	42
Gambar 3.4.2.1	Skema Rute Studi Kasus 1	50
Gambar 3.4.2.2	Skema Rute Studi Kasus 2.....	51

Gambar 4.1 Skema Simulasi Pengujian Sensor Proximity dan Servo.....	56
Gambar 4.2.1.1 Stepper X bergerak 2 titik ke kanan.....	61
Gambar 4.2.1.2 Stepper Z kebawah & delay 15 detik untuk proses capit.....	61
Gambar 4.2.1.3 Proses delay tercapai & Stepper Z ke atas	62
Gambar 4.2.1.4 Stepper Y bergerak maju 3 titik.....	62
Gambar 4.2.1.5 Stepper Z kebawah & delay 15 detik untuk proses letak.....	62
Gambar 4.2.1.6 Proses delay tercapai & Stepper Z ke atas	63
Gambar 4.2.1.7 Stepper Y bergerak mundur 3 titik	63
Gambar 4.2.1.8 Stepper X bergerak 2 titik ke kiri.....	63
Gambar 4.2.2.1 Stepper Y bergerak maju 1 titik.....	65
Gambar 4.2.2.2 Stepper Z kebawah & delay 15 detik untuk proses capit.....	66
Gambar 4.2.2.3 Proses delay tercapai & Stepper Z ke atas	66
Gambar 4.2.2.4 Stepper X bergerak ke kanan 2 titik.....	66
Gambar 4.2.2.5 Stepper Y bergerak maju 1 titik.....	67
Gambar 4.2.2.6 Stepper X bergerak ke kiri 1 titik.....	67

Gambar 4.2.2.7	Stepper Y bergerak maju 1 titik.....	67
Gambar 4.2.2.8	Stepper Z kebawah & delay 15 detik untuk proses letak.....	68
Gambar 4.2.2.9	Proses delay tercapai & Stepper Z ke atas	68
Gambar 4.2.2.10	Stepper X bergerak ke kiri 1 titik.....	68
Gambar 4.3.2 11	Stepper Y bergerak mundur 3 titik	69



DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG



DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

TOS	: <i>Terminal Operating System</i>
AGV	: <i>Automated Guided Vehicle</i>
SDM	: Sumber Daya Manusia
PLC	: <i>Programmable Logic Controller</i>
TEU	: <i>Twenty-Foot Equivalent Unit</i>
SFC	: <i>Sequential Function Chart</i>
FBD	: <i>Function Block Diagram</i>
LD	: <i>Ladder Diagram</i>



BAB 1

PENDAHULUAN



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan aktivitas logistik laut yang sangat tinggi. Sebagian besar kegiatan ekspor dan impor nasional dilakukan melalui jalur pelabuhan yang melibatkan proses bongkar muat peti kemas dalam jumlah besar. Berdasarkan laporan PELINDO, arus peti kemas yang dilayani sepanjang tahun 2023 mencapai 17,7 juta TEU, meningkat sebesar 3% dibandingkan tahun 2022. Selain itu, arus barang tercatat mencapai 170 juta ton atau meningkat sekitar 6% dari tahun sebelumnya [1]. Peningkatan aktivitas tersebut menuntut sistem pengangkutan dan penataan kontainer yang semakin efisien, cepat dan aman, sehingga penerapan teknologi otomasi di sektor logistik menjadi kebutuhan operasional yang sangat penting saat ini.

Sejalan dengan perkembangan tersebut, sektor logistik Indonesia mulai bertransformasi menuju sistem otomasi berbasis *automated operation*. Penerapan teknologi seperti *Terminal Operating System* (TOS), *Automated*

Guided Vehicle (AGV), serta *Automated Stacking Crane* telah banyak diterapkan untuk meningkatkan efisiensi operasional dan keselamatan kerja. Sistem otomasi tersebut umumnya dikendalikan oleh *Programmable Logic Controller (PLC)* sebagai pengendali utama proses industri yang bekerja secara berurutan (sekuensial). Namun demikian, penerapan teknologi otomasi ini juga menghadirkan tantangan baru, khususnya terkait kesiapan sumber daya manusia (SDM) dalam memahami dan mengimplementasikan sistem otomasi secara tepat dan optimal.

Faktanya, tenaga kerja di Indonesia hingga saat ini masih berada pada tahap adaptasi terhadap sistem otomasi industri 4.0. Kondisi ini tercermin dari masih terbatasnya penguasaan keterampilan otomasi dan pemrograman industri pada lulusan pendidikan teknik, baik di tingkat vokasi maupun universitas. Berdasarkan laporan *The SMERU Research Institute*, proporsi tenaga kerja Indonesia dengan keterampilan digital tingkat lanjut bahkan tidak mencapai 1%, sementara mayoritas masih berada pada tingkat keterampilan dasar hingga menengah [2]. Data tersebut menunjukkan bahwa rendahnya kesiapan SDM Indonesia

dalam mengoperasikan dan mengembangkan sistem otomasi industri, termasuk sistem berbasis PLC yang masih perlu mendapatkan perhatian serius.

Rendahnya penguasaan sistem otomasi industri tersebut tidak terlepas dari proses pembelajaran di perguruan tinggi. Pada Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi (TRO) di Politeknik Negeri Madura, media praktikum pembelajaran PLC yang tersedia masih terbatas pada pemrograman dasar dan belum sepenuhnya merepresentasikan sistem otomasi industri secara nyata. Kondisi ini menyebabkan mahasiswa mengalami kesulitan dalam memahami logika pemrograman PLC yang lebih kompleks, seperti metode *Sequential Function Chart* (SFC). Dan hal ini juga menyebabkan mahasiswa belum dapat memahami hubungan antara logika program PLC dengan pergerakan sistem otomasi secara menyeluruh. Oleh karena itu, diperlukan suatu media pembelajaran yang bersifat aplikatif agar mampu membantu mahasiswa mengasah keterampilan pemrograman PLC secara lebih komprehensif.

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka dibuat sebuah modul robot kartesian tiga sumbu sebagai media praktikum yang dapat digunakan untuk mensimulasikan sistem otomasi industri. Pemilihan robot kartesian didasarkan pada sistem pergerakannya

yang terstruktur dan mudah dipahami, sehingga sesuai digunakan sebagai sarana pembelajaran. Fokus utama penelitian ini adalah **“Perancangan dan Implementasi Program PLC Berbasis Sequential Function Chart (SFC) pada Modul Pembelajaran Robot Kartesian”**. Pada penelitian ini, program SFC digunakan untuk mengatur tahapan pergerakan robot, dengan setiap tahapan diimplementasikan menggunakan Ladder Diagram untuk mengendalikan pergerakan stepper pada sumbu X, Y, dan Z. Selain itu, Arduino digunakan untuk mengendalikan sensor *proximity* dan servo *gripper* dalam proses pencapitan dan peletakan barang. Program yang telah dirancang kemudian disimulasikan melalui dua studi kasus dengan jalur koordinat yang berbeda untuk mengetahui kemampuan sistem dalam menjalankan urutan pergerakan, proses pengambilan dan peletakan barang, serta kembali ke posisi *Home*. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran penerapan pemrograman PLC berbasis SFC dan Ladder Diagram dalam mengendalikan pergerakan robot kartesian serta mengintegrasikan sistem gripper pada proses pemindahan barang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang program PLC berbasis *Sequential Function Chart* (SFC) untuk mengatur pergerakan motor

stepper pada sumbu X, Y, dan Z serta mengintegrasikan proses kerja gripper secara berurutan?

2. Bagaimana menguji program PLC berbasis SFC dan program Arduino melalui simulasi pemindahan barang berdasarkan jalur koordinat yang telah ditentukan, mulai dari proses pengambilan, pemindahan, peletakan barang, hingga kembali ke posisi *Home*?

1.3 Batasan Masalah

Untuk membatasi ruang lingkup pembahasan agar tetap terfokus dan terarah, maka ditetapkan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini difokuskan pada perancangan dan implementasi program PLC berbasis SFC menggunakan *software* GX Works2, dengan logika setiap tahapan SFC disusun menggunakan Ladder Diagram.
2. Program PLC digunakan untuk mengatur urutan pergerakan motor stepper pada tiga sumbu, yaitu X, Y, dan Z, berdasarkan koordinat yang telah ditentukan.
3. Program Arduino digunakan untuk mengatur kerja sensor *proximity* dan servo gripper pada proses pencapitan dan peletakan barang, sedangkan urutan pergerakan mekanisme dikendalikan oleh program PLC.

4. Pengujian dilakukan melalui simulasi dengan dua studi kasus jalur koordinat yang berbeda untuk mengetahui kesesuaian urutan pergerakan, proses pengambilan dan peletakan barang, serta kemampuan mekanisme kembali ke posisi *Home*.

1.4 Tujuan Penelitian

Sejalan dengan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penyusunan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang program PLC berbasis *Sequential Function Chart* (SFC) untuk mengatur pergerakan motor stepper pada sumbu X, Y, dan Z serta mengintegrasikan proses kerja gripper secara berurutan.
2. Membuat simulasi program PLC berbasis SFC dan program Arduino pada dua studi kasus dengan jalur koordinat yang berbeda untuk mengetahui kesesuaian urutan pergerakan, proses pengambilan dan peletakan barang, serta kemampuan mekanisme kembali ke posisi *Home*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat baik secara akademik maupun institusional, sebagai berikut:

1.5.1 Manfaat Bagi Mahasiswa

Membantu mahasiswa memahami konsep pemrograman PLC berbasis *Sequential Function Chart* (SFC) yang disusun menggunakan *software* GX Works2.

1. Memberikan pemahaman mengenai integrasi antara program PLC untuk mengatur pergerakan motor stepper pada sumbu X, Y, dan Z dengan program Arduino untuk mengendalikan servo dan gripper dalam proses pemindahan barang.
2. Memberikan contoh simulasi pemindahan barang melalui beberapa studi kasus dengan jalur koordinat yang berbeda, sehingga dapat menjadi referensi bagi mahasiswa dalam memahami dan menerapkan program pada modul robot kartesian.

1.5.2 Manfaat Bagi Politeknik Negeri Madura

1. Menjadi referensi dalam pembelajaran pemrograman PLC berbasis SFC menggunakan *software* GX Works2 pada sistem otomasi dan robot kartesian di Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi.

2. Menjadi dasar atau referensi untuk pengembangan simulasi dan pembelajaran sistem otomasi robot kartesian pada penelitian atau kegiatan praktikum selanjutnya.

1.6 Luaran

Luaran dari tugas akhir ini berupa hasil yang diperoleh dari proses perancangan program dan simulasi sistem, yaitu:

1. **Program Arduino** untuk mengendalikan sensor *proximity* dan servo pada mekanisme gripper dalam proses pencapitan dan peletakan barang.
2. **Hasil simulasi program PLC dan Arduino** pada beberapa studi kasus dengan jalur koordinat yang berbeda, yang menunjukkan kesesuaian urutan pergerakan mekanisme mulai dari posisi Home, proses pengambilan, pemindahan, peletakan barang, hingga kembali ke posisi Home..



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Pada bagian ini membahas tentang penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik yang diusulkan oleh penulis.

Penelitian yang dilakukan oleh Manikan dan Pounraj berjudul “*3D Autonomous Warehouse Simulation by Sequential Function Chart using CoDeSys V3.5*” membahas perancangan simulasi sistem otomasi pergudangan 3D yang dikendalikan menggunakan PLC dengan metode pemrograman *Sequential Function Chart* (SFC). Sistem yang dikembangkan berupa simulasi proses pergudangan otomatis yang melibatkan beberapa komponen utama, seperti stacker crane dan konveyor yang bekerja secara berurutan. Metode SFC digunakan untuk menyusun alur kerja sistem secara bertahap, mulai dari proses pemindahan barang hingga penempatan barang pada lokasi penyimpanan. Setiap tahapan proses direpresentasikan dalam diagram SFC sehingga urutan operasi dapat dikendalikan dengan jelas melalui program PLC [3]. Hasil simulasi menunjukkan bahwa metode SFC mampu menggambarkan proses otomasi pergudangan secara

terstruktur sesuai dengan urutan kerja yang direncanakan. Penelitian ini menjadi salah satu acuan dalam penerapan metode SFC untuk mengatur proses otomasi secara berurutan. Namun, objek penelitian masih berupa sistem pergudangan dan belum membahas pengendalian robot kartesian tiga sumbu dengan motor stepper serta proses pengambilan dan peletakan barang menggunakan gripper.

Penelitian yang dilakukan oleh Zikri Abadi dengan judul *“Kendali Robot Pneumatik Tiga Aksis Dengan Programmable Logic Controller Berbasis Function Block Diagram, Sequential Function Chart Dan Ladder Diagram”* membahas simulasi pengendalian robot pneumatik tiga aksis menggunakan PLC. Penelitian ini berfokus pada penerapan dan perbandingan beberapa metode pemrograman PLC, yaitu Function Block Diagram (FBD), Sequential Function Chart (SFC), dan Ladder Diagram (LD) dalam mengendalikan urutan gerakan robot. Metode SFC digunakan untuk merepresentasikan urutan gerakan robot dalam bentuk step dan transition, sehingga alur gerakan setiap sumbu dapat dipahami dengan lebih jelas [4]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode SFC dapat digunakan untuk menggambarkan urutan gerakan robot secara terstruktur. Penelitian ini

menjadi acuan dalam penyusunan urutan proses menggunakan SFC. Namun, sistem yang digunakan masih berupa robot pneumatik tiga aksis dan belum membahas simulasi pemindahan barang pada robot kartesian dengan aktuator motor stepper serta integrasi sistem gripper menggunakan Arduino.

Penelitian yang dilakukan oleh Pairoj Thongprasorn dan Chalampol Vesarachaprasert dengan judul *“Application of Cartesian Robotic Arm for 2D Sketching Controlled by PLC”* membahas perancangan robot kartesian dua dimensi yang dikendalikan menggunakan PLC untuk melakukan proses penggambaran pola dua dimensi secara otomatis. Sistem terdiri dari PLC sebagai pengendali utama dan motor stepper sebagai aktuator sumbu X dan Y. Data koordinat diproses oleh PLC untuk mengatur pergerakan robot secara berurutan. Metode pemrograman PLC yang digunakan adalah Ladder Diagram (LD) [5]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa robot kartesian mampu bekerja dengan baik dan stabil. Penelitian ini menjadi acuan dalam penerapan PLC dan motor stepper pada robot kartesian. Namun, penelitian tersebut menggunakan Ladder Diagram sebagai metode pemrograman utama dan berfokus pada proses

penggambaran, sehingga belum membahas penggunaan SFC untuk mengatur proses pemindahan barang berdasarkan beberapa jalur koordinat.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Viviana Moya, María Maldonado, Juan Pablo Vásconez, Faruk Abedrabbo, David Pozo-Espin, dan Marcelo Moya dengan judul *“Automated Assembly Line with 2D Cartesian Robot and Conveyor Belt”*. Penelitian tersebut membahas perancangan sistem otomasi berupa lini perakitan otomatis yang mengintegrasikan robot kartesian 2D, konveyor, dan PLC sebagai pengendali utama. Robot kartesian digunakan untuk mengambil dan memindahkan objek selama proses perakitan, sedangkan konveyor digunakan sebagai jalur perpindahan material. Seluruh sistem dikendalikan oleh PLC sehingga proses kerja dapat berlangsung secara otomatis dan berurutan. Sistem juga dilengkapi HMI untuk pemantauan dan pengendalian operasi [6]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja secara stabil dan memiliki tingkat akurasi yang baik. Penelitian ini memiliki keterkaitan dengan penelitian yang dilakukan karena sama-sama menggunakan robot kartesian, PLC, dan proses pemindahan objek. Namun, penelitian tersebut belum secara khusus menggunakan SFC

sebagai metode utama untuk menyusun tahapan pemindahan barang berdasarkan jalur koordinat yang berbeda serta belum mengintegrasikan program Arduino untuk mengendalikan sensor *proximity* dan servo pada gripper.

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya, dapat diketahui bahwa metode SFC telah digunakan untuk mengatur proses otomasi secara berurutan, sedangkan PLC dan motor stepper juga telah diterapkan pada robot kartesian. Namun, penelitian sebelumnya masih memiliki beberapa keterbatasan. Sebagian penelitian menerapkan SFC pada sistem otomasi seperti pergudangan dan robot pneumatik, tetapi belum menggunakan robot kartesian tiga sumbu dengan motor stepper. Penelitian lain telah menggunakan robot kartesian dan motor stepper, tetapi masih menggunakan Ladder Diagram tanpa menerapkan SFC sebagai dasar penyusunan tahapan proses. Selain itu, penelitian sebelumnya belum secara khusus menguji beberapa variasi jalur koordinat pemindahan barang yang mencakup proses pengambilan, pemindahan, peletakan, dan kembali ke posisi Home.

Berdasarkan keterbatasan tersebut, penelitian ini memiliki keterbaruan pada perancangan dan simulasi

program PLC berbasis SFC untuk mengatur robot kartesian tiga sumbu dengan aktuator motor stepper pada sumbu X, Y, dan Z serta mengintegrasikan program Arduino untuk mengendalikan sensor proximity dan servo pada gripper. Program SFC menentukan urutan tahapan proses, sedangkan logika setiap tahapan diimplementasikan menggunakan Ladder Diagram pada software GXWorks2. Pengujian dilakukan melalui dua studi kasus dengan jalur koordinat yang berbeda untuk mengetahui kesesuaian urutan pergerakan mekanisme, proses pengambilan dan peletakan barang, serta kemampuan mekanisme untuk kembali ke posisi *Home*.

Tabel 2.1 Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya

No	Penelitian Terkait	Metode Pemrograman	Sistem yang Dikendalikan	Sumbu Robot	Pengambilan & Peletakan	Integrasi Arduino	Pengujian Variasi Program
1.	Manikan dan Pounraj [3] (2022)	SFC	3D Autonomous Warehouse	-	✓	-	-
2.	Zikri Abadi [4] (2018)	SFC FBD, LD	Robot pneumatik	3 Aksis	✓	-	-
3.	Pairoj Thongprasorn	LD		2 Aksis	-	-	-

No	Penelitian Terkait	Metode Pemrograman	Sistem yang Dikendalikan	Sumbu Robot	Pengambilan & Peletakan	Integrasi Arduino	Pengujian Variasi Program
	dan Chalampol Vesarachapraser t [5] (2022)		Robot Kartesian	(X & Y)			
	Viviana Moya dkk. [6] (2022)	LD	Robot <i>conveyor belt</i>	2 Aksis	✓	-	-
	Triana Agustin (2026)	SFC LD	Robot Kartesian	3 Aksis (X,Y, Z)	✓	✓	✓

2.2 Landasan Teori

Pada bagian ini disajikan landasan teori yang digunakan sebagai dasar dan acuan dalam penelitian tersebut.

2.2.1 Programmable Logic Controller (PLC)

Merupakan perangkat komputasi khusus yang digunakan untuk mengontrol dan mengotomatisasi proses industri [7]. PLC pertama kali diperkenalkan pada akhir tahun 1960-an sebagai pengganti sistem kontrol berbasis relay konvensional, dengan tujuan menghadirkan solusi otomasi yang lebih fleksibel, andal, dan efisien [8]. Sejak saat itu, PLC berkembang menjadi komponen utama dalam sistem

kendali industri modern. Fungsi utama PLC adalah memonitor masukan dari berbagai sensor, memproses data sesuai dengan logika yang telah diprogram sebelumnya, dan mengontrol keluaran ke aktuator atau perangkat lainnya [9]. Melalui mekanisme kerja tersebut, PLC mampu mengelola tugas-tugas otomatisasi yang kompleks dengan tingkat presisi dan adaptabilitas yang tinggi [10].

Keunggulan PLC terletak pada fleksibilitas, keandalan, skalabilitas, serta kemampuannya untuk diintegrasikan dengan berbagai perangkat industri. PLC dapat dengan mudah diprogram ulang untuk menyesuaikan perubahan dalam proses operasi sistem, sehingga mampu mengurangi waktu henti (*downtime*) dan meningkatkan responsivitas sistem terhadap kebutuhan produksi. PLC dirancang untuk beroperasi pada lingkungan industri dengan tingkat keandalan dan ketahanan yang tinggi, sehingga mampu menjamin operasi yang berkelanjutan dan meminimalkan kebutuhan perawatan. Dari sisi skalabilitas, sistem PLC dapat digunakan untuk mengendalikan proses dengan berbagai tingkat kompleksitas, mulai dari kontrol sederhana hingga sistem otomatisasi canggih yang melibatkan ratusan masukan dan keluaran [11].

Dalam aspek pemrograman, PLC mendukung berbagai bahasa yang diatur dalam standar internasional IEC 61131-3, antara lain *Ladder Diagram* (LD), *Function Block Diagram* (FBD), *Structured Text* (ST), dan *Instruction List* (IL), serta *Sequential Function Chart* (SFC). Standar ini memungkinkan bahasa-bahasa tersebut digunakan secara terpisah maupun dikombinasikan sesuai dengan kebutuhan proses kendali yang akan diimplementasikan dalam suatu sistem otomasi industri [12].

2.2.1.1 PLC MITSUBISHI FX3U

PLC Mitsubishi FX3U merupakan salah satu jenis Programmable Logic Controller (PLC) yang dirancang untuk digunakan pada berbagai aplikasi otomasi industri. PLC ini memiliki bentuk yang relatif *compact* sehingga dapat digunakan pada sistem otomasi dengan kebutuhan ruang yang terbatas. Mitsubishi FX3U mendukung pengendalian berbagai perangkat input dan output serta mampu menjalankan program secara berurutan sesuai dengan logika kontrol yang telah dirancang [13].

Dalam pengoperasiannya, PLC Mitsubishi FX3U bekerja menggunakan mekanisme *scan cycle*. Proses tersebut dilakukan secara berulang melalui tahapan pembacaan

kondisi *input*, eksekusi program, dan pembaruan kondisi *output*. Pada tahap pembacaan input, CPU PLC membaca kondisi perangkat masukan yang terhubung pada PLC. Kondisi tersebut kemudian diproses berdasarkan instruksi program yang tersimpan di dalam memori. Hasil pemrosesan program selanjutnya digunakan untuk menentukan kondisi output yang akan mengaktifkan atau menonaktifkan perangkat keluaran. Siklus tersebut berlangsung secara berulang selama PLC berada dalam kondisi operasi [14].

PLC Mitsubishi FX3U memiliki kemampuan untuk menjalankan berbagai instruksi pemrograman yang digunakan dalam sistem otomasi, seperti instruksi logika, timer, counter, dan instruksi yang mendukung pengendalian proses secara berurutan. Kemampuan tersebut memungkinkan PLC digunakan untuk mengendalikan sistem yang memiliki beberapa tahapan kerja, termasuk sistem pemindahan barang menggunakan robot kartesian [15].

Pada penelitian ini, PLC Mitsubishi FX3U digunakan sebagai pengendali utama pergerakan mekanisme robot kartesian tiga sumbu, yaitu sumbu X, Y, dan Z. Pengendalian dilakukan berdasarkan urutan proses yang telah ditentukan sehingga setiap pergerakan dapat dilakukan secara berurutan

dari satu koordinat ke koordinat berikutnya. Selain mengatur pergerakan mekanisme, PLC juga digunakan untuk menentukan waktu perpindahan dan waktu tunggu pada tahapan tertentu menggunakan *timer* dan *counter*.

Pemrograman PLC Mitsubishi FX3U pada penelitian ini dilakukan menggunakan *software* GXWorks2. Metode pemrograman yang digunakan adalah *Sequential Function Chart* (SFC) untuk menentukan urutan tahapan proses. Setiap tahapan pada SFC kemudian diimplementasikan menggunakan Ladder Diagram sehingga perintah pada setiap tahapan dapat dijalankan oleh PLC. Penggunaan SFC memungkinkan urutan proses pemindahan barang disusun secara sistematis berdasarkan kondisi *step*, *transition*, dan *action* [16].

Dalam penelitian ini, proses kerja mekanisme robot kartesian dan gripper memiliki fungsi pengendalian yang berbeda. PLC Mitsubishi FX3U digunakan untuk mengatur pergerakan motor stepper pada sumbu X, Y, dan Z, sedangkan proses gripper dikendalikan menggunakan Arduino yang terhubung dengan sensor proximity dan servo. Karena kedua sistem pengendalian tersebut bekerja secara terpisah, timer pada program PLC digunakan sebagai waktu tunggu agar proses pencapitan maupun peletakan barang yang

dikendalikan Arduino dapat selesai sebelum mekanisme melanjutkan ke tahapan berikutnya. Dengan demikian, PLC Mitsubishi FX3U pada penelitian ini berfungsi sebagai pengendali urutan utama sistem, sedangkan Arduino berfungsi untuk mengendalikan proses gripper. Keduanya digunakan secara terkoordinasi dalam simulasi pemindahan barang berdasarkan jalur koordinat yang telah ditentukan



Gambar 2.2.1.1 PLC MITSUBISHI FX3U

2.2.1.2 *Software GX Work2*

GXWorks2 merupakan perangkat lunak pemrograman yang dikembangkan oleh Mitsubishi Electric untuk melakukan pembuatan (*programming*), pengeditan, pengunduhan (*download*), pengunggahan (*upload*), serta pemantauan (*monitoring*) program pada PLC Mitsubishi. GXWorks2 digunakan sebagai antarmuka antara komputer dan PLC dalam proses pemrograman dan pengujian sistem. Program yang dibuat melalui GXWorks2 dapat disusun menggunakan beberapa metode pemrograman PLC, termasuk Ladder Diagram dan *Sequential Function Chart* (SFC) yang digunakan pada penelitian ini [17].

Dalam proses pemrograman, GXWorks2 memungkinkan pengguna untuk membuat dan mengedit program sesuai dengan kebutuhan sistem. Program yang telah dibuat kemudian dapat ditransfer ke PLC melalui koneksi komunikasi antara komputer dan PLC. Setelah program dijalankan, GXWorks2 juga menyediakan fasilitas *online monitoring* untuk memantau kondisi program dan perubahan status perangkat PLC selama proses berlangsung. Fitur tersebut dapat digunakan untuk mengamati kondisi *input, output, timer, counter*, serta perangkat internal PLC secara langsung. GXWorks2 juga dilengkapi dengan fasilitas pemeriksaan program (*program check*) yang dapat membantu pengguna mengetahui adanya kesalahan pada program sebelum program dijalankan pada PLC. Selain itu, fasilitas *monitoring* dapat digunakan untuk mengetahui perubahan kondisi setiap tahapan program sehingga mempermudah proses pengujian dan analisis kerja sistem keras [18].

Pada penelitian ini, GXWorks2 digunakan untuk membuat program PLC Mitsubishi FX3U berbasis SFC yang kemudian diimplementasikan menggunakan Ladder Diagram. SFC digunakan untuk menentukan urutan tahapan

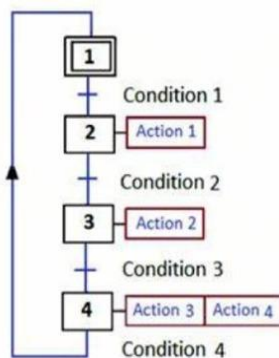
proses pemindahan barang, sedangkan Ladder Diagram digunakan untuk menyusun logika pada setiap tahapan tersebut. Program juga memanfaatkan *timer* dan *counter* untuk mengatur waktu perpindahan serta tahapan proses pada simulasi robot kartesian. Dengan demikian, GXWorks2 menjadi perangkat lunak utama dalam penyusunan dan pengujian program PLC pada penelitian ini.

2.2.2 Metode Sequential Function Chart (SFC)

Merupakan salah satu metode pemrograman PLC yang digunakan untuk menggambarkan proses kendali secara berurutan (*sequential control*) dalam bentuk diagram grafis. Metode ini memudahkan perancangan sistem yang memiliki tahapan kerja yang jelas dan terstruktur, seperti sistem konveyor atau mesin otomatis. Struktur dasar SFC terdiri dari *step*, *transition*, dan *action*. Operasi program berturut (*sequence program*) dilaksanakan secara berulang dimulai dari awal blok atau langkah 0 dan berakhir sampai pada instruksi [19].

Step merepresentasikan suatu kondisi atau tahap proses tertentu dalam sistem, di mana PLC berada pada keadaan aktif untuk menjalankan perintah tertentu. Perpindahan dari satu *step* ke *step* berikutnya ditentukan oleh

transition, yaitu kondisi logika yang harus terpenuhi agar sistem dapat melanjutkan ke tahap berikutnya. Kondisi ini umumnya berupa sinyal *input*, status sensor, *timer*, atau hasil perhitungan logika program. Sementara itu, *action* berisi instruksi atau perintah kendali yang dieksekusi ketika suatu *step* aktif, seperti mengaktifkan *output*, menggerakkan aktuator, atau mengatur waktu proses. Setiap proses hanya akan dijalankan pada *step* yang aktif, sehingga mencegah terjadinya eksekusi perintah secara bersamaan yang tidak diinginkan atau dapat menghindari sistem kerja tumpang tindih pada aktuator, kesalahan logika, serta proses yang berjalan di luar urutan yang telah dirancang [20].

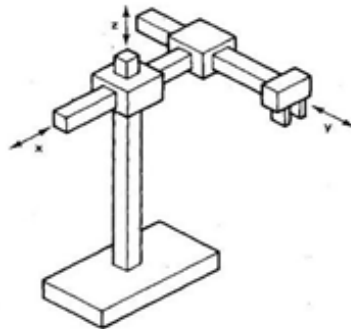


Gambar 2.2.2 Struktur program pada SFC

2.2.3 Robot Kartesian Tiga Sumbu

Merupakan obot linier yang bergerak lurus sepanjang lintasannya. Robot kartesian dirancang untuk bergerak

berdasarkan tiga sumbu dasar, yaitu sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z yang saling tegak lurus satu sama lain. Prinsip robot kartesian banyak digunakan untuk *laser cutting*, mesin pengambil barang, dan *3D printing*. Keunggulan yakni memiliki desain yang sederhana dan kokoh, yang memungkinkan melakukan tugas yang kompleks dengan hasil yang akurat. Selain itu, pergerakannya yang linear terhadap sumbunya memudahkan kontrol karena hanya memerlukan kordinat posisi [21].



Gambar 2.2.3 Konfigurasi Robot Kartesian

Secara teknis, sistem mekanik robot kartesian tiga sumbu terdiri dari rangka (*frame*), rel linier, aktuator penggerak, dan mekanisme transmisi. Aktuator yang umum digunakan adalah motor *stepper* atau motor servo, yang mengubah sinyal listrik menjadi gerakan mekanik terkontrol. Gerakan putar motor kemudian dikonversi menjadi gerakan

linier melalui mekanisme *lead screw* atau *belt drive*. Pada setiap sumbu, perpindahan posisi ditentukan oleh jumlah putaran motor, sehingga koordinat posisi robot dapat dikontrol secara presisi berdasarkan langkah motor [22].

Dari sisi sistem kendali, robot kartesian tiga sumbu dioperasikan menggunakan program PLC yang berfungsi mengatur urutan pergerakan pada masing-masing sumbu. PLC menghasilkan sinyal kendali berupa pulsa dan arah (*pulse and direction*) yang dikirimkan ke driver motor, kemudian diteruskan ke motor stepper atau motor servo sebagai penggerak mekanik. Setiap sumbu dikendalikan secara terpisah, namun tetap disinkronkan agar pergerakan robot sesuai dengan urutan dan jalur yang telah diprogram. Untuk memastikan keamanan dan ketepatan posisi, digunakan sensor seperti *limit switch* atau *proximity sensor* yang berfungsi sebagai penentu posisi awal (*home position*) sekaligus sebagai sistem pengaman agar pergerakan tidak melebihi batas yang telah ditentukan [23].

2.2.4 Mikrokontroler Arduino Uno

Arduino Uno adalah kit elektronik atau papan rangkaian elektronik open source yang di dalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah *chip mikrokontroler* dengan

jenis AVR dari perusahaan Atmel. Arduino adalah sebuah board mikrokontroller yang berbasis ATmega328. Arduino memiliki 14 pin *input/output* yang mana 6 pin dapat digunakan sebagai output PWM, 6 analog input, *crystal osilator* 16 MHz, koneksi USB, *jack power*, kepala ICSP, dan tombol reset. Arduino mampu *men-support mikrokontroller*, dapat dikoneksikan dengan komputer menggunakan kabel USB. Arduino tersebut digunakan sebagai pengendali gerak servo pada *gripper* [24]. Berikut bentuk fisik dari Arduino Uno.



Gambar 2.2.4 Board Arduino Uno ATmega328

2.2.5 Sensor *Proximity*

Sensor *proximity* merupakan sensor yang berfungsi untuk mendeteksi ada atau tidaknya suatu objek. Sensor proximity dapat mendeteksi keberadaan benda disekitarnya tanpa ada kontak fisik dengan benda tersebut. Cara kerja sensor *proximity* ini yaitu dengan

memancarkan medan elektromagnetik dan mencari perubahan bentuk medan elektromagnetik pada saat benda di deteksi. Contoh medan elektromagnetik yang sering digunakan yaitu sinar infra merah. Jika benda telah terdeteksi maka sinyal infrared tersebut akan merubah bentuk sinyal dan mengirimkan sinyal kembali ke sensor dan memberitahukan bahwa di depan sensor terdapat benda. Target sensor yang berbeda-beda juga membutuhkan jenis sensor *proximity* yang berbeda pula. Contohnya sensor *proximity capacitive* akan cocok dengan target yang mempunyai benda berbahan dasar plastik sedangkan sensor *proximity* induktif akan mendeteksi benda berbahan dasar logam [25]. Menurut tipenya sensor *proximity* dibagi menjadi:

1. Induktif *Proximity*

Tipe yang bekerja berdasarkan perubahan induktansi apabila ada objek metal/logam yang berada dalam cakupan wilayah kerja sensor. Tipe ini hanya dapat mendeteksi benda logam saja dengan jarak deteksi maksimum sebesar 6 cm. Bahan dasar logam sangat mempengaruhi kemampuan pendeteksian sensor [26].

2. Kapasitif *Proximity*

Tipe yang bekerja berdasarkan perubahan kapasitas

objek yang berada pada cakupan daerah kerja sensor. Tipe ini dapat mendeteksi semua jenis benda dan memiliki jarak maksimum 3 cm. Sensor *proximity* adalah sensor untuk mendeteksi ada atau tidaknya suatu benda seperti kotak. Sensor *proximity* membutuhkan komponen seperti *infrared* sebagai sumber cahaya (*Light Source*) dan sebuah photodiode sebagai sensor cahaya (*Photodetector*) [27]. Adapun bentuk fisik sensor *proximity* dapat dilihat pada **Gambar 2.2.5**.



Gambar 2.2.5 Sensor *Proximity*



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas perencanaan penelitian yang meliputi tahap perancangan, pembuatan, serta implementasi program PLC dengan metode SFC pada modul pembelajaran robot kartesian.

3.1 Tahapan Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian adalah metode *Research and Development* (R&D) yang bertujuan untuk mengembangkan dan mengimplementasikan program PLC berbasis SFC pada modul pembelajaran robot kartesian. Metode ini digunakan karena penelitian difokuskan pada proses perancangan, pembuatan, serta pengujian program PLC sebagai media pembelajaran praktikum. Pelaksanaan penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu:

1. Studi Literatur

Tahap ini bertujuan untuk memperoleh dasar teori yang kuat dalam perancangan sistem dan program PLC berbasis SFC. Aktivitas pada tahap ini meliputi kajian berbagai literatur terkait robot kartesian tiga sumbu,

pemrograman PLC menggunakan metode SFC, serta penerapannya sebagai modul pembelajaran dalam sistem otomasi industri.

2. Perancangan Sistem

Melakukan perancangan konsep sistem robot kartesian yang akan dikendalikan oleh PLC. Perancangan mencakup penyusunan alur kerja sistem, pembuatan *flowchart* sistem kerja sebagai visualisasi proses kerja, serta penyusunan *block diagram* sistem menunjukkan hubungan antar komponen sistem secara keseluruhan.

3. Pemrograman dan Simulasi Program

Pada tahap ini, program PLC berbasis *Sequential Function Chart* (SFC) dirancang menggunakan *software* GXWorks2 dan diimplementasikan dalam bentuk *Ladder Diagram*. Program digunakan untuk mengatur urutan pergerakan motor *stepper* pada sumbu X, Y, dan Z berdasarkan koordinat yang telah ditentukan. Selain itu, program Arduino digunakan untuk mengatur kerja sensor *proximity* dan servo pada *gripper* dalam proses pencapitan dan peletakan barang. *Timer* dan *counter* digunakan untuk mengatur perpindahan antar-koordinat serta memberikan waktu tunggu pada proses *gripper* agar setiap tahapan dapat berjalan secara berurutan.

4. Pengujian Simulasi

Pengujian dilakukan melalui simulasi menggunakan

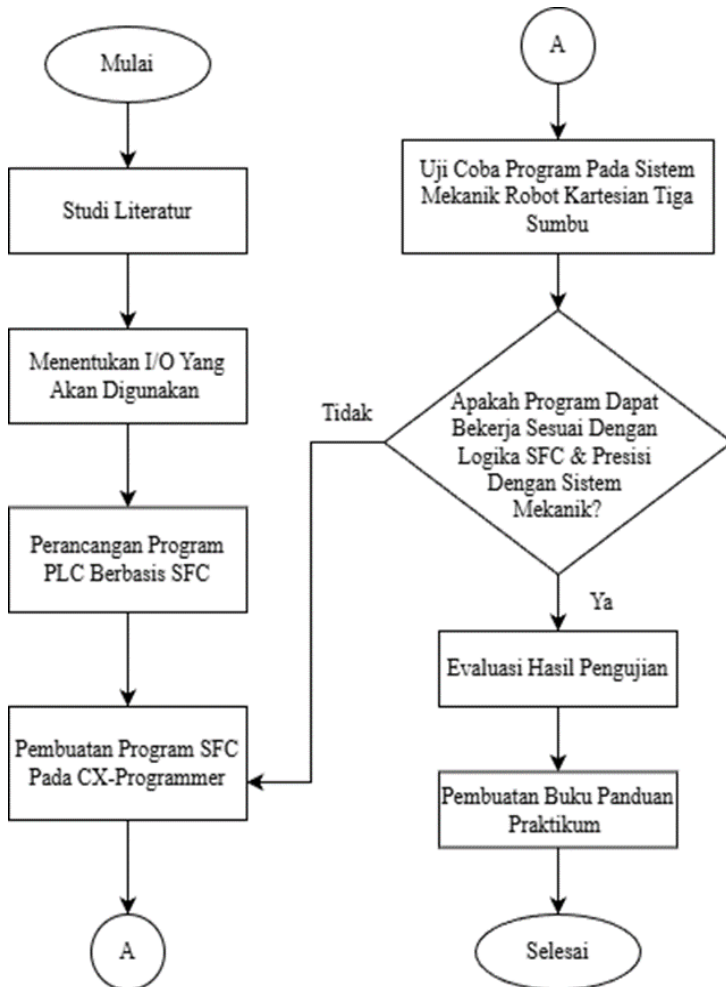
beberapa jalur koordinat yang telah ditentukan. Setiap studi kasus memiliki urutan pergerakan yang berbeda, mulai dari posisi Home, menuju titik pengambilan barang, melakukan proses pemindahan menuju titik peletakan, hingga kembali ke posisi Home. Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah program PLC berbasis SFC dan program Arduino dapat menjalankan setiap tahapan sesuai dengan urutan koordinat yang telah dirancang. Pada setiap studi kasus, pengujian meliputi pergerakan motor stepper pada sumbu X, Y, dan Z, proses pencapitan barang, pemindahan barang, proses peletakan, serta kembalinya mekanisme ke posisi Home. Hasil simulasi kemudian diamati berdasarkan kesesuaian urutan pergerakan dengan jalur koordinat yang telah ditentukan.

5. Evaluasi Hasil Simulasi

Tahap akhir dilakukan dengan mengevaluasi hasil dari setiap simulasi studi kasus. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan urutan pergerakan yang dirancang dengan hasil simulasi untuk mengetahui apakah setiap tahapan dapat dijalankan secara berurutan tanpa melewati koordinat yang telah ditentukan. Evaluasi juga mencakup keberhasilan proses pencapitan dan peletakan barang serta kemampuan

mekanisme menyelesaikan seluruh tahapan hingga kembali ke posisi *Home*.

3.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

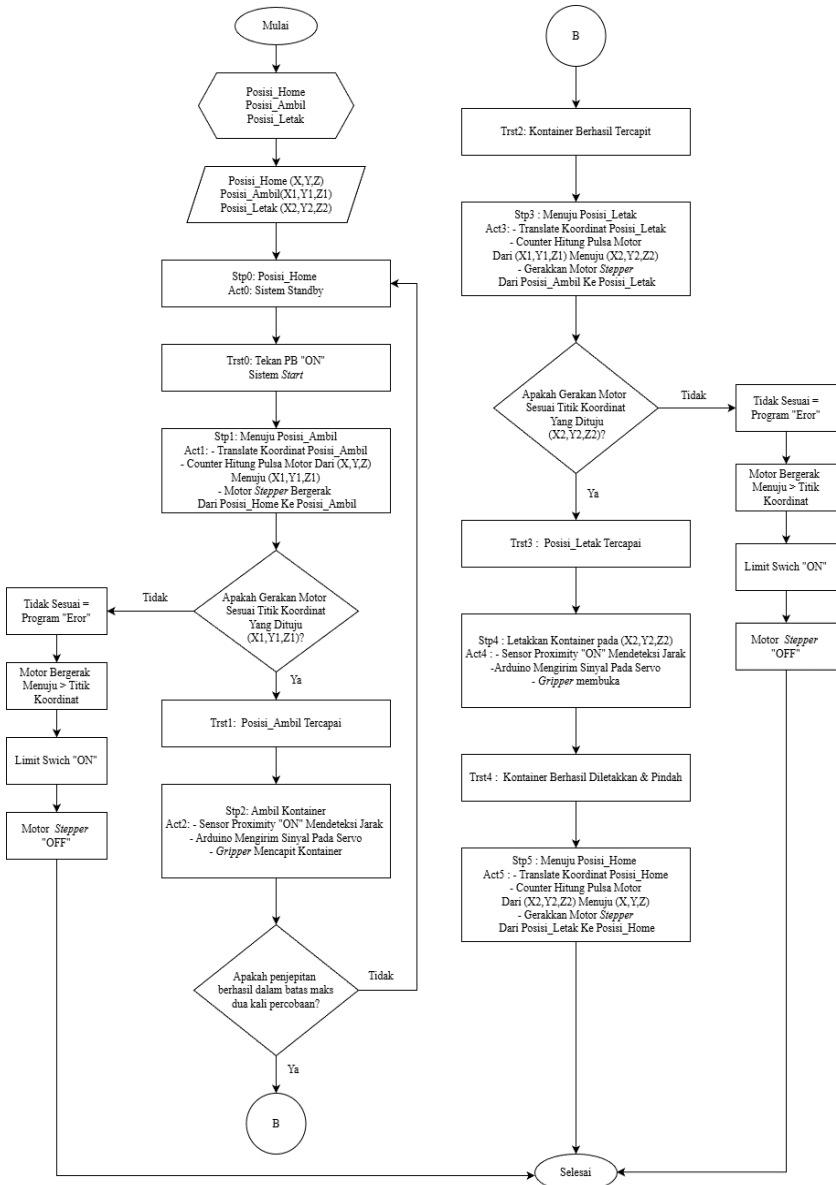
Gambar di atas menunjukkan urutan tahapan penelitian secara keseluruhan, yakni dimulai dari studi literatur, dilanjutkan perancangan sistem dan program PLC berbasis SFC. Setelah itu dilakukan implementasi pada modul robot kartesian dan pengujian program pada sistem mekanik. Jika hasil belum sesuai, dilakukan evaluasi dan perbaikan. Setelah sistem berjalan sesuai tujuan, dilakukan evaluasi akhir dan penyusunan buku panduan praktikum hingga penelitian selesai.

3.2.1 Flowchart Sistem Pengendalian Robot Kartesian

Pada Gambar 3.2.1 ditunjukkan *flowchart* sistem pengendalian robot kartesian yang menggambarkan tahapan proses pemindahan kontainer menggunakan sistem otomasi PLC berbasis SFC. Proses diawali dengan inisialisasi tiga posisi utama, yaitu posisi *home*, posisi ambil, dan posisi letak. Masing-masing posisi memiliki koordinat (X, Y, Z) serta data jumlah pulsa motor hasil kalibrasi sebagai acuan pergerakan motor *stepper*. Pada kondisi awal sistem berada pada posisi *home* dalam keadaan *standby*. Ketika tombol *push button* ON ditekan sebagai transisi awal, sistem mulai bergerak menuju posisi ambil. PLC menerjemahkan data koordinat menjadi jumlah pulsa motor, kemudian motor *stepper* bergerak dari

posisi *home* menuju posisi ambil sesuai perhitungan tersebut. Sistem kemudian memverifikasi apakah gerakan telah sesuai dengan titik koordinat yang dituju. Jika tidak sesuai karenabergerak hingga melebihi titik koordinat yang dituju,maka sistem masuk dalam kondisi *error* dan motor yang bergerak melebihi koordinat dapat dihentikan apabila telah menyentuh *limit switch* sebagai proteksi. Sedangkan, apabila posisi tercapai sensor *proximity* akan mendeteksi keberadaan objek, kemudian Arduino mengirimkan sinyal pada servo untuk menggerakkan *gripper*, sehingga dapat mencapit kontainer dengan tepat.

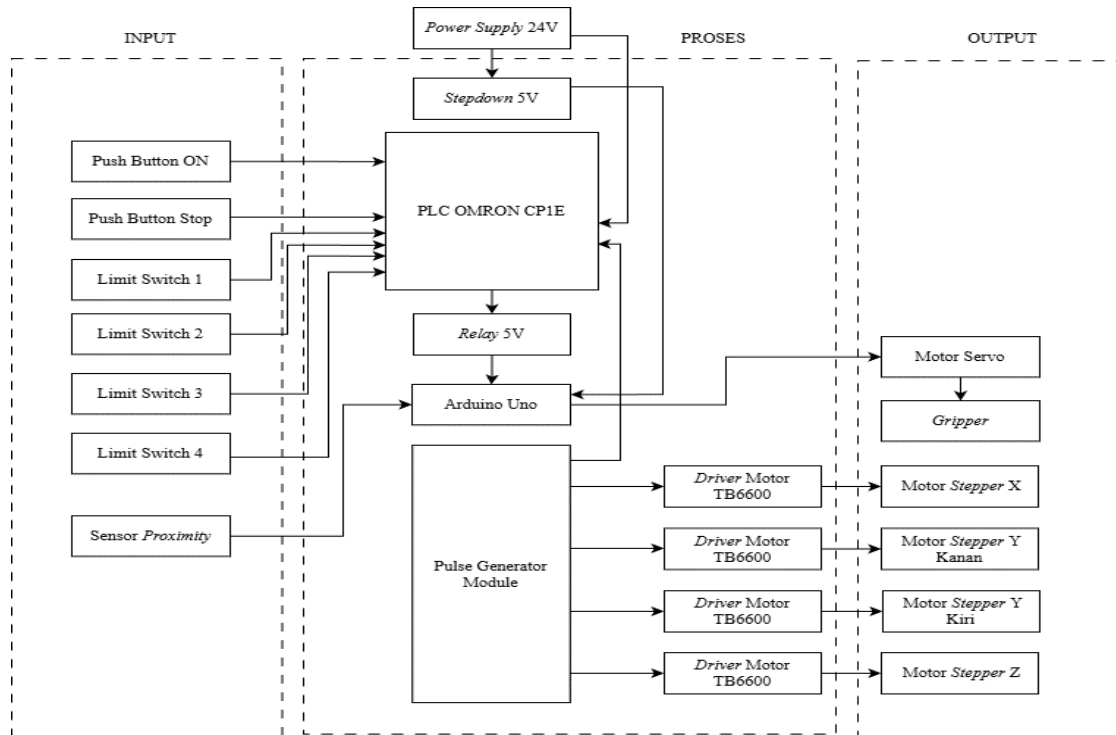
Selanjutnya, setelah kontainer berhasil tercapit, robot bergerak menuju posisi letak dengan proses terjemahan koordinat dan perhitungan pulsa motor yang sama. Posisi kembali diverifikasi sebelum kontainer diletakkan. Pada tahap peletakan, sensor *proximity* mendeteksi kondisi objek, kemudian Arduino mengirim sinyal ke servo untuk membuka *gripper* sehingga kontainer dapat dilepaskan. Setelah proses peletakan selesai, robot bergerak kembali ke posisi *home*. Siklus berakhir ketika sistem mencapai posisi *home* dan proses pemindahan dinyatakan selesai.



Gambar 3.2.1 Flowchart Sistem Pengendalian Robot Kartesian

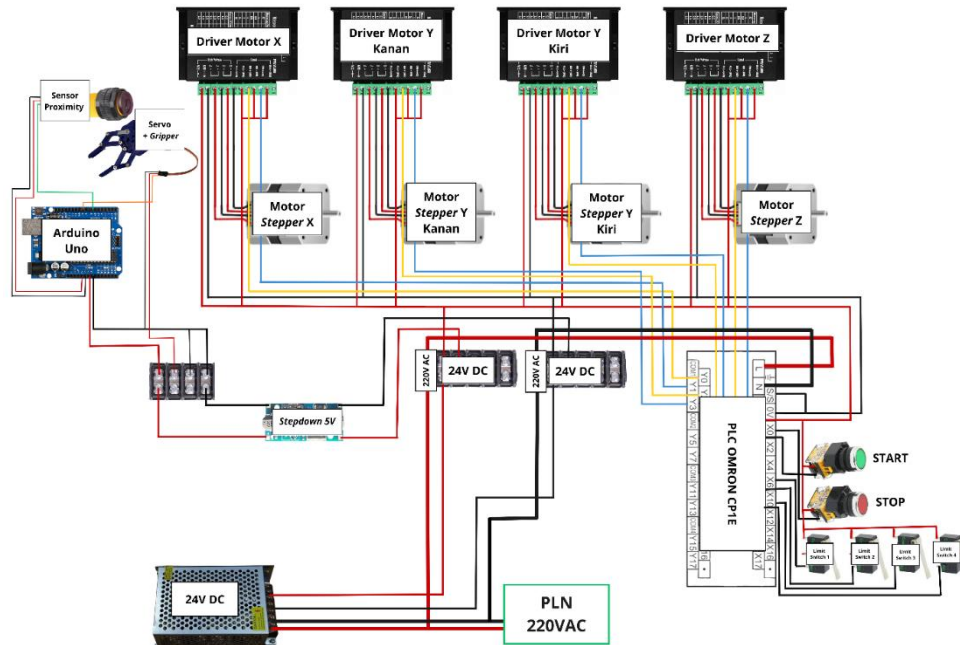
3.2.2 Blok Diagram Sistem

Berdasarkan blok diagram sistem yang ditampilkan pada Gambar 3.2.3, PLC Omron CP1E berfungsi sebagai pengendali utama yang mengatur logika kerja robot kartesian tiga sumbu. Sistem diaktifkan melalui push button on dan dihentikan dengan push button stop, sedangkan limit switch pada setiap sisi sumbu X, Y, dan Z berperan sebagai proteksi batas mekanik. Dalam sistem ini, PLC tidak menghasilkan pulsa secara langsung, tetapi untuk mengontrol ON/OFF relay sesuai urutan program. Modul PWM yang mendapat suplai dari *power supply* berfungsi sebagai pembangkit pulsa (*pulse generator*) dan menghasilkan sinyal step yang dialirkan melalui relay menuju driver motor TB6600 sesuai sumbu yang diperintahkan. Motor *driver* kemudian memperkuat sinyal tersebut untuk menggerakkan motor *stepper* pada sumbu X, dua motor sumbu Y (kanan dan kiri) untuk menjaga kestabilan *gantry*, serta sumbu Z berdasarkan jumlah pulsa yang telah dikalibrasi sehingga posisi tercapai secara presisi. Untuk mekanisme *gripper*, PLC terhubung dengan Arduino Uno melalui rangkaian *stepdown* 5V guna mengontrol motor servo, sedangkan sensor *proximity* pada *gripper* berfungsi mendeteksi objek agar lebih presisi.



Gambar 3.2.2 Blok Diagram Sistem

3.2.3 Wiring Diagram Sistem



Gambar 3.2.3 Wiring Diagram Sistem

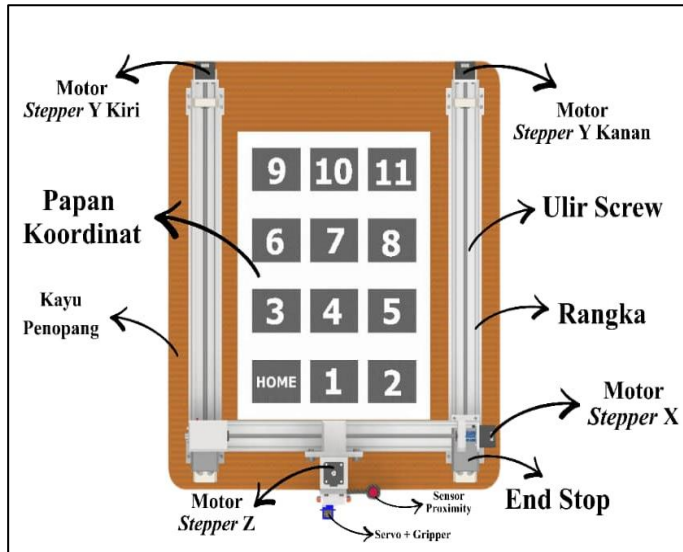
Berdasarkan wiring diagram di atas adapun fungsi dari masing-masing komponen dijelaskan sebagai berikut:

Tabel 3.2.3 Komponen Beserta Fungsi Pada Wiring

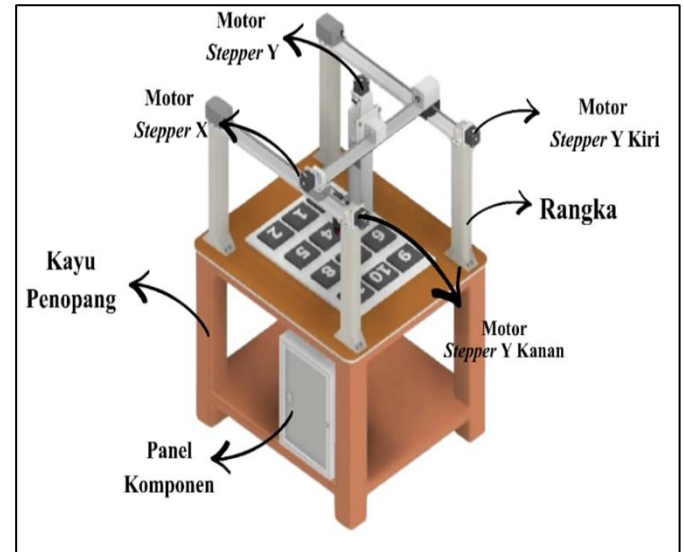
Komponen	Fungsi
<i>Power Supply 24V DC</i>	Mengubah tegangan 220VAC dari PLN menjadi 24VDC untuk mensuplai PLC dan komponen lainnya.
<i>PLC OMRON CP1E</i>	Sebagai pusat pengendali utama sistem. Dengan menerima seluruh sinyal input, kemudian memprosesnya sesuai program yang telah dirancang.
<i>Arduino Uno</i>	Sebagai pengendali tambahan untuk servo dan <i>gripper</i> . Arduino menerima sinyal dari hasil pembacaan sensor, yang kemudian dapat mengatur sudut servo untuk membuka atau menutup <i>gripper</i> .
<i>Push Button Start dan Stop</i>	Sistem mekanik yang digunakan untuk menjalankan dan menghentikan sistem secara manual.
<i>Sensor Proximity</i>	Mendeteksi keberadaan objek pada posisi ambil. Ketika objek terdeteksi, sensor mengirim sinyal input ke PLC sehingga Arduino dapat mengaktifkan servo + <i>gripper</i> untuk bekerja.

Komponen	Fungsi
Motor <i>Stepper</i> (X, Y Kanan & Kiri, Z)	Mengkonversi sinyal pulsa dari <i>driver</i> menjadi gerakan mekanik.
Servo	sebagai aktuator putar yang menggerakkan sudut pembukaan penjepit.
<i>Gripper</i>	Untuk menjepit dan melepaskan kontainer saat proses pemindahan.
<i>Step Down 5V</i>	Menurunkan tegangan 24VDC menjadi 5VDC untuk mensuplai Arduino Uno.
<i>Limit Switch</i>	Sebagai pembatas gerakan maksimum tiap sumbu dan referensi posisi awal (<i>homing</i>), sehingga mencegah motor bergerak melewati batas mekanik.
Terminal <i>Block</i>	Sebagai titik distribusi dan penghubung kabel agar instalasi lebih rapi dan aman.

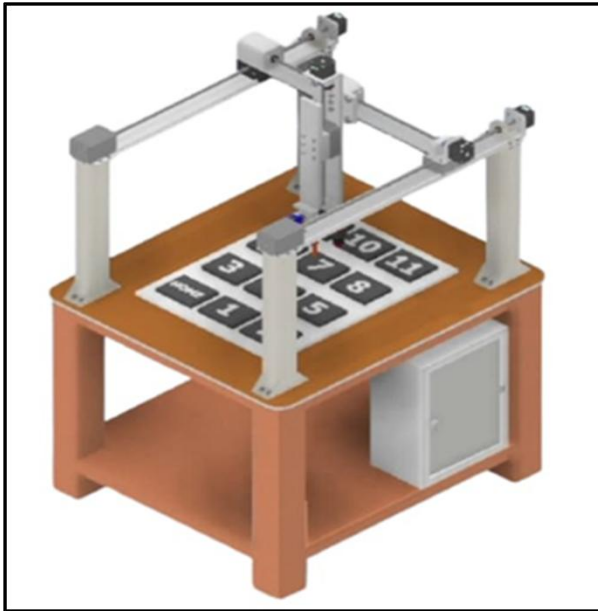
3.2.4 Desain rancang Mekanik



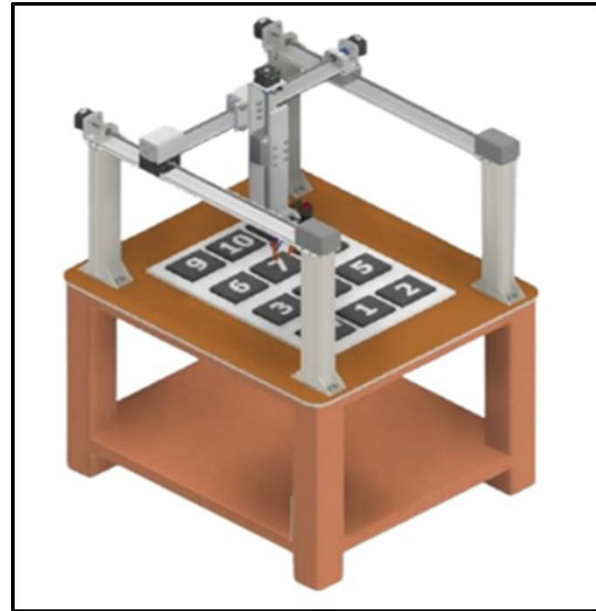
Gambar 3.2.4.1 Desain Modul Robot Kartesian Tampak Atas



Gambar 3.2.4.2 Desain Modul Robot Kartesian Tampak Samping Kiri



Gambar 3.2.4.3 Desain Modul Robot Kartesian
Tampak Samping Kanan



Gambar 3.2.4.4 Desain Modul Robot Kartesian
Tampak Belakang

Berdasarkan gambar rancangan mekanik di atas adapun fungsi dari masing-masing komponen dijelaskan sebagai berikut.

Tabel 3.2.4 Komponen dan Fungsinya

Komponen	Fungsi
Motor Stepper X	Menggerakkan sistem pada arah horizontal (kiri–kanan). Motor ini mengontrol perpindahan posisi sepanjang sumbu X sesuai pulsa yang dikirim dari PLC.
Motor Stepper Y Kiri & Y Kanan	Menggerakkan rangka pada arah depan–belakang (sumbu Y). Karena menggunakan dua motor (kiri dan kanan), keduanya harus bergerak secara sinkron agar rangka tetap sejajar dan tidak miring. Sistem ini menjaga kestabilan pergerakan saat membawa beban.
Motor Stepper Z	Menggerakkan <i>gripper</i> naik dan turun (arah vertikal). Motor ini bekerja saat proses pengambilan dan peletakan kontainer. Pergerakan sumbu Z memastikan <i>gripper</i> dapat menjangkau objek secara tepat.
Rangka	Sebagai struktur utama penopang seluruh sistem mekanik

Komponen	Fungsi
Papan Koordinat	Sebagai area kerja tempat titik koordinat (1–11 & <i>home</i>) berada. Papan ini menjadi referensi posisi pergerakan robot dalam melakukan pengambilan dan pemindahan objek
Sensor Proximity	Mendeteksi keberadaan objek (kontainer) pada posisi ambil. Sensor ini mengirim sinyal input ke PLC untuk mengaktifkan respon servo dan <i>gripper</i>
Servo	Sebagai aktuator penggerak penjepit.
Gripper	untuk menjepit dan melepaskan kontainer saat proses pemindahan berlangsung.
Limit Switch	Sebagai batas maksimal pergerakan sumbu. Digunakan untuk mencegah motor bergerak melewati batas mekanik serta sebagai referensi posisi awal (<i>homing</i>).
Kayu Penopang	Sebagai dudukan atau meja penyangga sistem robot kartesian.
Panel Komponen	Berisi perangkat kendali seperti PLC, <i>driver</i> motor, <i>power supply</i> dan komponen kelistrikan lainnya. Panel ini menjadi pusat pengendali seluruh sistem.

3.3 Spesifikasi Alat Dan Bahan

Tabel 3.3 Spesifikasi Alat dan Bahan

No	Alat dan bahan	Spesifikasi
1.	Motor Stepper	Tipe Motor Nema 17 42BYG48, Motor Stepper Nema 17 48mm 1.5A 0.55NM 42BYG48 1.8° 4 -Lead Shaft Diameter: 5mm.
2.	PLC Omron CP1E	(Tipe E, N, NA) catu daya AC/DC, memori program 2K/8K langkah, kecepatan ~0.4 ms, dan port USB/Serial, dengan fitur unggulan seperti pulsa output (Tipe N/NA) dan analog (Tipe NA).
3.	Driver Motor Stepper	Tipe Driver TB6600, Driver Motor Stepper Nema 17 In: 9–42VDC Out: 0.5–4.0A Bipolar Stepper Micro-step: Full, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32 Sinyal: PUL, DIR, ENA Frek: ≤200 kHz.
4.	Pulse Generator Modul	(Tipe E, N, NA) catu daya AC/DC, memori program 2K/8K langkah, kecepatan ~0.4 ms, dan port USB/Serial, dengan fitur unggulan seperti pulsa output (Tipe N/NA) dan analog (Tipe NA).

No	Alat dan bahan	Spesifikasi
5.	Power Supply 24V	Type Power Supply 24V DC Input: 100/220V AC, 50Hz Output: 24VDC, 5A.
6.	Servo + Gripper	Type Servo SG90+ Gripper Akrilik, Servo SG90 / MG995 180° putaran Torsi 2–10 kg·cm Material Gripper Akrilik.
7.	Mikrokontroler	Type Arduino Uno R3, ATmega328P (16 MHz) Port USB Type-B 68.6 × 53.4 mm 14 Digital I/O 32 KB Flash, 2 KB SRAM, 1 KB EEPROM In Volt: 7–12VDC Operating: 5 VDC.
8.	Lead ScREW Ulir + Nut Kuningan	Diameter ulir: 8mm Pitch: 8mm/rev Panjang: 40–60cm <i>Stainless Steel</i> Trapezoidal (T8) Nut Kuningan 8mm.
9.	Push Button	Type Push Button 24VDC 22mm, Push Button 24VDC Tipe Momentary Diameter 22mm NC (STOP) & NO (START).
10.	Kabel Wiring	Type Kabel NYAF + Sekun Y 1.5/2.5mm, YAF Uk. 1,5mm dan 2,5mm kabel serabut halus tegangan 450/750V Suhu -20°C hingga +70°C. Sekun Y 1.5–2.5 mm ² Baut: 3mm.

No	Alat dan bahan	Spesifikasi
11.	Kabel Carriage	Tipe Kabel Carriage 15x50mm, Bahan nylon Inner Size 15x50mm outer 19,5x60mm Radius 75mm Suhu: -40°C hingga +125°C.
12.	Flexible Coupling	Aluminium Alloy Uk.5x8 mm D.Luar 19mm Panjang 25 mm Torsi Maks: ± 1.5 Nm Suhu -30°C hingga +80°C .
13.	Linear Bearing Box	Tipe Linear Bearing Box 8mm, Model SCS8UU <i>Stainless Steel</i> Inner Diameter 8mm Baut 4mm.
14.	Bracket Rail SK8	Tipe Bracket Rail SK8 8mm, Aluminium Alloy Diameter Lubang: 8 mm Lebar Bracket 20mm Tinggi 30 mm Baut 4mm.
15.	Terminal Block	Tipe Terminal Block 4/6 Pole, Terminal Block Screw TB-1504 /1506 Uk.Baut 3mm 15A 600V Uk.72x22x17,5mm.
16.	Material Module	Tipe Akrilik 5mm, Akrilik Transparan 5mm 50x60cm.

3.4 Rencana Pemrograman dan Simulasi

Pada penelitian ini dilakukan perancangan pemrograman dan simulasi sistem pemindahan barang berbasis koordinat. Pemrograman sistem terdiri dari program PLC menggunakan Ladder Diagram sebagai pengendali utama pergerakan mekanisme dan program Arduino sebagai pengendali sensor *proximity* dan servo *gripper*.

3.4.1 Pemrograman Arduino

Pemrograman Arduino dirancang untuk mengendalikan mekanisme *gripper* dalam proses pengambilan dan peletakan barang. Arduino digunakan untuk membaca kondisi sensor *proximity* serta mengatur pergerakan servo yang berfungsi membuka dan menutup *gripper*.

Pada proses pengambilan barang, sensor *proximity* digunakan untuk mendeteksi keberadaan barang pada area *gripper*. Ketika barang terdeteksi, Arduino memberikan perintah kepada servo untuk bergerak menuju posisi menutup sehingga barang dapat dicapit. Setelah barang dibawa menuju titik tujuan, Arduino menerima perintah untuk menggerakkan servo ke posisi membuka sehingga barang dapat dilepaskan.

Program Arduino dirancang agar proses pembukaan dan penutupan *gripper* dapat dilakukan sesuai dengan tahapan pemindahan barang yang dikendalikan oleh PLC. Dengan

demikian, Arduino berfokus pada pengendalian sensor dan servo *gripper*, sedangkan pengaturan pergerakan koordinat dan urutan pemindahan dilakukan oleh PLC menggunakan program Ladder pada SFC. Hasil dari pemrograman ini selanjutnya diintegrasikan dengan program PLC untuk menjalankan proses pengambilan, pemindahan, dan peletakan barang pada simulasi.

3.4.2 Rencana Program SFC dan Simulasi Studi Kasus

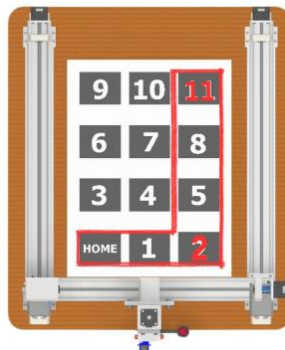
Program SFC dirancang untuk mengatur urutan kerja sistem pemindahan barang secara bertahap, mulai dari posisi Home, proses menuju titik pengambilan, pemindahan barang melalui koordinat yang telah ditentukan, proses peletakan, hingga kembali ke posisi Home. Setiap tahapan pada SFC memiliki kondisi transisi yang menentukan perpindahan sistem dari satu tahap ke tahap berikutnya. Implementasi logika pada setiap tahapan dan kondisi transisi tersebut disusun menggunakan bahasa pemrograman Ladder Diagram.

Program mengatur pergerakan sumbu X, Y, dan Z berdasarkan koordinat yang telah ditentukan. Counter digunakan untuk menentukan tahapan dan urutan perpindahan koordinat, sedangkan timer digunakan untuk memberikan waktu tunggu pada proses tertentu, seperti setelah *gripper* melakukan pencapitan atau pelepasan barang.

Penggunaan counter dan timer disesuaikan dengan kondisi transisi pada setiap tahapan SFC sehingga pergerakan mekanisme dapat berlangsung secara berurutan.

Simulasi dilakukan menggunakan dua studi kasus dengan jalur koordinat yang berbeda. Setiap studi kasus diawali dari posisi Home, kemudian mekanisme bergerak menuju titik pengambilan barang. Setelah proses pengambilan selesai, mekanisme bergerak mengikuti jalur koordinat yang telah ditentukan menuju titik peletakan. Setelah barang diletakkan, mekanisme kembali menuju posisi Home sehingga satu siklus pemindahan selesai.

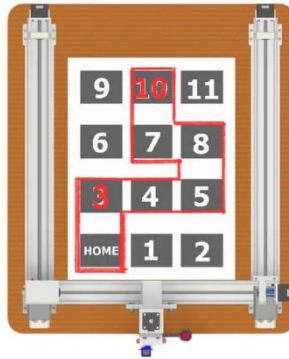
Studi kasus 1 merupakan pemindahan barang dari titik 2 menuju titik 11 dengan melewati titik 5 dan 8. Urutan pergerakannya adalah



Gambar 3.4.2.1 Skema Rute Studi Kasus 1

Home → 1 → 2 → 5 → 8 → 11 → 8 → 5 → 2 → 1 → Home

Studi kasus 2 merupakan pemindahan barang dari titik 3 menuju titik 10 dengan melewati titik 4, 5, 8, dan 7. Urutan pergerakannya adalah:



Gambar 3.4.2.2 Skema Rute Studi Kasus 2

Home → **3** → **4** → **5** → **8** → **7** → **10** → **9** → **6** → **3** → **Home**

Kedua studi kasus tersebut digunakan untuk menganalisis kemampuan program dalam menjalankan urutan proses sesuai rancangan SFC dan logika Ladder Diagram yang telah dibuat. Analisis dilakukan terhadap kesesuaian jalur koordinat, perpindahan setiap tahapan proses, keberhasilan pengambilan dan peletakan barang, serta kemampuan mekanisme menyelesaikan satu siklus pemindahan hingga kembali ke posisi Home.

3.5 Pelaksanaan Penelitian

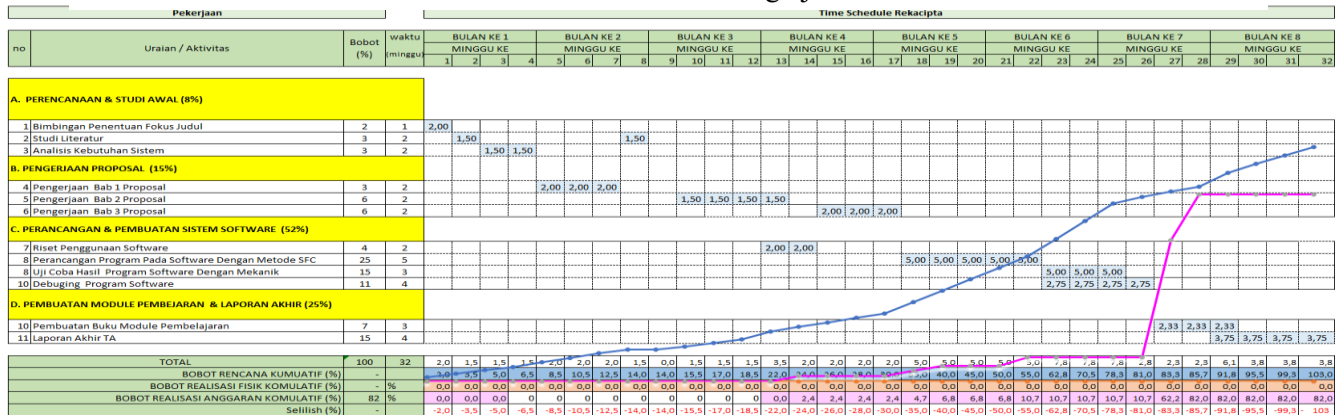
3.5.1 Pelaksanaan Penelitian

Waktu Penelitian : Penelitian dilaksanakan pada bulan Oktober 2025 s/d Mei tahun 2026, meliputi tahap perancangan, perancangan & pengujian program, *debugging*, pembuatan modul, hingga finalisasi laporan TA.

Tempat Penelitian : Penelitian dilaksanakan di Lab. Basic dan Lab. FA di Politeknik Negeri Madura.

3.5.2 Timeline Proses Pengerjaan

Tabel 3.5.2 Proses Pengerjaan



3.5.3 Deskripsi Tahapan Kegiatan

Tabel 3.5.3 Deskripsi Tahapan Kegiatan

Kode	Kegiatan	Minggu Ke-	Hari	Hari/Tanggal Pelaksanaan	Waktu	Tempat	List Kegiatan	Output
1	Bimbingan Penentuan Fokus Judul	1	Selasa-Kamis	14-16 Okt 2025	09.00–11.00	Gedung A Lt.2 - Ruang Dosen	1. Konsultasi awal dengan dosen pembimbing terkait ide penelitian 2. Menentukan batasan masalah dan Menyusun rumusan masalah sementara 3. Menentukan tujuan dan output akhir TA	1. Judul TA 2. Arah penelitian dan batasan TA
2	Studi Literatur	2&8	Jum'at-Minggu	24–26 Okt 2025 05-07 Des 2025	10.00–21.00	Gedung A Lt.1 - Lab Basic	1. Mencari jurnal 5-10 tahun terakhir yang relevan dengan TA, seperti: - Penggunaan PLC dengan metode SFC - Robot kartesian tiga sumbu - Modul pembelajaran berbasis PLC 2. Membuat kerangka teori	1. Referensi Jurnal 2. Kerangka teori yang akan digunakan pada TA
3	Analisis Kebutuhan Sistem	3-4	Senin-Kamis	27Okt-06 Nov 2025	09.00–11.00	Gedung A Lt.2 - Ruang Dosen	1. Mengidentifikasi kebutuhan komponen apa saja yang akan digunakan 2. Menentukan jumlah I/O yang dibutuhkan 3. Membuat rancangan anggaran pembelian komponen	1. Daftar komponen beserta spesifikasi sistem 2. RAB pembelian komponen sementara
4	Pengerjaan Bab I Proposal	5-7	Jum'at-Minggu	14-23 Nov 2025	10.00–21.00	Gedung A Lt.1 - Lab Basic	1. Menyusun latar belakang permasalahan yang sudah dirumuskan 2. Menyusun rumusan masalah 3. Menentukan tujuan dan manfaat penelitian 4. Menentukan batasan masalah	Bab 1 pada proposal
5	Pengerjaan Bab II Proposal	10-11	Jum'at-Minggu	19-28 Des 2025	10.00–21.00	Gedung A Lt.1 - Lab Basic	1. Menyusun penelitian terdahulu sebagai landasan dasar dalam pembuatan TA 2. Menyusun landasan teori yang berkaitan dengan judul TA	Bab 2 pada proposal
6	Pengerjaan Bab III Proposal	15-17	Jum'at-Minggu	16 Jan-01 Feb 2026	10.00–21.00	Gedung A Lt.1 - Lab Basic	1. Menjelaskan metode penelitian yang diambil 2. Membuat blok diagram sistem & alir kerja sistem	Bab 3 pada proposal
7	Riset Penggunaan Software	13-14	Senin-Kamis	05-15 Jan 206	10.00–14.00	Gedung A Lt.2 - Lab FA	1. Menelaah cara penggunaan dan sistem logika pada pemrograman 2. Uji coba penggunaan pemrograman	1. Mengetahui cara penggunaan dan memahami logika yang digunakan pada pemrograman 2. Dapat memprogram sederhana dengan metode SFC
8	Perancangan Program pada <i>software</i> dengan metode SFC	18-22	Senin-Kamis	02 Feb-05 Maret 2026	10.00–14.00	Gedung A Lt.2 - Lab FA	Membuat beberapa program sesuai dengan urutan kerja sistem dan studi kasus yang telah ditentukan	Rangkaian program sesuai studi kasus yang ditentukan
9	Uji Coba Program dengan Mekanik	23-25	Senin-Kamis	09-26 Maret 2026	10.00–14.00	Gedung A Lt.1 - Lab Basic	1. Uji coba program terhadap gerakan motor stepper sesuai jumlah pulsa 2. Uji coba sensor proximity dalam mendeteksi objek 3. Uji coba limit switch sebagai sistem pengaman 4. Uji coba sistem terhadap urutan kerja keseluruhan (sequence test)	1. Motor stepper bergerak sesuai jumlah pulsa yang ditentukan 2. Sensor proximity mampu mendeteksi objek dengan baik sehingga gripper dapat membuka dan menutup dengan presisi 3. Limit switch berfungsi sebagai pengaman sistem 4. Sistem berjalan sesuai urutan yang dirancang 714
10	Debugging Program Software	23-26	Senin-Sabtu	09 Maret-04 April 2026	10.00–20.00	Gedung A Lt.2 - Lab FA	1. Perbaikan program yang mengalami error 2. Kalibrasi ulang jumlah pulsa motor stepper 3. Penyesuaian sudut dan timing servo gripper 4. Penyesuaian parameter timer dan counter 5. Pengujian ulang sistem setelah perbaikan	1. Sistem berjalan stabil tanpa error 2. Program final siap digunakan untuk pembuatan buku panduan praktikum
11	Penyusunan Buku Modul Pembelajaran	27-29	Senin-Sabtu	06-25 April 2026	10.00–21.00	Gedung A Lt.1 - Lab Basic	1. Menyusun langkah-langkah praktikum 2. Penyusunan studi kasus pembelajaran beserta contoh program yang dapat dijalankan 3. Penyusunan latihan dan tugas dengan variasi kasus pengembangan	Buku panduan praktikum lengkap dan siap digunakan mahasiswa
12	Penyusunan & Finalisasi Laporan Akhir TA	29-32	Jum'at-Minggu	24 April-17 Mei 2026	10.00–21.00	Gedung A Lt.1 - Lab Basic	1. Pengumpulan dan rekapitulasi data hasil pengujian sistem 2. Membandingkan hasil pengujian dengan perancangan awal dan teori yang digunakan 3. Pembahasan kelebihan dan keterbatasan sistem yang telah dibuat 4. Menarik kesimpulan	Laporan TA final



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan hasil pemrograman dan simulasi sistem pemindahan barang berdasarkan rancangan yang telah dibuat pada Bab III. Pemrograman sistem terdiri dari program Arduino untuk pengendalian sensor *proximity* dan servo *gripper* serta program SFC yang implementasi logikanya disusun menggunakan Ladder Diagram untuk mengatur urutan pergerakan mekanisme. Simulasi dilakukan menggunakan dua studi kasus dengan jalur koordinat yang berbeda.

Hasil simulasi dianalisis berdasarkan kesesuaian urutan pergerakan dengan jalur yang telah direncanakan, perpindahan antar-tahapan program, proses pengambilan dan peletakan barang, serta keberhasilan mekanisme kembali ke posisi Home setelah proses pemindahan selesai. Pembahasan hasil pemrograman dan simulasi dijelaskan sebagai berikut.

4.1 Hasil Pemrograman Arduino

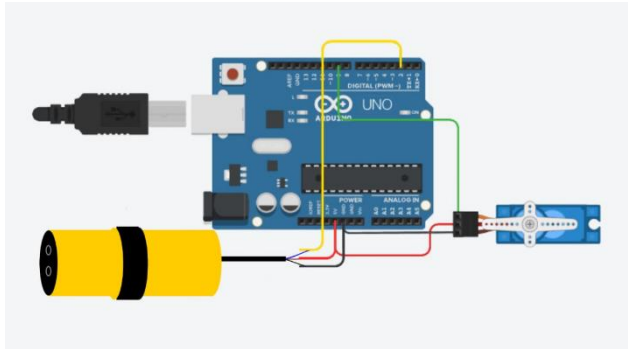
Simulasi program Arduino dilakukan untuk mengetahui hubungan kerja antara sensor *proximity* dan servo pada mekanisme *gripper* dalam proses pencapitan dan

peletakan barang. Simulasi ini difokuskan pada respon servo terhadap kondisi yang diberikan oleh sensor, sehingga dapat diketahui apakah gripper dapat membuka dan mencapit barang serta membuka kembali untuk melepaskan barang pada posisi peletakan.

Pada kondisi awal, gripper berada pada posisi siap melakukan pencapitan. Ketika terdapat barang yang terdeteksi oleh sensor *proximity*, sensor memberikan kondisi masukan kepada Arduino. Selanjutnya, Arduino memberikan perintah kepada servo untuk membuka gripper hingga 180° untuk melakukan proses pencapitan terhadap barang. Setelah barang berhasil dicapit, kondisi sensor tidak lagi menjadi pemicu pergerakan servo sehingga gripper tetap berada pada posisi mencapit selama barang dipindahkan.

Setelah barang dibawa menuju posisi peletakan, sensor kembali digunakan sebagai acuan untuk menentukan waktu gripper melepaskan barang. Ketika sensor membaca jarak peletakan yang telah ditentukan, yaitu ± 10 cm, kondisi sensor kembali aktif dan Arduino memberikan perintah kepada servo untuk membuka gripper. Dengan terbukanya gripper, barang terlepas dan dapat diletakkan pada titik koordinat yang telah ditentukan. Untuk Skema pengujian

hubungan sensor *proximity* dengan servo pada simulasi ditunjukkan pada Gambar 4.1 berikut ini.



Gambar 4.1 Skema Simulasi Pengujian Sensor *Proximity* dan Servo

Selain rangkaian simulasi, program Arduino yang digunakan untuk mengatur pembacaan sensor *proximity* dan pergerakan servo ditunjukkan di bawah ini.

```
#include <Servo.h>

Servo gripper;

const int sensorPin = 2;
const int servoPin = 9;

int status = 0;

void setup() {
  pinMode(sensorPin, INPUT);

  gripper.attach(servoPin);

  // Posisi awal gripper terbuka
  gripper.write(0);
}

void loop() {

  int sensor = digitalRead(sensorPin);

  // Jika sensor mendeteksi barang
  if (sensor == HIGH) {

    // Jika belum mencapit
    if (status == 0) {
```

```
// Jika belum mencapit
if (status == 0) {

    // Servo bergerak ke 180 derajat
    gripper.write(180);

    delay(1000);

    // Menandakan barang sudah tercapit
    status = 1;
}

// Jika barang sudah tercapit
else if (status == 1) {

    // Servo kembali membuka gripper
    gripper.write(0);

    delay(1000);

    // Menandakan barang sudah dilepas
    status = 0;
}
}

delay(100);
}
```

Berdasarkan hasil simulasi dan program yang telah dibuat, sensor *proximity* dapat memberikan perintah kepada Arduino sesuai dengan tahapan proses yang dirancang. Ketika barang terdeteksi, servo dapat bergerak hingga 180° untuk menjalankan proses pencapitan. Setelah barang dipindahkan, sensor membaca jarak ± 10 cm pada posisi peletakan, servo kembali membuka sehingga gripper melepaskan barang. Dengan demikian, hasil simulasi menunjukkan bahwa hubungan antara sensor *proximity*, Arduino, dan servo telah bekerja sesuai dengan logika yang dirancang untuk proses pencapitan dan peletakan barang.

4.2 Hasil Program SFC

Sebelum dilakukan pembahasan mengenai program pada masing-masing studi kasus, ditentukan alamat input/output yang digunakan sebagai dasar dalam penyusunan setiap program.

Tabel 4.2 Input/ Output Program

Input	Push Button On	X0
	Push Button Off	X1
Output	Stepper X ke Kanan	Y0
	Steper X ke Kiri	Y3
	Stepper Y Maju	Y1
	Stepper Y Mundur	Y4
	Stepper Z Bawah	Y2
	Stepper Z Atas	Y5

Pada sistem ini, SFC digunakan untuk menentukan urutan tahapan proses pemindahan barang, sedangkan setiap tahapan tersebut disusun dan diimplementasikan menggunakan Ladder Diagram. Program Ladder mengatur pergerakan stepper X, Y, dan Z sesuai dengan urutan koordinat yang telah ditentukan. Dalam simulasi, *timer* dan *counter* digunakan sebagai penanda perpindahan antar-koordinat, dengan waktu perpindahan setiap titik dimisalkan selama 5 detik. Counter digunakan untuk menentukan jumlah

perpindahan titik yang harus dilakukan oleh stepper, sedangkan timer untuk menentukan waktu pada saat perpindahan. Selain itu, timer juga digunakan sebagai jeda pada proses pencapitan dan peletakan barang. Jeda tersebut diperlukan karena gripper dikendalikan secara terpisah menggunakan Arduino. Dengan adanya Timer dapat memberikan waktu bagi Arduino untuk menjalankan sensor *proximity* dan servo gripper sebelum sistem melanjutkan ke tahapan berikutnya.

4.2.1 Hasil Program SFC Simulasi Studi Kasus 1

Studi Kasus 1 digunakan untuk mengetahui apakah program yang telah disusun dapat menjalankan mekanisme pemindahan barang sesuai dengan urutan koordinat yang telah ditentukan. Urutan pergerakan pada Studi Kasus 1 adalah:

Home → 1 → 2 → 5 → 8 → 11 → 8 → 5 → 2 → 1 → Home

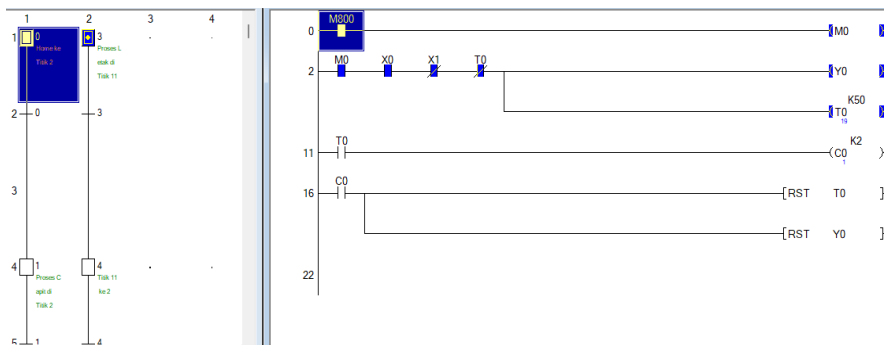
Pada studi kasus ini, titik 2 digunakan sebagai titik pengambilan barang, sedangkan titik 11 digunakan sebagai titik peletakan barang. Program Ladder disusun secara berurutan mengikuti tahapan tersebut.

Tabel 4.2.1 Urutan Pengujian Studi Kasus 1

Step ke-	Keterangan
0 (Home ke Titik 2)	PB on dan Stepper X bergerak ke kanan sebanyak 2 titik untuk berpindah dari posisi Home ke titik 2, dengan perpindahan tiap titiknya ditandai dengan waktu timer 5 detik.
1 (Proses Capit di Titik 2)	Stepper Z bergerak ke bawah, sensor proximity bekerja dan gripper kemudian bergerak dari 0° ke 180° untuk proses mencapit selama 15 detik. Setelah itu, Stepper Z bergerak ke atas dengan keadaan barang sudah tercapit dan siap untuk melanjutkan perpindahan.
2 (Titik 2 ke 11)	Stepper Y akan bergerak maju sebanyak 3 titik untuk memindahkan barang dari titik 2 menuju titik 11.
3 (Proses Letak di Titik 11)	Stepper Z bergerak ke bawah menuju posisi letak, proses letak berlangsung selama 15 detik. Setelah itu, gripper membuka dari 180° ke 0° untuk melepaskan barang, lalu Stepper Z bergerak ke atas untuk melanjutkan perpindahan.
4 (Titik 11 ke 2)	Stepper Y bergerak secara mundur sebanyak 3 titik, dari titik 11 menuju 2 untuk kembali ke home.
5 (Titik 2 ke Home)	Stepper X ke kiri sebanyak 2 titik untuk kembali ke home.

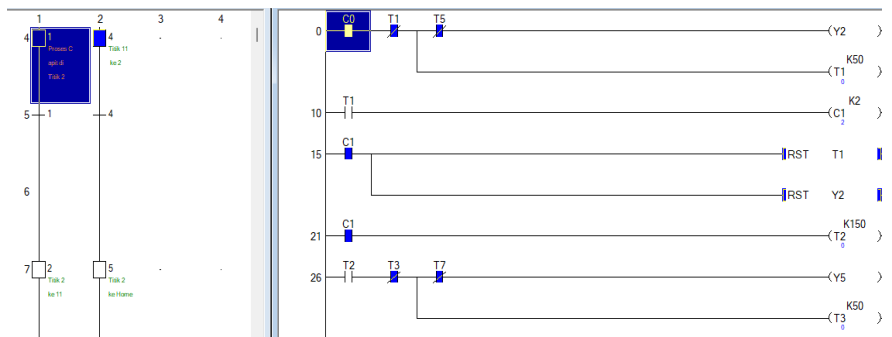
Tabel tersebut menjadi acuan dalam menjelaskan urutan program pada Studi Kasus 1. Setiap tahapan selanjutnya akan ditampilkan melalui rangkaian Ladder yang telah dibuat, dimulai dari pergerakan menuju posisi pencapitan, peletakan barang hingga kembali menuju posisi Home, sebagai berikut:

1. Step 0 dari posisi Home ke Titik 2

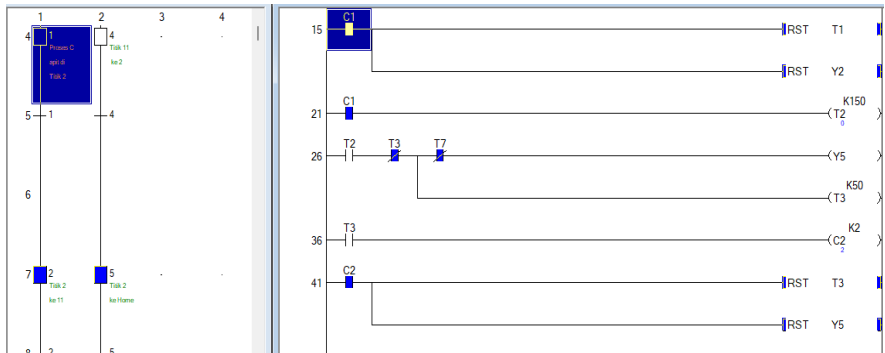


Gambar 4.2.1.1 Stepper X bergerak 2 titik ke kanan

2. Step 1 Proses Capit di Titik 2

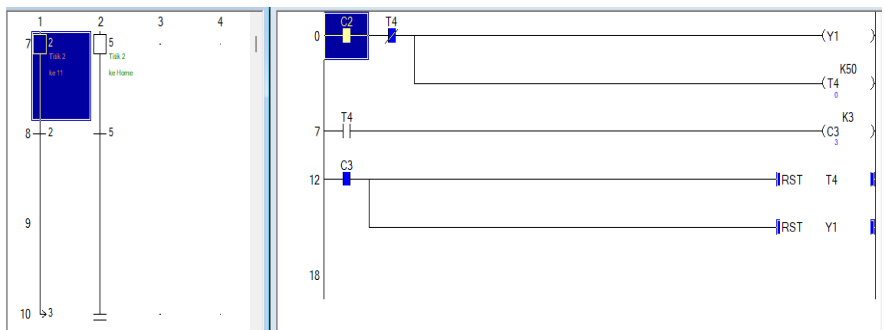


Gambar 4.2.1.2 Stepper Z kebawah & delay 15 detik untuk proses capit



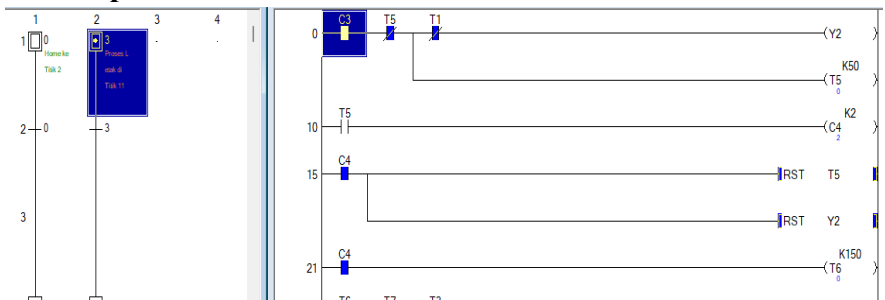
Gambar 4.2.1.3 Proses delay tercapai & Stepper Z ke atas

3. Step 2 dari posisi Titik 2 ke Titik 11

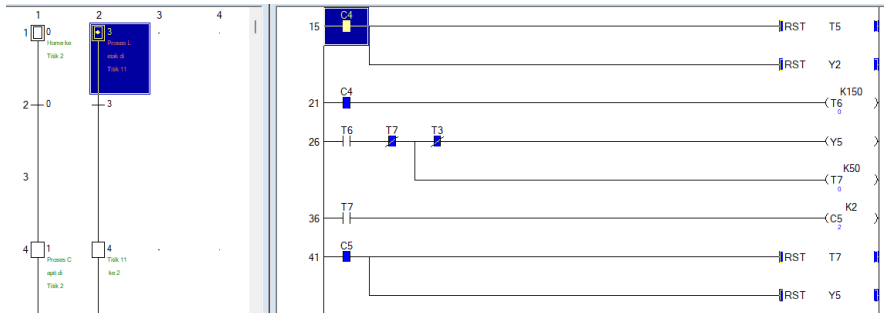


Gambar 4.2.1.4 Stepper Y bergerak maju 3 titik

4. Step 3 Proses Letak di Titik 11

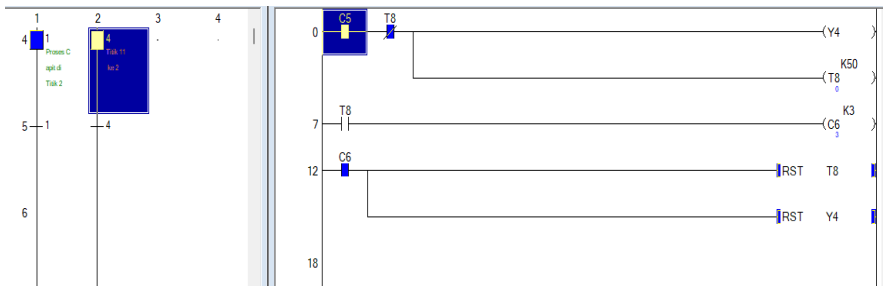


Gambar 4.2.1.5 Stepper Z kebawah & delay 15 detik untuk proses letak



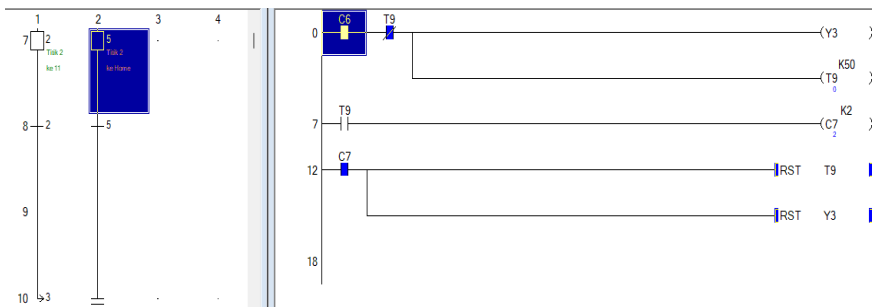
Gambar 4.2.1.6 Proses delay tercapai & Stepper Z ke atas

5. Step 4 dari posisi Titik 11 ke Titik 2



Gambar 4.2.1.7 Stepper Y bergerak mundur 3 titik

6. Step 5 dari posisi Titik 2 kembali ke Home



Gambar 4.2.1.8 Stepper X bergerak 2 titik ke kiri

4.2.2 Hasil Program SFC Simulasi Studi Kasus 2

Studi Kasus 2 digunakan untuk mengetahui apakah program yang telah disusun dapat menjalankan mekanisme pemindahan barang sesuai dengan urutan koordinat yang telah ditentukan. Urutan pergerakan pada Studi Kasus 2 adalah:

Home → 3 → 4 → 5 → 8 → 7 → 10 → 9 → 6 → 3 → Home

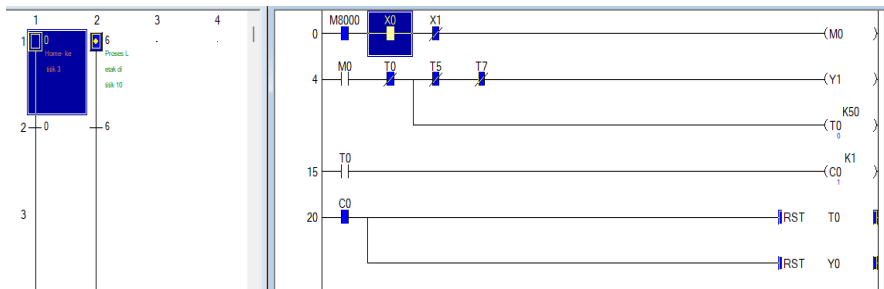
Pada studi kasus ini, titik 3 digunakan sebagai titik pengambilan barang, sedangkan titik 10 digunakan sebagai titik peletakan barang. Program Ladder disusun secara berurutan mengikuti tahapan tersebut.

Tabel 4.2.2 Urutan Pengujian Studi Kasus 2

Step ke-	Keterangan
0 (Home ke Titik 3)	PB on dan Stepper Y bergerak maju sebanyak 1 titik untuk berpindah dari posisi Home ke titik 3.
1 (Proses Capit di Titik 3)	Stepper Z bergerak ke bawah, sensor proximity bekerja dan gripper kemudian bergerak dari 0° ke 180° untuk proses mencapit selama 15 detik. Setelah itu, Stepper Z bergerak ke atas dengan keadaan barang sudah tercapit dan siap untuk melanjutkan perpindahan.
2 (Titik 3 ke 5)	Stepper X bergerak ke kanan sebanyak 2 titik untuk memindahkan barang dari titik 3 menuju titik 5.
3 (Titik 5 ke 8)	Stepper Y bergerak maju lagi sebanyak 1 titik,

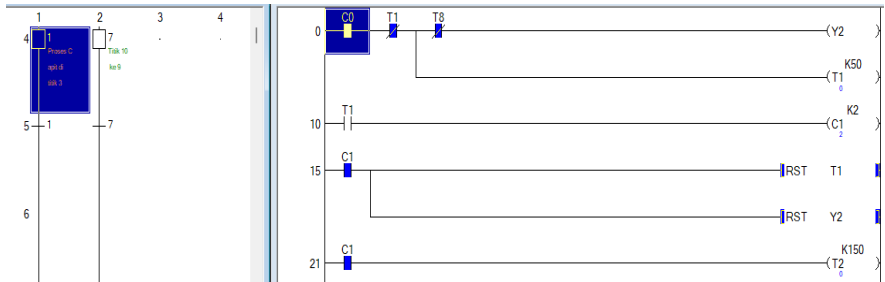
Step ke-	Keterangan
	sehingga dari titik 5 menuju titik 8.
4 (Titik 8 ke 7)	Stepper X bergerak ke kiri sebanyak 1 titik, dari titik 8 menuju 7.
5 (Titik 7 ke 10)	Stepper Y akan bergerak maju sebanyak 1 titik, sehingga dari titik 7 menuju titik 10, yakni posisi letak.
6 (Proses Letak di Titik 10)	Stepper Z bergerak ke bawah menuju posisi letak, proses letak berlangsung selama 15 detik. Setelah itu, gripper membuka dari 180° ke 0° untuk melepaskan barang, lalu Stepper Z bergerak ke atas untuk melanjutkan perpindahan.
7 (Titik 10 ke 9)	Stepper X bergerak ke kiri sebanyak 1 titik, dari titik 10 menuju 9.
8 (Titik 9 ke Home)	Terakhir, Stepper Y akan bergerak mundur sebanyak 3 titik, sehingga dari titik 9 menuju kembali ke posisi home.

1. Step 0 dari posisi Home ke Titik 3

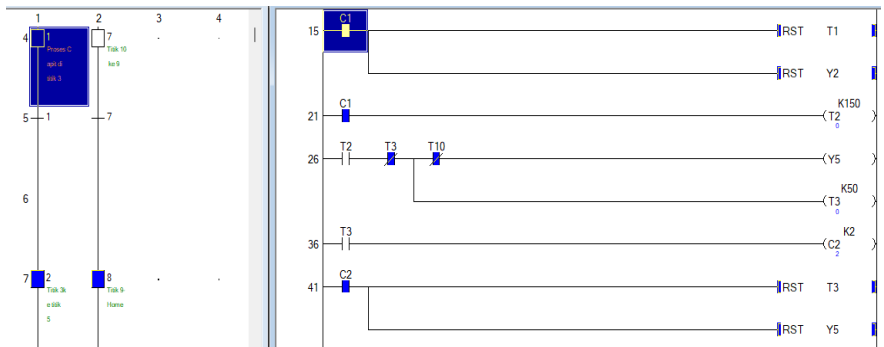


Gambar 4.2.2.1 Stepper Y bergerak maju 1 titik

2. Step 1 Proses Capit di Titik 3

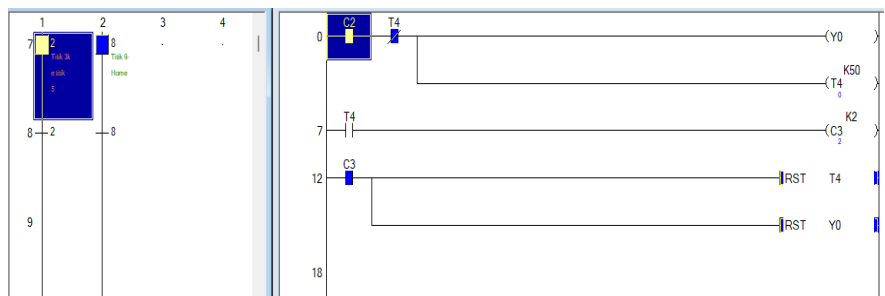


Gambar 4.2.2.2 Stepper Z kebawah & delay 15 detik untuk proses capit



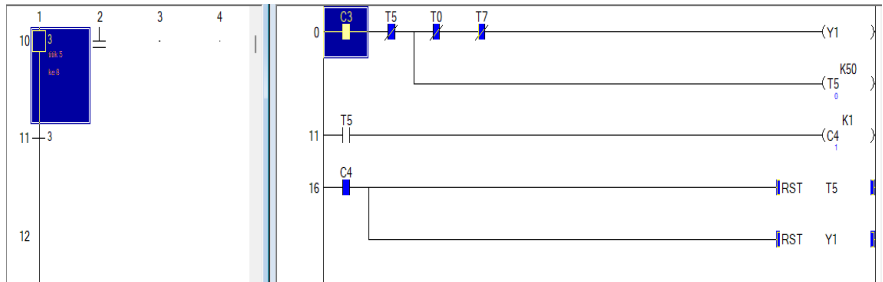
Gambar 4.2.2.3 Proses delay tercapai & Stepper Z ke atas

3. Step 2 dari posisi Titik 3 ke Titik 5



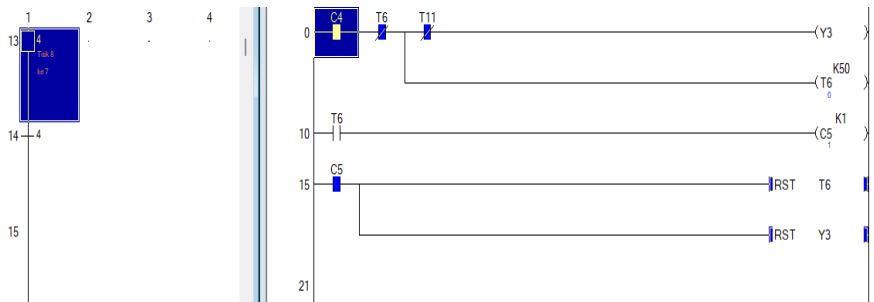
Gambar 4.2.2.4 Stepper X bergerak ke kanan 2 titik

4. Step 3 dari posisi Titik 5 ke Titik 8



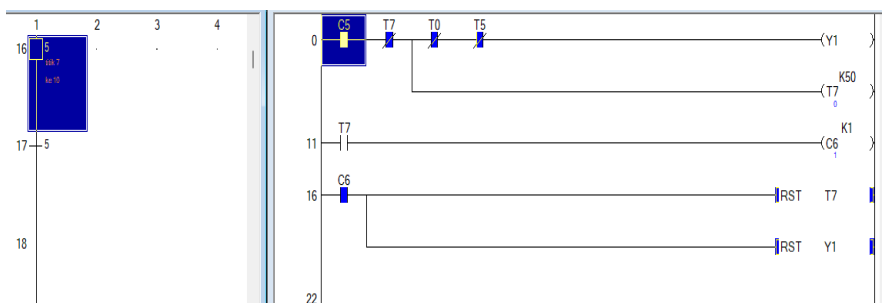
Gambar 4.2.2.5 Stepper Y bergerak maju 1 titik

5. Step 4 dari posisi Titik 8 ke Titik 6



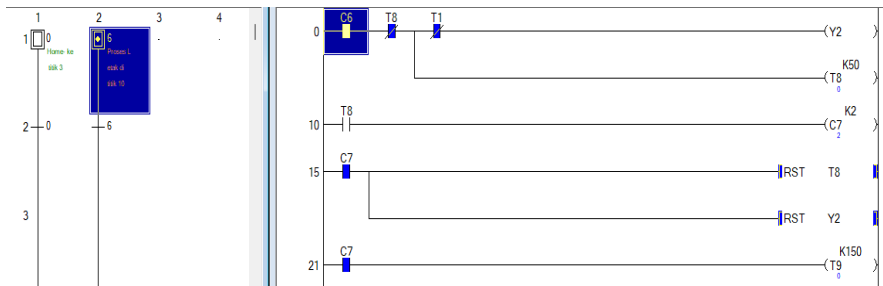
Gambar 4.2.2.6 Stepper X bergerak ke kiri 1 titik

6. Step 5 dari posisi Titik 7 ke Titik 10

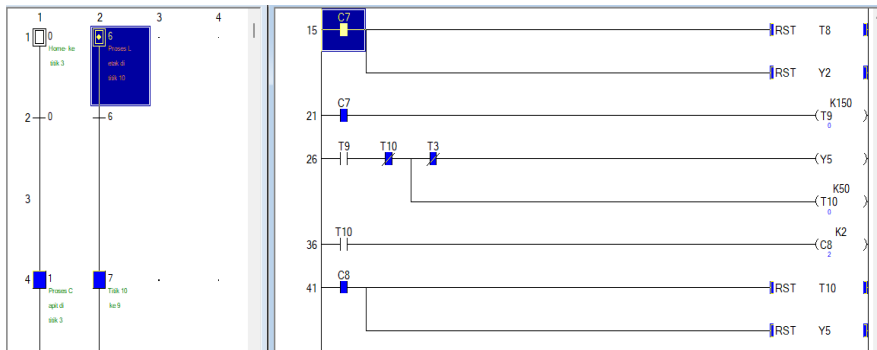


Gambar 4.2.2.7 Stepper Y bergerak maju 1 titik

7. Step 6 Proses Letak di Titik 10

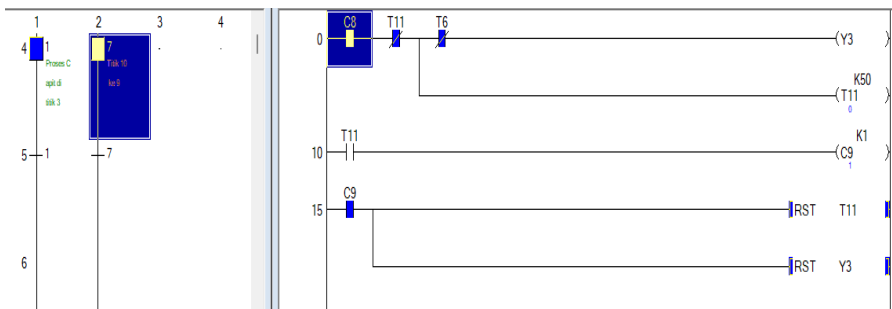


Gambar 4.2.2.8 Stepper Z kebawah & delay 15 detik untuk proses letak



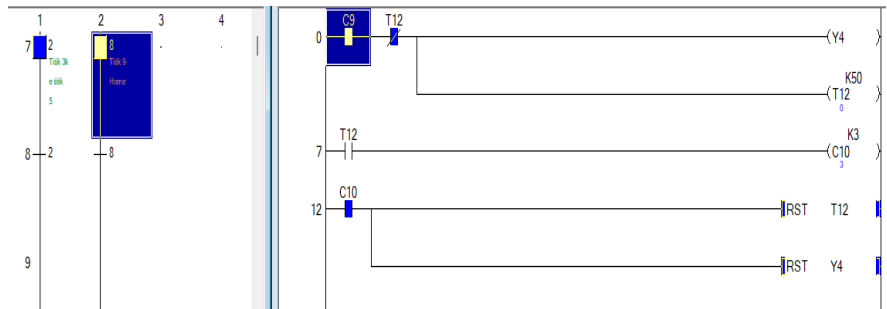
Gambar 4.2.2.9 Proses delay tercapai & Stepper Z ke atas

8. Step 7 dari posisi Titik 10 ke Titik 9



Gambar 4.2.2.10 Stepper X bergerak ke kiri 1 titik

9. Step 2 dari posisi Titik 9 kembali ke Home



Gambar 4.3.2 11 Stepper Y bergerak mundur 3 titik



BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pemrograman dan simulasi “Perancangan dan Implementasi Program PLC Berbasis *Sequential Function Chart* (SFC) Pada Modul Pembelajaran Robot Kartesian Tiga Sumbu, dapat disimpulkan bahwa:

1. Program Arduino berhasil mengendalikan hubungan antara sensor proximity dan servo gripper. Ketika objek terdeteksi pada proses pengambilan, servo bergerak dari 0° hingga 180° untuk mencapit barang. Pada posisi peletakan, sensor mendeteksi jarak yang telah ditentukan, yaitu ± 10 cm, sehingga servo kembali dari 180° ke 0° untuk melepaskan barang.
2. Program SFC yang diimplementasikan menggunakan Ladder Diagram berhasil mengatur urutan pergerakan mekanisme berdasarkan koordinat yang telah ditentukan. Penggunaan timer dan counter dapat digunakan sebagai penanda perpindahan antar-koordinat serta memberikan waktu tunggu pada proses pencapitan dan peletakan barang.
3. Simulasi Studi Kasus 1 berhasil menjalankan rute **Home** $\rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 8 \rightarrow 11 \rightarrow 8 \rightarrow 5 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow \text{Home}$.

Mekanisme dapat bergerak menuju titik pengambilan, melakukan proses pencapitan di titik 2, membawa barang menuju titik 11, melakukan proses peletakan, kemudian kembali ke posisi Home sesuai urutan yang telah diprogram.

4. Simulasi Studi Kasus 2 berhasil menjalankan rute **Home** → **3** → **4** → **5** → **8** → **7** → **10** → **9** → **6** → **3** → **Home**. Mekanisme dapat mengikuti setiap tahapan koordinat yang telah ditentukan, melakukan pengambilan pada titik 3, peletakan pada titik 10, dan kembali ke Home melalui jalur yang telah dirancang.
5. Berdasarkan kedua studi kasus tersebut, program SFC dan Ladder dapat mengatur pergerakan mekanisme sesuai dengan jalur koordinat yang dirancang, sedangkan program Arduino menjalankan fungsi gripper secara terpisah melalui sensor proximity dan servo. Integrasi keduanya memungkinkan proses pengambilan, pemindahan, peletakan barang, dan pengembalian mekanisme ke posisi Home berjalan sesuai urutan yang telah ditentukan.

5.2 Saran

Pada Tugas Akhir ini masih terdapat beberapa keterbatasan, terutama karena pengujian dilakukan melalui simulasi. Oleh karena itu, beberapa pengembangan yang dapat

dilakukan pada penelitian selanjutnya adalah:

1. Melakukan implementasi pada perangkat fisik untuk mengetahui kesesuaian hasil simulasi dengan kondisi mekanisme sebenarnya, terutama pada ketepatan pergerakan stepper dan posisi gripper.
2. Menggunakan sensor pendeteksi posisi atau batas gerak pada setiap sumbu agar posisi mekanisme dapat diketahui secara langsung dan tidak hanya ditentukan berdasarkan timer dan counter.
3. Mengembangkan komunikasi antara PLC dan Arduino agar proses gripper dapat menerima perintah secara langsung dari tahapan SFC/Ladder, sehingga koordinasi antara pergerakan mekanisme dan proses pencapitan maupun peletakan dapat lebih terintegrasi.
4. Melakukan pengujian dengan variasi ukuran dan posisi barang untuk mengetahui kemampuan gripper dalam mencapit serta meletakkan barang pada posisi yang berbeda.
5. Mengembangkan sistem agar dapat menjalankan lebih banyak variasi koordinat sehingga mekanisme dapat digunakan untuk proses pemindahan barang dengan jalur yang lebih kompleks.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] PELINDO, “Kinerja Pelindo Makin Solid, Peti Kemas 2023 Tembus 17,7 Juta Teus,” 07 Februari 2024. [Online]. Available: <https://pelindo.co.id/media/download/562/kinerja-pelindo-makin-solid-peti-kemas-2023-tembus-177-juta-teus>.
- [2] The SMERU Research Institute, “ANALISIS PENGEMBANGAN KETERAMPILAN DIGITAL DI SEKTOR PUBLIK INDONESIA,” The SMERU Research Institute, Jakarta, 2024.
- [3] M. Pounraj, “3D Autonomous Warehouse Simulation by Sequential Function Chart using CoDeSys V3.5,” *Research Square*, pp. 1-18, 2022.
- [4] Z. Abadi, “Kendali Robot Pneumatik Tiga Aksis dengan Programmable Logic Controller Berbasis Function Block Diagram, Sequential Function Chart, dan Ladder Diagram,” FTI-Usakti, Jakarta, 2018.
- [5] P. Thongprasorn dan C. Vesarachaprasert, “Application of Cartesian Robotic Arm for 2D Sketching Controlled by PLC,” *Journal of Engineering, RMUTT (JERMUTT)*, vol. 20, no. 2, pp. 13-24, 2022.
- [6] V. Moya, M. Maldonado, J. P. Vázquez, F. Abedrabbo, D. Pozo-Espin dan M. Moya, “Automated Assembly Line with 2D Cartesian Robot and Conveyor Belt,” *International Journal of Technology*, vol. 16, no. 3, pp. 914-932, 2022.
- [7] B. Herdiana, E. B. Setiawan dan U. Sartoyo, “Tinjauan Komprehensif Evolusi, Aplikasi, dan Tren Masa Depan Programmable Logic Controllers,” *TELEKONTRAN*, vol. 11, no. 2, pp. 173-193, 2023.
- [8] J. Lu, “Application of PLC Control Technology in Intelligent Automatic Control,” *IEEE Asia-Pacific Conference on Image Processing, Electronics and Computers (IPEC)*, pp. 1166-1169, 2022.
- [9] M. A. Sehr, M. Lohstroh, M. Weber, I. Ugalde, M. Witte, J.

- Neidig, S. Hoeme, M. Niknami dan E. . A. Lee, “Programmable Logic Controllers in the Context of Industry 4.0,” *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 17, no. 5, pp. 3523-3533, 2020.
- [10] R. M. Levenson, Z. E. Nelson dan A. A. Adegbege ,
“Programmable Logic Controller for Embedded Implementation of Input-Constrained Systems,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 50, no. 1, pp. 14412-14417, 2017.
- [11] A. T. Wardhana, A. Zamheri dan D. Puspa,
“IMPLEMENTATION OF PLC BASED AUTOMATIC SORTING SYSTEM,” *Jurnal Polsri*, vol. 15, no. 1, pp. 36-40, 2023.
- [12] R. Amrulloh, T. Andromeda dan I. Setiawan,
“IMPLEMENTASI IEC 61131-3 PADA OTOMATISASI PEMBUATAN TIRAMISU,” Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Undip, Semarang, 2011.
- [13] L. Aditya dan W. Suryantoro , “RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI SEMI OTOMATIS PINTU AIR BENDUNGAN DENGAN MINI HOIST PA200 BERBASIS PLC OMRON CP1E-E20SDR-A,” *Jurnal Elektro*, vol. 12, no. 2, pp. 199-213, 2023.
- [14] E. D. Maniar, S. Kurniawan, M. Isnen dan A. Ridwan,
“Perancangan Human Machine Interface(HMI) Pada Modul Praktikum Sistem HMI Berbasis PLC Omron CP1E NA20DRA,” *Jurnal Elektronika, Listrik dan Teknologi Informasi Terapan*, vol. 3, no. 1, pp. 20-25, 2021.
- [15] alldatasheet.com, “alldatasheet.com,” Omron Electronics LLC, [Online]. Available: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1424391/OMRON/CP1E.html>. [Diakses 19 Februari 2026].
- [16] I. Rachman, H. A. Widodo, R. Y. Adhitya dan Y. Irawan,
“Sistem Komunikasi Mikrokontroler dan PLC Berbasis Komunikasi Serial Host Link dan Protokol C-Command RS232,” *Infotekmesin*, vol. 14, no. 2, pp. 354-361, 2023.

- [17] E. D. Maniar, S. Kurniawan, M. Isnen dan A. Ridwan, “Perancangan Human Machine Interface(HMI) Pada Modul Praktikum Sistem HMI Berbasis PLC Omron CP1E NA20DRA,” *ELTI Jurnal Elektronika, Listrik dan Teknologi Informasi Terapan*, vol. 2, no. 1, pp. 1-6, 2019.
- [18] OMRON, “myOMRON,” OMRON, [Online]. Available: https://files.omron.eu/downloads/latest/manual/en/w446_cx-programmer_operation_manual_en.pdf?v=1. [Diakses 22 Februari 2026].
- [19] A. P. Abseno, “Perancangan Program PLC Untuk Mesin Pengisian Botol Pada PT. Kairos Solusi Indonesia,” STIKOM Surabaya, Surabaya, 2018.
- [20] E. Rudiawan, “Scribd.com,” 2018. [Online]. Available: <https://www.scribd.com/document/440616224/sequential-flow-chart>. [Diakses 23 Februari 2026].
- [21] Z. dan B. Suprianto, “RANCANG BANGUN MESIN PCB MILLING DENGAN KONFIGURASI KARTESIAN ROBOT 3 AKSIS,” *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 8, no. 3, pp. 587-593, 2019.
- [22] Y. Mehmood, F. Cannella dan S. Cocuzza, “Analytical Modeling, Virtual Prototyping, and Performance Optimization of Cartesian Robots: A Comprehensive Review,” *Robotics*, vol. 14, no. 5, p. 62, 2025.
- [23] A. Wibowo, “Perancangan Prototype Simulator Robot Cartesian 3 DOF,” UNIVERSITAS NASIONAL, Jakarta, 2021.
- [24] ARDUINO, “ARDUINODOCS,” ARDUINO, 2026. [Online]. Available: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3/>. [Diakses 2 Maret 2026].
- [25] M. T. Janaki, “Rancang bangun tempat sampah pemilah otomatis berbasis arduino uno dengan sensor proximity,” Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang, 2024.
- [26] F. A. Saputra, “PERANCANGAN ALGORITMA PEMILAH SAMPAH OTOMATIS MENGGUNAKAN INDUCTIVE PROXIMITY SENSOR,CAPACITIVE PROXIMITY SENSOR, DAN INFRARED SENSOR,” UNIVERSITAS PGRI

SEMARANG, SEMARANG, 2022.

- [27] A. F. Agustya dan A. Fahrudi, “Rancang Bangun Alat Otomatis Pemilah Sampah Logam, Organik Dan Anorganik Menggunakan Sensor Proximity Induksi Dan Sensor Proximity Kapasitif,” dalam *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan*, Surabaya, 2020.
- [28] M. C. Anwar, "Dijuluki Pulau Garam, Ini Hasil Produksi Garam di Madura," *Kompas.com*, 22 Maret 2021. [Online]. Available: <https://money.kompas.com/read/2021/03/22/145029326/dijuluki-pulau-garam-ini-hasil-produksi-garam-di-madura>. [Accessed 02 12 2025].
- [29] M. Yusuf dan P. Nugroho, “ANALISIS TINGKAT PENDAPATAN PETANI GARAM,” *PERFORMANCE : Jurnal Bisnis & Akuntansi*, vol. 14, no. 01, pp. 357-366, 2024.
- [30] Jamal, “Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Turbin Savonius,” *INTEK Jurnal Penelitian.*, vol. 6, no. 1, pp. 64-68, 2019.
- [31] Z. Syarif dan D. Pabiban, “APLIKASI KINCIR ANGIN SAVONIUS UNTUK,” *Jurnal Ilmiah FLASH*, vol. 3, no. 2, pp. 109-114, 2017.
- [32] S. M. A. A dan J. Syarif, “PKM PEMANFAATAN KINCIR ANGIN UNTUK PENINGKATAN PENDAPATAN DAN PENGUATAN KAPASITAS KELEMBAGAAN KELOMPOK PETANI GARAM TRADISIONIL DI KECAMATAN LAPANG KABUPATEN ACEH UTARA,” *Jurnal Vokasi*, vol. 5, no. 1, pp. 11-19, 2021.
- [33] F. Rhamadhan, M. F. Soetanto dan M. R. Zuhri, “Rancang Bangun Sistem Pompa dan Pipa pada Turbin Angin Savonius Dua Tingkat Sebagai Sistem Pengaliran Air,” *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar (IRWNS)*, vol. 16, no. 1, pp. 223-230, 2025.
- [34] alumniteti.ft, “Energi Angin: Solusi Berkelanjutan untuk Masa Depan,” DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO DAN TEKNOLOGI INFORMASI UNIVERSITAS GADJAH MADA,

- 25 March 2025. [Online]. Available:
<https://jteti.ugm.ac.id/2025/03/25/energi-angin-solusi-berkelanjutan-untuk-masa-depan/>. [Diakses 10 02 2026].
- [35] A. Azizah , Y. dan S. , “Analisis Pemahaman Mahasiswa Pendidikan Fisika terhadap Mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga Angin,” *Jurnal Mekanova : Mekanikal, Inovasi dan Teknologi* , vol. 9, no. 1, pp. 108-117, 2023.
- [36] G. P. Haryanto, “Control Motor Pompa Air Daur Ulang STP BerbasisArduino dengan Sensor Kelembaban Tanah,” *Jurnal Media Infotama*, vol. 20, no. 2, pp. 706-712, 2024.
- [37] i. Munthe dan J. Napitupulu, “STUDI GENERATOR PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN,” *JURNAL TEKNOLOGI ENERGI UDA*, vol. 11, no. 1, pp. 57-68, 2022.
- [38] K. Jumaida, W. Yandi, D. Irwansyah dan M. Y. Puriza, “STUDI KINERJA DAN EFISIENSI SISTEM PENGECCASAN BATERAI PADA PEMBANGKIT HYBRID SURYA DAN ANGIN DI UNIVERSITAS BANGKA BELITUNG,” *Jurnal Univerrstas Bangka Belitung*, vol. 5, pp. 199-203, 2021.
- [39] R. Ruman, S. Amir, C. Ali dan S. D. Makase, “RANCANG BANGUN POMPA AIR OTOMATIS MENGGUNAKAN SENSOR ULTRASONIK BERBASIS ARDUINO UNO DI RUSUN PALDAM XVI/PTM AMBON,” *Jurnal Ilmu Komputer STIKOM Ambon*, vol. 8, no. 2, pp. 28-32, 2023.
- [40] M. FATH HAQ dan M. , “RANCANG BANGUN TURBIN SAVONIUS PENGGERAK POMPA SUBMERSIBLE SEBAGAI ALAT PENYIRAM TANAMAN BERBASIS ARDUINO,” *POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG, MAKASSAR*, 2023.
- [41] R. Dickson, “Pulley Ratio Calculator — Speed and Torque Between Pulleys,” *FIRGELI AUTOMATIONS*, 23 Februari 2026. [Online]. Available:
<https://www.firgelliauto.com/blogs/engineering-calculators/pulley-ratio-calculator-speed-and-torque-between-pulleys>. [Diakses 07 Juli 2026].

- [42] A. S. Hasudungan, S. dan R. J. Kadoatie, “KAJIAN KELAYAKAN EKONOMI JARINGAN TAMBAK GARAM,” *JURNAL KARYA TEKNIK SIPIL*, vol. 3, no. 4, pp. 1-9, 2014.
- [43] N. MARIS, “RANCANG BANGUN PENGATURAN KECEPATAN PUTAR MOTOR DC BERDASARKAN WAKTU REAL TIME CLOCK (RTC) DAN MONITORING MENGGUNAKAN HMI BERBASIS PLC SCHNEIDER PADA ALAT PENETAS TELUR OTOMATIS,” UNIVERSITAS DIPONEGORO, SEMARANG, 2018.

BIODATA PENULIS



Triana Agustin dilahirkan di Probolinggo, 13 Agustus 2003. Penulis merupakan anak ketiga dari pasangan Rachmad Jusuf dan Kustiah. Riwayat pendidikan penulis dimulai dari SD IT Alfaizin dan lulus pada tahun 2016, kemudian

melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 1 Sampang dan lulus pada tahun 2019. Selanjutnya, penulis menempuh pendidikan di SMA Negeri 1 Sampang dan lulus pada tahun 2022.

Pada tahun 2023, penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Politeknik Negeri Madura, Jurusan Teknologi Elektro, Program Studi D3 Teknik Listrik Industri. Selama menempuh pendidikan, penulis aktif dalam kegiatan akademik. Dalam menyelesaikan studinya, penulis menyusun Tugas Akhir dengan judul **“Perancangan dan Implementasi Program PLC Berbasis *Sequential Function Chart* (SFC) pada Modul Pembelajaran Robot Kartesian Tiga Sumbu.”**