

**PERANCANGAN OTOMATISASI PERGERAKAN SAYAP BERBASIS
RASPBERRY PI PICO W PADA MODEL *BOOM SPRAYER* DENGAN
SENSOR ULTRASONIK**

Skripsi

**Oleh
AL HAMID YUSUF**



**TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

**PERANCANGAN OTOMATISASI PERGERAKAN SAYAP BERBASIS
RASPBERRY PI PICO W PADA MODEL *BOOM SPRAYER* DENGAN
SENSOR ULTRASONIK**

Oleh

AL HAMID YUSUF

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk mencapai gelar

SARJANA TEKNIK

Pada

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Lampung



**TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG**

2025

ABSTRAK

PERANCANGAN OTOMATISASI PERGERAKAN SAYAP BERBASIS RASPBERRY PI PICO W PADA MODEL *BOOM SPRAYER* DENGAN SENSOR ULTRASONIK

Oleh

Al Hamid Yusuf

Indonesia memiliki potensi besar dalam bidang pertanian dengan lahan luas dan iklim tropis. Salah satu teknologi yang digunakan untuk meningkatkan efisiensi pertanian adalah boom sprayer, perangkat penyemprot pupuk cair yang umumnya dioperasikan secara manual. Namun, pengendalian manual sering menimbulkan masalah akibat kelelahan operator, seperti kerusakan tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem otomasi pergerakan sayap pada model boom sprayer dengan skala 10:1 menggunakan Raspberry Pi Pico W, sensor ultrasonik, dan motor stepper. Sistem ini dirancang untuk menjaga ketinggian ideal sayap pada jarak 40 cm dari tanaman, dengan kontrol PID untuk memastikan stabilitas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berfungsi dengan baik. Sensor ultrasonik mampu membaca data dengan akurat. Sensor ultrasonik yang digunakan memiliki tingkat akurasi dan presisi yang baik dengan rata-rata nilai akurasi sebesar 98,86% dan error sebesar 1,14%, sedangkan rata-rata nilai presisi sebesar 99,73% dan error sebesar 0.27%. Sedangkan motor stepper menjaga ketinggian sayap rata-rata pada 40,2 cm untuk kedua sisi. Motor stepper juga menunjukkan stabilitas dalam pergerakan, dengan rata-rata 31 langkah per cm.

Kata Kunci: *Boom sprayer, Ultrasonic, Raspberry Pi Pico W, Motor Stepper*

ABSTRACT

DESIGN OF RASPBERRY PI PICO W-BASED WAY MOVEMENT AUTOMATIZATION ON BOOM SPRAYER MODEL WITH ULTRASONIC SENSOR

By

Al Hamid Yusuf

Indonesia has great potential in agriculture with large land and tropical climate. One of the technologies used to improve agricultural efficiency is the boom sprayer, a liquid fertilizer spraying device that is generally operated manually. However, manual control often causes problems due to operator fatigue, such as crop damage. This research aims to design a wing movement automation sistem on a 10:1 scale boom sprayer model using Raspberry Pi Pico W, ultrasonic sensors, and stepper motors. The sistem is designed to maintain the ideal height of the wings at a distance of 40 cm from the plants, with PID control to ensure stability. The test results show that the sistem functions properly. The ultrasonic sensor is able to read the data accurately. The ultrasonic sensor used has a good level of accuracy and precision with an average accuracy value of 98.86% and an error of 1.14%, while the average precision value is 99.73% and an error of 0.27%. Meanwhile, the stepper motor keeps the average wing height at 40.2 cm for both sides. The stepper motor also showed stability in movement, with an average of 31 steps per cm.

Keywords: *Boom sprayer, Ultrasonic, Raspberry Pi Pico W, Stepper Motor*

Judul Skripsi

**PERANCANGAN OTOMATISASI PERGERAKAN
SAYAP BERBASIS RASPBERRY PI PICO W
PADA MODEL BOOM SPRAYER DENGAN
SENSOR ULTRASONIK**

Nama Mahasiswa

: **Al Hamid Yusuf**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **1815031068**

Program Studi

: **Teknik Elektro**

Fakultas

: **Teknik**

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Syaiful Alam, S.T., M.T.

NIP. 196904161998031004



Sumadi, S.T., M.T.

NIP 19731104 200003 1 001

2. Mengetahui

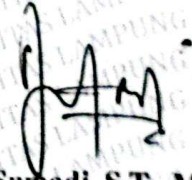
**Ketua Jurusan
Teknik Elektro**



Herlinawati, S.T., M.T.

NIP 19710314 199903 2 001

**Ketua Program Studi
Teknik Elektro**



Sumadi, S.T., M.T.

NIP 19731104 200003 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Syaiful Alam, S.T., M.T.

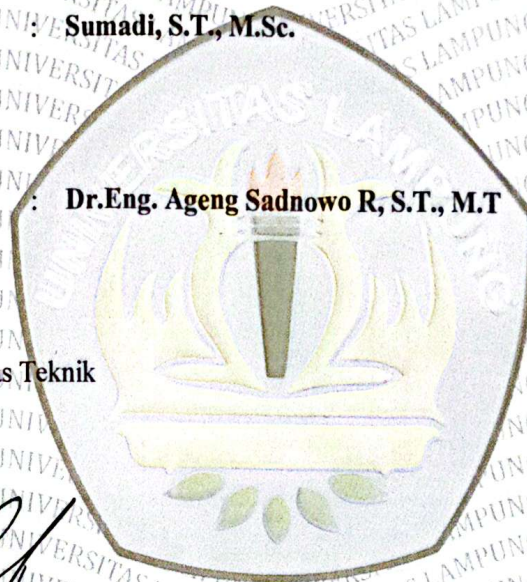
Sekretaris : Sumadi, S.T., M.Sc.

Penguji : Dr.Eng. Ageng Sadnowo R, S.T., M.T

2. Dekan Fakultas Teknik

Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.

NIP 19750928 2001121 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 17 Februari 2025

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam skripsi saya yang berjudul “PERANCANGAN OTOMATISASI PERGERAKAN SAYAP BERBASIS RASPBERRY PI PICO W PADA MODEL *BOOM SPRAYER* DENGAN SENSOR ULTRASONIK” tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya nyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung 20 Februari 2025



Al Hamid Yusuf
NPM. 1815031068

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Al Hamid Yusuf, dilahirkan di Tanjung Tirta, 28 September 2001, sebagai anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Pasiman dan Ibu Wakiyem. Pendidikan formal penulis dimulai pada Sekolah Dasar (SD) diselesaikan di SD Negeri Simpang Empat pada tahun 2012, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di MTs Plus Al Fattah Sumbermulyo dan lulus pada tahun 2015, dan Sekolah Menengah Akhir (SMA) di MA Al Ittifaqiah Indralaya dan lulus pada tahun 2018. Mulai tahun 2018, Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Selama menjadi mahasiswa Penulis aktif di Organisasi Kemahasiswaan yaitu pernah terdaftar sebagai anggota Departemen Sosial dan Kewirausahaan Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Lampung (HIMATRO) Periode 2018 – 2020, sebagai anggota departemen Kaderisasi Forum Silaturahmi dan Studi (FOSSI FT) Periode 2018-2020, sebagai anggota kaderisasi Bina Rohani Islam Mahasiswa (Birohmah Unila) Periode 2019-2020, sebagai anggota Sosial Masyarakat UKM Sains dan Teknologi (UKM Saintek Unila) Periode 2018-2020, sebagai anggota Pengembangan Sumberdaya Manusia Ikatan Mahasiswa Lampung Timur (Ikam Lamtim) Periode 2018-2020, sebagai Koordinator Kampus Unila Ikatan Mahasiswa Lampung Timur (Ikam Lamtim) Periode 2020-2021, sebagai anggota Kaderisasi Keluarga Mahasiswa Nahdlatul Ulama (KMNU Unila) Periode 2020, sebagai Kepala Departemen Sosial Masyarakat Keluarga Mahasiswa Nahdlatul Ulama (KMNU Unila) Periode 2021, sebagai Sekertaris Umum Keluarga Mahasiswa Nahdlatul Ulama Regional Sumatera-Malaysia (KMNU Regional Sum-Mal) Periode 2022. Pada semester 5 Penulis memilih konsentrasi Teknik Elektronika dan Kendali sebagai fokus dalam perkuliahan dan penelitian. Pada tahun 2021, penulis mengikuti program Magang dan Studi Independen (MSIB) yang diselenggarakan oleh Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Republik Indonesia (Kemendikbud-Ristek RI) di PT. Microsoft Indonesia pada program *Data And Artificial Intelligence* dan kemudian dilanjutkan pada tahun 2022 di PT. Great Giant Foods (GGF) dalam program *Preventive Maintenance* sebagai *Innovation Analys*. Setelah program MSIB selesai Penulis mengikuti program magang dan *freelance* di PT. Great Giant Foods (GGF) yang kemudian proyeknya diangkat menjadi Skripsi penulis.

PERSEMBAHAN

Kupersembahkan karya kecil ini dengan penuh rasa hormat, cinta, dan kasih sayang kepada :

Kedua orang tuaku tercinta,

Bapak Pasiman dan Ibu Wakiyem

Kakakku tersayang,

Eka Fitriani

Kakek dan nenekku yang sangat aku cintai,

***Alm. Mbah Mardi, Almh. Mbah Margisah, Alm Mbah Wiryo
Sumarto, dan Alm. Mbah Mariyem***

Paman, tante, adik sepupu, dan adik keponakan yang selalu aku banggakan dan aku sayangi.

Sahabat dan rekan-rekan seperjuangan Teknik Elektro Universitas Lampung angkatan 2018

Serta almamaterku tercinta **“UNIVERSITAS LAMPUNG”**

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala karunia, hidayah, serta nikmat yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “perancangan otomatisasi pergerakan sayap berbasis raspberry pi pico w pada model *boom sprayer* dengan sensor ultrasonik” yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung. Terwujudnya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat, penulis ucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Ibu Herlinawati, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Meizano Ardhi Muhammad, S.T., M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. Bapak Sumadi, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.
5. Bapak Syaiful Alam, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah memberikan bimbingan, arahan, masukan, serta motivasi kepada penulis di setiap kesempatan dengan baik dan ramah.
6. Bapak Sumadi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang telah memberikan bimbingan, arahan, masukan, serta motivasi kepada penulis di setiap kesempatan dengan baik dan ramah.
7. Bapak Dr. Eng. Ageng Sadnowo Repelianto, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun kepada penulis.
8. Ibu Yetti yuniati, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik (PA) yang telah membimbing penulis mempersiapkan diri menjadi seorang Sarjana Teknik.

9. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis selama menempuh pendidikan perkuliahan.
10. Kedua Orang Tua saya yaitu Bapak Pasiman dan Ibu Wakiyem yang sangat saya sayangi yang telah mendukung, memdoakan dan menyemangati sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
11. Kakak dan adikku yang sangat saya banggakan dan semua keluarga yang telah mendukung penuh sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini.
12. Annisa Nur Faidah terkasih yang telah menjadi support sistem selama menyelesaikan skripsi ini
13. Teman-teman Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung angkatan 2018, atas semangat dan kebersamaannya selama menempuh pendidikan.
14. Seluruh pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak demi kemajuan bersama. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Bandar Lampung, 21 Februari 2025
Penulis,

Al Hamid Yusuf

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI.....	i
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR PERSAMAAN.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Rumusan Masalah.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2. Teori Dasar.....	6
2.2.1 Boom sprayer	6
2.2.2 Nanas.....	9
2.2.3 Motor Stepper	11
2.2.4 Motor Driver A4988	13
2.2.5 Raspberry Pi Pico W	15
2.2.6 Model	16
2.2.7 PID Controller.....	17
2.2.8 Sensor Ultrasonik.....	20
III METODE PENELITIAN.....	24

3.1	Waktu dan Tempat	24
3.2	Alat dan Bahan	24
3.3	Metode Penelitian.....	25
3.4	Perancangan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>)	26
3.4.1	Rangkaian Raspberry Pi Pico W dengan Sensor Ultrasonik.....	26
3.4.2	Rangkaian Raspberry Pi Pico W dengan Motor Stepper	27
3.4.3	Rangkaian Raspberry Pi Pico W dengan LCD	29
3.4.4	Rangkaian Keseluruhan Sensor Dengan Raspberry Pi Pico W	30
3.4.5	Desain Layout PCB (Printed Circuit Board).....	31
3.5	Perancangan Perangkat Lunak (<i>Software</i>)	33
3.6	Prosedur Pengujian Sensor dan Pengambilan Data.....	33
3.6.1	Pengujian Sensor Ultrasonik JSN-SR04T.....	34
3.6.2	Pengujian keseluruhan alat.....	35
IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1	Model <i>Boom sprayer</i>	37
4.2	Realisasi Perangkat keras	38
4.3	Pengujian Sensor Jarak.....	40
4.3.1	Pengujian Sensor Jarak Kanan	41
4.3.2	Pengujian Sensor Jarak Kiri	43
4.4	Pengujian keseluruhan alat	46
4.4.1	Pengukuran Keseluruhan Alat dengan Halangan 2 cm.....	47
4.4.2	Pengukuran Keseluruhan Alat dengan Halangan 4 cm.....	48
4.4.3	Pengukuran Keseluruhan Alat dengan Halangan 6 cm.....	49
4.4.4	Pengukuran Keseluruhan Alat dengan Halangan 8 cm.....	50
4.4.5	Pengukuran Keseluruhan Alat dengan Halangan 10 cm.....	51
4.4.6	Pengukuran Keseluruhan Alat dengan Halangan -2 cm	52
4.4.7	Pengukuran Keseluruhan Alat dengan Halangan -4 cm	53
4.4.8	Pengukuran Keseluruhan Alat dengan Halangan -6 cm	55
4.4.9	Pengukuran Keseluruhan Alat dengan Halangan -8 cm	56
4.4.10	Pengukuran Keseluruhan Alat dengan Halangan -10 cm	57
4.4.11	Rata Rata Pengukuran Keseluruhan Alat.....	58
V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	60

5.1	Kesimpulan.....	60
5.2	Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA.....		61
LAMPIRAN.....		63

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Bagian pada <i>boom sprayer</i>	8
Tabel 3.1. Koneksi pin raspberry pi pico w dengan sensor ultrasonik JSN-SR04T.....	27
Tabel 3.2. Koneksi raspberry pi pico w dengan modul driver A4988 dan <i>motor stepper</i>	28
Tabel 3.3. Koneksi pin raspberry pi pico w dengan LCD.....	29
Tabel 3.4. Koneksi pin raspberry pi pico w dengan seluruh sensor.....	31
Tabel 3.5. Data pengujian sensor ultrasonik	34
Tabel 3.6. Data pengujian keseluruhan alat	35
Tabel 3.7. Data pengujian variasi halangan	36
Tabel 4.1. Pengujian sensor jarak kanan	41
Tabel 4.2. Data perhitungan akurasi sensor jarak kanan.....	41
Tabel 4.3. Data perhitungan presisi sensor jarak kanan	42
Tabel 4.4. Pengujian sensor jarak kiri	44
Tabel 4.5. Data perhitungan akurasi sensor jarak kiri.....	44
Tabel 4.6. Data perhitungan presisi sensor jarak kiri	45
Tabel 4.7. Pengukuran keseluruhan alat dengan halangan 2 cm.....	47
Tabel 4.8. Pengukuran keseluruhan alat dengan halangan 4 cm.....	48
Tabel 4.9. Pengukuran keseluruhan alat dengan halangan 6 cm.....	49
Tabel 4.10. Pengukuran keseluruhan alat dengan halangan 8 cm.....	50
Tabel 4.11. Pengukuran keseluruhan alat dengan halangan 10 cm.....	51
Tabel 4.12. Pengukuran keseluruhan alat dengan halangan -2 cm	52
Tabel 4.13. Pengukuran keseluruhan alat dengan halangan -4 cm	54
Tabel 4.14. Pengukuran keseluruhan alat dengan halangan -6 cm	55

Tabel 4.15. Pengukuran keseluruhan alat dengan halangan -8 cm	56
Tabel 4.16. Pengukuran keseluruhan alat dengan halangan -10 cm	57
Tabel 4.17. Rata-Rata Pengukuran keseluruhan alat	58

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1. <i>Boom sprayer</i>	2
Gambar 2.1. Diagram fungsi dari <i>Sprayer</i>	7
Gambar 2.2. <i>Boom sprayer</i> di PT GGP	8
Gambar 2.3. Terminologi bagian dan pergerakan boom.....	9
Gambar 2.4. Terminologi kontrol boom	9
Gambar 2.5. Nanas (<i>Ananas comosus</i>).....	10
Gambar 2.6. Motor Stepper	13
Gambar 2.7. Modul Driver A4988	14
Gambar 2.8. Raspberry Pi Pico w	16
Gambar 2.9. Cara kerja sensor ultrasonic.....	21
Gambar 2.10. Sensor ultrasonik JSN SR04T	23
Gambar 3.1. Diagram alir prosedur penelitian	25
Gambar 3.2. Diagram blok sistem.....	26
Gambar 3.3. Rangkaian raspberry pi pico w dengan sensor ultrasonik JSN-SR04T.....	27
Gambar 3.4. Rangkaian raspberry pi pico w dengan modul driver A4988 dan <i>motor stepper</i>	28
Gambar 3.5. Rangkaian raspberry pi pico w dengan LCD	29
Gambar 3.6. Rangkaian keseluruhan sensor dengan raspberry pi pico w	30
Gambar 3.7. Desain Layout 3 dimensi PCB	31
Gambar 3.8. Desain track PCB	32
Gambar 3.9. Flowchart program	33
Gambar 4.1. Rancangan Model <i>boom sprayer</i>	37
Gambar 4.2. Realisasi Model <i>boom sprayer</i>	37

Gambar 4.3.	Desain model tampak atas. (a) Rancangan (b) Realisasi.....	38
Gambar 4.4.	Realisasi perangkat keras	38
Gambar 4.5.	Perangkat keras bagian pengendali	39
Gambar 4.6.	Perangkat keras bagian sensor.....	40

DAFTAR PERSAMAAN

	Halaman
Persamaan 2.1.	17
Persamaan 2.2.	18
Persamaan 2.3.	18
Persamaan 2.4.	19
Persamaan 2.5.	19
Persamaan 2.6.	21
Persamaan 3.1.	34
Persamaan 3.2.	34
Persamaan 3.3.	34
Persamaan 3.4.	35

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 *Coding Program*
- Lampiran 2 Data Ketinggian Sayap 20 cm
- Lampiran 3 Data Ketinggian Sayap 30 cm
- Lampiran 4 Data Ketinggian Sayap 40 cm
- Lampiran 5 Data Ketinggian Sayap 50 cm
- Lampiran 6 Data Ketinggian Sayap 60 cm
- Lampiran 7 Data Ketinggian dan Putaran Motor Stepper dengan Halangan 4 cm
- Lampiran 8 Data Ketinggian dan Putaran Motor Stepper dengan Halangan 6 cm
- Lampiran 9 Data Ketinggian dan Putaran Motor Stepper dengan Halangan 8 cm
- Lampiran 10 Data Ketinggian dan Putaran Motor Stepper dengan Halangan 10cm
- Lampiran 11 Data Ketinggian dan Putaran Motor Stepper dengan Halangan -2cm
- Lampiran 12 Data Ketinggian dan Putaran Motor Stepper dengan Halangan -4cm
- Lampiran 13 Data Ketinggian dan Putaran Motor Stepper dengan Halangan -6cm
- Lampiran 14 Data Ketinggian dan Putaran Motor Stepper dengan Halangan -8cm
- Lampiran 15 Data Ketinggian dan Putaran Motor Stepper dengan Halangan - 10cm
- Lampiran 16 Model Matematis Pengukuran Tegangan Tali pada Alat Saat Kondisi Normal

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara dengan kondisi alam yang mendukung untuk memiliki lahan pertanian yang luas, ditambah dengan iklim tropis di mana sinar matahari terjadi sepanjang tahun. Dengan kondisi ini maka sebagian besar penduduknya bermata pencaharian di bidang pertanian. Pada jaman dulu untuk mengolah lahan pertanian seperti membajak tanah dibutuhkan waktu sehari-hari karena masih dilakukan secara manual, tapi seiring dengan perkembangan jaman maka diciptakanlah traktor untuk mengolah lahan pertanian.

Traktor adalah kendaraan yang dijalankan dengan bensin atau motor diesel, didesain secara spesifik untuk keperluan menarik benda yang berat atau membajak (meratakan) tanah dan juga ada traktor yang digunakan untuk menyiram pupuk. Traktor mengubah cara pertanian yang masih sangat tradisional dengan menggunakan tenaga manusia. Dengan menggunakan traktor banyak hal yang bisa dihemat mulai dari waktu tenaga, dan dana. Pada umumnya traktor diklasifikasikan menjadi traktor roda dua dan traktor roda empat. Untuk lahan pertanian yang basah umumnya dikerjakan menggunakan traktor roda dua sedangkan untuk lahan pertanian yang kering digunakan traktor roda empat.

Traktor dapat digunakan untuk melakukan banyak hal sesuai dengan implemen yang terpasang pada traktor. Salah satu implemen pada traktor adalah implemen untuk memberikan pupuk kepada tanaman. Salah satu perusahaan yang telah memanfaatkan traktor untuk menarik implement penyiram pupuk adalah PT. Great Giant Pineapple. Perusahaan ini, menggunakan traktor untuk menebar pupuk cair pada tanaman nanas. Implement penyebar pupuk ini disebut *boom*

sprayer yang berbentuk sayap dengan penebar pupuk (*sprayer*) pada masing-masing sayap, seperti tampak pada gambar 1.1. Implemen ini dikendalikan secara manual oleh operator menggunakan tuas untuk melakukan pergerakan sayap ke atas maupun ke bawah sesuai dengan tinggi rendahnya tanaman nanas.



Gambar 1.1. *Boom sprayer*

Sumber: gameeq.com Diakses, 2023

Berdasarkan latar belakang diatas penelitian ini bertujuan untuk membuat sistem otomatisasi ketinggian sayap *boom sprayer* dikarenakan banyak kejadian yang merugikan karena faktor lelahnya operator dalam mengendalikan tuas pengendali tersebut yang mengakibatkan rusaknya tanaman nanas. Oleh karena itu dibutuhkan sistem kendali otomatis yang dapat mengendalikan tinggi rendahnya sayap *boom sprayer* untuk mengurangi kerugian tersebut. Dalam penelitian ini membuat sistem otomatisasi ketinggian sayap tersebut dalam sebuah model *boom sprayer* yang menggunakan sensor ultrasonik dan juga motor stepper.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Merancang dan merealisasikan sistem pergerakan sayap model *boom sprayer* dengan berbasis *micro controller* sebagai kontrol utamanya.
2. Mengefektifkan pekerjaan unit *boom sprayer*
3. Mencapai jarak ideal antara sayap *boom sprayer* dan tanaman (pada model *boom sprayer* ketinggian 40 cm)

1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Apakah sistem otomasi sayap dapat berfungsi dengan baik?.
2. Apakah ada sistem yang dapat digunakan untuk mengefektifkan kerja dari *boom sprayer*?
3. Bagaimana agar kinerja sistem ketinggian sayap *boom sprayer* dalam melakukan otomatisasi?

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memudahkan pekerjaan manusia dalam mengendalikan *boom sprayer* pada daerah-daerah dengan permukaan yang tidak datar
2. Meminimalisir kerusakan tanaman nanas yang diakibatkan kelelahan operator sayap traktor.
3. Mengefektifkan pekerjaan traktor penebar pupuk pada tanaman nanas

1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki beberapa batasan masalah, yaitu:

1. Sistem ketinggian sayap pada model *boom sprayer*
2. Penyebaran pupuk hanya pada tanaman nanas

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan penulisan dan pemahaman mengenai materi dari skripsi ini, maka skripsi ini dibagi menjadi 5 bab yang terdiri dari:

BAB I. PENDAHULUAN

Berisikan latar belakang, tujuan penelitian, manfaat penelitian, perumusan masalah, batasan masalah, hipotesis, dan sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan teori-teori mengenai sistem pengukur ketinggian sayap pada model *boom sprayer* menggunakan sensor JSN SR04T berbasis Raspberry Pi Pico W

BAB III. METODE PENELITIAN

Berisikan waktu, tempat, alat dan bahan yang digunakan dan diagram alir yang diusulkan pada penelitian yang akan dilakukan.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisikan hasil dari penelitian, pembahasan dan perhitungan yang dilakukan pada penelitian.

BAB V. SIMPULAN DAN SARAN

Berisikan kesimpulan dari penelitian dan saran untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

Berisikan daftar pustaka yang digunakan pada penulisan skripsi.

LAMPIRAN

Berisikan lampiran data hasil pemantauan dan program alat

II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Pada bagian ini dijelaskan beberapa penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya yang sebagai referensi dalam proses penelitian antara lain :

1. Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Andang dkk. Pada tahun 2019 dengan judul *“Investigation of ultrasonic sensor type JSN-SRT04 performance as flood elevation detection”*. Sensor jarak yang digunakan adalah sensor jarak menggunakan ultrasonic dengan tipe JSN-SRT04. Sensor ini juga dapat tahan terhadap air oleh karena itu andang mengaplikasikan untuk mengetahui tinggi rendahnya air untuk mendeteksi banjir.
2. Penelitian sebelumnya juga dilakukan oleh Fernando Lima Alves dkk. Pada tahun 2022 dengan judul *“automated boom sprayer model”*. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model sprayer boom otomatis dengan kontrol bagian untuk aplikasi pestisida, mengurangi kebutuhan intervensi manual operator dan mengurangi risiko kontaminasi. Model ini menawarkan solusi yang aman dan efisien untuk aplikasi pestisida dalam pertanian modern.
3. Penelitian sebelumnya juga dilakukan oleh Achmad Ramdhan Hendrawan dkk. Pada tahun 2018 dengan judul *“Pembuatan Robot Menggunakan Sensor Ultrasonic HC-SR04 Berbasis Mikrokontroler ATMEGA 328”*. Penelitian ini berfokus pada pengembangan robot yang dirancang untuk mengurangi kecelakaan kerja di lingkungan berbahaya seperti pembersihan limbah beracun, penjelajahan bawah air dan luar angkasa, serta pertambangan. Robot ini menggunakan sensor ultrasonik (HC-SR04) dan mikrokontroler (ATMEGA 328) untuk mendeteksi rintangan dan

bernavigasi sesuai dengan perintah, sehingga mengurangi risiko kecelakaan. Navigasi robot didasarkan pada sinyal yang diterima dari sensor ultrasonik, yang mendeteksi rintangan dengan memancarkan gelombang ultrasonik dan mengukur pantulannya. Mikrokontroler memproses sinyal ini dan mengendalikan motor untuk mengarahkan robot menjauhi rintangan.

Gagasan modifikasi dari penelitian ini dengan judul “Perancangan Otomatisasi Pergerakan Sayap pada model *Boom sprayer* Berbasis Sensor Ultrasonik Dan Raspberry Pi Pico W” penelitian ini merupakan penggabungan dari ketiga sistem pada penelitian diatas dimana pada penelitian menggunakan sensor ultrasonik yang digunakan untuk mengukur ketinggian pada model *boom sprayer*. Ketinggian sayap *boom sprayer* di tentukan oleh sensor ultrasonik yang akan memicu motor untuk menggerakkan sayap keatas maupun kebawah.

2.2.Teori Dasar

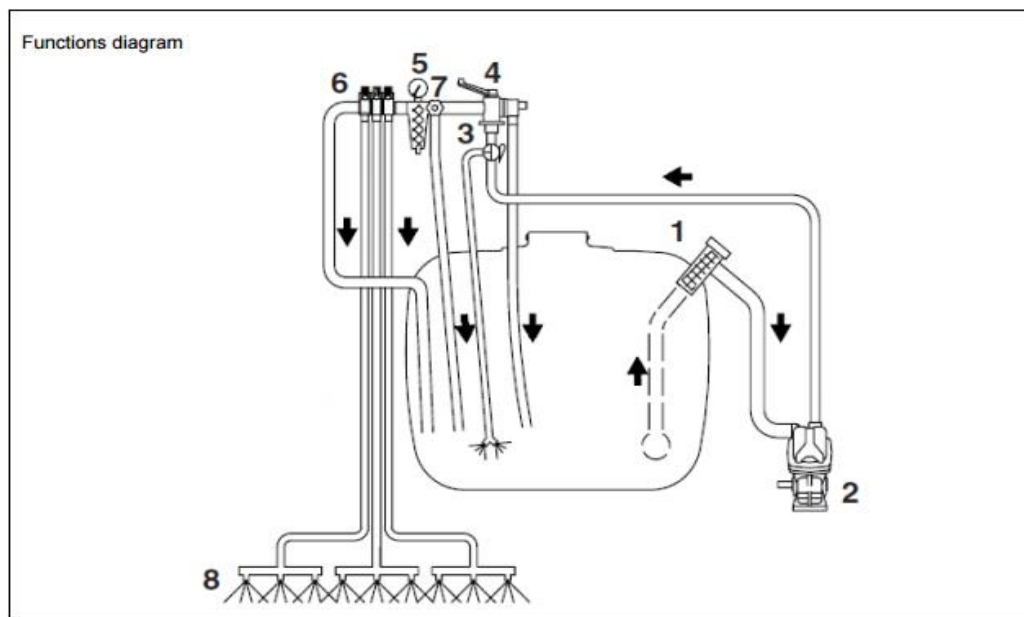
2.2.1 Boom sprayer

Boom sprayer terdiri dari dua kata yaitu boom dan sprayer. Sprayer yang merupakan alat untuk menyemprot material cairan, sebagai contoh pada pertanian yaitu pupuk cair yang akan disemprotkan melalui nozzle.

Fungsi penyemprot dasar

1. Filter hisap, titik hisap terletak di bagian bawah tangki
2. Pompa
3. Katup pengadukan tekanan
4. Katup ON / OFF utama dengan katup pengaman bawaan dan saluran balik ke tangki
5. Pengukur tekanan Katup penampang dengan equalisasi tekanan kembali ke saluran tangki
6. Pengaturan tekanan HARDI-MATIC dengan saluran balik ke tangki Boom bagian dengan nozel

Cairan yang tidak disemprotkan melalui nozel dikembalikan ke tangki. Filter hisap relatif lancar (30 mesh) dan melindungi katup pompa dari kerusakan. Kemampuan untuk matikan agitasi tekanan di akhir pengosongan tangki mengurangi risiko berbusa dan ini meningkatkan kemampuan untuk benar-benar mengosongkan tangki. Katup pengaman biasanya diatur pada 15 bar (220 psi), harus ditempatkan sebelum katup ON / OFF utama. Gambar 2.1 berikut merupakan contoh diagram fungsi dari sprayer



Gambar 2.1. Diagram fungsi dari *Sprayer*.

Selanjutnya adalah *boom*, *Boom* seperti pada gambar 2.2 memiliki tugas sederhana untuk menahan nosel pada ketinggian yang ditentukan di atas target. Ini relatif mudah dengan *boom* kecil 6 m (18 kaki) tetapi menjadi semakin sulit saat *boom* menjadi lebih luas, perjalanan lebih cepat dan saat berbelok di ujung perkebunan. *Boom* juga harus kuat, menawarkan perlindungan *nozzle*, bersamaan saat diangkut. Memiliki persyaratan perawatan yang kompleks dan mampu mempertahankan resiko kecelakaan tanpa mengalami kerusakan. *Boom* yang lebih luas biasanya ditanggihkan sehingga memiliki kebebasan independen gerakan dari sasis *sprayer*. Suspensi *trapeze* dan pendulum *linkage* adalah paling umum. Ini adalah keuntungan utama bahwa massa *boom* adalah seringan mungkin konstruksi bertahan lebih lama dan pemadatan tanah minimal. Tabung tensil tinggi ringan sering digunakan karena alasan ini. Beberapa *booming* dibantu udara untuk meningkatkan kapasitas semprotan dan mengurangi penggunaan pestisida.

Boom lebar diuntungkan dari sistem manajemen *boom* elektronik untuk mempertahankan ketinggian. Beberapa *boom* dapat dilipat sebagian pada engsel bagian dalam / luar. Fungsi ini digunakan untuk menyemprotkan pada area dengan ruang terbatas, misalnya di tanjung. Berikut bagian dan pergerakan boom.



Gambar 2.2. *Boom sprayer* di PT GGP

Bagian *boom* adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1. Bagian pada *boom sprayer*

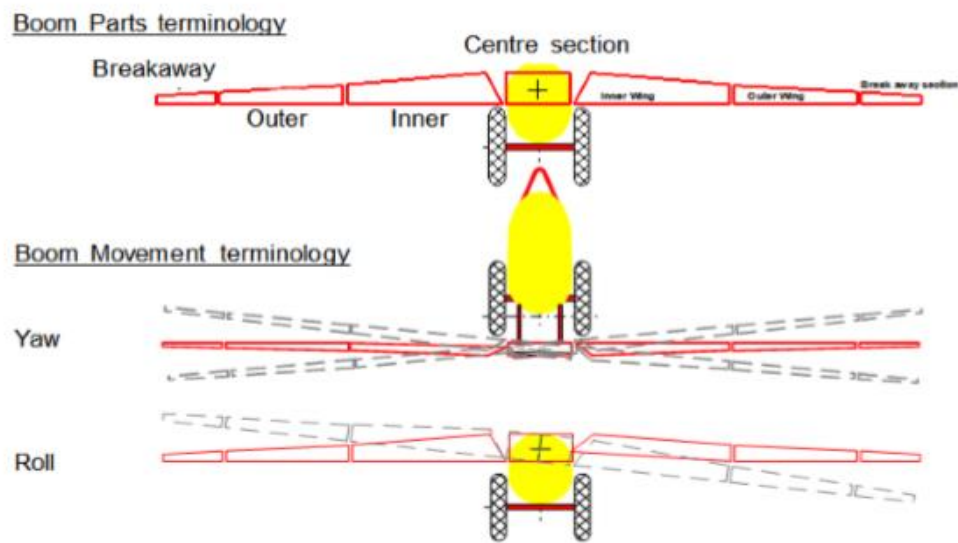
No	Bagian	Fungsi
1	<i>Breakway</i>	Mampu bergerak mundur atau maju jika menyerang objek
2	<i>Outer</i>	Berengsel pada bagian luar / dalam
3	<i>Inner</i>	Berengsel pada bagian dalam / tengah
4	<i>Center</i>	Memiliki fungsi suspensi
5	<i>Yaw</i>	Gerakan maju dan mundur dari sayap boom
6	<i>Roll</i>	Gerakan ke atas dan ke bawah sayap boom

Berikut adalah jenis jenis dari pengontrolan boom :

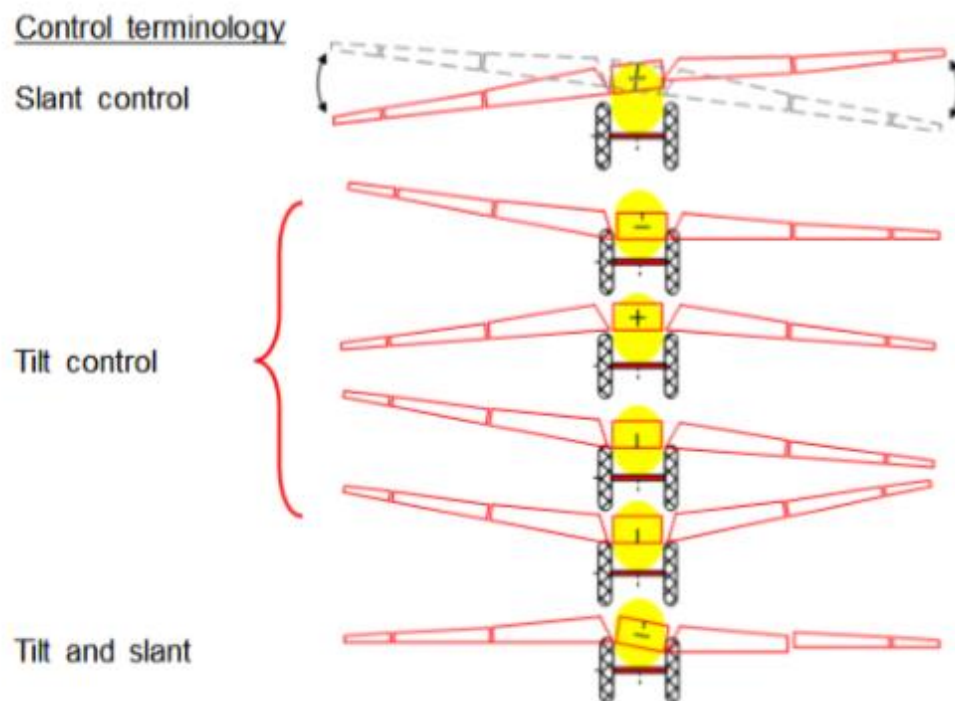
Persyaratan boom pada sumbu Y adalah:

1. Satu outlet aktung tunggal untuk (atas / bawah)
2. Satu outlet aksi ganda (lipat)
3. Satu outlet aksi ganda (miring)

Persyaratan Z boom adalah: Satu outlet aksi ganda (untuk semua gerakan)[4]



Gambar 2.3. Terminologi bagian dan pergerakan boom



Gambar 2.4. Terminologi kontrol boom

2.2.2 Nanas

Nanas adalah anggota keluarga Bromeliaceae terkemuka yang dapat dimakan yang mencakup sekitar 2.000 spesies, sebagian besar epifit dan banyak yang sangat hias. Sekarang dikenal secara botani sebagai *Ananas comosus* Merr. (syns *A. sativus*

Schult. f., *Ananassa sativa* Lindl., *Bromelia ananas* L., *B. comosa* L.), buah ini memiliki beberapa nama vernakular. Ini secara luas disebut pina oleh orang-orang yang berbahasa Spanyol, abacaxi dalam bahasa Portugis, ananas oleh orang Belanda dan Prancis dan orang-orang bekas koloni Perancis dan Belanda; nanas di Asia Selatan dan Hindia Timur. Di Cina, itu adalah po-lo-mah; kadang-kadang di Jamaika, pinus manis, di Guatemala seringkali hanya "pinus" (Morton, Julia F 1987).



Gambar 2.5. Nanas (*Ananas comosus*)
Sumber: kompas.com Diolah, 2022

Nanas (*Ananas comosus*) adalah tumbuhan tropis dengan buah yang dapat dimakan dan tumbuhan yang paling penting secara ekonomi dalam famili Bromeliaceae. Nanas adalah tumbuhan asli Amerika Selatan, dan telah dibudidayakan di sana selama berabad-abad. Pengenalan nanas ke Eropa pada abad ke-17 menjadikannya ikon budaya kemewahan yang signifikan. Sejak tahun 1820-an, nanas telah ditanam secara komersial di rumah kaca dan banyak perkebunan tropis. Selain itu, nanas merupakan buah tropis terpenting ketiga dalam produksi dunia. Pada abad ke-20,

Hawaii adalah penghasil nanas yang dominan, terutama untuk AS; namun, pada tahun 2016, Kosta Rika, Brasil, dan Filipina menyumbang hampir sepertiga dari produksi nanas dunia (wikipedia/nanas). Selain di tanam di negara negara di atas, Indonesia termasuk sebagai negara eksportir nanas terbesar yang kebun nya berpusat di kabupaten Lampung Tengah Provinsi Lampung. PT. Great Giant Pineapple merupakan perusahaan yang bertumbuh sebagai produsen nanas terbesar ketiga di dunia yang memproduksi nanas kaleng dan juga nanas buah yang di tanam pada lahan seluas sekitar 32.000 Ha dan sekitar 19.000 Ha nya ditanami nanas.

2.2.3 Motor Stepper

Motor stepper adalah jenis motor listrik yang bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik untuk menghasilkan gerakan rotasi diskret atau langkah. Berbeda dengan motor DC yang berputar secara kontinu, *motor stepper* bergerak dalam langkah-langkah tetap, memungkinkan kontrol presisi terhadap posisi rotornya. Setiap langkahnya dihasilkan dengan mengalirkan arus listrik melalui gulungan-gulungan stator dalam urutan tertentu, yang menyebabkan rotor bergerak ke posisi berikutnya.

Cara kerja *motor stepper* didasarkan pada prinsip dasar elektromagnetisme. Motor ini terdiri dari beberapa komponen utama: rotor, stator, dan gulungan (winding). Rotor biasanya terdiri dari magnet permanen atau bahan feromagnetik, sementara stator memiliki beberapa gulungan yang diatur sedemikian rupa sehingga medan magnet dapat dihasilkan secara bergantian.

Motor stepper bergerak berdasarkan prinsip elektromagnetik dimana rotor bergarak sejumlah sudut tertentu setiap kali diberikan pulsa listrik. Sudut langkah yang biasanya paling umum digunakan adalah sudut 1.8 derajat karena memberikan keseimbangan yang baik antara resolusi (kehalusan gerakan) dan torsi (kekuatan putar). Sudut langkah Ini adalah sudut terkecil yang dapat diputar motor dalam satu langkah. Pada *motor stepper* 1.8 derajat, artinya setiap kali diberikan satu pulsa, rotor akan berputar sebesar 1.8 derajat.

Langkah-Langkah Dasar:

1. Penyediaan Arus Listrik: Arus listrik dialirkan melalui gulungan stator dalam urutan tertentu.
2. Medan Magnet: Arus ini menghasilkan medan magnet yang menarik atau menolak rotor, menyebabkan rotor bergerak satu langkah.
3. Urutan Penggerakan: Dengan mengatur urutan pengaliran arus ke gulungan-gulungan stator, rotor dapat diputar dengan presisi sesuai dengan langkah-langkah yang diinginkan.

Motor stepper digunakan dalam berbagai aplikasi yang memerlukan kontrol posisi yang presisi dan kecepatan rendah hingga menengah. Beberapa contoh aplikasi *motor stepper* meliputi:

1. CNC (Computer Numerical Control): Menggerakkan alat pemotong atau pengukir dengan akurasi.
2. Robotika: Menggerakkan lengan robot atau komponen lainnya dengan kontrol posisi yang tepat.
3. Peralatan Medis: Digunakan dalam perangkat seperti pompa insulin dan mesin MRI.
4. Automasi Industri: Menggerakkan conveyor belt, sistem penanganan material, dan lainnya.

Keunggulan:

1. Kontrol Posisi yang Presisi: Mampu mengontrol posisi dengan langkah-langkah yang sangat kecil.
2. Kesederhanaan Pengendalian: Mudah dikendalikan menggunakan sinyal digital.
3. Tahan Lama dan Handal: Tidak memiliki komutator yang dapat aus seiring waktu.

Kelemahan:

1. Efisiensi Energi yang Rendah: Mengonsumsi daya yang relatif tinggi bahkan saat tidak bergerak.

2. Torsi yang Terbatas: Torsi yang dihasilkan biasanya lebih rendah dibandingkan motor DC.
3. Resonansi: Pada kecepatan tertentu, *motor stepper* dapat mengalami resonansi yang mengurangi performanya.



Gambar 2.6. Motor Stepper

2.2.4 Motor Driver A4988

Motor driver A4988 adalah sebuah microstepping driver untuk *motor stepper* bipolar yang dirancang untuk menyediakan kontrol yang mudah dan presisi terhadap *motor stepper*. Motor driver ini diproduksi oleh Allegro MicroSystems dan sering digunakan dalam berbagai aplikasi yang memerlukan kontrol posisi yang akurat, seperti pada printer 3D, mesin CNC, dan robotika

Fitur Utama yang ada pada motor driver A4988 ini adalah

1. Microstepping: A4988 mendukung hingga 1/16 microstepping, yang memungkinkan kontrol posisi yang sangat halus dan presisi.
2. Kontrol Arus: Memiliki kontrol arus internal yang memungkinkan pengaturan arus maksimum ke motor, melindungi motor dan driver dari kerusakan.
3. Proteksi Termal: Driver ini dilengkapi dengan proteksi terhadap over-temperature, over-current, dan under-voltage, yang memastikan operasi yang aman.
4. Mudah Digunakan: Hanya memerlukan dua pin kontrol (STEP dan DIR) untuk mengendalikan motor, membuatnya sangat mudah untuk diintegrasikan dengan mikrokontroler atau sistem kontrol lainnya.

Cara Kerja Motor Driver A4988 adalah sebagai berikut:

1. A4988 bekerja dengan memberikan sinyal langkah (STEP) dan arah (DIR) ke *motor stepper*. Berikut adalah pin dan fungsinya yang perlu diketahui:
2. VDD dan GND: Pin ini menyediakan daya untuk logika internal driver.
3. VMOT dan GND: Pin ini menyediakan daya untuk motor.
4. 2A, 2B, 1A, 1B: Pin ini terhubung ke gulungan *motor stepper*.
5. STEP: Pin ini menerima sinyal dari mikrokontroler untuk menggerakkan motor satu langkah setiap kali sinyal diberikan.
6. DIR: Pin ini menentukan arah putaran motor.
7. EN (Enable): Pin ini digunakan untuk mengaktifkan atau menonaktifkan driver motor.



Gambar 2.7. Modul Driver A4988

Kelebihan dari driver ini adalah:

1. Presisi Tinggi: Mendukung hingga 1/16 microstepping.
2. Proteksi Internal: Memiliki proteksi over-temperature, over-current, dan under-voltage.
3. Mudah Digunakan: Hanya memerlukan dua pin kontrol.
4. Kekurangan dari driver ini adalah:
5. Pengaturan Arus Maksimum: Memerlukan potensiometer untuk mengatur arus maksimum ke motor.
6. Dissipasi Panas: Driver ini dapat menjadi panas selama operasi, memerlukan heatsink atau pendingin tambahan.

2.2.5 Raspberry Pi Pico W

Raspberry Pi Pico W adalah sebuah papan pengembangan mikrokontroler yang sangat populer dan terjangkau, terutama bagi pemula maupun profesional di bidang elektronik dan pemrograman. Pico W merupakan versi pengembangan dari Raspberry Pi Pico, dengan tambahan fitur utama berupa konektivitas Wi-Fi.

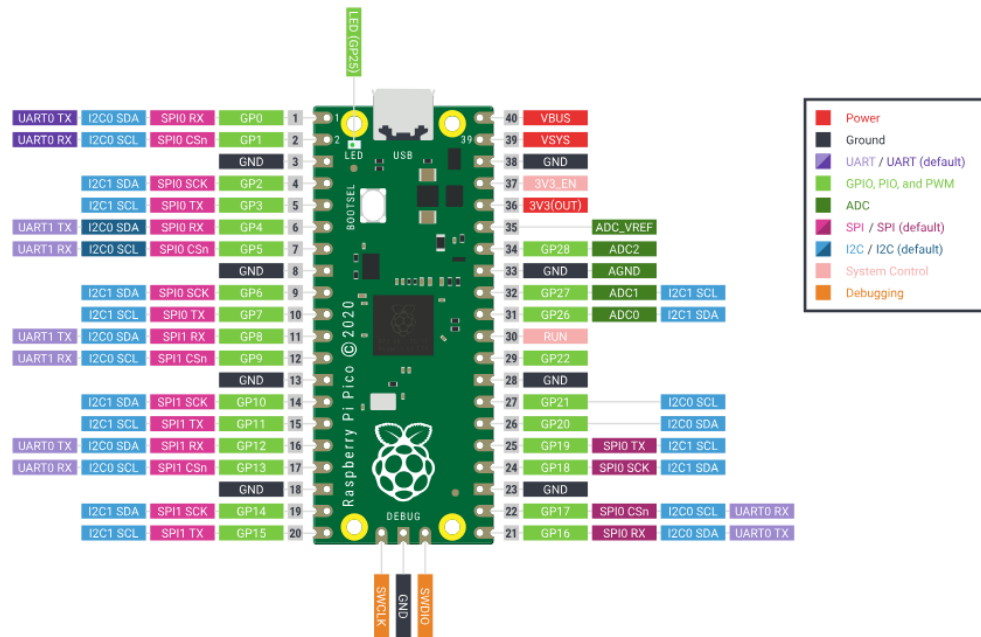
Fitur Utama Raspberry Pi Pico W:

1. Mikrokontroler RP2040: Didesain sendiri oleh Raspberry Pi Foundation, chip ini menawarkan kinerja yang sangat baik dengan dual-core ARM Cortex M0+ dan 264 KB RAM.
2. Konektivitas Wi-Fi: Fitur inilah yang membedakan Pico W dari Pico versi sebelumnya. Dengan Wi-Fi, kamu dapat menghubungkan Pico W ke jaringan internet dan melakukan berbagai hal seperti mengontrol perangkat IoT, mengirim data ke cloud, atau membuat server web sederhana.
3. GPIO Pins: Pico W dilengkapi dengan banyak pin GPIO (General Purpose Input/Output) yang dapat digunakan untuk menghubungkan berbagai macam sensor, aktuator, dan perangkat eksternal lainnya.
4. USB: Pico W memiliki port USB yang berfungsi sebagai sumber daya dan juga untuk komunikasi dengan komputer.
5. MicroPython: Pico W sangat mendukung bahasa pemrograman MicroPython, yang mudah dipelajari dan sangat cocok untuk pemula.
6. Ukuran Kecil dan Ringan: Desainnya yang kompak membuatnya mudah dibawa dan digunakan dalam berbagai proyek.

Keunggulan Raspberry Pi Pico W:

1. Harga Terjangkau: Pico W sangat terjangkau, sehingga cocok untuk eksperimen dan pembelajaran.
2. Mudah Digunakan: Dokumentasi dan komunitas yang sangat aktif membuat Pico W mudah untuk dipelajari dan digunakan.
3. Fleksibilitas: Dengan banyaknya pin GPIO dan dukungan untuk berbagai bahasa pemrograman, Pico W sangat fleksibel untuk berbagai macam proyek.
4. Kinerja yang Baik: Meskipun ukurannya kecil, Pico W memiliki kinerja yang cukup baik untuk menjalankan berbagai aplikasi.

5. Konektivitas Wi-Fi: Fitur Wi-Fi membuka banyak kemungkinan baru untuk proyek-proyek IoT.



Gambar 2.8. Raspberry Pi Pico w

Raspberry Pi Pico W dapat digunakan untuk berbagai macam proyek, seperti:

- IoT (Internet of Things): Membuat berbagai macam perangkat pintar seperti sensor suhu, kelembaban, cahaya, atau aktuator seperti motor servo, relay, dan lain-lain.
- Otomatisasi: Membuat sistem otomatisasi rumah atau kantor, misalnya mengontrol lampu, pintu garasi, atau sistem irigasi.
- Robot: Membuat robot sederhana seperti robot line follower, robot arm, atau drone.
- Data Logging: Mengumpulkan dan menyimpan data dari sensor, kemudian mengirimkannya ke cloud atau menampilkannya pada layar.
- Proyek Edukasi: Sebagai alat pembelajaran untuk mempelajari dasar-dasar pemrograman, elektronik, dan IoT.

2.2.6 Model

Model adalah representasi abstrak atau fisik dari suatu objek, sistem, atau proses. Model dapat berupa fisik (seperti miniatur atau patung) atau matematis (seperti persamaan atau simulasi komputer).

Tujuan:

1. Memudahkan pemahaman: Model membantu kita memvisualisasikan dan memahami sesuatu yang kompleks.
2. Memprediksi perilaku: Model dapat digunakan untuk memprediksi bagaimana suatu sistem akan berperilaku dalam kondisi tertentu.
3. Menganalisis kinerja: Model dapat digunakan untuk menganalisis kinerja suatu sistem dan mengidentifikasi area yang perlu perbaikan.

Karakteristik:

1. Dapat sangat detail atau sangat sederhana, tergantung pada tujuannya.
2. Fokus pada aspek tertentu dari suatu objek atau sistem.
3. Dapat digunakan untuk berbagai tujuan, seperti pembelajaran, penelitian, atau desain.

Penulis menggunakan model untuk merepresentasikan boom sprayer pada bagian sayap boom sprayer yang digunakan untuk menyiram tanaman dengan skala 1:10 sehingga didapatkan tinggi model adalah 50 cm dan Panjang sayap model adalah 120 cm dengan menggunakan perhitungan berikut:

$$T_m = \frac{T_u}{S_u} \cdot S_m \quad (2.1)$$

Dimana: T_u = Tinggi Unit Asli
 S_u = Sayap Unit Asli
 T_m = Tinggi Model
 S_m = Sayap Model

2.2.7 PID Controller

PID controller adalah sebuah mekanisme kontrol yang digunakan secara luas dalam berbagai sistem otomatisasi dan pengendalian industri. PID adalah singkatan dari Proportional-Integral-Derivative, yang mengacu pada tiga elemen utama dalam algoritma kontrol ini. Berikut adalah penjelasan lebih mendetail tentang masing-masing komponen:

1. Proportional (P)

Komponen proportional mengontrol keluaran berdasarkan besarnya error, yaitu selisih antara nilai setpoint (nilai yang diinginkan) dan nilai proses (nilai aktual yang diukur dari sistem). Semakin besar error, semakin besar juga sinyal koreksi yang dihasilkan oleh bagian proportional ini.

$$P_{\text{output}} = K_p \cdot e(t) \quad (2.2)$$

di mana:

P_{output} adalah keluaran dari bagian proportional.

K_p adalah konstanta proportional (gain).

$e(t)$ adalah error pada waktu t .

Jika K_p terlalu tinggi, sistem akan merespon dengan cepat tetapi dapat menjadi tidak stabil. Jika terlalu rendah, responnya mungkin terlalu lambat atau tidak memadai.

2. Integral (I)

Komponen integral memperhitungkan akumulasi error dari waktu ke waktu. Ini membantu menghilangkan error jangka panjang yang mungkin tidak dapat dihilangkan hanya dengan kontrol proportional. Komponen ini menambah sinyal koreksi yang berkaitan dengan total akumulasi error.

$$I_{\text{output}} = K_i \cdot \int_0^t e(t) dt \quad (2.3)$$

di mana:

I_{output} adalah keluaran dari bagian integral.

K_i adalah konstanta integral (gain).

$e(t)$ adalah error pada waktu t .

Komponen integral efektif dalam menghilangkan error steady-state, tetapi jika K_i terlalu besar, sistem dapat menjadi lambat atau mulai berosilasi.

3. Derivative (D)

Komponen derivative memperkirakan laju perubahan error. Ini memberikan sinyal koreksi yang sebanding dengan kecepatan perubahan error. Dengan kata lain, bagian derivative mencoba untuk "meramalkan" masa depan error berdasarkan tren saat ini.

$$D_{\text{output}} = K_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad (2.4)$$

di mana:

D_{output} adalah keluaran dari bagian derivative.

K_d adalah konstanta derivative (gain).

$\frac{de(t)}{dt}$ adalah laju perubahan error.

Komponen derivative membantu sistem merespon lebih cepat terhadap perubahan yang tiba-tiba, tetapi jika K_d terlalu tinggi, sistem dapat menjadi terlalu sensitif terhadap noise.

Keluaran total dari PID controller adalah kombinasi dari ketiga komponen ini:

$$PID_{\text{output}} = P_{\text{output}} + I_{\text{output}} + D_{\text{output}} \quad (2.5)$$

Dalam praktiknya, tuning PID controller (menentukan K_p , K_i , K_d) adalah langkah penting untuk mencapai performa sistem yang diinginkan. Tujuan dari tuning adalah menemukan nilai-nilai ini sehingga sistem menjadi stabil, responsif, dan memiliki error steady-state yang minimal.

PID controller digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti pengendalian suhu, kecepatan motor, tekanan, level cairan, dan banyak sistem lain yang membutuhkan pengendalian presisi. Dalam penulisan ini penulis menggunakan PID controller ini untuk mengontrol kecepatan dari *motor stepper*. PID controller digunakan untuk mengendalikan *motor stepper* dalam situasi di mana penulis

menginginkan Kontrol Kecepatan yang Halus: Untuk mencapai transisi kecepatan yang lebih halus atau untuk mengurangi getaran pada kecepatan rendah

.

2.2.8 Sensor Ultrasonik

Sensor ultrasonik adalah sebuah sensor yang berfungsi untuk mengubah besaran fisis (bunyi) menjadi besaran listrik dan sebaliknya. Cara kerja sensor ini didasarkan pada prinsip dari pantulan suatu gelombang suara sehingga dapat dipakai untuk menafsirkan eksistensi (jarak) suatu benda dengan frekuensi tertentu. Disebut sebagai sensor ultrasonik karena sensor ini menggunakan gelombang ultrasonik (bunyi ultrasonik).

Gelombang ultrasonik adalah gelombang bunyi yang mempunyai frekuensi sangat tinggi yaitu 20.000 Hz. Bunyi ultrasonik tidak dapat di dengar oleh telinga manusia. Bunyi ultrasonik dapat didengar oleh anjing, kucing, kelelawar, dan lumba-lumba. Bunyi ultrasonik bisa merambat melalui zat padat, cair dan gas. Reflektivitas bunyi ultrasonik di permukaan zat padat hampir sama dengan reflektivitas bunyi ultrasonik di permukaan zat cair. Akan tetapi, gelombang bunyi ultrasonik akan diserap oleh tekstil dan busa.

Pada sensor ultrasonik, gelombang ultrasonik dibangkitkan melalui sebuah alat yang disebut dengan piezoelektrik dengan frekuensi tertentu. Piezoelektrik ini akan menghasilkan gelombang ultrasonik (umumnya berfrekuensi 40 kHz) ketika sebuah osilator diterapkan pada benda tersebut. Secara umum, alat ini akan menembakkan gelombang ultrasonik menuju suatu area atau suatu target. Setelah gelombang menyentuh permukaan target, maka target akan memantulkan kembali gelombang tersebut. Gelombang pantulan dari target akan ditangkap oleh sensor, kemudian sensor menghitung selisih antara waktu pengiriman gelombang dan waktu gelombang pantul diterima.

Secara detail, cara kerja sensor ultrasonik adalah sebagai berikut:

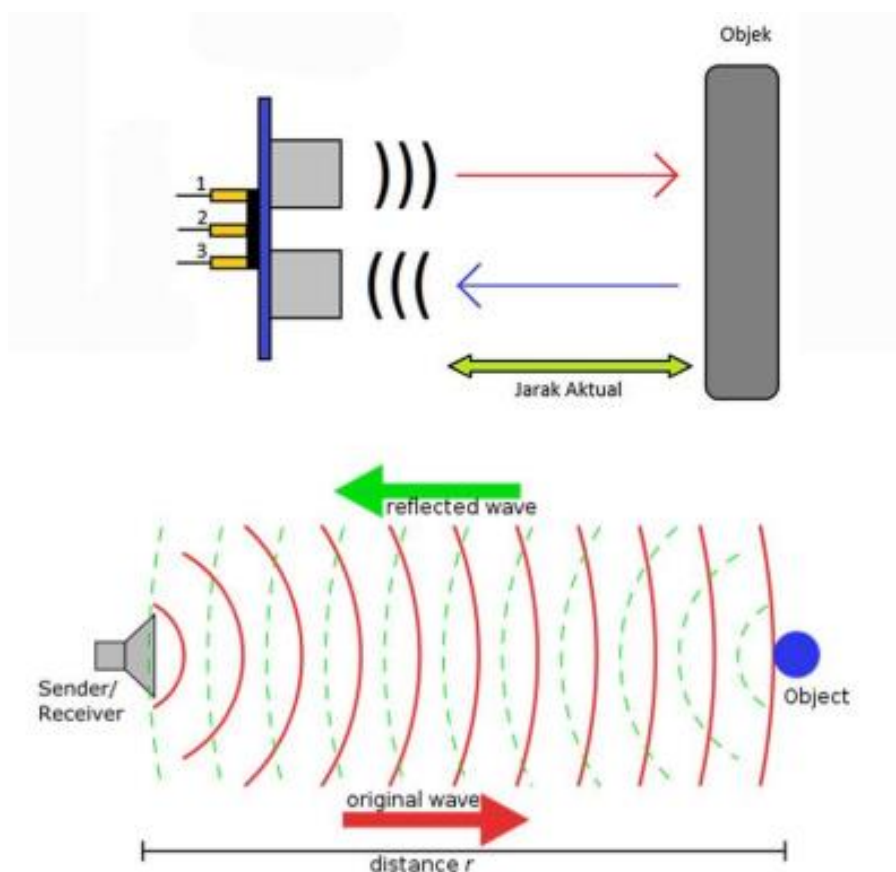
1. Sinyal dipancarkan oleh pemancar ultrasonik dengan frekuensi tertentu dan dengan durasi waktu tertentu. Sinyal tersebut berfrekuensi diatas 20 kHz.

Untuk mengukur jarak benda (sensor jarak), frekuensi yang umum digunakan adalah 40 kHz.

2. Sinyal yang dipancarkan akan merambat sebagai gelombang bunyi dengan kecepatan sekitar 340 m/det. Ketika menumbuk suatu benda, maka sinyal tersebut akan dipantulkan oleh benda tersebut.
3. Setelah gelombang pantulan sampai di alat penerima, maka sinyal tersebut akan diproses untuk menghitung jarak benda tersebut. Jarak benda dihitung berdasarkan rumus:

$$s = \frac{v \cdot t}{2} \quad (2.6)$$

Dimana :
 s = jarak
 v = kecepatan suara (340m/s)
 t = waktu



Gambar 2.9. Cara kerja sensor ultrasonic

Dimana S merupakan jarak antara sensor ultrasonik dengan benda (bidang pantul), dan t adalah selisih antara waktu pemancaran gelombang oleh transmitter dan waktu ketika gelombang pantul diterima receiver.

Sensor ultrasonik memiliki beberapa jenis yang memiliki beberapa spesifikasi dan kegunaannya masing-masing, dalam hal ini penulis menggunakan sensor ultrasonik JSN SR04T. Sensor JSN-SR04T adalah sensor jarak ultrasonik yang sering digunakan dalam berbagai aplikasi seperti pengukuran jarak dan deteksi objek. Sensor ini adalah versi tahan air dari sensor ultrasonik, sehingga sangat cocok untuk aplikasi di luar ruangan atau lingkungan yang lembab. Berikut adalah penjelasan lebih lanjut tentang sensor ini:

Sensor JSN SR04T memiliki beberapa fitur yang ditawarkan yaitu:

1. Tahan Air: JSN-SR04T dirancang untuk beroperasi dalam kondisi basah atau lembab, menjadikannya pilihan ideal untuk aplikasi di luar ruangan atau lingkungan yang keras.
2. Jangkauan Jarak: Sensor ini mampu mengukur jarak dari 25 cm hingga 450 cm dengan akurasi yang cukup baik.
3. Frekuensi Operasi: Beroperasi pada frekuensi ultrasonik sekitar 40 kHz.
4. Antarmuka: Menggunakan antarmuka digital untuk komunikasi dengan mikrokontroler atau sistem kontrol lainnya.

Spesifikasi Teknis

- Tegangan Operasi: 5V DC
- Arus Operasi: Maksimal 30 mA
- Sudut Deteksi: Sekitar 60 derajat
- Jarak Minimum: 25 cm
- Jarak Maksimum: 450 cm

Aplikasi

- Robotika: Untuk navigasi dan deteksi objek di luar ruangan.
- Sistem Parkir: Untuk mendeteksi jarak kendaraan ke halangan.

- Sistem Keamanan: Untuk deteksi intrusi atau gerakan.
- Pengukuran Ketinggian Air: Dalam tangki atau wadah terbuka.

Kelebihan

- Tahan Air: Ideal untuk penggunaan di lingkungan yang lembab atau basah.
- Akurasi: Memberikan pengukuran jarak yang cukup akurat.
- Kompak dan Mudah Digunakan: Dapat dengan mudah diintegrasikan ke dalam berbagai proyek elektronik.



Gambar 2.10. Sensor ultrasonik JSN SR04T

III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian tugas akhir ini dilaksanakan di Laboratorium Terpadu Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung. Sedangkan waktu penelitian tugas akhir ini dimulai dari bulan Juli 2023 sampai dengan bulan Mei 2024.

3.2 Alat dan Bahan

Komponen -komponen yang diperlukan untuk penelitian ini antarlain,

A. Perangkat Lunak

1. Thony

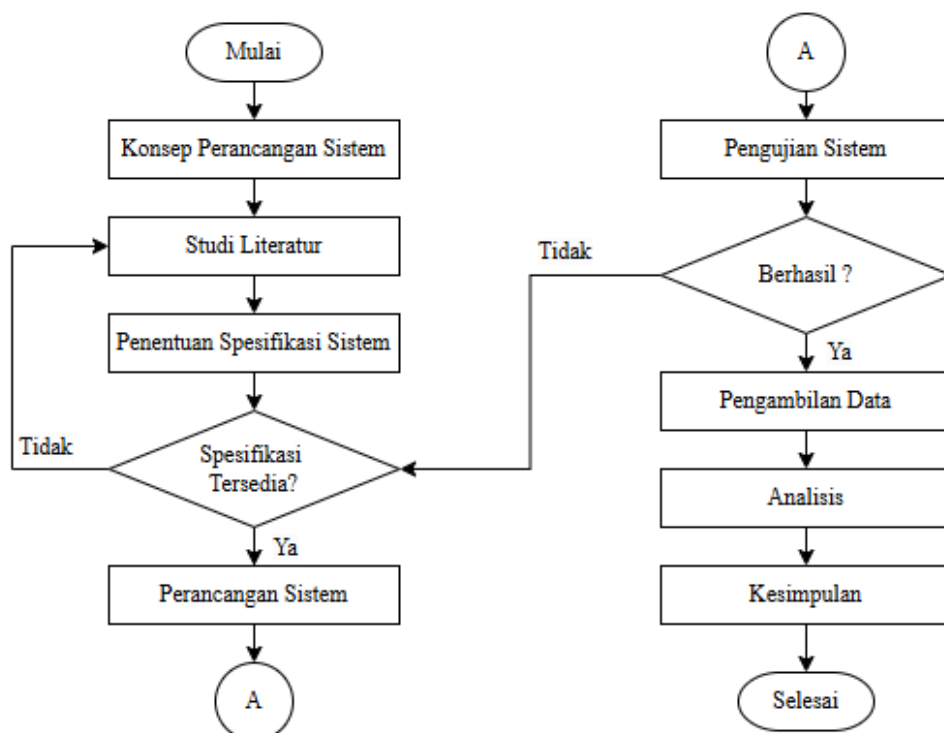
B. Perangkat Keras

1. Sensor Ultrasonik JSN SR04T
2. Raspberry Pi Pico W
3. Power Supply
4. *Motor Stepper*
5. Motor Driver A4988
6. Kabel Jumper
7. Laptop
8. Multimeter
9. Pipa PVC
10. Benang Nilon
11. Jack DC

3.3 Metode Penelitian

Prosedur penelitian dijelaskan melalui diagram alir pada Gambar 3.1. penelitian dimulai dengan mencari topik atau ide perancangan sistem. Dengan adanya ide atau topik perancangan sistem, penelitian dilanjutkan untuk mencari dan mempelajari literatur yang berkaitan dengan topik perancangan sistem untuk menentukan spesifikasi sistem. Jika spesifikasi sistem tidak tersedia atau kurang efektif, maka pencarian literatur dilakukan kembali agar mendapatkan spesifikasi sistem yang efektif.

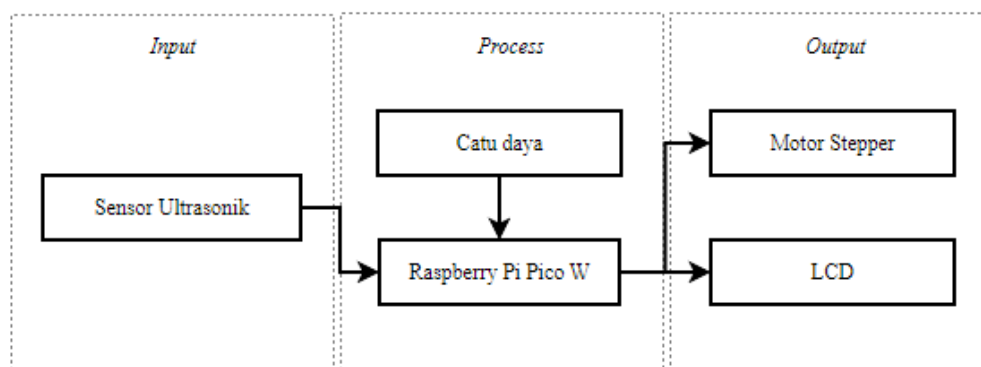
Penelitian dilanjutkan dengan merancang sistem dan dilanjutkan dengan pengujian sistem. Jika pengujian sistem tidak berhasil, maka perancangan sistem perlu dilakukan kembali agar sistem yang diharapkan dapat berkerja dengan baik saat diuji kembali. Setelah pengujian sistem berhasil, penelitian dilanjutkan dengan pengambilan data. Pada data yang sudah diambil lalu dilakukan analisis untuk mendapatkan kesimpulan dari sistem yang telah berhasil dibuat.



Gambar 3.1. Diagram alir prosedur penelitian

3.4 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

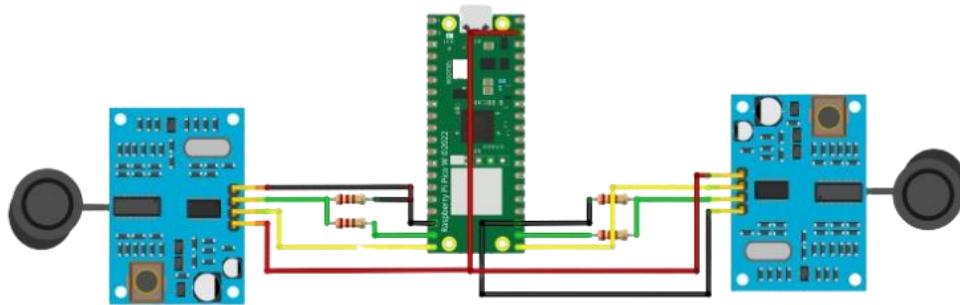
Perangkat keras utama yang digunakan pada penelitian ini yaitu Raspberry Pi Pico W sebagai pengontrol, Sensor ultrasonik tipe JSN SR04T untuk mengukur ketinggian sayap Model *boom sprayer*, Motor Stepper dan modul driver A4988 untuk menaikkan dan menurunkan sayap model *boom sprayer*, LCD (*Liquid Crystal Display*) untuk menampilkan pembacaan dari sensor ultrasonik, *Power Supply* sebagai sumber tegangan untuk sistem, dan sebuah laptop untuk pemantauan. Diagram blok untuk perencanaan sistem perangkat keras (*hardware*) yang berupa sensor ultrasonik sebagai masukan dan Raspberry Pi Pico W sebagai perangkat kontrolnya serta LCD sebagai penampil data ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Diagram blok sistem

3.4.1 Rangkaian Raspberry Pi Pico W dengan Sensor Ultrasonik

Pada penelitian ini, sensor ultrasonik digunakan sebagai perangkat untuk mengukur ketinggian air yang dinyatakan dalam *centimeter* (CM). Sensor ultrasonik memiliki 4 buah pin yang terdiri dari *supply* tegangan +5V (VCC), *trigger* (rx), *echo* (tx) dan *ground* (GND). Penelitian ini menggunakan 2 buah sensor ultrasonik JSN-SR04T yang di pasang pada bagian ujung sayap kiri dan juga ujung sayap kanan Rangkaian dan sambungan pin sensor ultrasonik dan raspberry pico w ditunjukkan pada Gambar 3.3. dan Tabel 3.1



Gambar 3.3. Rangkaian raspberry pi pico w dengan sensor ultrasonik JSN-SR04T

Tabel 3.1. Koneksi pin raspberry pi pico w dengan sensor ultrasonik JSN-SR04T

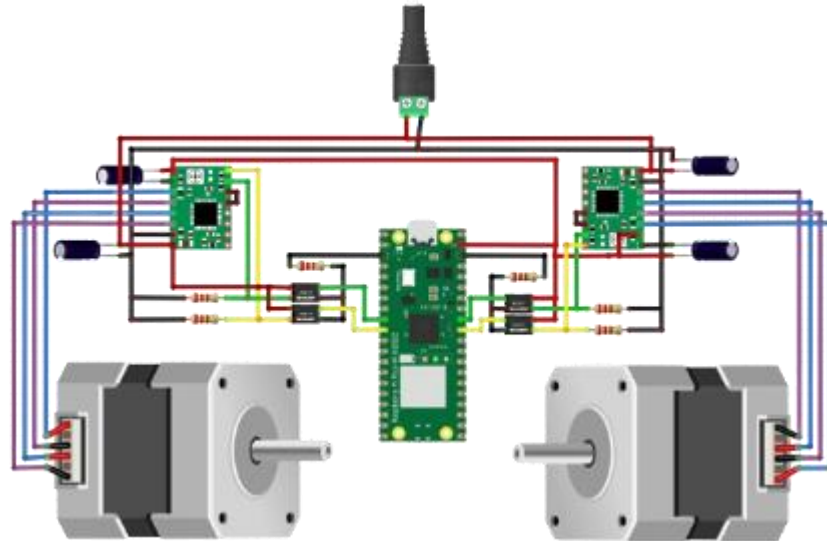
No	Pin Sensor Ultrasonik JSN-SR04T	Pin Raspberry Pi Pico W
1	GND Kanan	GND
2	5V Kanan	VSYS
3	TRIG Kanan	GPIO 16
4	ECHO Kanan	GPIO 17
5	GND Kiri	GND
6	5V Kiri	VSYS
7	TRIG Kiri	GPIO 15
8	ECHO Kiri	GPIO 14

Pada rangkaian raspberry pi pico w dengan Sensor ultrasonik JSN SR04T, terdapat 2 buah resistor yang terhubung antara pin data echo dengan pin data raspberry pi. Resistor ini berfungsi sebagai resistor pembagi tegangan dikarenakan output dari pin echo sebesar 5v sedangkan yang mampu dibaca oleh raspberry pi hanya 3.3v.

3.4.2 Rangkaian Raspberry Pi Pico W dengan Motor Stepper

Pada penelitian ini, *motor stepper* digunakan sebagai perangkat untuk menggerakkan sayap naik/turun setelah mendapat data ketinggian dari raspberry pi pico w. *Motor stepper* memiliki 4 buah pin data yaitu pin data 1A, 1B, 2A dan 2B. *Motor stepper* ini menggunakan modul driver A4899 digunakan untuk mengontrol *motor stepper* sebagai microstepping *motor stepper*. Pin Modul driver yang digunakan sebanyak 12 pin yaitu *supply* tegangan +5V (VDD), VMOT, RST, SLP, STEP, DIR 1A, 1B, 2A, 2B, dan 2 pin *ground* (GND). Pemasangan

motor stepper dan modul driver disesuaikan dengan kode yang ada keduanya. Penelitian ini menggunakan 2 buah *motor stepper* dan modul driver. Rangkaian dan sambungan pin *motor stepper*, modul driver dan raspberry pico w ditunjukkan pada Gambar 3.4. dan pada Tabel 3.2.



Gambar 3.4. Rangkaian raspberry pi pico w dengan modul driver A4988 dan *motor stepper*

Tabel 3.2. Koneksi raspberry pi pico w dengan modul driver A4988 dan *motor stepper*

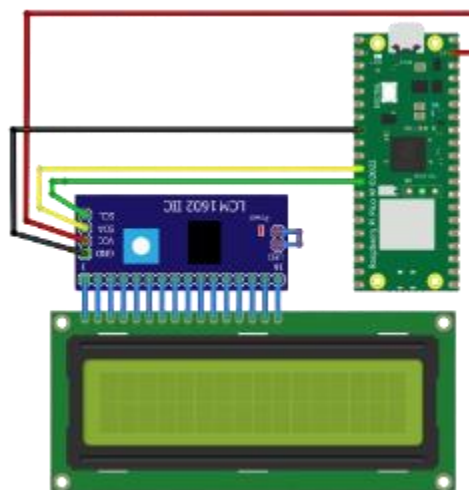
No.	Motor Stepper	Modul Driver A4988	Raspberry Pi Pico W
1	1A	1A	-
2	1B	1B	-
3	2A	2A	-
4	2B	2B	-
5	-	GND	GND
6	-	VDD	VSYS
7	-	STEP Kanan	GPIO 27
8	-	DIR Kanan	GPIO 26
9	-	STEP Kiri	GPIO 6
10	-	DIR Kiri	GPIO7

Pada rangkaian raspberry pi pico w dengan modul driver, terdapat 3 buah resistor dan 2 buah optocoupler yang terhubung pada masing masing modul driver, 2 buah optocoupler terhubung antara pin data modul driver dengan

raspberry pi pico w berfungsi sebagai isolator antara keduanya, 1 buah resistor terhubung antara ground dengan optocoupler yang berfungsi sebagai pembatas arus yang di terima oleh optocoupler bagian LED dan 2 buah resistor yang terpasang antara optocoupler dengan grouding yang berfungsi sebagai resistor *pull-down* agar tidak terjadi *floating condition* saat modul driver menerima data dari raspberry pi pico w.

3.4.3 Rangkaian Raspberry Pi Pico W dengan LCD

Pada penelitian ini, LCD 16x2 digunakan sebagai perangkat untuk menampilkan pembacaan ketinggian yang di hasilkan oleh sensor ultrasonik kanan dan sensor ultrasonik kiri. I2C LCD 16x2 ini memiliki 4 buah pin yang terdiri dari *supply* tegangan +5V (VCC), SCL, SDA dan *ground* (GND). Rangkaian dan sambungan pin I2C LCD 16x2 dan raspberry pico w ditunjukkan pada Gambar 3.5. dan Tabel 3.3

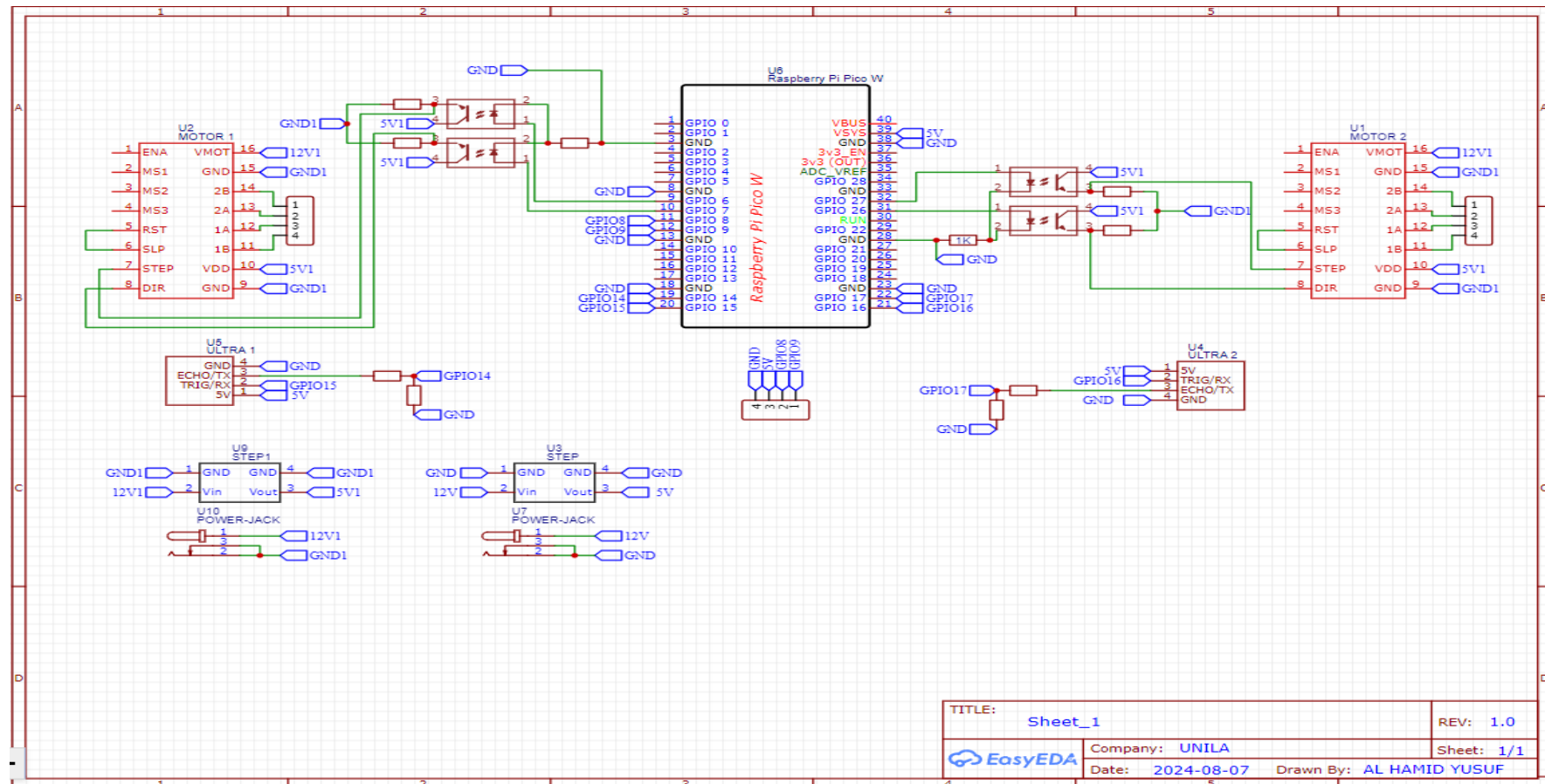


Gambar 3.5. Rangkaian raspberry pi pico w dengan LCD

Tabel 3.3. Koneksi pin raspberry pi pico w dengan LCD

No.	I2C LCD 16x2	Raspberry Pi Pico W
1.	VCC	VSYS
2.	GND	GND
3.	SCL	GPIO8
4.	SDA	GPIO9

3.4.4 Rangkaian Keseluruhan Sensor Dengan Raspberry Pi Pico W



Gambar 3.6. Rangkaian keseluruhan sensor dengan raspberry pi pico w

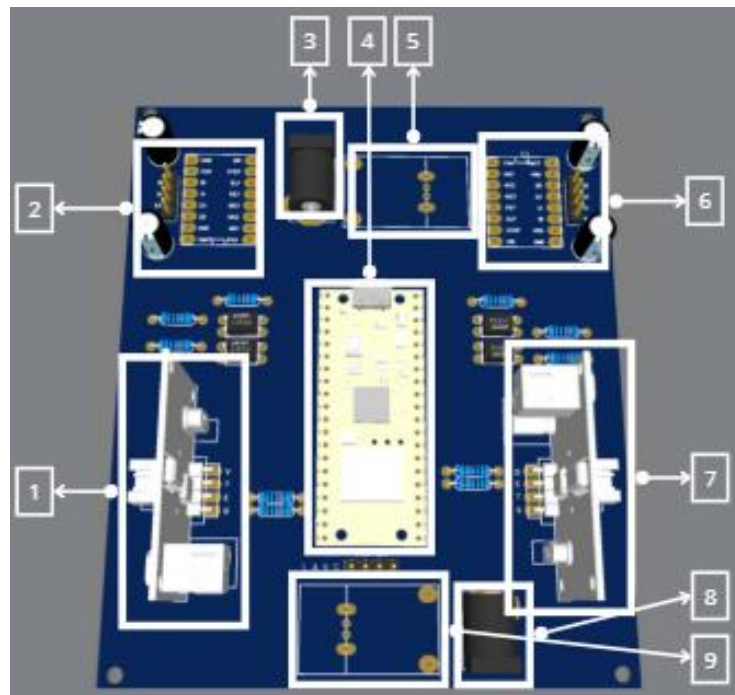
Rangkaian keseluruhan perangkat keras (*hardware*) dari alat ini dapat dilihat pada Gambar 3.6, sedangkan sambungan keseluruhan antara sensor yang digunakan dan Raspberry Pi Pico W ditunjukkan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4. Koneksi pin raspberry pi pico w dengan seluruh sensor

No	Pin Raspberry Pi Pico W	Pin Sensor
1	GPIO 16, GPIO 17, GPIO 14 dan GPIO 15	Sensor JSN-SR04T
2	GPIO 27, GPIO 26, GPIO 7 dan GPIO 6	Modul driver A4988
3	GPIO 8 dan GPIO 9	LCD 16x2

3.4.5 Desain Layout PCB (Printed Circuit Board)

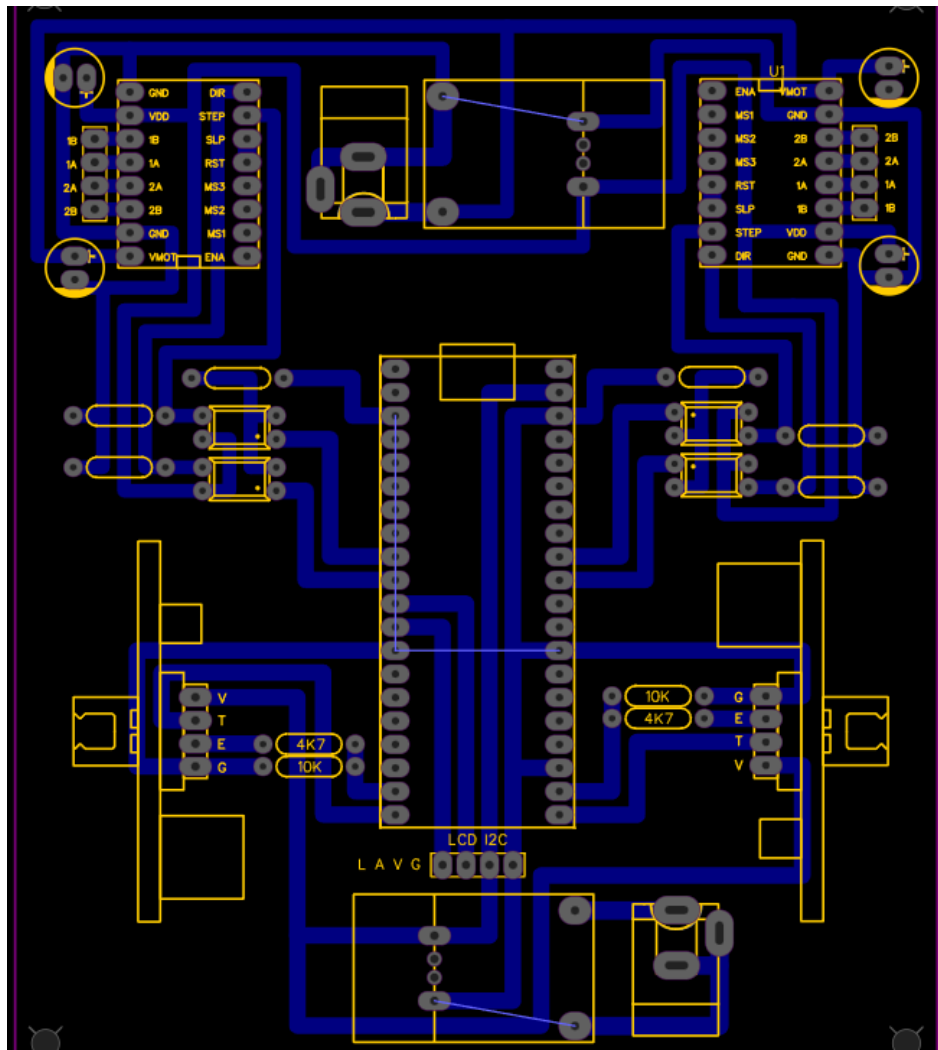
Desain *layout* PCB pada penelitian ini dibagi menjadi 2 bagian, yaitu desain *track* (jalur tembaga) dan desain 3 dimensi sebagai gambaran PCB setelah direalisasikan. Desain 3 dimensi dapat dilihat pada Gambar 3.7. Sedangkan Desain *track* (jalur tembaga) dapat dilihat pada Gambar 3.8. Pada Gambar 3.8 jalur berwarna biru merupakan *bottom layer* atau jalur tembaga sisi bagian belakang PCB, teks dan garis berwarna kuning merupakan *top silkscreen* untuk menandai lokasi komponen pada sisi depan PCB. Ukuran PCB yang direncanakan adalah dengan panjang 120mm dan lebar 100mm.



Gambar 3.7. Desain Layout 3 dimensi PCB

Berdasarkan pada gambar 3.7 diatas keterangan untuk setiap komponen yang bernomor adalah sebagai berikut :

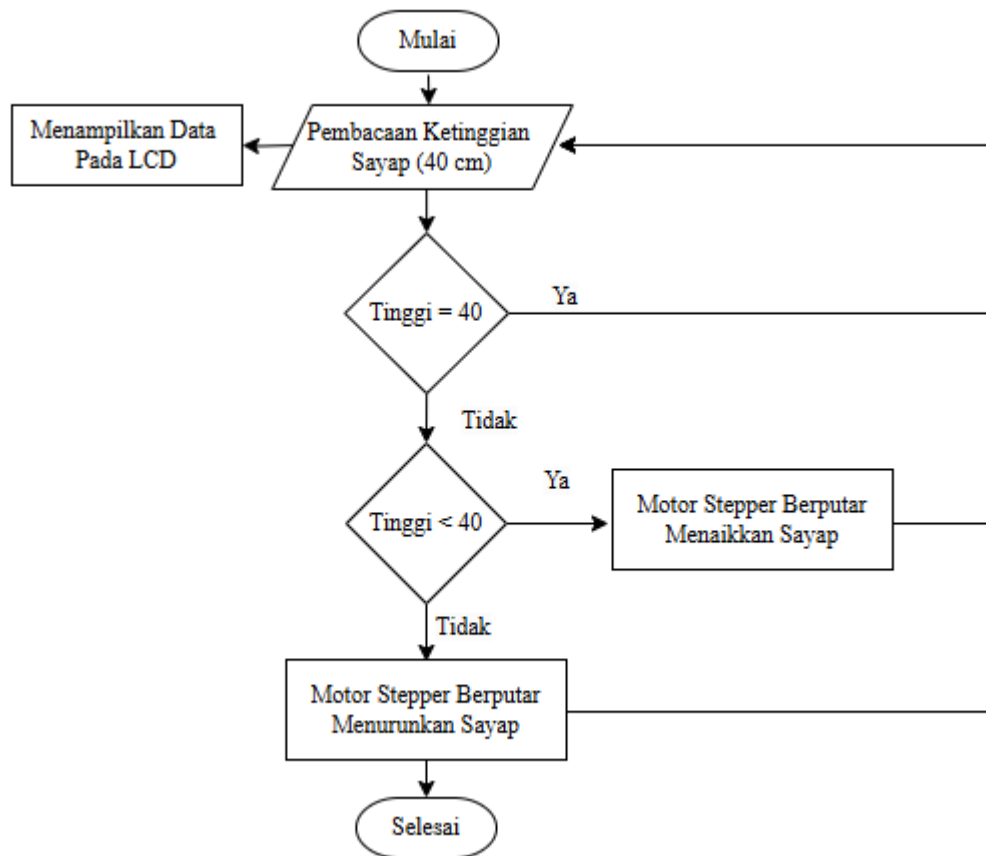
1. *PCB board* sensor ultrasonik sayap bagian kiri.
2. Modul driver A4988 sayap bagian kiri.
3. *Jack DC* sebagai *input* tegangan.
4. *Raspberry Pi Pico W*.
5. Modul *dc to dc step down* 12V ke 5V.
6. Modul driver A4988 sayap bagian kanan.
7. *PCB board* sensor ultrasonik sayap bagian kanan.
8. *Jack DC* sebagai *input* tegangan.
9. Modul *dc to dc step down* 12V ke 5V.



Gambar 3.8. Desain track PCB

3.5 Perancangan Perangkat Lunak (Software)

Flowchart program dari sistem yang akan dibuat. Untuk awal ditetapkan jarak awal untuk sebuah sistem yaitu jarak 40 cm dari tanaman nanas. Setelah itu sensor jarak akan mengukur jarak antara sayap dengan tanaman nanas dan akan diproses pada sistem kontrol, jika jarak dibawah 40 cm maka sistem kontrol akan mengirim sinyal ke *motor stepper* untuk bergerak keatas begitu juga sebaliknya. Adapun diagram alir dari fungsi sistem yang akan diteliti adalah sebagai berikut :



Gambar 3. 9. Flowchart program

3.6 Prosedur Pengujian Sensor dan Pengambilan Data

Pengujian pada alat yang telah dibuat dilakukan untuk mengetahui sejauh mana kemampuan alat dalam membaca nilai parameter yang diukur. Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan hasil bacaan sensor dari alat yang telah dibuat dengan instrumen pengukuran yang telah terkalibrasi. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kesalahan (*error*), tingkat akurasi, dan tingkat

presisi dari alat yang telah dibuat. Terdapat 2 parameter yang akan diuji dalam penelitian ini yaitu ketinggian, sensitifitas *motor stepper* dalam menggerakkan sayap *boom sprayer*. Adapun prosedur pengujian dan pengambilan data pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

3.6.1 Pengujian Sensor Ultrasonik JSN-SR04T

Pengujian pengukuran jarak dilakukan dengan menguji sensor jarak yang digunakan satu persatu. Sebelum dilakukan pengujian pada sensor, diberikan penghalang pada jarak tertentu dan tegak lurus terhadap arah radiasi gelombang sensor jarak yang dipancarkan oleh transduser sensor jarak, setelah itu sensor jarak diaktifkan, dan jarak dari hasil pembacaan sensor pun didapatkan.

Tabel 3.5. Data pengujian sensor ultrasonik

Ke-n	Data Hasil Pengujian Sensor Jarak				
	Jarak Sebenarnya				
	20	30	40	50	60
1.					
2.					
3.					
Dst					
Rata-Rata					

Data yang telah didapatkan dari pengukuran akan digunakan untuk menghitung akurasi, presisi, dan persentase kesalahan (*error*) menggunakan Persamaan (3.1), (3.2), (3.3).

$$\%A = \left(1 - \left|\frac{Y - \bar{X}_n}{Y}\right|\right) \times 100\% \quad (3.1)$$

$$\%P = \left(1 - \left|\frac{X_n - \bar{X}_n}{\bar{X}_n}\right|\right) \times 100\% \quad (3.2)$$

$$\%E = \left|\frac{Y - \bar{X}_n}{Y}\right| \times 100\% \quad (3.3)$$

Ke - N	Ketinggian Awal (cm)	Halangan (cm)	Rata-Rata Ketinggian Terukur (cm)		Rata-Rata Putaran Motor Stepper		Rata - Rata Putaran Motor Stepper (Setiap 1 Cm)		
			Kanan	Kiri	Kanan	Kiri	Kanan	Kiri	Total
1									
2									
3									
Dst.									
Rata-Rata									

Tabel 3.7. Data pengujian variasi halangan

Ke - N	Ketinggian Awal (cm)	Halangan (cm)	Ketinggian Terukur (cm)		Putaran Motor (Step)	
			Kanan	Kiri	Kanan	Kiri
1						
2						
3						
Dst.						
Rata-Rata						

Dimana :

- Ketinggian awal = setpoint/kondisi normal sebelum ada halangan (ketinggian terukur dari sensor ultrasonik ke permukaan)
- Halangan = permukaan yang tidak rata sehingga membuat sistem harus menaikkan/menurunkan sayap
- Ketinggian Terukur = ketinggian terukur dari sensor ultrasonik ke permukaan halangan

V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Sesuai dengan serangkaian penelitian, pengujian dan Analisa yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Secara fungsionalitas dari sistem otomasi sayap pada model *boom sprayer* dapat berfungsi sesuai dengan *boom sprayer* yang dapat menaikkan dan menurunkan sayap sesuai dengan jarak yang sudah di tentukan.
2. *Motor stepper* yang digunakan untuk menaikkan dan menurunkan sayap pada model *boom sprayer* ini dapat mempertahankan ketinggian sayap pada jarak 40 cm.
3. Sensor ultrasonik yang digunakan memiliki akurasi dan presisi yang baik dengan rata-rata nilai akurasi sebesar 98,86% dan error sebesar 1,14%, sedangkan rata-rata nilai presisi sebesar 99,73% dan error sebesar 0.27%.

5.2 Saran

Sesuai dengan penelitan yang telah saya lakukan maka dapat diberikan saran untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Penggunaan solenoid yang memiliki kekuatan aliran dan kekuatan tekanan yang lebih besar untuk menggantikan *motor stepper* ketika digunakan pada unit *boom sprayer*.
2. Penggunaan sensor ultrasonik yang memiliki batas bawah lebih rendah sehingga ketinggian sayap sesuai dengan skala yang dibuat.
3. Penggunaan sensor ultrasonik yang memiliki ketahanan yang lebih baik ketika akan melakukan implementasi pada unit *boom sprayer*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alves, F., Maggi, M., Oliveira, W., Oliveira, D., & Beneduzzi, H., 2022. Automated Boom Sprayer Prototype. *Nucleus*. Vol 19. 195-210. doi: 10.3738/1982.2278.3997.
- [2] Andang, A., Hiron, N., Chobir, A., & Busaeri, N. 2019. Investigation of ultrasonic sensor type JSN-SRT04 performance as flood elevation detection. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 550(1), 012018. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/550/1/012018>
- [3] Anthony Facchin, 2016. *The Sprayer Textbook*. Nørre Alslev: HARDI.
- [4] Chaudhary, H., Gajera, B., Sanchavat, H., 2020. Field Evaluation of a Tractor Mounted Boom Sprayer.
- [5] D. Merkle, B. Schrader, and M. Thomes, 2003, *Hydraulic Basic Level*. Denckendorf: Festo Didatic GmbH & Co.KG.
- [6] Ferreira, J. A., de Almeida, F. G., & Quintas, M. R. 2002. Semi-empirical model for a hydraulic servo-solenoid valve. *Proceedings of the I MECH E Part I Journal of Systems & Control Engineering*, 216(3), 237–248. <https://doi.org/10.1243/095965102320005409>
- [7] Hans D. Bauman, *Control Valve Primer A User's Guide*, 4th ed. Triangle Park: ISA, 1930.
- [8] Pranita, E. 2023. Control Jembatan Otomatis Menggunakan Sensor Ultrasonik Berbasis Arduino. *Journal ICTEE*, 4(2), 13-16.

- [9] Purwanto, H., Riyadi, M., Windi, D, W, A., & Wayan, I, A, W, K., 2019. Komparasi Sensor Ultrasonik Hc-Sr04 Dan Jsn-Sr04t Untuk Aplikasi Sistem Deteksi Ketinggian Air, *jurnal SIMETRIS Vol. 10(2)*
- [10] R. Alcock, 2012, *Tractor-implement Systems*. South Dakota: Springer Verlag.
- [11] Rikzan Kurnia Azriful. 2021. Rancang Bangun Alat Tanam Jagung Berbasis Mikrokontroler . *Prosiding SISFOTEK* , 5 (1), 283 - 290.
- [12] Rosadi, A., Manurung, P., Yulianti, Y., Marjunus, R., & -, J. 2024. Desain dan Realisasi Sistem Kontrol Kecepatan dan Ketinggian Motor Menggunakan Sensor Optocoupler dan Sensor Ultrasonik Berbasis Arduino untuk Aplikasi Pengaduk Otomatis. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika* , 12 (1), 1–10
- [13] L. D. Jones dan A. F. Chin, 1991. *Electronics Instruments and Measurements*, 2 ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, Hlm. 4-7