ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan
Vol. 12 No. 2, ISSN: 2407-232X, E-ISSN: 2407-2338

Solar Tracking System Pada Panel Surya dengan Metode Optimum Tegangan Menggunakan Mikrokontroler

Kumala Mahda Habsari*[a)], Zawatan Arwin[a)], Hanifah Nur Kumala N[a)], Dimas Nur Prakoso[a)]

(Received 20 Mei 2025 || Revised 18 Juni 2025 || Published 30 Juni 2025)

Abstract: *This study examines the application of a Solar Tracking System on photovoltaic panels using the Optimal Voltage Method controlled by an Arduino Mega 2560 microcontroller. The system is designed to dynamically optimize the panel's position to continuously face the sun, thereby increasing radiation absorption and improving electrical energy conversion efficiency. Testing was conducted by comparing the output voltage of the panel with and without the tracking system. The measurement results showed an average increase of 1.51% in the output voltage when the tracking system was activated. Analysis of solar irradiation data and light intensity further supports the system's effectiveness in maximizing solar energy utilization throughout the day. With the Arduino Mega 2560's ability to process data in real-time and control linear actuators, this system has proven to be effective in enhancing photovoltaic panel performance. This research is expected to lead to significant changes. The innovation made can improve solar energy efficiency, reduce costs, and expand global access to clean energy. Furthermore, this innovation contributes to achieving sustainability goals set by various countries, creating a positive impact on economic growth, job creation, and environmental health. With ongoing technological advancements, the solar tracking system has the potential to play a key role in realizing a more sustainable and environmentally friendly future in the energy sector.*

Keywords: *solar tracking system, Optimum Voltage Method, Solar Energy Optimization, Energy Conversion Efficiency*

1. Pendahuluan

Sebagai sumber energi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan, energi surya memegang peranan krusial dalam inisiatif global untuk mengembangkan solusi energi terbarukan, dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) memanfaatkan radiasi matahari dan mengkonversinya melalui proses fotovoltaik (PV) untuk menghasilkan listrik [1], [2].

Dengan terpasangnya sistem PLTS, maka perlu diketahui bahwa daya optimal pada PLTS bergantung pada panas matahari. Jika pada saat cuaca sedang mendung ataupun matahari berpindah posisi, maka iradiasi pada panel surya tidak maksimal. Performa serta output energi yang dihasilkan oleh panel PV sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan. Dalam konteks ini, radiasi matahari (irradiance) menjadi faktor utama yang mendapat perhatian khusus, mengingat perannya yang signifikan terhadap produksi listrik oleh panel surya [3], [4], [5].

Salah satu metode yang banyak digunakan untuk mengoptimalkan kinerja PLTS adalah dengan menerapkan sistem *solar tracker* [6]. Sistem ini berfungsi untuk mengatur posisi panel surya secara dinamis sehingga selalu menghadap ke arah matahari secara optimal sepanjang hari. Dengan demikian, penyerapan radiasi matahari oleh panel surya dapat dimaksimalkan, yang pada akhirnya meningkatkan efisiensi dan keluaran energi listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS tersebut. Penerapan *solar tracker* ini menjadi solusi penting terutama pada kondisi ketika posisi matahari berubah-ubah secara signifikan dari pagi hingga sore hari, sehingga panel tidak hanya mengandalkan posisi statis yang bisa menyebabkan penurunan penyerapan cahaya [7], [8]. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *solar tracker* dapat meningkatkan efisiensi sistem fotovoltaik hingga 67,65% dibandingkan dengan sistem panel tetap [9]. Selain itu, studi lainnya juga mengindikasikan bahwa sistem pelacakan dua sumbu mampu meningkatkan efisiensi energi hingga 31,8% dibandingkan dengan sistem tetap [10].

Solar tracker sendiri memiliki beberapa metode yaitu metode astronomi yaitu menurut [11], *solar tracker* bekerja berdasarkan pada posisi matahari sesuai penanggalan bulan. Metode astronomi sangat cocok digunakan di daerah dengan kondisi cuaca yang relatif stabil dan cerah, yaitu presisi dan efisiensi tinggi dalam pelacakan matahari dapat dicapai. Namun, sistem ini memiliki kelemahan signifikan dalam hal adaptasi terhadap perubahan cuaca mendadak dan ketergantungan pada kalibrasi yang akurat. Dalam kondisi yang tidak stabil, metode ini mungkin tidak seefisien metode lain yang berbasis sensor atau yang lebih adaptif terhadap lingkungan [12].

Metode lain yang digunakan adalah metode *umbrella* yaitu metode yang mengibaratkan orang yang sedang memakai payung untuk menghindar dari panas matahari. Dan panel surya diibaratkan sebagai payungnya [13]. Optimalisasi *solar tracker* pada PLTS juga dapat dilakukan menggunakan *machine learning* [6], [14], [15].

Pada penelitian ini *solar tracker* akan menggunakan metode yang memanfaatkan tegangan *output* yang keluar dari panel surya atau disebut juga metode optimum tegangan. Optimasi tegangan sangat krusial dalam sistem PLTS karena tegangan yang dihasilkan oleh panel surya dipengaruhi secara langsung oleh intensitas cahaya matahari yang diterima. Dengan mengoptimalkan tegangan, kita dapat memastikan panel surya bekerja pada titik daya maksimum (*maximum power point*). Jika panel tidak beroperasi pada MPP (*maximum power point*), efisiensi konversi energi akan menurun, yang pada gilirannya dapat mengurangi kinerja sistem secara keseluruhan. Adapun istilah lainnya yaitu menggunakan metode statik *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) untuk menjaga titik kerja panel surya tetap pada MPP. Metode yang akan diiplementasikan termasuk ke dalam jenis metode *voltage-based tracking*. Metode ini merupakan pilihan yang sederhana dan efisien untuk aplikasi PV mandiri kecil karena kelebihannya dalam biaya dan implementasi. Metode yang akan diterapkan cocok untuk aplikasi yang lebih sederhana, yaitu biaya dan kemudahan implementasi menjadi faktor utama. Implementasi MPPT berbasis tegangan dapat meningkatkan efisiensi dalam sistem PV kecil namun tetap memberikan ruang untuk pengembangan lebih lanjut dalam meningkatkan presisi dan responsivitas metode tersebut. [16]. Metode ini bertujuan agar panel surya bekerja dengan efisiensi maksimum dan keluarannya optimal [17].

2. Metodologi

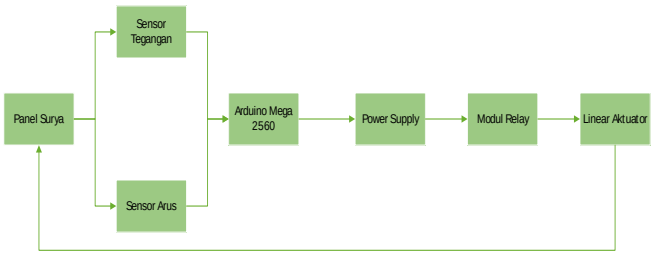
Metode Optimum Voltage pada *solar tracker* adalah sebuah

*Korespondensi: kumalamahda@pnm.ac.id
a) Prodi Teknik Listrik, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Madiun, Madiun, Indonesia

pendekatan yang digunakan untuk meningkatkan kinerja panel PV dengan menyesuaikan posisi panel sehingga selalu beroperasi pada titik daya maksimum. Metode ini berfungsi mengoptimalkan kinerja panel surya dengan menyesuaikan posisi panel agar selalu menghadap matahari pada sudut yang paling optimal. Tegangan yang dihasilkan oleh panel surya diukur secara kontinyu menggunakan sensor tegangan. Pengukuran tegangan yang dihasilkan digunakan untuk menyesuaikan posisi panel secara dinamis sehingga dapat memaksimalkan penyerapan energi matahari. Sistem akan menggerakkan panel secara otomatis dengan aktuator linear yang dikendalikan oleh mikrokontroler arduino mega 2560 berdasarkan data tegangan yang diperoleh. Sistem ini memastikan panel beroperasi pada titik daya maksimum (MPP) tanpa memerlukan perhitungan arus atau algoritma MPPT yang lebih kompleks, dengan tujuan menghasilkan energi listrik paling efisien. Sistem ini sering diterapkan dalam aplikasi *solar tracking* yang lebih sederhana dan efisien, terutama pada sistem fotovoltaik mandiri dengan biaya rendah.

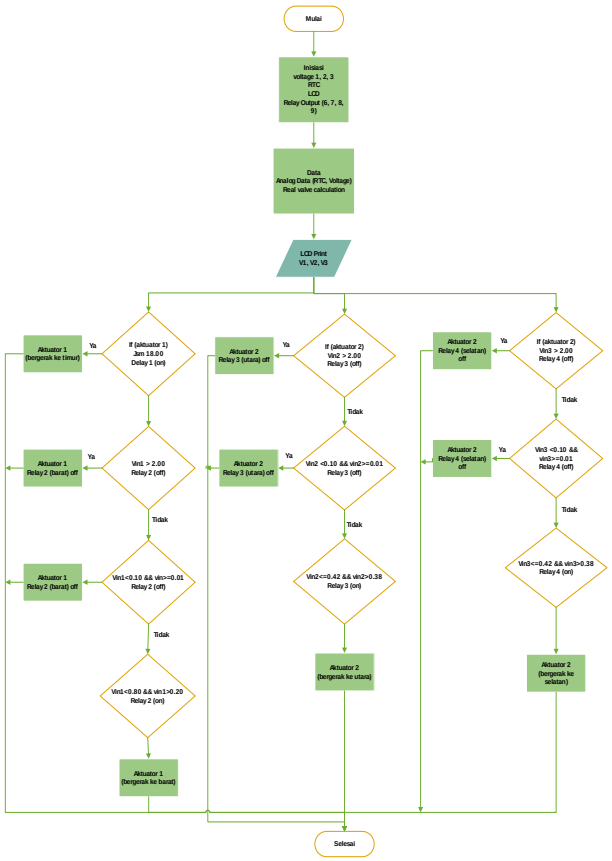
Solar tracking system ini dibuat dengan metode rancang bangun, identifikasi kebutuhan yang diperlukan sistem, pengujian data dan pembuatan *solar tracking system*. Blok diagram alur *solar tracking system* dibuat seperti Gambar 2.1.

Gambar 2.1 memperlihatkan proses kerja sistem ketika panel surya menerima radiasi cahaya matahari dan mengubahnya menjadi tegangan listrik keluaran. Tegangan keluaran ini kemudian diukur secara *real-time* menggunakan sensor tegangan yang terintegrasi dalam rangkaian. Data tegangan yang diperoleh dari sensor selanjutnya dikirim ke mikrokontroler Arduino untuk diproses sesuai dengan nilai ambang (set point) yang telah ditentukan sebelumnya. Berdasarkan hasil pemrosesan tersebut, Arduino mengirimkan sinyal kendali berupa perintah untuk mengaktifkan relay yang kemudian menerima sumber daya listrik dari catu daya utama dan mengoperasikan aktuator linear dengan menghubungkan atau memutuskan arus listrik. Dengan demikian, aktuator linear bergerak mengatur posisi panel surya agar optimal dalam menerima cahaya matahari.



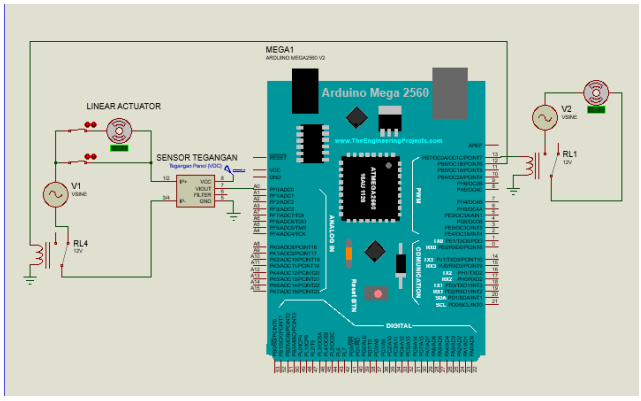
GAMBAR 2.1 BLOK DIAGRAM *SOLAR TRACKING SYSTEM*

Program pada mikrokontroler Arduino dirancang dengan berbagai kondisi logika untuk mengatur pergerakan aktuator berdasarkan nilai tegangan keluaran yang diterima. Pada sistem ini, apabila tegangan keluaran pada input V1 berada dalam rentang antara 0,20 V hingga kurang dari 0,80 V, maka Arduino akan mengirimkan sinyal kendali untuk menggerakkan aktuator pertama menuju arah barat. Nilai tegangan tersebut telah dikonversi sesuai dengan rentang input analog Arduino, yang memiliki tegangan referensi maksimum sebesar 5 V. Karena sistem menggunakan konfigurasi *dual-axis tracker*, terdapat empat kemungkinan arah pergerakan panel surya, yaitu barat–timur untuk aktuator pertama dan utara–selatan untuk aktuator kedua. Logika pengambilan keputusan ini diimplementasikan secara berurutan dalam program, sehingga penggerakan panel dapat dilakukan secara simultan dan presisi pada kedua sumbu. Diagram alir program kontrol Arduino yang menggambarkan keseluruhan proses logika kendali ini dapat dilihat secara rinci pada Gambar 2.2.



GAMBAR 2.2 FLOWCHART PROGRAM ARDUINO

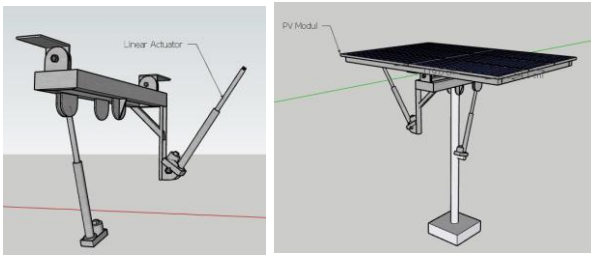
Sistem pelacakan matahari dirancang menggunakan dua aktuator linear berupa motor DC yang berfungsi sebagai mekanisme penggerak untuk mengatur posisi panel surya. Konfigurasi dengan dua aktuator linear ini mengimplementasikan sistem pelacakan dua sumbu *(dual-axis tracking system)*, yang memungkinkan penyesuaian orientasi panel secara simultan pada dua arah berbeda guna mengikuti pergerakan matahari secara lebih presisi. Selain itu, dalam rangkaian kontrol sistem pelacakan ini juga dilengkapi dengan komponen modul relay elektronik 4 channel 5V yang berperan sebagai saklar pengendali. Relay ini berfungsi untuk menerima sinyal perintah dari unit kontrol dan kemudian mengaktifkan atau mematikan aktuator linear sesuai dengan kebutuhan penyesuaian sudut panel. Sehingga sistem dapat bergerak secara otomatis dan optimal dalam mengikuti posisi matahari sepanjang hari. Selain itu, pada rangkaian kontrol sistem juga terdapat sensor tegangan ZMPT VDC, sensor arus ACS712 dan modul RTC DS3231. Rangkaian *solar tracking system* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



GAMBAR 2.3. RANGKAIAN SOLAR TRACKING SYSTEM

3. Hasil dan Pembahasan

Proses perancangan dan pembangunan *solar tracking system* dimulai dengan tahap perancangan kerangka mekanis *solar tracker*. Pada tahap ini, dilakukan desain struktur fisik yang mampu menopang panel surya sekaligus mendukung pergerakan dinamis yang dikendalikan oleh aktuator. Linear aktuator yang digunakan berupa motor DC yang berfungsi untuk menggerakkan panel surya mengikuti posisi matahari. Rangka tersebut dirancang sedemikian rupa agar memiliki kekuatan, kestabilan, dan presisi gerak yang optimal dalam menghadapi berbagai kondisi lingkungan, sehingga dapat memastikan panel surya selalu berada pada posisi yang ideal untuk menangkap radiasi matahari secara maksimal sepanjang hari. Gambar 3.1 menunjukkan desain rangka *solar tracking*.



GAMBAR 3.1. DESAIN RANGKA SOLAR TRACKING

Dalam proses pembuatan rangkaian sistem pelacakan matahari, digunakan kotak panel dengan dimensi 30 x 25 x 12 cm sebagai wadah pelindung utama. Kotak ini berfungsi untuk melindungi komponen elektronik dan mekanik sistem solar tracking dari pengaruh cuaca ekstrem, seperti hujan, debu, dan suhu yang tinggi, sehingga memastikan kestabilan operasi dan memperpanjang umur perangkat selama masa penggunaan di lingkungan luar ruangan yang dapat dilihat pada Gambar 3.2.

Pada rangkaian kontrol sistem terdapat beberapa komponen penting, di antaranya sensor tegangan ZMPT VDC, sensor arus ACS712 dan modul RTC DS3231. Sensor tegangan ZMPT VDC digunakan untuk mengukur tegangan keluaran panel surya pada sistem *solar tracker*, memastikan panel beroperasi pada titik daya maksimum. Data tegangan ini digunakan untuk mengatur posisi panel secara otomatis agar selalu menghadap matahari, meningkatkan efisiensi sistem PLTS. Sensor arus ACS712 digunakan untuk mengukur arus yang mengalir dalam rangkaian panel surya pada sistem *solar tracker*. Data arus ini berguna untuk memantau kinerja panel, memastikan arus yang dihasilkan sesuai dengan yang diharapkan, dan mencegah kerusakan akibat arus berlebih pada sistem PLTS. Sedangkan modul RTC DS3231 digunakan untuk memberikan informasi waktu yang akurat pada sistem kontrol *solar tracker* PLTS. Dengan waktu yang tepat, sistem dapat mengatur jadwal atau waktu tertentu untuk mengubah posisi panel surya, seperti pada saat matahari terbit dan terbenam, untuk memastikan panel beroperasi secara optimal sepanjang hari

GAMBAR 3.2 RANGKAIAN SOLAR TRACKING SYSTEM DALAM KOTAK PANEL

Sebagai langkah awal dalam penelitian ini, dilakukan pengambilan data tegangan keluaran dari panel PV tanpa menggunakan sistem pelacakan matahari untuk memperoleh parameter dasar sebagai pembanding. Pengukuran tegangan dilakukan secara kontinu dalam satu hari selama tujuh jam dimulai pukul 09.00 hingga pukul 16.00. Pengambilan data tegangan keluaran ini menggunakan sensor tegangan presisi yang terhubung ke sistem pencatat data. Data yang diperoleh mencerminkan variasi tegangan keluaran akibat perubahan posisi matahari sepanjang hari serta pengaruh faktor lingkungan seperti intensitas radiasi dan suhu sekitar. Parameter ini sangat penting untuk mengidentifikasi performa dasar panel PV dalam kondisi statis sebelum penerapan sistem solar tracking, sehingga dapat dianalisis peningkatan efisiensi dan output energi setelah *tracking system* diaplikasikan. Dengan demikian, pengambilan data ini menjadi tolok ukur validitas dan efektivitas implementasi solar tracking dalam meningkatkan produksi energi listrik.

Data yang tercatat dalam Tabel 3.1. menunjukkan pengaruh langsung kondisi cuaca terhadap tegangan keluaran sistem panel surya sepanjang hari. Pada kondisi cuaca cerah berawan antara pukul 10:00 hingga 13:00, tegangan yang tercatat pada tiga titik pengukuran (V1, V2, V3) relatif stabil dan cukup tinggi, mencapai nilai tertinggi pada pukul 12:00, yang mencerminkan efisiensi maksimal panel surya dalam kondisi cuaca tersebut. Namun, saat cuaca mulai sedikit mendung pada pukul 14:00, tegangan mulai menurun, dengan penurunan lebih signifikan terjadi pada pukul 15:00 dan 16:00 ketika cuaca mendung. Tegangan pada titik V2 dan V3 lebih rendah dibandingkan dengan V1 pada saat cuaca mendung, meskipun perbedaan antara ketiga titik pengukuran tidak terlalu signifikan. Secara keseluruhan, data ini menunjukkan bahwa intensitas cahaya matahari yang lebih tinggi pada cuaca cerah berawan mendukung panel surya untuk menghasilkan daya yang lebih optimal, sementara kondisi mendung mengurangi efisiensinya. Pada data ini menggambarkan karakteristik keluaran tegangan PV dalam kondisi statis tanpa sistem pelacakan matahari, dengan fluktuasi yang dipengaruhi oleh posisi matahari dan faktor lingkungan selama rentang waktu tersebut

TABEL 3.1. DATA TEGANGAN KELUARAN PV TANPA TRACKING

No	Jam	Tegangan Keluaran (V)			Kondisi Cuaca
		V1	V2	V3	
1.	09.00	20	20.1	20.1	Berawan
2.	10.00	19.8	19.5	19.5	Cerah Berawan
3.	11.00	20.44	20.07	20.07	Cerah Berawan
4.	12.00	20.46	20.2	20.25	Cerah Berawan
5.	13.00	20.21	20	19.98	Cerah Berawan
6.	14.00	19.98	19.81	19.9	Sedikit Mendung
7.	15.00	20.5	20.2	20	Mendung
8.	16.00	19.7	19.1	19.2	Mendung

Metode Tegangan Optimum berfungsi dengan cara mengukur tegangan yang dihasilkan oleh panel surya secara kontinu sepanjang hari. Data tegangan ini digunakan untuk menentukan posisi panel terkait dengan matahari. Ketika panel menghadap matahari pada sudut yang ideal, tegangan yang dihasilkan mencapai titik maksimum. Algoritma memproses pembacaan tegangan melalui mikrokontroler arduino mega 2560 yang mengatur posisi panel menggunakan aktuator. Jika tegangan keluarannya turun dari nilai maksimum, algoritma akan secara otomatis menyesuaikan posisi panel agar tetap beroperasi pada titik daya maksimum (MPP), sehingga meningkatkan efisiensi konversi energi.

Sistem ini beroperasi dalam ambang batas tegangan tertentu untuk mengoptimalkan posisi panel. Nilai ambang batas diprogram sebelumnya ke dalam sistem, tempat mikrokontroler menerima data tegangan dari panel surya. Ketika tegangan berada dalam rentang yang ditetapkan (misalnya, antara 0,20 V dan 0,80 V), sistem mengirimkan sinyal kontrol ke aktuator untuk menyesuaikan posisi panel. Mekanisme ambang batas ini memastikan bahwa panel hanya bergerak saat diperlukan untuk mencapai tegangan optimal dan, akibatnya, keluaran daya terbaik. Dengan demikian, orientasi panel disesuaikan secara dinamis untuk mempertahankan keluaran daya maksimum pada siang hari. Mekanisme ini memungkinkan sistem melacak posisi matahari secara efisien dan mempertahankan kinerja panel yang optimal sepanjang hari tanpa memerlukan perhitungan yang rumit atau sensor tambahan.

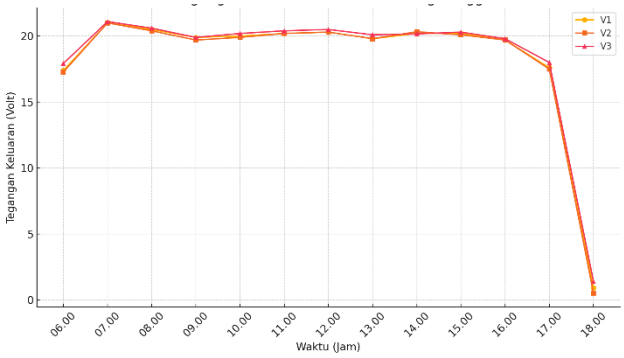
3.1 Pengujian Tegangan Keluaran pada *Solar Tracking System*

Data tegangan keluaran panel PV pada Tabel 3.2 dan Gambar 3.3 yang diukur mulai pukul 06.00 hingga 18.00 menunjukkan pola kenaikan dan penurunan. Hal ini menggambarkan variasi intensitas radiasi matahari sepanjang hari. Pada pagi hari pukul 06.00, tegangan tercatat relatif rendah di kisaran 17,27 hingga 17,92 volt, kemudian mengalami peningkatan signifikan hingga mencapai puncaknya pada pukul 07.00 dengan nilai sekitar 21 volt pada ketiga pengukuran (V1, V2, V3). Setelah itu, tegangan sedikit menurun dan tetap relatif stabil di kisaran 19,7 hingga 20,6 volt antara pukul 08.00 sampai pukul 16.00, dengan fluktuasi kecil yang mencerminkan perubahan posisi matahari dan kondisi lingkungan. Pada pukul 17.00, tegangan mulai menurun ke kisaran 17,5 hingga 18 volt, dan pada pukul 18.00 tegangan turun drastis hingga mendekati nol (0,5 sampai 1,4 volt) yang menandakan berakhirnya paparan sinar matahari yang efektif pada panel. Rata-rata tegangan keluaran selama periode pengukuran ini berada di kisaran 18,21 hingga 18,49 volt, menggambarkan performa dasar panel PV dalam kondisi tanpa sistem pelacakan.

Tabel 3.2 menampilkan pengujian tegangan keluaran saat menggunakan *solar tracking system*.

TABEL 3.2. DATA TEGANGAN KELUARAN

No	Jam	Tegangan Keluaran (V)		
		V1	V2	V3
1.	06.00	17,39	17,27	17,92
2.	07.00	21	21	21,1
3.	08.00	20,5	20,4	20,6
4.	09.00	19,9	19,7	19,9
5.	10.00	20	19,9	20,2
6.	11.00	20,2	20,2	20,4
7.	12.00	20,3	20,3	20,5
8.	13.00	19,8	19,8	20,1
9.	14.00	20,2	20,33	20,17
10.	15.00	20,2	20,1	20,3
11.	16.00	19,7	19,7	19,8
12.	17.00	17,6	17,5	18
13.	18.00	0,9	0,5	1,4
Rata-rata		18.28	18.21	18.49



GAMBAR 3.3. GRAFIK TEGANGAN KELUARAN

3.2 Pengujian Sensor Cahaya BH1750

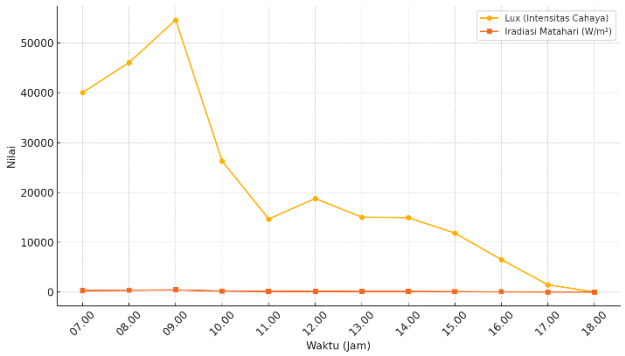
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besaran iradiasi matahari terhadap bumi. Sensor BH1750 diapsang pada bagian panel agar dapat diektahui iradiasi yang diterima oleh panel surya. Pengujian ini dilakukan selama kurang lebih sepuluh jam dalam kondisi matahari masih bersinar.

Data pengukuran intensitas cahaya (lux) dan iradiasi matahari (W/m²) pada Tabel 3.3 dari pukul 07.00 hingga 18.00 menunjukkan pola perubahan yang konsisten dengan posisi matahari. Nilai lux dan iradiasi meningkat dari pagi hingga puncaknya pada pukul 09.00 dengan nilai 54.612,5 lux dan 431,44 W/m², kemudian menurun secara bertahap hingga mencapai nol pada pukul 18.00. Rata-rata nilai lux dan iradiasi selama periode pengukuran masing-masing adalah 20.851,67 lux dan 164,73 W/m². Grafik pada Gambar 3.4 memperjelas fluktuasi ini. Pada grafik memberikan gambaran karakteristik pencahayaan dan potensi energi matahari di lokasi penelitian. Hasil ini penting sebagai dasar evaluasi performa sistem fotovoltaik sebelum dan sesudah pemasangan solar tracking.

TABEL 3.3. DATA IRADIASI TEGANGAN

No	Jam	Lux	Iradiasi Matahari (W/m²)
1.	07.00	40027,5	316,22

No	Jam	Lux	Iradiasi Matahari (W/m²)
2.	08.00	46056,66	363,85
3.	09.00	54612,5	431,44
4.	10.00	26270	207,53
5.	11.00	14665	115,85
6.	12.00	18769,17	148,28
7.	13.00	15045	118,86
8.	14.00	14925	117,91
9.	15.00	11850,83	93,62
10.	16.00	6514,17	51,46
11.	17.00	1484,17	11,72
12.	18.00	0	0
Rata-rata		20.851,67	164,73



GAMBAR 3.4 GRAFIK INTENSITAS CAHAYA DAN IRADIASI MATAHARI

Data tegangan keluaran PV, intensitas cahaya, dan iradiasi matahari menunjukkan bahwa produksi energi panel sangat bergantung pada radiasi matahari yang berubah sepanjang hari. Tegangan dan iradiasi tertinggi terjadi pada pagi hingga menjelang siang, lalu menurun hingga sore hari. Hasil ini menjadi dasar penting untuk membandingkan peningkatan efisiensi setelah penerapan sistem solar tracking pada penelitian berikutnya

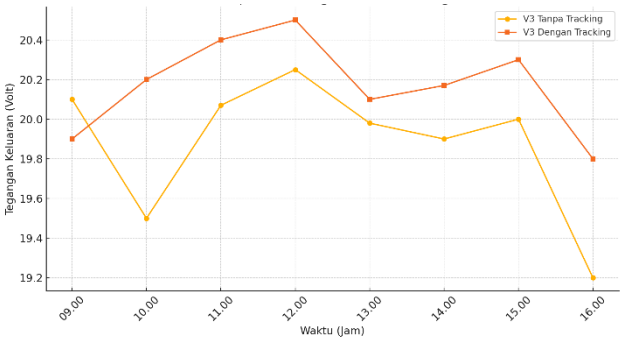
3.3 Perbandingan Data Pengujian

Data hasil pengujian yang diperoleh sebelum penerapan sistem *solar tracking*, maupun data yang dikumpulkan setelah sistem tersebut dioperasikan, akan dianalisis secara komprehensif sebagai bahan perbandingan. Tujuan dari perbandingan ini adalah untuk mengukur dan mengevaluasi sejauh mana pengaruh penggunaan sistem *solar tracking* dalam meningkatkan kinerja dan efisiensi panel surya. Dengan demikian, penelitian ini dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai efektivitas sistem pelacakan matahari dalam optimalisasi produksi energi listrik. Berikut data perbandingan ditunjukkan pada Tabel 3.4.

TABEL 3.4. PERBANDINGAN TEGANGAN V3

No	Jam	V3 (tanpa *tracking*)	V3 (dengan *tracking*)
1.	09.00	20,1	19,9
2.	10.00	19,5	20,2
3.	11.00	20,07	20,4
4.	12.00	20,25	20,5
5.	13.00	19,98	20,1
6.	14.00	19,9	20,17
7.	15.00	20	20,3
8.	16.00	19,2	19,8

Gambar 3.5 merupakan grafik perbandingan tegangan V3 yang memberikan gambaran karakteristik pencahayaan dan potensi energi matahari di lokasi penelitian. Grafik di bawah memperlihatkan perbandingan tegangan keluaran dari panel surya V3 pada dua kondisi: dengan dan tanpa sistem pelacakan matahari (solar *tracking*) sepanjang satu hari (dari pukul 09.00 hingga 16.00). Kurva berwarna oranye (V3 Dengan *Tracking*) menggambarkan tegangan yang dihasilkan oleh panel surya yang dilengkapi dengan sistem pelacakan matahari.



GAMBAR 3.5 GRAFIK PERBANDINGAN TEGANGAN V3

Berikut analisa kuantitatif dan grafik perbandingan tegangan keluaran V3 pada panel PV dengan dan tanpa sistem *solar tracking*.

- Dari data yang diperoleh, rata-rata peningkatan tegangan keluaran saat menggunakan sistem *solar tracking* adalah sekitar 1,51% dibandingkan kondisi tanpa *tracking*.
- Grafik menunjukkan bahwa tegangan keluaran pada kondisi dengan *tracking* umumnya lebih tinggi daripada tanpa *tracking* mulai pukul 10.00 hingga 16.00, yang mengindikasikan performa panel yang lebih optimal saat panel mengikuti posisi matahari.
- Meski pada pukul 09.00 tegangan tanpa *tracking* sedikit lebih tinggi, secara keseluruhan penggunaan *solar tracking* memberikan keuntungan yang konsisten dan nyata dalam meningkatkan output tegangan panel

Analisa ini menegaskan bahwa penerapan sistem *solar tracking* efektif dalam meningkatkan efisiensi penyerapan energi matahari oleh panel fotovoltaik, sehingga berpotensi meningkatkan produksi listrik secara keseluruhan.

4. Kesimpulan

Implementasi *Solar Tracking System* pada panel surya dengan metode Optimum Tegangan menggunakan mikrokontroler Arduino Mega 2560 terbukti efektif dalam meningkatkan performa panel fotovoltaik. Data hasil pengukuran tegangan keluaran menunjukkan peningkatan rata-rata sebesar 1,51% pada kondisi dengan sistem tracking dibandingkan tanpa *tracking*. Mikrokontroler Arduino Mega 2560 berperan penting dalam memproses data tegangan keluaran secara real-time dan mengendalikan aktuator linear untuk mengoptimalkan posisi panel sesuai intensitas radiasi matahari. Metode Optimum Tegangan memungkinkan sistem untuk menyesuaikan sudut panel secara dinamis berdasarkan nilai tegangan maksimum yang diterima, sehingga memaksimalkan penyerapan energi matahari sepanjang hari. Analisis iradiasi matahari dan intensitas cahaya juga mendukung efektivitas sistem ini dalam memanfaatkan perubahan kondisi lingkungan secara optimal. Secara keseluruhan, penggunaan mikrokontroler Arduino Mega 2560 dalam *sistem solar*

tracking ini memberikan solusi teknis yang handal dan efisien untuk meningkatkan efisiensi energi pada panel surya. Pengembangan sistem *solar tracker* dapat dilakukan dengan mengintegrasikan algoritma MPPT berbasis pengukuran teganagn dan arus, serta menambahkan sensor cuaca untuk mengoptimalkan posisi panel secara adaptif. Selain itu, penerapan sistem prediksi cuaca berbasis data historis dapat membantu meningkatkan respons sistem terhadap perubahan kondisi lingkungan.

Referensi

[1] J. Sullivan and A. Witayangkurn, "Automatic Estimation of Solar Rooftops and Power Generation from Publicly Available Satellite Imagery through Georeferencing and Large-scale Support," *IEEE Access*. 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3535817.

[2] P. Rahdan, E. Zeyen, and M. Victoria, "Strategic deployment of solar photovoltaics for achieving self-sufficiency in Europe throughout the energy transition," 2024, [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/2410.19440.

[3] O. Bamisile, C. Acen, D. Cai, Q. Huang, and I. Staffell, "The environmental factors affecting solar photovoltaic output," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 208, no. October 2024, p. 115073, 2025, doi: 10.1016/j.rser.2024.115073.

[4] "ENVIRONMENTAL FACTORS AND THE PERFORMANCE OF PV," vol. 6, no. 3, pp. 231–247, 2023, doi: 10.52589/AJENSR-GA3SMDHP.

[5] P. Harcourt, "The Effect of Cloud on the Output Performance of a Solar Module The Effect of Cloud on the Output Performance of a Solar Module," no. February, 2023.

[6] "Optimasi Solar Tracking System pada PLTS di Lahan Pertanian Menggunakan Polynomial Regression.pdf." .

[7] S. A. Kalogirou, "Solar Energy Engineering: Processes and Systems," *Sol. Energy Eng. Process. Syst.*, no. January 2009, pp. 1–885, 2023, doi: 10.1016/C2021-0-02041-1.

[8] S. Dubey, J. N. Sarvaiya, and B. Seshadri, "Temperature dependent photovoltaic (PV) efficiency and its effect on PV production in the world - A review," *Energy Procedia*, vol. 33, pp. 311–321, 2013, doi: 10.1016/j.egypro.2013.05.072.

[9] N. Kuttybay *et al.*, "Assessment of solar tracking systems: A comprehensive review," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 68, p. 103879, 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.seta.2024.103879.

[10] J. M. Barrios-Sánchez and E. I. Tlapanco-Ríos, "Dual-Axis Solar Tracking System for Enhanced Photovoltaic Efficiency in Tropical Climates," *Sustain.*, vol. 17, no. 3, 2025, doi: 10.3390/su17031117.

[11] Y. Prasetyo, B. Triyono, and H. Kusbandono, "Dual Axis *Solar tracker* Using Astronomic Method Based Smart Relay," *JAREE (Journal Adv. Res. Electr. Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 28–33, 2021, doi: 10.12962/jaree.v5i1.156.

[12] R. Sadeghi, M. Parenti, S. Memme, M. Fossa, and S. Morchio, "A Review and Comparative Analysis of Solar Tracking Systems," *Energies*, vol. 18, no. 10, 2025, doi: 10.3390/en18102553.

[13] Y. Prasetyo, B. Triyono, and A. Choirul Arifin, "Optimalisasi Daya Output Dual Axis *Solar tracker* Dengan Metode Umbrella System," *J. Geuthèë Penelit. Multidisiplin*, vol. 02, no. 02, pp. 267–274, 2019, doi: 10.13140/RG.2.2.14020.86401.

[14] Z. Wang, D. Yu, and Z. Wu, "Real-time machine-learning-based optimization using Input Convex Long Short-Term Memory network," *Appl. Energy*, vol. 377, 2025, doi: 10.1016/j.apenergy.2024.124472.

[15] J. V. Santos de Araújo *et al.*, "Solar Tracking Control Algorithm Based on Artificial Intelligence Applied to Large-Scale Bifacial Photovoltaic Power Plants.," *Sensors (Basel).*, vol. 24, no. 12, Jun. 2024, doi: 10.3390/s24123890.

[16] V. Kumar, S. Ghosh, N. K. S. Naidu, S. Kamal, R. K. Saket, and S. K. Nagar, "Load voltage-based MPPT technique for standalone PV systems using adaptive step," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 128, p. 106732, 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.106732.

[17] A. N. Hidayanti, P. Handayani, and I. Chandra, "Pemanfaatan Metode Single Axis Tracker dan Maximum Power Point Tracker (MPPT) PID untuk Mengoptimalkan Daya Keluaran Panel Surya," *Pros. Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, pp. 149–154, 2019.