

LAPORAN TUGAS AKHIR
RANCANG BANGUN ALAT PENGGERAK PANEL
SURYA OTOMATIS BERBASIS ARDUINO NANO
MENGGUNAKAN METODE LOGIKA FUZZY
MAMDANI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana S1 pada jurusan
Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung



DISUSUN OLEH :

Julian Dwi Nugroho

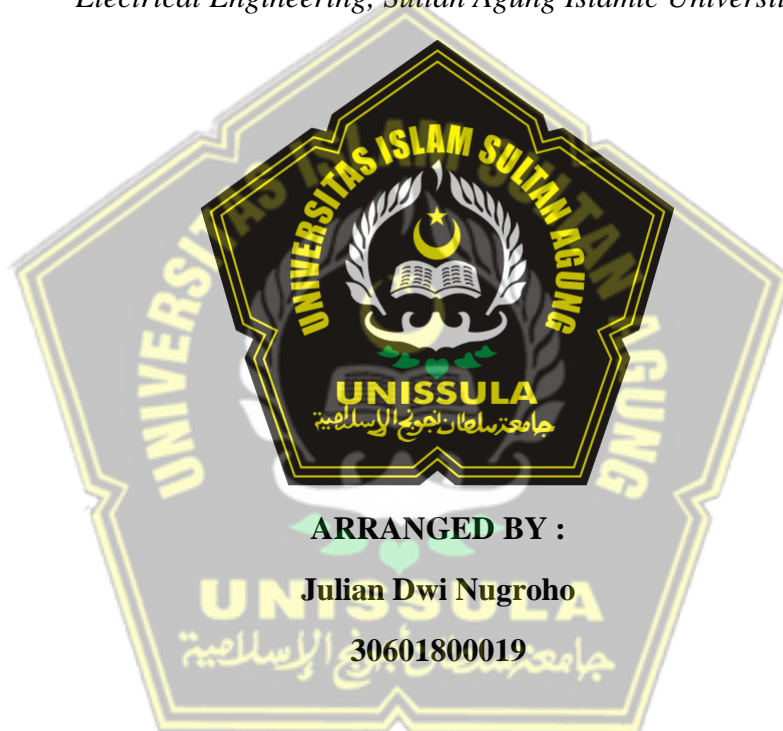
30601800019

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG

2024

FINAL PROJECT
***DESIGN AND CONSTRUCTION OF AN AUTOMATIC
SOLAR PANEL DRIVING EQUIPMENT BASED ON
ARDUINO NANO USING MAMDANI'S FUZZY LOGIC
METHOD***

*As one of the requirements for obtaining a bachelor's degree in the major
Electrical Engineering, Sultan Agung Islamic University*



ARRANGED BY :

Julian Dwi Nugroho

30601800019

**ELECTRICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY
SULTAN AGUNG ISLAMIC UNIVERSITY
SEMARANG**

2024

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “RANCANG BANGUN ALAT PENGGERAK PANEL SURYA OTOMATIS BERBASIS ARDUINO NANO MENGGUNAKAN METODE LOGIKA FUZZY MAMDANI” ini disusun oleh :

Nama : Julian Dwi Nugroho

NIM : 30601800019

Program Studi : Teknik Elektro

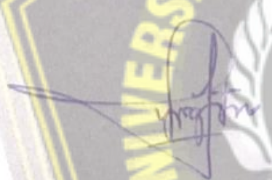
Telah disahkan oleh dosen pembimbing pada :

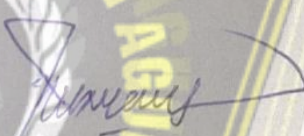
Hari : Senin

Tanggal : 04 Maret 2024

Pembimbing I

Pembimbing II


Agus Suprajitno, ST., MT.
NIDN. 0602047301


Dr. Eka Nuryanto Budisusila, ST., MT.
NIDN. 0619107301

UNISSULA
Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Elektro

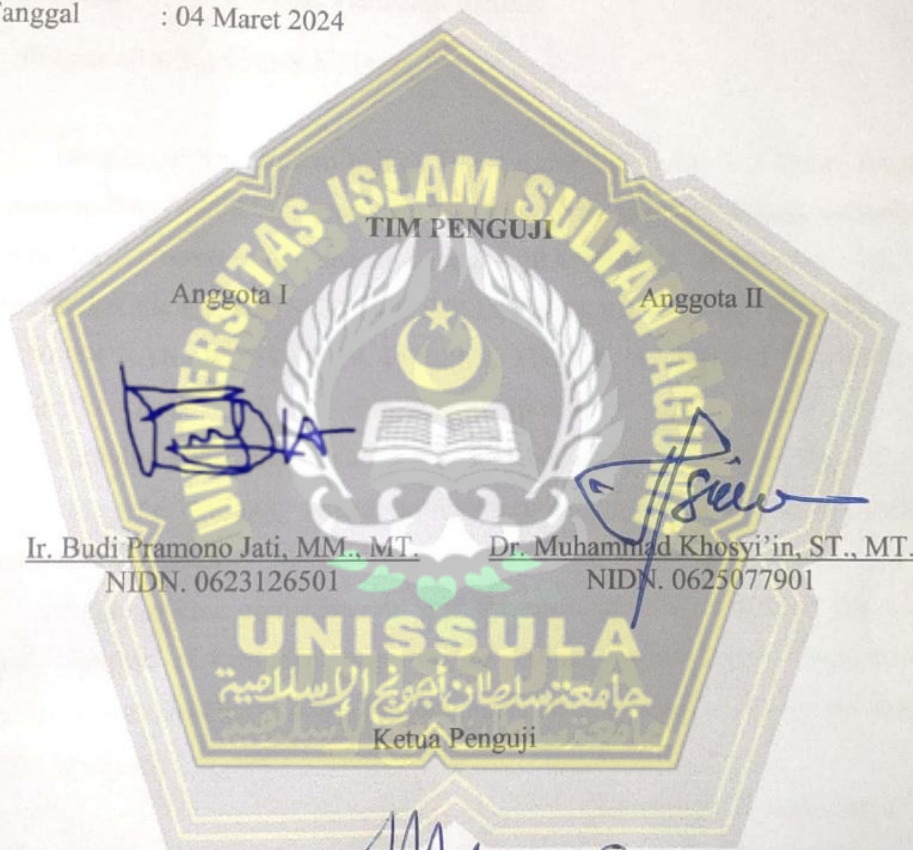


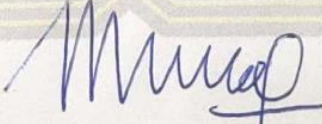
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul "RANCANG BANGUN ALAT PENGGERAK PANEL SURYA OTOMATIS BERBASIS ARDUINO NANO MENGGUNAKAN METODE LOGIKA FUZZY MAMDANI" ini telah di presentasikan di depan penguji siding Tugas Akhir pada :

Hari : Senin

Tanggal : 04 Maret 2024




Munaf Ismail, ST., MT.
NIDN. 06131273

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Julian Dwi Nugroho
NIM : 30601800019
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Program Studi : Teknik Elektro

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (SI) Teknik Elektro di Fakultas Teknologi UNISSULA Semarang dengan judul “RANCANG BANGUN ALAT PENGGERAK PANEL SURYA OTOMATIS BERBASIS ARDUINO NANO MENGGUNAKAN METODE LOGIKA FUZZY MAMDANI”, adalah asli (orisinal) dan bukan menjiplak (plagiat) dan belum pernah diterbitkan/dipublikasikan dimanapun dalam bentuk apapun baik sebagian atau keseluruhan, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab. Apabila di kemudian hari ternyata terbukti bahwa Karya Tugas Akhir tersebut adalah hasil karya orang lain atau pihak lain, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis.

Semarang, Februari 2024

Yang Menyatakan



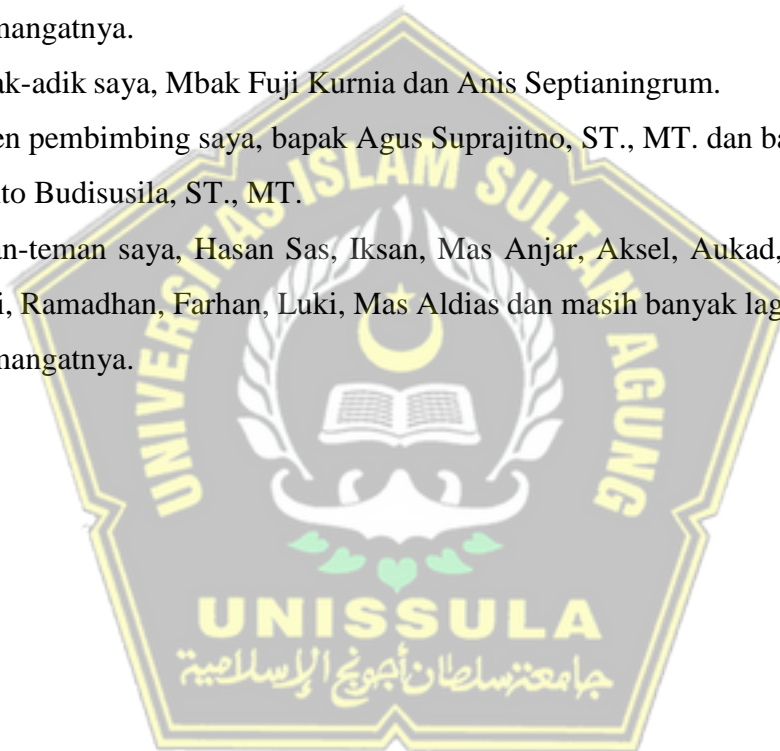
Julian Dwi Nugroho

HALAMAN PERSEMBAHAN

Puja dan puji syukur yang mendalam kepada Allah سبحانه و تعالی , atas nikmat iman, nikmat sehat, nikmat akal yang telah diberikan kepada saya, dan sholawat serta salam kepada Baginda Rasulullah Nabi Muhammad صلى الله عليه وسلم yang saya harapkan syafa'at Beliau di Yaumul Akhir kelak.

Dengan diselesaikannya Tugas Akhir ini, penulis mempersembahkannya kepada:

1. Orang tua, Bapak Abu Amar dan Ibu Aminatun, terima kasih atas segala do'a dan semangatnya.
2. Kakak-adik saya, Mbak Fuji Kurnia dan Anis Septianingrum.
3. Dosen pembimbing saya, bapak Agus Suprajitno, ST., MT. dan bapak Dr. Eka Nuryanto Budisusila, ST., MT.
4. Teman-teman saya, Hasan Sas, Iksan, Mas Anjar, Aksel, Aukad, Kang Cahyo, Alfarizi, Ramadhan, Farhan, Luki, Mas Aldias dan masih banyak lagi, atas bantuan dan semangatnya.



HALAMAN MOTTO

-“Sura Dira Jayaningrat, Lebur Dening Pangestuti”

(Segala sifat angkara murka dapat dikalahkan dengan kelembutan hati).

-Tetaplah berbuat baik, meskipun mukamu mencurigakan

-Seberat apapun cobaanmu, seberapa besar rintangan yang kau hadapi, ingat, Jack khahuna laguna pernah berkata “teruslah bernafas”.



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji dan syukur ke hadirat Tuhan yang Maha Pengasih atas segala limpahan kasih, karunia, dan kehendak-Nya sehingga Tugas Akhir Skripsi dengan judul “Rancang Bangun Alat Penggerak Panel Surya Otomatis Berbasis Arduino Nano Menggunakan Metode Logika Fuzzy Mamdani”, dapat diselesaikan dengan baik. Selesaiannya Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, dan do`a dari berbagai pihak yang telah membantu dalam pembuatan karya ini, ucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada yang terhormat:

1. Ibu Dr. Ir. Hj.Novi Marlyana, ST., MT selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang
2. Ibu Jenny Putri Hapsari, ST., MT selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang
3. Bapak Dr. Muhammad Khosyi'in, ST., MT selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung.
4. Bapak Munaf Ismail, ST., MT selaku Dosen Wali yang selalu mensupport saya dalam mengerjakan Tugas Akhir saya.
5. Bapak Agus Suprajitno, ST., MT selaku Dosen Pembimbing Pertama saya yang sudah membimbing saya untuk mengerjakan Tugas Akhir dengan baik.
6. Bapak Dr. Eka Nuryanto Budisusila, ST., MT selaku Dosen Pembimbing Kedua saya yang.
7. Seluruh dosen pengajar di jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang
8. Ibu dan Ayah tercinta yang telah banyak berkorban demi keberhasilan dalam proses penyelesaian Tugas Akhir.
9. Kakak dan Adik tersayang yang telah senantiasa mendo`akan dan memberikan semangat dalam penyelesaian Tugas Akhi

10. Seluruh teman/sahabat saya yang selalu mensupport saya yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

11. Semua pihak yang telah membantu hingga terselesainya pembuatan tugas akhir maupun dalam penyusunan tugas akhir yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Dalam pembuatan Laporan Tugas Akhir ini walaupun telah berusaha semaksimal mungkin, tentunya masih banyak kekurangan dan keterbatasan yang dimiliki, oleh karena itu diharapkan saran dan kritik untuk membangun kesempurnaan karya ini, semoga karya ini bermanfaat

Wassalamu 'alaikum Warahmatullahi' Wabarakatuh



Bengkulu, Februari 2024

Penulis

Julian Dwi Nugroho

DAFTAR ISI

LAPORAN TUGAS AKHIR	i
FINAL PROJECT	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
HALAMAN MOTTO	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
ABSTRAK	xvii
ABSTRACT	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA & LANDASAN TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	6
2.2.1 Panel Surya	6
2.2.2 Arduino Nano	12

2.2.3 Relay	13
2.2.4 Transistor	14
2.2.5 Sensor <i>Photodiode</i>	15
2.2.6 <i>Actuator line</i>	16
2.2.7 SCC (Solar Charge Controller).....	17
2.2.8 Logika Fuzzy	17
2.2.9 Fuzzy Logic Toolbox Pada Matlab.....	22
2.3.0 Proteus 8 Professional.....	23
2.3.1 Arduino IDE (Integrated Environment Development)	24
2.3.2 Baterai/ Aki.....	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1 Perancangan Hardware	26
3.1.1 Flowchart Cara Kerja Alat	28
3.1.2 Rancangan Awal Fisik Alat	29
3.1.3 Simulasi Alat menggunakan Proteus 8.0	30
3.2 Perancangan Software	32
3.2.1 Proses Penerapan Logika Fuzzy pada Alat Penggerak Panel Surya	32
3.2.2 Metode Fuzzy Logic	33
3.2.3 Proses Inferensi.....	39
3.2.4 Flowchart Program Arduino Nano	42
3.2.5 Program Arduino Nano.....	43
3.3 Perancangan Alat.....	46
BAB IV PENGUJIAN & ANALISA	50
4.1 Pengujian Alat	50
4.2 Analisa Logika Fuzzy Mamdani.....	51
4.3 Pemasangan panel surya pada alat penggerak.....	56
4.4 Pengambilan Data & Analisa	56

BAB V PENUTUP	64
5.1 Kesimpulan.....	64
5.2 Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA	66



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Monocrystalline Silicon	7
Gambar 2. 2 Polycrystalline Silicon	8
Gambar 2. 3 Thin Film Solar Cell	8
Gambar 2. 4 Compound Thin Film Triple Junction Photovoltaic	9
Gambar 2. 5 Bahan Penyusun Panel Surya.....	9
Gambar 2. 6 Struktur Panel Surya	10
Gambar 2. 7 Arduino Nano.....	13
Gambar 2. 8 Relay	14
Gambar 2. 9 Transistor	15
Gambar 2. 10 sensor Photodiode	15
Gambar 2. 11 Actuator Line	16
Gambar 2. 12 Solar Charge Controller	17
Gambar 2. 13 Gambar a) Fuzzy Logic Designer (kiri atas), b) MF Editor (kanan atas) dan c) Rule Editor (bawah)	23
Gambar 2. 14 Gambar a) Rule Viewer (kanan) dan b) Surface Viewer (kiri)....	23
Gambar 2. 15 Tampilan Proteus 8 Professional.....	24
Gambar 2. 16 Tampilan Arduino IDE 2.0.3	24
Gambar 2. 17 Baterai/Aki	25
Gambar 3. 1 Diagram Blok Rangkaian.....	27
Gambar 3. 2 Flowchart Cara Kerja Alat	28
Gambar 3. 3 Rancangan Fisik Alat	29
Gambar 3. 4 Rancangan Fisik Alat Tampak Depan	29
Gambar 3. 5 Rancangan Fisik Alat Tampang Samping.....	29
Gambar 3. 6 Rancangan Fisik Alat Tampak Atas.....	30
Gambar 3. 7 Simulasi Alat Menggunakan Proteus 8.0	30
Gambar 3. 8 Rangkaian Paralel Sensor	31
Gambar 3. 9 Proses Penerapan Logika Fuzzy pada Alat Penggerak Panel Surya Otomatis	33
Gambar 3. 10 Tampilan Fuzzy Logic Toolbox pada Matlab	33
Gambar 3. 11 Input dan Output Logika Fuzzy	34

Gambar 3. 12 Membership Function Sensor Atas	34
Gambar 3. 13 Membership Function Sensor Bawah	35
Gambar 3. 14 Membership Function Motor1	36
Gambar 3. 15 Membership Function Motor2	36
Gambar 3. 16 Rule Base	37
Gambar 3. 17 Kondisi ketika sensor atas dan bawah nilai tengah	38
Gambar 3. 18 kondisi ketika sensor atas pada nilai rendah dan sensor bawah pada nilai tinggi.....	38
Gambar 3. 19 kondisi ketika sensor bawah dan sensor atas pada nilai tinggi	39
Gambar 3. 20 Inferensi Fuzzy.....	40
Gambar 3. 21 Karakteristik Library Program Fuzzy Arduino	41
Gambar 3. 22 Flowchart Program Arduino	42
Gambar 3. 23 Rangka Penggerak Panel.....	46
Gambar 3. 24 Komponen Penggerak.....	47
Gambar 3. 25 Rangkaian Sensor Photodiode	48
Gambar 3. 26 Rangkaian Skematik Sensor Photodiode	48
Gambar 3. 27 Alat Penggerak Panel Otomatis	49
Gambar 4. 1 Uji Coba Alat Penggerak	50
Gambar 4. 2 Nilai ADC sensor (1)	50
Gambar 4. 3 Nilai ADC sensor (2)	51
Gambar 4. 4 Hasil Nilai Sensor1 dan Sensor2 serta nilai actuator1 dan actuator2	56
Gambar 4. 5 Pemasangan Panel Surya Pada Alat Penggerak	56
Gambar 4. 6 Panel Surya dengan Penggerak dan Tanpa Penggerak.....	57
Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Tegangan Yang dihasilkan oleh Panel Surya dengan Penggerak dan Tanpa Penggerak.....	58
Gambar 4. 8 Grafik Perbandingan Arus yang dihasilkan Panel Surya dengan Penggerak dan Tanpa Penggerak.....	59
Gambar 4. 9 Grafik Perbandingan Daya yang dihasilkan Panel Surya	60
Gambar 4. 10 Grafik Energi(Wh) yang digunakan alat penggerak	61

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Pin Pada Arduino Nano	13
Tabel 3. 1 Spesifikasi Panel Surya	26
Tabel 3. 2 Rule Base yang digunakan pada logika fuzzy di matlab	37
Tabel 4. 1 Tabel Tegangan Yang dihasilkan Panel Surya	57
Tabel 4. 2 Perbandingan Arus dari Panel Surya	58
Tabel 4. 3 Perbandingan Daya yang dihasilkan Panel Surya	59
Tabel 4. 4 Energi(Wh) yang digunakan alat penggerak	60



ABSTRAK

Pemanfaatan energi matahari melalui panel surya telah menjadi fokus utama dalam mengatasi tantangan keberlanjutan energi. Panel surya menggunakan Cahaya matahari untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Karena Cahaya matahari sangat mempengaruhi keluaran energi listrik pada panel surya, maka penempatan posisi panel surya menghadap ke arah cahaya matahari yang maksimal perlu dipertimbangkan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan alat penggerak panel surya otomatis berbasis Arduino Nano dengan menggunakan metode logika fuzzy Mamdani. Sistem ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi pengumpulan energi surya dengan mengoptimalkan posisi panel surya secara otomatis berdasarkan kondisi lingkungan. Metode logika fuzzy Mamdani digunakan untuk memodelkan logika kendali yang mempertimbangkan beberapa variabel input, seperti intensitas cahaya matahari. Arduino Nano berperan sebagai otak kendali yang menerima data dari sensor-sensor lingkungan, kemudian menghasilkan sinyal kontrol untuk mengatur sudut panel surya. Proses fuzzy logic memungkinkan sistem untuk mengambil keputusan berdasarkan pengetahuan manusia yang terimplikasi dalam aturan fuzzy. Hasil pengujian dan validasi menunjukkan bahwa sistem yang diusulkan dapat secara efektif mengoptimalkan posisi panel surya dalam berbagai kondisi cahaya dan lingkungan. Dengan adanya alat penggerak panel surya otomatis ini, diharapkan dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi surya dan mendukung pengembangan teknologi ramah lingkungan.

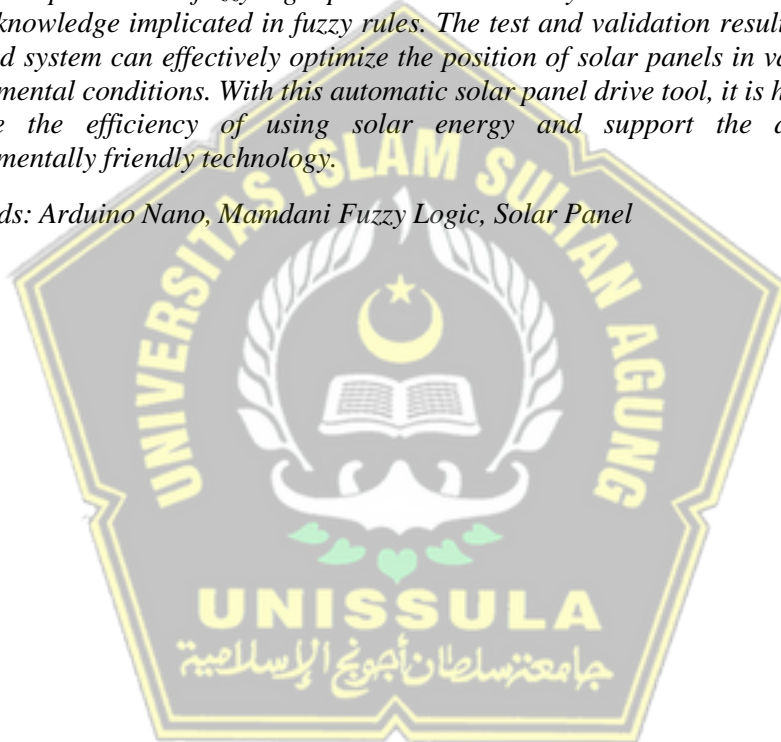
Keyword: *Arduino Nano, Logika Fuzzy Mamdani, Panel Surya*



ABSTRACT

Utilizing solar energy through solar panels has become a major focus in overcoming energy sustainability challenges. Solar panels use sunlight to convert solar energy into electrical energy. Because sunlight greatly influences the electrical energy output of solar panels, the position of the solar panels facing the direction of maximum sunlight needs to be taken into account. This research aims to design and implement an automatic solar panel drive device based on Arduino Nano using the Mamdani fuzzy logic method. This system is designed to increase the efficiency of solar energy collection by automatically optimizing the position of solar panels based on environmental conditions. The Mamdani fuzzy logic method is used to model control logic which considers several input variables, such as sunlight intensity. Arduino Nano acts as a control brain that receives data from environmental sensors, then produces control signals to adjust the angle of the solar panels. The fuzzy logic process allows the system to make decisions based on human knowledge implicated in fuzzy rules. The test and validation results show that the proposed system can effectively optimize the position of solar panels in various light and environmental conditions. With this automatic solar panel drive tool, it is hoped that it can increase the efficiency of using solar energy and support the development of environmentally friendly technology.

Keywords: Arduino Nano, Mamdani Fuzzy Logic, Solar Panel



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini kebutuhan akan listrik semakin tinggi, akan tetapi bahan bakar fosil sebagai sumber daya penghasil listrik semakin berkurang. Sumber energi terbarukan merupakan solusi dari permasalahan tersebut. Sekarang ini, Indonesia mulai mengurangi penggunaan bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama seperti panas bumi, uap, dan matahari.

Sumber energi baru dan terbarukan berperan penting dalam menggantikan sumber energi fosil sebagai penghasil listrik. Ini dikarenakan energi fosil tidak ramah lingkungan dan akan habis jika digunakan dalam skala besar dan terus-menerus [1].

Panel surya, menggunakan energi matahari untuk menghasilkan listrik. Energi listrik yang dihasilkan akan disimpan pada baterai yang kemudian disalurkan ke listrik rumah. Karena panel surya menggunakan energi matahari, maka sumber energi panel surya tidak terbatas. Dan juga, energi matahari lebih ramah lingkungan daripada energi fosil. Sehingga, dengan menggunakan panel surya dapat mengurangi pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh pengolahan bahan bakar fosil. Penggunaan panel surya saat ini umumnya digunakan masyarakat sebagai listrik cadangan ketika listrik PLN mengalami gangguan.

Logika fuzzy pada saat ini sering digunakan di berbagai bidang, khususnya yang berhubungan dengan perhitungan matematika. Hal ini dikarenakan logika fuzzy dapat menangani ketidakpastian yang sering dijumpai pada kehidupan sehari-hari. Dan juga bahasa fuzzy merupakan Bahasa yang mendekati Bahasa manusia sehingga lebih mudah untuk dipahami.

Teori himpunan fuzzy digunakan sebagai kerangka matematis untuk menangani masalah ketidakpastian, ketidakjelasan ataupun dapat digunakan untuk kekurangan informasi. Dalam kehidupan sehari-hari kekurangan informasi banyak ditemukan

diberbagai bidang kehidupan. Dalam bahasa mesin harus menggunakan bahasa dengan tingkat presisi yang tinggi, sedangkan Bahasa manusia umumnya menggunakan bahasa dengan bahasa yang menduga atau kira-kira. Dengan logika fuzzy maka antara bahasa manusia dan bahasa mesin dapat dijembatani, sehingga menjadi lebih efektif dan efisien antara Bahasa manusia dan bahasa mesin [2].

Metode logika fuzzy yang sering digunakan adalah metode logika fuzzy mamdani. Ini dikarenakan metode ini menghasilkan output yang lebih mudah dibaca dan juga lebih akurat dalam menghasilkan suatu output.

Metode Fuzzy Mamdani menghasilkan output berupa suatu nilai pada domain himpunan fuzzy yang dikategorikan ke dalam komponen linguistik. Oleh karena itu, Metode Fuzzy Mamdani lebih akurat dalam menghasilkan suatu output berupa himpunan fuzzy [3].

Salah satu faktor yang mempengaruhi keluaran daya dari panel surya adalah banyaknya cahaya matahari yang diterima panel, hal ini juga dipengaruhi oleh posisi matahari pada waktu tertentu. Karena tidak mungkin untuk menggerakkan panel surya secara manual agar cahaya yang diterima maksimal, maka peneliti memiliki ide untuk membuat alat penggerak panel surya otomatis dengan menggunakan metode logika fuzzy mamdani karena lebih mudah untuk dibaca dan lebih akurat.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut maka didapat rumusan masalah sebagai berikut :

- a. Apa pengaruh alat penggerak panel surya otomatis ini terhadap pengisian daya baterai panel surya?
- b. Bagaimana cara *actuator line* menggerakkan panel sesuai dengan arah gerak matahari?
- c. Bagaimana memonitor daya keluaran panel surya saat menggunakan alat penggerak otomatis?

- d. Bagaimana perbandingan antara panel surya dengan alat penggerak panel surya otomatis dan tidak?
- e. Apa faktor luar yang dapat mempengaruhi pengisian baterai panel surya saat menggunakan alat penggerak otomatis?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang ditentukan untuk penelitian ini adalah :

- a. Alat penggerak ini digunakan hanya untuk panel surya.
- b. Data yang diambil berupa daya dari keluaran panel surya.
- c. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Nano
- d. Sensor yang digunakan adalah *Photodiode* sebagai sensor pendeteksi arah cahaya.
- e. Penggerak yang digunakan adalah *actuator line electric* dengan tegangan 12 V.
- f. Metode yang digunakan adalah metode logika fuzzy mamdani.

1.4 Tujuan Penelitian

Untuk saat ini, sudah ada beberapa teknologi yang digunakan untuk memaksimalkan keluaran daya dari panel surya, yaitu MPPT (*Maximun Power Point Tracker*) yang berfungsi untuk memaksimalkan energi yang dihasilkan oleh panel surya dan Buck-Booster Converter yang berfungsi untuk mengatur keluaran dan menstabilkan tegangan dari panel surya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang alat penggerak panel surya otomatis dengan menggunakan mikrokontroler Arduino Nano. Alat ini dirancang agar dapat memaksimalkan keluaran daya dari panel surya. Dan juga mengimplementasikan metode logika fuzzy mamdani pada program Arduino nano.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

- a. Untuk memaksimalkan daya yang dihasilkan oleh panel surya, dikarenakan arah cahaya matahari sangat mempengaruhi panel surya dalam menghasilkan energi listrik.
- b. Untuk memudahkan mengatur posisi panel surya Photodiode yang memiliki efektifitas cahaya lebih tinggi.
- c. Untuk meningkatkan kinerja panel surya dalam menghasilkan listrik untuk memenuhi kebutuhan sehari – hari.
- d. Untuk mengetahui seberapa efektif penggunaan alat penggerak panel surya otomatis.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA & LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pada penelitian yang dilakukan oleh Aninda Marsela [4], dengan judul “Rancang Bangun Penggerak Otomatis Panel Surya Menggunakan Sensor LDR Berbasis Arduino Uno” peneliti merancang alat dengan menggunakan Arduino Uno sebagai mikrokontroler dan menggunakan sensor LDR. Metode yang digunakan adalah metode eksperimental tanpa algoritma. Kelebihan dari penelitian ini adalah adanya rancangan fisik alat sehingga dapat memperkirakan bentuk alat saat perancangan nanti, dan juga data yang diambil menunjukkan bahwa panel surya dinamis memiliki perbandingan daya 4,63 Watt dibandingkan dengan panel surya statis. Kekurangan penelitian ini adalah sistem belum dapat digunakan pada pemakaian alat elektronik skala besar.

Penelitian yang dilakukan oleh Syurkarni Ali dan T.M. Azis Pandria [5], dengan judul “Penentuan Sudut Kemiringan Optimal Panel Surya Untuk Wilayah Meulaboh” peneliti melakukan pengamatan terhadap sudut kemiringan yang optimal pada panel surya selama satu tahun di wilayah Meulaboh. Metode yang digunakan adalah metode matematis untuk menentukan sudut altitude matahari. Kelebihan dari penelitian ini adalah perhitungan matematis yang teliti dan juga perhitungan detail perubahan sudut matahari pada setiap bulan. Kekurangan dari penelitian ini adalah tidak adanya penerapan perhitungan di lapangan sehingga tidak ada data pembandingan.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Wendryanto, G. Widayana, dan W Sutaya [6], dengan judul “Pengembangan Penggerak Solar Panel Dua Sumbu Untuk Meningkatkan Daya Pada Solar Panel Tipe Polikristal” peneliti membuat penggerak solar panel dengan menggunakan mikrokontroler Arduino Nano ATmega 328 dan sensor LDR. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental tanpa algoritma. Kelebihan dari penelitian ini adalah adanya

tiga pembanding seperti panel surya statis, 1 sumbu, dan 2 sumbu. Kekurangan pada penelitian ini adalah peneliti tidak menambahkan implementasi seperti lampu agar dapat lebih mengetahui seberapa efektif alat penggerak, dan juga peneliti tidak memperhitungkan besar konsumsi daya motor DC.

Penelitian yang dilakukan oleh Irwan Syarif, Rosihan Aminuddin, Muh. Rais, dan Irayanti [7], dengan judul “Rancang Bangun Smart Elektrik Menggunakan Solar Tracker Berbasis Arduino” peneliti ini merancang alat yang diberi nama “*Solar Traker*” yang bertujuan untuk menggerakkan panel surya Photodiode cahaya berasal. Alat ini menggunakan mikrokontroler Arduino R3 dengan sensor LDR dan penggerak *actuator line*. Metode yang digunakan peneliti adalah metode eksperimental tanpa algoritma. Kelebihan penelitian ini adalah adanya data pembanding sehingga dapat diketahui efektifitas alat. Kekurangan dari penelitian ini adalah tidak adanya implementasi pada alat sehingga keefektifan alat kurang terjamin.

Peneliti berencana untuk melakukan penelitian yang berjudul “Alat Penggerak Panel Surya Otomatis Menggunakan Arduino Nano” dengan metode yang digunakan adalah metode eksperimental dengan algoritma fuzzy.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Panel Surya

Panel surya atau Solar Cell adalah alat yang mengubah energi matahari menjadi listrik. Teknologi fotovoltaik (photovoltaic/PV) digunakan untuk mengkonversi energi yang berasal dari matahari menjadi energi listrik. Kemudian, energi listrik disimpan pada baterai yang dapat digunakan pada perangkat elektronik dan kebutuhan listrik lainnya.

Teknologi ini sudah ada pada abad ke-18, tepatnya pada tahun 1839. Seorang ahli fisika asal Prancis bernama Alexandre Edmond Becquerel yang pertama kali mencetuskan teknologi ini. Teknologi ini awalnya menggunakan dua elektroda yang disinari cahaya matahari. Penyinaran ini menggunakan selenium yang bisa menghasilkan listrik dalam jumlah yang sedikit. Albert Einstein juga

pernah melakukan penelitian terhadap panel surya pada tahun 1904 yang dinamakan efek fotolistrik. Pada tahun 1941 peneliti bernama Russel Ohl mampu mengembangkan teknologi panel surya [8].

Energi dari panel surya sering dijadikan energi alternatif untuk mengatasi kenaikan harga listrik. Selain itu, panel surya menjadi sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dikarenakan semakin berkurangnya bahan bakar fosil sebagai sumber daya pembangkit listrik.

A. Jenis – Jenis Panel Surya

Ada beberapa jenis panel surya yang biasa digunakan [9], yaitu :

1. Monocrystalline Silicon

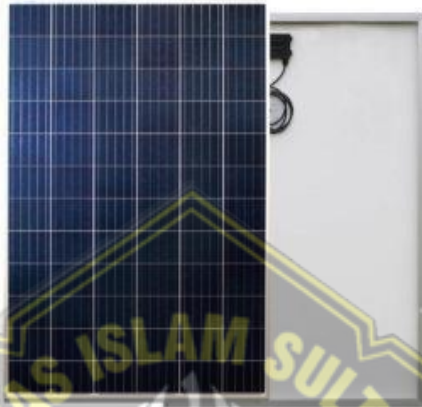
Jenis panel surya ini adalah jenis yang paling banyak digunakan karena lebih efisien dalam menyerap energi matahari. Sayangnya, panel surya ini hanya efisien jika keadaan cahaya sangat terang, jika keadaan berawan maka panel surya jenis ini tidak akan bekerja secara efisien. Ciri-ciri panel surya ini berwarna hitam dengan bentuk yang tipis.



Gambar 2. 1 Monocrystalline Silicon

2. Polycrystalline Silicon

Panel ini memiliki kelebihan susunan yang rapi dan rapat. Kekurangan panel ini hampir sama seperti jenis panel Monocrystalline Silicon yang mana tidak dapat bekerja secara efisien dalam keadaan mendung dan berawan.



Gambar 2. 2 Polycrystalline Silicon

3. Thin Film Solar Cell

Panel surya ini berbentuk sangat tipis seperti kertas. Kelebihannya adalah bobot yang ringan dengan sifat yang fleksibel. Selain itu, panel ini dapat bekerja secara efisien pada kondisi cahaya **fluorescent**. Kekurangannya adalah panel ini kurang efisien dibandingkan dengan panel monocrystalline silicon.



Gambar 2. 3 Thin Film Solar Cell

4. Compound Thin Film Triple Junction Photovoltaic

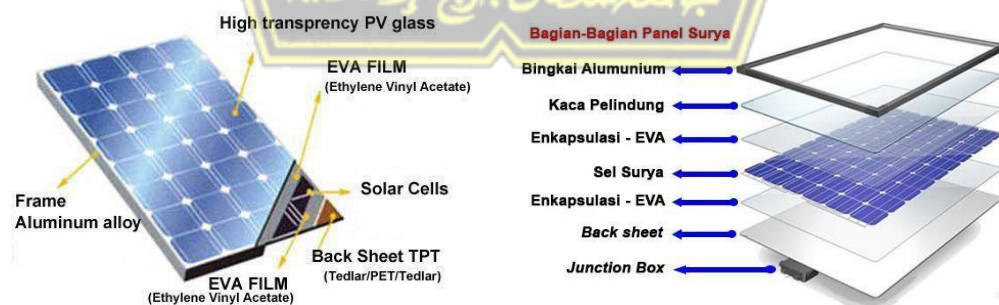
Panel Surya ini memiliki 3 lapisan. Jenis panel ini hanya digunakan untuk diterbangkan ke luar angkasa karena memiliki efisiensi yang tinggi.



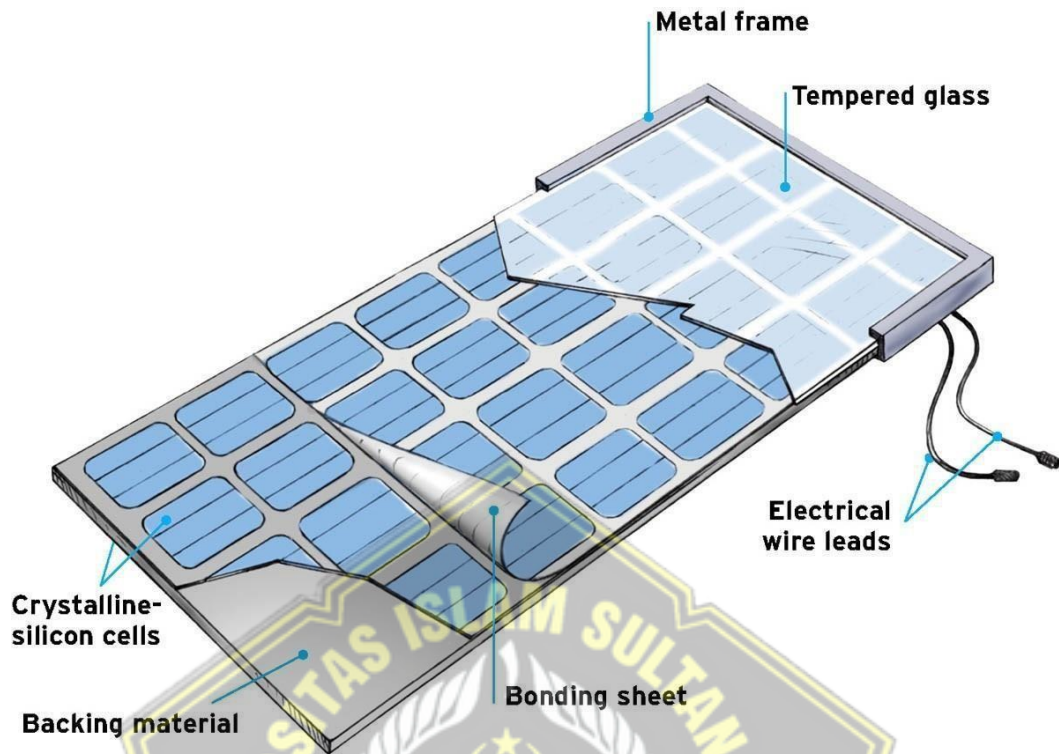
Gambar 2. 4 Compound Thin Film Triple Junction Photovoltaic

Jenis – jenis panel surya tersebut digunakan sesuai dengan kebutuhan dan lingkungan panel surya di tempatkan.

B. Struktur Panel Surya



Gambar 2. 5 Bahan Penyusun Panel Surya



Gambar 2. 6 Struktur Panel Surya

Panel Surya biasanya terdiri dari bingkai dari logam yang menutupi seluruh sisi samping *board* yang mana board ini terdiri dari bahan pendukung yang bersifat kaku, sel silikon-kristal, lembar transparan dan kaca pelindung. Pada sel silikon kristal dihasilkan listrik dengan tegangan sekitar 0,5 volt listrik. Pada tiap sel memiliki ukuran sekitar 4 hingga 6 inchi persegi. Pada satu modul ukuran penuh dapat berisi 60 atau 72 sel silicon, sehingga jika sel disambungkan secara seri dapat menghasilkan tegangan 30 atau 36 volt. Jumlah sel bergantung juga dengan daya yang dihasilkan. Misal, panel surya 30 Wp memiliki jumlah sel lebih banyak dibandingkan dengan panel surya 10 Wp. Wp adalah singkatan dari Watt-peak. Istilah ini sering digunakan pada besar daya yang dihasilkan oleh panel surya. Wp atau disebut juga daya puncak adalah ukuran maksimum daya yang dapat dihasilkan panel surya pada kondisi ideal.

C. Perhitungan Daya

Daya Listrik adalah besarnya energi listrik yang diserap oleh rangkaian. Besarnya daya listrik dipengaruhi oleh besar tegangan, kuat arus listrik dan

besarnya hambatan [10]. Untuk menghitung daya, digunakan rumus sebagai berikut :

$$P = V \times I \quad 2.1$$

$P = \text{Daya}$

$V = \text{Tegangan}$

$I = \text{Arus}$

Untuk mengetahui jumlah energi listrik yang digunakan selama waktu tertentu digunakan rumus sebagai berikut [11] :

$$\begin{aligned} \text{Energi (Wh)} &= P \times \text{Waktu (h)} \\ P &= \frac{\text{Energi(Wh)}}{\text{Waktu(h)}} \end{aligned} \quad 2.2$$

Untuk menghitung presentase daya antara panel surya dengan penggerak dan tanpa penggerak menggunakan rumus sebagai berikut [12]:

$$\text{Daya} = \frac{P_{\text{Dengan Penggerak}} - P_{\text{Tanpa Penggerak}}}{P_{\text{Dengan Penggerak}}} \times 100 \% \quad 2.3$$

D. Perhitungan Efisiensi

Perhitungan efisiensi konversi energi cahaya menjadi energi Listrik menggunakan rumus sebagai berikut [13]:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad 2.4$$

Perhitungan efisiensi dengan mencari nilai banyaknya energi yang dihasilkan oleh panel surya dengan penggerak dapat menggunakan rumus sebagai berikut [14] :

$$E_{total \text{ panel dengan penggerak}} = (P_{in} - P_{out}) \times t \quad 2.5$$

Dan untuk menghitung panel tanpa penggerak dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$E_{total\ panel\ tanpa\ penggerak} = P \times t \quad 2.6$$

t = waktu (3600)

Dan untuk menghitung rata-rata energi dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$E_{total\ rata-rata} = \frac{E_{total}}{T_{Total}} \quad 2.7$$

T_{Total} = lama panel surya mengalirkan energi Listrik dalam jam

Untuk menghitung energi total yang tertera pada spesifikasi modul panel surya, digunakan rumus sebagai berikut :

$$E_{total\ spesifikasi\ panel\ surya} = I_{sc} \times V_{oc} \times t \quad 2.8$$

I_{sc} = *short-circuit Current*

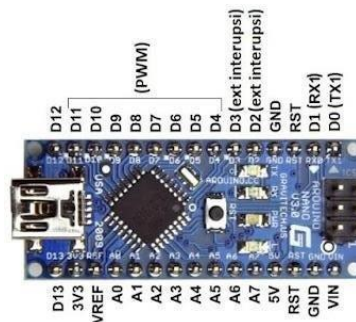
V_{oc} = *open-circuit Voltage*

Sehingga dapat dicari efisiensi dengan menggunakan rumus :

$$Efisiensi = \frac{E_{rata-rata}}{E_{total}} \times 100\% \quad 2.9$$

2.2.2 Arduino Nano

Arduino Nano menggunakan basis mikrokontroler Atmega328 untuk Arduino Nano V3 dan Atmega168 untuk Arduino Nano V2. Arduino jenis ini secara khusus dirancang dan diproduksi oleh perusahaan Gravitech. Arduino Nano memiliki jumlah pin sebanyak 14 pin, yaitu : pin RX0, TX1, D2, dan sampai D13 serta A0 sampai A7[15].



Gambar 2. 7 Arduino Nano

Tabel 2. 1 Pin Pada Arduino Nano

Fungsi Pin	Nama Pin	Penjelasan
Power	Vin, 3.3V, 5V, GND	Vin: Tegangan In dari eksternal power (6 ~ 12V) untuk menyalakan Arduino. 5V: Tegangan In teregulasi 5V untuk menyalakan Arduino Nano. 3.3V: Tegangan 3.3V teregulasi dari internal Arduino Nano untuk peripheral. Arus maks 50mA. GND: Ground pin.
Reset	Reset	Mereset Arduino.
Analog In	A0 – A7	Digunakan untuk <i>Input</i> Analog, dimana Arduino membaca perubahan Volt (tegangan) antara 0-5V di pin ini
In/Out	Digital Pin D0 - D13	Digunakan sebagai <i>Input / Output</i> , dimana Arduino membaca perubahan status 0V (low) and 5V (high)
Serial	Rx, Tx	Dipakai untuk Rx (menerima) dan Tx (mengirim) TTL serial data.
External Interrupts	2, 3	Untuk memicu interrupt eksternal.
PWM	3, 5, 6, 9, 11	Layanan 8-bit PWM <i>output</i> .
SPI	10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO) and 13 (SCK)	Digunakan untuk komunikasi SPI.
LED built-in	13	Menyalakan LED Arduino Nano.
IIC	A4 (SDA), A5 (SCA)	Komunikasi TWI
Analog REF	REF	Menyediakan tegangan referensi untuk tegangan <i>input</i> .

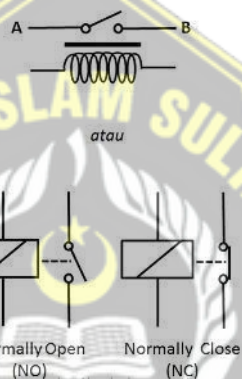
2.2.3 Relay

Relay adalah komponen elektronika yang berfungsi untuk menghubungkan dan memutus arus secara otomatis [16].

Gambar bentuk Relay



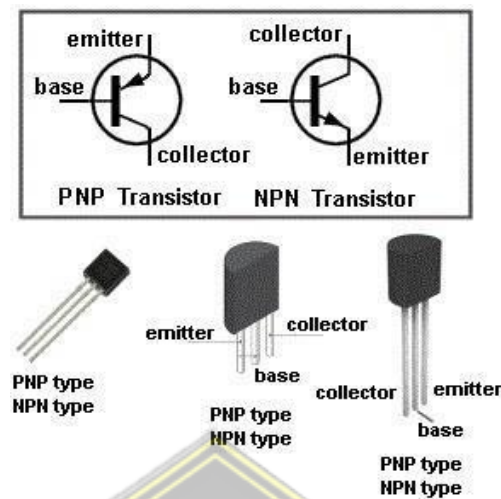
Simbol Relay



Gambar 2. 8 Relay

2.2.4 Transistor

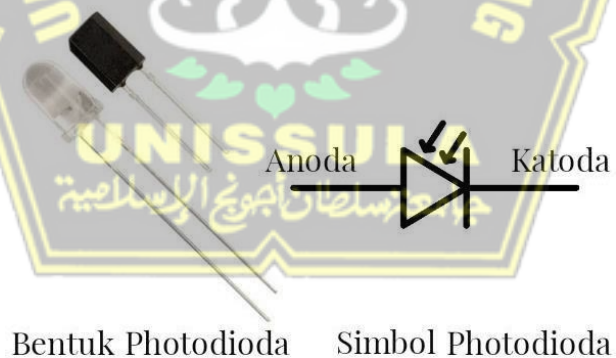
Transistor adalah komponen yang berfungsi sebagai penguat arus dan terkadang digunakan sebagai *switch/saklar* [17]. Cara kerja transistor sebagai *switch/saklar* yaitu, saat arus dari *base* mengalir, maka arus dari *collector* akan mengalir ke *emitter*. Jika tidak ada arus yang mengalir pada *base*, maka arus dari *collector* tidak akan mengalir ke *emitter*.



Gambar 2. 9 Transistor

2.2.5 Sensor *Photodiode*

Sensor *Photodiode* adalah sensor cahaya yang bisa mengubah besaran cahaya menjadi besaran listrik. Sensor ini bekerja berdasarkan intensitas cahaya yang diterimanya.



Gambar 2. 10 sensor Photodiode

Pada sensor *Photodiode*, terdapat potentiometer yang digunakan untuk mengatur sensitifitas sensor. Power indicator sebagai indikasi jika ada daya pada komponen. Signal indicator sebagai indikasi sinyal [18].

2.2.6 Actuator line

Actuator line adalah jenis *actuator* atau motor dc yang khusus digunakan untuk menciptakan gerakan dalam satu garis lurus menggunakan *input* yang disediakan oleh sistem. *Actuator line* mengambil energi dari sistem dalam bentuk yang paling sesuai yang tersedia, mungkin itu listrik, mekanik, hidrolik, atau pneumatik, dan mengubahnya dalam gerakan linier untuk mengangkat atau memindahkan beban yang diterapkan. *Actuator* linier dapat memberikan gerakan dalam satu atau dua arah, yaitu mendorong, menarik, atau keduanya. Gerakan mereka bisa tepat atau kasar sesuai dengan aplikasi dan jenis *actuator* linier yang digunakan dalam sistem.



Gambar 2. 11 *Actuator Line*

Pada bagian dalam *actuator line*, terdapat motor yang berfungsi untuk menggerakkan besi yang akan terhubung dengan beban. Gear box pada *actuator line* berfungsi untuk meningkatkan tenaga mekanik [19].

2.2.7 SCC (Solar Charge Controller)

Solar Charge Controller berfungsi untuk mengatur *input* dari panel surya ke baterai dan juga dapat mengatur *output* dari baterai ke beban. SCC juga dapat memutus *input* dari panel surya secara otomatis agar baterai tidak mengalami overcharge sehingga dapat mengurangi efektivitas baterai [20].



Gambar 2. 12 Solar Charge Controller

2.2.8 Logika Fuzzy

Logika Fuzzy adalah prinsip logika yang digunakan pada cabang ilmu matematika, logika fuzzy menggunakan nilai keaburan atau kesamaran untuk menentukan suatu keputusan. Teori logika fuzzy dikembangkan oleh peneliti bernama Lotfi Asker Zadeh yang berasal dari Universitas California pada tahun 1965 [21]. Ciri utama dari penalaran logika fuzzy adalah *membership function* atau derajat keanggotaan. Ada beberapa jenis logika fuzzy, diantaranya :

a. Logika Fuzzy Mamdani

Logika ini dikembangkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Tahap pertama untuk membuat logika fuzzy mamdani yaitu dengan membentuk variable *input* dan *output* sebagai himpunan samar. Lalu, menggunakan sistem implikasi seperti FIS pada aplikasi MATLAB. Kemudian, mencari kesimpulan dari implikasi sebelumnya. Dan yang terakhir yaitu proses *defuzzifikasi* (membandingkan hasil dengan kesimpulan).

b. Logika Fuzzy Takagi Sugeno Kang (TSK)

Pada tahun 1985, Takagi Sugeno Kang memperkenalkan teori logika fuzzy baru yang disebut dengan logika fuzzy sugeno. Teori logika fuzzy sugeno memiliki kesamaan dengan logika fuzzy mamdani, yang membedakan teori sugeno dengan teori mamdani yaitu *output* yang berupa persamaan linier.

c. Logika Fuzzy Tsukamoto

Metode Tsukamoto adalah metode logika fuzzy yang menggunakan implikasi If-Then yang hasilnya dimaknai dengan himpunan samar. *Output* tiap- tiap aturan pada logika Fuzzy Tsukamoto diberikan secara tegas dengan hasil akhir menggunakan rata-rata terbobot.

Untuk membuat logika fuzzy diperlukan beberapa tahap yaitu :

1. Menentukan *input*

Mengidentifikasi variable-variabel masukan/*input* yang akan digunakan pada logika fuzzy. Setiap variable juga harus memiliki nilai-nilai yang jelas dan dapat diukur.

2. Menentukan *output*

Mengidentifikasi variable keluaran/*output* yang akan dikontrol oleh sistem fuzzy. Variable *output* harus relevan dan sesuai dengan variable *input* dan memiliki nilai yang sesuai.

3. Menentukan fungsi keanggotaan (membership function)

Setiap variable *input* dan *output* harus memiliki satu atau lebih fungsi keanggotaan untuk menggambarkan tingkat keanggotaan pada himpunan fuzzy tertentu. Contohnya, variable masukan “sensor cahaya” dapat memiliki fungsi keanggotaan “terang”, “redup”, dan “gelap”.

4. Menentukan aturan fuzzy (fuzzy rules)

Aturan fuzzy berguna untuk menghubungkan variable *input* dan variable *output* dan bagaimana sistem logika fuzzy dapat merespon kondisi yang telah ditentukan.

5. Melakukan inferensi fuzzy.

Inferensi fuzzy adalah proses mengolah aturan fuzzy yang telah dibuat untuk menghasilkan keluaran fuzzy berdasarkan dengan *output* yang telah diberikan. Ada 3 metode pada inferensi fuzzy yaitu :

a. Metode Maksimum

Metode ini mengambil nilai maksimum dari aturan dan digunakan untuk memodifikasi daerah fuzzy dengan menggunakan operator OR atau Union dan diaplikasikan pada *output*. Persamaan Metode Maksimum adalah sebagai berikut :

$$\mu_{sf}[x_i] = \max(\mu_{sf}[x_i], \mu_{kf}[x_i]) \quad 2.10$$

b. Metode *Additive* (Penjumlahan)

Metode ini melakukan bounded-sum atau penjumlahan terbatas terhadap semua output daerah fuzzy. Persamaan metode adalah sebagai berikut :

$$\mu_{sf}[x_i] = \min(1, \mu_{sF}[x_i] + \mu_{kF}[x_i]) \quad 2.11$$

c. Metode Probabilistic Or (PROBOR)

Metode ini menarik kesimpulan dengan melakukan product atau penggabungan inferensi fuzzy dari setiap aturan terhadap daerah fuzzy sehingga diperoleh solusi himpunan fuzzy. Persamaan dari metode ini sebagai berikut :

$$\mu_{sf}[x_i] = (1, \mu_{sF}[x_i] + \mu_{kF}[x_i]) - (1, \mu_{sF}[x_i] * \mu_{kF}[x_i]) \quad 2.12$$

$\mu_{sf}[x_i]$ mewakili nilai probabilitas dari Hipotesis atau peristiwa x_i dan $(1, \mu_{sf}[x_i] + \mu_{kf}[x_i]) - (1, \mu_{sf}[x_i] * \mu_{kf}[x_i])$ merupakan perhitungan probabilitas gabungan dalam Langkah-langkah inferensi. Rumus ini digunakan untuk mengevaluasi nilai keanggotaan fuzzy x_i dalam konteks metode PROBOR .

6. melakukan defuzzifikasi.

Defuzzifikasi adalah proses mengubah nilai keluaran fuzzy menjadi nilai crisp (non-fuzzy). Sehingga dapat digunakan dalam pengendalian nyata. Perbedaan nilai fuzzy dengan nilai crisp adalah, nilai fuzzy memiliki tingkat ketidakpastian atau nilai samar. Sedangkan nilai crisp hanya berdasarkan benar dan salah. Beberapa metode defuzzifikasi yang sering digunakan adalah metode centroid dan metode rata-rata tertimbang.

a. Metode Centroid:

Metode centroid adalah metode defuzzifikasi yang paling umum digunakan. Dalam metode ini, keluaran fuzzy direpresentasikan sebagai fungsi keanggotaan dengan kurva segitiga atau trapesium. Defuzzifikasi dilakukan dengan menghitung pusat massa atau centroid dari himpunan fuzzy keluaran. Pusat massa dihitung sebagai rata-rata tertimbang dari nilai-nilai crisp yang sesuai dengan tingkat keanggotaan dari fungsi keanggotaan. Nilai crisp yang sesuai diambil dari sumbu x variabel keluaran. Metode centroid menghasilkan nilai crisp yang mewakili "titik pusat" dari keluaran fuzzy.

$$Z^* = \frac{\int_Z Z\mu(z)dz}{\int_Z \mu(z)dz}$$

$$Z^* = \frac{\sum_{j=1}^n z_j\mu(z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(z_j)} \quad 2.13$$

Z^* adalah nilai defuzzifikasi dari titik COA daerah fuzzy

n adalah jumlah interval dalam domain fuzzy Z

z_j adalah nilai dari domain fuzzy pada interval ke- j

$\mu(z_j)$ adalah nilai keanggotaan nilai z_j

Rumus ini digunakan untuk menghitung titik pusat area dari daerah fuzzy dengan mengalikan setiap nilai pada domain fuzzy z_j dengan nilai keanggotaan $\mu(z_j)$ pada titik tersebut. Kemudian dijumlahkan. Lalu hasil dari perhitungan tersebut dibagi total nilai keanggotaan $\sum_{j=1} \mu(z_j)$

b. Metode Mean of Maximum (MOM):

Metode Mean of Maximum (MOM) adalah metode defuzzifikasi yang mengambil nilai maksimum dari fungsi keanggotaan sebagai representasi keluaran fuzzy, dan kemudian menghitung nilai rata-rata dari nilai maksimum tersebut. Metode ini mengasumsikan bahwa nilai maksimum menunjukkan tingkat keanggotaan yang paling tinggi dalam himpunan fuzzy keluaran.

c. Metode Bisector:

Metode Bisector membagi himpunan fuzzy menjadi dua bagian yang memiliki tingkat keanggotaan yang sama. Nilai crisp yang dihasilkan adalah titik tengah dari interval tersebut. Metode ini mengasumsikan bahwa tingkat keanggotaan yang sama pada kedua sisi interval memberikan representasi yang adil dari keluaran fuzzy.

d. Metode First-Maximum (First of Maximum):

Metode First-Maximum mengambil nilai crisp dari sumbu x pada titik pertama di mana fungsi keanggotaan mencapai nilai maksimum. Metode ini mengasumsikan bahwa nilai crisp pertama yang mencapai tingkat keanggotaan maksimum adalah representasi yang paling relevan dari keluaran fuzzy.

e. Metode Last-Maximum (Last of Maximum):

Metode Last-Maximum mirip dengan metode First-Maximum, tetapi mengambil nilai crisp dari titik terakhir di mana fungsi keanggotaan mencapai

nilai maksimum. Metode ini mengasumsikan bahwa nilai crisp terakhir yang mencapai tingkat keanggotaan maksimum adalah representasi yang paling relevan dari keluaran fuzzy.

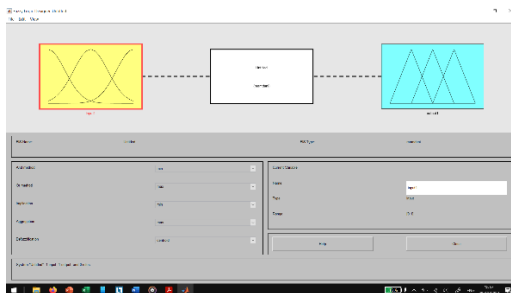
7. Implementasi dan uji sistem

Setelah defuzzifikasi dilakukan, perlu adanya implementasi dan uji sistem agar sistem sesuai dengan yang diharapkan dan sesuai dengan logika fuzzy yang telah dibuat.

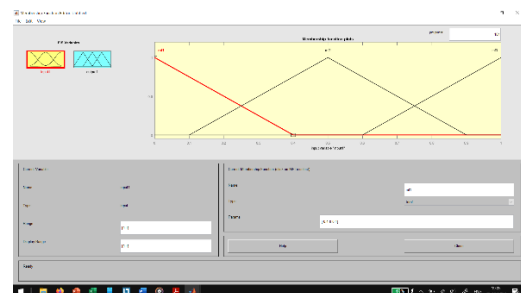
2.2.9 Fuzzy Logic Toolbox Pada Matlab

Aplikasi Matlab selain digunakan untuk hal-hal yang berkaitan dengan Komponen listrik dan mesin, dapat juga digunakan untuk membuat logika fuzzy untuk mensimulasikan suatu alat. Pada Matlab, untuk membuat sistem FIS (Fuzzy Inference System) kita dapat menggunakan Fuzzy Logic Tools (FLT) [22]. Matlab juga memberi kemudahan bagi pengguna untuk membangun, mengedit, dan mengoperasikan FIS (Fuzzy Inference System) dengan adanya fasilitas Graphical User Interface (GUI). Fuzzy Logic Toolbox memiliki 5 GUI tools yang dapat kita gunakan untuk membuat sistem FIS, yaitu :

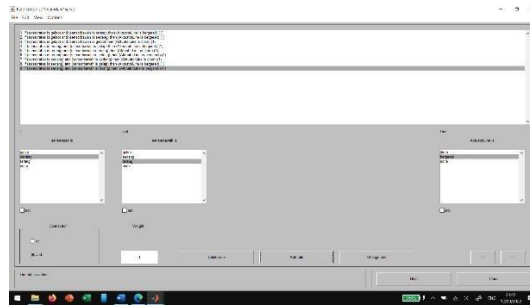
1. Fuzzy Logic Designer
2. Membership Function (MF) Editor
3. Rule Editor
4. Rule Viewer
5. Surface Viewer



a)



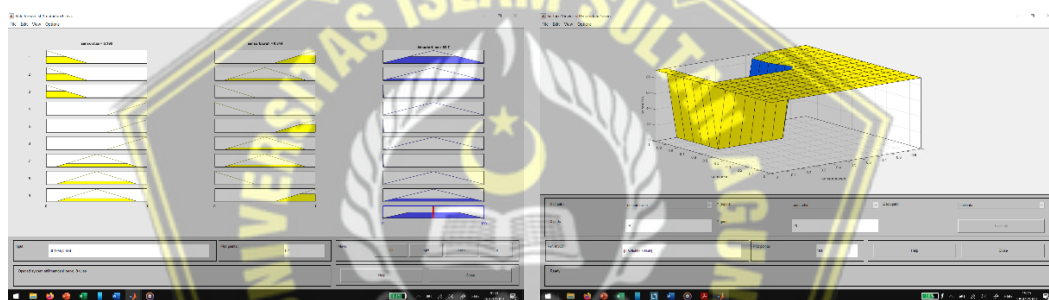
b)



c)

Gambar 2. 13 Gambar a) Fuzzy Logic Designer (kiri atas), b) MF Editor (kanan atas) dan c) Rule Editor (bawah)

Untuk Fuzzy Logic Designer, MF Editor dan Rule Editor kita dapat melakukan modifikasi data.



a)

b)

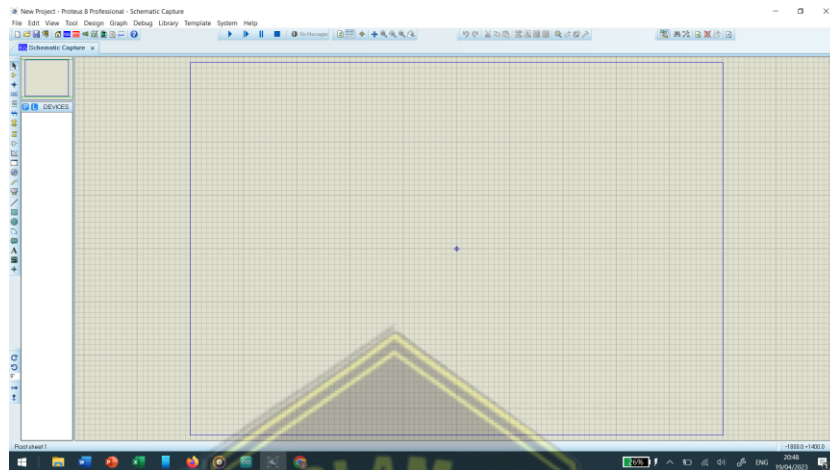
Gambar 2. 14 Gambar a) Rule Viewer (kanan) dan b) Surface Viewer (kiri)

Sedangkan untuk Rule Viewer dan Surface Viewer, kita hanya dapat mengamati data yang dihasilkan.

2.3.0 Proteus 8 Professional

Proteus adalah aplikasi yang digunakan untuk mendesain dan mensimulasikan rangkaian elektronika. Fitur yang terdapat pada Proteus 8 Professional adalah skema rangkaian elektronika, layout PCB, simulasi rangkaian dan lain sebagainya [23]. Didalam Proteus 8 Professional terdapat banyak library mulai dari berbagai macam jenis komponen pasif dan aktif, berbagai jenis transformator, saklar, IC, dan lain-lain. Serta juga tersedia berbagai macam alat

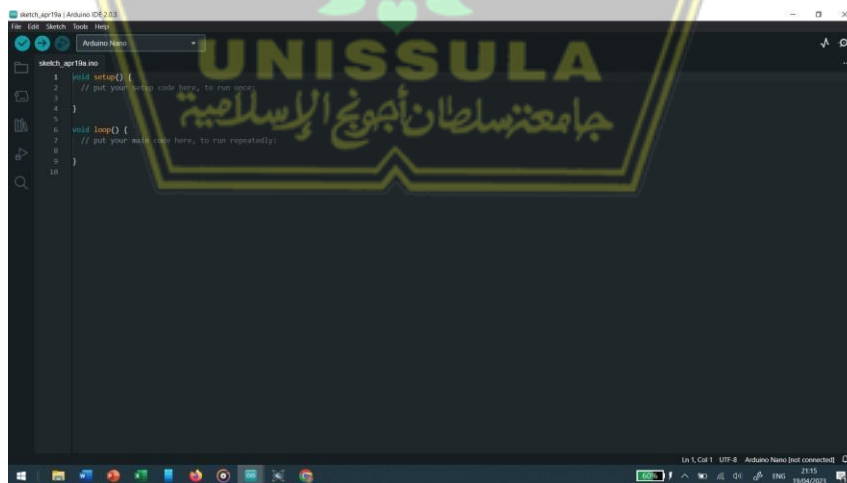
ukur seperti osiloskop, DC & AC voltmeter, DC & AC ammeter, dan lain sebagainya. Berikut adalah tampilan pada Proteus 8 Professional versi 8.0 :



Gambar 2. 15 Tampilan Proteus 8 Professional

2.3.1 Arduino IDE (Integrated Environment Development)

Software Arduino IDE digunakan untuk memprogram *board* yang akan digunakan. Arduino IDE dibuat dari Bahasa pemrograman JAVA dan dilengkapi dengan library C/C++ [24]. Berikut adalah tampilan Arduino IDE versi 2.0.3 :



Gambar 2. 16 Tampilan Arduino IDE 2.0.3

2.3.2 Baterai/ Aki

Baterai/Aki adalah komponen penting pada sistem pembangkit listrik panel surya. Fungsi baterai/aki adalah untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan dari panel surya yang kemudian digunakan pada peralatan listrik rumah. Ada 2 jenis baterai/aki yang sering digunakan dalam sistem panel surya [25]. Yaitu lithium ion dan Aki VRLA.



Gambar 2. 17 Baterai/Aki

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Perancangan Hardware

Pada sistem ini menggunakan Arduino Nano sebagai mikrokontroler yang akan mengatur kinerja alat. Dilengkapi dengan sensor *Photodiode* sebagai pendeteksi cahaya dan *actuator line* sebagai penggerak. Ditambahkan juga LCD sebagai pendeteksi arus keluaran yang dihasilkan oleh panel surya serta monitoring sudut panel. Cara kerja alat ini adalah saat cahaya pada sudut tertentu berkurang, maka sensor *Photodiode* akan mendeteksi posisi yang intensitas cahayanya lebih tinggi, kemudian *actuator line* akan menggerakkan panel ke sudut tersebut. Untuk *actuator line* bergerak mengikuti arah matahari dari timur ke barat. Perkiraan konsumsi daya komponen penggerak panel surya otomatis adalah 12 Volt sehingga untuk baterai yang digunakan memiliki tegangan sebesar 24 Volt, baterai yang digunakan adalah baterai lithium acid dengan harga yang lebih terjangkau. Kapasitas baterai akan berubah sesuai dengan kebutuhan komponen. Serta penambahan komponen lain untuk kebutuhan komponen. Panel surya yang digunakan adalah panel surya dengan daya 10 Wp dengan spesifikasi pada tabel :

Tabel 3. 1 Spesifikasi Panel Surya

<i>Rated power (p_{max})</i>	10 W
<i>Voltage at p_{max} (V_{mp})</i>	18 V
<i>Current at p_{max} (I_{mp})</i>	0,56 A
<i>Open-circuit Voltage (V_{oc})</i>	21,6 V
<i>Short-circuit Current (I_{sc})</i>	0,6 V

Komponen :

1. Arduino Nano
2. Sensor *Photodiode*

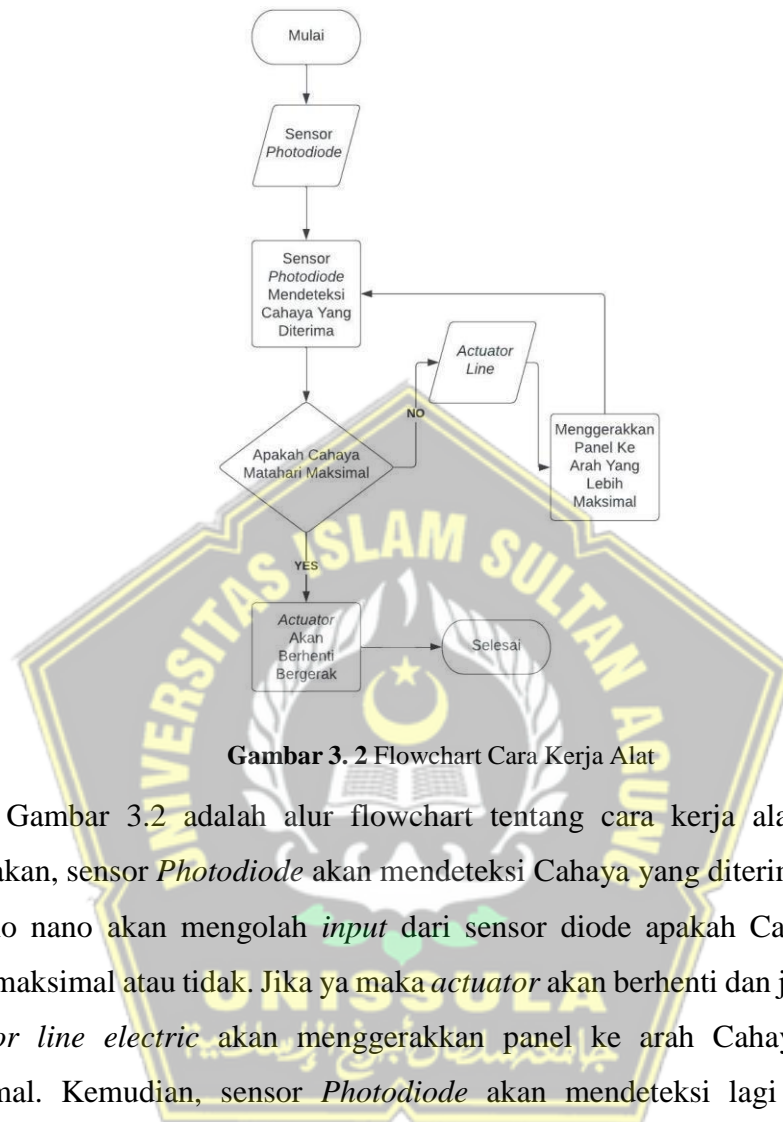
3. Panel Surya 10 Wp
4. *Actuator line*
5. Baterai/Aki



Gambar 3. 1 Diagram Blok Rangkaian

Pada gambar 3.1 merupakan diagram blok rangkaian cara kerja alat. Saat sensor *Photodiode* mengirimkan *input* kepada arduino nano kemudian, Arduino nano akan memberikan perintah kepada *actuator line electric* apakah *actuator line electric* harus bergerak atau diam. Panel surya akan digerakkan Photodiode Cahaya matahari yang lebih maksimal sehingga dapat menghasilkan daya untuk disimpan pada baterai/aki.

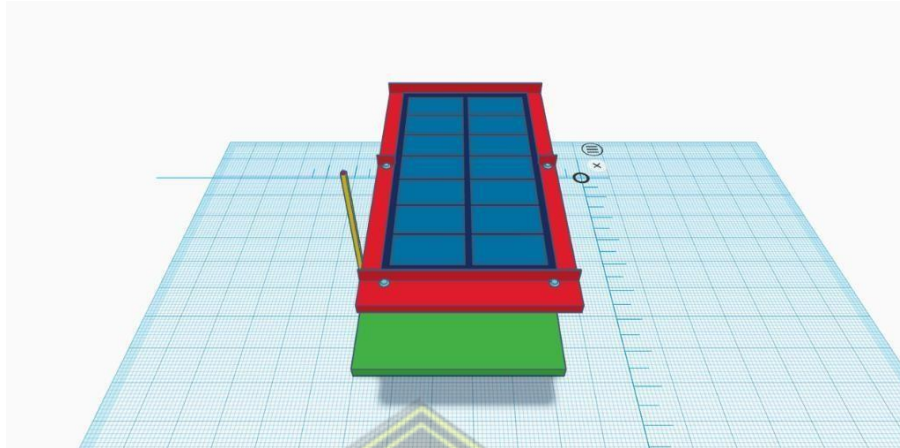
3.1.1 Flowchart Cara Kerja Alat



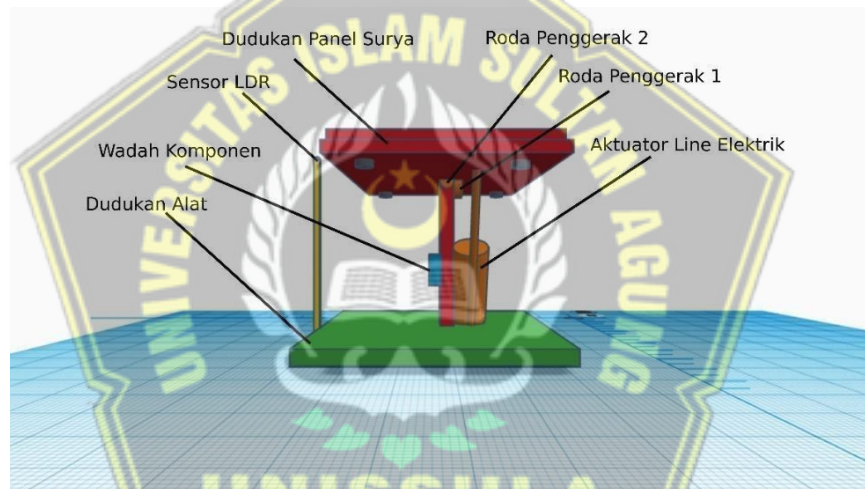
Gambar 3. 2 Flowchart Cara Kerja Alat

Gambar 3.2 adalah alur flowchart tentang cara kerja alat. Ketika alat dinyalakan, sensor *Photodiode* akan mendeteksi Cahaya yang diterima. Kemudian, Arduino nano akan mengolah *input* dari sensor diode apakah Cahaya matahari sudah maksimal atau tidak. Jika ya maka *actuator* akan berhenti dan jika tidak maka *actuator line electric* akan menggerakkan panel ke arah Cahaya yang lebih maksimal. Kemudian, sensor *Photodiode* akan mendeteksi lagi Cahaya yang diterima yang akan diolah oleh Arduino nano hingga kondisi sensor pada Cahaya yang maksimal.

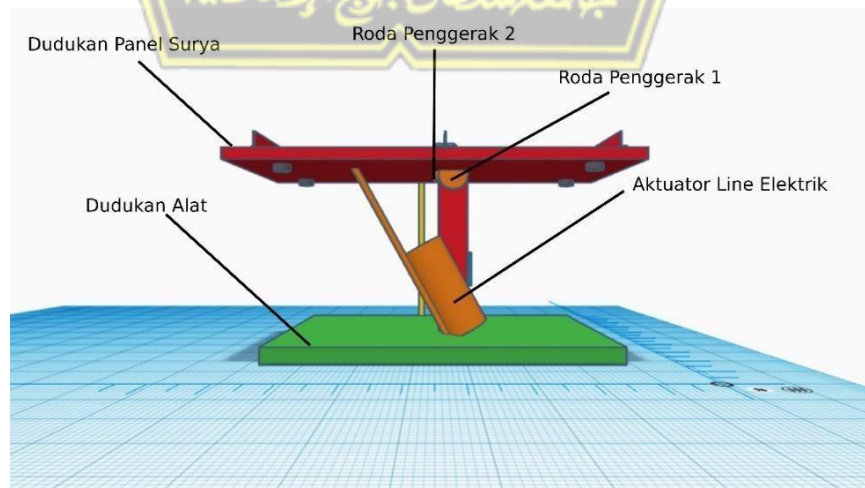
3.1.2 Rancangan Awal Fisik Alat



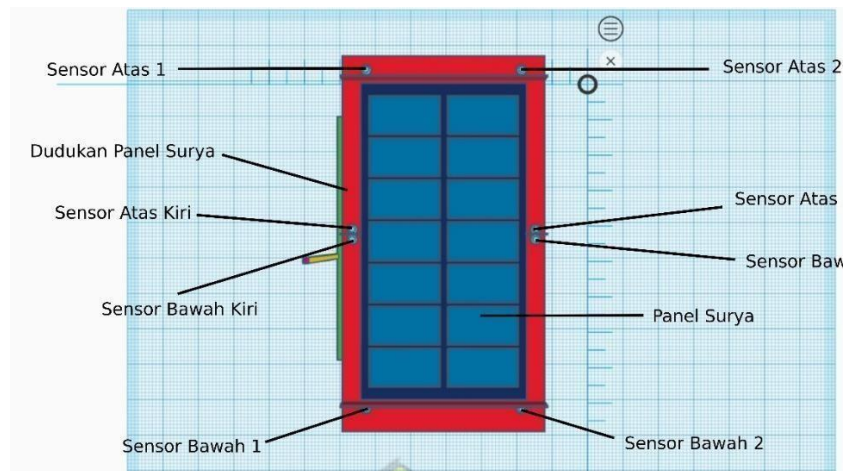
Gambar 3. 3 Rancangan Fisik Alat



Gambar 3. 4 Rancangan Fisik Alat Tampak Depan



Gambar 3. 5 Rancangan Fisik Alat Tampang Samping

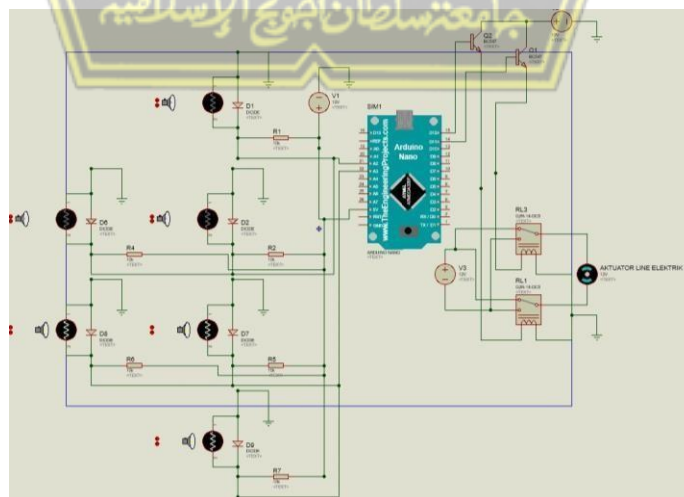


Gambar 3. 6 Rancangan Fisik Alat Tampak Atas

Untuk rancangan alat menggunakan rangka alumunium. Panel surya berada di atas rangka dan di atas panel terdapat sensor cahaya. Di antara bagian pinggir panel dan sensor, diberi membran sebagai penanda arah cahaya matahari berasal.

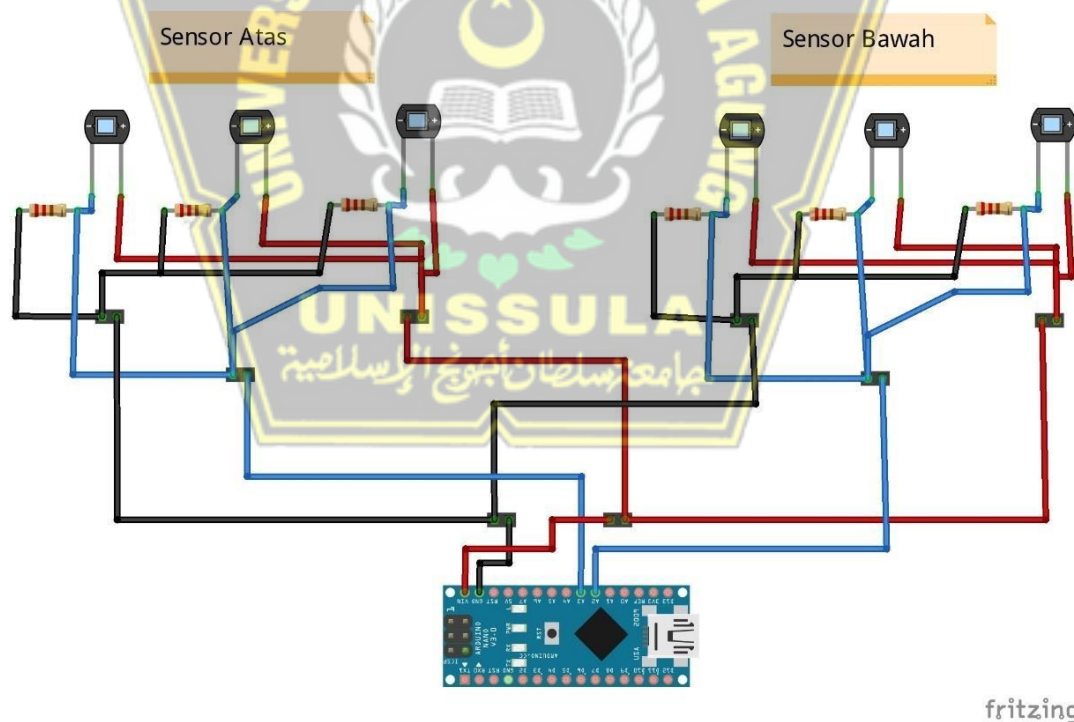
3.1.3 Simulasi Alat menggunakan Proteus 8.0

Sebelum melakukan perancangan fisik alat, ada baiknya mendesain rangkaian terlebih dahulu menggunakan Proteus 8.0 untuk mencegah terjadinya kesalahan yang dapat merusak komponen saat perakitan berlangsung. Berikut adalah desain rangkaian untuk alat penggerak panel otomatis :



Gambar 3. 7 Simulasi Alat Menggunakan Proteus 8.0

Terdapat 6 sensor *Photodiode* yang berfungsi untuk mendeteksi arah datangnya cahaya. Dua baris sensor di atas akan di tempatkan di atas panel surya dan dua baris sensor di bawah akan di posisikan di bawah panel surya. Motor dc pada simulasi tersebut sebagai *actuator line electric*. Jika seluruh sensor dalam keadaan tidak terkena cahaya maka motor dc akan bergerak naik turun untuk mencari cahaya. Jika dua baris sensor di atas terkena cahaya maka motor dc akan bergerak ke atas. Jika hanya dua baris sensor di bawah yang terkena cahaya maka motor dc akan bergerak turun. Jika seluruh sensor terkena cahaya maka motor dc tidak bergerak. Sensor fotodioda dirangkai secara paralel Dimana kutub positif dan rangkaian sensor akan terhubung pada sumber kutub positif dan kutub negatif akan terhubung pada kutub negatif sumber dan output pada rangkaian akan terhubung pada pin input Arduino nano.



Gambar 3. 8 Rangkaian Paralel Sensor

Pada gambar 3.8 terlihat kabel berwarna merah merupakan jalur positif Dimana ketiga jalur dari sensor fotodioda di hubungkan menjadi satu. Begitu pula dengan kutub negative yang berwarna hitam dan output yang berwarna biru.

3.2 Perancangan Software

3.2.1 Proses Penerapan Logika Fuzzy pada Alat Penggerak Panel Surya

Pada proses penerapan logika fuzzy pada alat penggerak, terlebih dahulu menentukan input dan output pada alat penggerak. Pada alat penggerak panel surya input yang digunakan adalah sensor *Photodiode* dengan nilai ADC berkisar antar 0 – 1023 dengan 0 mewakili kondisi Cahaya maksimum dan 1023 mewakili kondisi gelap. Dan untuk output menggunakan *actuator line electric* dengan nilai yang digunakan adalah nilai PWM dengan nilai 0 dan 255 dimana nilai 0 mewakili kondisi *off* dan 255 mewakili nilai *on*.

Selanjutnya, pada proses fuzzy terdapat tahapan-tahapan agar logika fuzzy dapat diterapkan pada alat penggerak panel surya yaitu sebagai berikut :

1. Proses Fuzzifikasi

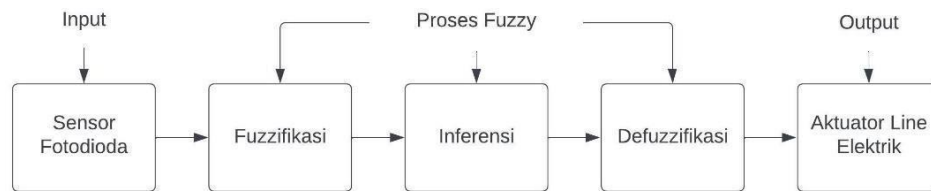
Pada proses ini nilai intensitas Cahaya yang diberikan pada sensor *Photodiode* diubah menjadi variabel linguistic yaitu “terang”, “sedang” dan “gelap” yang mana pada logika fuzzy variabel ini disebut dengan fungsi keanggotaan.

2. Proses Inferensi

Proses inferensi merupakan proses dimana logika fuzzy mamdani akan digunakan untuk menentukan aturan-aturan agar sesuai dengan kondisi lingkungan dan Tindakan yang harus diambil. Pada alat penggerak otomatis, jika kondisi gelap maka alat harus bergerak dan jika dalam kondisi terang maka alat akan diam.

3. Proses defuzzifikasi

Pada proses defuzzifikasi, nilai dari hasil inferensi fuzzy akan diterapkan sebagai control output. Nilai ini digunakan untuk mengatur *actuator line electric* sehingga dapat menggerakkan panel surya *Photodiode* Cahaya matahari yang lebih maksimal.



Gambar 3. 9 Proses Penerapan Logika Fuzzy pada Alat Penggerak Panel Surya Otomatis

Agar proses penerapan logika fuzzy pada alat penggerak panel surya otomatis dapat berjalan dengan baik, maka dilakukan simulasi menggunakan Fuzzy Logic Toolbox pada MATLAB.

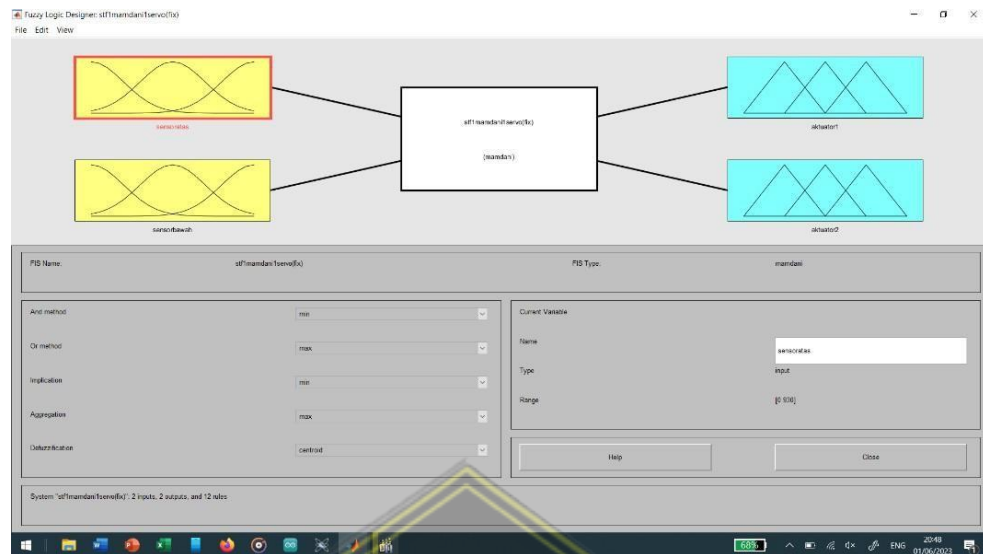
3.2.2 Metode Fuzzy Logic

3.2.2.1 Input dan Output

Algoritma yang digunakan pada perancangan alat penggerak panel surya otomatis yaitu logika fuzzy Mamdani. Input yang digunakan adalah sensor fotodiode dan output yang digunakan adalah *actuator line* elektrik. Pada logika fuzzy ini terdapat 2 *input* yaitu sensoratas dan sensorbawah, dan menggunakan dua *output* yaitu *Actuator1* dan *Actuator2*. Kedua *output* ini akan memberikan *output* positif dan negatif secara bergantian agar *actuator line electric* dapat bergerak sesuai dengan arah yang diinginkan.



Gambar 3. 10 Tampilan Fuzzy Logic Toolbox pada Matlab

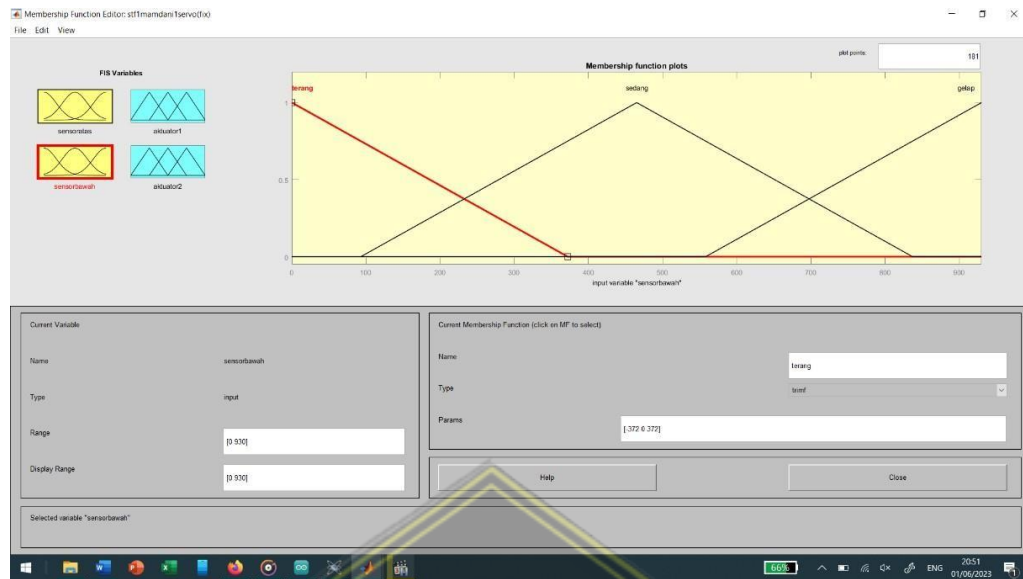


Gambar 3. 11 Input dan Output Logika Fuzzy

3.2.2.2 Fungsi Keanggotaan



Gambar 3. 12 Membership Function Sensor Atas



Gambar 3. 13 Membership Function Sensor Bawah

Pada gambar 3.5 dan 3.6 fungsi keanggotaan sensor atas dan sensor bawah sama yaitu “terang”, “sedang” dan “gelap”. Nilai fungsi keanggotaan di dapat dari nilai ADC 10 bit pada Arduino nano yaitu 0 – 1024. Pada fungsi keanggotaan dengan bentuk segitga atau “trimf” didapat nilai terendah -372 dan nilai tertinggi 1302. Untuk fungsi keanggotaan “terang” memiliki nilai (-372,0,372), untuk fungsi keanggotaan “sedang” memiliki nilai (93,465,837) dan untuk “gelap” memiliki nilai (558,930,1302). *Range* nilai untuk masing-masing keanggotaan dapat dirumuskan sebagai berikut :

Himpunan Terang :

$$X = \frac{372 - x}{372 - (-372)} ; 0 < x < 372 \quad 3.1$$

$$X < 93$$

Himpunan Sedang :

$$X = \begin{cases} 0; x < 93 \\ \frac{(x-93)}{(465-93)} & ; 93 \leq x \leq 465 \\ \frac{(837-x)}{(837-465)} & ; 465 < x \leq 837 \end{cases} \quad 3.2$$

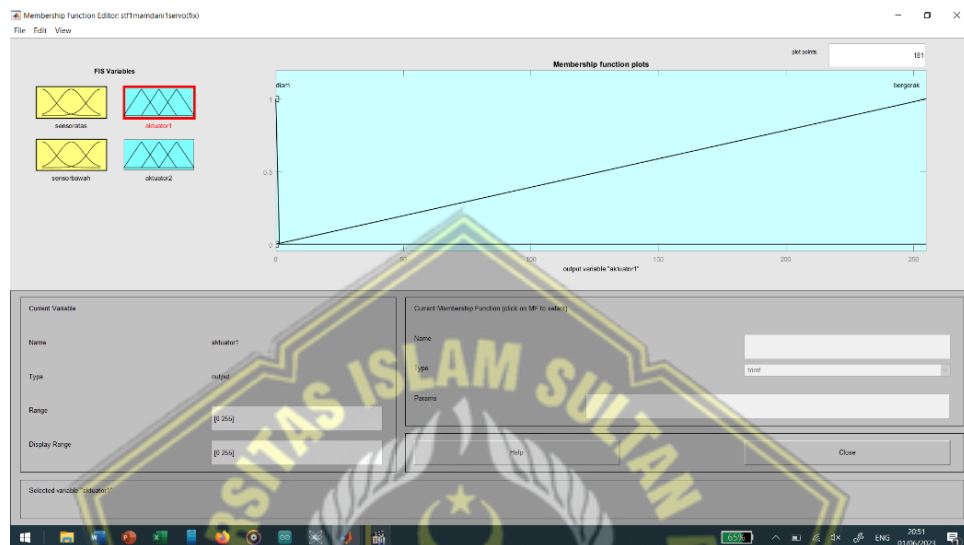
$$\{0; x > 857\}$$

Himpunan Gelap :

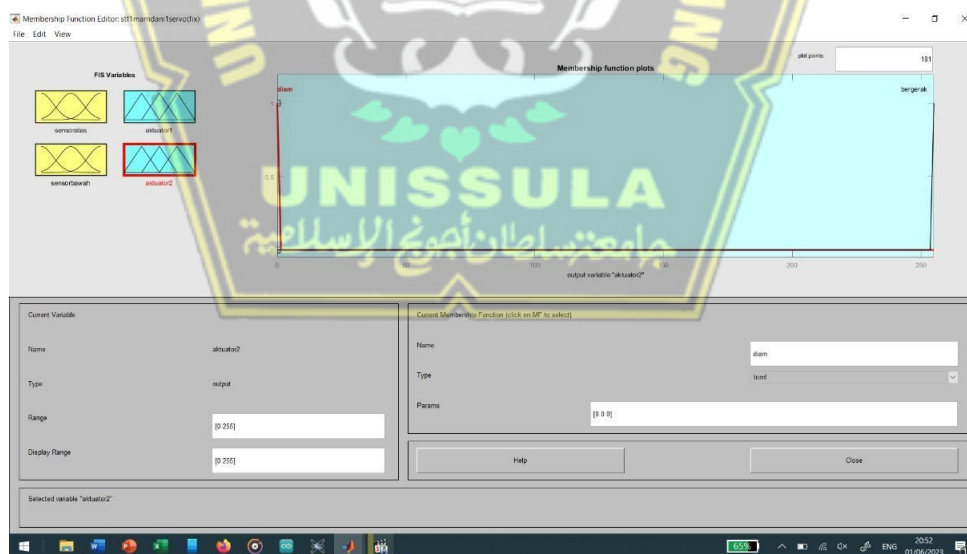
$$X = \frac{x - 558}{1302 - 558}; 558 < x < 1302$$

3.3

$$X > 558$$



Gambar 3. 14 Membership Function Motor1



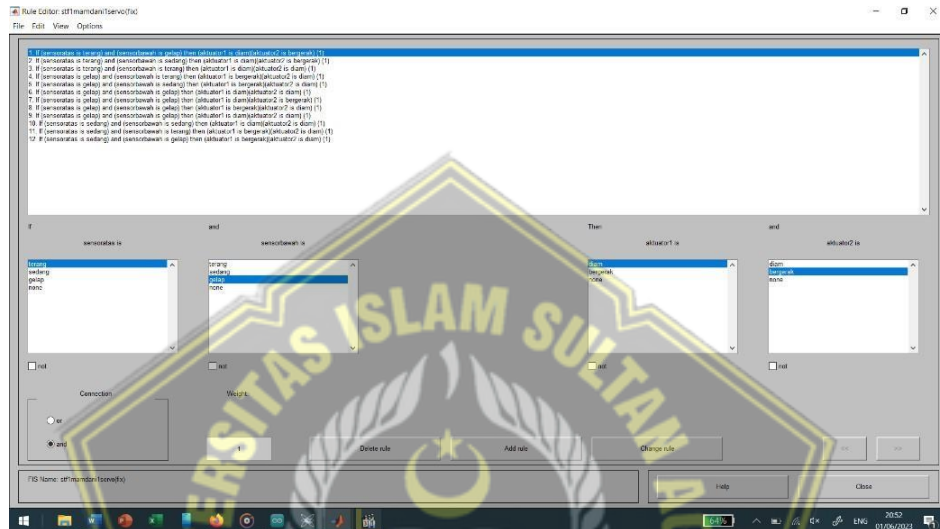
Gambar 3. 15 Membership Function Motor2

Pada gambar 3.7 dan 3.8 fungsi keanggotaan motor 1 dan 2 adalah “diam” dan “bergerak”. Nilai fungsi keanggotaan pada motor 1 dan 2 adalah 0 dan 255. Nilai tersebut sesuai dengan *output* pada PWM Arduino nano dimana 0 dapat

diartikan sebagai nilai negative dimana tidak ada arus yang mengalir dan 255 sebagai nilai positif dimana ada arus yang mengalir.

3.2.2.3 Aturan Fuzzy

Terdapat 9 Rules yang digunakan untuk perancangan alat penggerak panel surya otomatis yang ditampilkan pada gambar 3.16:



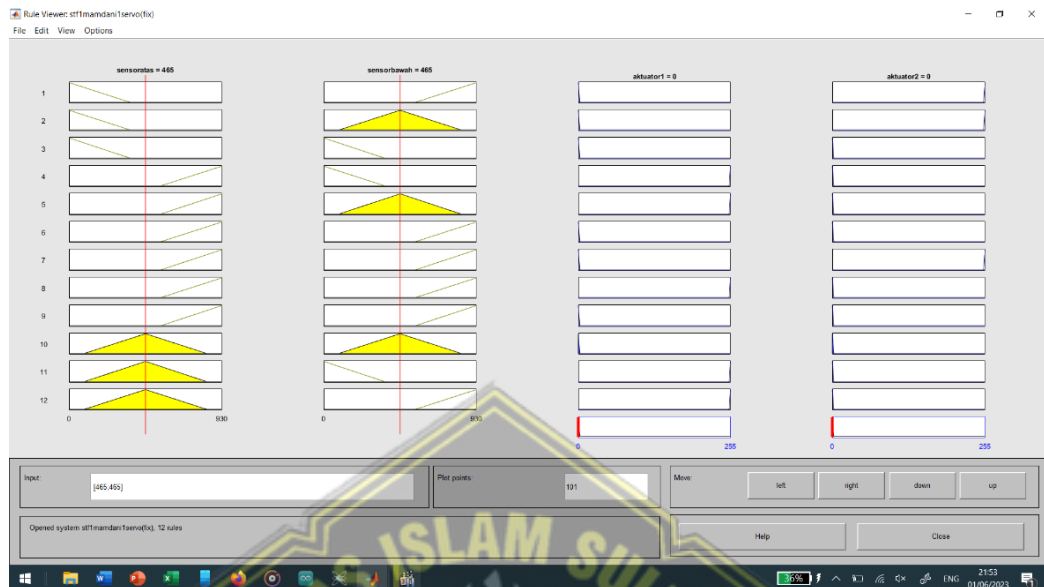
Gambar 3. 16 Rule Base

9 Rules pada gambar 3.9 dapat dilihat dengan jelas pada tabel 3.1 :

Tabel 3. 2 Rule Base yang digunakan pada logika fuzzy di matlab

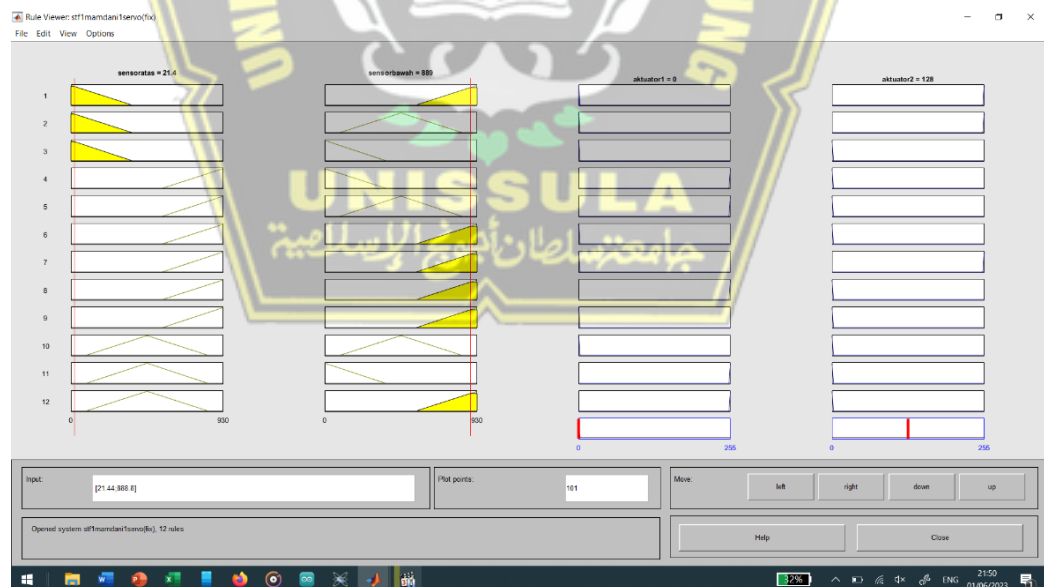
Motor1			
Sensor1 \ Sensor2	Terang	Sedang	Gelap
Terang	Diam	Diam	Diam
Sedang	Diam	Diam	Diam
Gelap	Bergerak	Bergerak	Diam
Motor2			
Sensor1 \ Sensor2	Terang	Sedang	Gelap
Terang	Diam	Bergerak	Bergerak
Sedang	Bergerak	Diam	Bergeak
Gelap	Diam	Diam	Diam

Hasil dari rule yang telah ditentukan dapat dilihat pada gambar 3.17 ini :



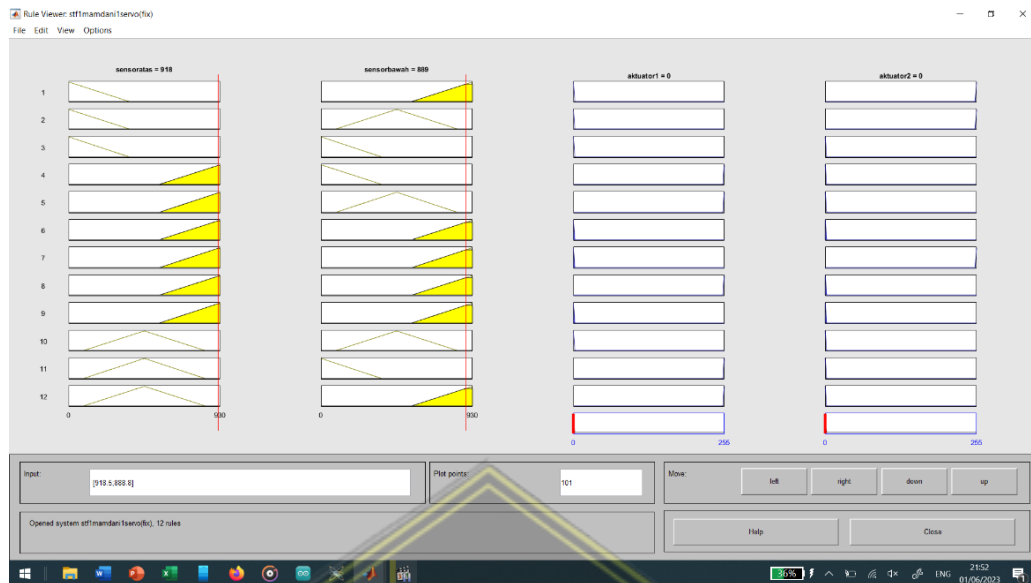
Gambar 3. 17 Kondisi ketika sensor atas dan bawah nilai tengah

Dari hasil yang didapatkan, pada gambar 3.17, dapat dilihat jika sensor atas dan sensor bawah berada pada nilai tengah, motor 1 dan 2 akan diam.



Gambar 3. 18 kondisi ketika sensor atas pada nilai rendah dan sensor bawah pada nilai tinggi

Pada gambar 3.18, sensor atas yang memiliki nilai yang lebih tinggi maka motor 2 akan dialiri arus.

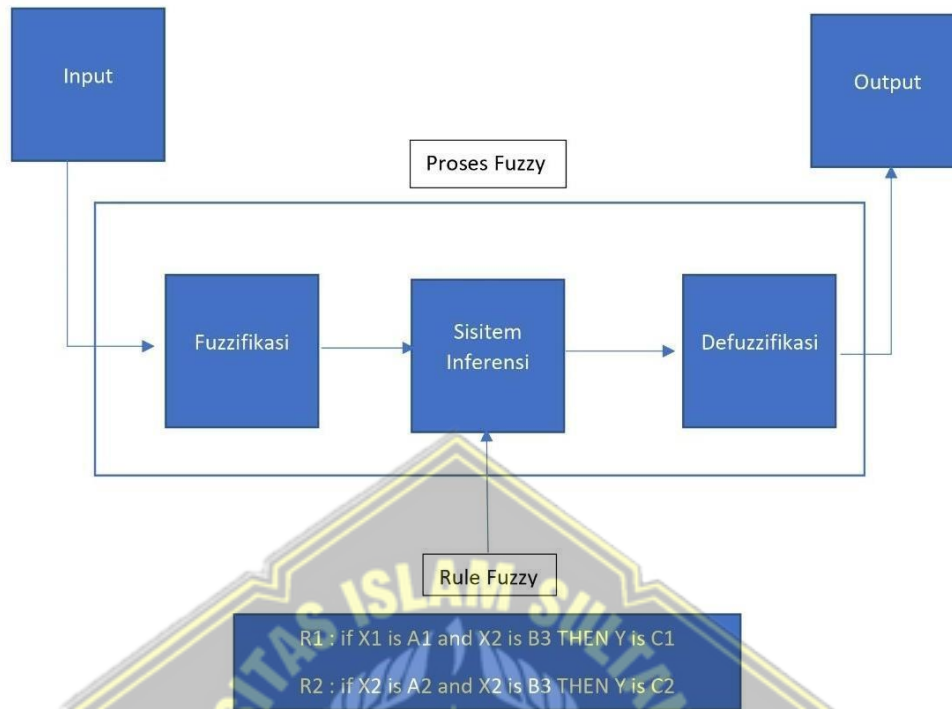


Gambar 3.19 kondisi ketika sensor bawah dan sensor atas pada nilai tinggi

Pada gambar 3.19, sensor bawah dan atas memiliki nilai yang tinggi maka motor 1 dan 2 akan diam.

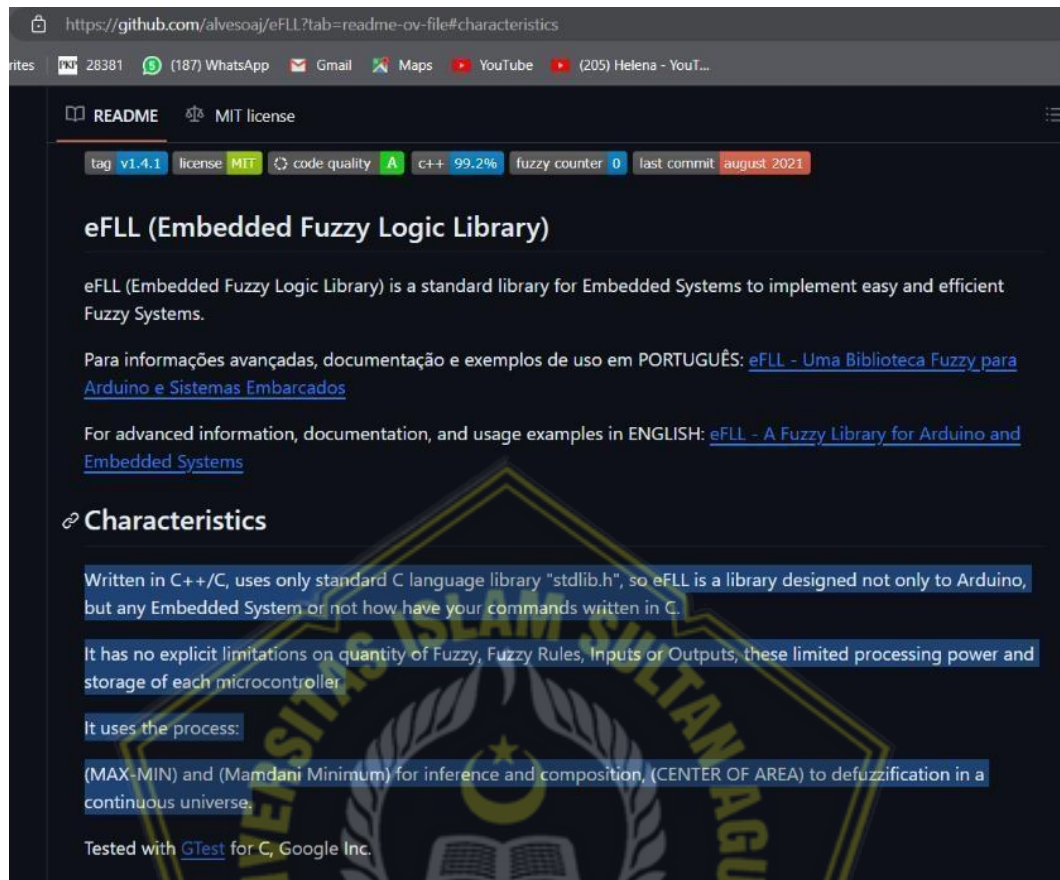
3.2.3 Proses Inferensi

Proses inferensi merupakan proses pengolahan *input* agar *output* yang dihasilkan sesuai dengan aturan yang telah ditetapkan. Dengan kata lain, inferensi adalah penarikan kesimpulan atau komposisi aturan pada sistem fuzzy yang telah dibuat. Pada gambar terlihat proses fuzzifikasi terlebih dahulu terjadi. Yang kemudian terjadi proses inferensi yang diakhiri pada proses defuzzifikasi sebelum di terapkan pada *output*. Fuzzifikasi merupakan proses merubah *input* yang memiliki bilangan tegas menjadi himpunan fuzzy. Sedangkan defuzzifikasi adalah kebalikan dari fuzzifikasi dimana proses ini merubah keluaran fuzzy menjadi nilai tegas.



Gambar 3. 20 Inferensi Fuzzy

Metode inferensi yang digunakan pada proses inferensi adalah metode MAX-MIN dengan komposisi mamdani min dan metode defuzzifikasi yang digunakan adalah *Center Of Area* (COA). Jenis metode ini diproses secara otomatis pada library Arduino dikarenakan metode ini merupakan karakteristik pada library program. Metode MAX-MIN dengan komposisi mamdani min merupakan metode inferensi dengan cara mengambil nilai minimum aturan dan kemudian digunakan untuk memodifikasi daerah fuzzy yang selanjutnya diaplikasikan pada output menggunakan operator OR(union). Metode defuzzifikasi COA/Centroid merupakan metode defuzzifikasi yang mengambil daerah titik pusat daerah fuzzy untuk mendapatkan Solusi crisp.



The image shows a screenshot of a GitHub repository page for the 'eFLL' project. The browser address bar shows the URL: <https://github.com/alvesoaj/eFLL?tab=readme-ov-file#characteristics>. The repository name is 'eFLL' and the license is 'MIT license'. The README content is as follows:

eFLL (Embedded Fuzzy Logic Library)

eFLL (Embedded Fuzzy Logic Library) is a standard library for Embedded Systems to implement easy and efficient Fuzzy Systems.

Para informações avançadas, documentação e exemplos de uso em PORTUGUÊS: [eFLL - Uma Biblioteca Fuzzy para Arduino e Sistemas Embarcados](#)

For advanced information, documentation, and usage examples in ENGLISH: [eFLL - A Fuzzy Library for Arduino and Embedded Systems](#)

Characteristics

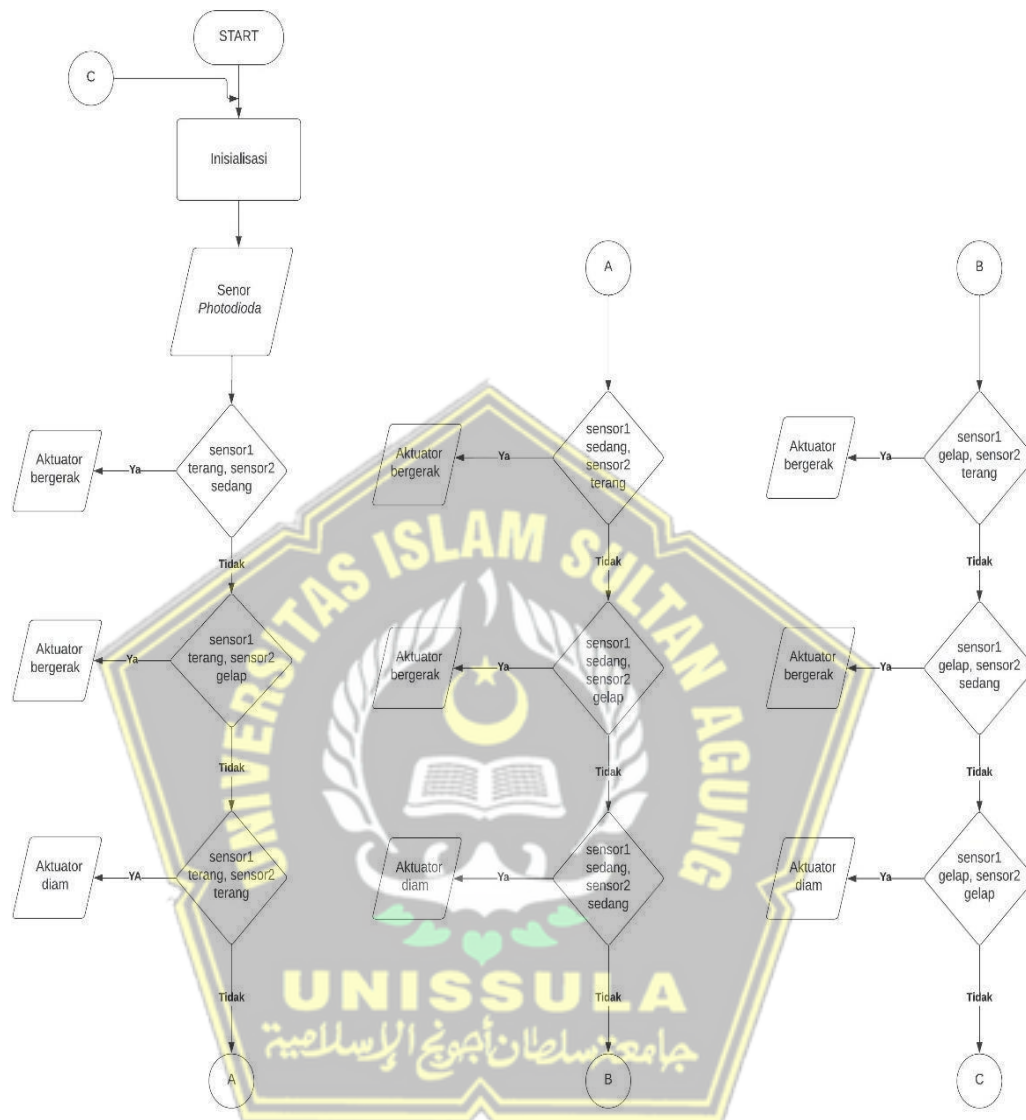
- Written in C++/C, uses only standard C language library "stdlib.h", so eFLL is a library designed not only to Arduino, but any Embedded System or not how have your commands written in C.
- It has no explicit limitations on quantity of Fuzzy, Fuzzy Rules, Inputs or Outputs, these limited processing power and storage of each microcontroller.
- It uses the process:
(MAX-MIN) and (Mamdani Minimum) for inference and composition, (CENTER OF AREA) to defuzzification in a continuous universe.

Tested with [GTest](#) for C, Google Inc.

Gambar 3. 21 Karakteristik Library Program Fuzzy Arduino



3.2.4 Flowchart Program Arduino Nano



Gambar 3. 22 Flowchart Program Arduino

Pada gambar 3.22 menjelaskan tentang alur pembacaan program Arduino nano terhadap aturan fuzzy. Ketika alat menyala dan program berjalan sensor *Photodiode* akan memberikan sinyal kepada Arduino nano dan akan dicocokkan dengan aturan fuzzy. Jika sensor1 dalam kondisi terang dan sensor2 dalam kondisi sedang, maka *actuator* akan bergerak. Jika sensor1 dalam kondisi terang dan sensor2 dalam kondisi gelap, maka *actuator* akan bergerak. Jika sensor1 dalam kondisi terang dan sensor2 dalam kondisi terang maka *actuator* akan diam. Begitu juga dengan aturan fuzzy yang lain.

3.2.5 Program Arduino Nano

Berikut ini adalah program yang digunakan untuk menggerakkan alat penggerak panel otomatis menggunakan Arduino nano :

```
int sensor1 = A2;
int sensor2 = A3;
int motor1 = 11;
int motor2 = 12;
#include <Fuzzy.h>
Fuzzy *fuzzy = new Fuzzy();
```

Pada bagian ini, pin input dan pin output diinisialisasi. Sensoratas dan sensorbawah pada logika fuzzy tadi diberi keterangan sensor1 dan sensor2 pada program. Hal ini dilakukan agar tidak terjadi bentrok saat program berjalan karena keterangan sensor akan sering digunakan. Pada program, pin input yang digunakan sebagai sensor Cahaya pada pin A2 dan A3 dan pin output pada pin 11 dan 12. Pada bagian ini library fuzzy juga diimpor agar dapat digunakan dalam program.

```
// Fuzzy Input sensor1
FuzzySet *terang1 = new FuzzySet(-372, 0, 0, 372);
FuzzySet *sedang1 = new FuzzySet(93, 465, 465, 837);
FuzzySet *gelap1 = new FuzzySet(558, 930, 930, 1302);
// Fuzzy Input sensor2
FuzzySet *terang2 = new FuzzySet(-372, 0, 0, 372);
FuzzySet *sedang2 = new FuzzySet(93, 465, 465, 837);
FuzzySet *gelap2 = new FuzzySet(558, 930, 930, 1302);
// Fuzzy Output motor1
FuzzySet *diam1 = new FuzzySet(0, 0, 0, 0);
FuzzySet *bergerak1 = new FuzzySet(255, 255, 255, 255);
// Fuzzy Output motor2
FuzzySet *diam2 = new FuzzySet(0, 0, 0, 0);
FuzzySet *bergerak2 = new FuzzySet(255, 255, 255, 255);
```

Program tersebut merupakan inisialisasi himpunan fuzzy. Sensoratas dan sensor bawah yang merupakan input fuzzy sama dengan nilai dari dua sensor Cahaya(sensor1 dan sensor2) dan motor1 dan motor2 merupakan output fuzzy untuk mengontrol dua kutub *actuator line electric*.

```
//*****RULES*****
//1*****
FuzzyRuleAntecedent *terang1_gelap2 = new FuzzyRuleAntecedent ();
terang1_gelap2->joinWithAND(terang1, gelap2);
FuzzyRuleConsequent *diam1_bergerak21 = new FuzzyRuleConsequent();
```



```

    diam11_bergerak21->addOutput(diam1);
    diam11_bergerak21->addOutput(bergerak2);
    FuzzyRule *fuzzyRule01 = new FuzzyRule(1, terang1_gelap2,
diam11_bergerak21);
    fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule01);
//2*****
    FuzzyRuleAntecedent *terang1_sedang2 = new FuzzyRuleAntecedent ();
    terang1_sedang2->joinWithAND(terang1, sedang2);
    FuzzyRuleConsequent *diam12_bergerak22 = new FuzzyRuleConsequent();
    diam12_bergerak22->addOutput(diam1);
    diam12_bergerak22->addOutput(bergerak2);
    FuzzyRule *fuzzyRule02 = new FuzzyRule(2, terang1_sedang2,
diam12_bergerak22);
    fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule02);
//3*****
    FuzzyRuleAntecedent *terang1_terang2 = new FuzzyRuleAntecedent ();
    terang1_terang2->joinWithAND(terang1, terang2);
    FuzzyRuleConsequent *diam11_diam22 = new FuzzyRuleConsequent();
    diam11_diam22->addOutput(diam1);
    diam11_diam22->addOutput(diam2);
    FuzzyRule *fuzzyRule03 = new FuzzyRule(3, terang1_terang2,
diam11_diam22);
    fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule03);
//4*****
    FuzzyRuleAntecedent *gelap1_terang2 = new FuzzyRuleAntecedent ();
    gelap1_terang2->joinWithAND(gelap1, terang2);
    FuzzyRuleConsequent *bergerak12_diam23 = new FuzzyRuleConsequent();
    bergerak12_diam23->addOutput(bergerak1);
    bergerak12_diam23->addOutput(diam2);
    FuzzyRule *fuzzyRule04 = new FuzzyRule(4, gelap1_terang2,
bergerak12_diam23);
    fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule04);
//5*****
    FuzzyRuleAntecedent *gelap1_sedang2 = new FuzzyRuleAntecedent ();
    gelap1_sedang2->joinWithAND(gelap1, sedang2);
    FuzzyRuleConsequent *bergerak13_diam24 = new FuzzyRuleConsequent();
    bergerak13_diam24->addOutput(bergerak1);
    bergerak13_diam24->addOutput(diam2);
    FuzzyRule *fuzzyRule05 = new FuzzyRule(5, gelap1_sedang2,
bergerak13_diam24);
    fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule05);
//6*****
    FuzzyRuleAntecedent *gelap1_gelap2 = new FuzzyRuleAntecedent ();
    gelap1_gelap2->joinWithAND(gelap1, gelap2);
    FuzzyRuleConsequent *diam12_diam25 = new FuzzyRuleConsequent();
    diam12_diam25->addOutput(diam1);
    diam12_diam25->addOutput(diam2);
    FuzzyRule *fuzzyRule06 = new FuzzyRule(6, gelap1_gelap2,
diam12_diam25);
    fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule06);
//7*****
    FuzzyRuleAntecedent *sedang1_sedang2 = new FuzzyRuleAntecedent ();
    sedang1_sedang2->joinWithAND(sedang1, sedang2);
    FuzzyRuleConsequent *diam13_diam26 = new FuzzyRuleConsequent();

```

```

    diam13_diam26->addOutput(diam1);
    diam13_diam26->addOutput(diam2);
    FuzzyRule *fuzzyRule07 = new FuzzyRule(7, sedang1_sedang2,
diam13_diam26);
    fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule07);
//8*****
    FuzzyRuleAntecedent *sedang1_terang2 = new FuzzyRuleAntecedent ();
    sedang1_terang2->joinWithAND(gelap1, terang2);//
    FuzzyRuleConsequent *bergerak14_diam27 = new FuzzyRuleConsequent();
    bergerak14_diam27->addOutput(bergerak1);
    bergerak14_diam27->addOutput(diam2);
    FuzzyRule *fuzzyRule08 = new FuzzyRule(8, sedang1_terang2,
bergerak14_diam27);
    fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule08);
//9*****
    FuzzyRuleAntecedent *sedang1_gelap2 = new FuzzyRuleAntecedent ();
    sedang1_gelap2->joinWithAND(gelap1, gelap2);
    FuzzyRuleConsequent *bergerak15_diam28 = new FuzzyRuleConsequent();
    bergerak15_diam28->addOutput(bergerak1);
    bergerak15_diam28->addOutput(diam2);
    FuzzyRule *fuzzyRule09 = new FuzzyRule(9, sedang1_gelap2,
bergerak15_diam28);
    fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule09);

```

Program tersebut untuk memasukkan rule fuzzy ke program, “FuzzyRuleAntecedent” adalah perintah untuk menentukan *input*, “FuzzyRuleConsequent” untuk menentukan tindakan atau *output*. FuzzyRule fungsinya agar *input* pada “FuzzyRuleAntecedent” dan *output* pada “FuzzyRuleConsequent” masuk ke rule fuzzy program. Kemudian “addFuzzyRule” untuk menambahkan “fuzzyRule” ke program agar terbaca sebagai rule fuzzy. “joinWithAND” digunakan jika terdapat dua *input*. Jika terdapat 1 *input*, bisa menggunakan perintah “joinsingle”. Maksimal *input* yang dapat digunakan pada perintah “joinWithAND” adalah dua *input*.

```

void loop() {
    int sensoratas = analogRead(sensor1);
    int sensorbawah = analogRead(sensor2);
    fuzzy->setInput(1, sensoratas);
    fuzzy->setInput(2, sensorbawah);
    fuzzy->fuzzify();
    int actuator1 = fuzzy->defuzzify(1);
    int actuator2 = fuzzy->defuzzify(2);
    analogWrite(motor1, actuator1);
    analogWrite(motor2, actuator2);
    Serial.print("\t\t\tSensor1: ");
    Serial.println(sensoratas);
    Serial.print("\t\t\tSensor2: ");

```

```

Serial.println(sensorbawah);
Serial.print("\t\t\tAktuaor1: ");
Serial.println(actuator1);
Serial.print("\t\t\tAktuaor2: ");
Serial.println(actuator2);
delay(3000);
}

```

Program tersebut untuk memasukkan *input* fungsi keanggotaan ke *input* sensor agar Arduino dapat membaca pin sensor. Pada bagian ini sensor diberi keterangan sensoratas dan sensorbawah. Fungsi perintah “fuzzy->fuzzify();” untuk melakukan proses fuzzifikasi kemudian defuzzifikasi, fungsi keanggotaan, rule dan *output* yang telah dimasukkan ke dalam program yang akan diproses oleh library Arduino. Pada bagian ini, nilai kedua sensor dibaca yang nilai dari kedua sensor digunakan sebagai input fuzzy. Disini proses fuzzifikasi dilakukan, yang kemudian diikuti proses defuzzifikasi untuk mendapatkan nilai output yang diterapkan pada motor1 dan motor2.

3.3 Perancangan Alat

1. Perancangan rangka alat penggerak

Rangka penggerak menggunakan bahan hollow aluminium. Dengan tinggi aluminium penyangga 40 cm, lebar aluminium frame 26.5 cm dan Panjang 36 cm. Panjang dudukan panel surya 34 cm.



Gambar 3. 23 Rangka Penggerak Panel

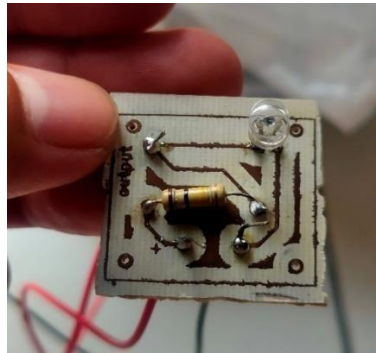
2. Pembuatan rangkaian PCB untuk komponen elektronik penggerak



Gambar 3. 24 Komponen Penggerak

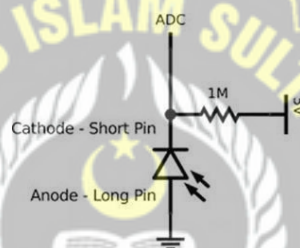
Pada rangkaian PCB yang digunakan untuk menggerakkan alat, terdapat rangkaian Voltage Regulator yang terdiri dari rangkaian LM7805 yang berfungsi untuk menurunkan tegangan dari 12V menjadi 5V agar Arduino dapat bekerja dengan baik dan tidak kelebihan tegangan. Dan juga terdapat kapasitor yang berfungsi untuk mengurangi noise.pada *input* Vcc Arduino diberi resistor 51 Ω agar Arduino tidak kelebihan arus. Pada rangkaian juga terdapat relay yang berfungsi untuk mengalirkan arus dari sumber secara bergantian. Pada relay diberi diode 10 A untuk mencegah terjadinya arus balik yang dapat merusak relay dan komponen. Transistor BC547 berfungsi sebagai *switch* sehingga Arduino dapat mengatur open-close pada relay. Transistor BC547 diberi resistor 48 K Ω pada basis dan 47 Ω pada kolektor. Fungsi resistor agar transistor tidak mengalami kelebihan arus yang dapat merusak transistor.

3. Perancangan dan penyambungan sensor dengan Arduino nano



Gambar 3. 25 Rangkaian Sensor Photodiode

Alat penggerak menggunakan sensor *Photodiode*. Rangkaian *Photodiode* pada gambar 3.25 berdasarkan pada gambar 3.26 ini. Setiap sensor dirangkai secara parallel.



Gambar 3. 26 Rangkaian Skematik Sensor Photodiode

Pada katoda (-) *Photodiode* terhubung dengan resistor 820 Ω , dan resistor terhubung pada kutub positif. Dan anoda (+) terhubung pada kutub negative. Pertemuan antara katoda dan resistor menjadi *output* dari rangkaian sensor *Photodiode*.

Pengujian dilakukan untuk mengetahui sensitivitas sensor *Photodiode* terhadap sinar matahari. Pengujian dilakukan dengan menggunakan 4 resistor yang memiliki nilai berbeda. Pada rangkaian *Photodiode* dengan resistor 100k Ω dengan nilai ADC 4. Pada rangkaian *Photodiode* dengan resistor 10k Ω nilai ADC 19. Pada rangkaian *Photodiode* dengan resistor 820 Ω nilai ADC 108. Pada rangkaian *Photodiode* dengan resistor 10 Ω nilai ADC 984. Keempat rangkaian diuji pada saat kondisi sensor terkena sinar matahari atau saat kondisi terang. Pada pengujian tersebut, digunakan resistor 820 karena nilai ADC sesuai dengan yang diinginkan.

Setelah rangkaian selesai, kutub positif pada rangkaian dihubungkan pada pin 5V Arduino nano, kemudian kutub negatif dihubungkan pada pin GND Arduino nano dan *output* terhubung pada pin A2 dan A3 arduino nano.

4. Pemasangan komponen pada rangka penggerak



Gambar 3.27 Alat Penggerak Panel Otomatis

Terdapat 6 sensor yang digunakan pada alat penggerak. 4 sensor pada kiri dan kanan dan 2 sensor pada atas dan bawah. Rangkaian Arduino ditempatkan pada posisi Tengah pada aluminium penyangga alat.

BAB IV

PENGUJIAN & ANALISA

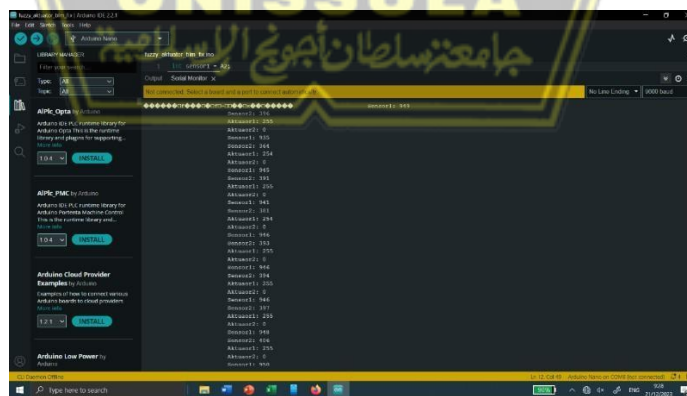
4.1 Pengujian Alat

Pada gambar 4.1 ini, semua komponen sudah terpasang dan dilakukan uji coba pada alat untuk mengetahui apakah alat bekerja dengan baik atau tidak.



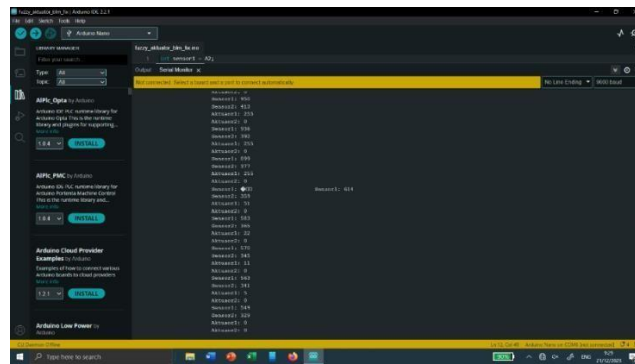
Gambar 4.1 Uji Coba Alat Penggerak

Dilakukan pengecekan pada serial monitor untuk mengetahui apakah sensor bekerja dengan baik atau tidak. Terlihat pada gambar 4.2 salah satu sensor berada pada nilai 900 dan sensor lain berada pada nilai 300 sehingga nilai aktuator menjadi 255 dan *actuator* bergerak.



Gambar 4.2 Nilai ADC sensor (1)

Pada gambar 4.3, sensor berada pada nilai 500 dan 300 sehingga nilai aktuator menjadi 0 dan *actuator* tidak bergerak.



Gambar 4.3 Nilai ADC sensor (2)

4.2 Analisa Logika Fuzzy Mamdani

Analisa logika fuzzy dilakukan untuk mengetahui apakah proses – proses yang terjadi sudah sesuai dengan simulasi dan aplikasi berdasarkan pada teori logika fuzzy. Analisa ini disesuaikan dengan nilai-nilai yang didapatkan pada pengujian yang kemudian dilakukan proses fuzzy sebagai berikut :

1. Fuzzifikasi

Pada proses fuzzifikasi dihitung himpunan keanggotaan pada setiap sensor dengan persamaan 3.1, 3.2 dan 3.3 dengan nilai sensor1 935 dan sensor2 364 dan nilai *actuator1* 225 dan nilai *actuator2* 0 dengan menggunakan persamaan 3.1 untuk himpunan terang, persamaan 3.2 untuk himpunan sedang dan persamaan 3.3 untuk himpunan gelap.

Himpunan Sensor 1:

Himpunan Terang :

$$X = \frac{372 - 935}{372 - (-372)}$$

$$= \frac{-563}{744}$$

$$= -0,75 \text{ (diluar kriteria)}$$

Himpunan Sedang :

$$X = \frac{935 - 93}{465 - 93}$$

$$= \frac{842}{372}$$

$$= 2,26 \text{ (diluar kriteria)}$$

$$X = \frac{837 - 935}{837 - 465}$$

$$= \frac{-98}{372}$$

$$= -0,26 \text{ (diluar kriteria)}$$

Himpunan Gelap :

$$X = \frac{935 - 558}{1302 - 558}$$

$$= \frac{377}{744}$$

$$= 0,5 \text{ (didalam kriteria)}$$

Himpunan Sensor2:

Himpunan Terang :

$$X = \frac{372-364}{372-(-372)}$$

$$= \frac{8}{744}$$

=0,01 (diluar kriteria)

Himpunan Sedang :

$$X = \frac{364-93}{465-93}$$

$$= \frac{271}{372}$$

=0,72 (didalam kriteria)

Himpunan Gelap :

$$X = \frac{364-558}{1302-558}$$

$$= \frac{-194}{744}$$

= -0,26 (diluar kriteria)

$$X = \frac{837-364}{837-465}$$

$$= \frac{473}{372}$$

=1,27 (diluar kriteria)

2. Proses Inferensi

Setelah menghitung himpunan keanggotaan, kemudian ditentukan mana saja yang merupakan himpunan dan masuk kriteria dan mana saja yang bukan.

Sensor1;

Sensor2 :

Terang = -0,75 (diluar kriteria)

Terang = 0,01 (diluar kriteria)

Sedang = 2,26 (diluar kriteria)

Sedang = 0,72 (didalam kriteria)

= -0,26 (diluar kriteria)

= 1,27 (diluar kriteria)

Gelap = 0,5 (didalam kriteria)

Gelap = -0,26 (diluar kriteria)

Setelah didapat himpunan pada setiap sensor, ditentukan komposisi yang akan digunakan yaitu sebagai berikut :

Sensor1 : 1 hasil fuzzifikasi yaitu gelap

Sensor2 : 1 hasil fuzzifikasi yaitu sedang

Dengan hasil :

Sensor1 : 0,5

Sensor2 : 0,72

Dikarenakan hanya terdapat satu anggota pada setiap himpunan, maka tidak perlu memilih mana yang merupakan nilai minimum. Berdasarkan komposisi tersebut, maka aturan fuzzy yang digunakan adalah :

-Jika Sensor1 gelap dan jika sensor2 sedang, maka *actuator1* bergerak dan *actuator2* diam.

3. Defuzzifikasi

Kemudian untuk mengetahui apakah hasil pengujian sudah sesuai dengan output fuzzy yang ditetapkan, maka diperlukan perhitungan COA sebagai berikut

Rentang Nilai : 0,25,50,75,100,125,150,175,200,225,250

Dengan agregasi :

Sensor1 : 0,5

Sensor2 : 0,72

Kemudian, untuk menghitung nilai keanggotaan terponderasi :

Poin Sampel (Z_j): 0,25,50,75,100,125,150,175,200,225,250

$$K.Sensor1(Z_j, \mu(Z_j)) = 0 \times 0.5, 25 \times 0.5, 50 \times 0.5, 75 \times 0.5, 100 \times 0.5, 125 \times 0.5, \\ 150 \times 0.5, 175 \times 0.5, 200 \times 0.5, 225 \times 0.5, 250 \times 0.5$$

$$= 0, 12.5, 25, 37.5, 50, 62.5, 75, 87.5, 100, 112.5, 125$$

$$K.Sensor2(Z_j, \mu(Z_j)) = 0 \times 0.7, 25 \times 0.7, 50 \times 0.7, 75 \times 0.7, 100 \times 0.7, 125 \times 0.7, \\ 150 \times 0.7, 175 \times 0.7, 200 \times 0.7, 225 \times 0.7, 250 \times 0.7$$

$$= 0, 17.5, 35, 52.5, 70, 87.5, 105, 122.5, 140, 157.5, 175$$

$$= 137,5$$

Kemudian dilakukan normalisasi COA dengan menjumlahkan kedua COA :

$$\text{Total COA} = \text{COA sensor1} + \text{COA sensor2}$$

$$= 137,5 + 137,5$$

$$= 275$$

$$\text{Normalisasi COA sensor1} = \frac{\text{COA sensor1}}{T.CO A}$$

$$= \frac{137,5}{275}$$

$$= 0,5$$

$$\text{Normalisasi COA sensor2} = \frac{\text{COA sensor2}}{T.CO A}$$

$$= \frac{137,5}{275}$$

$$= 0,5$$

Selanjutnya adalah nilai output akhir dari *actuator1* dan *actuator2*

-Nilai output maksimum *actuator1* pada rule adalah 255 :

$$\text{Nilai output akhir} = \text{Output Maksimum } actuator1 \times \text{Normalisasi COA sensor1}$$

$$\text{Nilai output akhir} = 255 \times 0,5 = 127,5$$

-Nilai output maksimum *actuator2* pada rule adalah 0 :

$$\text{Nilai output akhir} = \text{Output Maksimum } actuator2 \times \text{Normalisasi COA sensor2}$$

$$\text{Nilai output akhir} = 0 \times 0,5 = 0$$

Jadi, nilai output untuk *actuator1* adalah 127,5 dan *actuator2* adalah 0.

Berdasarkan pengujian sebelumnya dimana nilai sensor1 935 dan nilai sensor2 364 serta nilai *actuator1* 255 dan nilai *actuator2* 0, dengan hasil output pada

perhitungan fuzzy nilai *actuator1* 127,5 dan nilai *actuator2* 0 maka hasil sudah mendekati sesuai antara perhitungan fuzzy dengan pengaplikasian pada alat.

```

Aktuaor1: 255
Aktuaor2: 0
Sensor1: 935
Sensor2: 364
Aktuaor1: 254
Aktuaor2: 0
Sensor1: 945

```

Gambar 4. 4 Hasil Nilai Sensor1 dan Sesnsor2 serta nilai *actuator1* dan *actuator2*

4. 3 Pemasangan panel surya pada alat penggerak

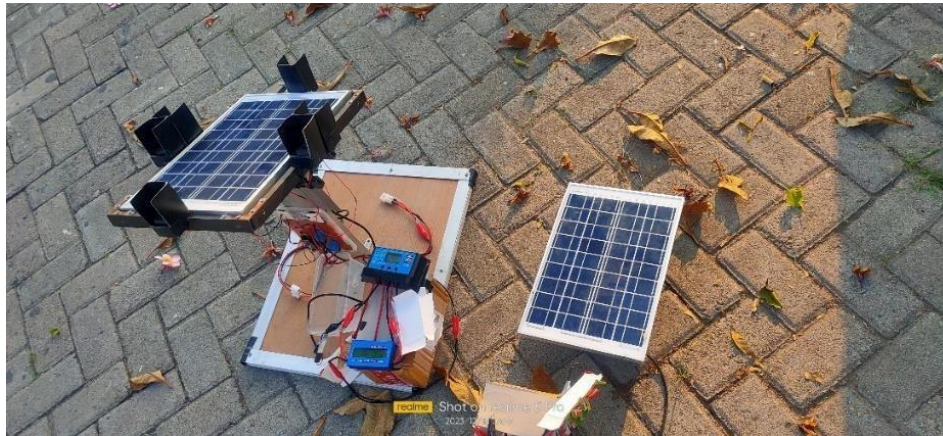
Panel surya ditempatkan di atas penyangga panel dan kemudian dilakukan pengujian pada alat.



Gambar 4. 5 Pemasangan Panel Surya Pada Alat Penggerak

4.4 Pengambilan Data & Analisa

Pengambilan data ini dilakukan untuk mengetahui kinerja dari alat penggerak panel surya otomatis. Data yang diambil adalah data panel surya dengan menggunakan alat dan panel surya tanpa alat penggerak.



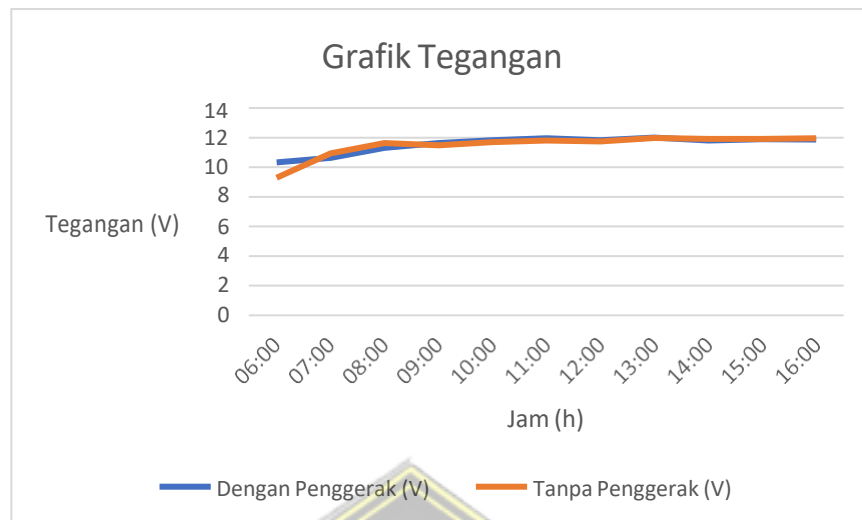
Gambar 4. 6 Panel Surya dengan Penggerak dan Tanpa Penggerak

Pengambilan data dilakukan dalam 10 jam, dimulai pada pukul 06:00 hingga pukul 16:00.

Tabel 4. 1 Tabel Tegangan Yang dihasilkan Panel Surya

Tegangan Yang Dihasilkan Panel Surya		
Jam	Dengan Penggerak (V)	Tanpa Penggerak (V)
06:00	10,32	9,29
07:00	10,64	10,94
08:00	11,3	11,62
09:00	11,62	11,47
10:00	11,82	11,69
11:00	11,94	11,8
12:00	11,82	11,73
13:00	12	11,97
14:00	11,8	11,9
15:00	11,89	11,91
16:00	11,86	11,94
Total	127,01	126,26
Rata - Rata	11,54636364	11,47818182

Pada tabel 4.1 adalah perbandingan tegangan yang dihasilkan oleh panel surya dengan penggerak dan tanpa penggerak. Terlihat tegangan yang dihasilkan oleh panel surya dengan penggerak lebih besar pada pukul 06:00. Setelahnya, tegangan yang dihasilkan panel surya dengan penggerak tidak beda jauh dengan panel surya tanpa penggerak. Grafik perbandingan tegangan panel surya dengan penggerak dan tanpa penggerak dapat dilihat pada gambar 4.6.

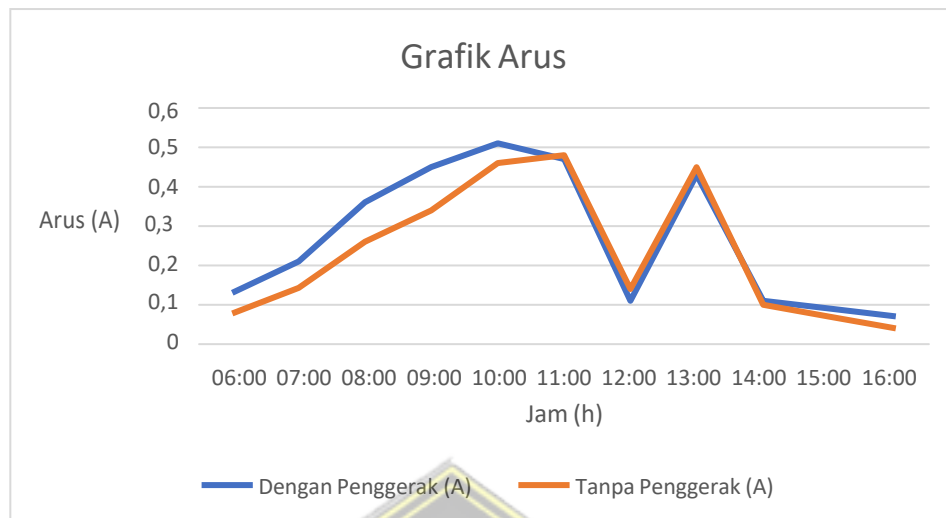


Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan Tegangan Yang dihasilkan oleh Panel Surya dengan Penggerak dan Tanpa Penggerak

Tabel 4. 2 Perbandingan Arus dari Panel Surya

Arus dari Panel Surya		
Jam	Dengan Penggerak (A)	Tanpa Penggerak (A)
06:00	0,13	0,0783
07:00	0,21	0,1429
08:00	0,36	0,26
09:00	0,45	0,34
10:00	0,51	0,46
11:00	0,47	0,48
12:00	0,11	0,14
13:00	0,43	0,45
14:00	0,11	0,1
15:00	0,09	0,07
16:00	0,07	0,04
Total	2,94	2,5612
Rata - Rata	0,267272727	0,232836364

Tabel 4.2 adalah perbandingan Arus yang dihasilkan Panel Surya dengan Penggerak dan Tanpa Penggerak. Panel surya dengan penggerak menghasilkan arus lebih besar pada pukul 06:00 hingga pukul 10:00 dan pukul 14:00 hingga 16:00. Sedangkan Panel Surya Tanpa Penggerak menghasilkan arus lebih besar pada pukul 11:00 hingga pukul 13:00. Grafik perbandingan arus Panel Surya dengan Penggerak dan Tanpa Penggerak dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4. 8 Grafik Perbandingan Arus yang dihasilkan Panel Surya dengan Penggerak dan Tanpa Penggerak

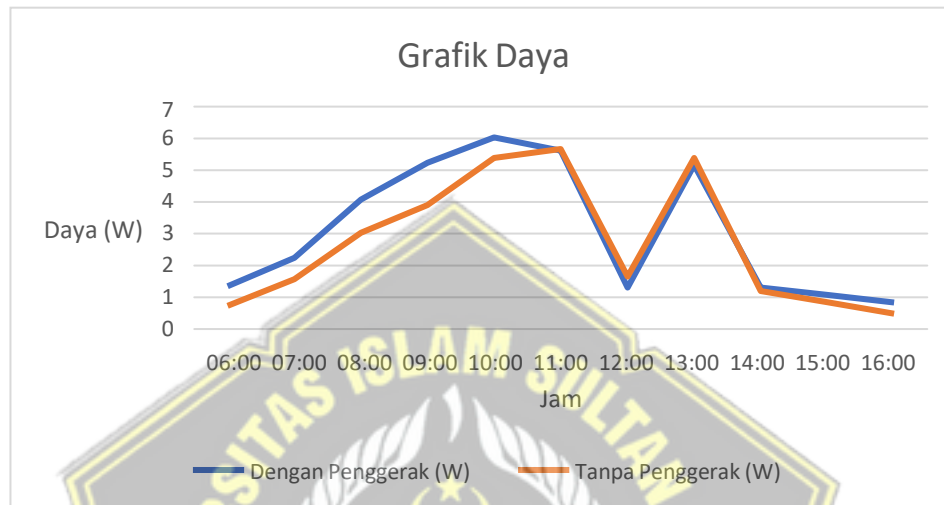
Tabel 4. 3 Perbandingan Daya yang dihasilkan Panel Surya

Daya yang Dihasilkan Panel Surya		
Jam	Dengan Penggerak (W)	Tanpa Penggerak (W)
06:00	1,3403	0,727407
07:00	2,2344	1,563326
08:00	4,068	3,0212
09:00	5,229	3,8998
10:00	6,0282	5,3774
11:00	5,6118	5,664
12:00	1,3002	1,6422
13:00	5,16	5,3865
14:00	1,298	1,19
15:00	1,0701	0,8337
16:00	0,8302	0,4776
Total	34,1702	29,783133
Rata - Rata	3,106381818	2,707557545

Tabel 4.3 adalah tabel Perbandingan Daya yang dihasilkan Panel Surya dengan Penggerak dan Tanpa Penggerak. Pada pukul 06:00 hingga pukul 10:00 dan pukul 14:00 hingga 16:00, panel surya dengan penggerak menghasilkan daya lebih besar. Dan pada pukul 11:00 hingga 13:00 panel surya tanpa penggerak menghasilkan daya lebih besar. Nilai daya pada tabel 4.3 didapat dari perkalian

antara data tegangan pada tabel 4.1 dan data arus pada tabel 4.2 dengan menggunakan rumus 2.1.

Grafik perbandingan Daya yang dihasilkan Panel Surya dapat dilihat pada gambar 4.8.



Gambar 4. 9 Grafik Perbandingan Daya yang dihasilkan Panel Surya

Tabel 4. 4 Energi(Wh) yang digunakan alat penggerak

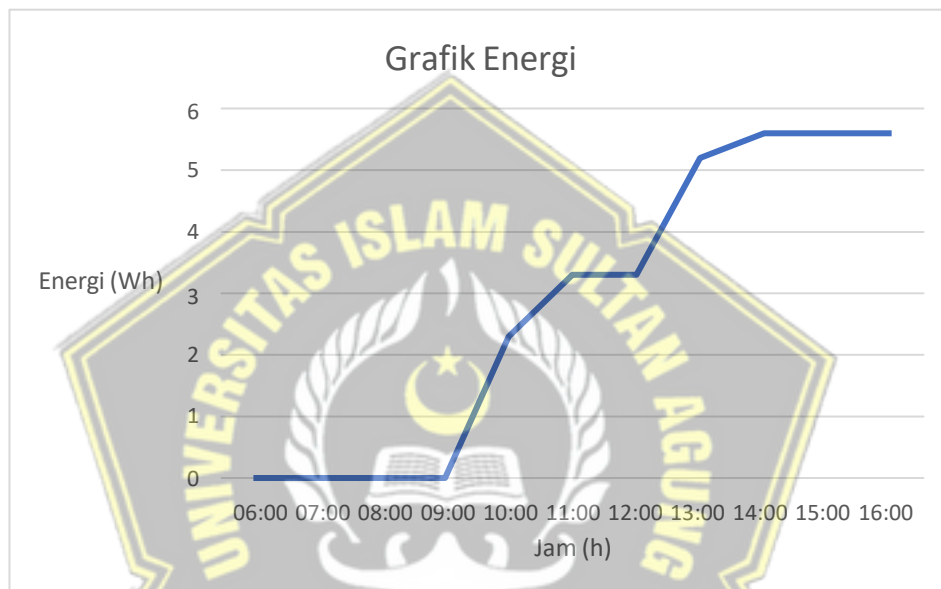
Daya yang digunakan alat penggerak	
Jam	Energi (Wh)
06:00	0
07:00	0
08:00	0
09:00	0
10:00	2,3
11:00	3,3
12:00	3,3
13:00	5,2
14:00	5,6
15:00	5,6
16:00	5,6

Tabel 4.4 adalah jumlah energi(Wh) yang digunakan alat penggerak selama 10 jam. Terlihat pada tabel total energi(Wh) yang digunakan oleh alat sebesar 5,6 Wh. Untuk mengetahui berapa daya yang digunakan oleh alat penggerak dicari dengan rumus 2.2 :

$$P = \frac{5,6 \text{ Wh}}{10 \text{ h}}$$

$$P = 0,56 \text{ W}$$

Jadi, daya yang digunakan oleh alat penggerak adalah 0,56 W. Grafik energi(Wh) yang digunakan oleh alat penggerak dapat dilihat pada gambar 4.9. Rata – rata daya yang digunakan pada alat penggerak selama 10 jam adalah 0,056 W.



Gambar 4. 10 Grafik Energi(Wh) yang digunakan alat penggerak

Untuk mengetahui berapa besar daya yang tersimpan pada alat penggerak panels surya, digunakan rumus :

$$\text{Daya Tersimpan} = \text{Daya panel surya} - \text{Daya yang digunakan}$$

$$\text{Daya Tersimpan} = 34,1702 \text{ W} - 0,56 \text{ W}$$

$$\text{Daya Tersimpan} = 33,6102 \text{ W}$$

Jadi, daya yang tersimpan pada aki penggerak panel surya otomatis sebesar 33,6102 W.

Untuk mengetahui rata – rata daya yang tersimpan pada alat penggerak panel surya, digunakan rumus :

$$\begin{aligned}
 \text{Rata-Rata Daya Tersimpan} &= (\text{Rata-Rata Daya panel surya} - \text{Rata-Rata} \\
 &\quad \text{Daya yang digunakan}) \\
 &= 3,106381818 \text{ W} - 0,056 \text{ W} \\
 &= 3,047 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Berikutnya, untuk mengetahui seberapa efektif alat penggerak panel surya otomatis, dibandingkan dengan panel surya tanpa penggerak menggunakan rumus 2.3 :

$$\text{Presentase Daya Alat Penggerak} = \frac{(3,047 - 2,707557545)}{2,707557545} \times 100\%$$

$$\text{Presentase Daya Alat Penggerak} = 12,56 \%$$

Jadi, alat penggerak panel surya otomatis 12,56 % lebih efektif dibandingkan dengan panel surya tanpa penggerak.

Untuk mengetahui perbandingan daya alat penggerak panel surya otomatis dengan panel surya tanpa penggerak adalah sebagai berikut :

$$\text{Daya Tanpa Penggerak} : \text{Daya Penggerak}$$

$$2,707557545 : 3,047$$

$$1 : 1,12536$$

Untuk menghitung seberapa efisien panel surya dengan penggerak dengan tanpa penggerak terlebih dahulu menghitung banyak energi yang dihasilkan panel surya. Untuk menghitung total energi panel surya dengan penggerak menggunakan rumus 2.5, untuk menghitung total energi panel surya tanpa penggerak menggunakan rumus 2.6, untuk menggunakan total rata-rata energi menggunakan rumus 2.7 dan untuk menghitung total energi panel surya berdasarkan spesifikasi menggunakan rumus 2.8.

$$\begin{aligned}
 E_{\text{total panel dengan penggerak}} &= (34,17 \text{ W} - 0,56 \text{ W}) \times 3600 \\
 &= 33,6102 \times 3600
 \end{aligned}$$

$$= 120.996,72 \text{ J}$$

$$E_{total \text{ rata-rata}} = \frac{120.996,72 \text{ J}}{10 \text{ h}}$$

$$= 12.099,672 \text{ J}$$

$$E_{total \text{ panel tanpa penggerak}} = 29,783133 \times 3600$$

$$= 107.219,2788 \text{ J}$$

$$E_{total \text{ rata-rata}} = \frac{107.219,2788 \text{ J}}{10 \text{ h}}$$

$$= 10.721,92788 \text{ J}$$

$$E_{total \text{ spesifikasi panel surya}} = 0,6 \text{ A} \times 21,6 \text{ V} \times 3600$$

$$= 46.656 \text{ J}$$

Kemudian menghitung efisiensi panel surya dengan penggerak dan tanpa penggerak menggunakan rumus 2.9 :

$$Efisiensi (\eta) \text{ Penggerak} = \frac{12.099,672 \text{ J}}{46.656 \text{ J}} \times 100\%$$

$$Efisiensi (\eta) \text{ Penggerak} = 25,93\%$$

$$Efisiensi (\eta) \text{ Tanpa Penggerak} = \frac{10.721,92788}{46.656} \times 100\%$$

$$Efisiensi (\eta) \text{ Tanpa Penggerak} = 22,98\%$$

$$\begin{aligned} \text{Peningkatan} \\ \text{Efisiensi } (\eta) &= Efisiensi (\eta) \text{ Penggerak} - Efisiensi (\eta) \text{ T. Penggerak} \end{aligned}$$

$$\text{Peningkatan Efisiensi } (\eta) = 25,93\% - 22,98\%$$

$$\text{Peningkatan Efisiensi } (\eta) = 2,95\%$$

Jadi alat penggerak panel surya otomatis lebih efisien 2,95 % daripada panel surya tanpa penggerak.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

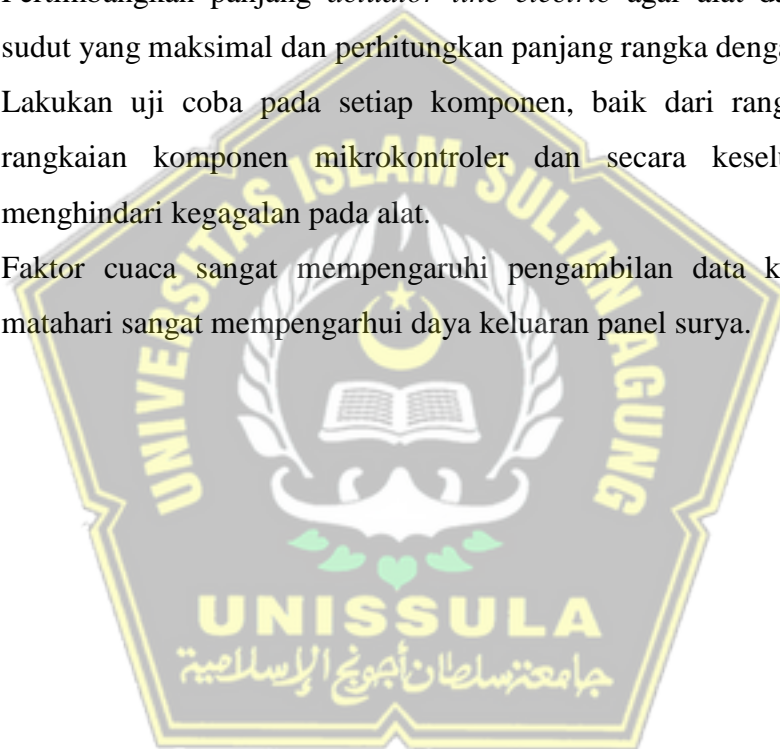
Penggerak panel surya otomatis telah dibangun dan diuji. Kinerja dari alat penggerak panel surya otomatis dibandingkan dengan panel surya tanpa alat penggerak, dengan kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada rancang bangun alat penggerak panel surya otomatis, Fuzzy logic dengan input sensor *Photodiode* digunakan untuk menggerakkan *actuator line electric* berupa motor DC
2. Efisiensi daya pada alat penggerak panel surya otomatis sebesar 2,95%.
3. Daya yang dihasilkan oleh panel surya pada alat penggerak otomatis sebesar 34,17 W, sedangkan Daya yang dihasilkan oleh panel surya tanpa penggerak sebesar 29,8 W. Perbandingan daya antara panel surya tanpa penggerak dan dengan penggerak adalah 1 : 1,13 dengan daya penggerak lebih besar daripada tanpa penggerak, dapat mempercepat pengisian baterai.
4. Jumlah energi yang digunakan untuk menggerakkan alat penggerak panel surya otomatis sebesar 5,6 Wh selama 10 jam. Sehingga daya yang digunakan sebesar 0,56 W. Sehingga daya yang dapat tersimpan pada baterai alat penggerak panel surya otomatis sebesar 33,6 W.
5. Perhitungan logika fuzzy mamdani mendapatkan hasil dengan nilai input yang digunakan untuk sensor1 adalah 935 dan sensor2 adalah 364 dengan hasil untuk perhitungan manual logika fuzzy mamdani memiliki nilai output motor1 adalah 127,5 dan motor2 0. Untuk rule viewer menghasilkan output motor1 adalah 128 dan motor2 0. Dan untuk nilai output yang dihasilkan oleh alat penggerak panel surya otomatis untuk motor1 254 dan motor2 0.

5.2 Saran

Berikut hal – hal yang perlu dipertimbangkan dalam pengembangan selanjutnya.

1. Pemilihan mikrokontroler dengan memori yang lebih besar dapat menjadi pilihan terbaik agar alat dapat bekerja dengan lebih efisien.
2. Pertimbangkan panjang *actuator line electric* agar alat dapat mencapai sudut yang maksimal dan perhitungkan panjang rangka dengan lebih teliti.
3. Lakukan uji coba pada setiap komponen, baik dari rangkaian sensor, rangkaian komponen mikrokontroler dan secara keseluruhan untuk menghindari kegagalan pada alat.
4. Faktor cuaca sangat mempengaruhi pengambilan data karena Cahaya matahari sangat mempengaruhi daya keluaran panel surya.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Direktorat Jenderal EBTKE, “Direktorat Jenderal EBTKE - Kementerian ESDM,” *Siaran Pers*. pp. 1–4, 2023.
- [2] A. Setiawan, B. Yanto, and K. Yasdomi, *Logika Fuzzy Dengan Matlab*. 2018.
- [3] R. Septima, “Buku Referensi Sistem Inferensi Fuzzy Dengan Metode Mamdani,” pp. 1–91, 2023.
- [4] A. Marsela, “Rancang Bangun Penggerak Otomatis Panel Surya Menggunakan Sensor LDR Berbasis Arduino Uno,” *Ranah Res. J. Multidiscip. Res. Dev.*, vol. 2, no. 2, pp. 222–229, 2020, [Online]. Available: <https://jurnal.ranahresearch.com/index.php/R2J/article/view/261>.
- [5] S. Ali and T. . Aziz Pandria, “Penentuan Sudut Kemiringan Optimal Panel Surya Untuk Wilayah Meulaboh,” *J. Mekanova Mek. Inov. dan Teknol.*, vol. 5, no. 1, 2019, doi: 10.35308/jmkn.v5i1.1621.
- [6] W. Wendryanto, G. Widayana, and I. W. Sutaya, “Pengembangan Penggerak Solar Panel Dua Sumbu Untuk Meningkatkan Daya Pada Solar Panel Tipe Polikristal,” *J. Pendidik. Tek. Mesin Undiksha*, vol. 5, no. 3, pp. 62–70, 2019, doi: 10.23887/jjtm.v5i3.20293.
- [7] U. Hasanuddin, P. Artha, and T. Journal, “RANCANG BANGUN SMART ELEKTRIK MENGGUNAKAN SOLAR TRACKER BERBASISI ARDUINO ELECTRIC SMART DESIGN USING ARDUINO-BASED BERBASISI ARDUINO ELECTRIC SMART DESIGN USING ARDUINO-BASED SOLAR TRACKER,” no. October 2021, 2022.
- [8] S. Aksa *et al.*, “Panel Surya,” vol. 7, no. 1. pp. 1–6, 2022, [Online]. Available: https://id.wikipedia.org/wiki/Panel_surya#Cara_kerja.
- [9] D. S. Sukadri, “Buku Panduan Perencanaan, Pembangunan, Operasional dan Pemeliharaan PLTS Atap,” pp. 1–56, 2021, [Online]. Available: <https://mitrahijau.or.id/wp-content/uploads/2022/07/Buku-Panduan-1.pdf>.
- [10] Budi setiarto, “Daya Listrik,” *Encyclopedia of volcanoes.*, no. 1995. p. 662, 2015.
- [11] N. Parhan, “Teknik Listrik Dasar,” vol. 01, no. 1, p. 205, 2013.
- [12] E. Eko Prasetyo, G. Marausna, and R. Rasmi Dewantika Rahmiullah, “Analisis Perbandingan Hasil Daya Listrik Panel Surya Dengan Solar Tracker Dan Tanpa Solar Tracker,” *JTT (Jurnal Teknol. Terpadu)*, vol. 10, no. 2, pp. 77–83, 2022, doi: 10.32487/jtt.v10i2.1426.
- [13] R. Hasrul, “Sistem Pendinginan Aktif Versus Pasif Di Meningkatkan

- Output Panel Surya,” *J. Sain, Energi, Teknol. Ind.*, vol. 5, no. 2, pp. 79–87, 2021, [Online]. Available: <https://journal.unilak.ac.id/index.php/SainETIn/index>.
- [14] S. S. Yatmani, “Sistem kendali Solar Tracker Untuk Meningkatkan efisiensi Daya,” *J. Tek. Mesin ITI*, vol. 4, no. 1, p. 1, 2020, doi: 10.31543/jtm.v4i1.354.
- [15] Rudy Setiawan, “Arduino Nano: Pengertian, fungsi pinout (kaki-kaki), harga, dan Driver.,” *Https://Www.Rsetiawan.Com/2022/02/Arduino-Nano.Html*. 2022.
- [16] I. Y. Basri and D. Irfan, *Komponen Elektronika*, vol. 53, no. 9. 2018.
- [17] Sunan Sarif Hidayatullah, “Pengertian Transistor dan Macam macam Transistor,” *Belajar Online*. 2020.
- [18] S. S. Hidayatullah, “Pengertian photodiode beserta cara kerja dan fungsi photodiode,” *Belajar Online*. 2020, [Online]. Available: <https://www.belajaronline.net/2020/10/pengertian-photodiode-cara-kerja-dan-fungsi.html>.
- [19] A. B. Pulungan, Q. Fajri, and I. Yelfianhar, “Peningkatan Daya Keluaran Panel Surya Menggunakan Single Axis Tracker Pada Daerah Khatulistiwa,” *JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional)*, vol. 7, no. 2, p. 261, 2021, doi: 10.24036/jtev.v7i2.113304.
- [20] B. Dilla, B. Widi, S. Wilyanti, A. Jaenul, Z. M. Antono, and A. Pangestu, “Implementasi Solar Charge Controller Untuk Pengisian Baterai Dengan Menggunakan Sumber Energi Hybrid Pada Sepeda Motor Listrik,” *J. Edukasi Elektro*, vol. 6, no. 2, pp. 128–135, 2022, doi: 10.21831/jee.v6i2.53327.
- [21] A. . Rindengan and A. . L. Yohanes, *Sistem Fuzzy*. 2019.
- [22] M. Rinaldi, “Fuzzy Logic dengan Menggunakan MATLAB,” *Bahan Kuliah ITB*, 2014.
- [23] Madenginer, “Mengenal Software Proteus 8 Professional, Tools Dan Juga Fitur-Fiturnya.,” *Madenginer*. 2023, [Online]. Available: <https://madenginer.com/apa-itu-proteus-8-professional/>.
- [24] E. Afifah, “Mengenal Perangkat Lunak Arduino IDE,” *Kmtech.Id*. 2021, [Online]. Available: <https://www.kmtech.id/post/mengenal-perangkat-lunak-arduino-ide>.
- [25] S. M. Jawd, N. H. Chekhyor, and A. Mahmood, “Types of Solar Cell Batteries and their Energy Charging Methods,” *J. Therm. Eng. Appl.*, vol. 8, no. 2, pp. 16--22p, 2021, doi: 10.37591/JoTEA.