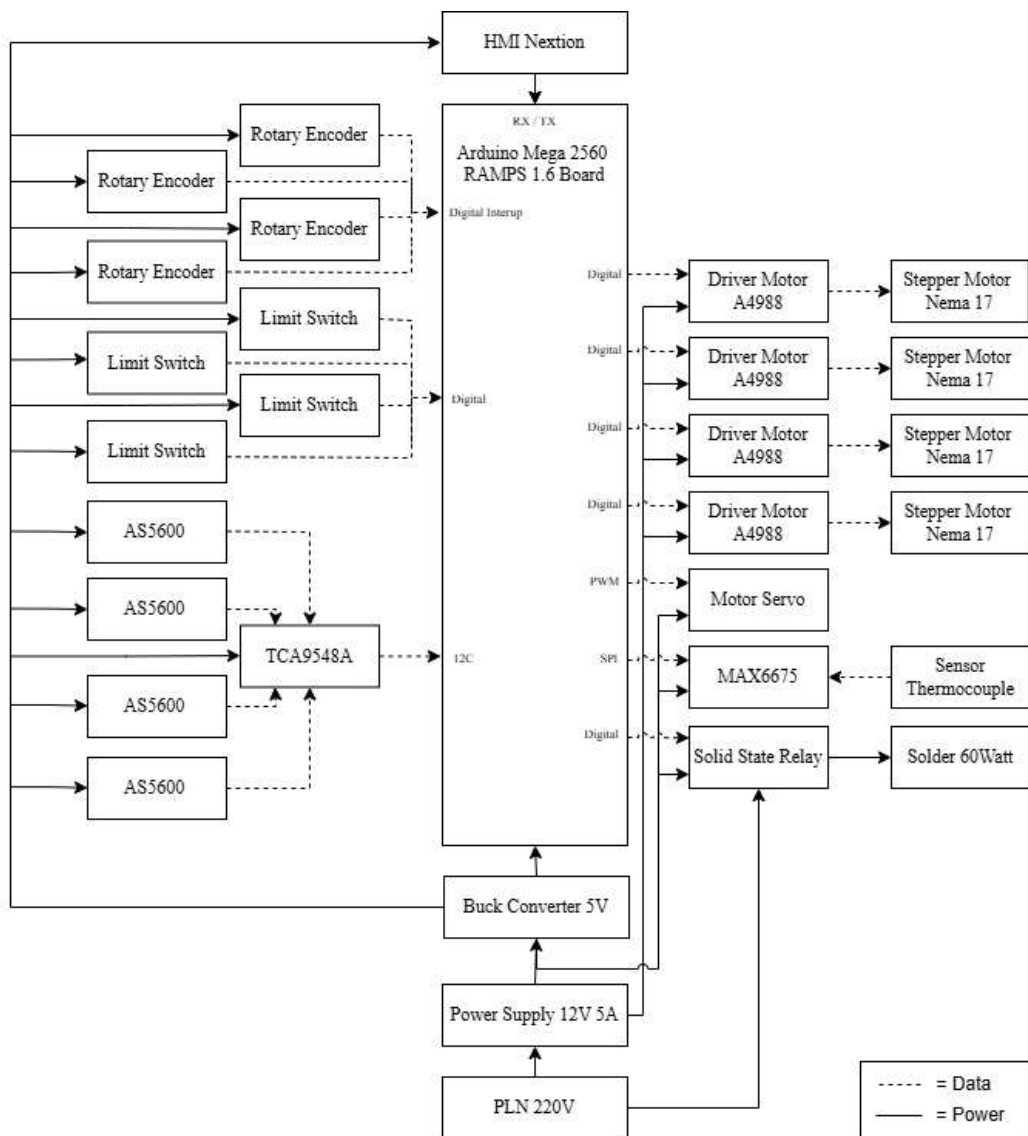


BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Blok Diagram

Dalam proses pembuatan alat sebagai proyek tugas akhir yang berjudul “Rancang Bangun Alat *Soldering SCARA 4 DOF* Berbasis Arduino Mega 2560 Dengan Metode Kinematik”, dibuatlah blok diagram alat untuk memudahkan pemahaman terkait *input* dan *output* dari alat, serta susunan komponen elektronika pada sistem yang dirancang yang dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 Diagram Blok Alat

Diagram blok diatas terdiri dari beberapa komponen yang digunakan dalam pembuatan alat yang berjudul “Rancang Bangun Alat Soldering *SCARA 4 DOF* Berbasis Arduino Mega 2560”.

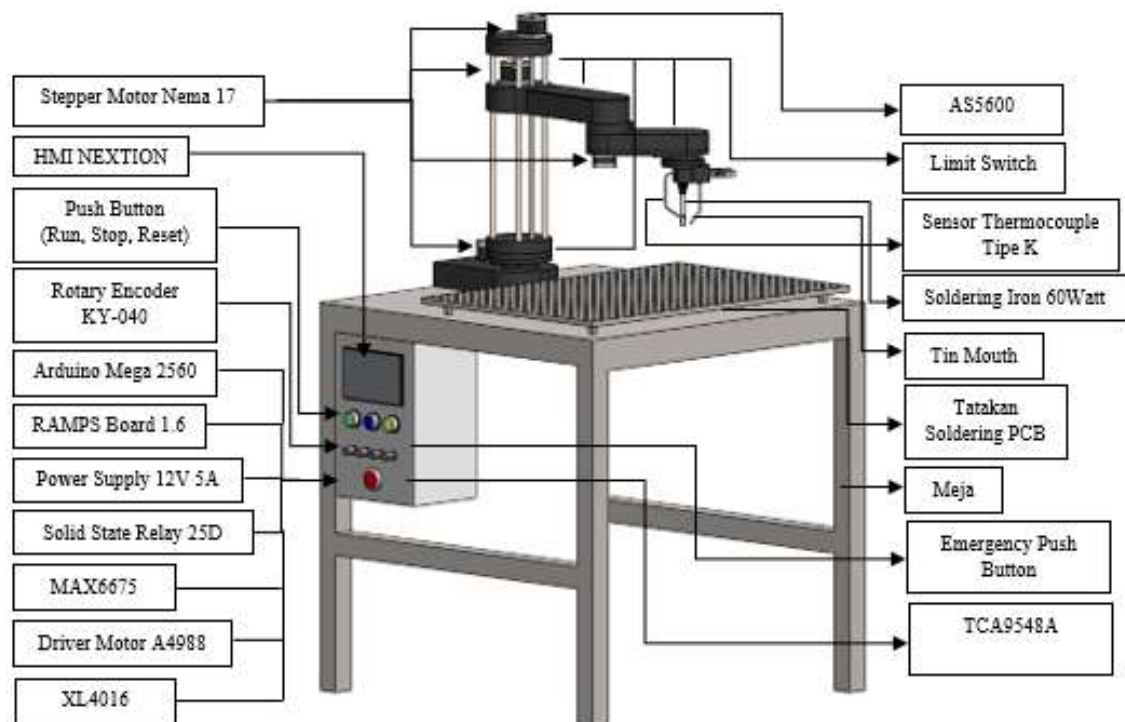
Berikut adalah penjelasan dari diagram blok pada **Gambar 3.1**:

- a. Arduino Mega 2560 sebagai mikrokontroler yang digunakan untuk mengendalikan Alat *Soldering SCARA 4 DOF*.
- b. RAMPS Board 1.6 digunakan sebagai pendistribusi sinyal antara mikrokontroler menuju sensor dan aktuator yang digunakan.
- c. HMI Nextion digunakan sebagai antarmuka penghubung komunikasi antara pengguna dengan mikrokontroler.
- d. *Power Supply* 12V 10A sebagai *supply* tegangan yang dibutuhkan oleh Arduino Mega 2560, RAMPS Board 1.6, Driver Motor A4988, *Stepper Motor Nema 17*, *Rotary Encoder KY-040*, *Limit switch*, *Push Button*, Motor Servo, Sensor *Thermocouple Type-K*, MAX6675, *Solid State Relay 25DA*, dan *Soldering iron*.
- e. *Step Down* sebagai penurun tegangan *power supply* yang dibutuhkan oleh Arduino Mega dan HMI Nextion.
- f. *Rotary Encoder KY-040* sebagai *input* besaran nilai untuk menggerakan *stepper motor*, dan juga digunakan untuk melakukan penyimpanan posisi *stepper motor* menggunakan tombol switch pada *rotary encoder*.
- g. Driver Motor A4988 sebagai pemrosesan data dari *rotary encoder* menuju ke *stepper motor*, yang selanjutnya melakukan pengaturan gerak *stepper motor*, dan juga sebagai penyalur arus menuju *stepper motor*.
- h. *Stepper Motor Nema 17* digunakan sebagai penggerak dari lengan robot.
- i. Sensor *Thermocouple* digunakan untuk mengukur nilai suhu dari *soldering iron* dalam bentuk sinyal *analog*.
- j. MAX6675 sebagai pengkonversi sinyal dari sensor *thermocouple* menjadi data *digital* menggunakan sistem SPI, yaitu merubah sinyal dari sensor *thermocouple* dalam besaran biner menjadi data *digital*.
- k. AS5600 *Magnetic Encoder* berfungsi menghitung posisi sudut absolut dari magnet diametric yang terpasang pada poros *stepper motor*.

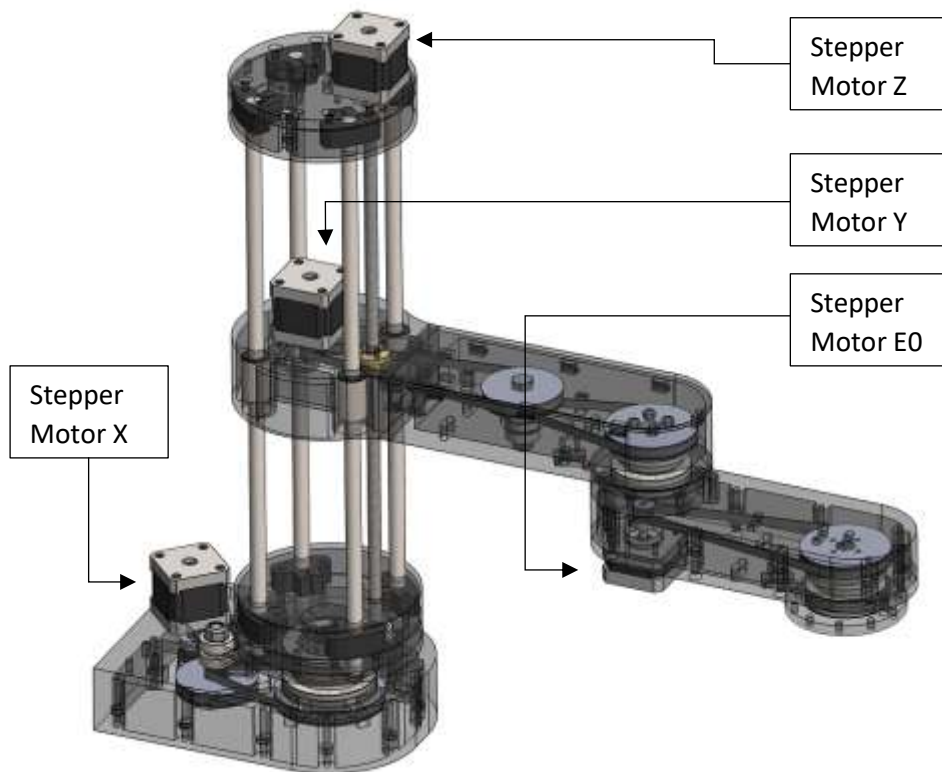
- l. TCA9548A berfungsi untuk untuk menghubungkan beberapa channel AS5600 melalui kontrol 12C, sehingga beberapa channel AS5600 yang berkomunikasi dengan sistem 12C dapat berkomunikasi secara bersamaan.
- m. *Solid State Relay* sebagai penyuplai tegangan AC untuk *soldering iron*, dengan melakukan konversi tegangan DC dengan rentang 3-21VDC dari arduino mega menjadi tegangan AC dengan rentang 24-380VAC.

3.2. Desain 3D

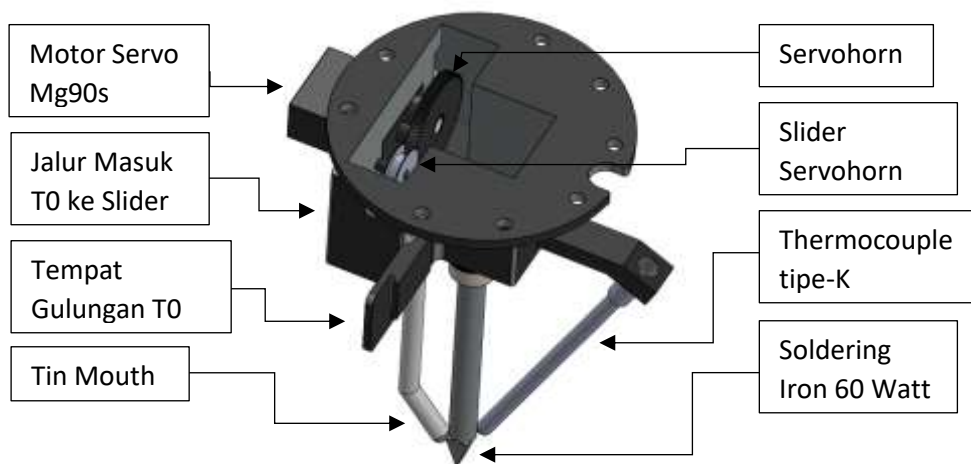
Pada penelitian ini memiliki perencanaan desain 3D dengan *software Solidword* yang dapat dilihat pada **Gambar 3.2** untuk design keseluruhan, **Gambar 3.3** untuk design mekanik stepper motor, dan **Gambar 3.4** untuk design mekanik *end-effector*.



Gambar 3. 2 Alat Soldering SCARA 4 DOF



Gambar 3. 3 Design 3D Mekanik Stepper Motor Pada Lengan Robot



Gambar 3. 4 Design 3D Mekanik End Effector **Teknik Fabrikasi**

3.3. Alat dan Bahan

Sistem alat *soldering SCARA 4 DOF* memerlukan beberapa alat dan bahan yang digunakan untuk merancang sistem alat ini. Berikut adalah alat dan bahan yang digunakan

Tabel 3. 1 Alat dan Bahan

Alat dan Bahan	Fungsi
Arduino Mega 2560	MCU Utama
Sensor <i>Thermocouple</i> Tipe-K	Perangkat pengambil data suhu
<i>Limit switch</i>	<i>Input</i> nilai antarmuka
Driver Motor A4988	Penghubung antara motor dengan MCU
RAMPS Board 1.6	Penghubung antara sensor dengan MCU
<i>Stepper Motor Nema 17</i>	Pengerak Arm Robot
<i>Human Machine Interface</i>	<i>Input</i> nilai antarmuka
<i>Rotary Encoder</i>	<i>Input</i> nilai antarmuka
<i>AS5600 Magnetic Encoder</i>	<i>Input</i> nilai antarmuka
<i>TCA9548A</i>	<i>Input</i> nilai antarmuka
<i>Stepper Motor</i>	<i>Output</i> nilai antarmuka
Motor Servo	<i>Output</i> nilai antarmuka
<i>Soldering iron 60W</i>	<i>Output</i> nilai antarmuka
<i>Solid State Relay</i>	Penghubung antara sensor dengan MCU
MAX6675	Penghubung antara sensor dengan MCU
<i>Power Suppy 12V 20A</i>	Penurun tegangan ke 12V
<i>Buck Converter</i>	Penurun tegangan ke 5V

3.4. Perancangan Perangkat Keras

Pada tahapan perancangan perangkat keras untuk membuat robot *soldering SCARA 4 DOF* berbasis Arduino Mega 2560 terdapat 3 tahapan proses sebagai berikut:

a. Perakitan perangkat keras

Pada tahapan ini, komponen penyusun alat soldering *SCARA 4 DOF* berbasis Arduino Mega 2560 dirakit agar berfungsi dengan baik.

b. Pengujian sistem alat

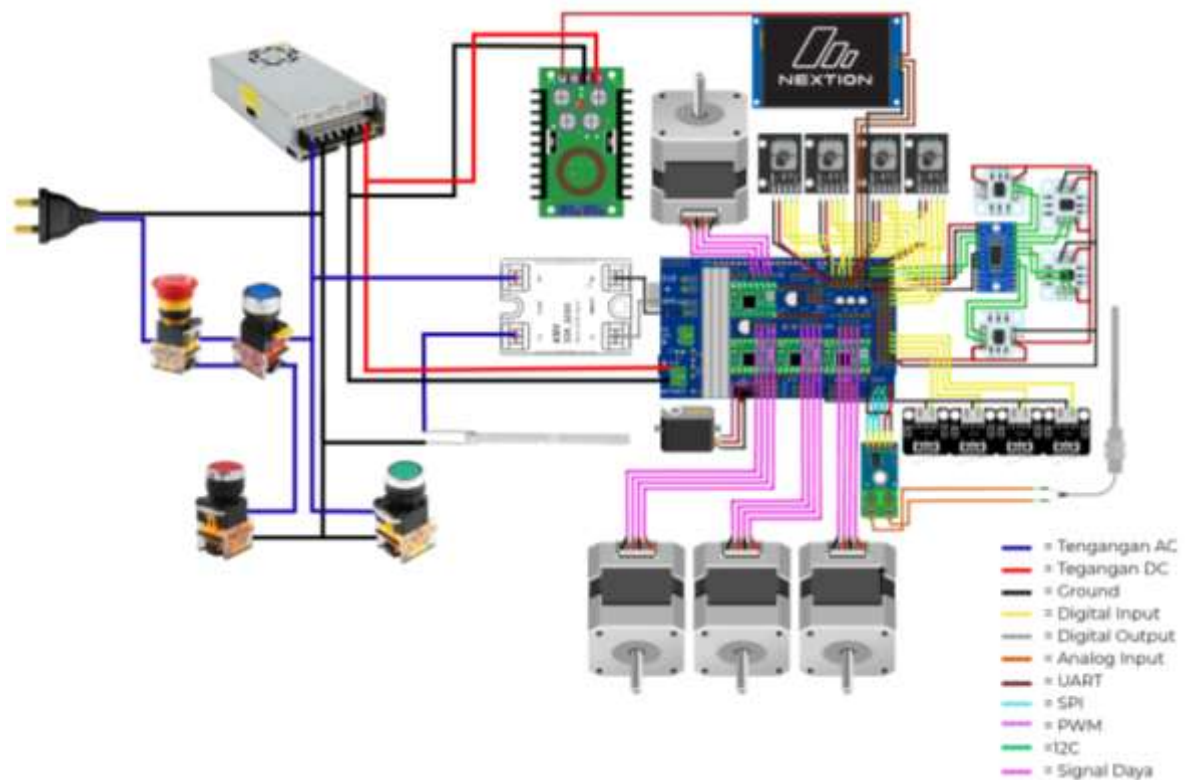
Pada tahapan ini, setiap komponen diuji dengan sistem yang telah digunakan, sehingga setiap komponen dapat diketahui apakah dapat bekerja sesuai fungsinya.

c. Pengambilan data

Pada tahapan ini, seluruh sensor dan komponen yang digunakan akan diperiksa keakuratan dan absahan nilai *inputan* data dengan melihat database dan alat ukur pembanding.

3.5.Perancangan Elektrikal

Perancangan elektrikal yang diperlukan untuk mengetahui sistem dan komponen dari perangkat elektronika yang dibutuhkan pada rancangan alat *soldering SCARA 4 DOF* berbasis Arduino Mega 2560 dapat dilihat pada **Gambar 3.5**.



Gambar 3. 5 Rangkaian Elektrikal Alat Soldering SCARA 4 DOF Berbasis Arduino Mega 2560

Berdasarkan **Gambar 3.5**, diatas, konfigurasi pin yang digunakan dapat dijelaskan pada **Tabel 3.2**, berikut.

Tabel 3. 2 Konfigurasi Pin pada MCU dan Sensor

Komponen Terhubung	Pin Komponen	Pin MCU
Stepper Motor Nema 17	Output Driver Motor	
Stepper Motor Nema 17	Output Driver Motor	

Stepper Motor Nema 17	<i>Output Driver Motor</i>	
Stepper Motor Nema 17	<i>Output Driver Motor</i>	
Driver Motor A4899	STEP	54
	DIR	55
	ENABLE	38
Driver Motor A4899	STEP	60
	DIR	61
	ENABLE	56
Driver Motor A4899	STEP	46
	DIR	48
	ENABLE	62
Driver Motor A4899	STEP	26
	DIR	28
	ENABLE	24
<i>Rotary Encoder KY-040</i>	CLK	2
	DT	16
	SW	17
<i>Rotary Encoder KY-040</i>	CLK	3
	DT	23
	SW	25
<i>Rotary Encoder KY-040</i>	CLK	14
	DT	27
	SW	29
<i>Rotary Encoder KY-040</i>	CLK	15
	DT	31
	SW	33
<i>Limit switch</i>	NO	59
<i>Limit switch</i>	NO	64
<i>Limit switch</i>	NO	44
<i>Limit switch</i>	NO	66
MAX6675	CS	51
	SCK	52
	SO	50
AS5600	-	-
TCA9548A	SDA	20
	SCL	21
Solid State <i>Relay</i>	PWM	6
Motor Servo	Digital	11
XL4016		

3.6. Perancangan Perangkat Lunak

Pada perancangan alat ini menggunakan flowchart sebagai representasi visual yang menggambarkan alur logika atau proses dalam bentuk diagram. Pada diagram ini dijelaskan bagaimana alur kerja sistem dalam mode *manual* dan *teaching* berdasarkan *flowchart* yang telah dirancang *flowchart* tersebut dapat dilihat pada **Gambar 3.6**.



Gambar 3. 6 Flowchart Sistem Robot Soldering SCARA 4 DOF

Pada **Gambar 3.6.**, Flowchart sistem kerja alat ini terbagi menjadi dua bagian yang saling terhubung melalui konektor A, yaitu bagian inisialisasi dan pemrograman *Waypoint* serta bagian eksekusi proses soldering. Pada bagian pertama, sistem dimulai dari proses inisialisasi seluruh perangkat keras meliputi mikrokontroler, driver motor stepper, dan sensor, kemudian dilanjutkan dengan prosedur *Homing System* untuk mengembalikan seluruh sumbu X, Y, Z, dan E0 ke posisi referensi awal guna memastikan akurasi posisi sebelum operasi, lalu seluruh data *Waypoint* yang tersimpan sebelumnya direset untuk mempersiapkan sesi pemrograman baru. Setelah itu, operator memilih salah satu dari dua mode input *Waypoint* yang tersedia, yaitu Manual Mode di mana operator memberikan nilai input secara langsung melalui Rotary Encoder KY-040 atau tombol HMI untuk melakukan jog pada masing-masing sumbu, atau Teaching Mode di mana Motor Stepper Nema 17 dinonaktifkan sehingga operator dapat menggerakkan end effector secara manual ke posisi yang diinginkan dan posisinya dibaca oleh sensor AS5600 melalui multiplexer TCA9548A. Pada kedua mode tersebut, posisi yang diperoleh dihitung menggunakan *Forward Kinematic Calculation* kemudian disimpan sebagai *Waypoint*, dan operator dapat menambahkan *Waypoint* berikutnya secara berulang hingga seluruh titik jalur soldering selesai diprogram, selanjutnya sistem menjalankan *Run Program* dan berpindah ke bagian eksekusi melalui konektor A. Pada bagian kedua, sistem terlebih dahulu mengaktifkan SSR untuk menghidupkan elemen pemanas soldering iron dengan target suhu 350°C, di mana sensor MAX6675 membaca suhu setiap 25 ms dan SSR dikontrol menggunakan metode histeresis $\pm 5^{\circ}\text{C}$ untuk menjaga kestabilan suhu pada titik target. Setelah suhu tercapai, robot secara otomatis bergerak menuju *Waypoint* pertama sesuai urutan yang telah diprogram, kemudian servo motor menggerakkan mekanisme solder feeder untuk mengumpankan timah solder pada titik penyolderan, dan proses ini berulang untuk setiap *Waypoint* berikutnya hingga seluruh titik jalur soldering selesai dieksekusi. Setelah semua *Waypoint* tuntas, sistem melakukan homing kembali untuk mengembalikan robot ke posisi awal, SSR dimatikan untuk menghentikan proses pemanasan, dan program dinyatakan selesai.

3.7.Perhitungan Komponen Mekanikal

Perhitungan komponen mekanikal bertujuan untuk memastikan penelitian ini berfungsi dengan baik dan sesuai dengan kebutuhan dari pengoperasian alat. Serta perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui besaran torsi yang dibutuhkan oleh motor guna menggerakkan lengan robot, dengan memperhitungkan gaya gravitasi dan percepatan. Berikut adalah hasil perhitungan komponen mekanikal :

a. Stepper Motor 1

Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui besaran torgi motor yang dibutuhkan untuk mengerakan lengan robot, yang bertujuan untuk mengetahui kebutuhan torsi dengan kinerja dari kekuatan motor. Pada stepper motor satu menggunakan *stepper motor* nema 17 dengan besaran torsi awal sebesar 0,5Nm, dengan beban yang digerakan sebesar 5kg. Serta untuk menggerakkan beban tersebut, stepper motor menggunakan 2 *pully driver* dan 2 *pully driven*, yaitu untuk *stage* satu menggunakan *pully driver* 8mm dengan *pully driven* 25mm, dan *stage* dua menggunakan *pully driver* 8mm dengan *pully driven* 35mm, dan efisiensi per *stage* sebesar 0.9. Dengan parameter dasar yang telah diketahui maka selanjutnya dilakukan perhitungan untuk rasio pully dengan menggunakan persamaan 2.12 sebagai berikut:

Stage 1

$$n = \frac{25}{8} = 3.125$$

Stage 2

$$n = \frac{35}{8} = 4.375$$

Setelah mendapatkan besaran rasio pully setiap *stage*, selanjutnya hitung besaran torsi *output* (τ) menggunakan persamaan 2.13 sebagai berikut:

Stage 1

$$\tau = 0.5 \times 3.125 \times 0.9 = 1.41Nm$$

Stage 2

$$\tau = 1.41 \times 4.375 \times 0.9 = 5.55Nm$$

Setelah melakukan perhitungan rasio dan torsi *output* untuk *stage* 1 dan *stage* 2, maka didapati total rasio dan torsi *output* yang bekerja pada *stepper* ini sebagai berikut :

$$n_{total} = 3.125 \times 4.375 = 13.67$$

$$\tau_{output} = 55.5Nm \text{ (} 56.6kgf.cm \text{)}$$

Setelah mengetahui rasio dan torsi *output* dari sistem, selanjutnya melakukan perhitungan untuk mengetahui besaran gaya yang bekerja pada sistem dengan persamaan 2.14, dengan diketahui besaran koefisien gesek (μ)=0.2, percepatan (a)=0.1m/s² dan gravitasi (g)=9.81, sehingga didapati hasil perhitungan sebagai berikut:

$$F_{gesek} = 0.2 \times 5 \times 9.81 = 9.81N$$

$$F_{akselerasi} = 5 \times 0.1 = 0.5N$$

$$F = 9.81 + 0.5 = 10.31$$

Setelah mengetahui besaran gaya yang bekerja pada sistem, selanjutnya dilakukan perhitungan torsi yang dibutuhkan oleh *stepper motor* untuk menggerakkan beban dengan menggunakan persamaan 2.17 sebagai berikut:

$$\tau_{dibutuhkan} = 10.31 \times 0.035 = 0.36085N$$

Setelah mengetahui besaran torsi yang dibutuhkan untuk menjalankan sistem, selanjutnya melakukan perhitungan *margin* keamanan untuk mengetahui apakah torsi dibutuhkan telah sesuai dengan torsi yang dihasilkan oleh *stepper motor* untuk menjalankan sistem dengan beban 5kg menggunakan persamaan 2.18 sebagai berikut :

$$Margin = \frac{5.55}{0.36} \approx 15.4 \times$$

Dengan *margin* yang telah diketahui sebesar 17.94kg, maka *stepper motor* dengan torsi awal sebesar 0.5Nm mampu megerakan sistem dengan beban 5kg.

b. Stepper Motor 2

Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui besaran torsi motor yang dibutuhkan untuk menggerakkan lengan robot, yang bertujuan untuk mengetahui kebutuhan torsi dengan kinerja dari kekuatan motor. Pada *stepper motor* menggunakan *stepper motor* nema 17 dengan *lead screw* 8mm sepanjang 35cm dan

massa beban sebesar 5kg. Pada *stepper motor* dengan *lead screw* 8mm, yang mana *lead* atau jarak putaran yang dihasilkan sebesar 0.005m/rev dengan efisiensi (η) sebesar 0.8, koefisien gesek (μ) sebesar 0.2 dan percepatan (a) sebesar 0.5m/s². Setelah mengetahui parameter yang dibutuhkan, selanjutnya melakukan perhitungan gaya menggunakan persamaan 2.14 sebagai berikut :

$$F_{gesek} = 0.2 \times 5 \times 9.81 = 9.81N$$

$$F_{akselerasi} = 5 \times 0.5 = 2.5N$$

$$F = 9.81 + 2.5 = 12.31N$$

Setelah mengetahui besaran gaya yang bekerja, selanjutnya melakukan perhitungan besaran torsi untuk *lead screw* menggunakan persamaan 2.19 sebagai berikut :

$$\tau_{linear} = \frac{12.31 \times 0.005}{2\pi \times 0.8} \approx 0.0122Nm$$

Setelah mengetahui besaran torsi motor jika menggunakan *lead screw*, selanjutnya melakukan perhitungan besaran momen inersia pada *lead screw* menggunakan persamaan 2.20 sebagai berikut :

$$J_{screw} = \frac{1}{2} 0.5 \times (0.004)^2 = 4 \times 10^{-6} kg.m^2$$

Setelah mengetahui besaran momen inersia, selanjutnya hitung besaran percepatan sudut menggunakan persamaan 2.21 sebagai berikut :

$$\alpha = \frac{0.5}{0.005/2\pi} = 628 rad/s^2$$

Dengan diketahui besaran momen inersia dan percepatan sudut pada sistem, selanjutnya hitung besaran torsi inersia dengan persamaan 2.22 sebagai berikut :

$$\tau_{rotasi} = 4 \times 10^{-6} \times 628 = 0.0025Nm$$

Setelah mengetahui besaran torsi inersia yang bekerja, maka didapati besaran torsi yang bekerja pada *stepper motor* dengan *lead screw* menggunakan persamaan 2.23 (sebagai berikut):

$$\tau = 0.0122 + 0.0025 = 0.0147Nm$$

Didapati besaran torsi yang bekerja disaat sistem dijalankan adalah sebesar 0.0147Nm atau 14,7 mNm, sehingga penggunaan stepper motor nema 17 dengan torsi sebesar 0.5N mampu untuk menjalankan sistem ini.

c. Stepper Motor 3

Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui besaran torsi motor yang dibutuhkan untuk menggerakkan lengan robot, yang bertujuan untuk mengetahui kebutuhan torsi dengan kinerja dari kekuatan motor. Pada *stepper motor* tiga menggunakan stepper motor nema 17 dengan besaran torsi awal sebesar 0,5Nm, dengan beban yang digerakan sebesar 5kg. Serta untuk menggerakkan beban tersebut, stepper motor menggunakan 2 *pully driver* dan 2 *pully driven*, yaitu untuk stage satu menggunakan *pully driver* 8mm dengan *pully driven* 25mm, dan stage dua menggunakan *pully driver* 8mm dengan *pully driven* 30mm, dan efisiensi per *stage* sebesar 0.9. Dengan parameter dasar yang telah diketahui maka selanjutnya dilakukan perhitungan untuk rasio pully dengan menggunakan persamaan 2.12 sebagai berikut:

Stage 1

$$n = \frac{25}{8} = 3.125$$

Stage 2

$$n = \frac{30}{8} = 3.75$$

Setelah mendapatkan besaran rasio pully setiap *stage*, selanjutnya hitung besaran torsi *output* (τ) menggunakan persamaan 2.13 sebagai berikut:

Stage 1

$$\tau = 0.5 \times 3.125 \times 0.9 = 1.14Nm$$

Stage 2

$$\tau = 1.41 \times 3.75 \times 0.9 = 4.76Nm$$

Setelah melakukan perhitungan rasio dan torsi *output* untuk *stage* 1 dan *stage* 2, maka didapati total rasio dan torsi *output* yang bekerja pada *stepper* ini sebagai berikut :

$$n_{total} = 3.125 \times 3.75 = 11.72$$

$$\tau_{output} = 4.76Nm \text{ (56.6kgf.cm)}$$

Setelah mengetahui rasio dan torsi *output* dari sistem, selanjutnya melakukan perhitungan untuk mengetahui besaran gaya yang bekerja pada sistem dengan persamaan 2.14 dengan diketahui besaran koefisien gesek (μ)=0.2, percepatan

(a)=0.1m/s² dan gravitasi (g)=9.81, sehingga didapati hasil perhitungan sebagai berikut:

$$F_{gesek} = 0.2 \times 5 \times 9.81 = 9.81N$$

$$F_{akselerasi} = 5 \times 0.1 = 0.5N$$

$$F = 9.81 + 0.5 = 10.31N$$

Setelah mengetahui besaran gaya yang bekerja pada sistem, selanjutnya dilakukan perhitungan torsi yang dibutuhkan oleh *stepper motor* untuk menggerakkan beban dengan menggunakan persamaan 2.17 sebagai berikut:

$$\tau_{dibutuhkan} = 10.31 \times 0.0305 = 0.3093N$$

Setelah mengetahui besaran torsi yang dibutuhkan untuk menjalankan sistem, selanjutnya melakukan perhitungan margin keamanan untuk mengetahui apakah torsi dibutuhkan telah sesuai dengan torsi yang dihasilkan oleh *stepper motor* untuk menjalankan sistem dengan beban 5kg menggunakan persamaan 2.18 sebagai berikut :

$$Margin = \frac{5.55}{0.3093} \approx 17.94 \times$$

Dengan margin yang telah diketahui sebesar 17.94kg, maka *stepper motor* dengan torsi awal sebesar 0.5Nm mampu megerakkan sistem dengan beban 5kg.

d. Stepper Motor 4

Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui besaran torgi motor yang dibutuhkan untuk menggerakkan lengan robot, yang bertujuan untuk mengetahui kebutuhan torsi dengan kinerja dari kekuatan motor. Pada *stepper motor* empat menggunakan *stepper motor* nema 17 dengan besaran torsi awal sebesar 0,5Nm, dengan beban yang digerakan sebesar 2kg. Serta untuk menggerakkan beban tersebut, *stepper motor* menggunakan penggerak berupa *pully driver* 8mm dengan *pully driven* 30mm, dan efisiensi per *stage* sebesar 0.9. Dengan parameter dasar yang telah diketahui maka selanjutnya dilakukan perhitungan untuk rasio *pully* dengan menggunakan persamaan 2.4 sebagai berikut:

$$n = \frac{30}{8} = 3.75$$

Setelah mendapatkan besaran rasio pully setiap *stage*, selanjutnya hitung besaran torsi *output* (τ) menggunakan persamaan 2.13 sebagai berikut:

$$\tau = 1.41 \times 3.75 \times 0.9 = 4.76Nm$$

Setelah mengetahui rasio dan torsi *output* dari sistem, selanjutnya melakukan perhitungan untuk mengetahui besaran gaya yang bekerja pada sistem dengan persamaan 2.14 ($F = F_{gesek} + F_{akselerasi}$) dengan diketahui besaran koefisien gesek (μ)=0.2, percepatan (a)=0.1m/s² dan gravitasi (g)=9.81, sehingga didapati hasil perhitungan sebagai berikut:

$$F_{gesek} = 0.2 \times 2 \times 9.81 = 3.924N$$

$$F_{akselerasi} = 2 \times 0.1 = 0.2N$$

$$F = 3.924 + 0.2 = 4.124N$$

Setelah mengetahui besaran gaya yang bekerja pada sistem, selanjutnya dilakukan perhitungan torsi yang dibutuhkan oleh *stepper motor* untuk menggerakan beban dengan menggunakan persamaan 2.17 sebagai berikut:

$$\tau_{dibutuhkan} = 4.124 \times 0.030 = 0.124N$$

Setelah mengetahui besaran torsi yang dibutuhkan untuk menjalankan sistem, selanjutnya melakukan perhitungan *margin* keamanan untuk mengetahui apakah torsi dibutuhkan telah sesuai dengan torsi yang dihasilkan oleh *stepper motor* untuk menjalankan sistem dengan beban 2kg menggunakan persamaan 2.18 sebagai berikut :

$$Margin = \frac{4.76}{0.124} \approx 38.4 \times$$

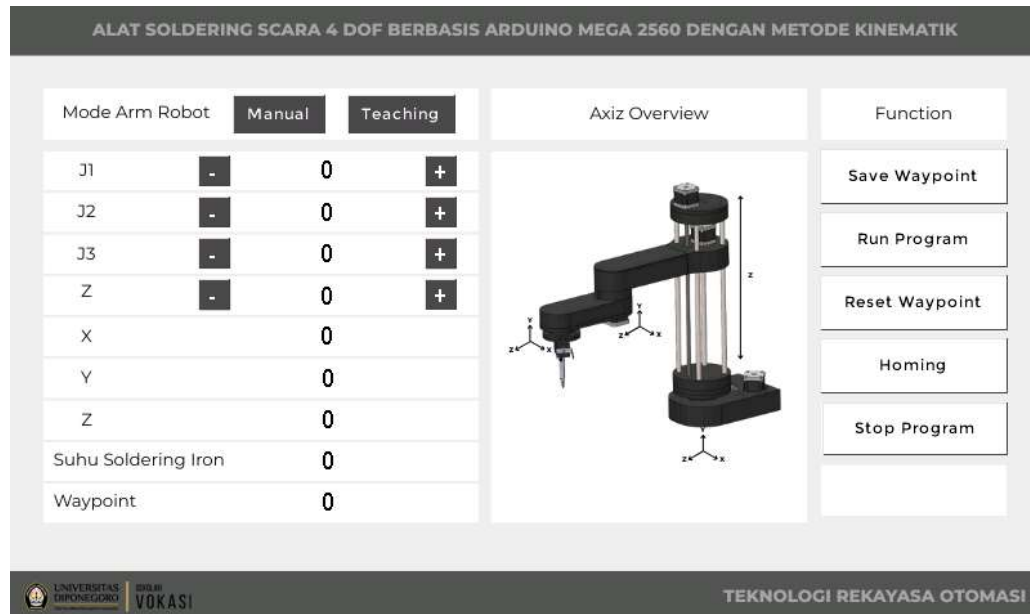
Dengan margin yang telah diketahui sebesar 38.4kg, maka *stepper motor* dengan torsi awal sebesar 0.5Nm mampu megerakan sistem dengan beban 2kg.

3.8.Perancangan HMI

HMI pada alat *Soldering SCARA 4 DOF* ini menggunakan HMI Nextion dengan tipe NX8048T070, perancangan tampilan pada HIM Nextion ini menggunakan software *Nextion Editor*.

Pada perancangan *interface* ini menggunakan beberapa *function* yang terdapat pada *nextion editor*, yaitu menggunakan *function* “*text*” guna menampilkan tulisan, “*button*” digunakan untuk melakukan *input*, “*number*” digunakan untuk

menampilkan nilai numerik, “*progress bar* atau *slider*” digunakan untuk menampilkan *input* nilai secara *visual*. Dengan menggunakan beberapa *function* tersebut maka dilakukanlah perancangan *interface* HMI Nextion yang dapat dilihat pada **Gambar 3.7** sebagai berikut.



Gambar 3. 7 Perancangan GUI HMI Nextion

Pada *interface* HMI yang digunakan terdapat tiga panel utama yang berfungsi untuk mengontrol dan melihat sistem yang bekerja pada alat *Soldering SCARA 4 DOF* yaitu sebagai berikut :

- a) Panel pengaturan pergerakan lengan robot. Panel ini terdiri dari :
 - 1) Mode Arm Robot: Terdapat dua mode operasi yang dapat dipilih oleh operator, yaitu:
 - *Manual*: Operator dapat menggerakkan setiap *Joint* secara langsung menggunakan tombol penambah (+) dan pengurang (-).
 - *Teaching*: Mode ini digunakan untuk merekam *Waypoint* posisi robot secara berurutan guna pemrograman gerakan otomatis.
 - 2) *Joint* Control (J1, J2, J3, Z): Menampilkan nilai sudut atau posisi masing-masing *Joint* robot. Setiap *Joint* dilengkapi tombol (+) dan (-) untuk penyesuaian posisi secara *manual*.

- 3) Koordinat Kartesian (X, Y, Z): Menampilkan posisi end-effector robot dalam ruang tiga dimensi (koordinat Kartesian) hasil perhitungan *forward kinematics*.
- 4) Suhu *Soldering iron*: Menampilkan nilai suhu ujung solder secara real-time agar proses penyolderan dapat dikontrol sesuai kebutuhan.
- 5) *Waypoint*: Menampilkan jumlah *Waypoint* yang telah tersimpan dalam memori sistem.

b) Panel Visualisasi *Axis Overview*

Pada panel ini menampilkan ilustrasi visual 3D dari robot SCARA, termasuk orientasi sumbu koordinat (X, Y, Z) pada setiap titik acuan. Visualisasi ini membantu operator memahami posisi dan konfigurasi robot secara intuitif tanpa harus melihat langsung ke hardware.

c) Panel Fungsi

Panel fungsi terletak di sisi kanan dan berisi tombol-tombol eksekusi program, antara lain:

Tabel 3. 3 Tombol Function Pada HMI

Tombol	Fungsi
Save <i>Waypoint</i>	Menyimpan posisi saat ini sebagai <i>Waypoint</i> ke dalam memori sistem
Run Program	Menjalankan program urutan gerakan berdasarkan <i>Waypoint</i> yang telah tersimpan
Reset <i>Waypoint</i>	Menghapus semua <i>Waypoint</i> yang tersimpan dan mereset urutan program
<i>Homing</i>	Menggerakkan robot kembali ke posisi awal (<i>Home Position</i>)
Stop Program	Menghentikan eksekusi program yang sedang berjalan secara darurat

3.9. Perancangan *Workspace* Lengan Robot

Lengan robot SCARA 4 *DOF* ini terdiri dari dua segment lengan yaitu L1 = 213 mm dan L2 = 136,5 mm, dan sumbu Z = 40 mm dengan pembatasan gerak sebesar $\pm 180^\circ$. Bentuk *workspace* yang digunakan pada alat ini adalah *annulus* (cincin), yang mana lengan robot tidak bisa menjangkau seluruh lingkaran karena

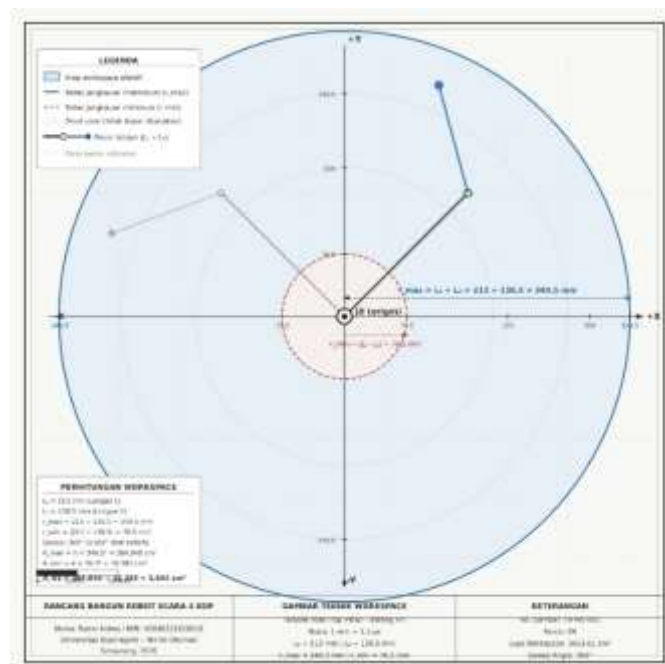
ada *dead zone* di tengah. Sehingga bentuk workspacenya adalah cincin yang dibatasi dua lingkaran.

Dengan parameter yang diperoleh maka diperoleh perhitungan besaran workspace yang dapat dijangkau oleh lengan robot sebagai berikut :

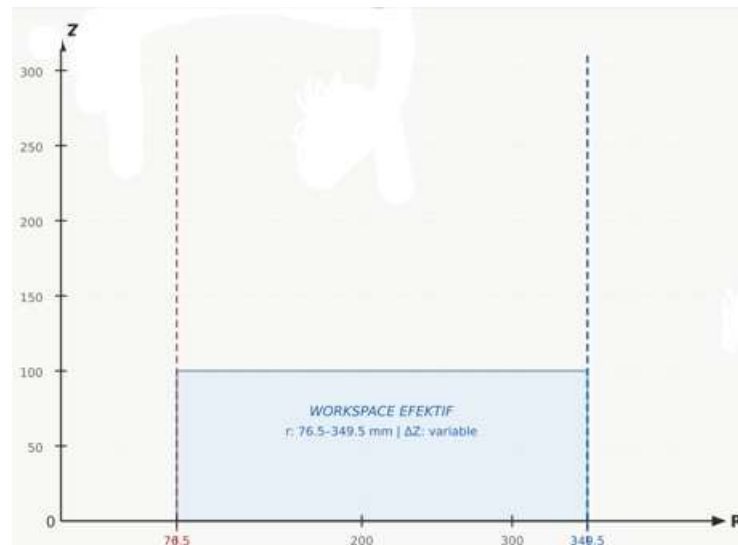
Tabel 3. 4 Perhitungan Workspace Lengan Robot

Parameter	Rumus	Hasil
Jangkauan Max (r_{max})	$L_1 + L_2 = 213 + 136,5$	349,5 mm
Jangkauan min (r_{min})	$L_1 - L_2 = 213 - 136,5$	76,5 mm
Sweep Angle	$\pm 180^\circ$ limit switch	360°
Luas workspace	$\pi(r_{max}^2 - r_{min}^2)$	3.654 cm^2

Berdasarkan **Tabel 3.4**, diperoleh besaran jangkauan maksimal dan minimal, serta batas gerak lengan robot, sehingga pengguna dapat memaksimalkan jaungkauan gerak yang dapat dilakukan oleh lengan robot. Berikut merupakan gambaran terkait tampak atas dan tampak samping dari besaran workspace lengan robot.



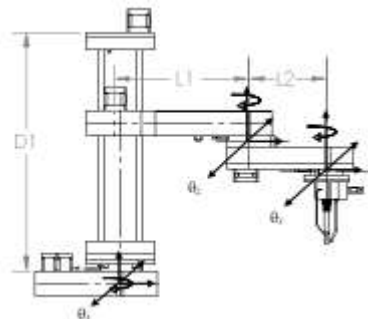
Gambar 3. 8 Workspace Tampak Atas



Gambar 3. 9 Workspace Tampak Samping

3.10. Perancangan Posisi Gerak Robot Lengan

Lengan robot *SCARA 4 DOF* ini terdiri dari 3 join rotary (θ_1 , θ_2 , dan θ_3) dan satu join prismatic (D1) yang dapat dilihat pada **Gambar 3.10**, sebagai berikut.



Gambar 3. 10 Sistem Mekanis Lengan Robot *SCARA 4 DOF*

Pada **Gambar 3.10** merupakan sistem mekanis lengan robot *SCARA 4 DOF* yang terdiri dari :

D1 = Panjang lengan prismatic

L1 = Panjang lengan pertama (*shoulder*)

L2 = Panjang Lengan kedua (*elbow*)

θ_1 = Sudut rotasi base

θ_2 = sudut antara L1 dan L2

θ_3 = Sudut rotasi *end-effector*

θ_1 berfungsi sebagai pengontrol rotasi dasar, θ_1 dan θ_3 berfungsi untuk melakukan rotasi antara lengan, dan D1 berfungsi sebagai pengatur ketinggian end-effector. Pengaturan posisi lengan robot scara 4 DOF ini menggunakan metode *forward* dan *invers kinematik*. Pada persamaan 2.1 untuk nilai x, persamaan 2.9 untuk nilai y, dan persamaan 2.10 untuk nilai z yang digunakan untuk mengetahui titik koordinat end-effector menggunakan metode *forward kinematik*. Dengan pengambilan contoh jika $\theta_1 = 30^\circ$, $\theta_2 = 45^\circ$, $\theta_3 = 30^\circ$, dan D1=100mm, maka didapati besaran nilai x,y, dan z sebagai berikut:

$$x = (228\cos45^\circ + 136.5\cos75^\circ)\cos30^\circ \approx 196.5\text{mm}$$

$$y = (228\cos45^\circ + 136.5\cos75^\circ)\sin\theta_1 \approx 113.5\text{mm}$$

$$z = 100 + 228\sin45^\circ + 136.5\sin75^\circ \approx 400\text{mm}$$

Dari hasil perhitungan forward kinematik di atas, diperoleh posisi koordinat end-effector pada saat $\theta_1 = 30^\circ$, $\theta_2 = 45^\circ$, $\theta_3 = 30^\circ$, dan D1 = 100 mm adalah x = 196,5 mm, y = 113,5 mm, dan z = 400 mm. Hasil ini menunjukkan bahwa metode forward kinematik dapat digunakan untuk menentukan posisi end-effector robot SCARA 4 DOF secara langsung dari nilai sudut dan translasi setiap sendi yang diketahui, tanpa memerlukan proses iteratif maupun penyelesaian sistem persamaan trigonometri terbalik seperti pada metode inverse kinematik.

3.11. Jadwal Pembuatan dan Penyusunan Tugas Akhir

Tabel 3. 5 Jadwal Pelaksanaan Tugas Akhir

No.	Kegiatan	Waktu Pelaksanaan											
		I				II				III			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi Literatur	■	■										
2	Penyusunan Proposal Tugas Akhir		■	■	■								
3	Seminar Proposal				■								
4	Penyediaan komponen					■	■						
5	Perakitan Alat						■	■	■				
6	Pemrograman Alat						■	■	■	■			
7	Pengujian sistem dan evaluasi									■	■		
8	Pengambilan data dan Analisa data										■	■	
9	Penyusunan Laporan Tugas Akhir											■	■