

Rancang Bangun Solar Tracker Dua Sumbu Tipe Sunflower untuk Efisiensi Panel Surya

Design of Dual-Axis Sunflower Type Solar Tracker to Improve Solar Panel Efficiency

Mohammad Rifki Iti
Program Studi Teknik Elektro
Universitas Negeri Gorontalo
Gorontalo, Indonesia
mohamadrifkiiti@gmail.com

Bambang Panji Asmara
Program Studi Teknik Komputer
Universitas Negeri Gorontalo
Gorontalo, Indonesia
bambang@ung.ac.id

Syahrir Abdusamad
Program Studi Teknik Komputer
Universitas Negeri Gorontalo
Gorontalo, Indonesia
syahrirabdussamad@ung.ac.id

Wahab Musa
Program Studi Teknik Elektro
Universitas Negeri Gorontalo
Gorontalo, Indonesia
wmusa@ung.ac.id

Zainudin Bonok
Program Studi Teknik Elektro
Universitas Negeri Gorontalo
Gorontalo, Indonesia
zainudinbonok@ung.ac.id

Ulfatun Nadifa
Program Studi Teknik Komputer
Universitas Negeri Gorontalo
Gorontalo, Indonesia
ulfatun@ung.ac.id

Diterima : Mei 2025
Disetujui : Juli 2025
Dipublikasi : Juli 2025

Abstrak— Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji sistem pelacak surya tipe *sunflower* berbasis sensor cahaya guna meningkatkan efisiensi konversi energi pada panel surya. Sistem ini menggunakan empat sensor LDR dan dua motor servo yang dikendalikan oleh mikrokontroler untuk mengarahkan panel secara otomatis mengikuti pergerakan matahari sepanjang hari. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen rekayasa, yang mencakup studi literatur, perancangan, implementasi, serta pengujian sistem pada kondisi cuaca cerah dan mendung. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada kondisi cerah, sistem pelacak menghasilkan energi sebesar 15,60 Wh, sedangkan panel statis hanya 5,81 Wh. Pada kondisi mendung, energi yang dihasilkan oleh sistem pelacak menurun menjadi 0,68 Wh (penurunan 95,61%), sementara panel statis hanya menghasilkan 0,047 Wh (penurunan 99,19%). Secara keseluruhan, sistem pelacak menunjukkan peningkatan efisiensi sebesar 34,25% dibandingkan sistem statis. Temuan ini mengindikasikan bahwa sistem *Sunflower Solar Tracking* efektif dalam meningkatkan efisiensi penyerapan energi surya, bahkan pada kondisi pencahayaan yang kurang optimal.

Kata kunci : Solar Tracking; *Sunflower*; Arduino Uno; LDR; Servo

Abstract— This study aims to design and test a sunflower-type solar tracker system based on light sensors to improve energy conversion efficiency in solar panels. This system uses four LDR sensors and two servo motors controlled by a microcontroller to automatically direct the panel following the movement of the sun throughout the day. The research method used is an engineering experiment, which includes literature studies, design, implementation, and system testing in sunny and cloudy weather conditions. The test results show that in sunny conditions, the tracker system produces 15.60 Wh of energy, while the static panel is only 5.81 Wh. In cloudy conditions, the energy produced by the

tracker system decreases to 0.68 Wh (a decrease of 95.61%), while the static panel only produces 0.047 Wh (a decrease of 99.19%). Overall, the tracker system shows an increase in efficiency of 34.25% compared to the static system. These findings indicate that the *Sunflower Solar Tracking* system is effective in increasing the efficiency of solar energy absorption, even in less than optimal lighting conditions.

Keywords—Solar tracking; *Sunflower*; Arduino Uno; LDR; Servo

I. PENDAHULUAN

Krisis energi akibat keterbatasan sumber energi fosil telah mendorong pencarian solusi yang lebih berkelanjutan. Energi terbarukan, khususnya energi surya, menjadi fokus utama karena ketersediaannya yang melimpah dan ramah lingkungan. Indonesia, dengan letak geografisnya yang strategis di daerah tropis, memiliki potensi penyinaran matahari rata-rata 12 jam per hari sepanjang tahun[1]. Potensi ini sangat mendukung pemanfaatan teknologi energi surya untuk mengatasi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, yang masih mendominasi pemakaian energi nasional hingga saat ini[2].

Panel surya atau fotovoltaik merupakan teknologi utama dalam konversi energi matahari menjadi listrik. Namun, efisiensi panel surya sangat dipengaruhi oleh orientasi dan intensitas cahaya yang diterima, yang berubah seiring pergerakan matahari sepanjang hari[3]. Sebagian besar panel surya yang digunakan saat ini masih bersifat statis, sehingga tidak mampu secara optimal menangkap energi matahari [8]. Hal ini menjadi tantangan dalam pemanfaatan energi surya secara maksimal.

Sebagai solusi terhadap masalah efisiensi ini, teknologi solar tracking mulai dikembangkan. Salah satu sistem yang inovatif adalah *Sunflower Solar Tracker*, yaitu sistem

pelacakan matahari dua sumbu (dual-axis) yang meniru gerakan bunga matahari dalam mengikuti matahari dari timur ke barat serta menyesuaikan ketinggiannya[4]. Sistem ini memungkinkan posisi panel surya selalu tegak lurus terhadap arah sinar matahari, sehingga dapat meningkatkan efisiensi konversi energi hingga 20–25% dibandingkan sistem statis[5].

Namun, meskipun berbagai penelitian telah membahas tentang peningkatan efisiensi panel surya, sebagian besar studi lebih berfokus pada karakteristik material sel surya atau algoritma pengendalian sistem pelacakan[6]. Penelitian ini hadir untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan merancang sistem pelacakan surya tipe Sunflower yang tidak hanya mengikuti posisi matahari, tetapi juga mengintegrasikan mekanisme fisik inovatif berupa bilah panel yang membuka menyerupai kelopak bunga matahari. Mekanisme ini didukung oleh motor DC *gearbox* untuk meningkatkan jangkauan penyerapan sinar matahari secara dinamis dan lebih efektif. Motor DC *Gearbox* sering diterapkan pada alat penggerak robot beroda dua[7].

Tujuan utama dari penelitian ini adalah merancang dan membangun sistem *Sunflower Solar Tracking* sebagai alternatif solusi teknis yang mampu meningkatkan efisiensi panel surya, mengurangi emisi gas rumah kaca, dan mendukung transisi menuju energi bersih. Dengan pendekatan yang menggabungkan aspek mekanikal dan kontrol otomatisasi, sistem ini diharapkan dapat menjadi inovasi yang aplikatif di wilayah beriklim tropis seperti Indonesia.

Penelitian ini berbeda dari penelitian sebelumnya yang sebagian besar hanya menganalisis performa panel statis atau pengembangan sistem pelacakan berbasis satu sumbu. Misalnya, [8] lebih fokus pada dampak lingkungan dari penggunaan energi fosil, dan [6] membahas optimasi output solar cell tanpa pengembangan sistem mekanis pelacak matahari. Inovasi dalam penelitian ini terletak pada integrasi desain fisik menyerupai bunga matahari yang belum banyak diimplementasikan pada sistem solar tracking konvensional.

II. METODE

Desain sistem *sunflower solar tracking* ini mengacu pada konstruksi mekanis yang dibahas dalam penelitian sebelumnya[9][10] Sistem terdiri dari komponen utama sebagai berikut:

a. Desain Sistem

- Sensor cahaya: 4 buah Light Dependent Resistor (LDR) disusun pada dua sumbu untuk mendeteksi intensitas cahaya pada arah horizontal (timur–barat) dan vertikal (atas–bawah).
- Kontroler: Mikrokontroler Arduino Uno sebagai pusat kendali logika sistem.
- Penggerak mekanis: Motor servo untuk sumbu horizontal dan motor DC gearbox untuk sumbu vertikal guna menggerakkan panel sesuai arah datangnya cahaya.
- Panel surya: Modul fotovoltaik sebagai elemen utama dalam penyerapan energi surya.

Sistem bekerja dengan prinsip deteksi beda intensitas cahaya oleh sensor LDR untuk menentukan sudut optimal terhadap arah sinar matahari. Nilai sensor kemudian diolah

oleh mikrokontroler untuk menggerakkan motor agar posisi panel selalu tegak lurus terhadap sumber cahaya.

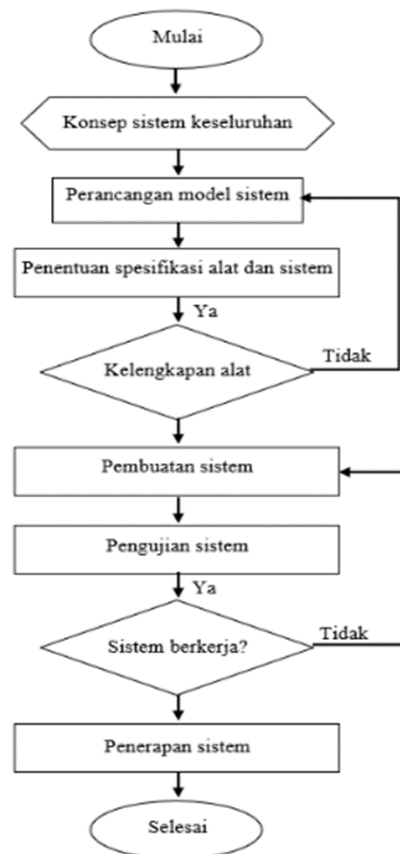
b. Implementasi Sistem

Langkah implementasi meliputi:

- Perakitan komponen elektronik: Penyusunan rangkaian kelistrikan antara LDR, Arduino Uno, dan motor penggerak.
- Pemrograman mikrokontroler: Instalasi dan konfigurasi algoritma kontrol tracking berbasis perbandingan nilai LDR.
- Integrasi sistem mekanis: Pemasangan panel surya pada rangka bergerak yang dikendalikan dua motor sesuai arah pelacakan.
- Kalibrasi sistem: Pengujian awal untuk menyesuaikan nilai ambang batas sensitivitas sensor LDR.

A. PERANCANGAN SISTEM *SUNFLOWER SOLAR TRACKING*

Pada tahap ini dilakukan perancangan sistem secara keseluruhan, perancangan alat dan sistem dapat dilihat pada diagram alir pada Gambar. 1 berikut ini:



Gambar. 1 Diagram Alir Perancangan Alat Dan Sistem *Sunflower Solar Tracking*

Seperti yang terlihat pada Gambar. 1 mengenai perancangan alat dan sistem mulai dari (konsep sistem keseluruhan) yang mana ide penulis untuk di bawa pada penelitian ini. Setelah itu (perancangan model dan sistem) yang mana penulis mulai membuat prototype *Sunflower Solar Tracker*, dan menentukan alat dan bahan yang akan di gunakan pada penelitian. Selanjutnya memastikan kelengkapan alat dan bahan yang di butuhkan, jika belum penulis melakukan kembali perancangan model dan sistem,

hingga kelengkapan alat dan bahan sudah sesuai. Selanjutnya penulis melakukan pembuatan sistem lalu mengujinya, dan mengevaluasi sistem apakah sudah bekerja atau tidaknya. Jika belum sesuai maka penulis akan melakukan pembuatan sistem kembali agar dapat bekerja sesuai yang di butuhkan. Setelah melakukan tahapan-tahapan tersebut penulis melakukan penerapan sistem.

B. ALAT DAN BAHAN YANG DIGUNAKAN PADA PENELITIAN

a. Alat

Berikut ini tabel 1 adalah alat yang di gunakan pada penelitian ini.:

Tabel 1 Alat yang digunakan

| No. | Nama | Jumlah |
|-----|-----------------------------------|--------|
| 1. | Microsoft windows (windows 11). | 1 |
| 2. | Arduino Software IDE Versi 1.8.18 | 1 |
| 3. | Multi Tester/avometer | 1 |
| 4. | Mistar/Penggaris | 1 |
| 5. | Jangka sorong/Vernier calipers | 1 |
| 6. | Sedangkan Cutter/Gunting | 1 |

b. Bahan

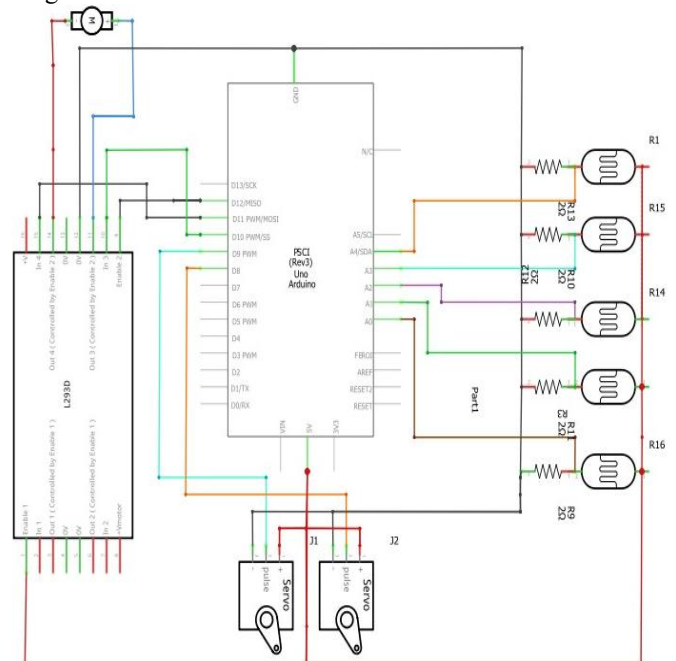
Adapun tabel 2 adalah bahan yang di gunakan pada penelitian ini.:

Tabel 2 Bahan yang digunakan

| No. | Nama | Jumlah |
|-----|--------------------------------|--------|
| 1. | Laptop/Komputer | 1 |
| 2. | Arduino Uno | 1 |
| 3. | Kabel Jumper Male to Male | 12 |
| 4. | Pin Header | 2 |
| 5. | PCB Matrix | 1 |
| 6. | Servo MG99R | 2 |
| 7. | Motor Gearbox | 1 |
| 8. | LDR (Light Dependent Resistor) | 5 |
| 9. | Resistor 10k Ω | 5 |
| 10. | Adaptor 9 Volt | 1 |

C. SKEMATIK SUNFLOWER SOLAR TRACKING

Pada Gambar. 2 perancangan kereluruhan yang dihubungkan kesemua komponen dengan peerancangan sebagai berikut :



Gambar. 2 Skematik Sunflower Solar Tracking

Pada Gambar. 2 menunjukkan bahwa rangkaian terdiri dari konfigurasi dengan arduino uno dan LDR (*Light Dependent Resistor*) sebagai pendeteksi intensitas cahaya untuk menentukan arah matahari sedangkan servo dan *GearBox* sebagai penggerak. Sensor ini sering digunakan untuk mendeteksi tingkat pencahayaan seperti yang di terapkan penelitian sebelumnya[11]

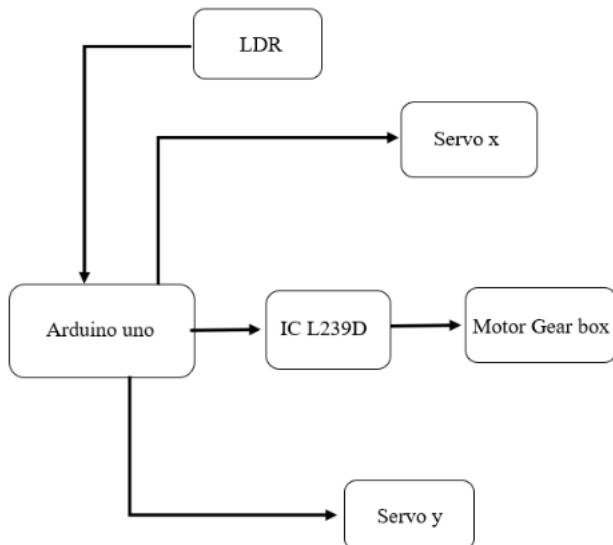
Hasil dari perancangan alat diatas, dapat dilihat pada Gambar. 3 berikut adalah *Sunflower Solar Tracker* yang menggunakan pendekatan berbasis sensor untuk mendeteksi intensitas cahaya matahari dan menggerakkan panel surya agar selalu menghadap ke arah sumber cahaya maksimum. Komponen utama terdiri dari Arduino Uno sebagai mikrokontroler, motor servo untuk pergerakan panel, motor DC *GearBox* untuk penggerak membuka dan menutup bilah panel dan sensor cahaya LDR.



Gambar. 3 Hasil Rancang bangun *Sunflower Solar Tracking*

D. FLOWCHART PRINSIP KERJA *SUNFLOWER SOLAR TRACKING*

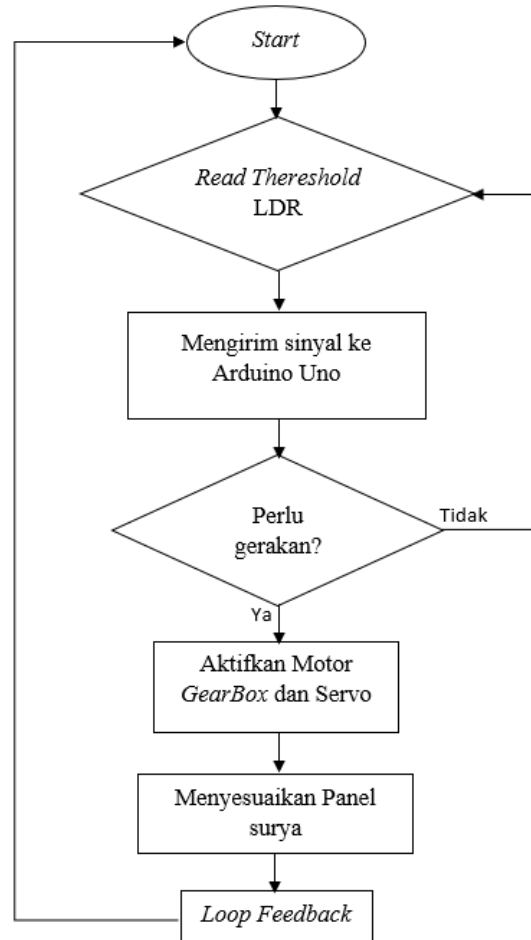
Setelah menghubungkan seluruh komponen pendukung, maka tahap selanjutnya adalah perancangan sistim *sunflower Solar Tracker* yang diampilkkan pada Gambar. 4 berikut ini:



Gambar. 4 Prinsip Kerja *Sunflower Solar Tracking*

Pada Gambar 4 ditampilkan diagram blok sistem, dimana Arduino Uno berperan sebagai mikrokontroler yang menjalankan program untuk mengatur pergerakan panel. Banyak yang telah menerapkan arduino uno sebagai mikrokontroler, diantaranya diaplikasikan pada sistem CNC (*Computer Numerical Control*)[12], [13] power meter dan implementasi *aquascaping*[14]. Sensor LDR mendeteksi intensitas cahaya dan mengubahnya menjadi sinyal yang dikirim ke Arduino. Berdasarkan sinyal tersebut, Arduino menggerakkan servo dan gearbox untuk mengatur posisi bilah panel surya agar selalu menghadap ke arah datangnya

cahaya matahari. Alur kerja lengkap sistem *Sunflower Solar Tracker* ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar. 5 Diagram alir Sistem Kerja *Sunflower Solar Tracking*

Seperti pada Gambar 5, saat sistem dinyalakan, sensor LDR membaca intensitas cahaya. Jika cahaya terdeteksi, sensor mengirim sinyal ke Arduino Uno untuk menggerakkan servo dan gearbox. Panel surya kemudian diarahkan ke posisi terbaik untuk menyerap sinar matahari. Proses ini terus berulang hingga tidak ada cahaya yang terdeteksi.

E. TEKNIK ANALISIS DATA

Pengujian dilakukan di lingkungan luar ruangan pada dua konfigurasi:

- Sistem tracking aktif: Panel surya mengikuti pergerakan matahari secara otomatis sepanjang hari.
- Sistem statis: Panel surya dipasang tanpa mekanisme pelacakan.

Parameter yang diukur:

- Tegangan output (V)
- Arus output (I)
- Daya ($P = V \times I$)

Pengukuran dilakukan secara berkala selama interval waktu tertentu (misalnya setiap 30 menit dari pukul 06:00–18:00) dalam kondisi cuaca cerah dan berawan.

Data yang diperoleh dianalisis dengan metode statistik untuk menentukan perbedaan daya listrik yang dihasilkan antara panel statis dan panel yang menggunakan sistem

sunflower solar tracking. Perbedaan ini akan diinterpretasikan untuk mengukur peningkatan efisiensi yang dihasilkan oleh sistem solar tracking. Proses analisis ini menggunakan beberapa rumus dari [15] yang meliputi :

1. Menghitung rata-rata daya listrik yang dihasilkan selama periode pengujian.

$$P = V \times I \dots \dots (1)$$

Keterangan : P = Daya listrik

V = Tegangan Volt

I = Arus (Ampere)

2. Menghitung energi listrik yang di hasilkan.

$$E = P \times t \dots \dots (2)$$

Keterangan : E = Energi Listrik

P = Daya Listrik

t = Waktu Oprasional (Jam)

3. Menghitung peningkatan efisiensi dari sistem solar tracking dengan persentase berikut:

$$\text{Efisiensi Peningkatan (\%)} = \frac{P_t - P_n}{P_n} \times 100\% \dots \dots (3)$$

Keterangan :

P_t = Panel *Tracking*

P_n = Panel *Non-Tracking*

Hasil analisis, diharapkan menunjukkan bahwa panel surya dengan sistem *sunflower Solar Tracker* memiliki peningkatan efisiensi daya yang signifikan dibandingkan dengan panel statis.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. HASIL PENGUJIAN SAAT CUACA CERAH DAN CUACA TIDAK STABIL

Kondisi cuaca dapat mempengaruhi hasil dan efisiensi sistem *Sunflower Solar Tracker* dalam beberapa cara:

1. Intensitas Cahaya: Cuaca cerah dengan intensitas cahaya matahari yang tinggi dapat meningkatkan efisiensi sistem, sedangkan cuaca berawan atau tidak stabil dapat menurunkan efisiensi.
2. Suhu: Suhu yang terlalu tinggi dapat menurunkan efisiensi panel surya, sedangkan suhu yang optimal dapat meningkatkan kinerja sistem.
3. Hujan atau Debu: Kondisi cuaca hujan atau debu dapat menurunkan intensitas cahaya yang diterima panel surya, sehingga mempengaruhi efisiensi sistem.
4. Arah dan Kecepatan Angin: Angin dapat mempengaruhi stabilitas dan akurasi sistem *tracking*, sehingga mempengaruhi efisiensi sistem.

Hasil pengujian sistem *Sunflower Solar Tracker* berbasis arduino uno akan dijelaskan untuk mengetahui efektivitasnya

dalam mengikuti pergerakan matahari dan perbandingan dengan panel surya statis *singgel-axis*. Pengujian dilakukan dengan mengamati kemampuan sistem dalam penyerapan cahaya dari berbagai arah serta ketepatan dalam mengarahkan perangkat pelacakan ke posisi sumber cahaya sehingga daya yang di hasilkan oleh panel surya bisa optimal.

Data yang diperoleh dari pengujian dikumpulkan dan disajikan dalam bentuk grafik perbandingan daya keluaran antara sistem tracking dan statis. Analisis meliputi:

- Rata-rata daya harian.
- Peningkatan efisiensi (%) antara sistem *sunflower tracking* dan sistem statis.
- Konsistensi performa sistem dalam berbagai kondisi pencahayaan.

Data juga dievaluasi untuk mengetahui keandalan sistem pelacakan dan sensitivitas respons terhadap perubahan posisi matahari.

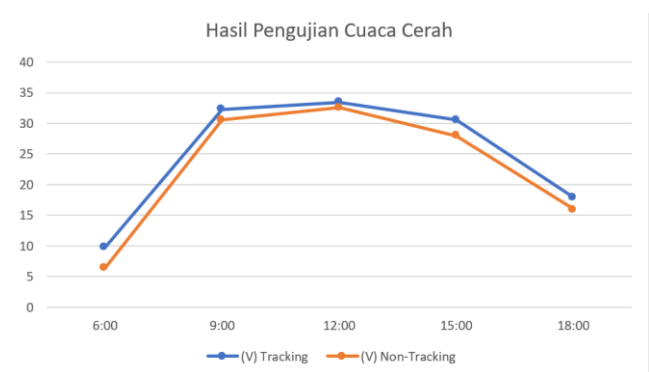
Berikut ini adalah hasil rata-rata dari pengujian *Sunflower Solar Tracker* saat cuaca cerah dan cuaca tidak stabil :

- a. Data pengukuran saat cuaca cerah

Pada Tabel. 3 berikut adalah hasil dari pengujian pengukuran rata-rata saat cuaca cerah :

Tabel 3 Hasil pengukuran saat cuaca cerah

| Waktu | Tracking | | Non-Tracking | |
|-------|----------|----------|--------------|----------|
| | Volt (V) | Arus (A) | Volt (V) | Arus (A) |
| 06.00 | 9.76 | 11,4 μA | 6.38 | 04,0 μA |
| 09.00 | 32.3 | 11,4 mA | 30.6 | 4,63 mA |
| 12.00 | 33.4 | 45,9 mA | 32.6 | 53,6 mA |
| 15.00 | 30.6 | 4,63 mA | 28.0 | 1,72 mA |
| 18.00 | 17.92 | 0,05 mA | 16.01 | 0,03 mA |



Gambar. 6 Grafik Hasil Pengujian Saat Cuaca CERAH

Tabel. 1 dan Gambar. 6 menunjukkan hasil pengukuran sistem *tracking* dan *non-tracking* panel surya saat cuaca cerah. Berikut adalah deskripsi tabel dan gambar:

- a) Tabel. 1 Hasil pengukuran saat cuaca cerah

Tabel ini menunjukkan hasil pengukuran tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh sistem tracking dan non-tracking panel surya pada beberapa waktu tertentu dalam sehari. Data yang disajikan meliputi:

- Waktu pengukuran: 06.00, 09.00, 12.00, 15.00, dan 18.00.
- Tegangan (V) dan arus (A) yang dihasilkan oleh sistem tracking dan non-tracking.

Dari tabel ini, dapat dilihat bahwa:

- Pada pagi hari (06.00), sistem *tracking* menghasilkan tegangan yang lebih tinggi daripada sistem *non-tracking*.
- Pada siang hari (09.00 dan 12.00), sistem *tracking* dan *non-tracking* menghasilkan tegangan yang relatif sama, tetapi arus yang dihasilkan oleh sistem *tracking* lebih tinggi pada pukul 09.00 dan lebih rendah pada pukul 12.00 dibandingkan dengan sistem *non-tracking*.
- Pada sore hari (15.00 dan 18.00), sistem *tracking* menghasilkan tegangan yang lebih tinggi daripada sistem *non-tracking*.

b) Gambar. 6 Grafik hasil pengujian saat cuaca cerah

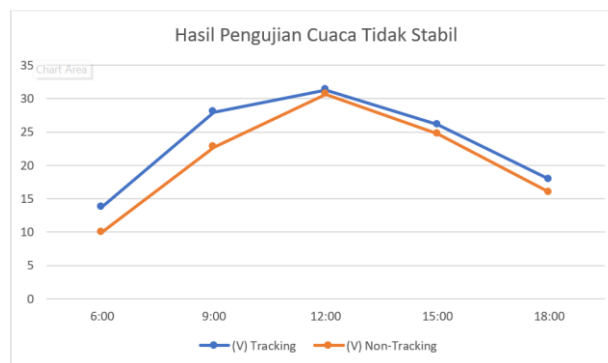
Pada grafik pengujian cuaca cerah, terlihat bahwa sistem *tracking* dan *non-tracking* sama-sama mengalami peningkatan tegangan mulai pukul 06:00 hingga mencapai puncaknya pada pukul 12:00, kemudian mengalami penurunan hingga pukul 18:00. Sistem *tracking* menunjukkan tegangan yang sedikit lebih tinggi pada setiap waktu pengamatan dibandingkan sistem *non-tracking*, dengan selisih terbesar pada pagi hari dan sore hari. Hal ini menunjukkan bahwa sistem *tracking* mampu mengikuti posisi matahari dan mengoptimalkan penyerapan energi terutama saat posisi matahari tidak tegak lurus. Namun, pada siang hari ketika intensitas cahaya tinggi dan datang secara langsung, perbedaan tegangan antara kedua sistem menjadi kecil karena kedua sistem dapat menerima pencahayaan maksimal. Implikasi dari hasil ini menunjukkan bahwa dalam kondisi cuaca cerah, sistem *tracking* tetap lebih unggul, meskipun keuntungannya tidak terlalu signifikan.

b. Hasil Pengujian Saat Cuaca Tidak Stabil

Saat cuaca tidak satabil, bisa dilihat pada Tabel. 4 intensitas cahaya matahari berkurang secara signifikan, sehingga memengaruhi efisiensi panel surya baik pada sistem *tracking* maupun *statis*. Berikut adalah analisis tambahan berdasarkan saat kondisi cuaca tidak stabil :

Tabel 4 Hasil Pengukuran Saat Cuaca Tidak Stabil

| Waktu | Tracking | | Non-Tracking | |
|-------|----------|-------------|--------------|--------------|
| | Volt (V) | Arus (A) | Volt (V) | Arus (A) |
| 06.00 | 13,77 | 026 μ A | 10,01 | 09,4 μ A |
| 09.00 | 28.0 | 1,72 mA | 22,7 | 0,28 mA |
| 12.00 | 31,3 | 4,88 mA | 30,6 | 4,63 mA |
| 15.00 | 26.1 | 0,80 mA | 24,7 | 0,54 mA |
| 18.00 | 17,92 | 0,05 mA | 16,01 | 0,03 mA |



Gambar. 7 Grafik Hasil Pengujian Saat Cuaca Tidak Stabil

Tabel 2 dan Gambar 7 menunjukkan hasil pengukuran sistem tracking dan non-tracking panel surya saat cuaca tidak stabil. Berikut adalah deskripsi tabel dan gambar:

a) Hasil pengukuran saat cuaca tidak stabil

Tabel ini menunjukkan hasil pengukuran tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh sistem *tracking* dan *non-tracking* panel surya pada beberapa waktu tertentu dalam sehari saat cuaca tidak stabil. Data yang disajikan meliputi:

- Waktu pengukuran: 06.00, 09.00, 12.00, 15.00, dan 18.00.
- Tegangan (V) dan arus (A) yang dihasilkan oleh sistem *tracking* dan *non-tracking*.

Dari tabel ini, dapat dilihat bahwa:

- Sistem *tracking* menghasilkan tegangan dan arus yang lebih tinggi daripada sistem *non-tracking* pada sebagian besar waktu pengukuran.
- Perbedaan hasil pengukuran antara sistem *tracking* dan *non-tracking* lebih signifikan pada pagi dan siang hari.
- Pada sore hari (18.00), hasil pengukuran sistem *tracking* dan *non-tracking* relatif sama.

b) Gambar. 7 Grafik hasil pengujian saat cuaca tidak stabil

Sementara itu, grafik pengujian cuaca tidak stabil menunjukkan pola yang sedikit berbeda, meskipun tren umum peningkatan dan penurunan tegangan masih terjadi. Sistem *tracking* secara konsisten menghasilkan tegangan lebih tinggi dibandingkan *non-tracking*, dengan perbedaan yang lebih mencolok dibanding kondisi cuaca cerah, terutama pada pukul 06:00 dan 09:00. Hal ini menunjukkan bahwa ketika pencahayaan tidak stabil akibat faktor cuaca seperti awan atau hujan ringan, kemampuan sistem *tracking* dalam menyesuaikan posisi panel terhadap arah matahari menjadi sangat krusial untuk menjaga efisiensi energi. Pada pukul 12:00, perbedaan tegangan antara kedua sistem kembali mengecil karena intensitas cahaya yang relatif merata pada saat posisi matahari berada di titik tertinggi. Implikasi dari temuan ini memperkuat peran sistem *tracking* sebagai solusi yang efektif untuk mengatasi ketidakpastian intensitas cahaya pada kondisi cuaca yang tidak menentu, sehingga dapat meningkatkan kinerja panel surya secara keseluruhan.

Berdasarkan hasil pengujian, sistem *Sunflower Solar Tracker* memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan

dengan sistem *Non-Tracking*. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti:

- Kemampuan tracking: *Sistem Sunflower Solar Tracker* dapat mengikuti pergerakan matahari, sehingga dapat meningkatkan penyerapan energi surya.
- Desain sistem: Desain sistem *Sunflower Solar Tracker* yang optimal dapat mengurangi kehilangan energi dan meningkatkan efisiensi sistem.
- Pengaturan parameter: Pengaturan parameter sistem *Sunflower Solar Tracker* yang optimal dapat meningkatkan efisiensi sistem.

Adapun beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kinerja sistem *Sunflower Solar Tracker* adalah:

- Akurasi tracking: Akurasi tracking sistem *Sunflower Solar Tracker* dapat mempengaruhi kinerja sistem. Semakin akurat tracking, semakin baik kinerja sistem.
- Kecepatan angin: Kecepatan angin dapat mempengaruhi kinerja sistem *Sunflower Solar Tracker*. Kecepatan angin yang tinggi dapat menyebabkan sistem tidak stabil.
- Intensitas cahaya matahari: Intensitas cahaya matahari dapat mempengaruhi kinerja sistem *Sunflower Solar Tracker*. Semakin tinggi intensitas cahaya matahari, semakin baik kinerja sistem.

Oleh karena itu, dengan melakukan analisis lebih mendalam, kita dapat memahami bahwa kinerja sistem *Sunflower Solar Tracker* dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti:

- Algoritma tracking: Algoritma tracking yang digunakan dapat mempengaruhi kinerja sistem. Algoritma yang lebih baik dapat meningkatkan akurasi tracking dan kinerja sistem.
- Desain mekanik: Desain mekanik sistem *Sunflower Solar Tracker* dapat mempengaruhi kinerja sistem. Desain yang lebih baik dapat mengurangi kehilangan energi dan meningkatkan efisiensi sistem.

Berdasarkan hasil analisis, beberapa rekomendasi dapat diberikan untuk meningkatkan kinerja sistem *Sunflower Solar Tracker*:

- Meningkatkan akurasi tracking dengan menggunakan algoritma tracking yang lebih baik.
- Mengoptimalkan desain sistem untuk mengurangi kehilangan energi.
- Memantau lingkungan operasional sistem untuk memastikan kinerja sistem yang optimal.

Sistem ini lebih efisien untuk meningkat hasil energi yang di hasilkan oleh panel surya dibandingkan dengan menempatkan panel surya pada sudut elivasi tertentu. Selain itu, dengan menggunakan sistem instalasi *solar tracking dual axis* panel surya dapat menghasilkan daya sebesar 33,67 untuk mengisi baterai dengan kapasitas 540 watt sehingga dapat digunakan untuk beban lampu 25 watt selama 21,6 jam[16]. Sedangkan menurut [17] peningkatan daya keluaran panel surya menggunakan *single-axis-tracker* pada daerah khatulistiwa, menunjukkan bahwa panel surya *single-axis-tracker* menggunakan aktuator lebih efisien dan menghasilkan daya yang lebih besar dibandingkan panel

surya tetap, meskipun sebagian kelebihan daya tersebut sudah digunakan untuk suplai daya aktuator.

Hasil yang didapatkan membuktikan bahwa efisiensi sistem ini sangat tinggi pada pagi dan sore hari dan bahwa menggunakan panel stasioner tidak akan efektif karena radiasi rendah yang diterima dari matahari selama periode ini. Perbandingan pelacak surya yang dirancang mengungkapkan peningkatan 40% dalam efisiensi sistem yang diusulkan dibandingkan dengan panel stasioner[18]. Tegangan pada sistem panel surya mengalami peningkatan selama siang hari seiring dengan intensitas sinar matahari.

B. PEMBAHASAN HASIL OPRASIONAL SISTEM *SUNFLOWER SOLAR TRACKING*

Sistem Sunflower Solar Tracker menghasilkan daya lebih tinggi, terutama pada pagi dan sore hari, dengan peningkatan total 34,25% dibandingkan panel *Non-statis*, sedangkan pada saat cuaca tidak stabil menghasilkan peningkatan total 16,27% dibandingkan juga dengan panel *Non-statis*. Sistem *sunflower Solar Tracker* menggunakan motor servo dengan konsumsi daya sekitar 2-3 Wh/hari, yang masih jauh lebih kecil dibandingkan energi tambahan yang dihasilkan (15,60 Wh lebih besar dibandingkan panel statis).

C. Hasil Analisis Oprasional Menggunakan Sistem *Sunflower Solar Tracking*

Berikut ini adalah hasil dari analisis menggunakan sistem *Sunflower Solar Tracker* :

1. Sistem *sunflower Solar Tracker* tetap menunjukkan peningkatan efisiensi sebesar 16,27%. meskipun intensitas cahaya lebih rendah saat mendung. Hal ini disebabkan oleh kemampuan sistem untuk mencari arah dengan cahaya optimal, meski dalam intensitas rendah.
2. Energi yang dihasilkan oleh *sunflower Solar Tracker* pada kondisi mendung menurun sekitar 92,75% sedangkan panel *non-Tracking* menurun sekitar 83,30% dibandingkan kondisi cerah (tracking dari 15,60 Wh menjadi 1,127 Wh, statis: dari 5,81 Wh menjadi 0,970 Wh). Namun, sistem *sunflower Solar Tracker* tetap menunjukkan performa lebih baik dibandingkan panel statis.

D. SIMULASI POTENSI KEUNTUNGAN SAAT MENGGUNAKAN SISTEM TRACKING

Misalkan panel surya digunakan untuk kebutuhan skala kecil (pengisian baterai atau alat elektronik), dalam 7 hari:

- Sistem tracking menghasilkan :
 $15,60 \text{ Wh/hari} \times 7 = 109,2 \text{ Wh} (0,1092 \text{ kWh})$
- Panel Statis menghasilkan :
 $11,62 \text{ Wh/hari} \times 7 = 81,34 \text{ Wh} (0,08134 \text{ kWh})$
- Peningkatan energi = $109,2 \text{ Wh} / \text{Minggu}$, setara dengan penggunaan lampu LED 5W selama 3,12 jam / hari.

Berdasarkan perhitungan, sistem tracking panel surya dapat menghasilkan energi yang lebih banyak dibandingkan dengan panel statis dalam skala kecil. Berikut adalah deskripsi hasil perhitungannya:

- Sistem tracking panel surya dapat menghasilkan 109,2 Wh dalam 7 hari, sedangkan panel statis hanya menghasilkan 81,34 Wh dalam waktu yang sama.
- Peningkatan energi yang dihasilkan oleh sistem tracking adalah sebesar 27,86 Wh (109,2 Wh - 81,34 Wh) dalam 7 hari.
- Jika dihitung rata-rata per hari, sistem tracking dapat menghasilkan energi yang cukup untuk menyalakan lampu LED 5W selama 3,12 jam per hari ($109,2 \text{ Wh} / 7 \text{ hari} = 15,6 \text{ Wh/hari}$, kemudian $15,6 \text{ Wh} / 5W = 3,12 \text{ jam}$).

Dengan demikian, sistem tracking panel surya dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi surya dalam skala kecil, seperti pengisian baterai atau alat elektronik. Peningkatan energi yang dihasilkan dapat digunakan untuk menyalakan perangkat elektronik selama beberapa jam tambahan per hari.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengembangkan sistem *Sunflower Solar Tracking* berbasis sensor cahaya (LDR) untuk meningkatkan efisiensi penyerapan energi pada panel surya. Sistem ini menggunakan komponen utama berupa mikrokontroler (Arduino Uno), motor penggerak (servo), aktuator (*gearbox*), dan perangkat lunak pengendali yang memungkinkan panel mengikuti pergerakan matahari secara otomatis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa panel surya dengan sistem pelacak ini memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan panel statis. Sistem mampu menghasilkan energi lebih besar karena posisi panel selalu disesuaikan agar tegak lurus terhadap arah datangnya cahaya. Meskipun efektif, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pengujian dilakukan hanya dalam kondisi cuaca tertentu dan menggunakan panel surya berukuran kecil, sehingga belum mewakili skenario penggunaan skala besar. Selain itu, sistem hanya menggunakan pelacakan satu sumbu, yang membatasi fleksibilitas dalam mengikuti perubahan posisi matahari secara penuh. Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan penerapan sistem pelacakan dua sumbu guna meningkatkan akurasi penyesuaian sudut panel. Uji coba juga perlu diperluas pada berbagai kondisi cuaca dan durasi waktu yang lebih panjang. Integrasi dengan sistem penyimpanan energi dan kontrol berbasis IoT juga dapat meningkatkan kinerja dan fungsionalitas sistem secara keseluruhan.

REFERENSI

- [1] F. Y. Manahampi, J. C. Kewas, D. Darly, I. P. Tamba, And H. M. Sumual, "Rancang Bangun Solar Tracker Dual Axis Berbasis Arduino Uno Untuk Meningkatkan Efektifitas Daya Keluaran Pada Panel Surya Monocrystalline 50 Watt Peak," Vol. 7, No. 2, Pp. 197–209, 2024.
- [2] K. W. Fauzi, T. Arfianto, And N. Taryana, "Perancangan Dan Realisasi Solar Tracking System Untuk Peningkatan Efisiensi Panel Surya Menggunakan Arduino Uno," *Telka - Telekomun. Elektron. Komputasi Dan Kontrol*, Vol. 4, No. 1, Pp. 63–74, 2018, Doi: 10.15575/Telka.V4n1.63-74.
- [3] M. Pardawantara, F. Antony, And Rachmansyah, "Perancangan Sistem Solar Tracking Dual Axis Untuk Optimasi Panel Surya Menggunakan Sensor Ldr Dan Gyroscope Berbasis Internet Of Things (Iot)," *J. Intell. Networks Iot Glob.*, Vol. 1, No. 2, Pp. 98–106, 2023, Doi: 10.36982/Jinig.V1i2.3645.
- [4] P. Chawla, A. Mane, A. Kothari, R. Gavaraskar, And M. Wyawahare, "Efficient Sunflower Solar Power Tracking And Monitoring System," Vol. X, No. Iii, Pp. 57–60, 2020.
- [5] A. O'G'Li T. Dilshodovich Alijanov, "Impact Factor : International Scientific Journal Theoretical & Applied Science The Effect Of Diversity Of The Nationality , Board Of Director , Investment Decision , Financing Decision , And Impact Factor :," No. December, 2000, Doi: 10.15863/Tas.
- [6] P. P. Wanajaya, "Analisa Kinerja Solar Tracker Dengan Menggunakan Solar Cell Berbasis Arduino Uno," *Epic J. Electr. Power, Instrum. Control*, Vol. 2, No. 2, 2019, Doi: 10.32493/Epic.V2i2.2890.
- [7] M. Lamatenggo, I. Wiranto, And W. Ridwan, "Perancangan Balancing Robot Beroda Dua Dengan Metode Pengendali Pid Berbasis Arduino Nano," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, Vol. 2, No. 2, Pp. 39–43, 2020, Doi: 10.37905/Jjee.V2i2.6906.
- [8] K. Kumar, L. Varshney, A. Ambikapathy, R. K. Saket, And S. Mekhilef, "Solar Tracker Transcript—A Review," *Int. Trans. Electr. Energy Syst.*, Vol. 31, No. 12, Pp. 1–34, 2021, Doi: 10.1002/2050-7038.13250.
- [9] M. Ihdansyah, S. Arif, And Ocsirendi, "Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan Rancang Bangun Solar Tracker Dua Axis Menggunakan Penggerak Air," *Pros. Semin. Nas. Inov. Teknol. Terap.*, Vol. 1, Pp. 280–286, 2021.
- [10] M. R. Dewanto, Y. T. K. Priyanto, Thomas Dwi Putra Salim, Mohammad Khatami, And Sena Sukmananda Suprpto, "Perancangan Dual-Axis Solar Tracker Untuk Plts Dengan Analisis Pengaruh Jumlah Sensor Dan Tracking Delay," *J. Sistim Inf. Dan Teknol.*, No. January, 2022, Doi: 10.37034/Jsifotek.V4i4.181.
- [11] R. S. Poliyama, F. E. P. Surusa, And R. K. Abdullah, "Rancang Bangun Alat Sistem Monitor Lampu Jalan Umum Tenaga Surya Berbasis Teknologi Lo - Ra," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, Vol. 3, No. 2, Pp. 34–40, 2021, Doi: 10.37905/Jjee.V3i2.10202.
- [12] A. Muchlis, W. Ridwan, And I. Z. Nasibu, "Rancang Bangun Mesin Cnc (Computer Numerical Control) Laser Dengan Metode Design For Assembly," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, Vol. 3, No. 1, Pp. 23–27, 2021, Doi: 10.37905/Jjee.V3i1.9228.
- [13] I. Z. Nasibu, W. Musa, And A. R. Haras, "Rancang Bangun Power Meter Berbasis Arduino," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, Vol. 4, No. 1, Pp. 114–118, 2022, Doi: 10.37905/Jjee.V4i1.10768.
- [14] W. Musa, "Desain Dan Implementasi Sistem Otomasi Aquascaping Menggunakan Arduino Uno R3 Design And Implementation Of Aquascaping Automation System Using Arduino Uno R3," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, Vol. 7, Pp. 89–93, 2025.
- [15] A. Calvin, W. Puji, A. U. Krismanto, R. Putra, M.

- Davi, And I. T. Nasional, "Desain Sistem Kendali Dual Axis Solar Tracker Berbasis Fuzzy Type 2," Vol. 08, Pp. 183–193, 2024.
- [16] H. Zuddin And S. I. Haryudo, "Perancangan Dan Implementasi Sistem Instalasi Solar Tracking Dual Axis Untuk Optimasi Panel Surya," *J. Tek. Elektro, Univ. Negeri Surabaya*, Vol. 8, No. 3, Pp. 563–570, 2019.
- [17] A. B. Pulungan, Q. Fajri, And I. Yelfianhar, "Peningkatan Daya Keluaran Panel Surya Menggunakan Single Axis Tracker Pada Daerah Khatulistiwa," *Jtev (Jurnal Tek. Elektro Dan Vokasional)*, Vol. 7, No. 2, P. 261, 2021, Doi: 10.24036/Jtev.V7i2.113304.
- [18] A. A. Sneineh And W. A. Salah, "Design And Implementation Of An Automatically Aligned Solar Tracking System," *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, Vol. 10, No. 4, Pp. 2055–2064, 2019, Doi: 10.11591/Ijped.V10.I4.Pp2055-2064.