

**RANCANG BANGUN ROBOT PEMBERSIH PANEL SURYA  
MENGUNAKAN METODE *DRY CLEANING* BERBASIS  
*FUZZY LOGIC CONTROLLER***

**PROYEK AKHIR**

Laporan akhir ini dibuat dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan  
Sarjana Terapan Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung



Disusun Oleh :

Muhammad Muflih Rahman	NIM	1052119
Veni Cahyanti	NIM	1052159

**POLITEKNIK MANUFAKTUR NEGERI  
BANGKA BELITUNG  
TAHUN 2024**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**RANCANG BANGUN ROBOT PEMBERSIH PANEL SURYA  
MENGUNAKAN METODE *DRY CLEANING* BERBASIS  
*FUZZY LOGIC CONTROLLER***

Oleh:

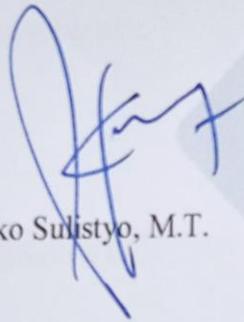
Muhammad Muflih Rahman / 1052119

Veni Cahyanti / 1052159

Laporan akhir ini telah disetujui dan disahkan sebagai salah satu syarat kelulusan  
Program Sarjana Terapan Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

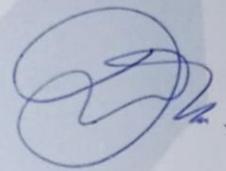
Menyetujui,

Pembimbing 1



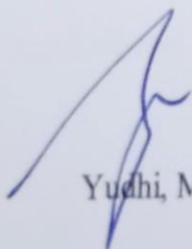
Eko Sulistyono, M.T.

Pembimbing 2



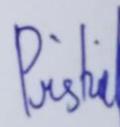
Indra Dwisaputra, M.T.

Penguji 1



Yudi, M.T.

Penguji 2



Priestiani, S.P.,M.P.

## PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa 1 : Muhammad Muflih Rahman NIM: 1052119

Nama Mahasiswa 2 : Veni Cahyanti NIM: 1052159

Dengan Judul : Rancang Bangun Robot Pembersih Panel Surya  
Menggunakan Metode *Dry Cleaning* Berbasis *Fuzzy Logic Controller*

Menyatakan bahwa laporan akhir ini adalah hasil kerja kami sendiri dan bukan merupakan plagiat. Pernyataan ini kami buat dengan sebenarnya dan bila ternyata dikemudian hari ternyata melanggar pernyataan ini, kami bersedia menerima sanksi yang berlaku.

Sungailiat, 28 April 2024

Nama Mahasiswa

Tanda Tangan

1. Muhammad Muflih Rahman



.....

2. Veni Cahyanti



.....

## ABSTRAK

*Indonesia, sebagai negara dengan potensi radiasi matahari tinggi, berkomitmen untuk meningkatkan penggunaan energi terbarukan, termasuk energi surya. Penurunan efisiensi panel surya akibat penumpukan debu dan kotoran menuntut solusi efektif untuk pemeliharaan. Penelitian ini mengembangkan robot pembersih panel surya menggunakan metode dry cleaning berbasis fuzzy logic controller. Sistem ini dirancang untuk menghindari penggunaan air dan bahan kimia, serta meningkatkan efisiensi pembersihan. Dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP32 dan sensor warna TCS3200, robot secara otomatis mengatur jadwal dan intensitas pembersihan berdasarkan data debu. Pengujian menunjukkan efisiensi panel surya dalam kondisi berdebu menurun hingga 16.50% pada jam 11.00 dengan daya terendah 15.55 W dan efisiensi 21.27% pada sore hari. Sebaliknya, pada kondisi tidak berdebu daya output yang dihasilkan mencapai 22.74 W dengan efisiensi 36.17%. Hasil ini menegaskan perlunya pembersihan rutin untuk mempertahankan kinerja optimal panel surya. Implementasi fuzzy logic terbukti efektif dalam menyesuaikan pembersihan secara otomatis, menawarkan solusi yang ramah lingkungan dan mengurangi biaya operasional terkait pembersihan panel surya.*

**Kata kunci:** *Panel Surya, Pembersihan Kering, Fuzzy Logic Controller, Mikrokontroler ESP32, Efisiensi Panel Surya.*

## ABSTRACT

*Indonesia, as a country with high solar radiation potential, is committed to increasing the use of renewable energy, including solar energy. The decrease in solar panel efficiency due to dust and dirt accumulation requires an effective solution for maintenance. This study develops a solar panel cleaning robot using a dry cleaning method based on a fuzzy logic controller. This system is designed to avoid the use of water and chemicals, and to increase cleaning efficiency. By utilizing the ESP32 microcontroller and TCS3200 color sensor, the robot automatically sets the cleaning schedule and intensity based on dust data. Tests show that the efficiency of solar panels in dusty conditions decreases to 16.50% at 11:00 with the lowest power of 15.55 W and an efficiency of 21.27% in the afternoon. Conversely, in non-dusty conditions, the output power produced reaches 22.74 W with an efficiency of 36.17%. These results emphasize the need for regular cleaning to maintain optimal solar panel performance. The implementation of fuzzy logic has proven effective in automatically adjusting cleaning, offering an environmentally friendly solution and reducing operational costs associated with solar panel cleaning.*

**Keywords:** *Solar Panels, Dry Cleaning, Fuzzy Logic Controller, ESP32 Microcontroller, Solar Panel Efficiency.*

## KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas segala berkat, rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulisan laporan Proyek Akhir yang berjudul “**Rancang Bangun Robot Pembersih Panel Surya Menggunakan Metode *Dry Cleaning* Berbasis *Fuzzy Logic Controller***” dapat terselesaikan dengan baik dan sesuai dengan waktu yang telah ditentukan.

Penulisan makalah ini dibuat sebagai salah satu syarat dan kewajiban kelulusan Program Studi Diploma IV Teknik Elektronika pada jurusan Teknik Elektro dan Informatika Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung. Dengan adanya laporan ini diharapkan dapat memberikan pemahaman kepada pembaca mengenai Proyek Akhir yang disusun oleh penulis. Laporan Proyek Akhir ini dibuat berdasarkan pada pengembangan pada jurnal-jurnal penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Pada proyek akhir ini, penulis mencoba menerapkan ilmu pengetahuan yang telah didapatkan selama menempuh pendidikan di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.

Penulis menyadari bahwa laporan ini tidak akan terwujud tanpa bantuan, bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua tercinta dan keluarga besar yang telah memberikan dukungan baik moral maupun materil sehingga penulis bisa memberikan hasil yang terbaik.
2. Bapak I Made Andik Setiawan, M.Eng., Ph.D. selaku Direktur Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
3. Bapak Eko Sulistyono, M.T. selaku Wakil Direktur III Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung sekaligus dosen pembimbing 1 dalam proyek akhir ini.

4. Bapak Indra Dwisaputra, S.ST., M.T. selaku kepala program studi DIV Teknik Elektronika Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung sekaligus dosen pembimbing 2 dalam proyek akhir ini.
5. Bapak Zanu Saputra M.Tr.T selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro dan Informatika Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
6. Seluruh Dosen dan staf pengajar serta karyawan Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
7. Sahabat penulis yang telah memberika support selama ini dan partner kerja proyek akhir karena telah berjuang dan bekerja sama dengan baik.
8. Seluruh pihak yang ikut terlibat baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian proyek akhir ini yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih terdapat kekurangan karena terbatasnya pengetahuan dan kemampuan penulis. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat dibutuhkan penulis untuk memperbaiki dan mengembangkan penulisan laporan ini pada waktu yang akan datang. Penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat dan memberikan kontribusi positif bagi pihak yang berkepentingan khususnya serta pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknologi.

Sungailiat, 24 Juli 2024

Penulis

# DAFTAR ISI

	HALAMAN
<b>LEMBAR</b>	
<b>PENGESAHAN</b> .....	Error!
Bookmark not defined.	
<b>PERNYATAAN BUKAN PLAGIAT</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xii</b>
<b>BAB I</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Proyek Akhir.....	4
<b>BAB II</b> .....	<b>5</b>
2.1 Panel Surya.....	5
2.1.1 Panel Surya <i>Monocrystalline</i> .....	5
2.1.2 Prinsip Kerja Panel Surya.....	6
2.1.3 Perhitungan Efisiensi Panel Surya.....	7
2.2 Metode Pembersihan Kering ( <i>Dry Cleaning</i> ).....	8
2.3 Sistem Pengendali.....	11

2.4 Mikrokontroler Esp32.....	11
2.5 Modul RTC DS3231.....	13
2.6 Motor DC RS-775.....	13
2.7 Sensor Warna TCS3200.....	15
2.8 MIT App Inventor.....	15
2.9 <i>Fuzzy Logic Controler (FLC)</i> .....	16
2.9.1 Metode <i>Fuzzy Mamdani</i> .....	17
<b>BAB III.....</b>	<b>19</b>
3.1 Pengumpulan dan Pengolahan Data.....	22
3.2 Perancangan <i>Hardware</i> dan <i>Software</i> .....	22
3.2.1 Perancangan <i>Hardware</i> Kontruksi.....	22
3.2.2 Perancangan <i>Software</i> .....	23
3.3 Pembuatan <i>Hardware</i> dan <i>Software</i> .....	24
3.3.1 Pembuatan <i>Hardware</i> .....	24
3.3.2 Pembuatan <i>Software</i> .....	24
3.4 Pengujian <i>Hardware</i> dan <i>Software</i> .....	25
3.4.1 Pengujian <i>Hardware</i> .....	25
3.4.2 Pengujian <i>Software</i> .....	25
3.4.3 Pengujian Keseluruhan Sistem.....	25
3.5 Evaluasi dan Perbaikan.....	26
3.6 Pembuatan Laporan Proyek Akhir.....	26
<b>BAB IV.....</b>	<b>27</b>
4.1 Deskripsi Alat.....	27
4.2 Perancangan dan Pembuatan <i>Hardware</i> Kontruksi Robot Pembersih Panel Surya.....	28

4.2.1 Perancangan <i>Hardware</i> Secara Mekanik.....	28
4.2.2 Pembuatan <i>Hardware</i> secara Mekanik.....	29
4.2.3 Perancangan dan Pembuatan <i>Hardware</i> Elektrik.....	30
4.3 Pengujian <i>Hardware</i> Elektrik Robot Pembersih Panel Surya.....	32
4.3.1 Pengujian Sensor Warna TCS3200.....	32
4.3.2 Hasil Pengujian Sensor Warna TCS3200.....	35
4.4 Perancangan, Pembuatan <i>Software Interface</i> pada <i>Smartphone</i> dan Implementasi <i>Fuzzy Logic Controller</i> .....	37
4.4.1 Perancangan dan Pembuatan <i>Interface</i> pada <i>Smartphone</i> .....	37
4.4.2 Implementasi <i>fuzzy logic controller</i> .....	40
4.5 Pengujian Alat Keseluruhan.....	40
<b>BAB V.....</b>	<b>45</b>
<b>PENUTUP.....</b>	<b>45</b>
5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Saran.....	45
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>48</b>
<b>RIWAYAT HIDUP.....</b>	<b>48</b>
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....</b>	<b>49</b>
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....</b>	<b>50</b>
1. Data Pribadi.....	<b>Error!</b>
<b>Bookmark not defined.</b>	
2. Riwayat Pendidikan.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

3. Pengalaman Kerja.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
--------------------------	-------------------------------------

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Panel surya <i>Monocrystalline</i> .....	6
Tabel 2.2 Spesifikasi ESP32 .....	12
Tabel 2.3 Spesifikasi Modul RTC DS3231.....	13
Tabel 2.4 Spesifikasi Motor DC RS-775 .....	14
Tabel 4.1 Tabel Koneksi Pin antara Sensor Warna TCS3200 dan ESP32.....	33
Tabel 4.2 Pengujian Sensor Pendeteksi Debu.....	36
Tabel 4.3 Pengujian Panel Surya Saat Kondisi Berdebu .....	42
Tabel 4.4 Pengujian Panel Surya Saat Kondisi Tidak Berdebu .....	42
Tabel 4.5 Pengujian Panel Surya menggunakan <i>Fuzzy Logic Controller</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Panel Surya <i>Monocrystalline</i> .....	6
Gambar 2.2 Cara kerja sel surya silikon .....	7
Gambar 2.3 Metode Pembersihan Secara Manual .....	9
Gambar 2.4 Pembersihan Panel Surya Menggunakan <i>Robot Solar Cleaner</i> .....	10
Gambar 2.5 ESP32 .....	12
Gambar 2.6 Modul RTC DS3231 .....	13
Gambar 2.7 Motor DC RS-775 .....	14
Gambar 2.8 Sensor Warna TC3200 .....	15
Gambar 2.9 Mit App Inventor .....	16
Gambar 2.10 Tahapan Fuzzy Logic .....	17
Gambar 3.1 Diagram Alir Pelaksanaan Proyek Akhir .....	21
Gambar 3.2 Perancangan <i>Hardware</i> Elektrik .....	23
Gambar 4.1 Blok Diagram Prinsip Kerja Robot .....	27
Gambar 4.2 Rancangan Kontruksi Robot Pembersih Panel Surya .....	28
Gambar 4.3 Tampak Samping Rancangan Robot Pembersih Panel Surya .....	29
Gambar 4.4 Tampak Atas Rancangan Robot Pembersih Panel Surya .....	29
Gambar 4.5 Tampak Depan Rancangan Robot Pembersih Panel Surya .....	29
Gambar 4.6 Tampak Depan Kontruksi Robot Pembersih .....	30
Gambar 4.7 Tampak Samping Kontruksi Robot Pembersih .....	30

Gambar 4.8 Tampak Atas Kontruksi Robot Pembersih.....	30
Gambar 4.9 Wiring Sistem Kontrol Robot Pembersih .....	31
Gambar 4.10 Rangkaian Sistem Kontrol Robot Pembersih.....	32
Gambar 4.11 Skema Pengkabelan Sensor Warna dengan ESP32.....	33
Gambar 4.12 Rangkaian Sensor Warna TCS3200 dengan ESP32 .....	33
Gambar 4.13 Diagram Blok Pengujian Sensor Warna TCS3200 .....	35
Gambar 4.14 Pengujian Sensor Warna TCS3200 pada objek daun hijau.....	36
Gambar 4.15 Pengujian Sensor Warna pada objek daun kering.....	36
Gambar 4.16 Tampilan Data yang disimpan pada <i>Firestore</i> .....	38
Gambar 4.17 Tampilan Menu pada MIT App Inventor.....	39
Gambar 4.18 Tampilan Program Database .....	40
Gambar 4.19 Kondisi Panel Surya Sebelum Dibersihkan .....	41
Gambar 4.20 Kondisi Panel Surya Setelah Dibersihkan.....	41
Gambar 4.21 Pengukuran Intensitas Matahari Menggunakan Lux Meter .....	42

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1 : Daftar Riwayat Hidup

Lampiran 2 : Program

# BAB I

## PENDAHULUAN

Hasrul, R. (2021). Sistem Pendinginan Aktif Versus Pasif Di Meningkatkan Output Panel Surya. *J. Sain, Energi, Teknol. Ind*, 5(2), 79-87.

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Indonesia memiliki peluang yang besar dalam mengembangkan energi matahari sebagai sumber energi terbarukan. Sebagai negara beriklim tropis, Indonesia telah menghasilkan sinar matahari dengan intensitas tertinggi sepanjang tahun. Dibandingkan dengan negara lain, Indonesia memiliki radiasi matahari yang cukup stabil [1]. Pemerintah Indonesia berkomitmen untuk mencapai target pada tahun 2025 - 2050. Salah satu komitmen utama adalah meningkatkan penggunaan energi terbarukan, termasuk energi surya dengan target 23% penggunaan energi terbarukan [2]. Pemerintah memiliki peran penting dalam memanfaatkan energi terbarukan. Oleh karena itu, diperlukan strategi yang tepat untuk memastikan tujuan pemanfaatan energi terbarukan dapat terwujud.

Energi surya adalah sumber energi yang dipilih karena matahari menyediakan dua energi penting bagi kehidupan, yaitu panas dan cahaya. Energi surya menjadi sumber energi terbarukan yang tidak pernah habis jika digunakan dalam jangka panjang. Seiring perkembangan teknologi, manusia mulai mengembangkan panel surya sebagai alat untuk memanfaatkan energi matahari menjadi sumber energi listrik [3]. Panel surya memiliki sel surya yang terdiri dari bahan semikonduktor yang bersifat anti-reflektif. Panel surya menghasilkan energi listrik melalui pengaruh dari intensitas cahaya yang diterima. Panel surya akan menentukan tegangan hasil keluaran panel surya melalui besar kecil satuan watt puncak. Panel surya adalah bentuk sumber energi listrik alternatif yang dapat dimanfaatkan pada bangunan tempat tinggal dan perusahaan industri yang membutuhkan cukup banyak energi listrik. Keuntungan dari penggunaan panel surya adalah mengurangi ketergantungan dampak polusi dan biaya pemeliharaan yang rendah. Sama seperti perangkat elektronik, panel surya juga mengalami penurunan kinerja seiring bertambahnya usia. Meskipun panel surya memiliki

masa pakai yang panjang, efisiensi kinerja panel dapat menurun seiring berjalannya waktu. Salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja panel surya yaitu adanya pengendapan debu dan kotoran. Oleh karena itu, pemeliharaan yang teratur dibutuhkan untuk mengoptimalkan kinerja panel surya.

Pada umumnya panel surya dibersihkan menggunakan metode pembersihan basah yang melibatkan penggunaan air dan bahan kimia. Akan tetapi, metode pembersihan basah ini memiliki kekurangan seperti penggunaan air yang tinggi, mengakibatkan risiko kerusakan, terjadinya korosi pada bagian logam, kerusakan pada koneksi listrik, meninggalkan residu basah yang dapat mengurangi efisiensi panel, berpotensi merusak lingkungan, dan memerlukan biaya operasional yang tinggi bagi beberapa daerah yang mempunyai keterbatasan air.

Mengacu pada permasalahan tersebut ada beberapa penelitian yang merancang alat pembersih panel surya yaitu [4] yang telah berhasil membuat alat pembersih panel surya yang dapat dikendalikan melalui jarak jauh menggunakan android pada modul WiFi DT-06 dan Bluetooth HC-05. Sistem pada alat ini terdiri dari pengendalian motor sebagai penggerak robot dan roller pembersih, serta sensor sebagai pengaman apabila robot berjalan melewati garis batas pada panel surya. Kemudian penelitian [5] telah berhasil membuat alat pembersih panel surya yang dapat dikontrol secara otomatis dan dapat beroperasi berdasarkan waktu yang telah ditentukan. Penelitian lainnya [6] juga telah membuat alat pembersih panel surya otomatis menggunakan *fuzzy logic controller*. Sistem ini memproses tegangan, arus, dan debu untuk menentukan tindakan pada alat pembersih panel surya. Debu yang terakumulasi akan dibersihkan secara otomatis ketika kondisi memenuhi logika pada sistem *fuzzy* yang telah ditetapkan. Ini memastikan bahwa panel surya tetap bersih dan dapat beroperasi dengan efisiensi optimal.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan sebelumnya, sebagian peneliti merujuk pada kontrol jarak jauh dan pembersihan otomatis. Banyak penelitian yang belum membahas dampak penggunaan air yang berlebihan bagi lingkungan dan kerusakan komponen panel surya akibat korosi. Oleh karena itu, proyek akhir ini akan dibuat sebuah robot pembersih panel surya menggunakan metode *dry cleaning* berbasis *fuzzy logic controller*, sebagai pengembangan dari penelitian alat

pembersih panel surya. Robot ini akan menggunakan metode *dry cleaning* untuk menghindari penggunaan air berlebih dan bahan kimia yang dapat merusak panel surya. Metode ini dapat membantu daerah yang mempunyai keterbatasan sumber daya air serta mengurangi biaya operasional pengolahan air. Robot dapat dikontrol dan monitoring melalui android dengan melihat data *real-time* kondisi permukaan panel, status data sensor dan pengontrolan kendali jarak jauh. Pada proyek akhir ini, *fuzzy logic* digunakan sebagai pendeteksi tingkat ketebalan debu dan mengatur jadwal pembersihan berdasarkan data sensor. Dengan dibuat alat ini diharapkan robot ini dapat menjaga panel surya tetap bersih tanpa risiko kerusakan dan meningkatkan efisiensi penggunaan panel surya.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berikut rumusan masalah yang didapat dari latar belakang diatas :

1. Bagaimana merancang robot pembersih panel surya dengan metode *dry cleaning* berbasis *fuzzy loic controller* untuk menghindari penggunaan air dan bahan kimia?
2. Bagaimana mengimplementasikan sistem kontrol dan monitoring jarak jauh melalui aplikasi android untuk robot pembersih panel surya?
3. Bagaimana *fuzzy logic controller* dapat digunakan untuk mengatur jadwal pembersihan melalui data sensor warna?

## 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari proyek akhir ini adalah :

1. Penggunaan *fuzzy logic controller* berfokus untuk memproses data yang diperoleh dari sensor warna dan menentukan waktu pembersihan.
2. Robot pembersih panel surya dibuat untuk digunakan pada panel surya 100 Wp, berukuran 100 cm x 30 cm.
3. Sistem kontrol dan monitoring dilakukan melalui aplikasi android, yang meliputi pemantauan *real-time* dan pengaturan waktu pembersihan. Aplikasi ini tidak akan mencakup fitur pengawasan atau analisis di luar kondisi permukaan panel dan data sensor debu.

#### 1.4 Tujuan Proyek Akhir

Adapun tujuan yang ingin dicapai pada proyek akhir ini yaitu:

1. Merancang robot pembersih yang dapat membersihkan panel surya secara efektif menggunakan metode *dry cleaning berbasis fuzzy logic controller*, sehingga menghindari penggunaan air dan bahan kimia yang dapat menyebabkan kerusakan dan dampak lingkungan.
2. Membuat sistem kontrol menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor warna sebagai pendeteksi debu, dan motor DC sebagai penggerak pada robot.
3. Mengimplementasikan *fuzzy logic controller* untuk mengatur jadwal dan intensitas pembersihan berdasarkan data dari sensor debu, sehingga pembersihan dilakukan secara otomatis dan tepat waktu sesuai kondisi aktual panel surya.

## **BAB II**

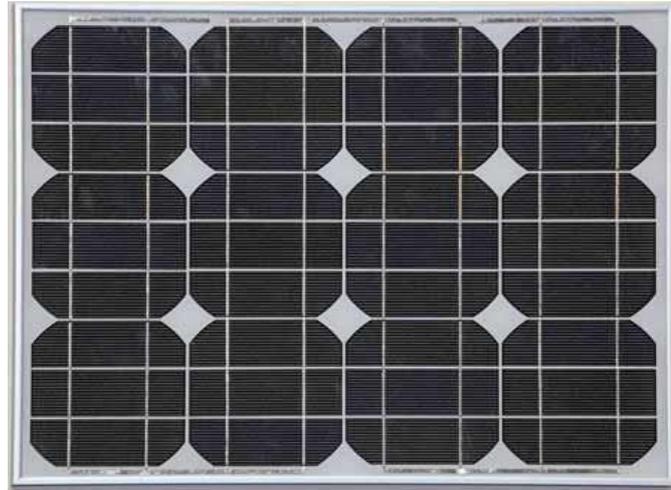
### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Panel Surya**

Panel surya terdiri dari sel surya yang terbuat dari bahan semikonduktor. Setiap sel surya akan menghasilkan tegangan sekitar 0.5 V dan sel-sel ini akan dihubungkan seri atau paralel untuk menghasilkan tegangan juga arus yang lebih besar. Panel surya dimanfaatkan untuk mengonversi sinar matahari yang mengandung energi foton menjadi listrik. Panel surya bekerja berdasarkan prinsip photovoltaic, yaitu dengan mengubah energi foton dari radiasi matahari yang diterima menjadi energi listrik. Energi matahari menjadi sumber energi yang dipilih karena matahari menyediakan dua energi esensial bagi kehidupan, yakni energi panas dan cahaya [7].

##### **2.1.1 Panel Surya *Monocrystalline***

Panel surya memiliki beberapa jenis dan masing-masing telah memiliki karakteristik dan keunggulan sendiri. Jenis-jenis panel surya tersebut yaitu *Monocrystalline*, *Polycrystalline*, dan *Thin-film*. Namun, proyek akhir ini akan menggunakan panel surya jenis *monocrystalline* sebagai bahan uji coba. Penggunaan jenis panel ini didasarkan pada beberapa alasan utama seperti panel *monocrystalline* yang telah dikenal memiliki efisiensi konversi energi mencapai 14 – 20%, memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan jenis panel lainnya, memiliki umur panjang dan mampu bertahan pada cuaca yang ekstrem dengan kondisi cuaca yang sangat panas, dan panel surya *monocrystalline* ini memiliki permukaan lebih halus serta seragam, sehingga memudahkan dalam pembersihan yang lebih efisien. Akan tetapi, panel ini memiliki kelemahan jika sinar matahari yang didapat kurang maka efisiensi panel surya ini akan menurun [8].



Gambar 2.1 Panel Surya *Monocrystalline*

Berikut merupakan spesifikasi panel surya monokristalin 100 Wp, dapat dilihat pada tabel 2.1.

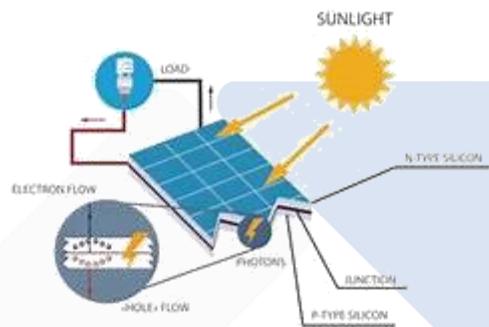
Tabel 2.1 Spesifikasi Panel surya *Monocrystalline*.

No	Parameter	Keterangan
1.	Modul Type	SP-100-P36
2.	Rated Max.Power (Pmax)	100W
3.	Number of Cells	36
4.	Max.System Voltage	700V
5.	Voltage at Pmax (Vmp)	17.6V
5.	Current at Pmax (Imp)	5.69A
6.	Open Circuit Voltage (Voc)	22.6V
7.	Short-Circuit Current (Isc)	6.09A
8.	Dimension (mm)	1020*670*35

### 2.1.2 Prinsip Kerja Panel Surya

Panel surya beroperasi berdasarkan efek fotovoltaiik, di mana cahaya matahari diubah menjadi listrik. Proses ini dimulai ketika foton dari sinar matahari diserap oleh sel-sel fotovoltaiik, yang umumnya terbuat dari silikon. Energi dari foton tersebut membuat elektron dalam atom-atom semikonduktor berpindah ke tingkat energi yang lebih tinggi, sehingga terbentuk pasangan elektron-lubang.

Sel-sel fotovoltaik ini memiliki dua lapisan semikonduktor dengan doping yang berbeda, yakni tipe-p dan tipe-n. Perbedaan ini menghasilkan medan listrik internal yang mengarahkan elektron ke lapisan tipe-n dan lubang ke lapisan tipe-p. Elektron bebas yang dihasilkan kemudian dikumpulkan oleh kontak metalik di kedua sisi sel surya, menghasilkan arus listrik yang mengalir melalui sirkuit eksternal [9]. Arus listrik ini dapat dimanfaatkan untuk berbagai tujuan seperti, mengisi baterai, mengoperasikan perangkat elektronik atau juga diubah menjadi energi AC untuk keperluan rumah tangga.



Gambar 2.2 Cara kerja sel surya silikon

### 2.1.3 Perhitungan Efisiensi Panel Surya

Perhitungan efisiensi panel surya sangat diperlukan untuk menganalisis efisiensi panel sebelum dan sesudah dibersihkan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui seberapa efektif robot pembersih panel surya dalam meningkatkan efisiensi panel surya [10]. Efisiensi dinyatakan dalam persentase (%) dan menggunakan perhitungan dengan rumus berikut:

- **Rumus Daya Keluaran (  $P$  )**

$$P_{out} = V \times I$$

Keterangan:

$P_{out}$ : Daya Keluaran (Watt/W)

$I$  : Arus (A)

$V$  : Tegangan (V)

- **Rumus Daya Masukan ( $P_{in}$ )**

$$P_{in} = E \times A$$

Keterangan:

$P_{in}$  : Daya input (Watt/W)

$E$  : Intensitas cahaya matahari ( $W/m^2$ )

$A$  : Luas permukaan panel surya ( $m^2$ )

- **Rumus Perhitungan Luas Permukaan ( $m^2$ )**

$$A = P \times L$$

Keterangan:

$A$  : Luas permukaan panel surya ( $m^2$ )

$P$  : Panjang panel surya

$L$  : Lebar panel surya

- **Rumus Efisiensi (%)**

$$\eta = \frac{P_{out}}{\text{Intensitas Cahaya } (W/m^2) \times \text{Luas Permukaan } (m^2)} \times 100 \%$$

Keterangan :

$\eta$  : Efisiensi panel surya

$P_{out}$  : Daya output maksimum (Wp)

$P_{in}$  : Daya input panel surya (W)

Efisiensi panel surya bisa saja berubah akibat beberapa faktor seperti debu, kotoran, daun, dan intensitas cahaya matahari.

## 2.2 Metode Pembersihan Kering (*Dry Cleaning*)

Umumnya pemeliharaan panel surya melibatkan beberapa metode pembersihan yang masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri. Beberapa metode pembersihan yang umum digunakan sebagai berikut:

### 1. Pembersihan Manual

Metode pembersihan ini merupakan metode pembersihan secara manual yang melibatkan tenaga manusia. Metode pembersihan ini dilakukan dengan menggunakan peralatan sederhana seperti sikat, kain, dan air. Dalam pembersihan

ini, pekerja akan naik ke area instalasi panel surya dan membersihkan permukaan panel secara manual. Meskipun cukup efektif dalam membersihkan permukaan panel dari debu, kotoran dan residu lainnya, pembersihan secara manual akan membutuhkan waktu yang cukup lama dan membutuhkan tenaga yang signifikan, terutama jika panel surya berukuran besar. Metode pembersihan ini juga memiliki resiko yang cukup besar terhadap keselamatan pekerja jika panel surya terpasang di atap atau lokasi yang cukup sulit dijangkau.



Gambar 2.3 Metode Pembersihan Secara Manual

## 2. Pembersihan Basah

Metode pembersihan basah adalah salah satu yang paling umum digunakan dalam membersihkan panel surya. Metode ini akan menggunakan penggunaan air sebagai media utama dalam menghilangkan debu dan kotoran dari permukaan panel surya. Pembersihan ini akan menggunakan tekanan air yang cukup tinggi untuk mengangkat dan menghilangkan partikel-partikel yang menempel pada panel surya. Tidak hanya air, biasanya pembersihan basah akan melibatkan deterjen atau bahan kimia khusus untuk membantu melarutkan kotoran yang sulit dibersihkan. Metode ini akan menggunakan selang bertekanan tinggi, sistem penyemprotan otomatis, dan sikat yang diintegrasikan dengan aliran air. Beberapa sistem juga dilengkapi dengan perangkat otomatis yang dapat dijadwalkan untuk membersihkan panel secara berkala tanpa bantuan manusia [11]. Meskipun metode ini efektif dalam membersihkan partikel debu dan kotoran pada panel surya, metode pembersihan ini memiliki beberapa kekurangan. Salah satunya penggunaan air yang cukup besar, ini bisa menjadi masalah bagi beberapa daerah

yang mengalami kelangkaan air karena harus menyiapkan biaya operasional yang cukup besar untuk penyediaan air. Selain itu, penggunaan air yang berlebih juga bisa mengakibatkan korosi atau kerusakan komponen panel sehingga mengurangi umur pakai panel surya.



Gambar 2.4 Pembersihan Panel Surya Menggunakan *Robot Solar Cleaner*

Setelah memahami metode pembersihan secara manual dan pembersihan basah yang telah diketahui kelebihan dan kekurangannya. Dengan demikian, akan dikembangkan metode pembersihan panel surya menggunakan metode *dry cleaning* atau pembersihan kering. Pembersihan ini akan membersihkan panel tanpa menggunakan air dan bahan kimia, yang lebih ramah lingkungan dan biaya operasional yang lebih sedikit. Metode ini menggunakan kain microfiber yang akan dirancang secara otomatis membersihkan debu, kotoran, daun, dan air yang dapat mengurangi efisiensi panel surya. Kain microfiber ini dipilih karena seratnya yang halus dan lembut, sehingga saat membersihkan kain tidak menyebabkan goresan. Kemudian, penerapan pembersihan kering ini akan melibatkan sistem kontrol yang akan membersihkan panel surya secara otomatis dan dapat beroperasi sesuai jadwal pembersihan atau kondisi tertentu. Metode ini tidak hanya mengurangi konsumsi air dan menghindari potensi kerusakan akibat bahan kimia, tetapi juga mengurangi biaya operasional dan perawatan jangka panjang.

### **2.3 Sistem Pengendali**

Pada penelitian [12] telah membahas sebuah sistem pengendali melalui android yang akan membantu oprator dalam pengontrolan robot pembersih. Pada sistem ini peneliti menggunakan bluetooth untuk terhubung pada android, robot ini akan mengirimkan informasi melalaui notifikasi sms, yang mana robot akan mengirimkan sms dari data yang terdeteksi objek oleh sensor ultrasonik. Kemudian pada penelitian [13] yang juga membahas sistem pengedali robot menggunakan smartphone, pengendalian ini berupa gerak robot yang dapat dikendalikan dengan sensor akselerometer. Robot ini dapat berkomunikasi pada smartphone melalui jaringan bluetooth sebagai perintah pengendalian. Jarak koneksi yang dapat dijangkau oleh bluetooth HC-06 ini sekitar 12 meter.

Berdasarkan penelitian diatas yang menggunakan sistem pengendalian melalui *smartphone*, proyek akhir ini akan mengembangkan aplikasi pengendalian robot pembersih menggunakan MIT App Inventor Android. Aplikasi ini akan membantu memantau kondisi permukaan panel dan status pembersihan. Untuk memperluas jangkauan komunikasi robot, proyek ini menggunakan jaringan Wifi, ini akan membantu pengontrolan dan monitoring robot pembersih dari jarak yang lebih jauh dibandingkan dengan jaringan bluetooth, dan memberikan kontribusi lebih kepada oprator untuk mengakses sistem dri beberapa lokasi, selagi masih terhubung ke jaringan yang sama. Aplikasi Android akan memungkinkan pengguna atau oprator untuk mengatur jadwal pembersihan otomatis berdasarkan waktu atau kondisi tertentu yang dideteksi oleh sensor. Aplikasi ini juga akan menyediakan fitur monitoring *real-time*, yang memungkinkan pengguna untuk melihat data terkini tentang kondisi panel surya dan status operasional robot.

### **2.4 Mikrokontroler ESP32**

Mikrokontroler ESP32 telah dikenal dengan kemampuannya dalam memproses fitur konektivitas nirkabel pada jaringan Wi-fi dan Bluetooth. Keunggulan ESP32 dapat dilihat dari pin out, pin analog, memori yang lebih besar dari mikrokontoler lainnya. ESP32 juga memiliki fitur deep sleep yang dapat

menghemat daya jika modul tidak digunakan. ESP32 hanya membutuhkan daya 3,3 Volt, jika digunakan pada catu daya 5 Volt maka akan berpotensi merusak perangkat ESP32. Mikrokontroler ESP32 menyediakan konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth untuk berkomunikasi dengan aplikasi mobile atau platform cloud. Dalam konsep sistem robot pembersih panel surya, penggunaan ESP32 dapat membantu pengguna dalam pengontrolan sistem secara *real-time*, dan membantu pengguna dalam mengendalikan robot pada jarak jauh [14].



Gambar 2.5 ESP32

Berikut spesifikasi NodeMCU ESP32 yang mendukung dalam penggunaan sistem ini :

Tabel 2.2 Spesifikasi ESP32

No	Spesifikasi	Keterangan
1.	Dual-Core CPU	2 inti prosesor Xtensa 32-bit
2.	SRAM	520 KB
3.	Tegangan	3.3V
4.	Wifi	802.11 b/g/n
5.	Bluetooth	4.2BR/EDR + BLE
5.	UART	3
6.	GPIO	36
7.	Integrated SPI flash	4 MB
8.	PWM	8
9.	I2C	2
10.	ADC	18 (12-bit)
11.	DAC	2 (8-bit)

## 2.5 Modul RTC DS3231

Modul RTC DS3231 (*Real-Time Clock*) dapat digunakan dalam berbagai aplikasi yang membutuhkan waktu *real-time* yang akurat. Modul RTC dapat digunakan untuk mengelola mode tidur pada sistem, membangunkan mikrokontroler ESP32 pada waktu-waktu tertentu untuk melakukan tugas dan kembali ke mode hemat daya setelah selesai [15].



Gambar 2.6 Modul RTC DS3231

Modul ini akan digunakan sebagai pengatur jadwal pembersihan secara aromatis, seperti pembersihan waktu pagi, siang, atau sore hari. Modul RTC menjadi pilihan karena keunggulannya dalam menjadwalkan operasi pada waktu yang tepat. Berikut spesifikasi modul RTC DS3231 yang mendukung dalam pembuatan robot pembersih panel surya :

Tabel 2.3 Spesifikasi Modul RTC DS3231

Temperatur Operasi	-40°C hingga +85°C
Tegangan	2.3V – 5.5V
Resolusi Waktu	Detik, Menit, Jam, Tanggal, Hari, Bulan, dan Tahun
Tegangan Maksimum Pada SDA, SCL	VCC + 0.3V
Konsumsi Daya	500µA

## 2.6 Motor DC RS-775

Motor DC RS-775 adalah motor DC yang berukuran relatif kecil, tetapi memiliki torsi yang kuat dan kecepatan putar yang tinggi. Motor DC ini dapat

mengubah energi listrik menjadi energi mekanik sehingga menghasilkan putaran atau rotasi. Metode yang digunakan dalam mengendalikan kecepatan motor DC yaitu *Pulse Width Modulation* (PWM). Motor DC RS-775 digunakan pada proyek akhir sebagai alat kendali yang dapat menyesuaikan kecepatan pembersihan. Kecepatan ini sangat diperlukan untuk mengoptimalkan proses pembersihan tanpa merusak panel surya. Motor ini menjadi salah satu komponen yang dipilih, karena memiliki daya yang tinggi, torsi yang kuat, dan memiliki ukuran yang sama. Motor akan bergerak dengan kecepatan 18.000 RPM [16]. Keunggulan motor DC ini yaitu kompatibel dengan berbagai driver motor yang umum digunakan dan memudahkan integrasi dengan sistem kontrol berbasis mikrokontroler seperti ESP32. Motor DC bekerja dengan mengikuti arus alir melalui kumparan jangkar berinteraksi dengan medan magnet dan menghasilkan torsi (T) yang menyebabkan motor berputar.



Gambar 2.7 Motor DC RS-775

Tabel 2.4 Spesifikasi Motor DC RS-775

Spesifikasi	Keterangan
Tegangan	DC 12 V – 24 V
Tegangan Kerja	DC 12 V
Arus	100 MOhm (MIN 0)
Power	0,32 A
Rpm	13000 - 18000
Ukuran	98 x 42 mm

## 2.7 Sensor Warna TCS3200

Sensor warna TCS3200 merupakan sebuah sensor yang digunakan untuk mengidentifikasi warna dalam suatu objek. Sensor akan bekerja dengan mengukur intensitas cahaya pada 4 warna yang berbeda dengan mengidentifikasi warna yang ada. Pada sensor ini juga dilengkapi dengan array fotodiode. Sensor TCS3200 bukan diintegrasikan dengan mikrokontroler seperti arduino. Dengan menghubungkan ke sumber daya dan memprogram pada arduino, sensor akan memberikan sinyal keluaran dan menentukan warna yang terdeteksi [17].

Pada proyek ini sensor warna TCS3200 digunakan sebagai pendeteksi debu atau partikel pada permukaan panel surya melalui warna yang terdeteksi. Berdasarkan frekuensi yang dibaca, mikrokontroler dapat menentukan nilai RGB (Red, Green, Blue) dari cahaya yang didapatkan. Dengan membandingkan nilai RGB yang terdeteksi dengan nilai dari permukaan panel surya yang bersih, robot akan menentukan ada tidaknya kotoran yang menempel pada permukaan panel. Sensor ini nantinya akan digunakan pada bagian bawah robot pembersih, agar mendapatkan pembacaan yang akurat.

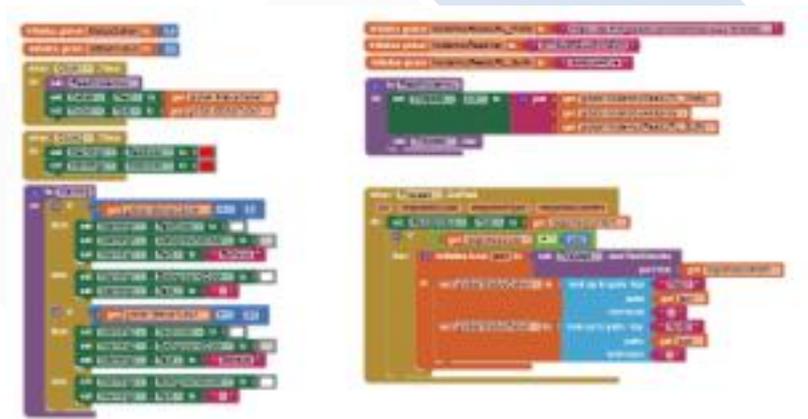


Gambar 2.8 Sensor Warna TC3200

## 2.8 MIT App Inventor

MIT App Inventor merupakan platform pemrograman visual yang akan membantu pengguna dalam membuat aplikasi Android dengan cara yang mudah.

Aplikasi ini adalah sumber yang awalnya dikembangkan oleh Google dan telah dikembangkan oleh Massachusetts Institute of Technology (MIT). Aplikasi ini menggunakan grafis antarmuka yang membantu pengguna dalam men-drag-and-drop objek dalam membuat aplikasi yang bisa dijalankan pada perangkat android. Aplikasi yang dibuat dengan MIT App Inventor dapat diuji langsung pada perangkat android yang terhubung dengan Wi-fi, sehingga pengguna dapat melihat cara kerja aplikasi secara nyata. Platform ini telah menyediakan komponen seperti button, label, input teks, gambar dan komponen lainnya. MIT App Inventor memiliki integrasi yang kuat dengan Firebase, sebuah platform pengembangan aplikasi mobile dari Google yang menyediakan berbagai layanan seperti database realtime, autentikasi pengguna, hosting, dan lainnya [13].



Gambar 2.9 Mit App Inventor

Pada proyek akhir ini MIT App Inventor akan digunakan sebagai pengembangan aplikasi kontrol dan monitoring. Aplikasi ini akan menampilkan data sensor secara real-time dengan menampilkan data ketebalan debu. Data dapat dikirim dan diterima secara nirkabel dan memudahkan dalam mengontrol dan monitoring pembersihan panel surya.

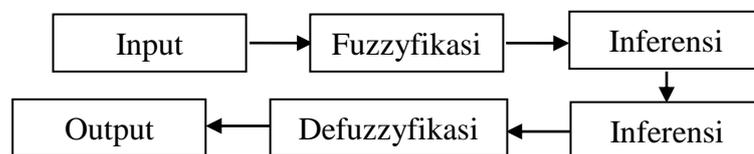
## 2.9 Fuzzy Logic Controller (FLC)

Beberapa penelitian sudah banyak yang menggunakan metode *fuzzy logic controller*. Salah satunya pada penelitian [18] telah berhasil membuat sistem kontrol dan monitoring jarak jauh dengan menggunakan *fuzzy logic*. Fuzzy ini

digunakan untuk menentukan tingkat kecerahan lampu berdasarkan input yang diterima pada sensor cahaya dan waktu. *Fuzzy logic* juga memungkinkan sistem untuk membuat keputusan yang lebih manusiawi dan adaptif. Dengan menggunakan himpunan *fuzzy* dan aturan berbasis IF-THEN, sistem dapat menentukan tingkat pencahayaan yang optimal berdasarkan kondisi lingkungan saat itu. Penerapan *fuzzy logic* dalam penelitian ini menunjukkan bahwa sistem dapat beroperasi lebih efisien dan responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan.

Logika *fuzzy* merupakan salah satu komponen sistem kontrol yang memanfaatkan kecerdasan buatan. Sistem ini memiliki kemampuan untuk menyesuaikan diri dan mengatasi berbagai masalah yang muncul ketika mengimplementasikan sebuah rencana. Logika *fuzzy* memungkinkan sistem robot pembersih panel surya untuk mengambil keputusan berdasarkan kondisi kompleks dan tidak linear. Berbeda dengan logika biner yang hanya mengenal dua nilai 0 atau 1, *fuzzy logic* akan bekerja dengan nilai kebenaran yang bisa berada di antara 0 dan 1. Sistem ini memungkinkan penggunaan nilai kebenaran parsial, yang bisa memberikan nilai kebenaran suatu pernyataan [19].

Memasuki konsep penggunaan *fuzzy logic* pada robot pembersih panel surya, *fuzzy logic* akan digunakan untuk mengatur parameter berdasarkan kondisi lingkungan dan status permukaan panel. Input yang akan digunakan pada *fuzzy* ini adalah sensor warna TCS3200. Sensor ini dapat mendeteksi debu dan kotoran pada permukaan panel surya, yang nantinya akan dikonversi menjadi data dan diproses oleh sistem *fuzzy*.



Gambar 2.10 Tahapan Fuzzy Logic

### 2.9.1 Metode Fuzzy Mamdani

Dalam *fuzzy logic controller* terdapat tiga metode utama yang sering digunakan, yaitu metode tsukamoto, sugeno dan mamdani. Dengan

mempertimbangkan kemudahan penggunaan, kesesuaian dengan logika manusia, dan kemampuan menangani ketidakpastian metode mamdani menjadi pilihan utama dalam pelaksanaan proyek akhir ini. Dalam pembuatan sistem *fuzzy*, data diolah menjadi beberapa tahapan berikut:

#### 1. Fuzzyfikasi (*Fuzzification*)

Fuzzyfikasi atau dikenal sebagai himpunan *fuzzy* adalah proses mengubah nilai real menjadi nilai *fuzzy*. Tujuan dari proses ini agar sistem kontrol logika fuzzy dapat memproses nilai-nilai tersebut dengan baik. Dalam proses *fuzzyfikasi*, nilai-nilai ini diubah menjadi bentuk data *fuzzy* yang terdiri dari dua komponen utama, yaitu himpunan *fuzzy* dan nilai keanggotaannya. Metode mamdani memiliki beberapa jenis fungsi keanggotaan antara lain tipe segitiga yang digunakan ketika hanya ada satu titik himpunan, tipe trapezium yang digunakan ketika ada dua titik himpunan, dan tipe bahu kiri kanan untuk variabel fuzzy yang digunakan pada nilai tertentu [20].

#### 2. Inferensi (*Inference*)

Inferensi dalam logika *fuzzy* adalah proses mengolah input *fuzzy* berdasarkan aturan IF-THEN untuk menghasilkan *output fuzzy*. Tahapan ini dimulai dengan mengumpulkan aturan, evaluasi derajat kebenaran input menggunakan operator minimum (MIN), dan menggunakan konsekuen dengan memotong fungsi keanggotaan output sesuai derajat kebenaran. Output dari semua aturan digabungkan menggunakan operator maksimum (MAX) dan diubah menjadi nilai crisp melalui defuzzifikasi [20]. Proses ini memungkinkan sistem merespon kondisi dengan tepat meskipun ada ketidakpastian.

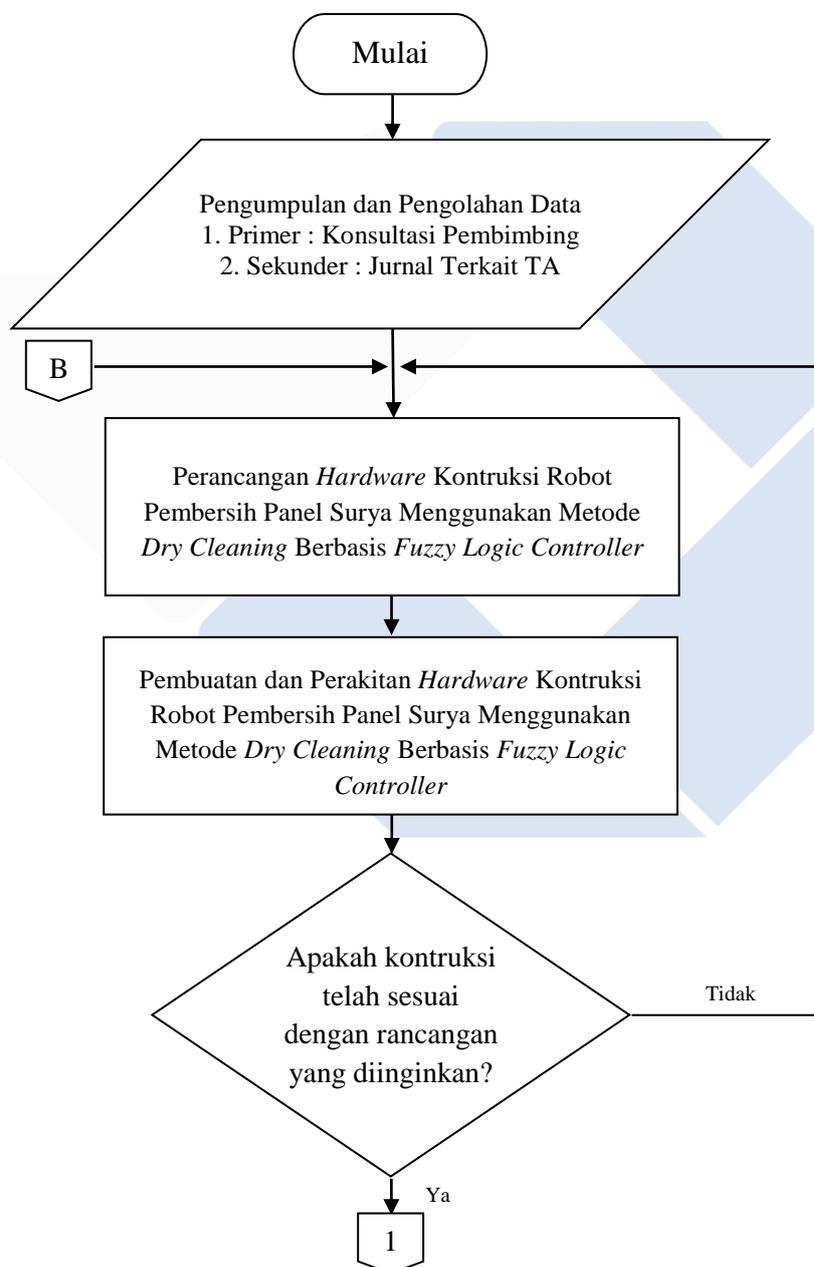
#### 3. Defuzzifikasi (*Defuzzification*)

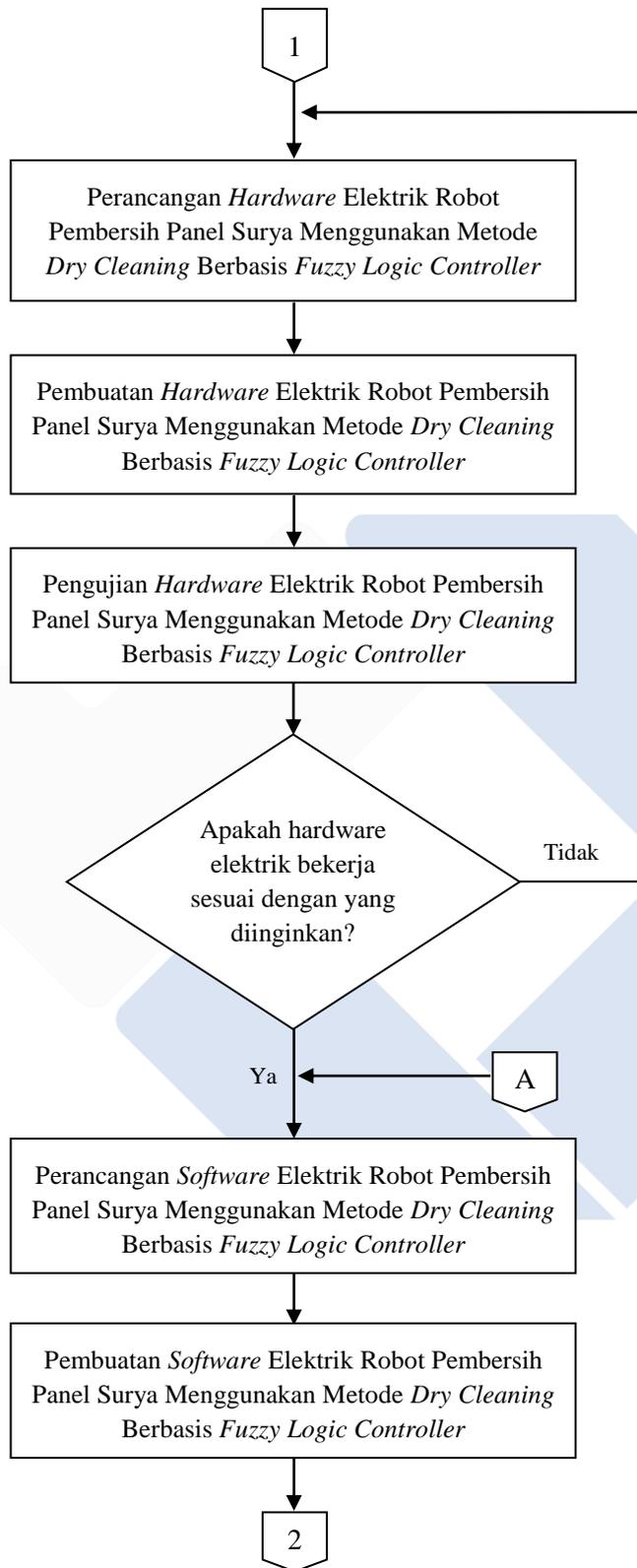
Tahap terakhir ada defuzzifikasi yang akan memproses output fuzzy menjadi sistem logika *fuzzy*, proses ini berupa nilai –nilai derajat keanggotaan yang diubah menjadi nilai crisp sehingga dapat digunakan untuk keputusan atau tindakan konkret. *Output fuzzy* yang dihasilkan biasanya berupa himpunan yang mewakili berbagai kemungkinan hasil. Defuzzifikasi mengkonversi himpunan ini menjadi satu nilai konkret yang mewakili solusi atau tindakan yang akan diambil [20].

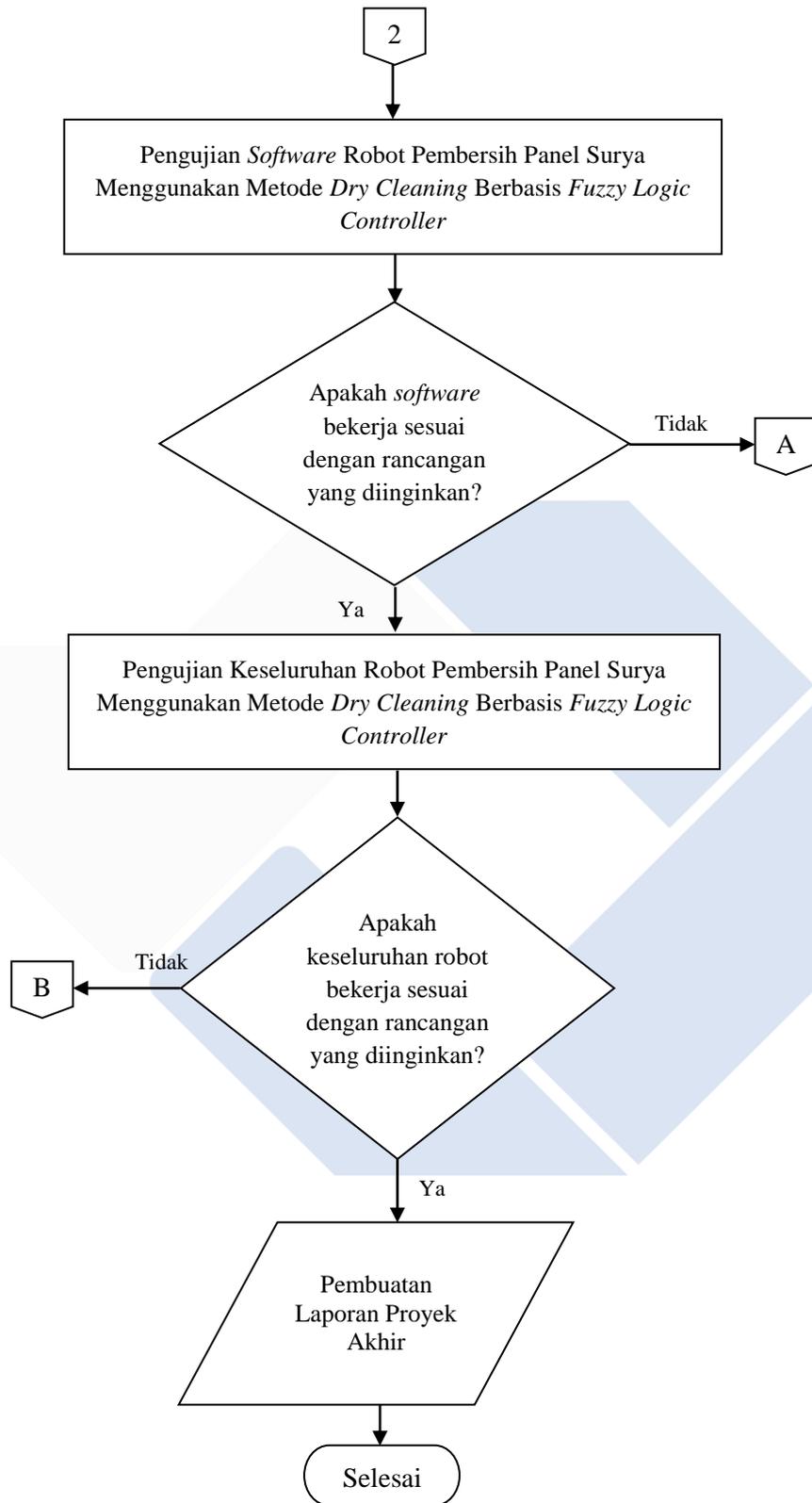
### BAB III

#### METODE PENELITIAN

Untuk mempermudah pelaksanaan proyek akhir yang berjudul “ rancang bangun robot pembersih panel surya menggunakan metode *dry cleaning* berbasis *fuzzy logic controller*” ini, maka dibuat metode pelaksanaan dalam penyusunan Proyek Akhir. Metode yang dimaksud adalah diagram alir yang dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut.







Gambar 3.1 Diagram Alir Pelaksanaan Proyek Akhir

### **3.1 Pengumpulan dan Pengolahan Data**

Pada proyek akhir ini, pengumpulan data dilakukan dengan mencari informasi dari berbagai sumber referensi untuk membantu memahami dan mengatasi permasalahan yang ada pada sekarang ini. Tahap ini akan melibatkan dua aspek utama dalam pengumpulan data, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui konsultasi dengan dosen pembimbing untuk mendapatkan pemahan mengenai teknologi yang relevan. Sedangkan, data sekunder diperoleh melalui referensi jurnal dan artikel ilmiah yang berkaitan dengan judul proyek akhir.

Dari referensi tersebut dapat diketahui gambaran dalam membuat robot pembersih panel surya menggunakan metode *dry cleaning* berbasis *fuzzy logic controller*. Dari referensi tersebut dapat diketahui gambaran dalam membuat robot pembersih panel surya menggunakan metode *dry cleaning* berbasis *fuzzy logic controller*. Setelah mengumpulkan semua data yang diperlukan, langkah berikutnya adalah merumuskan data tersebut untuk mengembangkan ide baru dan mengintegrasikan dalam pelaksanaan proyek akhir ini.

### **3.2 Perancangan *Hardware* dan *Software***

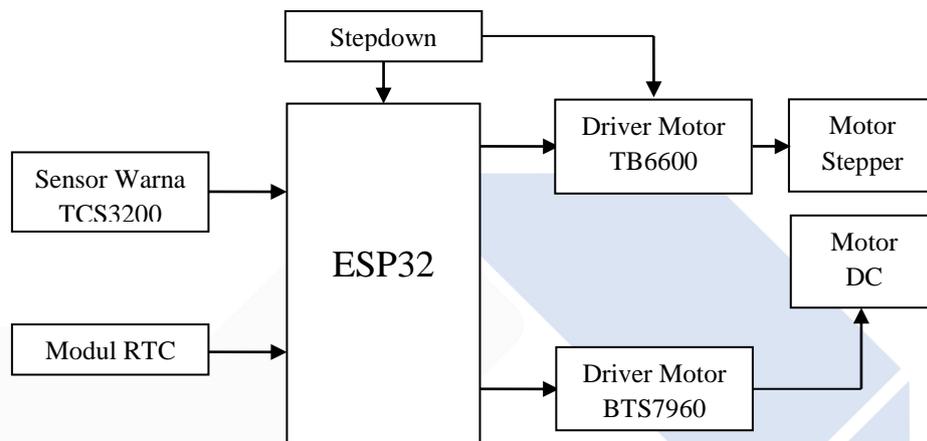
Perancangan *hardware* dilakukan dengan tujuan menentukan bentuk fisik dari robot pembersih panel surya, serta menentukan penempatan sensor, motor, dan komponen lainnya. Sementara itu, perancangan *software* dilakukan untuk merancang sistem kontrol dan monitoring melalui *interface* aplikasi yang terkoneksi dengan *Wi-Fi* dan mengirimkan notifikasi data sensor ke *smartphone*.

#### **3.2.1 Perancangan *Hardware* Kontruksi**

Rancangan *hardware* kontruksi robot pembersih panel surya ini terdiri dari hardware mekanik dan hardware elektrik. Pada bagian ini, akan ditentukan komponen-komponen yang digunakan, perancangan struktur kontruksi dan distem serta sistem kendali dan sensor yang digunakan. Desain kontruksi robot ini akan menggunakan aplikasi *Autodesk inventor* untuk memastikan bahwa desain sesuai dengan panel surya yang digunakan.

Berikut rangkaian *hardware* yang akan dibuat secara mekanik.

1. Pembuatan robot ini akan menggunakan aluminium profil dengan ukuran 100 cm x 30 cm, yang dipilih karena sifatnya yang ringan dan kuat.
2. Pemasangan sensor warna TCS3200, modul RTC, mikrokontroler ESP32, driver motor TB6600, driver motor BTS7960, motor stepper, motor stepdown, dan motor DC.



Gambar 3.2 Perancangan Hardware Elektrik

Dalam tahap perancangan hardware secara elektrik, dilakukan rancang skema wiring kontrol yang menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler utama untuk mengendalikan robot pembersih. Proses kontrol ini mengimplementasikan metode *Fuzzy Logic Controller* (FLC), yang memungkinkan robot untuk mengambil keputusan berdasarkan data sensor secara real-time, seperti mendeteksi tingkat kotoran dan menyesuaikan pembersihan untuk memastikan kebersihan secara optimal pada panel surya.

### 3.2.2 Perancangan Software

Pada tahap ini rancangan software akan dilakukan pada proyek akhir ini untuk menentukan aplikasi yang akan digunakan. Perancangan desain *software* ini akan meliputi pengembangan algoritma, pemrograman mikrokontroler ESP32 dan implementasi *fuzzy logic controller*. ESP32 berfungsi sebagai pusat kontrol yang akan mengelola input dari sensor warna TCS3200 dan mengendalikan motor melalui fuzzy logic untuk mengoptimalkan pembersihan. Selain itu, ESP32 akan

dihubungkan dengan aplikasi MIT App Inventor, yang akan mengontrol dan monitoring robot jarak jauh.

### **3.3 Pembuatan *Hardware* dan *Software***

Pada tahap ini pembuatan *hardware* dan *software* dilakukan untuk mewujudkan robot pembersih panel surya yang sudah dirancang pada tahap sebelumnya.

#### **3.3.1 Pembuatan *Hardware***

Tahap ini akan dilakukan pemasangan komponen yang telah ditentukan sebelumnya pada robot pembersih sesuai dengan rancangan desain yang telah dibuat. Berikut tahapan dalam pembuatan *hardware* secara mekanik:

1. Proses pembuatan kontruksi robot berdasarkan desain yang telah dibuat, komponen yang digunakan berupa aluminium profile sebagai kerangka utama, menghubungkan motor DC ke motor driver untuk menggerakkan roda, lalu memasang motor stepdown untuk menggerakkan mikrofiber, serta menempatkan slider pada aluminium profile yang menjadi kerangka utama robot.
2. Pemasangan komponen sensor warna TCS3200 di bagian atas dan bawah robot, modul RTC, driver motor, modul stepdown, serta mikrokontroler ESP32 yang menjadi pusat kontrol dalam robot, motor stepper dan motor DC ditempatkan pada bagian sistem penggerak robot.

#### **3.3.2 Pembuatan *Software***

Pembuatan *software* dibuat dengan rancangan yang telah ditentukan. Berikut langkah-langkah pembuatan *software*.

1. Pemograman ESP32 untuk mengelola input dari sensor warna TCS3200 dan modul RTC, serta mengontrol output ke driver motor.
2. Pembuatan *logika fuzzy* dengan menentukan fungsi keanggotaan input dan output, serta penentuan parameter waktu pembersihan dari modul RTC. Kemudian, membuat aturan *fuzzy* yang akan mengatur kecepatan dan kontrol pembersihan berdasarkan data input dari sensor dan waktu pembersihan.

3. Pembuatan MIT App Inventor digunakan untuk membuat aplikasi mobile yang membantu pengguna mengontrol dan memantau robot melalui smartphone. Aplikasi ini memiliki fitur untuk mengatur jadwal pembersihan dan memantau status pembersihan secara *real-time*.

### **3.4 Pengujian Hardware dan Software**

Setelah tahap pembuatan *hardware* dan *software*, selanjutnya akan dilakukan pengujian dalam sistem robot pembersih panel surya. Tahap ini dilakukan untuk mengetahui apakah sistem bekerja sesuai dengan yang telah dirancang dan target yang diinginkan.

#### **3.4.1 Pengujian Hardware**

Pengujian ESP32 pada sensor warna TCS3200 untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mendeteksi parameter seperti tingkat kekotoran permukaan panel.

#### **3.4.2 Pengujian Software**

Pengujian software pada proyek robot pembersih panel surya ini melibatkan verifikasi logika *fuzzy* pada ESP32 untuk memastikan output yang dihasilkan sesuai dengan desain. Pengujian juga akan mengaktifkan waktu pembersihan pada robot dengan *fuzzy logic controller* secara otomatis melalui *smartphone*.

#### **3.4.3 Pengujian Keseluruhan Sistem**

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan untuk memastikan integrasi dan kinerja yang baik antara semua komponen yang terlibat dalam proyek. Ini mencakup memeriksa bagaimana setiap elemen berinteraksi satu sama lain dalam kondisi operasional yang sesungguhnya, untuk memastikan bahwa sistem dapat berfungsi dengan efektif dan sesuai dengan tujuan yang diinginkan. Langkah-langkahnya mencakup integrasi perangkat keras seperti motor dan sensor untuk memastikan koneksi yang tepat dan kekuatan material konstruksi yang cukup. Integrasi perangkat lunak termasuk memverifikasi kompatibilitas antara logika

*fuzzy* yang diimplementasikan pada platform MIT App Inventor untuk smartphone dengan program yang dijalankan pada Arduino. Pengujian juga mencakup evaluasi kinerja robot dalam berbagai kondisi lingkungan dan skenario untuk menilai keandalan dan konsistensi operasionalnya, serta memeriksa keamanan dan antarmuka pengguna untuk memastikan kemudahan penggunaan dan kontrol yang efektif terhadap robot.

### **3.5 Evaluasi dan Perbaikan**

Pada tahap ini, evaluasi dilakukan untuk mengetahui apakah sistem yang telah dibuat sesuai dengan rancangan. Evaluasi ini mencakup analisis kinerja dari segi konstruksi, *hardware* dan *software* yang digunakan pada robot pembersih panel surya. Data hasil pengujian akan dianalisis dan dibandingkan dengan parameter yang ditargetkan. Jika ditemukan bagian yang terkendala pada konstruksi, *hardware*, atau *software* maka akan dilakukan perbaikan berupa penyempurnaan sistem untuk mencapai hasil yang diinginkan.

### **3.6 Pembuatan Laporan Proyek Akhir**

Tahap pembuatan laporan proyek akhir bertujuan untuk mendokumentasikan secara menyeluruh mengenai temuan dan hasil dari penelitian, termasuk metode yang diterapkan, data hasil pengukuran, dan kesimpulan yang diambil berdasarkan analisis. Publikasi adalah proses mengunggah atau menerbitkan laporan akhir atau hasil penelitian melalui artikel ilmiah, buku, jurnal, konferensi, atau media relevan lainnya, untuk mencapai tujuan utama yaitu berbagi penerahuan secara luas, mengembangkan dampak dari penelitian, dan memungkinkan orang lain mempelajari serta memanfaatkan pengetahuan tersebut.

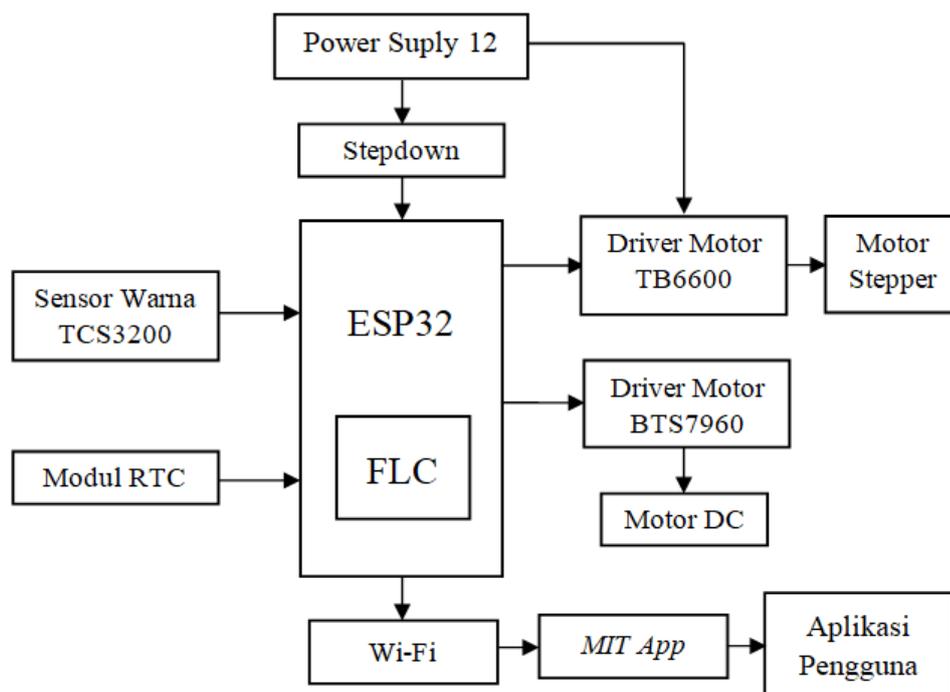
## BAB IV

### PEMBAHASAN

Di bab 4 ini akan dijelaskan tahapan-tahapan dalam pembuatan proyek akhir, yang meliputi proses perancangan dan pembuatan konstruksi, sistem kontrol dan kendali jarak jauh menggunakan *fuzzy logic controller*, serta pengujian alat sebagai berikut.

#### 4.1 Deskripsi Alat

Robot pembersih panel surya dirancang untuk membersihkan panel surya secara real time melalui *smartphone*. Adapun blok diagram prinsip kerja robot dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Blok Diagram Prinsip Kerja Robot

Pada blok diagram diatas sistem akan dimulai dengan sumber daya utama yaitu power suply 12 V yang akan melalui modul stepdown untuk menyesuaikan tegangan dari komponen ESP32 dan Sensor. ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali yang mengolah data dari sensor warna TCS3200 untuk mendeteksi debu atau kotoran pada permukaan panel, serta modul RTC sebagai pemberi informasi

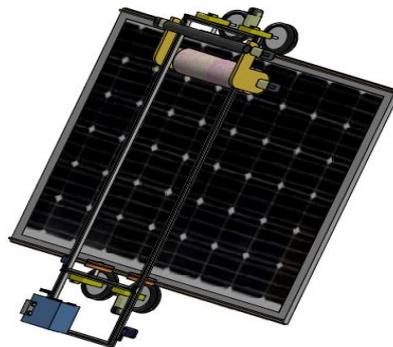
waktu pembersihan. Di dalam ESP32 terdapat *fuzzy logic* sebagai pengambil keputusan berdasarkan data yang diterima dan kondisi yang ada. Motor driver digunakan sebagai pengendali motor stepper yang menggerakkan robot naik turun pada panel dan motor DC untuk menggerakkan robot berpindah ke bagian lain permukaan panel surya.

## 4.2 Perancangan dan Pembuatan *Hardware* Kontruksi Robot Pembersih Panel Surya

Dalam perancangan dan pembuatan *hardware* ini memiliki dua bagian paling utama, yaitu mekanik dan elektrik. Proses ini dilakukan dengan beberapa tahapan yang terstruktur dengan baik. Berikut langkah-langkah perancangan dan pembuatan *hardware* kontruksi.

### 4.2.1 Perancangan *Hardware* Secara Mekanik

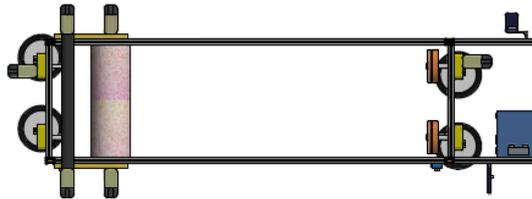
Tahap perancangan *hardware* secara mekanik ini dilakukan perancangan kontruksi dari robot pembersih panel surya menggunakan metode *dry cleaning* berbasis *fuzzy logic controller*. Rancangan ini dibuat dengan menggunakan aplikasi *FreeCAD*. Rangka robot dirancang menggunakan bahan aluminium profil, yang dipilih karena sifatnya yang kuat dan ringan. Aluminium profil memiliki ketahanan yang baik sehingga mempermudah pergerakan robot ketika di atas permukaan panel surya. Robot ini dirancang untuk membersihkan panel surya 100 Wp, dengan dimensi panjang 100 cm dan lebar 30 cm. Berikut desain rancangan kontruksi robot pembersih panel surya.



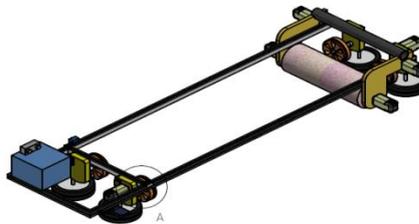
Gambar 4.2 Rancangan Kontruksi Robot Pembersih Panel Surya



Gambar 4.3 Tampak Samping Rancangan Robot Pembersih Panel Surya



Gambar 4.4 Tampak Atas Rancangan Robot Pembersih Panel Surya



Gambar 4.5 Tampak Depan Rancangan Robot Pembersih Panel Surya

#### 4.2.2 Pembuatan *Hardware* secara Mekanik

Kerangka konstruksi robot dibuat dengan menghubungkan aluminium profil yang telah dipotong sesuai ukuran membentuk struktur persegi panjang dengan panjang 100 cm dan lebar 30 cm. Robot ini menggunakan 8 buah roda kecil untuk tumpuan naik dan turun sapu pembersih yang di gerakkan oleh motor stepper. Sapu pembersih menggunakan kain micro fiber di putar menggunakan motor dc 775. Robot ini juga menggunakan 8 buah roda besar untuk menjalankan robot di atas panel yang di gerakkan dengan motor DC 775. Roda besar ini memberikan stabilitas dan mobilitas untuk robot saat bergerak di permukaan panel.

Pada bagian atas dan bawah robot, masing-masing akan dipasang satu sensor warna TC3200 untuk mendeteksi tingkat kebersihan panel. Bagian bawah robot juga terdapat kotak elektrik yang berisi ESP32 sebagai unit kontrol utama, 2 buah driver motor DC untuk kontrol penggerak roda, motor stepper yang

mengontrol pergerakan roda kecil, serta modul RTC yang digunakan sebagai pengatur waktu dan jadwal pembersihan sesuai kondisi pada permukaan panel. Ini adalah hasil akhir dari pembuatan konstruksi robot pembersih panel surya.



Gambar 4.6 Tampak Depan Kontruksi Robot Pembersih



Gambar 4.7 Tampak Samping Kontruksi Robot Pembersih



Gambar 4.8 Tampak Atas Kontruksi Robot Pembersih

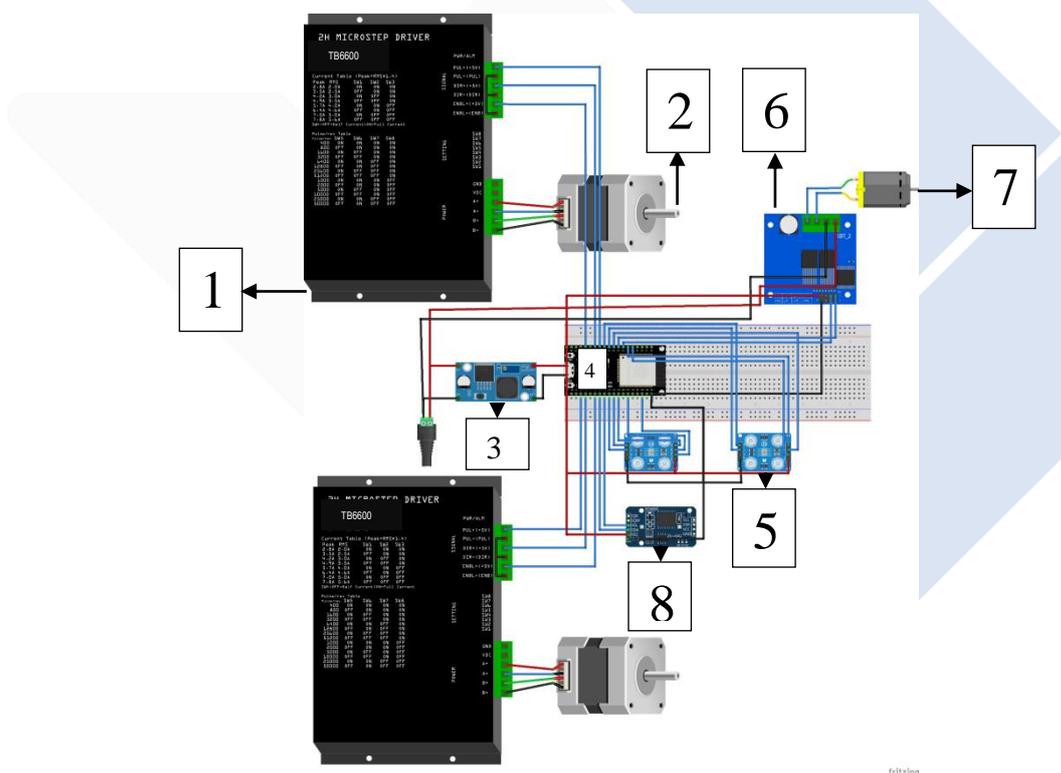
#### 4.2.3 Perancangan dan Pembuatan *Hardware* Elektrik

Tahap ini melibatkan perancangan sistem kontrol yang bertujuan untuk mengendalikan pergerakan robot pembersih panel surya. Pada rancangan ini, terdapat beberapa bagian penting, seperti sensor warna TC3200 yang akan digunakan pada *fuzzy logic controller* dan modul RTC. Data yang didapat dari

sensor kemudian diproses oleh ESP32 untuk mengatur waktu kerja dan kontrol gerak pembersihan yang dilakukan oleh robot. Robot pembersih ini menggunakan motor DC sebagai pemutar kain pembersih dan menggerakkan robot, serta motor stepper yang akan membantu robot bergerak naik-turun.

Proses perancangan dan pembuatan sistem kontrol meliputi tahap-tahap sebagai berikut.

1. Membuat rancangan skema pengkabelan atau *wiring* untuk rangkaian kontrol menggunakan aplikasi Fritzing. Pembuatan rancangan ini bertujuan untuk menghindari kesalahan saat melakukan pemasangan *wiring* yang sesungguhnya. Skema ini mencakup komponen yang akan digunakan dapat dilihat pada gambar 4.10 berikut.

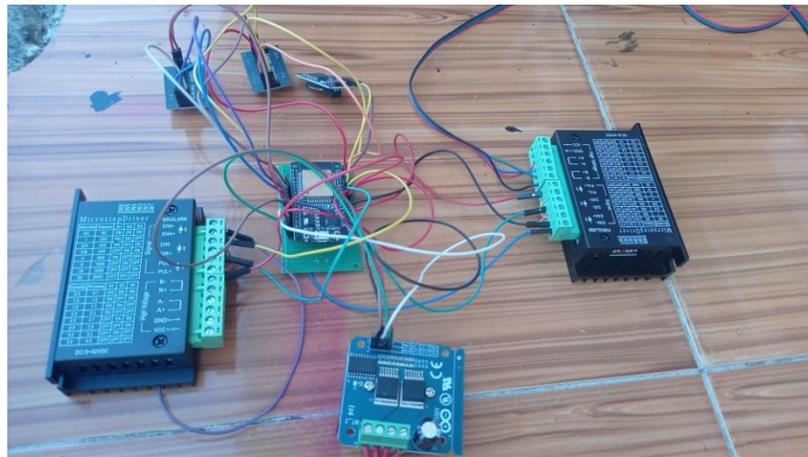


Gambar 4.9 Wiring Sistem Kontrol Robot Pembersih

Keterangan :

- |                        |                         |              |
|------------------------|-------------------------|--------------|
| 1. Driver Motor TB6600 | 4. ESP32                | 7. Motor DC  |
| 2. Motor stepper       | 5. Sensor warna TCS3200 | 8. Modul RTC |
| 3. Modul stepdown      | 6. Driver motor BTS7960 |              |

2. Pemasangan *wiring* komponen dilakukan dengan menghubungkan sensor warna TCS3200, modul RTC, motor driver, dan motor DC ke pin-pin yang ada pada modul ESP32. Berikut adalah hasil akhir dari pemasangan sistem kontrol yang telah terpasang pada robot pembersih panel surya.



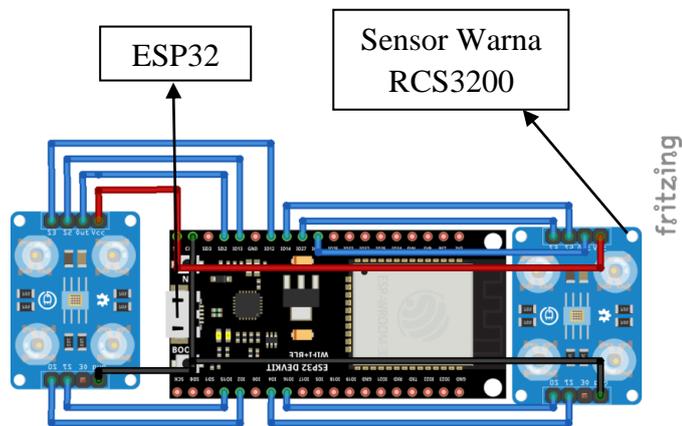
Gambar 4.10 Rangkaian Sistem Kontrol Robot Pembersih

### 4.3 Pengujian *Hardware* Elektrik Robot Pembersih Panel Surya

Pengujian *hardware* elektrik ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja dan memastikan semua komponen berfungsi sesuai dengan tujuan pada proyek akhir ini.

#### 4.3.1 Pengujian Sensor Warna TCS3200

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan sensor warna TCS3200 dalam mendeteksi berbagai tingkat kebersihan permukaan panel surya. Dengan mengetahui batas deteksi sensor ini, akan lebih mudah menentukan jumlah dan penempatan posisi sensor yang diperlukan pada robot, sehingga sensor dapat mendeteksi perubahan transparansi permukaan panel secara optimal. Skema rangkaian ini dirancang menggunakan aplikasi fritzing untuk menggambarkan koneksi antara sensor dan mikrokontroler, termasuk pin input, output dan pin data yang diperlukan untuk komunikasi dengan ESP32. Berikut skema rangkaian dari sensor warna TCS3200 dengan ESP32.



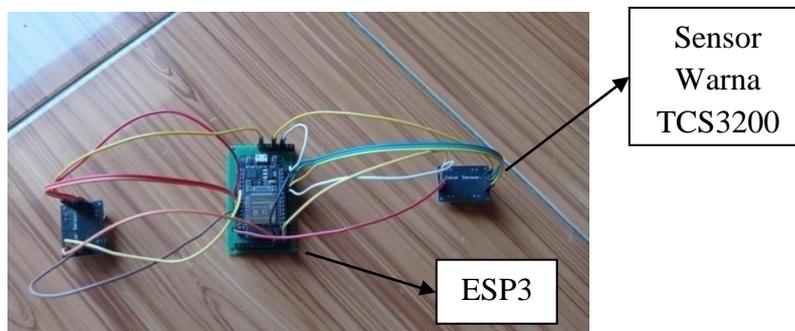
Gambar 4.11 Skema Pengkabelan Sensor Warna dengan ESP32

Berikut pemasangan koneksi pin sensor warna TCS3200 dengan ESP32, dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Tabel Koneksi Pin antara Sensor Warna TCS3200 dan ESP32

Pin Sensor Warna TCS3200	Pin ESP32
S0	21
S1	19
S2	18
S3	5
OUT	34

Pada gambar 4.12 berikut menunjukkan rangkaian sensor warna TCS3200 dan ESP32.



Gambar 4.12 Rangkaian Sensor Warna TCS3200 dengan ESP32

Setelah merancang skema pengkabelan sensor warna TCS3200 dan ESP32, tahap ini diperlukan pemrograman dalam pengujian. Program ini dibuat dengan *software* Arduino IDE, program sebagai berikut.

```
#define S0 19
#define S1 21
#define S2 18
#define S3 5
#define sensorOut 22
int redFrequency = 0;
int greenFrequency = 0;
int blueFrequency = 0;
void setup() {
  // Setting the outputs
  pinMode(S0, OUTPUT);
  pinMode(S1, OUTPUT);
  pinMode(S2, OUTPUT);
  pinMode(S3, OUTPUT);
  pinMode(sensorOut, INPUT);
  digitalWrite(S0,HIGH);
  digitalWrite(S1,LOW);
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  digitalWrite(S2,LOW);
  digitalWrite(S3,LOW);
  redFrequency = pulseIn(sensorOut, LOW);
  Serial.print("R = ");
  Serial.print(redFrequency);
  delay(100);
  digitalWrite(S2,HIGH);
```

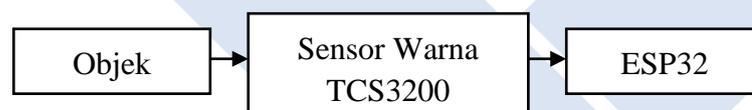
```

digitalWrite(S3,HIGH);
greenFrequency = pulseIn(sensorOut, LOW);
Serial.print(" G = ");
Serial.print(greenFrequency);
delay(100);
digitalWrite(S2,LOW);
digitalWrite(S3,HIGH);
blueFrequency = pulseIn(sensorOut, LOW);
Serial.print(" B = ");
Serial.println(blueFrequency);
delay(300);
}

```

#### 4.3.2 Hasil Pengujian Sensor Warna TCS3200

Pengujian ini dilakukan dengan meletakkan objek di depan sensor warna TCS3200. Setelah didapat hasil pengujian sensor warna TCS3200, hasil tersebut akan dicatat dalam tabel hasil pengujian. Warna yang dihasilkan oleh sensor akan dibandingkan dengan warna sebenarnya dari objek tersebut. Berikut diagram blok pengujian sensor warna TCS3200.



Gambar 4.13 Diagram Blok Pengujian Sensor Warna TCS3200

Pengujian sensor warna TCS3200 dilakukan dengan mengukur warna objek yang ditempatkan pada posisi tertentu dan membandingkan hasil pengukuran dengan warna sebenarnya dari objek tersebut. Gambar berikut menunjukkan hasil pengujian sensor warna TCS3200 untuk objek dengan warna tertentu.



Gambar 4.14 Pengujian Sensor Warna TCS3200 pada objek daun hijau



Gambar 4.15 Pengujian Sensor Warna pada objek daun kering

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Sensor Pada Objek

No	Objek	R (Red)	G (Green)	B (Blue)	Warna
1.	Daun Kering	178	243	234	Coklat
2.	Daun Hijau	128	192	183	Hijau
3.	Debu	152	178	163	Abu-Abu Terang

Keterangan :

Pengujian menggunakan sensor TCS3200 mendeteksi warna pada objek daun kering, daun hijau, dan debu berdasarkan nilai RGB. Daun kering memiliki dominasi warna merah dan hijau (R = 178, G = 243, B = 234), daun hijau

menunjukkan dominasi warna hijau dengan kontribusi biru ( $R = 128$ ,  $G = 192$ ,  $B = 183$ ), sedangkan debu memiliki nilai RGB yang hampir seimbang ( $R = 152$ ,  $G = 178$ ,  $B = 163$ ) menunjukkan warna abu-abu terang. Hasil dipengaruhi oleh intensitas pencahayaan dan posisi sensor terhadap objek.

Kesimpulan :

Pada pengujian ini sensor TCS3200 berhasil membedakan warna objek dengan baik: daun kering terdeteksi dominan coklat, daun hijau berwarna hijau kebiruan, dan debu sebagai abu-abu terang. Pengujian menunjukkan efektivitas sensor dalam membedakan warna berdasarkan nilai RGB, meskipun diperlukan pencahayaan yang konsisten untuk hasil yang lebih akurat.

#### **4.4 Perancangan, Pembuatan *Software Interface* pada *Smartphone* dan Implementasi *Fuzzy Logic Controller***

Pada tahap ini, dilakukan perancangan dan pembuatan aplikasi *interface* untuk *smartphone* serta implementasi *fuzzy logic controller* untuk mengontrol sistem secara efisien.

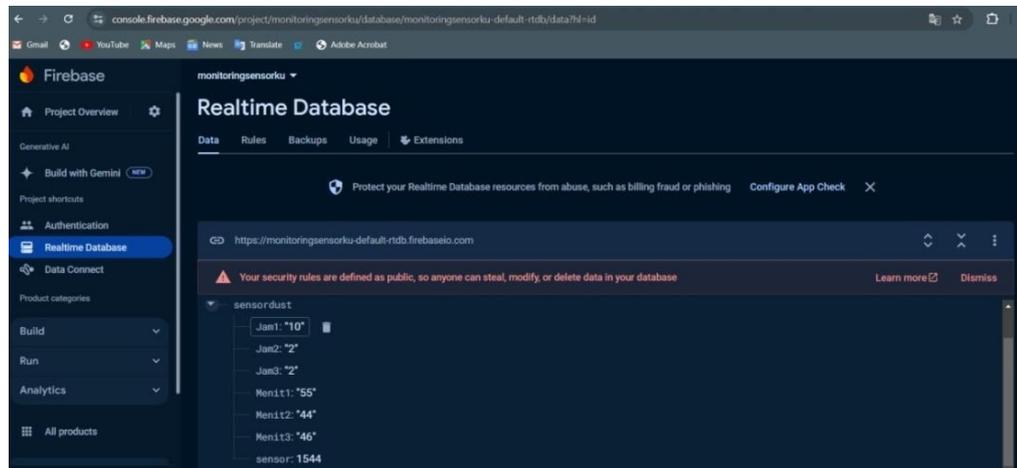
##### **4.4.1 Perancangan dan Pembuatan *Interface* pada *Smartphone***

Rancangan dan pembuatan *interface* ini bertujuan untuk memantau perubahan data sensor dan mengendalikan sistem pembersih panel surya melalui aplikasi *smartphone*. *Interface* ini dikembangkan menggunakan aplikasi MIT App Invento dan dirancang dalam beberapa tata letak.

##### **4.4.1.1 Perancangan dan Pembuatan *Database***

Dalam proyek akhir ini, *firebase* digunakan sebagai *platform* untuk mengelola *database* yang mendukung sistem robot pembersih panel surya. *Firestore* menyediakan layanan *database* berbasis *cloud* yang memungkinkan penyimpanan dan sinkronisasi data secara *real-time*, baik melalui *firebase realtime database* yang menyimpan data dalam format JSON atau *firebase firestore* yang menawarkan struktur dokumen yang fleksibel. *Database* ini mencakup berbagai data, seperti informasi status operasi robot, hasil pembersihan, data sensor TCS3200 untuk analisis *fuzzy logic*, serta informasi pengguna dan log

aktivitas. Penggunaan *firebase* memastikan akses data yang cepat dan aman, serta integrasi yang baik dengan aplikasi mobile yang dikembangkan menggunakan MIT App Inventor.



Gambar 4.16 Tampilan Data yang disimpan pada *Firestore*

#### 4.4.1.2 Komunikasi Serial pada *Software* MIT App Inventor

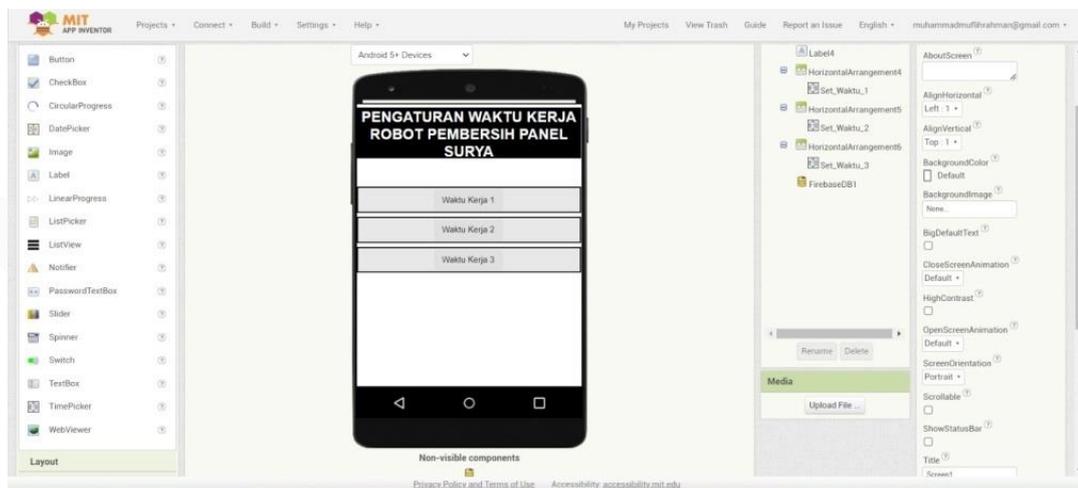
*Interface* adalah komponen visual dari aplikasi yang memungkinkan pengguna berinteraksi dengan sistem. Dalam proyek ini, *interface* yang dikembangkan menggunakan MIT App Inventor sebagai penampil data sensor dan memberikan kontrol terhadap robot melalui *smartphone*. Untuk mengintegrasikan *interface* dengan sistem, perlu dilakukan pengaturan komunikasi serial antara ESP32 dan MIT App. Proses ini melibatkan pemrograman pada ESP32 untuk mengirimkan data sensor melalui koneksi WiFi ke aplikasi. Data yang diterima kemudian disimpan di *Firestore*. Aplikasi MIT App Inventor kemudian mengakses data yang tersimpan di *Firestore* untuk ditampilkan kepada pengguna dan mengirimkan kembali perintah ke ESP32. Program yang digunakan untuk mentransfer data dari ESP32 terdapat pada Lampiran.

#### 4.4.1.3 Integrasi MIT App dengan *Database*

Data yang disimpan di *Firestore* akan ditampilkan dalam aplikasi MIT App. Untuk mengintegrasikan *database* dengan aplikasi, diperlukan pembuatan program yang mengambil data dari *firebase* ke MIT App Inventor. Selain itu, data dari sensor yang terpasang pada robot, seperti deteksi kotoran pada

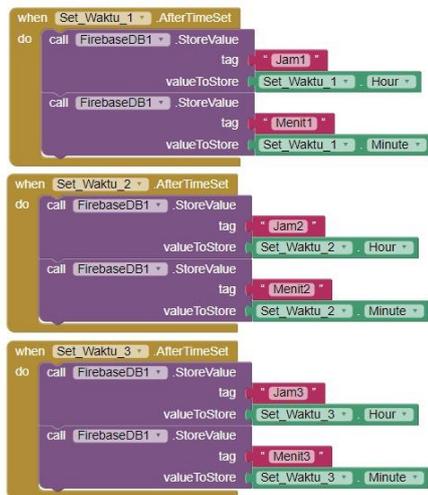
permukaan panel juga akan diinput untuk menghubungkan MIT App Inventor dengan *firebase* untuk pemantauan lebih lanjut. Berikut langkah dalam membuat koneksi dari MIT App ke *firebase*.

1. Membuat database di *firebase* untuk menyimpan data dari sensor dan status robot.
2. Membuat pemrograman pada MIT App Inventor untuk mengatur koneksi antara *database* dan aplikasi, memungkinkan pengguna untuk melihat data *real-time* dari sensor robot. Berikut contoh program yang mengambil data dari *Firestore* ke MIT App Inventor untuk ditampilkan kepada pengguna.



Gambar 4.17 Tampilan Menu pada MIT App Inventor

Untuk menghubungkan aplikasi MIT App Inventor dengan *Firestore*, dalam menu designer perlu ditambahkan komponen *FirestoreDB* yang terletak di menu Experimental di sebelah kiri. Komponen ini digunakan untuk menampilkan data dari sensor robot pembersih panel surya secara *real-time* ke dalam aplikasi. Setelah membuat tampilan visual di menu designer, pemrograman untuk menghubungkan MIT App Inventor dengan *Firestore* dilakukan di menu blocks berikut.



Program ini untuk menampilkan data dari Arduino ke aplikasi MIT App Inventor. Pada program ini data sensor yang dikirim dari Arduino akan ditampilkan ke aplikasi MIT App Inventor secara real time.

Gambar 4.18 Tampilan Program Database

#### 4.4.2 Implementasi fuzzy logic controller

Pada tahap implementasi, mikrokontroler ESP32 diprogram untuk menjalankan algoritma *fuzzy logic*, mengatur motor pembersih sesuai dengan output dari sistem fuzzy. Pengujian dilakukan dalam kondisi panel surya yang berbeda—baik berdebu maupun tidak berdebu—untuk mengevaluasi efektivitas sistem. Hasil menunjukkan bahwa *fuzzy logic* mampu menyesuaikan intensitas pembersihan berdasarkan tingkat debu yang terdeteksi dengan baik, sehingga menjaga kinerja panel surya dan mengurangi penggunaan sumber daya yang tidak perlu. Meskipun sistem ini menunjukkan peningkatan efisiensi pembersihan, tantangan seperti kompleksitas dalam desain aturan fuzzy dan ketergantungan pada kualitas sensor harus diatasi. Secara keseluruhan, penerapan *fuzzy logic* pada robot pembersih panel surya memperlihatkan potensi besar dalam meningkatkan kinerja panel dengan menyesuaikan pembersihan secara otomatis sesuai dengan kebutuhan aktual, serta mengurangi dampak negatif dari debu dan kotoran pada efisiensi energi surya.

#### 4.5 Pengujian Alat Keseluruhan

Pengujian alat keseluruhan merupakan tahap penting dalam memastikan bahwa sistem robot pembersih berfungsi sesuai dengan rancangan dan dapat

beroperasi sesuai dengan yang diinginkan. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan robot dapat berfungsi dalam berbagai kondisi, termasuk pada saat panel surya berdebu dan tidak berdebu.



Gambar 4.19 Kondisi Panel Surya Sebelum Dibersihkan



Gambar 4.20 Kondisi Panel Surya Setelah Dibersihkan



Gambar 4.21 Pengukuran Intensitas Matahari Menggunakan Lux Meter

Tabel 4.3 Pengujian Panel Surya Saat Kondisi Berdebu

Waktu	Arus (I)	Tegangan (V)	Daya Output (W)	Intensitas Cahaya (W/m <sup>2</sup> )	Daya Input (W)	Efisiensi (%)
07.00	1.03	12.76	13.14	66	45.10	29.13
09.00	1.23	13.24	16.29	87	59.47	27.39
11.00	1.42	13.37	18.98	92	62.88	30.18
12.00	2.47	13.37	33.04	165	112.76	29.31
13.00	2.34	13.59	31.82	137	93.61	34.00
15.00	1.17	13.29	15.55	107	73.10	21.27

Tabel 4.4 Pengujian Panel Surya Saat Kondisi Tidak Berdebu

Waktu	Arus (I)	Tegangan (V)	Daya Output (W)	Intensitas Cahaya (W/m <sup>2</sup> )	Daya Input (W)	Efisiensi (%)
07.00	1.26	12.24	15.42	66	45.10	34.19
09.00	1.46	13.17	19.22	87	59.47	32.31
11.00	1.70	13.34	22.74	92	62.88	36.17
12.00	2.02	13.34	26.97	165	112.76	23.92
13.00	1.27	13.10	16.66	137	93.61	17.79
15.00	1.27	13.10	16.66	107	73.10	22.80

Tabel di atas menunjukkan hasil pengujian kinerja panel surya dalam dua kondisi: **kondisi tidak berdebu** dan **kondisi berdebu**, dengan parameter pengukuran meliputi waktu, arus (A), tegangan (V), daya output (W), intensitas cahaya ( $W/m^2$ ), daya input (W), dan efisiensi (%). Pengukuran dilakukan pada interval waktu tertentu mulai pukul 07.00 hingga 15.00. Nilai arus dan tegangan yang dihasilkan panel surya dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari dan kondisi kebersihan panel, yang kemudian digunakan untuk menghitung daya output menggunakan rumus  $P = I \times V$ . Selain itu, intensitas cahaya diukur dalam satuan watt per meter persegi ( $W/m^2$ ) yang mencerminkan kekuatan sinar matahari, dikonversi dari pembacaan lux meter. Daya input dihitung dari perkalian intensitas cahaya dengan luas panel ( $0,6834 m^2$ ), sedangkan efisiensi menunjukkan seberapa efektif panel mengubah energi matahari menjadi energi listrik, dihitung menggunakan rumus Efisiensi =  $\left(\frac{Daya Output}{Daya Input}\right) \times 100$ .

Berdasarkan pengujian data di atas dapat disimpulkan pada permukaan panel surya memiliki dampak negatif yang signifikan terhadap kinerja panel surya. Dalam kondisi berdebu, daya *output* yang dihasilkan panel surya mengalami penurunan substansial hingga sekitar 40% dibandingkan dengan kondisi tidak berdebu. Efisiensi konversi energi juga menunjukkan penurunan yang sama dengan penurunan hampir mendekati 42% pada jam 11.00. Berikut persentase perhitungan penurunan daya output dari kondisi tidak berdebu ke kondisi berdebu:

1. Pada jam 07.00

$$\Delta = \frac{15.42 - 13.14}{15.42} \times 100 \% = 14.79\%$$

2. Pada jam 09.00

$$\Delta = \frac{19.22 - 16.29}{19.22} \times 100 \% = 15.24\%$$

3. Pada jam 11.00

$$\Delta = \frac{22.74 - 18.98}{22.74} \times 100 \% = 16.50\%$$

4. Pada jam 12.00

$$\Delta = \frac{26.97 - 33.04}{26.97} \times 100 \% = -22.53\%$$

5. Pada jam 13.00

$$\Delta = \frac{16.66 - 31.82}{16.66} \times 100 \% = -90.96\%$$

6. Pada jam 15.00

$$\Delta = \frac{16.66 - 15.55}{16.66} \times 100 \% = 6.67\%$$

Efisiensi panel juga mengalami penurunan yang cukup tinggi ketika dalam kondisi permukaan panel berdebu. Berikut penjelasan penurunan efisiensi panel surya. Penurunan ini menunjukkan bahwa debu yang menumpuk di permukaan panel surya mengurangi kemampuan panel untuk menyerap cahaya secara efektif, yang secara langsung berdampak pada daya output yang dihasilkan. Dengan kata lain, panel surya yang tidak dibersihkan secara rutin akan kehilangan efektifitas dalam menghasilkan energi listrik. Untuk menilai kinerja panel surya dalam kondisi yang berbeda, efisiensi panel surya dihitung dengan mengacu pada daya keluaran yang dihasilkan oleh panel dan intensitas cahaya yang diterima. Efisiensi panel surya mengukur seberapa efektif panel dalam mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Efisiensi panel surya dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$\eta = \frac{P_{out}}{Intensitas\ Cahaya\ (W/m^2) \times Luas\ Permukaan\ (m^2)} \times 100 \%$$

Sehingga efisiensi yang didapat ketika panel dalam kondisi tidak berdebu yaitu:

$$\eta = \frac{13.14}{66\ (W/m^2) \times 0.6834\ (m^2)} \times 100 \%$$

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{13.14}{45.10} \times 100 \% \\ &= 29.13\% \end{aligned}$$

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan dan analisis efisiensi serta performa robot pembersih yang sedang dikembangkan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Permukaan panel surya yang terkontaminasi debu, kotoran, atau daun secara signifikan memengaruhi kinerja panel surya, ditunjukkan dengan penurunan daya output dan efisiensi konversi energi. Penurunan tertinggi daya output mencapai **16.50%** pada kondisi panel berdebu pada jam 11.00.
2. Implementasi *fuzzy logic* berkontribusi pada peningkatan daya output panel surya setelah pembersihan, menunjukkan efektivitas algoritma dalam mendukung keberlanjutan fungsi panel surya secara optimal.
3. Robot pembersih panel surya berbasis *fuzzy logic* berhasil mendeteksi kondisi permukaan panel dengan menggunakan sensor warna TCS3200, membedakan debu, kotoran, dan daun berdasarkan nilai RGB.

#### **5.2 Saran**

Pada proyek akhir ini penulis menyadari beberapa kekurangan yang bisa menjadi bahan pengembangan selanjutnya, yaitu sebagai berikut:

1. Mengembangkan modul komunikasi untuk memastikan koneksi yang lebih stabil dan memiliki jangkauan lebih luas, sehingga robot dapat dioperasikan dan dimonitor dari jarak yang lebih jauh.
2. Tambahkan fitur untuk menyimpan dan menampilkan data histori kinerja robot dan kondisi panel, memungkinkan pengguna untuk menganalisis efisiensi pembersihan dari waktu ke waktu.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Manahara, S. Kusuma Putri, I. W. Septa Kencana, S. Ilmu Lingkungan, and J. Pusat, “Tantangan transisi energi terbarukan di Indonesia (Studi kasus PLTS di Kabupaten Cilacap),” *Jimese*, vol. 1, no. 1, pp. 78–92, 2023, [Online]. Available: <https://journal-iasssf.com/index.php/JIMESEJIMESE>
- [2] S. Ayu Arsita, G. Eko Saputro, and S. Susanto, “Perkembangan Kebijakan Energi Nasional dan Energi Baru Terbarukan Indonesia,” *J. Syntax Transform.*, vol. 2, no. 12, pp. 1779–1788, 2021, doi: 10.46799/jst.v2i12.473.
- [3] 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>.
- [4] B. Adi and A. Tanto, “Rancang Bangun Alat Pembersih Panel Surya Menggunakan Outseal Plc Dan Sensor Ir Proximity Yang Terkoneksi Dengan Android Melalui Modul Wifi Dt-06 Dan Modul Bluetooth Hc-05,” *J. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 1, p. 37, 2022, doi: 10.31000/jte.v6i1.7049.
- [5] J. T. Mesin, P. Negeri, and U. Pandang, “Kontrol Otomatis Pembersih Panel Surya Berbasis Iot Dengan Menggunakan Platform Angga Renaldi,” 2023.
- [6] M. S. Afandi, S. Soediby, and F. A. Pamuji, “Desain Dan Implementasi Alat Pembersih Panel Surya Portabel Otomatis Menggunakan Fuzzy Controller,” 2021, [Online]. Available: <https://repository.its.ac.id/82715/>
- [7] Danny Santoso Mintorogo, “Strategi Aplikasi Sel Surya (Photovoltaic Cells) Pada Perumahan Dan Bangunan Komersial,” *Dimens. (Jurnal Tek. Arsitektur)*, vol. 28, no. 2, pp. 129–141, 2000, [Online]. Available: <http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/ars/article/view/15736>
- [8] D. Darwin, A. Panjaitan, and S. Suwarno, “Analisa pengaruh Intesitas Sinar Matahari Terhadap Daya Keluaran Pada Sel Surya Jenis Monokristal,” *J. MESIL (Mesin Elektro Sipil)*, vol. 1, no. 2, pp. 99–106, 2020, doi: 10.53695/jm.v1i2.105.
- [9] R. Pido, “Analisa Pengaruh Kenaikan Temperatur Permukaan Solar Cell Terhadap Daya Output,” *Gorontalo J. Infrastruct. Sci. Eng.*, vol. 2, no. 2, p. 24, 2019, doi: 10.32662/gojise.v2i2.683.
- [10] D. Dahliya, S. Samsurizal, and N. Pasra, “Efficiency of a 100 Wp Capacity Solar Panel Due to the Effect of Temperature and Wind Speed,” *J. Ilm. SUTET*, vol. 11, no. 2, pp. 71–80, 2021.

- [11] O. A. Nugroho, Y. B. A. Apatya, F. O. Sanctos Perdana Tukan, and Y. Fredy Sakti, "The Robot Design Rancang Bangun Robot Pembersih Solar PV Dengan Sistem Pengendali Nirkabel," *Infotekmesin*, vol. 14, no. 2, pp. 181–188, 2023, doi: 10.35970/infotekmesin.v14i2.1699.
- [12] D. C. P. Talawo, J. Ilham, and L. M. K. Amali, "Pengaruh Polutan pada Permukaan Panel Surya Terhadap Kinerja Panel Surya Kapasitas 10 Wp," *Jambura Ind. Rev.*, vol. 2, no. 1, pp. 31–38, 2022, doi: 10.37905/jirev.2.1.31-38.
- [13] A. Wijaya and D. Juliadi, "Rancang Bangun Robot Pembersih Lantai Menggunakan Arduino Nano Dengan Sistem Pengendali Berbasis Android," *Pseudocode*, vol. 8, no. 2, pp. 98–107, 2021, doi: 10.33369/pseudocode.8.2.98-107.
- [14] A. ArjunPratikto, "Simulasi Kendali Dan Monitoring Daya Listrik Peralatan Rumah Tangga Berbasis ESP32," *ALINIER J. Artif. Intell. Appl.*, vol. 3, no. 1, pp. 38–48, 2022, doi: 10.36040/aliner.v3i1.4855.
- [15] S. Samsugi, "Penerapan Penjadwalan Pakan Ikan Hias Molly Menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno Dan Sensor Rtc Ds3231," *J. Teknol. dan Sist. Tertanam*, vol. 4, no. 1, 2023, doi: 10.33365/jtst.v4i1.2209.
- [16] A. Azis, Y. Irwansi, and D. Rahmanda, "Perancangan Penggerak Pada Robot Pemotong Rumput," *Elektrika*, vol. 15, no. 2, p. 105, 2023, doi: 10.26623/elektrika.v15i2.8017.
- [17] I. Zulkarnain, R. Mukhlis, and A. Badrul, "Implementasi Alat Pendeteksi Warna Benda Menggunakan Fuzzy Logic dengan Sensor TCS3200 Berbasis Arduino," *J. Teknol. Sist. Inf. dan Sist. Komput. TGD*, vol. 2, no. 2, pp. 106–117, 2019.
- [18] S. A. , T. P. , I. M. A. S. Eko Sulisty, "Prototype Pengaturan Kecepatan Dan Kendali Jarak Otomatis Pada Mobil Listrik Terhadap Bahaya Kecelakaan Menggunakan Metode Fuzzy Logic Controller (Flc)," *Pros. Semin. Nas. Inov. Teknol. Terap.*, 2023.
- [19] D. Risqiwati, T. A. Nugroho, Z. Sari, and H. A. Sidharta, "Monitoring dan otomatisasi pengendalian nutrisi pada akuaponik menggunakan algoritma fuzzy logic controller," *Pros. Semin. Nas. Teknol. dan Rekayasa*, vol. 5, pp. 115–123, 2019.
- [20] A. Ikhwan, M. Badri, M. Andriani, and N. Saragih, "Analisis Tingkat Kepuasan Pelanggan Menggunakan Fuzzy Mamdani (Studi Kasus: Busrain Bakery)," *J. SAINTIKOM (Jurnal Sains Manaj. Inform. dan Komputer)*, vol. 18, no. 2, p. 147, 2019, doi: 10.53513/jis.v18i2.153.



**LAMPIRAN**  
**RIWAYAT HIDUP**

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

### Data Pribadi

Nama Lengkap : Muhammad Muflih Rahman  
Tempat, Tanggal Lahir : Sungailiat, 17 Agustus 2003  
Alamat Rumah : Jl. Nelayan 2, Sungailiat  
No. HP : 083175817492  
Email : [muhammadmuflihrahman@gmail.com](mailto:muhammadmuflihrahman@gmail.com)  
Jenis Kelamin : Laki-laki  
Agama : Islam



### Riwayat Pendidikan

- |   |                 |
|---|-----------------|
| 1. SD Negeri 1 Sungailiat                       | Lulus 2015      |
| 2. SMP Negeri 1 Sungailiat                      | Lulus 2018      |
| 3. SMK Negeri 1 Sungailiat                      | Lulus 2021      |
| 4. Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung | 2021 - Sekarang |

### Pengalaman Kerja

PT Telkom Akes Bangka Belitung

Sungailiat, 24 Juli 2024

Muhammad Muflih R

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

### 1. Data Pribadi

Nama Lengkap : Veni Cahyanti  
Tempat, Tanggal Lahir : Sungailiat, 14 Oktober 2003  
Alamat Rumah : Jl. Galunggung, Kp. Batako  
No. HP : 08994377049  
Email : [venicahyanti14@gmail.com](mailto:venicahyanti14@gmail.com)  
Jenis Kelamin : Perempuan  
Agama : Islam



### 2. Riwayat Pendidikan

- |   |                 |
|---|-----------------|
| 1. SD Negeri 13 Sungailiat                      | Lulus 2015      |
| 2. SMP Negeri 5 Sungailiat                      | Lulus 2018      |
| 3. SMK Negeri 1 Sungailiat                      | Lulus 2021      |
| 4. Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung | 2021 – Sekarang |

### 3. Pengalaman Kerja

Kampus Mengajar di SMK Muhammadiyah 1 Palembang

Sungailiat, 24 Juli 2024

Veni Cahyanti