

# RANCANG BANGUN SOLAR TRACKER SINGLE-AXIS DENGAN SISTEM PEMBERSIH PANEL SURYA OTOMATIS MENGGUNAKAN WIPER

**Restianto Angga Putra Pambudi, Rizki Nurilyas Ahmad**  
**Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta**

## Abstrak

Pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi terbarukan memiliki potensi besar untuk memenuhi kebutuhan listrik dan mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Namun, kinerja panel surya dapat menurun akibat posisi panel yang statis dan penumpukan debu atau kotoran pada permukaannya. Penelitian ini bertujuan merancang dan menguji sistem solar tracker single-axis yang dilengkapi dengan pembersih panel otomatis menggunakan wiper untuk meningkatkan penyerapan energi matahari. Sistem terdiri dari sensor LDR sebagai pendeteksi intensitas cahaya, ESP32 sebagai pengendali utama, Aktuator Linear 12v sebagai penggerak panel, motor stepper dan pompa DC 12 V sebagai mekanisme pembersih, serta panel surya yang terhubung dengan solar charge controller (SCC) dan baterai. Metode penelitian meliputi perancangan, pembuatan prototipe, dan pengujian lapangan dengan membandingkan kinerja panel surya statis dan panel yang menggunakan sistem otomatis. Parameter yang diukur meliputi tegangan, arus, dan daya keluaran panel surya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem solar tracker mampu mengikuti arah datang cahaya matahari berdasarkan pembacaan sensor LDR serta melakukan pembersihan panel secara otomatis sesuai jadwal yang ditentukan. Penerapan sistem ini meningkatkan penyerapan energi matahari dan membantu menjaga kebersihan panel sehingga kinerja panel surya 50 Wp dapat dipertahankan secara optimal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem solar tracker single-axis menghasilkan daya rata-rata lebih tinggi dibandingkan panel statis, yaitu 29,29 W pada cuaca cerah dan 24,19 W pada cuaca cerah berawan. Hal ini menunjukkan bahwa solar tracker single-axis meningkatkan daya keluaran panel surya sebesar 7,12–9,24% dibandingkan panel statis. Sistem yang dikembangkan berpotensi mendukung pemanfaatan energi surya yang lebih efisien dan berkelanjutan.

**Kata Kunci:** energi terbarukan, pembersih panel surya, *single-axis*, *solar tracker*.

## Abstract

*The utilization of solar energy as a renewable energy source has significant potential to meet electricity demands and reduce dependence on fossil fuels. However, the performance of solar panels can decrease due to their fixed position and the accumulation of dust or dirt on the panel surface. This study aims to design and evaluate a single-axis solar tracker system equipped with an automatic panel cleaning mechanism using a wiper to improve solar energy absorption. The system consists of LDR sensors for light intensity detection, an ESP32 microcontroller as the main controller, a linear actuator for panel movement, a stepper motor and a 12 V DC pump for the cleaning mechanism, and a solar panel connected to a solar charge controller (SCC) and a battery. The research method includes system design, prototype development, and field testing by comparing the performance of a static solar panel with that of the proposed automatic system. The measured parameters include voltage, current, and output power. The test results show that the solar tracker is capable of following the direction of sunlight based on LDR sensor readings and performing automatic panel cleaning according to a predetermined schedule. The implementation of the system improves solar energy 50 Wp absorption and maintains panel cleanliness, thereby sustaining optimal panel performance. The test results showed that the single-axis solar tracker system produced a higher average power output than the static panel, reaching 29.29 W under clear weather conditions and 24.19 W under partly cloudy conditions. These results indicate that the single-axis solar tracker increased the solar panel power output by 7.12–9.24% compared to the static panel. The developed system has the potential to support more efficient and sustainable utilization of solar energy*

**Keywords:** renewable energy, *single-axis*, solar panel cleaner, solar tracker

## 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik dalam kehidupan mengalami peningkatan yang cukup tinggi seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk, perkembangan teknologi dan meningkatnya perindustrian serta rumah tangga. Krisis listrik terjadi akibat ketidakseimbangan antara kebutuhan energi listrik dengan pasokan yang tersedia serta distribusi yang belum merata, sehingga tidak seluruh kebutuhan energi dapat terpenuhi secara optimal (Suandri and Hais 2023). Penggunaan energi fosil yang semakin tinggi menyebabkan kenaikan emisi gas rumah kaca, perubahan iklim, dan mendorong perlunya peningkatan pemanfaatan energi baru terbarukan (Setyono, Fajar, and Kiono 2025). Oleh karena itu, diperlukan upaya pengembangan dan pemanfaatan sumber energi terbarukan sebagai alternatif yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Energi matahari merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang paling melimpah dan memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai alternatif pengganti bahan bakar fosil. Radiasi matahari merupakan energi dalam bentuk gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh matahari dan menjadi salah satu sumber energi terbesar bagi kehidupan di bumi (Setiawan 2025). Energi surya merupakan energi yang berasal dari radiasi elektromagnetik matahari dan dapat dikonversi menjadi energi panas maupun energi listrik. Besarnya radiasi matahari yang diterima permukaan bumi dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti kondisi atmosfer, tutupan awan, dan sudut datang sinar matahari, sehingga intensitas energi surya yang diterima dapat berubah sesuai kondisi lingkungan (Afif and Martin 2022). Indonesia memiliki potensi energi surya yang tinggi dengan rata-rata intensitas sekitar 4,8 kWh/m<sup>2</sup> per hari, sehingga berpotensi mendukung pengembangan PLTS serta peningkatan ketahanan energi nasional (Alim, Thamrin, and W 2023).

*Photovoltaic* (PV) merupakan teknologi semikonduktor yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Kinerja panel surya sangat dipengaruhi oleh intensitas dan arah datangnya sinar matahari, sehingga efisiensi pembangkitan akan meningkat ketika permukaan panel menerima radiasi matahari secara optimal. Oleh karena itu, Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) terus dikembangkan sebagai salah satu sumber energi terbarukan yang bersih dan ramah lingkungan (Kharisma, Pinandita, and Jayanti 2024). Salah satu tantangan utama dalam sistem PLTS adalah bagaimana memaksimalkan efisiensi penyerapan energi oleh panel surya. Efisiensi konversi tidak semata-mata bergantung pada jumlah radiasi yang diterima (Mansour et al. 2021).

*Solar tracker* merupakan sistem yang mengatur orientasi panel surya agar selalu menghadap arah datangnya sinar matahari secara optimal. Sistem ini dapat menggunakan mekanisme *single-axis* maupun *dual-axis* untuk mengikuti pergerakan matahari sepanjang hari. Dengan menjaga posisi panel tetap optimal, *solar tracker* mampu meningkatkan penerimaan radiasi matahari dan menghasilkan daya listrik yang lebih besar dibandingkan panel surya statis (Rezkyanzah, Purba, and Putra 2016). Faktor lain yang dapat menurunkan performa modul *fotovoltaik* (PV) adalah adanya penumpukan debu, kotoran, dedaunan, dan partikel lain di permukaan panel surya. Kondisi ini menyebabkan penurunan kemampuan

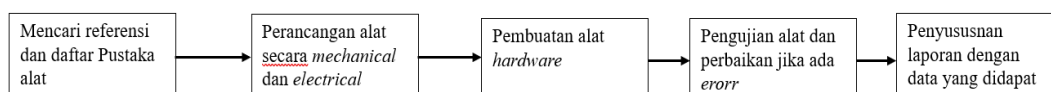
panel dalam mentransmisikan cahaya matahari ke sel surya, sehingga efisiensi konversi energi menurun secara signifikan. Endapan yang tidak diinginkan pada panel surya dapat memberikan dampak negatif terhadap produksi dan efisiensi energi (Najmi and Rachid 2023).

Dengan inovasi teknologi seperti sistem yang mampu mengikuti pergerakan matahari atau biasa disebut dengan *solar tracker*, serta sistem pembersih otomatis yang menjaga kebersihan permukaan panel, pemanfaatan energi matahari dapat menjadi lebih optimal dan efisien. *Solar tracker* merupakan perangkat penggerak panel surya yang dirancang untuk secara otomatis mengatur posisi panel agar dapat bergerak dari sudut  $0^{\circ}$  hingga  $180^{\circ}$  dan kembali ke posisi semula (Rezkyanzah et al. 2016). Upaya pengembangan ini diharapkan tidak hanya meningkatkan daya keluaran panel surya, tetapi juga memperpanjang umur pakainya serta mendukung penerapan energi bersih dan berkelanjutan di masa depan.

## 2. METODE

### 2.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode *waterfall* agar setiap tahapan penelitian dapat dilaksanakan secara terstruktur, berurutan, dan sistematis. Metode tersebut juga memudahkan proses identifikasi apabila terjadi kesalahan atau kegagalan selama pelaksanaan penelitian. Pada penelitian ini dilakukan pengamatan secara langsung terhadap keluaran tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan oleh sistem *solar tracker*. Selain itu, efektivitas sistem pembersih panel surya turut dianalisis untuk mengetahui kinerja sistem secara keseluruhan. Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Metode Pembuatan Alat

Berdasarkan Gambar 1, tahapan penelitian diawali dengan mencari referensi serta mempelajari berbagai literatur yang berkaitan dengan perancangan, pembuatan, dan pengujian alat sebagai landasan teoritis penelitian. Selanjutnya dilakukan perancangan alat yang mencakup aspek perangkat lunak (*software*) dan perangkat keras (*hardware*), meliputi perancangan program, konstruksi mekanik, serta sistem kelistrikan. Setelah tahap perancangan selesai, dilakukan pembuatan alat baik secara mekanikal maupun elektrik sesuai dengan desain yang telah direncanakan. Tahap berikutnya adalah pengujian alat untuk mengetahui kinerja sistem yang telah dibuat. Apabila ditemukan kesalahan atau ketidaksesuaian selama proses pengujian, maka dilakukan perbaikan hingga alat dapat berfungsi dengan baik. Tahap terakhir adalah penyusunan laporan berdasarkan data hasil pengujian yang telah diperoleh, yang kemudian dianalisis untuk menarik kesimpulan sesuai dengan tujuan penelitian.

## 2.2 Observasi Tempat Pengujian

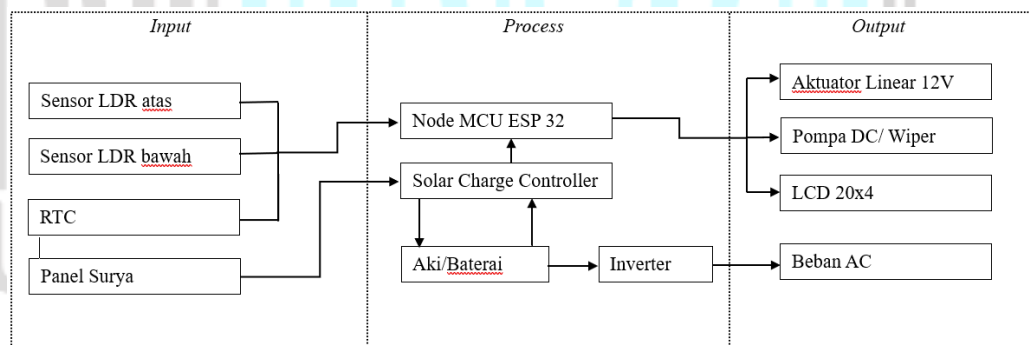
Observasi dilakukan di area terbuka daerah Desa Blulukan, Kecamatan Colomadu, Kabupaten Karanganyar, Provinsi Jawa Tengah, yang memperoleh paparan sinar matahari secara langsung. Pengamatan difokuskan pada pergerakan matahari dan intensitas cahaya yang diterima panel surya sebagai dasar penentuan arah pergerakan solar tracker serta analisis kinerja sistem dalam meningkatkan efisiensi penyerapan energi surya.

## 2.3 Perancangan Sistem

Penelitian diawali dengan identifikasi alat dan bahan, kemudian dilanjutkan dengan perancangan *solar tracker single-axis*, sistem pembersih panel surya, dan sistem monitoring untuk mengukur tegangan, arus, serta daya keluaran panel surya.

### 2.4.1. Diagram Blok Sistem

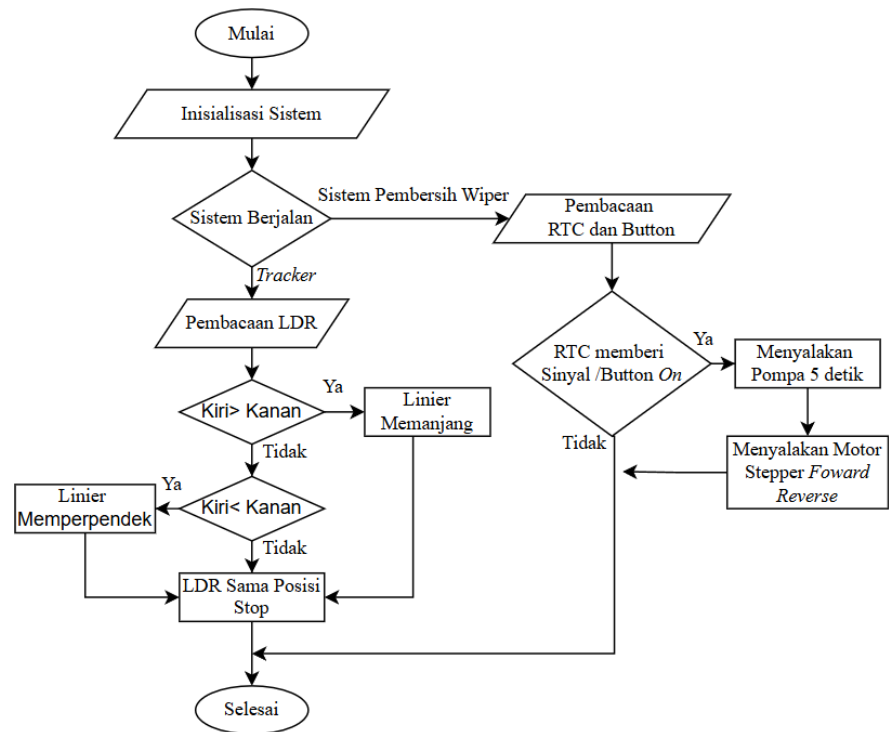
Sistem terdiri dari beberapa sensor untuk mengakuisisi data parameter, seperti intensitas cahaya (lux) menggunakan lux meter, waktu (RTC), tegangan, arus, dan daya menggunakan multimeter. Data tersebut diproses oleh mikrokontroler ESP32, kemudian hasil pengolahan data digunakan untuk mengontrol berbagai aktuator, seperti aktuator linear 12V, motor stepper, pompa, dan LCD, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Blok Diagram Sistem

### 2.4.3. Diagram Alir Sistem

Gambar 3 memperlihatkan alur kerja sistem *solar tracker single-axis* dengan pembersih panel surya otomatis. Sistem diawali dengan inisialisasi, kemudian menjalankan dua fungsi utama, yaitu *tracking* menggunakan sensor LDR dan linear aktuator serta pembersihan panel menggunakan RTC atau button yang mengaktifkan pompa air dan motor stepper penggerak wiper. Setelah proses selesai, sistem mencapai kondisi akhir sesuai dengan alur yang dirancang.



Gambar 3. Diagram Alir Sistem

### 2.4.3. Perancangan *Hardware*

#### a. Alat dan Bahan

Perancangan dan implementasi *solar tracker single-axis* dengan sistem pembersih panel surya menggunakan wiper memerlukan beberapa alat dan bahan yang ditunjukkan pada Tabel 1.

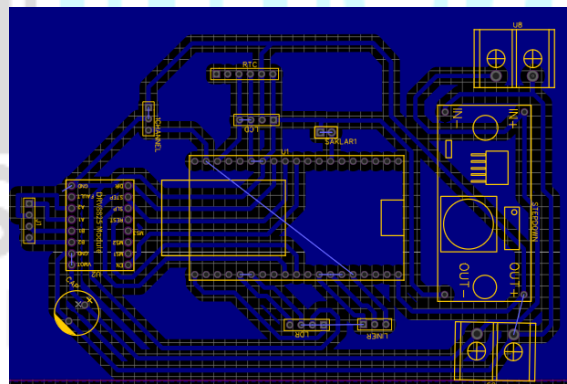
Tabel 1. Alat dan Bahan

| Alat dan Bahan                           | Jumlah |
|------------------------------------------|--------|
| Panel Surya 50 Wp                        | 1      |
| Baterai 12V/8AH                          | 1      |
| <i>Solar Charge Controller</i> (SCC) 20A | 1      |
| Sensor LDR                               | 2      |
| Aktuator Linear 12 V                     | 1      |
| Driver L298N                             | 1      |
| Motor Stepper 17HS4401                   | 1      |
| DRV8825                                  | 1      |
| Nozzle                                   | 1      |
| RTC                                      | 1      |
| Kabel NYAF 1.5 mm                        | 1      |

|                  |   |
|------------------|---|
| Panel Box        | 1 |
| ESP32            | 1 |
| PCB              | 1 |
| LCD I2C 20x4     | 1 |
| Step Down LM2198 | 1 |
| Relay 5V         | 1 |
| Selang           | 1 |
| Pompa air 12V    | 1 |
| Wiper            | 1 |
| Pulley GT2       | 4 |
| Belt             | 2 |

#### b. Perancangan Elektrikal

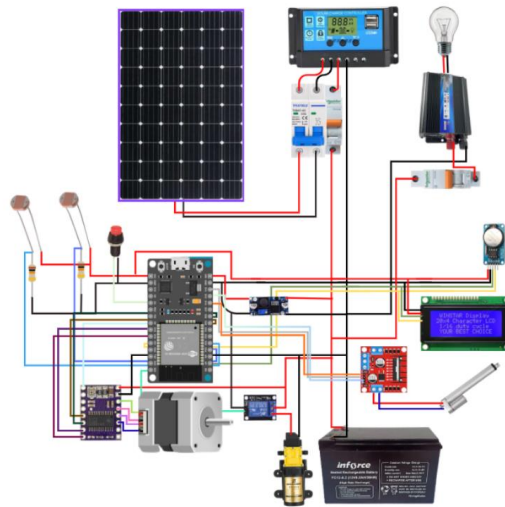
Perancangan sistem elektrikal dilakukan menggunakan *EasyEDA* untuk membuat *skematik* rangkaian dan *layout* PCB yang mengintegrasikan ESP32, sensor, serta komponen pendukung lainnya. PCB yang telah direalisasikan berfungsi sebagai pusat kendali dan monitoring pada sistem *solar tracker single-axis* dan pembersih panel surya.



Gambar 4. *Layout* PCB *EasyEda*

Gambar 4 menunjukkan *wiring* sistem *solar tracker single-axis* dan pembersih panel surya. Panel surya dihubungkan dengan *Solar Charge Controller* (SCC) untuk mengatur pengisian daya baterai dan penyaluran energi ke beban. ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali yang mengontrol aktuator *solar tracker*, sistem pembersih panel, serta menampilkan informasi sistem melalui LCD I2C 20x4. Selain itu, digunakan modul *step-down* untuk menyesuaikan tegangan sehingga seluruh komponen dapat bekerja secara stabil dan terintegrasi. Berdasarkan *wiring diagram* yang telah dirancang, seluruh komponen kemudian diimplementasikan dan dihubungkan sesuai fungsinya masing-masing. Hasil implementasi rangkaian sistem *solar tracker single-axis* dan pembersih panel surya otomatis ditunjukkan pada Gambar 5.



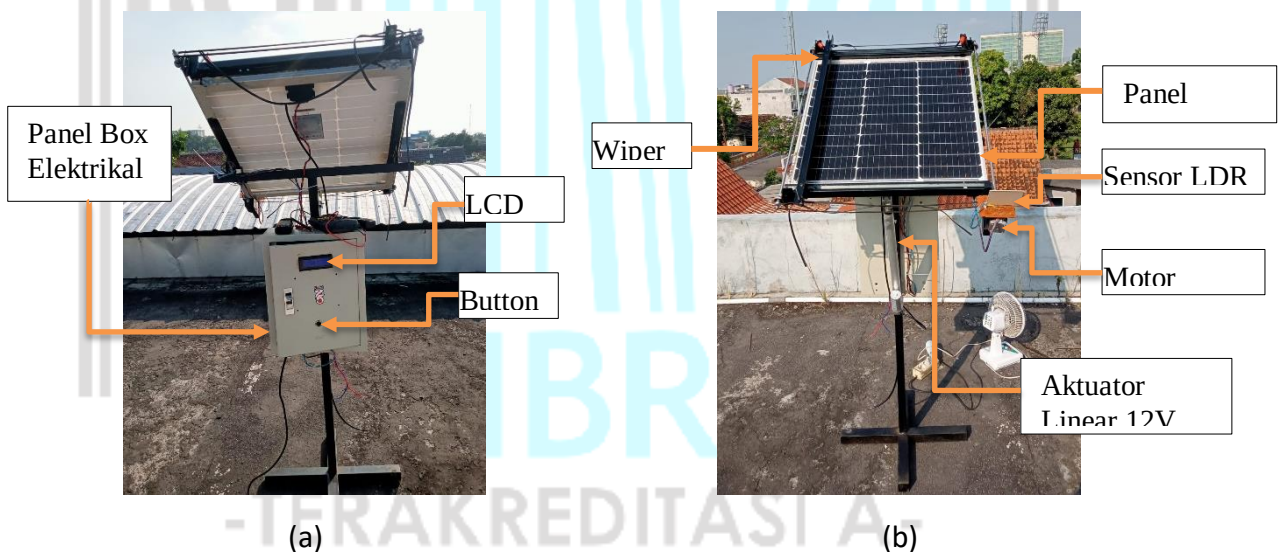


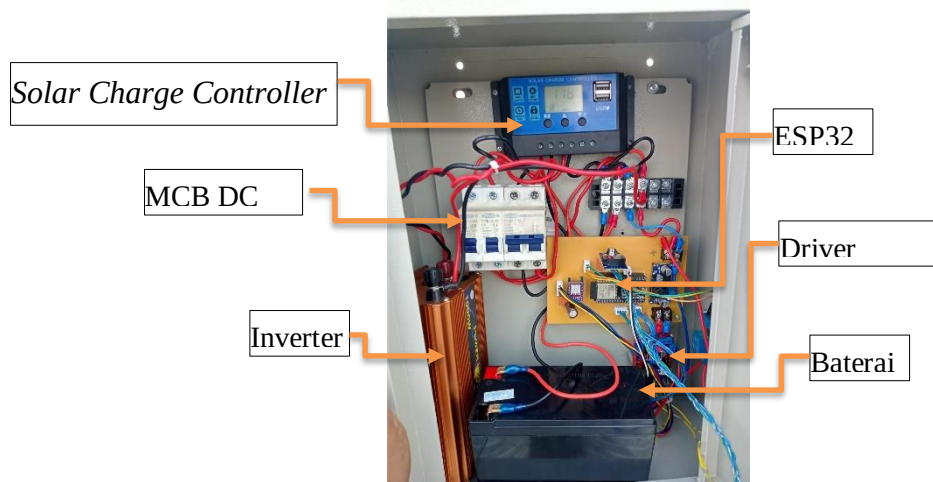
Gambar 5. *Wiring Sistem*

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Implementasi *Hardware*

Implementasi perangkat keras dilakukan pada area terbuka yang memperoleh paparan sinar matahari secara memadai. Pengujian awal dilakukan untuk mengevaluasi kinerja *solar tracker* dalam mengikuti pergerakan matahari serta memastikan sistem pembersih panel surya dapat beroperasi dengan baik. Hasil pengujian digunakan sebagai dasar untuk menilai dan mengoptimalkan kinerja sistem secara keseluruhan. Setelah proses perancangan dan implementasi rangkaian selesai dilakukan, tahap berikutnya adalah realisasi perangkat keras sistem. Implementasi *hardware* dilakukan dengan memasang seluruh komponen mekanik dan elektrik sesuai dengan desain yang telah dirancang sehingga sistem *solar tracker single-axis* dan pembersih panel surya otomatis dapat beroperasi secara terintegrasi. Tampilan hasil implementasi *hardware* sistem ditunjukkan pada Gambar 6.





Gambar 6. Implementasi *hardware* sistem (a) tampak depan, (b) tampak belakang, dan (c) rangkaian elektrikal di dalam panel box

### 3.2 Pengujian Awal Sistem

#### 3.2.1 Data Iradiasi

Data iradiasi matahari yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari rilis data iklim resmi Stasiun Klimatologi D.I. Yogyakarta BMKG. Berdasarkan data tersebut, nilai iradiasi maksimum rata-rata pada bulan Mei 2026 sebesar 667,54 W/m<sup>2</sup>. Nilai iradiasi menunjukkan besarnya energi matahari yang diterima pada setiap satuan luas permukaan, sehingga dapat digunakan untuk memperkirakan potensi daya yang dapat dihasilkan oleh panel surya. Perhitungan potensi daya teoritis panel surya dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Potensi Daya} = \text{Iradiasi Matahari} \times \text{Luas Panel} \quad (1)$$

Dengan luas panel surya yang digunakan 60 cm x 58 cm maka :

$$\text{Potensi Daya} = 667,54 \times 0,345 = 230,30 \text{ W}$$

Meskipun nilai iradiasi matahari pada lokasi penelitian tergolong tinggi, potensi daya yang tersedia belum dapat dimanfaatkan secara optimal karena panel surya yang digunakan hanya memiliki kapasitas sebesar 50 Wp. Kapasitas tersebut menjadi batas maksimum daya yang dapat dihasilkan panel, sehingga sebagian energi matahari yang tersedia tidak dapat dikonversi menjadi energi listrik. Oleh karena itu, penggunaan panel dengan kapasitas yang lebih besar diperlukan untuk mengoptimalkan potensi energi surya yang tersedia di lokasi penelitian.

#### 3.2.2 Pengujian Pembersihan Wiper Otomatis Berbasis RTC

Tabel 4. Hasil Pengujian Wiper

| Uji Ke- | Setting Waktu RTC | Status  |
|---------|-------------------|---------|
| 1       | 14.30             | Bekerja |
| 2       | 14.35             | Bekerja |
| 3       | 14.40             | Bekerja |



|   |       |         |
|---|-------|---------|
| 4 | 14.45 | Bekerja |
| 5 | 15.09 | Bekerja |

Berdasarkan Tabel 4, sistem pembersih *solar tracker* otomatis berbasis RTC dapat bekerja sesuai jadwal yang telah ditentukan. Seluruh pengujian yang dilakukan pada waktu 14.30, 14.35, 14.40, 14.45 dan 15.09 menunjukkan hasil berhasil bekerja tanpa kegagalan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa modul RTC mampu memberikan informasi waktu secara akurat kepada mikrokontroler sehingga sistem pembersih dapat diaktifkan secara otomatis sesuai jadwal. Dengan tingkat keberhasilan 100%, sistem penjadwalan berbasis RTC dapat mendukung proses pembersihan panel surya secara otomatis dan terjadwal.

### 3.2.3 Pengujian Efektivitas Pembersihan Wiper Terhadap Daya Output

Tabel 5. Pengujian Efektivitas Wiper

| Uji              | Iradiasi<br>W/m <sup>2</sup> | Sebelum Pembersihan |             |              | Setelah Pembersihan |             |              | Peningkatan<br>% |
|------------------|------------------------------|---------------------|-------------|--------------|---------------------|-------------|--------------|------------------|
|                  |                              | V                   | I           | P            | V                   | I           | P            |                  |
| 1                | 430,17                       | 12,10               | 1,07        | 12,95        | 12,18               | 1,12        | 13,64        | 5,09             |
| 2                | 433,06                       | 12,12               | 1,08        | 13,09        | 12,21               | 1,13        | 13,80        | 5,13             |
| 3                | 427,71                       | 12,08               | 1,06        | 12,80        | 12,16               | 1,11        | 13,50        | 5,13             |
| 4                | 432,13                       | 12,11               | 1,08        | 13,08        | 12,2                | 1,13        | 13,79        | 5,13             |
| 5                | 436,04                       | 12,14               | 1,09        | 13,23        | 12,23               | 1,14        | 13,94        | 5,09             |
| <b>Rata-rata</b> | <b>431,83</b>                | <b>12,11</b>        | <b>1,08</b> | <b>13,03</b> | <b>12,20</b>        | <b>1,13</b> | <b>13,73</b> | <b>5,11</b>      |

$$\text{Persentase Peningkatan} = \left| \frac{\text{Daya setelah Pembersihan} - \text{Daya Sebelum Pembersihan}}{\text{Daya Setelah Pembersihan}} \right| \times 100\% \quad (2)$$

Pada tabel 5 menunjukkan hasil pengujian efektivitas sistem pembersih panel surya. Pengujian dilakukan dengan menambahkan debu sebanyak satu sendok makan pada permukaan panel surya, kemudian mengukur tegangan, arus, dan daya sebelum serta sesudah proses pembersihan menggunakan wiper. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh parameter keluaran mengalami peningkatan setelah pembersihan, dengan peningkatan daya rata-rata sebesar 5,11% dan peningkatan tertinggi sebesar 5,13%. Hasil ini membuktikan bahwa sistem wiper mampu menjaga kebersihan panel sehingga penyerapan energi matahari menjadi lebih optimal. Pengukuran arus panel surya sebelum dan setelah proses pembersihan dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas sistem pembersih panel surya otomatis yang ditunjukkan pada Gambar 6.



(a)



(b)

Gambar 7. Pengukuran Arus (a) sebelum dibersihkan (b) setelah dibersihkan

### 3.2.4 Pengujian Solar Tracker

Tabel 6. Pengujian Respon Solar Tracker

| Pengujian | Posisi Cahaya            | Status |
|-----------|--------------------------|--------|
| 1         | 40 cm $\angle 30^\circ$  | Respon |
| 2         | 40 cm $\angle 60^\circ$  | Respon |
| 3         | 40 cm $\angle 100^\circ$ | Respon |
| 4         | 40 cm $\angle 120^\circ$ | Respon |
| 5         | 40 cm $\angle 150^\circ$ | Respon |

Tabel 6 merupakan hasil dari pengujian respon dari *solar tracker single-axis*. Pengujian respon *solar tracker* dilakukan sebanyak 5 kali dengan Sumber cahaya diposisikan pada  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $100^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $150^\circ$  yang diambil dari sudut panel surya. Dengan hasil seperti di tabel dapat disimpulkan bahwa untuk sistem *solar tracker* sendiri dapat bekerja mengikuti arah gerak matahari. Dengan tingkat keberhasilan 100% dapat mengoptimalkan daya output yang dihasilkan oleh panel surya dan dapat menghasilkan daya output panel surya yang maksimal.

### 3.3 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kinerja *solar tracker single-axis* dan sistem pembersih panel surya menggunakan wiper. Pengujian meliputi kemampuan *solar tracker* dalam mengikuti pergerakan matahari, efektivitas sistem pembersih dalam membersihkan permukaan panel surya, serta pengukuran parameter listrik berupa tegangan, arus, dan daya keluaran panel surya. Data hasil pengujian kemudian digunakan untuk menganalisis kinerja keseluruhan sistem.

### 3.3.1. Data Pengukuran Panel Surya Statis

#### 3.3.1.1 Pengujian Hari Pertama

Tabel 7. Pengujian Panel Surya Statis Hari ke-1

| Waktu            | Iradiasi       | PV           |             |              | Baterai      |             |             | Beban        |             |              |
|------------------|----------------|--------------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
|                  |                | V            | I           | P            | V            | I           | P           | V            | I           | P            |
| 09.00            | 904,31         | 12,58        | 1,95        | 24,53        | 11,90        | 0,09        | 1,07        | 11,60        | 1,95        | 22,62        |
| 09.30            | 1014,66        | 12,62        | 2,03        | 25,62        | 11,94        | 0,10        | 1,19        | 11,68        | 1,93        | 22,54        |
| 10.00            | 1087,93        | 12,74        | 2,08        | 26,50        | 12,00        | 0,12        | 1,44        | 11,72        | 2,01        | 23,56        |
| 10.30            | 1176,72        | 12,78        | 2,20        | 28,12        | 12,08        | 0,17        | 2,05        | 11,75        | 2,12        | 24,91        |
| 11.00            | 1137,93        | 12,73        | 2,28        | 29,02        | 12,11        | 0,14        | 1,70        | 11,76        | 2,18        | 25,64        |
| 11.30            | 1159,48        | 12,75        | 2,18        | 27,80        | 12,15        | 0,18        | 2,19        | 11,78        | 2,24        | 26,39        |
| 12.00            | 1179,31        | 12,78        | 2,25        | 28,76        | 12,17        | 0,16        | 1,95        | 11,79        | 2,26        | 26,65        |
| 12.30            | 1109,48        | 12,67        | 2,17        | 27,49        | 12,14        | 0,14        | 1,70        | 11,77        | 2,29        | 26,95        |
| 13.00            | 1086,21        | 12,64        | 2,10        | 26,54        | 12,12        | 0,13        | 1,58        | 11,75        | 2,21        | 25,97        |
| 13.30            | 1099,14        | 12,62        | 2,05        | 25,87        | 12,09        | 0,11        | 1,33        | 11,73        | 2,18        | 25,57        |
| 14.00            | 943,97         | 12,60        | 1,98        | 24,95        | 12,05        | 0,10        | 1,21        | 11,68        | 2,15        | 25,11        |
| <b>Rata-Rata</b> | <b>1081,74</b> | <b>12,68</b> | <b>2,12</b> | <b>26,84</b> | <b>12,07</b> | <b>0,13</b> | <b>1,58</b> | <b>11,73</b> | <b>2,14</b> | <b>25,08</b> |

#### 3.3.1.2 Pengujian Hari Kedua

Tabel 8. Pengujian Panel Surya Statis Hari ke-2

| Waktu            | Iradiasi      | PV           |             |              | Baterai      |             |             | Beban        |             |              |
|------------------|---------------|--------------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
|                  |               | V            | I           | P            | V            | I           | P           | V            | I           | P            |
| 09.00            | 829,66        | 12,46        | 1,72        | 21,43        | 12,22        | 0,21        | 2,57        | 10,52        | 1,88        | 19,78        |
| 09.30            | 868,10        | 12,50        | 1,81        | 22,63        | 12,28        | 0,18        | 2,21        | 10,79        | 1,99        | 21,47        |
| 10.00            | 913,79        | 12,59        | 1,85        | 23,29        | 12,25        | 0,23        | 2,82        | 12,10        | 2,12        | 25,65        |
| 10.30            | 1045,69       | 12,62        | 1,90        | 23,98        | 12,21        | 0,16        | 1,95        | 11,63        | 2,15        | 25,00        |
| 11.00            | 1016,38       | 12,72        | 1,86        | 23,66        | 12,10        | 0,12        | 1,45        | 11,09        | 2,14        | 23,73        |
| 11.30            | 1187,07       | 12,76        | 1,91        | 24,37        | 12,34        | 0,17        | 2,10        | 12,11        | 2,11        | 25,55        |
| 12.00            | 1159,48       | 12,75        | 1,91        | 24,35        | 12,29        | 0,24        | 2,95        | 12,15        | 2,15        | 26,12        |
| 12.30            | 933,62        | 12,50        | 1,81        | 22,63        | 12,00        | 0,21        | 2,52        | 11,66        | 2,15        | 25,07        |
| 13.00            | 937,07        | 12,34        | 1,80        | 22,21        | 11,84        | 0,11        | 1,30        | 11,43        | 2,05        | 23,43        |
| 13.30            | 790,34        | 12,23        | 1,71        | 20,91        | 11,72        | 0,10        | 1,17        | 11,16        | 2,03        | 22,65        |
| 14.00            | 654,66        | 12,01        | 1,58        | 18,98        | 11,70        | 0,18        | 2,11        | 11,02        | 2,00        | 22,04        |
| <b>Rata-Rata</b> | <b>939,62</b> | <b>12,50</b> | <b>1,79</b> | <b>22,59</b> | <b>12,09</b> | <b>0,17</b> | <b>2,10</b> | <b>11,42</b> | <b>2,07</b> | <b>23,68</b> |

#### 3.3.1.3 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan Tabel 7 dan Tabel 8, kondisi cuaca berpengaruh terhadap kinerja panel surya statis. Pada hari pertama dengan kondisi cuaca cerah diperoleh daya rata-rata panel surya sebesar 26,84 W, sedangkan pada hari kedua dengan kondisi cerah berawan daya rata-rata menurun menjadi 22,59 W. Penurunan daya tersebut dipengaruhi oleh berkurangnya nilai iradiasi matahari yang diterima panel surya dari 1081,74 W/m<sup>2</sup>

menjadi 939,62 W/m<sup>2</sup>. Selain itu, rata-rata daya pengisian baterai meningkat dan daya beban mengalami penurunan, daya baterai dari 1,58 W menjadi 2,10 W dan daya beban dari 25,08 W menjadi 23,68 W. Meskipun kondisi cuaca pada kedua hari pengujian berbeda, energi yang dihasilkan panel surya tetap dapat dimanfaatkan untuk menyuplai beban dan mengisi baterai. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai iradiasi matahari yang diterima panel surya, maka semakin besar daya listrik yang dihasilkan.

### 3.3.2. Data Pengujian Solar Tracker

#### 3.3.2.1 Pengujian Hari Pertama

Tabel 9. Pengujian Solar Tracker Hari ke-1

| Waktu            | Iradiasi       | PV           |             |              | Baterai      |             |             | Beban        |             |              |
|------------------|----------------|--------------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
|                  |                | V            | I           | P            | V            | I           | P           | V            | I           | P            |
| 09.00            | 904,31         | 12,68        | 2,02        | 25,61        | 11,88        | 0,10        | 1,19        | 11,60        | 1,97        | 22,85        |
| 09.30            | 1014,66        | 12,72        | 2,02        | 25,69        | 11,92        | 0,11        | 1,31        | 11,68        | 1,94        | 22,66        |
| 10.00            | 1087,93        | 12,75        | 2,15        | 27,41        | 12,00        | 0,12        | 1,44        | 11,72        | 2,05        | 24,03        |
| 10.30            | 1176,72        | 12,91        | 2,31        | 29,82        | 12,08        | 0,20        | 2,42        | 11,76        | 2,17        | 25,52        |
| 11.00            | 1137,93        | 12,85        | 2,48        | 31,87        | 12,10        | 0,16        | 1,94        | 11,75        | 2,38        | 27,97        |
| 11.30            | 1159,48        | 12,89        | 2,40        | 30,94        | 12,12        | 0,22        | 2,67        | 11,78        | 2,29        | 26,98        |
| 12.00            | 1179,31        | 12,80        | 2,43        | 31,10        | 12,16        | 0,21        | 2,55        | 11,80        | 2,33        | 27,49        |
| 12.30            | 1109,48        | 12,75        | 2,37        | 30,22        | 12,14        | 0,17        | 2,06        | 11,77        | 2,38        | 28,01        |
| 13.00            | 1086,21        | 12,71        | 2,36        | 30,00        | 12,12        | 0,16        | 1,94        | 11,75        | 2,26        | 26,56        |
| 13.30            | 1099,14        | 12,79        | 2,32        | 29,67        | 12,14        | 0,13        | 1,58        | 11,77        | 2,21        | 26,01        |
| 14.00            | 943,97         | 12,70        | 2,35        | 29,85        | 12,05        | 0,11        | 1,33        | 11,69        | 2,27        | 26,54        |
| <b>Rata-Rata</b> | <b>1081,74</b> | <b>12,78</b> | <b>2,29</b> | <b>29,29</b> | <b>12,06</b> | <b>0,15</b> | <b>1,86</b> | <b>11,73</b> | <b>2,20</b> | <b>25,87</b> |

#### 3.3.2.2 Pengujian Hari Kedua

Tabel 10. Pengujian Solar Tracker Hari ke-2

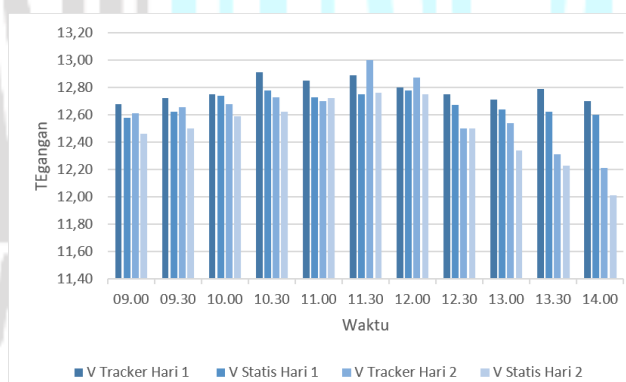
| waktu            | Iradiasi      | PV           |             |              | Baterai      |             |             | Beban        |             |              |
|------------------|---------------|--------------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
|                  |               | V            | I           | P            | V            | I           | P           | V            | I           | P            |
| 09.00            | 829,66        | 12,61        | 1,77        | 22,32        | 12,24        | 0,33        | 4,04        | 10,53        | 1,89        | 19,90        |
| 09.30            | 868,10        | 12,66        | 1,85        | 23,41        | 12,32        | 0,27        | 3,33        | 10,80        | 2,01        | 21,71        |
| 10.00            | 913,79        | 12,68        | 1,98        | 25,11        | 12,26        | 0,20        | 2,45        | 12,13        | 2,14        | 25,96        |
| 10.30            | 1045,69       | 12,73        | 2,01        | 25,59        | 12,22        | 0,21        | 2,57        | 11,65        | 2,17        | 25,28        |
| 11.00            | 1016,38       | 12,70        | 2,03        | 25,78        | 11,35        | 0,30        | 3,41        | 11,10        | 2,16        | 23,98        |
| 11.30            | 1187,07       | 13,00        | 2,02        | 26,26        | 12,42        | 0,35        | 4,35        | 12,12        | 2,23        | 27,03        |
| 12.00            | 1159,48       | 12,87        | 2,04        | 26,25        | 12,34        | 0,36        | 4,44        | 12,17        | 2,29        | 27,87        |
| 12.30            | 933,62        | 12,50        | 1,94        | 24,25        | 12,02        | 0,32        | 3,85        | 11,88        | 2,26        | 26,85        |
| 13.00            | 937,07        | 12,54        | 1,90        | 23,83        | 11,86        | 0,30        | 3,56        | 11,54        | 2,16        | 24,93        |
| 13.30            | 790,34        | 12,31        | 1,83        | 22,53        | 11,75        | 0,25        | 2,94        | 11,38        | 2,05        | 23,33        |
| 14.00            | 654,66        | 12,21        | 1,70        | 20,76        | 11,77        | 0,35        | 4,12        | 11,23        | 2,02        | 22,68        |
| <b>Rata-Rata</b> | <b>939,62</b> | <b>12,62</b> | <b>1,92</b> | <b>24,19</b> | <b>12,05</b> | <b>0,29</b> | <b>3,55</b> | <b>11,50</b> | <b>2,13</b> | <b>24,50</b> |

### 3.3.2.3 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan Tabel 9 dan Tabel 10, kinerja *solar tracker* dipengaruhi oleh kondisi cuaca dan nilai iradiasi matahari. Pada kondisi cerah, *solar tracker* menghasilkan daya rata-rata sebesar 29,29 W, sedangkan pada kondisi cerah berawan daya rata-rata menurun menjadi 24,19 W. Penurunan tersebut dipengaruhi oleh berkurangnya nilai iradiasi matahari yang diterima panel surya dari 1081,74 W/m<sup>2</sup> menjadi 939,62 W/m<sup>2</sup>. Selain itu, rata-rata daya pada beban juga mengalami penurunan dari 25,87 W menjadi 24,50 W. Meskipun demikian, energi yang dihasilkan panel surya tetap dapat disimpan pada baterai, yang ditunjukkan oleh rata-rata daya pengisian baterai sebesar 1,86 W pada kondisi cerah dan 3,55 W pada kondisi cerah berawan. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai iradiasi matahari yang diterima panel surya, maka semakin besar daya listrik yang dihasilkan. Selain itu, *solar tracker* menghasilkan daya yang lebih tinggi dibandingkan panel surya statis, yaitu 29,29 W dibandingkan 26,84 W pada kondisi cerah dan 24,19 W dibandingkan 22,59 W pada kondisi cerah berawan. Hal ini menunjukkan bahwa *solar tracker* mampu menjaga posisi panel tetap optimal terhadap arah datangnya sinar matahari sehingga meningkatkan pemanfaatan energi surya dan performa sistem PLTS

### 3.3.3 Perbandingan Kinerja Panel Surya Statis dan Solar Tracker

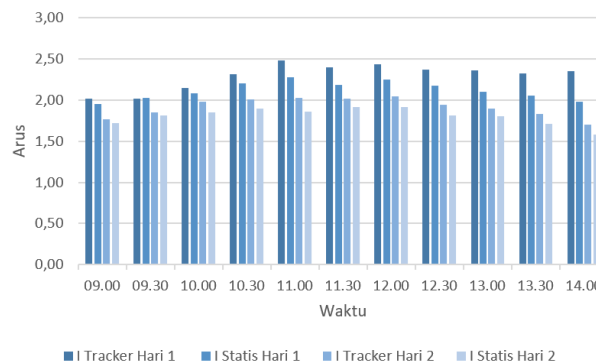
#### 3.3.3.1 Grafik Perbandingan Tegangan Solar Tracker dengan Statis



Gambar 7. Grafik Perbandingan Tegangan Tracker dengan Statis

Berdasarkan Gambar 7, tegangan keluaran *solar tracker* dan panel surya statis pada kedua hari pengujian cenderung stabil pada rentang 12–13 V. Perbedaan tegangan yang dihasilkan relatif kecil, namun *solar tracker* umumnya menghasilkan tegangan yang sedikit lebih tinggi dibandingkan panel statis. Hal ini menunjukkan bahwa sistem *tracking* tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap tegangan, tetapi mampu menjaga penerimaan cahaya matahari tetap optimal sehingga tegangan keluaran tetap stabil.

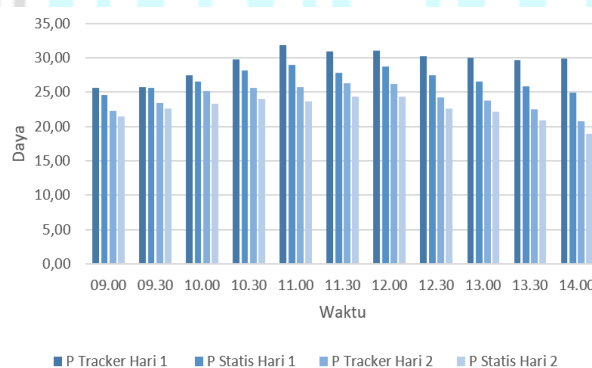
### 3.3.3.2 Grafik Perbandingan Arus Solar Tracker dengan Statis



Gambar 8. Grafik Perbandingan Arus Tracker dengan Statis

Berdasarkan Gambar 8, *solar tracker* menghasilkan arus yang lebih tinggi dibandingkan panel surya statis pada hampir seluruh waktu pengujian, baik pada kondisi cerah maupun cerah berawan. Perbedaan ini terjadi karena *solar tracker* mampu menjaga posisi panel tetap menghadap arah datangnya sinar matahari sehingga intensitas cahaya yang diterima lebih optimal. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem *tracking* dapat meningkatkan penyerapan energi matahari dan menghasilkan arus listrik yang lebih besar dibandingkan panel statis.

### 3.3.3.3 Grafik Perbandingan Daya Solar Tracker dengan Statis



Gambar 9. Grafik Perbandingan Daya Tracker dengan Statis

Berdasarkan Gambar 9, daya keluaran *solar tracker* secara konsisten lebih tinggi dibandingkan panel surya statis pada kedua kondisi cuaca. Pada kondisi cerah maupun cerah berawan, *solar tracker* mampu menghasilkan daya yang lebih besar karena posisi panel selalu mengikuti arah datangnya sinar matahari. Dengan arus yang lebih tinggi dan tegangan yang relatif stabil, daya keluaran *solar tracker* menjadi lebih optimal dibandingkan panel statis. Hasil ini sesuai dengan data rata-rata pengujian yang menunjukkan bahwa *solar tracker* menghasilkan daya lebih tinggi pada kedua kondisi cuaca.

## 4. PENUTUP

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, sistem *solar tracker single-axis* dengan pembersih panel surya otomatis berbasis wiper dapat bekerja sesuai dengan



fungsi yang direncanakan. Sistem *tracking* mampu mengikuti pergerakan matahari sehingga panel surya memperoleh penerimaan cahaya yang lebih optimal dibandingkan panel surya statis, sedangkan sistem pembersih otomatis yang dikendalikan berdasarkan waktu tertentu mampu menjaga kebersihan permukaan panel surya untuk mempertahankan kinerjanya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *solar tracker* menghasilkan performa yang lebih baik dibandingkan panel surya statis, dengan daya rata-rata sebesar 29,29 W pada kondisi cuaca cerah dan 24,19 W pada kondisi cerah berawan, lebih tinggi dibandingkan panel statis yang masing-masing menghasilkan daya rata-rata sebesar 26,84 W dan 22,59 W. Selain itu, pengujian pembersihan panel surya menunjukkan adanya peningkatan output setelah proses pembersihan, yang dapat disimpulkan bahwa kebersihan permukaan panel berpengaruh terhadap daya yang dihasilkan. Oleh sebab itu, penerapan *solar tracker* dan sistem pembersih otomatis dapat meningkatkan pemanfaatan energi matahari serta performa sistem PLTS secara keseluruhan.

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan sistem *tracking* dan pembersihan otomatis dapat menjadi solusi untuk meningkatkan performa panel surya. Untuk pengembangan selanjutnya, sistem dapat ditingkatkan dengan menggunakan metode *tracking* dua sumbu (*dual-axis tracker*), penerapan sensor iradiasi yang lebih akurat, serta penambahan sistem monitoring berbasis *Internet of Things (IoT)* untuk memudahkan pemantauan kinerja panel surya secara real-time.

## PERSANTUNAN

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penelitian dan penyusunan naskah publikasi ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak dan almarhumah Ibu tercinta serta keluarga yang senantiasa memberikan doa, dukungan, dan motivasi selama menempuh pendidikan. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Bapak Ir. Rizki Nurilyas Ahmad, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing atas arahan, bimbingan, dan masukan yang diberikan selama proses penelitian. Selain itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada teman-teman angkatan 2022, keluarga besar KMTE, rekan-rekan grup Cacicu, serta seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afif, Faisal, and Awaludin Martin. 2022. "Tinjauan Potensi Dan Kebijakan Energi Surya Di Indonesia." *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, Dan Material* 6(1):43–52.
- Alim, M. Syaiful, Suyono Thamrin, and Rudy Laksmono W. 2023. "Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Alternatif Ketahanan Energi Nasional Masa Depan." *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Nusantara (JPkMN)* 4(3):2427–35.
- Kharisma, Amrul, Satria Pinandita, and Ari Endang Jayanti. 2024. "Literature Review : Kajian Potensi Energi Surya Alternatif Energi Listrik." *JEBT: Jurnal Energi Baru & Terbarukan* 05(2):145–54. doi: 10.14710/jebt.2024.23956.

- Mansour, Ridha B E N, Meer Abdul, Mateen Khan, Fahad Abdulaziz Alsulaiman, and Rached B E N Mansour. 2021. "Optimizing the Solar PV Tilt Angle to Maximize the Power Output : A Case Study for Saudi Arabia." *IEEE ACCESS* 9:15914–28.
- Najmi, Nouhaila, and Ahmed Rachid. 2023. "A Review on Solar Panel Cleaning Systems and Techniques." *ENERGIES* 16:1–18.
- Rezkyanzah, Jeneiro, Lasman P. Purba, and Chrystia Aji Putra. 2016. "Perancangan Solar Tracker Berbasis Arduino Sebagai Penunjang Sistem Kerja Solar Cell Dalam Penyerapan Energi Matahari." *Scan : Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi* 11(2). doi: 10.33005/scan.v11i2.646.
- Setiawan, Nuris Dwi. 2025. "Solar Tracker Dua Sumbu Berbasis Arduino – IMU Untuk Mitigasi Vibrasi Dan Koreksi Sudut Panel." 2(3):609–16.
- Setyono, Agus Eko, Berkah Fajar, and Tamtomo Kiono. 2025. "Dari Energi Fosil Menuju Energi Terbarukan : Potret Kondisi Minyak Dan Gas Bumi Indonesia Tahun 2020 – 2050." *JEBT: Jurnal Energi Baru & Terbarukan Dari* 2(3):154–62. doi: 10.14710/jebt.2021.11157.
- Suandri, Setrio Eka, and Yosi Riduas Hais. 2023. "Rancang Bangun Solar Tracker Satu Sumbu Pada Panel Surya 50 Wp Berbasis Internet of Things (IoT)." *Seminar Nasional Teknologi Informasi & Ilmu Komputer (SEMATER)* Vol 2.No.1(x):374–86.

