

**RANCANG BANGUN SISTEM TRACKER DAN WIPER  
PANEL SURYA MENGGUNAKAN METODE  
ARTIFICIAL INTELLIGENCE**

**SKRIPSI**

**OLEH:**

**RAGIL PRASETYA**

**218120003**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2025**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 10/4/26

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repositori.uma.ac.id)10/4/26

**RANCANG BANGUN SISTEM TRACKER DAN WIPER  
PANEL SURYA MENGGUNAKAN METODE  
ARTIFICIAL INTELLIGENCE**

**SKRIPSI**

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik  
Universitas Medan Area

Oleh:

**RAGIL PRASETYA**

**218120003**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2025**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 10/4/26

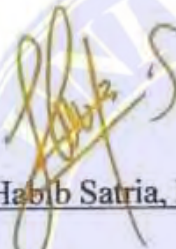
Access From (repositori.uma.ac.id)10/4/26

## HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Skripsi : Rancang Bangun Sistem Tracker Dan Wiper Panel Surya  
Menggunakan Metode Artificial Intelligence  
Nama : Ragil Prasetya  
NPM : 218120003  
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh

Komisi Pembimbing

  
Ir. Habib Satria, M.T., M.Kom, IPM, ASEAN Eng

Pembimbing



  
Supriatno, S.T., M.T.

Dekan



  
Muhammad Fadlan Siregar, ST., MT., IPM

Ka.Prodi

Tanggal lulus: 18 September 2025

## HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi- sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.



## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ragil Prasetya  
NPM : 218120003  
Program Studi : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Tugas Akhir/Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : Rancang Bangun Sistem Tracker Dan Wiper Panel Surya Menggunakan Metode Artificial Intelligence

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Medan  
Pada tanggal : 18 September 2025  
Yang menyatakan



( Ragil Prasetya )

## ABSTRAK

Penelitian ini membahas perancangan dan pengembangan sistem pelacak dan pembersih otomatis pada panel surya dengan memanfaatkan metode Artificial Intelligence (AI) sebagai acuan dalam menentukan sudut optimal terhadap posisi matahari. Sistem ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi konversi energi dengan mengatur sudut orientasi panel secara otomatis serta menjaga kebersihan permukaan panel melalui kontrol terpadu. Sistem pelacak menggunakan sensor LDR untuk mendeteksi intensitas cahaya dari dua arah, yang kemudian menggerakkan aktuator agar panel mengikuti pergerakan matahari. Sistem pembersih otomatis bekerja berdasarkan pembacaan sensor debu, dan motor pembersih akan diaktifkan apabila ambang batas kotoran terlampaui. Penerapan AI dilakukan secara tidak langsung dengan memanfaatkan data cuaca dan posisi matahari dari platform Windy dan SunCalc sebagai acuan referensi dan evaluasi kinerja sistem. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem pelacak mampu menyesuaikan sudut panel dengan deviasi rata-rata sebesar  $\pm 5-10^\circ$  dibandingkan dengan data referensi AI. Sementara itu, sistem pembersih terbukti efektif dalam meningkatkan tegangan dan daya keluaran setelah proses pembersihan dilakukan. Dengan demikian, integrasi sistem otomatis berbasis sensor dengan dukungan data AI dari Windy dan SunCalc mampu meningkatkan kinerja dan efisiensi panel surya dalam memanfaatkan energi terbarukan secara optimal.

**Kata Kunci:** Panel surya, pelacak otomatis, pembersih otomatis, Artificial Intelligence, Windy, SunCalc

## ABSTRAK

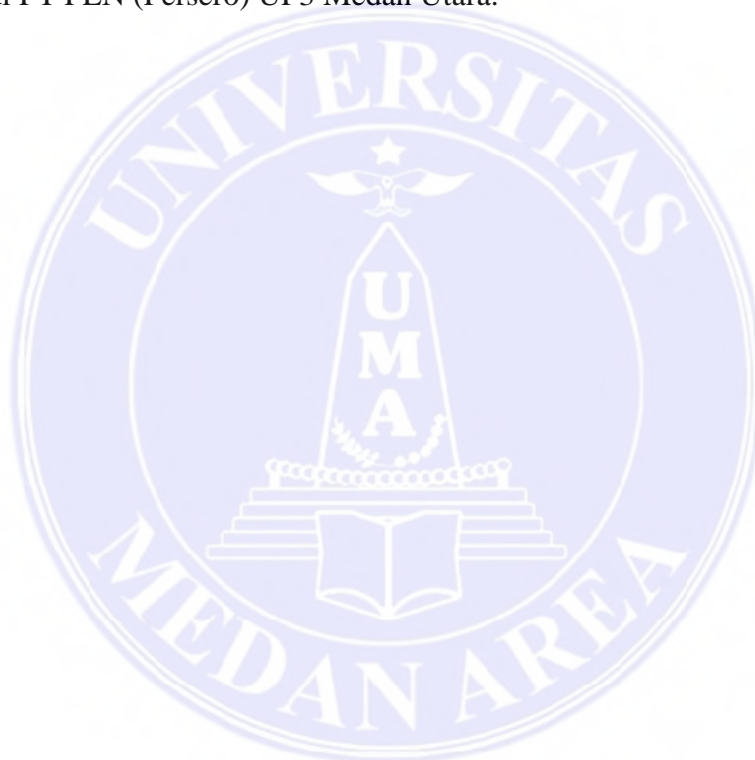
*This study presents the design and development of an automatic solar panel tracking and cleaning system, utilizing Artificial Intelligence (AI) as a reference for determining the optimal solar angle. The system aims to improve energy conversion efficiency by automatically adjusting the panel's orientation and maintaining its surface cleanliness through an integrated control mechanism. The tracking component uses Light Dependent Resistors (LDRs) to detect light intensity from two directions, which drives the actuator to follow the sun's movement. The cleaning system operates based on a dust sensor that activates a cleaning motor once dust accumulation exceeds a predefined threshold. AI is implemented indirectly by referring to real-time environmental data sourced from the Windy and SunCalc platforms, which provide solar radiation and sun angle information to evaluate system performance. Testing results show that the tracker successfully aligns the panel with the sun, with an average angular deviation of  $\pm 5-10^\circ$  compared to the AI-based reference angles. The cleaning system also contributes to higher voltage and power output after each cleaning cycle, confirming its effectiveness. In conclusion, the integration of sensor-based automation with AI-supported data from Windy and SunCalc enhances the adaptability and efficiency of solar panel systems in capturing renewable energy more optimally.*

**Keyword:** *Solar panel, automatic tracking, automatic cleaning, Arduino, Artificial Intelligence, Windy, SunCalc*

## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Pasir Putih Pada Tanggal 20 juli 2002 dari ayah yang bernama CECEP KOMARA dan Ibu NURHAYATI PERANGIN ANGIN. Penulis merupakan anak ke 4 dari 5 bersaudara. Tahun 2020 Penulis lulus dari SMK TEKNOLOGI BALAM dan pada tahun 2021 penulis mendaftarkan diri sebagai mahasiswa baru Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro di Universitas Medan Area.

Saat ini penulis sudah berada di semester Akhir dengan pencapaian indeks prestasi yang cukup memuaskan. Selama menjadi mahasiswa Universitas Medan Area, penulis cukup banyak mengikuti kegiatan-kegiatan aktif yang diselenggarakan baik dari kampus maupun dari luar kampus, Dan pada tanggal 1 Agustus sampai 30 Agustus tahun 2024 penulis melakukan praktek kerja lapangan (PKL) di PT PLN (Persero) UP3 Medan Utara.



## KATA PENGANTAR

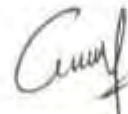
Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul **"Rancang Bangun Sistem Tracker dan Pembersih Panel Surya Otomatis Berbasis Artificial Intelligence"**

Dalam proses penyusunan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa pencapaian ini tidak lepas dari bantuan, doa, dukungan, serta bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua serta saudara penulis atas segala dukungan moral, spiritual, dan materil yang tak pernah berhenti diberikan selama masa studi hingga selesainya skripsi ini.
2. Bapak Prof. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc selaku Rektor Universitas Medan Area.
3. Bapak Dr. Eng. Suprianto, ST, MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
4. Bapak Muhammad Fadlan Siregar, ST, MT, IPM selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro.
5. Bapak Ir. Habib Satria, M.T, M.Kom, IPM, ASEAN Eng, Selaku Dosen Pembimbing Untuk Tugas Akhir Ini Yang Memberikan Saran Dan Kritik Yang Membangun Dalam Penyusunan Tugas Akhir Ini.
6. Program Studi Teknik Elektro, atas segala bantuan selama proses akademik dan non-akademik.
7. Rekan-rekan seperjuangan, khususnya keluarga besar Himpunan Mahasiswa Elektro dan mahasiswa Teknik Elektro angkatan 2021, atas semangat, kerja sama, dan motivasi yang senantiasa diberikan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis membuka diri terhadap segala kritik dan saran yang membangun demi perbaikan ke depannya. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat dan menjadi referensi yang berguna dalam bidang Teknik Elektro.

Medan, 18 September 2025



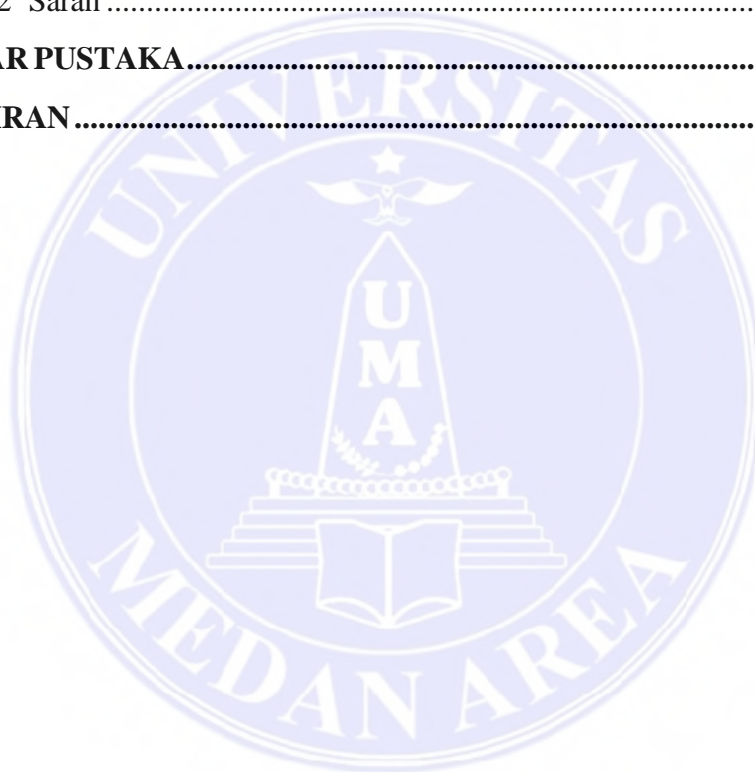
(Ragil prasetya)

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI .....	i
HALAMAN PERNYATAAN .....	ii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....	iii
ABSTRAK .....	iv
ABSTRAK .....	v
RIWAYAT HIDUP .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>6</b>
2.1 Energi Surya sebagai Sumber Energi Terbarukan .....	6
2.1.1 Pentingnya Energi Surya .....	6
2.1.2 Prinsip Kerja Panel Surya.....	7
2.1.3 Keterbatasan Efisiensi Panel Surya .....	8
2.2 Sistem Pelacakan Matahari (Solar Tracking System) .....	8
2.2.1 Prinsip Dasar Solar Tracking.....	8
2.2.2 Keterbatasan Sistem Pelacak Tradisional .....	9
2.2.3 <sup>viii</sup> Sistem Pembersihan Otomatis pada Panel Surya .....	9
2.2.4 Dampak Kotoran dan Debu terhadap Efisiensi Panel Surya .....	9

2.2.5 Sistem Wiper Otomatis .....	10
2.3 Perangkat Lunak .....	10
2.3.1 Artificial Intelligence.....	10
2.4 Perangkat keras .....	13
2.4.1 Arduino Uno .....	13
2.4.2 Sensor Ldr .....	14
2.4.3 Aktuator .....	15
2.4.4 Saklar Timer.....	16
2.4.5 Motor Stepper.....	16
2.4.6 Sensor Debu .....	17
2.4.7 Solar Panel .....	18
2.4.8 Solar Charge Controller (SCC) .....	19
2.4.9 Baterai .....	20
2.4.10 Watt Meter.....	21
2.4.11 Buck Converter .....	22
2.5 Sintesis Penelitian .....	24
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>28</b>
3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian.....	28
3.1.1 Waktu Penelitian .....	28
3.1.2 Tempat Penelitian .....	28
3.2 Metodologi Penelitian dan Tahapan .....	29
3.3 Diagram Penelitian.....	32
3.4 Desain Alat.....	34
3.5 Alat dan Bahan.....	35
3.6 Diagram Blok.....	39
3.7 Rangkaian Keseluruhan Alat.....	40
3.8 Pengukuran Langsung Dilapangan.....	42
3.9 Pengumpulan Data Sekunder .....	43
3.10 Pengamatan Visual.....	43
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>44</b>
4.1 Gambaran Umum Sistem .....	44
4.2 Hasil Pembuatan Alat.....	44

4.2.1 Pengujian Sistem Tracker .....	45
4.2.2 Pengujian Sistem Wiper .....	46
4.3 Analisa Keseluruhan Data.....	48
4.4 Pembahasan.....	54
4.4.1 Efektivitas Sistem Tracker.....	54
4.4.2 Efektivitas Sistem Pembersih .....	55
4.4.3 Peran AI dalam Perancangan Sistem .....	57
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>59</b>
5.1 Kesimpulan .....	59
5.2 Saran .....	60
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>61</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>63</b>



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Panel Surya.....	6
<b>Gambar 2. 2</b> Prinsip Kerja Panel Surya.....	7
<b>Gambar 2.3</b> Visualisasi Data Radiasi Matahari dari Aplikasi Windy.....	11
<b>Gambar 2. 4</b> Visualisasi Posisi Matahari pada Aplikasi SunCalc.....	12
<b>Gambar 2.5</b> Arduino Uno.....	13
<b>Gambar 2.6</b> Bentuk dan Simbol LDR.....	14
<b>Gambar 2.7</b> Aktuator.....	15
<b>Gambar 2.8</b> Dinamo Wiper.....	17
<b>Gambar 2.9</b> Sensor Debu.....	17
<b>Gambar 2.10</b> Panel Surya.....	18
<b>Gambar 2.11</b> Solar Charge Controller.....	19
<b>Gambar 2.12</b> Baterai / Aki.....	20
<b>Gambar 2.13</b> Watt Meter.....	21
<b>Gambar 2.14</b> Watt Meter.....	23
<b>Gambar 3. 1</b> Diagram Alir Penelitian.....	33
<b>Gambar 3.2</b> Desain Alat.....	34
<b>Gambar 3. 3</b> Diagram Blok.....	39
<b>Gambar 3.4</b> Rangkaian Keseluruhan Alat.....	41
<b>Gambar 4.1</b> Tampilan Akhir Alat.....	44
<b>Gambar 4.2</b> Visualisasi Sudut Kemiringan Panel Dan Sudut Matahari.....	46
<b>Gambar 4.3</b> Perbedaan keluaran Watt Sesudah Dan Sebelum Di Bersihkan.....	47

<b>Gambar 4.4</b> Grafik Perbandingan Daya Panel Statis Dan Traacker.....	50
<b>Gambar 4.5</b> Grafik Perbandingan Sudut Panel Aktual Dan Rekomendasi Ai .....	51
<b>Gambar 4.6</b> grafik intensitas cahaya dan waktu.....	52
<b>Gambar 4.7</b> Grafik Perbandingan Output Saat Panel Bersih Dan Kotor .....	53



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Sintesis Penelitian .....	24
<b>Tabel 3.1</b> Waktu Penelitian.....	28
<b>Tabel 3.2</b> Alat dan Bahan.....	35
<b>Tabel 4.1</b> Hasil Pengukuran Seluruh Sistem .....	49



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang paling menjanjikan untuk memenuhi kebutuhan listrik masa depan. Namun, terdapat beberapa tantangan teknis dalam meningkatkan efisiensi sistem panel surya, terutama dalam pemanfaatan energi matahari yang maksimal. Secara umum, modul surya sering kali dipasang secara tetap, yang menyebabkan penyerapan sinar matahari menjadi kurang optimal. Oleh karena itu, diperlukan sistem yang mampu melacak pergerakan matahari secara dinamis, seperti sistem pelacak matahari atau *solar tracking system* (Satria et al., 2023).

Sistem pelacak matahari dirancang untuk mengoptimalkan sudut antara modul surya dan sinar matahari sehingga penyerapan energi menjadi lebih efisien. Namun, banyak sistem pelacak yang saat ini hanya mengandalkan algoritma berbasis waktu atau geometris tanpa memperhitungkan perubahan kondisi lingkungan, seperti cuaca atau fluktuasi intensitas cahaya. Akibatnya, kinerja sistem tersebut kurang adaptif terhadap dinamika lingkungan (Fajar Luista et al., 2024).

Di sisi lain, sistem pembersihan otomatis, seperti wiper, digunakan untuk menjaga kebersihan permukaan panel surya agar penyerapan energi tidak terganggu oleh debu atau kotoran. Namun, pengoperasian sistem ini sering kali diatur dengan interval waktu tetap tanpa mempertimbangkan tingkat polusi atau kondisi cuaca. Hal ini berpotensi menyebabkan penggunaan energi yang tidak efisien (Renaldi et al., 2024).

Kemajuan teknologi kecerdasan buatan (AI) membuka peluang untuk meningkatkan efisiensi sistem pelacak dan pembersih panel surya. Dalam konteks ini, AI tidak diterapkan sebagai sistem utama, tetapi sebagai acuan berbasis data real-time untuk memahami kondisi cuaca, intensitas cahaya, dan tingkat polusi. Dengan memanfaatkan data yang sudah ada, sistem dapat menyesuaikan orientasi panel surya dan frekuensi pembersihan secara lebih efisien. Hal ini memungkinkan integrasi teknologi yang lebih responsif terhadap perubahan lingkungan tanpa membangun model AI dari awal (Zhang et al., 2023).

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem pelacakan dan pembersihan otomatis pada panel surya dengan menggunakan metode AI sebagai acuan real-time. Diharapkan, sistem ini dapat menjadi solusi optimal untuk meningkatkan efisiensi energi panel surya melalui orientasi yang lebih presisi dan pemeliharaan permukaan panel yang lebih efektif.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana memanfaatkan metode AI sebagai acuan untuk mengembangkan sistem pelacak surya yang adaptif terhadap kondisi cuaca real-time guna meningkatkan efisiensi panel surya?
2. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem pembersih otomatis pada panel surya yang mampu mendeteksi kondisi kotoran atau debu secara mandiri guna menjaga kinerja optimal panel dalam berbagai kondisi lingkungan?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas tujuan penelitian yang akan dicapai adalah sebagai berikut:

1. Mengembangkan sistem pelacak surya yang memanfaatkan metode AI sebagai acuan untuk meningkatkan efisiensi panel surya dengan menyesuaikan orientasi modul secara real-time terhadap kondisi cuaca.
2. Merancang sistem pembersihan otomatis yang mampu mendeteksi keberadaan debu atau kotoran secara mandiri dan melakukan pembersihan panel surya secara efektif untuk menjaga kinerja optimal panel.

### 1.4 Batasan Masalah

1. Penelitian ini memfokuskan pada pengembangan sistem pelacakan matahari (solar tracker) yang memanfaatkan metode AI sebagai acuan untuk meningkatkan efisiensi panel surya menyesuaikan orientasi modul secara real-time terhadap kondisi cuaca.
2. Penelitian ini berfokus pada sistem wiper yang menerapkan mekanisme pembersihan menggunakan wiper otomatis berbasis deteksi kotoran atau debu. Dan tidak akan membahas sistem yang lebih kompleks seperti pembersihan melalui teknologi elektrostatis atau sistem canggih lainnya.
3. Penelitian ini hanya memfokuskan pengujian meliputi kondisi cuaca yang umum, seperti cerah, mendung, hujan ringan, dan akumulasi debu dan Penelitian tidak akan menguji sistem dalam kondisi cuaca ekstrem seperti badai atau hujan es. Selain itu, pengujian hanya dilakukan dalam lingkungan terbuka yang standar, tanpa melakukan pengujian di lingkungan industri atau kawasan dengan cuaca sangat ekstrim.

## 1.5 Manfaat Penelitian

1. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi energi yang dihasilkan oleh panel surya dengan mengoptimalkan sudut kemiringan panel terhadap arah datangnya sinar matahari sepanjang hari. Dengan menggunakan metode berbasis AI sebagai referensi sudut, sistem pelacak dapat mengarahkan panel secara lebih akurat mengikuti pergerakan matahari yang disesuaikan dengan data cuaca dan lokasi.
2. Sistem pembersih otomatis yang dirancang dalam penelitian ini berfungsi untuk mengurangi ketergantungan pada proses pembersihan manual. Hal ini tidak hanya membantu menekan biaya perawatan, tetapi juga menghemat waktu dan tenaga, sekaligus menjaga permukaan panel tetap bersih agar proses penyerapan energi berjalan secara maksimal. Secara keseluruhan.
3. penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi pelacak berbasis data, dengan pemanfaatan AI sebagai acuan pengaturan sistem. Di sisi lain, sistem mekanis otomatis yang diintegrasikan turut mendukung upaya menuju pemanfaatan energi terbarukan yang lebih berkelanjutan dan efisien.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Tugas Akhir ini, tersusun dalam beberapa bab, dengan susunan sebagai berikut :

### a. BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini menerangkan secara singkat latar belakang penelitian, rumusan masalah penelitian, tujuan penelitian, batasan masalah, dan manfaat penelitian serta sistematika penulisan.

b. **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi tentang pembahasan teori-teori yang berhubungan dengan pokok pembahasan dalam penelitian tugas akhir sehingga hasil yang akan didapat lebih optimal.

c. **BAB III. METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini memuat tentang metode penelitian yang meliputi waktu dan lokasi penelitian, desain dan metode penelitian.

d. **BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisi inti dari semua pembahasan dalam penelitian tugas akhir, yang menjelaskan tentang kegunaan, efisiensi dan manfaat dari penelitian rancang bangun Tracker Sistem Wiper dan Tracker Panel Surya Menggunakan Metode Artificial Intelligence.

e. **BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran yang didapat dari penelitian yang telah dilakukan.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Energi Surya sebagai Sumber Energi Terbarukan

Energi Surya sebagai Sumber Energi Terbarukan merujuk pada pemanfaatan sinar matahari sebagai sumber energi yang dapat diandalkan dan tidak habis, yang dapat diubah menjadi energi listrik atau panas. Energi surya adalah salah satu jenis energi terbarukan yang dianggap paling menjanjikan karena sumbernya, yaitu matahari, tidak akan habis dan tersedia secara luas di hampir seluruh bagian bumi. Energi ini ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca yang merugikan atmosfer, berbeda dengan penggunaan bahan bakar fosil. (Mayasari et al., 2022)



**Gambar 2. 1** Panel Surya

Sumber: (<https://atonergi.com/mana-yang-lebih-baik-solar-panel-20-wp-atau-50-wp/>)

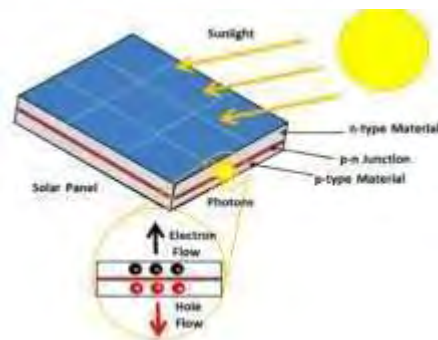
##### 2.1.1 Pentingnya Energi Surya

Energi surya merupakan salah satu bentuk energi terbarukan yang paling melimpah di bumi. Panel surya memanfaatkan sinar matahari untuk menghasilkan listrik melalui teknologi fotovoltaik (PV). (Ariyono, 2019). Penggunaan energi surya semakin berkembang karena potensinya yang besar dalam mengurangi emisi

gas rumah kaca dan ketergantungan pada energi fosil. (Dwisari, 2023). Meskipun energi surya menawarkan keuntungan besar dalam hal keberlanjutan, efisiensi energi yang dihasilkan oleh panel surya sangat tergantung pada berbagai faktor lingkungan, termasuk sudut paparan dan kebersihan permukaan modul. (Irawati et al., 2021)

### 2.1.2 Prinsip Kerja Panel Surya

Prinsip kerja panel surya didasarkan pada efek fotovoltaiik, yaitu ketika bahan semikonduktor seperti silikon terkena radiasi cahaya (foton), mereka menghasilkan aliran listrik. Sel surya silikon adalah contoh umum dari perangkat ini. Sel tersebut terdiri dari lapisan-lapisan silikon yang telah didoping untuk menciptakan junction p-n. Bagian p terbuat dari silikon yang telah diberi "impuritas" tertentu untuk menciptakan hole (muatan positif), sedangkan bagian n didoping dengan elemen yang menyumbangkan elektron (muatan negatif). Ketika foton cahaya matahari menghantam sel surya, energi foton akan membebaskan elektron dari ikatan atom di sisi semikonduktor tipe-n. Elektron-elektron ini kemudian bergerak melalui rangkaian eksternal dari lapisan n menuju lapisan p, menciptakan arus listrik. (Maka & Alabid, 2022). Proses tersebut bisa di lihat pada Gambar 2.2



**Gambar 2. 2** Prinsip Kerja Panel Surya

Sumber: (Mayasari et al., 2022)

Adapun proses sederhana nya ialah sebagai berikut:

1. Energi dari Cahaya matahari di serap oleh bahan semikonduktor yang ada di dalam fotovoltaik.
2. Saat energi matahari desorap maka energi tersebut menyebabkan electron yang ada di dalam bergerak bebas dan lepas dari atomnya dan hal tersebut menyebabkan terbentuknya lubang positif.
3. Listrik internal yang ada dalam sel fotovoltaik memisahkan elektron (muatan negatif) dan proton (muatan positif yang terkait dengan lubang), sehingga menciptakan arus listrik searah (DC).

### 2.1.3 Keterbatasan Efisiensi Panel Surya

Efisiensi panel surya masih menjadi tantangan besar dalam memaksimalkan konversi energi matahari. Efisiensi panel surya dapat berkurang drastis ketika modul tidak berada dalam posisi yang tepat untuk menerima sinar matahari langsung, (Asri, 2019), atau ketika panel tertutup debu dan kotoran yang dapat mengurangi efisiensi modul sebesar 30%. (Meilany et al., 2024). Oleh karena itu, diperlukan sistem yang dapat mengatasi masalah ini untuk menjaga kinerja panel surya dalam kondisi optimal.

## 2.2 Sistem Pelacakan Matahari (Solar Tracking System)

### 2.2.1 Prinsip Dasar Solar Tracking

Sistem pelacak matahari atau solar tracker adalah sistem yang secara otomatis menyesuaikan orientasi panel surya agar selalu menghadap matahari. *Solar tracker* melacak posisi matahari dengan bantuan sensor, yang kemudian memberikan informasi dan mengarahkan sistem penggerak untuk mengikuti pergerakan matahari. Dengan alat ini, panel surya dapat terus menyesuaikan posisinya agar

selalu tegak lurus dengan matahari, sehingga penyerapan energi menjadi maksimal. (Eka Saputra et al., 2024). Penggunaan solar tracker dapat meningkatkan efisiensi hingga 3–25% dibandingkan panel yang statis. (Saragih et al., 2024)

### **2.2.2 Keterbatasan Sistem Pelacak Tradisional**

Meskipun solar tracker dapat meningkatkan efisiensi, sistem pelacak tradisional yang berbasis waktu atau algoritma geometris memiliki keterbatasan dalam beradaptasi dengan perubahan cuaca dan intensitas cahaya. Sistem pelacak tradisional sering kali tidak dapat beroperasi secara optimal saat kondisi cuaca berubah secara tiba-tiba, seperti saat awan menutupi matahari. (Abdin et al., 2019). Oleh karena itu, diperlukan metode yang lebih cerdas, seperti pemanfaatan kecerdasan buatan (AI) dan komponen pendukung lainnya seperti relay dan modul timer, untuk meningkatkan adaptabilitas sistem pelacak terhadap perubahan lingkungan.

## **2.3 Sistem Pembersihan Otomatis pada Panel Surya**

### **2.3.1 Dampak Kotoran dan Debu terhadap Efisiensi Panel Surya**

Debu, kotoran, polusi, dan partikel lainnya dapat menghalangi sinar matahari dari mencapai sel fotovoltaik, yang secara signifikan menurunkan efisiensi panel surya. menunjukkan bahwa efisiensi panel surya dapat berkurang hingga 30% jika tidak dilakukan pembersihan rutin. (Triyanto & Kusnadi, 2023). Oleh karena itu, penting untuk mengembangkan sistem pembersihan otomatis yang efisien dan hemat energi.

### 2.3.2 Sistem Wiper Otomatis

Sistem pembersihan otomatis dengan menggunakan wiper telah dikembangkan untuk menjaga panel surya tetap bersih. Namun, sebagian besar sistem wiper konvensional diatur berdasarkan interval waktu tetap, yang tidak mempertimbangkan kondisi aktual di lapangan, seperti jumlah debu atau kotoran lain. Pada penelitian terdahulu menyebutkan penggunaan wiper otomatis akan aktif secara berkala berdasarkan waktu yang telah ditentukan tanpa memperhitungkan kondisi lingkungan yang dapat mengakibatkan penggunaan energi yang tidak efisien. (Rizal Wira Kusuma et al., 2020). Maka dari itu, ada kebutuhan untuk meningkatkan kecerdasan sistem ini melalui pemanfaatan sensor sensor yang mendukung.

### 2.4 Perangkat Lunak

Adapun perangkat lunak yang digunakan oleh peneliti untuk mendukung penelitian ini ialah sebagai berikut.

#### 2.4.1 Artificial Intelligence

Pada penelitian ini, kecerdasan buatan *Artificial Intelligence*, AI dimanfaatkan sebagai elemen pendukung untuk meningkatkan efisiensi dan keefektifan sistem tracker dan pembersih otomatis pada panel surya. Pendekatan AI yang digunakan tidak bertujuan untuk membangun model dari awal, melainkan pemanfaatan layanan berbasis AI yang sudah tersedia dalam alat bantu software eksterna seperti *Windy* dan *Suncalk* sebagai acuan untuk analisis data lingkungan secara real-time.

Peran AI pada sistem ini terbatas pada memberikan informasi cuaca yang akurat dan relevan seperti menyediakan data cuaca real-time, seperti intensitas cahaya

matahari, kelembapan, kecepatan angin, dan kemungkinan hujan, yang kemudian digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam sistem., yang kemudian menjadi dasar untuk mengatur orientasi panel surya melalui sistem pelacak *tracker* dan menentukan kondisi kapan pembersihan otomatis dapat aktif. Dengan mengetahui kondisi cuaca secara tepat, sistem dapat beroperasi secara efisien, seperti menyesuaikan posisi panel saat cuaca cerah atau menunda pembersihan saat hujan.

Dengan memanfaatkan teknologi AI adapun alat bantu software eksternal untuk mendukung sistem berbasis AI ini ialah *Windy* dan *Suncalc*, sistem yang dirancang dalam penelitian ini dapat beradaptasi terhadap perubahan cuaca tanpa perlu membangun algoritma yang kompleks. Adapun tampilan software tersebut ialah sebagai berikut:

#### 1. Windy

Windy merupakan platform visualisasi cuaca yang tersedia dalam bentuk web dan aplikasi, yang menyediakan informasi meteorologi secara real-time dan akurat, seperti kecepatan angin, intensitas sinar matahari, suhu, dan kelembapan udara.



**Gambar 2.3** Visualisasi Data Radiasi Matahari dari Aplikasi Windy

Sumber: (<https://www.suncalc.org/>)

Platform ini menggunakan teknologi Artificial Intelligence (AI) dan machine learning untuk mengolah serta memprediksi data cuaca berdasarkan model numerik global seperti ECMWF, GFS, dan lainnya. Berkat integrasi AI, Windy dapat menyajikan prakiraan cuaca yang lebih akurat dan responsif, sehingga sangat berguna dalam mendukung sistem energi surya berbasis AI, seperti solar tracker yang mengandalkan data radiasi matahari untuk mengatur posisi panel secara optimal.

## 2. Suncalc

SunCalc merupakan platform web yang menyajikan informasi posisi matahari secara langsung berdasarkan lokasi geografis dan waktu yang ditentukan. Aplikasi ini memungkinkan pengguna untuk mengetahui sudut elevasi dan azimut matahari sepanjang hari, termasuk waktu-waktu penting seperti matahari terbit, titik tertinggi (solar noon), dan waktu terbenam. Dengan memanfaatkan algoritma astronomi yang presisi, SunCalc dapat menghitung lintasan matahari tanpa memerlukan sensor fisik, cukup dengan memasukkan koordinat dan waktu. Hal ini menjadikannya alat yang sangat berguna dalam perencanaan sistem tenaga surya.



**Gambar 2. 4** Visualisasi Posisi Matahari pada Aplikasi SunCalc

Sumber: (<https://www.windy.com/>)

Dalam sistem solar tracker, data dari SunCalc dapat dimanfaatkan sebagai acuan pembuatan tabel sudut ideal untuk pergerakan panel surya sepanjang hari. Informasi ini juga berguna dalam mengevaluasi performa sistem pelacak berbasis sensor serta sebagai alternatif kontrol jika terjadi kegagalan sensor.

## 2.5 Perangkat keras

Adapun perangkat keras yang di gunakan oleh peneliti untuk mendukung penelitian ini ialah sebagai berikut.

### 2.5.1 Arduino Uno

Saat ini, di bidang teknologi dan elektronik, terdapat berbagai alat prototyping berbasis mikrokontroler yang populer, seperti Arduino, I-CubeX, Arie Robotics Project Junior, Dwengo, EmbeddedLab, GP3, dan lainnya. Di antara berbagai pilihan tersebut, Arduino menjadi salah satu mikrokontroler yang paling sering digunakan. Hal ini disebabkan oleh sifatnya yang open source, baik dari segi perangkat keras maupun perangkat lunak, sehingga menarik minat banyak pengguna (Candra & Pangaribuan, n.d.)



**Gambar 2.5** Arduino Uno

Sumber: (Tohari et al., n.d.)

Arduino UNO adalah mikrokontroler yang dikembangkan menggunakan IC ATmega128. Mikrokontroler ini memiliki 20 pin input dan output, termasuk 6 pin analog dari A0 hingga A5 dan 14 pin digital yang mencakup PD0 hingga PD13. Arduino UNO menggunakan bahasa pemrograman C dan telah dilengkapi dengan port USB, yang membuatnya lebih mudah untuk dioperasikan (Tohari et al., n.d.).

### 2.5.2 Sensor Ldr

Light Dependent Resistor (LDR) adalah jenis resistor yang nilai hambatannya berubah sesuai dengan intensitas cahaya yang diterimanya. Besarnya hambatan pada LDR bergantung pada jumlah cahaya yang mengenainya, semakin gelap cahayanya, hambatan akan meningkat, sedangkan saat cahaya terang, hambatannya menurun. LDR biasanya digunakan sebagai sensor cahaya atau untuk mengukur intensitas cahaya melalui konversi nilai hambatan. LDR ini tersusun dari cakram semikonduktor yang memiliki dua elektroda pada permukaannya. Resistansi LDR berubah sesuai dengan intensitas cahaya yang mengenainya.



**Gambar 2.6** Bentuk dan Simbol LDR

Sumber: (Aribowo et al., n.d.)

Saat kondisi gelap, resistansi LDR mencapai sekitar  $10\text{ M}\Omega$ , sedangkan dalam kondisi terang turun menjadi sekitar  $1\text{ K}\Omega$  atau lebih rendah. LDR dibuat dari bahan semikonduktor, seperti senyawa cadmium sulfide, di mana energi cahaya yang jatuh meningkatkan jumlah muatan yang dilepas, sehingga arus listrik bertambah dan



#### 2.5.4 Saklar Timer

Saklar timer merupakan salah satu komponen penting dalam sistem tracker panel surya, terutama dalam sistem berbasis waktu atau perhitungan astronomis. Saklar ini berfungsi untuk mengontrol waktu operasi aktifnya aktuator yang menggerakkan panel surya, yang bertujuan untuk mengantisipasi terjadinya error pada sistem tracker ini. Dalam sistem single-axis tracker, saklar timer DC 12V bekerja dengan mengaktifkan dan menonaktifkan motor penggerak pada waktu yang telah ditentukan. Saklar dapat diatur untuk menggerakkan panel ke arah timur pada pagi hari, lalu perlahan menggesernya ke barat seiring pergerakan matahari, dan akhirnya mengembalikannya ke posisi awal saat matahari terbenam. Dengan cara ini, sistem tidak perlu terus-menerus membaca data dari sensor cahaya, sehingga mengurangi konsumsi daya dan memperpanjang umur sensor serta aktuator.

#### 2.5.5 Motor Stepper

Motor stepper merupakan jenis motor listrik yang berputar dalam langkah-langkah diskrit (step) berdasarkan sinyal pulsa yang diberikan. Berbeda dengan motor DC konvensional yang berputar secara terus menerus, motor stepper hanya akan bergerak satu langkah setiap kali menerima sinyal input. Motor stepper bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik, di mana kumparan dalam motor akan diaktifkan secara bergantian untuk menarik rotor ke posisi tertentu. Terdapat beberapa jenis motor stepper, namun yang paling umum digunakan dalam proyek-proyek berbasis mikrokontroler adalah motor stepper bipolar dan unipolar. Dalam penelitian ini, motor stepper bipolar digunakan karena memiliki torsi yang lebih besar dan efisiensi yang lebih baik untuk beban pembersih.



**Gambar 2.8** Dinamo Wiper

Sumber: ([NEMA17 Stepper Motor with 400mm T8 Lead Screw Mounted Ball Bearing and Shaft Coupling – Alexnld.com](https://www.alexnl.com/stepper-motor-with-400mm-t8-lead-screw-mounted-ball-bearing-and-shaft-coupling))

### 2.5.6 Sensor Debu

Sensor debu merupakan komponen penting dalam sistem pembersih panel surya otomatis yang berfungsi untuk mendeteksi keberadaan dan tingkat akumulasi debu atau kotoran pada permukaan panel yang mana sensor ini akan mengendalikan dinamo wiper untuk beroperasi. Akumulasi debu yang berlebihan dapat menghalangi masuknya sinar matahari, sehingga mengurangi efisiensi konversi energi panel surya secara signifikan.



**Gambar 2.9** Sensor Debu

Sumber: (<https://id.gnscomponent.com/development-board/gp2y1014au0f-compact-optical-dust-sensor.html/>)

### 2.5.7 Solar Panel

Panel surya merupakan perangkat yang dirancang untuk mengonversi cahaya matahari menjadi energi listrik melalui proses yang dikenal sebagai efek fotovoltaiik. Efek ini terjadi ketika partikel cahaya atau foton mengenai permukaan material semikonduktor, seperti silikon, yang ada di dalam sel-sel surya pada panel tersebut. Ketika foton ini diserap, mereka memberikan energi kepada elektron di dalam semikonduktor, menyebabkan elektron tersebut bergerak dan menciptakan aliran listrik. Proses ini menghasilkan arus listrik searah (DC) yang kemudian dapat digunakan secara langsung atau dikonversi menjadi arus bolak-balik (AC) melalui alat tambahan yang disebut inverter, sehingga listrik dapat digunakan oleh peralatan rumah tangga dan industri.



**Gambar 2.10** Panel Surya

Sumber: (<https://atonergi.com/mana-yang-lebih-baik-solar-panel-20-wp-atau-50-wp/>)

Panel surya sendiri terdiri dari serangkaian modul fotovoltaiik, di mana setiap modul adalah sekumpulan sel surya yang disusun sedemikian rupa untuk meningkatkan kapasitas penyerapan energi. Selain modul utama, dalam panel surya juga terdapat beberapa komponen tambahan yang berperan penting, seperti pengontrol daya atau charge controller untuk memastikan bahwa aliran listrik tetap stabil, dan baterai

penyimpanan yang memungkinkan energi listrik tersimpan untuk digunakan pada saat malam hari atau cuaca mendung ketika sinar matahari berkurang. (Pratama, n.d.)

### 2.5.8 Solar Charge Controller (SCC)

Alat ini berfungsi untuk mencegah kelebihan tegangan pada baterai sehingga memperpanjang masa pakainya. Selain itu, komponen ini juga berperan dalam mengatur aliran arus searah dari panel surya ke baterai dan mengatur distribusi daya DC dari baterai ke perangkat listrik, Ini berarti alat ini tidak hanya bertanggung jawab dalam memastikan baterai terisi dengan baik, tetapi juga mengatur konsumsi daya secara efektif, sehingga perangkat listrik dapat bekerja dengan stabil dan optimal tanpa mengganggu kinerja baterai.



**Gambar 2.11** Solar Charge Controller

Sumber: (<https://atonergi.com/apa-itu-solar-charge-controller-memahami-kontroler-surya/>)

Komponen ini juga dapat mendeteksi jumlah pengisian baterai dan secara otomatis menghentikan arus dari panel surya saat baterai terisi penuh. Pengguna PLTS bisa memanfaatkan informasi dari *charge controller* ini untuk mengatur konsumsi energi sesuai dengan ketersediaan listrik. (Wahyu Bagus Rahmatulloh & Aris Heri Andriawan, 2024)

### 2.5.9 Baterai

Baterai merupakan alat yang digunakan untuk menyimpan listrik DC Melalui reaksi kimia yang dapat dibalik, baterai menyimpan energi listrik yang selanjutnya dapat dipulihkan ketika dibutuhkan.. Ketika baterai diisi, energi listrik diubah menjadi energi kimia, dan sebaliknya, energi kimia kembali diubah menjadi listrik saat baterai digunakan.



**Gambar 2.12** Baterai / Aki  
Sumber: (Ariprihata et al., 2023)

Dalam sistem fotovoltaiik, baterai memiliki dua fungsi utama. Pertama, menyediakan energi listrik ketika panel surya tidak menghasilkan daya, seperti pada malam hari. Kedua, menyimpan kelebihan daya yang dihasilkan panel surya saat ada surplus energi. Tanpa penyimpanan daya dalam baterai, sistem dapat kekurangan daya dan tidak mampu memenuhi kebutuhan energi saat matahari tidak bersinar. Salah satu cara untuk memastikan penyimpanan yang memadai adalah dengan memperkirakan jumlah hari di mana sistem harus bekerja secara mandiri. Dalam beberapa kasus, pengguna dapat menyesuaikan kebutuhan otonomi baterai menjadi 2-3 hari. Namun, pada wilayah dengan radiasi matahari rendah, waktu ini mungkin perlu diperpanjang, sehingga perlu dicari keseimbangan yang tepat antara biaya dan keandalan sistem. (Wahyu Bagus Rahmatulloh & Aris Heri Andriawan, 2024). Adapun penentuan kapasitas baterai bergantung pada sistem PLTS yang dirancang dan memperhitungkan jumlah penggunaan daya dari baterai tersebut.

Kapasitas baterai diukur dalam satuan Ampere hours (Ah). Sebagai contoh, jika sistem PLTS menggunakan baterai dengan kapasitas 50Ah pada tegangan 12 Volt, maka kemampuan penyimpanannya adalah 50Ah x 12V atau setara dengan 600 Wh. (Ariprihata et al., 2023)

### 2.5.10 Watt Meter

Watt meter adalah alat ukur yang digunakan untuk mengetahui besarnya daya listrik (watt) yang dikonsumsi atau dihasilkan oleh suatu perangkat listrik. Dalam konteks sistem panel surya, watt meter digunakan untuk memantau output daya dari panel, sehingga dapat diketahui seberapa besar energi yang berhasil dihasilkan dan seberapa efisien sistem bekerja pada kondisi tertentu. Watt meter bekerja dengan cara mengukur tegangan (volt) dan arus listrik (ampere) secara bersamaan, kemudian menghitung daya aktif dengan menggunakan rumus dasar:

$$\text{Daya (W)} = \text{Tegangan (V)} \times \text{Arus (A)}$$



**Gambar 2.13** Watt Meter

Sumber: (RC Electronics, Inc. "Watt's Up" WU100 DC Watt meter and Power Analyzer (Blue))

Dalam penelitian ini, watt meter digunakan untuk mengamati performa panel surya baik saat berada pada posisi statis (flat) maupun saat mengikuti arah matahari

melalui sistem pelacak otomatis. Data dari watt meter menjadi indikator utama dalam menilai seberapa efektif sistem pelacak meningkatkan daya output panel.

Penggunaan watt meter pada sistem ini sangat penting untuk:

1. Membandingkan output daya antara kondisi panel diam dan panel bergerak.
2. Menganalisis dampak debu atau kotoran terhadap penurunan daya dan efektivitas sistem pembersih otomatis.

### **2.5.11 Buck Converter**

Buck converter adalah salah satu jenis konverter DC ke DC yang berfungsi untuk menurunkan tegangan dari sumber yang lebih tinggi ke tegangan yang lebih rendah dengan cara yang efisien. Dibandingkan dengan metode konversi linier seperti penggunaan resistor atau regulator linier, buck converter lebih unggul dalam hal efisiensi karena bekerja berdasarkan prinsip pensaklaran dan induktansi. Secara umum, rangkaian buck converter terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu transistor (biasanya MOSFET) sebagai saklar, dioda, induktor, dan kapasitor. Saat saklar dalam kondisi ON, arus mengalir melalui induktor dan menyimpan energi dalam bentuk medan magnet. Ketika saklar berubah ke posisi OFF, induktor melepaskan energi tersebut ke beban, menghasilkan tegangan keluaran yang lebih rendah dan relatif stabil.

Dalam penelitian ini, buck converter digunakan untuk:

1. Menurunkan tegangan dari output panel surya (sekitar 18V) ke tegangan yang sesuai dengan perangkat elektronik seperti modul Arduino (5V) atau modul pengisian daya (charger HP).

2. Menjaga tegangan yang masuk ke Arduino agar tidak melebihi batas maksimum yang diperbolehkan (biasanya 7–12V), sehingga menghindari kerusakan komponen akibat overvoltage.
3. Memberikan tegangan stabil ke motor stepper dan sensor-sensor yang membutuhkan input tertentu di bawah tegangan panel utama.



**Gambar 2.14** Watt Meter

Sumber: (LM 2596 – 3A DC-DC Step Down (Buck) Converter Module with Display – Digitalelectronics.lk)

Penggunaan buck converter sangat penting terutama karena sistem panel surya menghasilkan tegangan yang bervariasi tergantung pada intensitas cahaya matahari. Tanpa buck converter, tegangan tinggi yang tidak terkontrol dapat merusak mikrokontroler dan modul lainnya.

Beberapa kelebihan buck converter antara lain:

1. Efisiensi tinggi (hingga 90% atau lebih).
2. Dapat menangani beban arus besar.
3. Ukuran relatif kecil dan mudah diintegrasikan ke sistem elektronik.

Dengan menggunakan buck converter, sistem menjadi lebih andal dan aman dalam mengelola distribusi daya dari panel surya ke komponen-komponen penting lainnya dalam rangkaian.

## 2.6 Sintesis Penelitian

Sintesis penelitian adalah proses menggabungkan, merangkum, dan mengorganisir temuan-temuan penelitian yang relevan dari berbagai sumber menjadi satu rangkuman yang lengkap dan informatif. Tujuan sintesis penelitian adalah untuk menyajikan informasi mendalam tentang topik tertentu dengan cara mengintegrasikan berbagai hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Penelitian penelitian tersebut dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut.

**Tabel 2.1** Sintesis Penelitian

Peneliti	Ringkasan ( <i>Summary</i> )	Metode ( <i>Desain</i> )	Kesamaan ( <i>Compare</i> )	Perbedaan ( <i>Contrast</i> )
(Satria et al., 2023)	Penelitian ini berfokus pada pengembangan teknologi single axis tracker dan sistem pemantauan baterai otomatis dalam sistem	Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan pengukuran langsung pada sistem fotovoltaik (PV) hibrida yang	Memiliki persamaan dalam melakukan pengembangan pada teknologi single axis tracker sebagai upaya agar	Pada penelitian ini peneliti Menggabungkan PV dengan sistem jaringan listrik untuk menjamin pasokan listrik yang stabil, terutama saat

	<p>fotovoltaik (PV) hibrida untuk meningkatkan efisiensi konversi energi surya menjadi energi listrik.</p>	<p>mengintegrasikan teknologi single axis tracker dan sistem pemantauan baterai otomatis. Berikut adalah detail metode yang digunakan:</p>	<p>mendapatkan performa yang lebih efisien.</p>	<p>baterai tidak mencukupi.</p>
<p>(Fajar Luista et al., 2024)</p>	<p>Penelitian ini membahas mengenai sistem pembangkit energi Listrik menggunakan panel surya dengan teknologi solar tracker dual axis.</p>	<p>Penelitian menggunakan metode komparatif untuk mengukur arus dan tegangan dari panel surya dengan dan tanpa solar tracker, menggunakan sensor LDR dan mikrokontroler</p>	<p>Digunakan untuk melacak posisi matahari.</p>	<p>Pada penelitian ini peneliti menggunakan dual axis tracker, Dan menggunakan mikrokontroler Arduino uno.</p>

		Arduino untuk mengatur posisi panel.		
(Renaldi et al., 2024)	Penelitian ini membahas tentang pengembangan alat pembersih panel surya otomatis berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan platform ThingSpeak.	Penelitian ini menggunakan metode desain alat yang menggunakan Arduino dan modul RTC, serta pengujian dengan berbagai tingkat debu untuk memantau parameter seperti tegangan, arus, dan suhu.	Memiliki persamaan dalam pembersihan panel surya secara otomatis	Sistem operasi berpatokan pada interval waktu yang telah di setting
(Eka Saputra et al., 2024)	Penelitian ini membahas tentang perancangan	Penelitian ini menggunakan metode Eksperimental	Memiliki persamaan dalam upaya meningkatkan	Penelitian ini menggunakan sistem pengembangan

<p>dan pengembangan smart solar tracker yang bertujuan untuk meningkatkan daya output energi dari sistem tenaga surya di rumah.</p>	<p>untuk menganalisis kinerja smart solar tracker, terhadap Sudut kemiringan panel, Tegangan dan arus yang dihasilkan oleh panel surya.</p>	<p>kualitas daya yang dihasilkan oleh panel surya.</p>	<p>teknologi <i>internet of things</i> yang memungkinkan pemantauan dan pengaturan jarak jauh.</p>
---	---	--	--

## BAB III METODE PENELITIAN

### 1.1 Waktu Dan Tempat Penelitian

#### 1.1.1 Waktu Penelitian

Adapun waktu perkiraan dalam pengerjaan penelitian ini kurang lebih 3 bulan, yang hal ini dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut :

**Tabel 3.1** Waktu Penelitian

No	Kegiatan Penelitian	Bulan											
		I				II				III			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	Studi Literatur	■	■										
	Pengumpulan Alat dan Bahan		■	■									
	Perancangan Alat		■	■	■								
	Pengumpulan Data						■	■					
	Analisa Data							■	■	■	■		
	Penulisan Laporan									■	■	■	■

#### 1.1.2 Tempat Penelitian

Rancang bangun sistem tracker dan wiper panel surya menggunakan metode artificial intelligence di lakukan di:

Nama Tempat : CV. ANGKASA MOBIE TECH

Alamat : Jalan Sultan Serdang Dusun II, Sena, Batang Kuis, Deli Serdang Sumatera Utara.

## 1.2 Metodologi Penelitian dan Tahapan

Dalam menjalankan sebuah penelitian, dibutuhkan metode dan tahapan yang sistematis untuk memastikan penelitian dapat mencapai hasil yang diharapkan dan berlangsung dengan terstruktur tanpa hambatan selama prosesnya.

### 1. Identifikasi Masalah Dan Studi Literatur

Tujuan dari identifikasi masalah dan studi literatur adalah untuk memahami permasalahan utama yang menghambat efisiensi panel surya, seperti posisi panel yang tidak optimal dan akumulasi debu, serta mengevaluasi solusi yang telah dikembangkan sebelumnya. Tahap ini juga bertujuan mengkaji metode berbasis AI dalam pembacaan cuaca untuk meningkatkan kinerja sistem, sehingga memberikan dasar ilmiah yang kuat bagi desain dan implementasi penelitian.

### 2. Perancangan Sistem

Adapun hal ini melibatkan pengembangan perangkat keras seperti panel surya, motor dc, sensor cahaya, dan sensor debu, serta perangkat lunak berbasis AI untuk mengoptimalkan kinerja panel dan membersihkan kotoran secara otomatis. Sistem ini diintegrasikan menggunakan mikrokontroler untuk memastikan operasional yang efisien dan responsif terhadap kondisi lingkungan.

### 3. Desain Alat

Peneliti terlebih dahulu melakukan pendesainan alat bertujuan untuk memastikan proses pembuatan alat berjalan dengan lancar tanpa kendala, dapat berfungsi sesuai kebutuhan, dan memberikan gambaran awal mengenai bentuk akhir dari alat yang akan dibuat.

#### 4. Pengumpulan Alat dan Bahan

Pengumpulan alat dan bahan dilakukan untuk mendukung perancangan dan implementasi sistem tracker dan wiper panel surya. Semua alat dan bahan yang dipilih berdasarkan kebutuhan desain dan spesifikasi yang mendukung efisiensi dan keberhasilan penelitian.

#### 5. Penetapan metode AI

Metode AI yang di gunakan peneliti disini berupa sistem AI yang telah ada dan di peruntukan sebagai sistem pendeteksi cuaca jangka panjang yang peneliti gunakan sebagai acuan dalam menentukan lokasi, pemantauan kualitas cahaya matahari, dan hal lain agar sistem panel surya dapat bekerja sesuai yang di harapkan.

#### 6. Pembuatan Alat

Pembuatan alat dilakukan dengan mengintegrasikan perangkat keras, seperti panel surya, motor dc, sensor cahaya, dan sensor debu, Sedangkan mikrokontroler digunakan untuk mengontrol semua komponen, termasuk pergerakan tracker dan wiper. Program diunggah ke mikrokontroler, dan parameter sistem disesuaikan agar responsif terhadap data sensor dan kondisi lingkungan. Proses ini memastikan sistem bekerja secara otomatis dalam mengoptimalkan posisi panel surya dan menjaga kebersihannya untuk meningkatkan efisiensi energi.

#### 7. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk mendukung pengembangan dan pengujian sistem tracker dan wiper panel surya. Data diperoleh melalui pengukuran intensitas cahaya dengan sensor LDR, tingkat debu dengan

sensor debu, serta sistem AI sebagai acuan dalam pengamatan cuaca dan posisi matahari. Selain itu, data sekunder dari literatur terkait digunakan sebagai referensi dan pembanding.

#### 8. Pengujian sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan kinerja tracker dan wiper panel surya berbasis AI sesuai dengan desain yang dirancang. Pengujian meliputi kemampuan tracker mengikuti posisi matahari, efektivitas wiper dalam membersihkan panel dari debu, serta pengukuran peningkatan daya output panel surya. Sistem juga diuji dalam berbagai kondisi lingkungan, seperti intensitas cahaya dan tingkat kotoran, untuk menilai responsivitas dan efisiensinya. Hasil pengujian ini digunakan sebagai dasar evaluasi dan perbaikan sistem.

#### 9. Pengambilan Data

Peneliti melakukan pengambilan data yang di peroleh dari hasil pengujian alat, Yang mana dari data tersebut nantinya peneliti akan melakukan analisis untuk menilai kinerja sistem dan memastikan alat bekerja secara optimal dalam berbagai kondisi lingkungan.

#### 10. Analisis Hasil

Peneliti melakukan analisis hasil pengujian pada sistem ini untuk mengevaluasi sejauh mana kedua sistem tersebut berkontribusi dalam meningkatkan efisiensi energi yang dihasilkan oleh panel surya. Analisis ini bertujuan untuk membandingkan performa panel dengan dan tanpa sistem tracker serta wiper, sehingga dapat diketahui dampaknya terhadap penyerapan cahaya matahari dan pengurangan kehilangan energi akibat

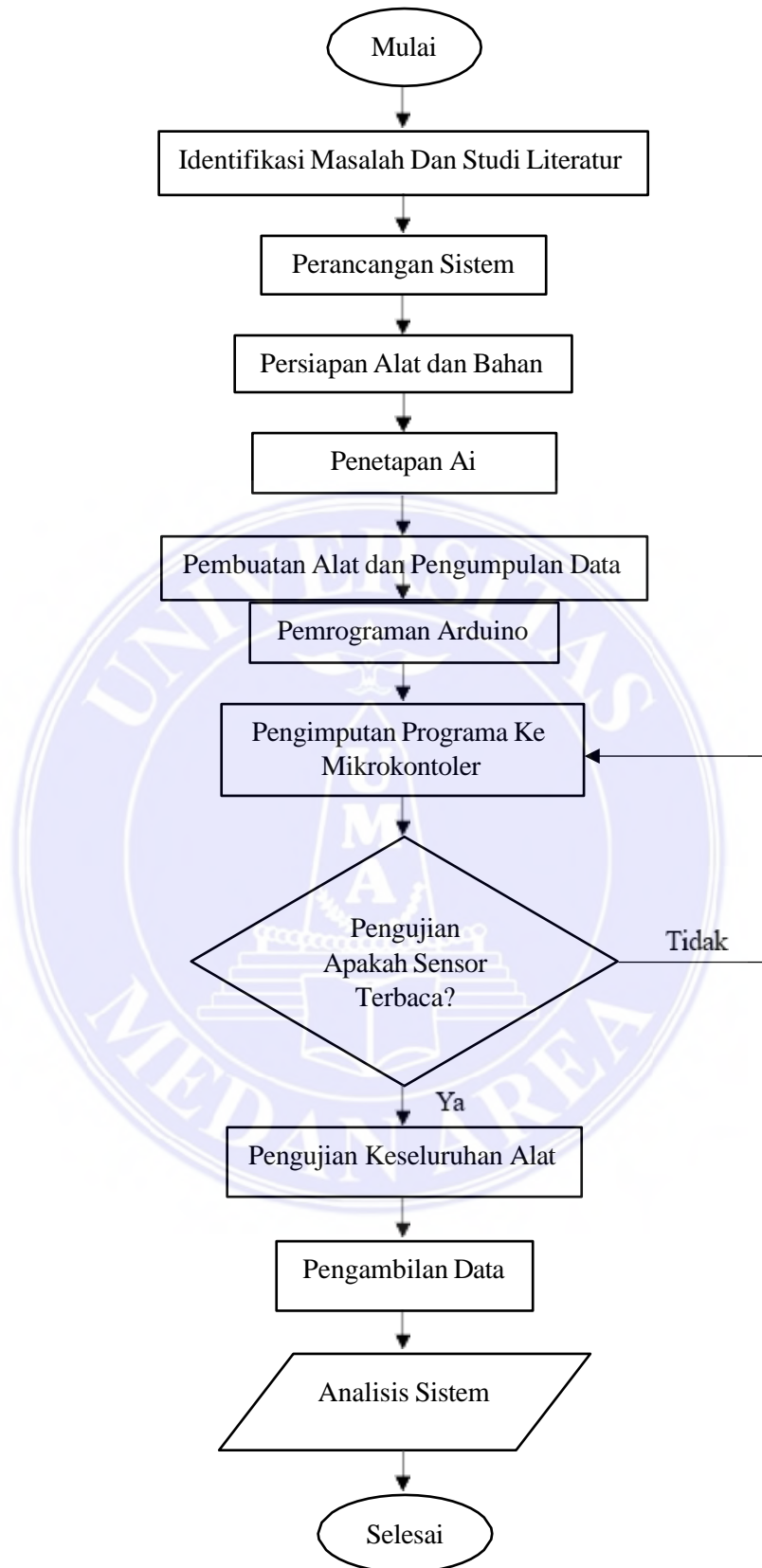
kotoran. Dengan memahami hasil pengujian, diharapkan dapat diperoleh informasi yang berguna untuk mengoptimalkan desain dan pengoperasian sistem panel surya di berbagai kondisi lingkungan, serta memberikan rekomendasi untuk pengembangan teknologi energi terbarukan yang lebih efisien.

## 11. Penyusunan Laporan

Pada tahap ini, peneliti menyusun laporan akhir dalam bentuk skripsi yang memuat hasil percobaan dan analisis yang telah dilakukan, disusun sesuai dengan format penulisan skripsi yang berlaku.

### 1.3 Diagram Penelitian

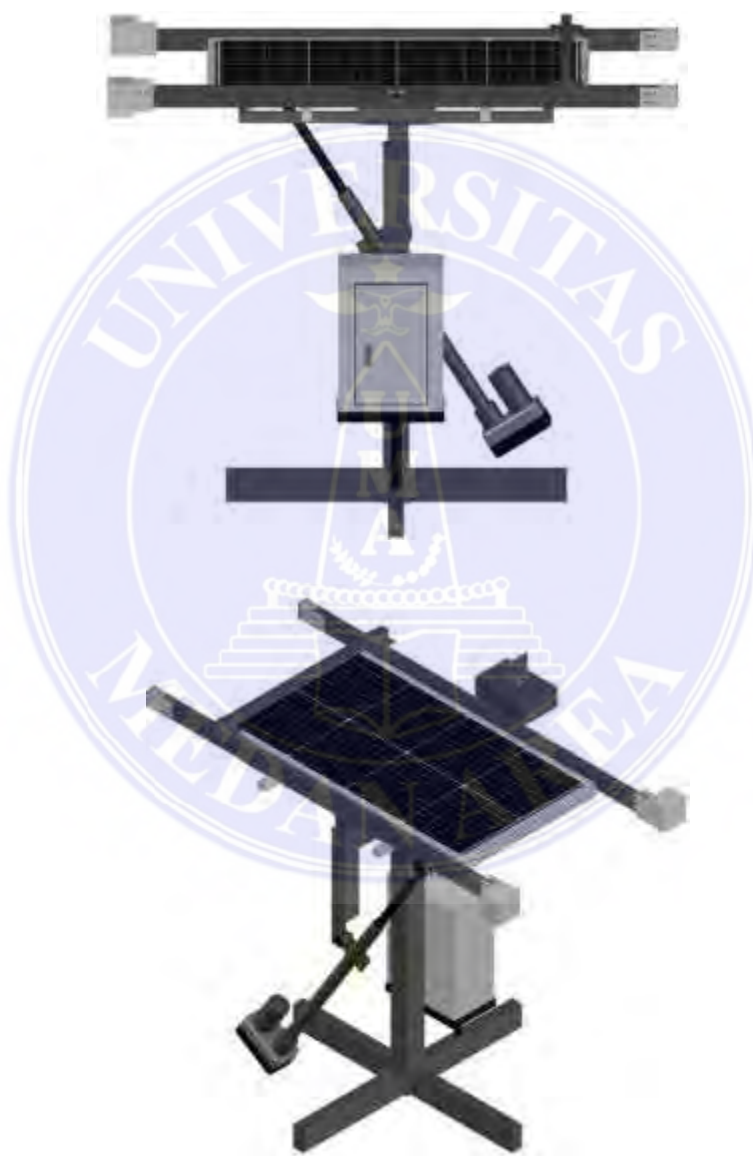
Berikut adalah diagram alir penelitian yang menggambarkan tahapan dari identifikasi masalah hingga penyusunan laporan secara sistematis. Diagram ini memvisualisasikan alur proses penelitian sesuai langkah-langkah yang telah ditentukan.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

## 1.4 Desain Alat

Adapun dalam penelitian ini sebelum di buatnya alat pastinya memerlukan desain sedemikian rupa yang tentunya telah di sesuaikan dengan segala pertimbangan agar alat dapat bekerja sesuai yang di harapkan, Maka dari itu berikut adalah desain alat yang dapat di lihat pada gambar 3.3



**Gambar 3.2** Desain Alat

## 1.5 Alat dan Bahan

Pada penelitian ini alat dan bahan menjadi peran penting dalam mewujudkan keberhasilan dan tahapan penting dalam proses pengumpulan data serta pelaksanaan penelitian guna mengamati dan mengevaluasi kinerja sistem tenaga surya. Berikut ini alat dan bahan yang tertera pada tabel 3.2 :

**Tabel 3.2** Alat dan Bahan

No	Alat Dan Bahan	Unit	Ket
1.	Solar Panel Mono	1 Unit	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Max. Power (Pmax) 50W</li> <li>– Max. Power Voltage (Vmp) 18.1V</li> <li>– Max. Power Current (Imp) 2.78A</li> <li>– Open Circuit Voltage (Voc) 22.1V</li> <li>– Short Circuit Current (Isc) 3.01A</li> </ul>
2.	Baterai	1 Unit	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Merk YUASA</li> <li>– Tegangan 12 Volt</li> <li>– Kapasitas 7 Ah</li> </ul>
3.	Solar Charge Controller	1 Unit	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Tegangan Baterai 12V 24V Auto</li> <li>– Input PV 130W (system 12V), 260W (System 24V)</li> <li>– Arus Pengisian Maksimal 10A</li> <li>– Max masukan Matahari 50 V (untuk 24 V battery) 25 V (untuk 12 V battery)</li> </ul>

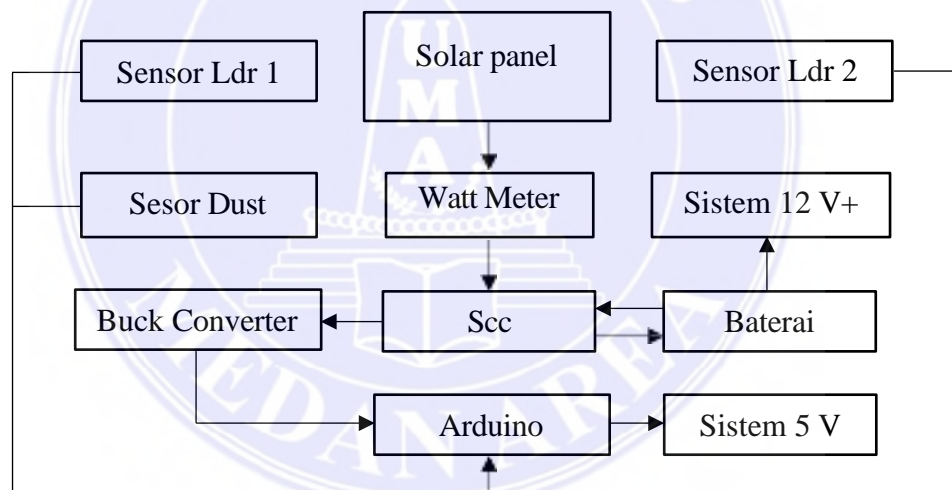
			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Equalization 14.4 V (Disegel) 14.2 V (Gel) 14.6 V (Flood)</li> <li>- Float charge 13.7 V (default, disesuaikan)</li> <li>- Debit berhenti 10.7 V (default, disesuaikan)</li> <li>- Discharge berhubungan kembali 12.6 V (default, disesuaikan)</li> <li>- USB output 5 V/3A</li> <li>- Self-mengonsumsi &lt;10mA</li> <li>- Suhu operasi -35 °C ~ + 60 °C</li> </ul>
4.	Watt Meter	1 Unit	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tegangan Operasi 6V - 60V DC</li> <li>- Rentang Arus 0 - 10 Ampere</li> <li>- Daya Maksimum Hingga 600W (pada 60V)</li> </ul>
5.	Arduino Uno	1 Unit	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mikrokontroler ATmega328</li> <li>- Tegangan 5 Volt</li> <li>- Input Tegangan 7-12 Volt</li> <li>- Pin I/O virtual 14</li> <li>- Pin Analog 6</li> <li>- Arus DC tiap pin I/O 50 mA</li> <li>- Arus DC ketika 3.3V 50 mA</li> <li>- Memori flash 32 KB</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>- SRAM 2 KB</li> <li>- EEPROM 1 KB</li> <li>- Kecepatan clock 16 MHz</li> </ul>
6.	Modul Penurun Tegangan Dc	1 Unit	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Input voltage 4V-35V</li> <li>- Output voltage 1.25-30V</li> <li>- Output current: 3A (max)</li> <li>- Conversion efficiency: 92% (highest)</li> <li>- Output ripple: 30mV</li> <li>- Load regulation: 0.5%</li> <li>- Voltage Regulation: 2.5%</li> </ul>
7.	Modul Sensor LDR	2 Unit	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Power supply 5V / 12V DC (with reverse protection)</li> <li>- Relay 10A 250VAC atau 10A 28VDC</li> <li>- Dengan 3 output COM, CK (NO), CB (NC)</li> <li>- Sensitivitas dapat diatur dengan trimpot</li> <li>- Ukuran 53x31x19mm</li> </ul>
8.	Sensor Debu	1 Unit	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Working Voltage DC 5V</li> <li>- Sensitivity 0,5V / (0,1 mg / M3)</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Output voltage (no dust) : 0,9V (TYP)</li> <li>- Current consumption 11 mA</li> <li>- Dimensi 4,5 cm x 3 cm x 1,7 cm</li> </ul>
9.	Timer Dc	1 Unit	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Full Time Range 1Min-168Hours</li> <li>- Input Voltage 220V AC PLN</li> <li>- Contact Capacity 16A AC220V, AC110V, DC12V, DC24V</li> <li>- Internalbattery 1.2V/40mA (rechargeable batteries)</li> <li>- Electrical Life 10(7) times</li> <li>- Mechanical Life 10(7) times</li> <li>- Programmable 17times/week or day</li> <li>- Minimum interval 1minute</li> </ul>
10.	Motor stepper	2 Unit	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Model, 17HS4401</li> <li>- Tipe Motor, Bipolar Stepper</li> <li>- Ukuran Frame, (NEMA) NEMA 17 (42 x 42 mm)</li> <li>- Panjang Badan, 40 mm</li> <li>- Arus Maksimum per Fase 1.7 A</li> <li>- Tegangan Nominal~2.8V</li> </ul>

			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jumlah Kabel 4 kabel (untuk driver bipolar)</li> </ul>
11.	Aktuator Dc	1 Unit	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Material: metal</li> <li>- Voltage: DC 12-24V</li> <li>- Maximum push / pull: Approx.200 KG / 2000N</li> <li>- Stroke length : 100MM/10CM</li> <li>- Idling speed: 6 mm / s</li> </ul>

### 1.6 Diagram Blok



**Gambar 3. 3** Diagram Blok

Pada diagram blok di atas menggambarkan keseluruhan sistem dari alat pelacak dan pembersih panel surya otomatis yang dirancang. Sistem ini dimulai dari panel surya yang berperan sebagai sumber utama energi, menghasilkan listrik sesuai dengan intensitas sinar matahari yang diterima. Energi tersebut dipantau secara real time menggunakan watt meter, yang menampilkan nilai tegangan, arus,

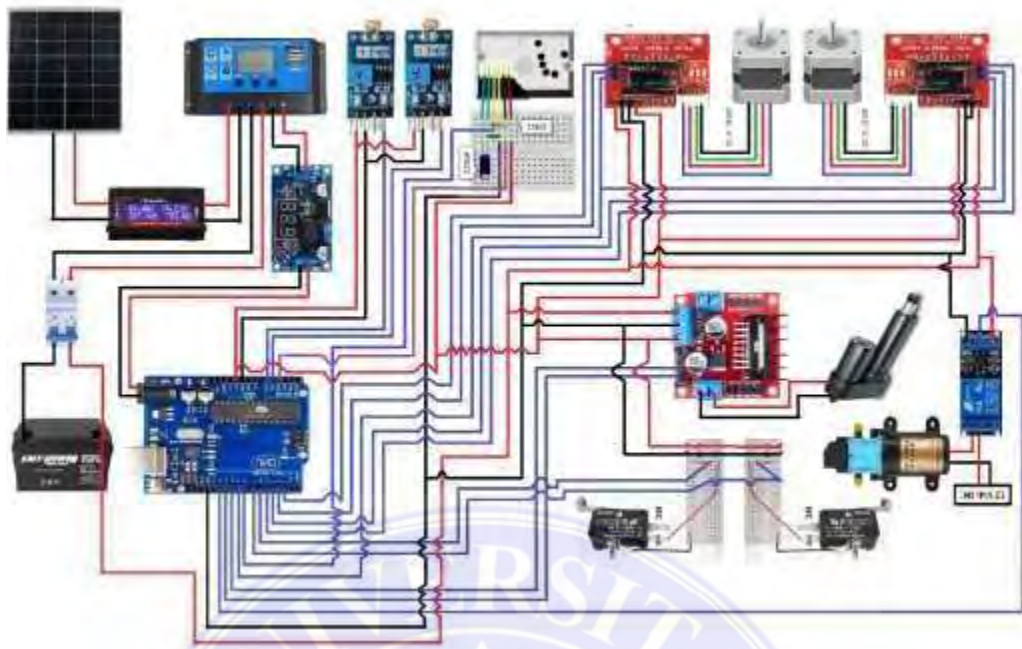
dan daya. Selanjutnya, daya listrik dialirkan ke solar charge controller (SCC) yang bertugas mengatur proses pengisian baterai agar berjalan secara efisien dan aman.

Energi yang tersimpan di dalam baterai kemudian digunakan untuk menyuplai daya ke berbagai komponen sistem. Untuk kebutuhan 12V, daya digunakan oleh motor atau pompa, sementara untuk kebutuhan 5V, tegangan diturunkan menggunakan buck converter untuk menghidupi Arduino dan sensor-sensor. Arduino bertindak sebagai pusat pengendali yang menerima input dari dua sensor LDR yang mendeteksi intensitas cahaya dari sisi kiri dan kanan panel surya. Berdasarkan selisih intensitas tersebut, Arduino akan menggerakkan motor agar panel menghadap ke arah dengan pencahayaan terbaik.

Sistem juga dilengkapi sensor debu yang mendeteksi tingkat kotoran pada permukaan panel. Ketika akumulasi debu melebihi ambang batas yang telah ditentukan, Arduino akan mengaktifkan sistem pembersih secara otomatis. Seluruh komponen bekerja secara terpadu untuk memastikan panel surya selalu berada dalam posisi optimal dan dalam kondisi bersih, sehingga efisiensi penyerapan energi matahari dapat dimaksimalkan.

### **1.7 Rangkaian Keseluruhan Alat**

Berikut ini adalah rangkaian keseluruhan pada sistem tracker dan pembersih otomatis panel surya yang dapat di lihat pada gambar 3.4



**Gambar 3.4** Rangkaian Keseluruhan Alat

Sistem Kerja Alat:

1. Panel Surya dan Pengisian Daya, Panel surya menghasilkan tegangan DC yang kemudian dialirkan ke charge controller untuk mengatur pengisian baterai 12V.
2. Buck converter digunakan untuk menurunkan tegangan dari 12V menjadi 5V agar sesuai dengan kebutuhan Arduino dan perangkat elektronik lainnya.
3. Sistem Kontrol Utama, Arduino Uno berperan sebagai pusat kendali sistem, arduino mengatur kerja semua komponen berdasarkan input sensor, waktu, dan logika pemrograman.
4. Sistem Pelacak Matahari (Solar Tracker), Dua sensor LDR mendeteksi arah datangnya sinar matahari, data dari LDR diproses oleh Arduino untuk menentukan pergerakan panel surya, yang mana pergerakan panel

dikendalikan oleh linear actuator yang digerakkan melalui driver motor L298N untuk mengikuti posisi matahari secara horizontal.

5. Sistem Pembersih Panel, Arduino mengaktifkan relay untuk menghidupkan pompa air dan solenoid valve berdasarkan perintah sensor debu, dua stepper motor yang dikendalikan oleh driver A4988 menjalankan alat pembersih yang bergerak secara horizontal di atas permukaan panel surya, adapun limit switch yang digunakan untuk membatasi gerakan alat pembersih ke kiri dan kanan.
6. Monitoring Tegangan dan Arus, Sensor arus INA219 dan sensor tegangan digunakan untuk membaca output dari panel surya, hasil pengukuran ditampilkan melalui OLED Display dan 7-segment Display untuk memudahkan pemantauan kinerja sistem secara real-time.

### **1.8 Pengukuran Langsung Dilapangan**

Pengukuran ini dilakukan langsung pada lokasi yang telah ditentukan yang bertujuan untuk mengamati dan mencatat data terkait kondisi kebersihan panel surya, dan keluaran daya yang dihasilkan oleh sistem panel surya.

Adapun alat yang digunakan:

1. Multimeter dan Watt Meter untuk mengukur tegangan dan arus Listrik
2. Sensor debu untuk mengukur tingkat kotoran pada permukaan panel
3. Arduino Uno untuk mengetahui hasil pengukuran dari kotoran yang telah terbaca oleh sensor debu yang data nya akan di tampilkan di software Arduino Ide.

## 1.9 Pengumpulan Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder bertujuan untuk memperoleh referensi ilmiah yang relevan guna memahami perkembangan teknologi tracker dan pembersih panel surya. Data ini digunakan untuk menetapkan standar kinerja, mendukung simulasi, serta analisis mendalam, sekaligus menghemat waktu dan biaya. Selain meningkatkan validitas penelitian dengan melengkapi data primer, data sekunder membantu mengidentifikasi kebutuhan sistem melalui kajian solusi sebelumnya, sehingga mendukung perancangan sistem tracker dan wiper berbasis AI yang lebih optimal.

Adapun sumber data yang di ambil:

1. Jurnal ilmiah tentang sistem tracker panel surya dan metode pembersihan otomatis.
2. Laporan cuaca harian berbasis AI, seperti intensitas cahaya matahari rata-rata di wilayah penelitian dan kondisi cuaca lain nya.

## 1.10 Pengamatan Visual

Peneliti melakukan pengamatan visual dan dokumentasi untuk mengumpulkan data langsung dari kinerja sistem secara nyata, seperti pergerakan mekanis tracker, efektivitas wiper, dan tingkat kebersihan panel surya. Pengamatan visual membantu mengidentifikasi masalah atau kekurangan sistem, sementara dokumentasi merekam proses dan hasil pengamatan dalam bentuk foto, video, atau catatan, yang berfungsi sebagai referensi dan bukti dalam analisis lebih lanjut. Metode ini memastikan hasil penelitian lebih valid dan mendukung evaluasi serta pengembangan sistem.

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan proses perancangan, pengujian, dan evaluasi terhadap sistem pelacak dan pembersih panel surya berbasis metode kecerdasan buatan (AI), diperoleh beberapa poin penting sebagai berikut:

1. Sistem pelacak otomatis yang memanfaatkan sensor LDR terbukti mampu menyesuaikan posisi panel mengikuti arah pergerakan matahari dengan baik. Perubahan sudut panel menunjukkan pola yang sejalan dengan lintasan matahari dari timur ke barat, dengan deviasi rata-rata sekitar  $\pm 5-10$  derajat terhadap sudut ideal berbasis data AI, yang masih dalam batas akurasi yang dapat diterima.
2. Sistem pembersih panel berbasis sensor debu juga menunjukkan performa yang memadai dalam menjaga kebersihan permukaan panel. Hasil uji lapangan menunjukkan adanya peningkatan tegangan output setelah pembersihan dilakukan, yang menandakan efisiensi daya panel kembali meningkat akibat berkurangnya akumulasi kotoran.
3. Pemanfaatan kecerdasan buatan (AI) sebagai acuan dalam menentukan sudut optimal dan estimasi intensitas cahaya matahari berperan penting dalam mendukung proses perancangan serta analisis kinerja sistem secara keseluruhan. Integrasi data tersebut menjadikan sistem lebih responsif dan mampu beradaptasi terhadap kondisi lingkungan yang berubah-ubah.
4. Penambahan logika seperti jeda waktu (delay), rata-rata bergerak (moving average), serta penguncian waktu (lock timer) pada sistem pembersih efektif

dalam mencegah aktivasi yang tidak diinginkan akibat fluktuasi sensor. Hal ini berdampak positif terhadap efisiensi energi dan kestabilan sistem secara keseluruhan.

## 5.2 Saran

Untuk peningkatan performa sistem di masa mendatang, beberapa saran yang dapat dipertimbangkan antara lain:

1. Penambahan sensor cuaca seperti sensor hujan dan kelembaban akan sangat membantu dalam menghindari pembersihan pada kondisi yang tidak sesuai, sehingga dapat menghemat energi dan memperpanjang umur perangkat.
2. Penerapan fitur pencatatan dan pemantauan data seperti SD card atau modul IoT (contohnya ESP32) disarankan agar sistem dapat merekam aktivitas harian serta mendukung kontrol dan pemantauan jarak jauh secara real-time.
3. Pengembangan sistem pelacak menjadi dua sumbu (dual-axis) sangat dianjurkan agar panel dapat menyesuaikan posisi tidak hanya dari arah timur ke barat, tetapi juga vertikal-utara ke selatan, untuk memaksimalkan penyerapan energi sepanjang hari dan tahun.
4. Disarankan dilakukan pengujian lanjutan di berbagai kondisi ekstrem, seperti wilayah dengan curah hujan tinggi atau tingkat debu yang besar, guna menilai ketahanan dan keandalan sistem dalam jangka panjang.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aribowo, D., Priyogi, G., & Islam, S. (n.d.). *APLIKASI SENSOR LDR (LIGHT DEPENDENT RESISTOR) UNTUK EFISIENSI ENERGI PADA LAMPU PENERANGAN JALAN UMUM*.
- Ariprihata, A., Erfandy, E., Susilo, S. W., & Sujito, S. (2023). RANCANG BANGUN PANEL SURYA OFF-GRID UNTUK CATU DAYA ALAT PENGUSIR HAMA TIKUS. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 4(3), 224–245. <https://doi.org/10.14710/jebt.2023.19665>
- Ariyono. (n.d.). *ANALISA TEKNOLOGI FOTOVOLTAIK SEBAGAI DISTRIBUTED GENERATION (DG) PADA SISTEM DISTRIBUSI MENGGUNAKAN SOFTWARE ELECTRIC TRANSIENT AND ANALYSIS PROGRAM (ETAP)*.
- Asri, M. (n.d.). *RANCANG BANGUN SOLAR TRACKING SYSTEM UNTUK OPTIMASI OUTPUT DAYA PADA PANEL SURYA*.
- Candra, J. E., & Pangaribuan, H. (n.d.). *PELATIHAN ARDUINO UNTUK PELAJAR MADRASAH ALIYAH NEGERI INSAN CENDEKIA BATAM*. <https://jurnal-adaikepri.or.id/index.php/JUPADAI>
- Dwisari, V. (n.d.). *PEMANFAATAN ENERGI MATAHARI: MASA DEPAN ENERGI TERBARUKAN* (Vol. 7, Issue 2).
- Eka Saputra, Y. M. D., Ramadhan, M. T. N., Maulida, A., Santoso, B., & Basri, I. (2024). Design a Smart Solar Tracker to Increase Energy Output Power Generated in Solar Home System. *MOTIVECTION : Journal of Mechanical, Electrical and Industrial Engineering*, 6(1), 53–62. <https://doi.org/10.46574/motivection.v6i1.286>
- Fajar Luista, B., Boedi Setiawan, A., Sumarahinsih, A., Taman Agung, J., Sukun, K., Malang, K., & penulis, K. (2024). *Sistem.Pembangkit.Panel Surya Menggunakan Solar Traker Dual Axis Untuk Memaksimalkan Keluaran Daya*. 2(4), 190–207. <https://doi.org/10.61132/mars.v2i4.256>
- Irawati, F., Dwi Kartikasari, F., & Tarigan, E. (2021). *Pengenalan Energi Terbarukan dengan Fokus Energi Matahari kepada Siswa Sekolah Dasar dan Menengah. 11*. <http://ojs.unm.ac.id/index.php/>
- Maka, A. O. M., & Alabid, J. M. (2022). Solar energy technology and its roles in sustainable development. *Clean Energy*, 6(3), 476–483. <https://doi.org/10.1093/ce/zkac023>
- Mayasari, F., Arya Samman, F., Muslimin, Z., Waris, T., Ejah Umraeni Salam, A., Chaerah Gunadin, I., Sari Areni, I., Syam Akil, Y., Rachmaniar Sahali, I., & Budi Arief, A. (2022). Pengenalan Panel Surya sebagai Salah Satu Sumber

- Energi Terbarukan untuk Pembelajaran di SMA Negeri 1 Takalar. In *Jurnal Tepat (Teknologi Terapan Untuk Pengabdian Masyarakat)* (Vol. 5, Issue 2).
- Meilany, M., Dika Satria, Pusparina A, R., Dhia Saputro, A., Fasial Tanjung, B., & Hidayat, R. (2024). Analisis Output Daya pada Sistem Pembersih Debu berbasis ESP32 terhadap Panel Surya. *Jurnal Komputer Dan Elektro Sains*, 2(2), 16–21. <https://doi.org/10.58291/komets.v2i2.169>
- Pratama, D. (n.d.). *MSI Transaction on Education Sistem Monitoring Panel Surya Secara Realtime Berbasis Arduino Uno*.
- Renaldi, A., Nurhaedah, S., Anshar, M., & Suryanto, S. (2024). Kontrol Otomatis Pembersih Panel Surya Berbasis IoT Dengan Menggunakan Platform Thingspeak. *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, 22(1), 158–167. <https://doi.org/10.31963/sinergi.v22i1.5003>
- Rizal Wira Kusuma, M., Apriakar, E., Teknik Elektro, J., Teknik, F., & Negeri Semarang, U. (n.d.). *Rancang Bangun Sistem Pembersih Otomatis Pada Solar Panel Menggunakan Wiper Berbasis Mikrokontroler*.
- Saragih, F., Buaton, R., Simanjuntak, M., Stmik, K., & Binjai, I. (n.d.). *Rancang Bangun Solar Tracker Otomatis pada Pengisian Energi Panel Surya Berbasis Internet of Things (IoT)*. <https://doi.org/10.62951/router.v2i3.220>
- Satria, H., Nisworo, S., Windarta, J., & Syah, R. B. Y. (2023). Performance of single axis tracker technology and automatic battery monitoring in solar hybrid systems. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 12(6), 3247–3255. <https://doi.org/10.11591/eei.v12i6.5506>
- Tohari, M. I., Jamaaluddin, J., & Sulistiyowati, I. (n.d.). *SISTEM PENGENALAN SUARA SEBAGAI PENGENDALI PERALATAN AUDIO BERBASIS ARDUINO UNO*.
- Triyanto, A., & Kusnadi, H. (2023). Rancang dan Bangun Sistem Pembersih Permukaan Panel Surya Otomatis dengan Sistem Elektromekanis Cerdas. *Journal of Computer System and Informatics (JoSYC)*, 4(3), 731–740. <https://doi.org/10.47065/josyc.v4i3.3287>
- Wahyu Bagus Rahmatulloh, & Aris Heri Andriawan. (2024). Rancang Bangun PLTS Menggunakan Sistem Hybrid Pada Rumah Tangga Untuk Mengurangi Ketergantungan Energi Listrik Dari PLN. *Uranus : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, Sains Dan Informatika*, 2(3), 58–72. <https://doi.org/10.61132/uranus.v2i3.207>

## LAMPIRAN

```
// ===== PIN DEFINISI =====  
  
// Tracker (DC motor)  
#define LDR_KIRI A1  
#define LDR_KANAN A2  
#define MOTOR_IN3 10  
#define MOTOR_IN4 11  
  
// Stepper Motor (A4988)  
#define DIR_KIRI 2  
#define STEP_KIRI 13  
#define DIR_KANAN 4  
#define STEP_KANAN 5  
#define EN_ALL 12 // Enable untuk dua motor  
  
// Limit Switch  
#define LIMIT_KIRI 6  
#define LIMIT_KANAN 7  
  
// Sensor Debu & Semprotan  
#define DUST_LED_PIN 8  
#define DUST_ANALOG_PIN A0  
#define SEMPROT_PIN 9  
  
// ===== PARAMETER =====  
  
const int dustThreshold = 350; // Ambang batas debu  
const int lightThreshold = 50; // Selisih LDR minimum untuk gerak  
int stepDelay = 1000; // Delay step stepper  
  
bool cleaningInProgress = false;
```

```
bool alreadyCleaned = false;

const unsigned long motorTimeout = 10000; // 10 detik max per gerakan

void setup() {
  // Tracker
  pinMode(MOTOR_IN3, OUTPUT);
  pinMode(MOTOR_IN4, OUTPUT);

  // Stepper
  pinMode(DIR_KIRI, OUTPUT);
  pinMode(STEP_KIRI, OUTPUT);
  pinMode(DIR_KANAN, OUTPUT);
  pinMode(STEP_KANAN, OUTPUT);
  pinMode(EN_ALL, OUTPUT);
  digitalWrite(EN_ALL, HIGH); // Matikan motor stepper awal

  // Limit Switch
  pinMode(LIMIT_KIRI, INPUT_PULLUP);
  pinMode(LIMIT_KANAN, INPUT_PULLUP);

  // Sensor & Semprotan
  pinMode(DUST_LED_PIN, OUTPUT);
  pinMode(SEMPROT_PIN, OUTPUT);
  digitalWrite(SEMPROT_PIN, LOW);

  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  int dustLevel = readDustSensor();
```

```
Serial.print("Debu: ");
Serial.print(dustLevel);

if (dustLevel < dustThreshold) {
  alreadyCleaned = false;
}

if (dustLevel > dustThreshold && !cleaningInProgress && !alreadyCleaned) {
  cleaningInProgress = true;
  stopTracker();
  doCleaning();
  cleaningInProgress = false;
  alreadyCleaned = true;
}

if (!cleaningInProgress) {
  trackSun();
} else {
  Serial.println(" | Tracker OFF (pembersihan)");
}

delay(300); // Delay loop utama
}

// ===== TRACKER DC MOTOR =====

void trackSun() {
  int kiri = analogRead(LDR_KIRI);
  int kanan = analogRead(LDR_KANAN);

  Serial.print(" | LDR Kiri: "); Serial.print(kiri);
```

```
Serial.print(" | Kanan: "); Serial.print(kanan);

if (kiri > kanan + lightThreshold) {
  Serial.println(" | Tracker: Kiri");
  digitalWrite(MOTOR_IN3, HIGH);
  digitalWrite(MOTOR_IN4, LOW);
} else if (kanan > kiri + lightThreshold) {
  Serial.println(" | Tracker: Kanan");
  digitalWrite(MOTOR_IN3, LOW);
  digitalWrite(MOTOR_IN4, HIGH);
} else {
  Serial.println(" | Tracker: Diam");
  stopTracker();
}
}

void stopTracker() {
  digitalWrite(MOTOR_IN3, LOW);
  digitalWrite(MOTOR_IN4, LOW);
}

// ===== PEMBERSIHAN =====

void doCleaning() {
  Serial.println("\n>> Pembersihan Dimulai");

  // Semprotkan air dulu 3 detik
  digitalWrite(SEMPROT_PIN, HIGH);
  delay(3000);

  // Aktifkan motor stepper
```

```
digitalWrite(EN_ALL, LOW);

moveForward(); delay(500);
moveBackward(); delay(500);

// Nonaktifkan semuanya
digitalWrite(EN_ALL, HIGH);
digitalWrite(SEMPROT_PIN, LOW);
Serial.println(">> Pembersihan Selesai\n");
}

void moveForward() {
  Serial.println(">> Stepper MAJU");
  digitalWrite(DIR_KIRI, HIGH);
  digitalWrite(DIR_KANAN, LOW);
  unsigned long startTime = millis();

  while (digitalRead(LIMIT_KANAN) == HIGH && millis() - startTime <
motorTimeout) {
    stepBothMotors();
  }
}

void moveBackward() {
  Serial.println(">> Stepper MUNDUR");
  digitalWrite(DIR_KIRI, LOW);
  digitalWrite(DIR_KANAN, HIGH);
  unsigned long startTime = millis();

  while (digitalRead(LIMIT_KIRI) == HIGH && millis() - startTime < motorTimeout)
{
```

```
    stepBothMotors();  
}  
  
void stepBothMotors() {  
    digitalWrite(STEP_KIRI, HIGH);  
    digitalWrite(STEP_KANAN, HIGH);  
    delayMicroseconds(stepDelay);  
    digitalWrite(STEP_KIRI, LOW);  
    digitalWrite(STEP_KANAN, LOW);  
    delayMicroseconds(stepDelay);  
}  
  
// ===== SENSOR DEBU =====  
int readDustSensor() {  
    digitalWrite(DUST_LED_PIN, LOW);  
    delayMicroseconds(280);  
    int val = analogRead(DUST_ANALOG_PIN);  
    delayMicroseconds(40);  
    digitalWrite(DUST_LED_PIN, HIGH);  
    delayMicroseconds(9680);  
    return val;  
}
```