



PERANCANGAN PANEL SURYA DENGAN SISTEM SOLAR TRACKING

Muhammad Fajar Ainur Rosyid, Adji Rahma Pramono, Gilang Anton Arifandi, Muhammad Hisba Hanifan, Bagas Januarta, Echa Nurul Nikmah, Moh. Raka B.A
Universitas Trunojoyo Madura

Email: 230431100034@student.trunojoyo.ac.id, 230431100034@student.trunojoyo.ac.id,
230431100034@student.trunojoyo.ac.id, 230431100034@student.trunojoyo.ac.id,
230431100034@student.trunojoyo.ac.id,
230431100034@student.trunojoyo.ac.id

ABSTRAK

Kebutuhan energi listrik di Indonesia terus mengalami peningkatan seiring dengan pertumbuhan populasi dan aktivitas masyarakat. Salah satu alternatif energi terbarukan yang potensial adalah energi surya. Namun, sebagian besar panel surya yang digunakan masih bersifat statis, sehingga penerimaan sinar matahari kurang optimal dan berdampak pada rendahnya efisiensi konversi energi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem panel surya yang dilengkapi dengan mekanisme pelacak matahari (solar tracking system) berbasis mikrokontroler Arduino Uno guna mengoptimalkan penyerapan energi matahari. Penelitian dilakukan menggunakan pendekatan studi literatur dan eksperimen kuantitatif, dengan menggunakan panel surya berkapasitas 20 WP di laboratorium pendingin gedung A7.02.15. Hasil pengujian menunjukkan bahwa panel surya tanpa sistem pelacak memiliki efisiensi rata-rata sebesar 5,1%, sedangkan panel surya dengan sistem pelacak mengalami peningkatan efisiensi menjadi 5,6%. Temuan ini menunjukkan bahwa penggunaan sistem pelacak matahari mampu meningkatkan efisiensi kinerja panel surya meskipun diperlukan pertimbangan biaya dalam implementasinya. Perancangan sistem ini diharapkan dapat menjadi solusi inovatif dalam optimalisasi pemanfaatan energi surya di sektor perumahan.

Kata Kunci : Panel surya, Solar tracking system, Energi terbarukan, Efisiensi energi, ESP 32

ABSTRACT

The demand for electrical energy in Indonesia continues to rise alongside population growth and societal activities. One potential renewable energy alternative is solar energy. However, most solar panels currently in use remain static, resulting in suboptimal sunlight absorption and low energy conversion efficiency. This study aims to design a solar panel system equipped with an Arduino Uno microcontroller-based solar tracking mechanism to optimize solar energy absorption.

Article History

Received: Juni 2025

Reviewed: Juni 2025

Published: Juni 2025

Plagirism Checker No
234

Prefix DOI : Prefix DOI :
10.8734/Kohesi.v1i2.365

Copyright : Author

Publish by : Kohesi



This work is licensed
under a [Creative Commons
Attribution-NonCommercial
4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



The research employs a literature review and quantitative experimental approach, using a 20 WP solar panel in the cooling laboratory of Building A7.02.15. Test results indicate that static solar panels have an average efficiency of 5.1%, while panels with the tracking system show increased efficiency to 5.6%. These findings demonstrate that the solar tracking system can enhance solar panel performance, though cost considerations remain a factor in its implementation.

This system design is expected to serve as an innovative solution for optimizing solar energy utilization in the residential sector.

Keywords: *Solar panel, Solar tracking system, Renewable energy, Energy efficiency, ESP 32*

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik di Indonesia mengalami peningkatan signifikan setiap tahunnya, seiring dengan pertumbuhan penduduk, industrialisasi, serta perkembangan teknologi. Ketergantungan terhadap sumber energi fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam menimbulkan berbagai permasalahan, baik dari segi keberlanjutan sumber daya maupun dampak lingkungan. Oleh karena itu, pemanfaatan sumber energi terbarukan menjadi suatu keharusan, salah satunya adalah energi surya yang bersifat bersih, berlimpah, dan ramah lingkungan.

Panel surya merupakan perangkat yang digunakan untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik melalui proses fotovoltaiik. Namun, dalam praktiknya, sistem panel surya konvensional masih memiliki keterbatasan, khususnya pada sisi efisiensi penyerapan energi. Panel yang bersifat statis hanya dapat menyerap energi matahari secara optimal pada waktu-waktu tertentu, karena sudut datang sinar matahari terus berubah sepanjang hari. Hal ini menyebabkan penurunan potensi energi yang dapat dikonversi.

Untuk meningkatkan efisiensi tersebut, dikembangkanlah sistem solar tracking, yaitu mekanisme yang memungkinkan panel surya untuk bergerak mengikuti arah pergerakan matahari dari timur ke barat. Dengan demikian, sudut datang sinar matahari terhadap permukaan panel tetap optimal sepanjang hari. Selain itu, sistem hybrid pada panel surya—yakni kombinasi dari energi surya dengan sumber energi alternatif lain seperti baterai atau sumber listrik PLN—menjadi solusi efektif untuk menjaga kontinuitas suplai energi, khususnya saat intensitas cahaya matahari rendah atau pada malam hari.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem panel surya hybrid yang dilengkapi dengan solar tracking berbasis mikrokontroler ESP 32. Sistem ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi penyerapan energi dan memastikan keberlangsungan suplai daya listrik. Penelitian dilakukan melalui studi literatur, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, serta pengujian eksperimental guna mengevaluasi kinerja sistem. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi energi terbarukan yang efisien, ekonomis, dan aplikatif, khususnya dalam skala rumah tangga atau perumahan.

Dengan melihat permasalahan dan potensi yang telah dipaparkan, maka penelitian ini diarahkan untuk merancang sebuah sistem panel surya dinamis berbasis ESP32. Penelitian ini mengadopsi struktur penulisan dari jurnal Erfandy et al. (2023) yang mengkaji penggunaan panel surya off-grid untuk alat pengusir hama tikus. Namun, dalam laporan ini, sistem yang dikembangkan difokuskan pada optimalisasi penyerapan energi menggunakan sistem pelacak matahari berbasis ESP32, sehingga menghasilkan pendekatan yang berbeda baik dari sisi teknis maupun implementasi sistem yang mampu mengikuti arah datangnya sinar matahari secara otomatis menggunakan sensor LDR dan motor servo. Perancangan ini juga mengintegrasikan



komponen seperti baterai 18650 sebagai penyimpan energi, modul LM2596 sebagai pengatur tegangan, dan sensor tegangan sebagai monitoring, serta LCD I2C sebagai antarmuka tampilan. Sistem ini diharapkan dapat menjadi solusi aplikatif dalam pemanfaatan energi surya yang lebih efisien, khususnya untuk kebutuhan energi mandiri pada skala rumah tangga.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang sangat potensial untuk dikembangkan di Indonesia, mengingat posisi geografisnya yang berada di garis khatulistiwa dengan intensitas matahari yang tinggi sepanjang tahun. Namun, penggunaan panel surya secara umum masih bersifat statis, sehingga tidak mampu mengikuti pergerakan matahari secara dinamis dan mengakibatkan efisiensi penyerapan energi yang rendah.

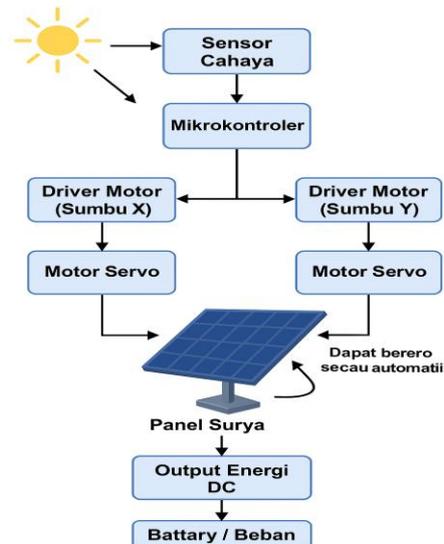
Penelitian oleh Muhammad Asri dan Serwin (2019) menunjukkan bahwa penggunaan sistem solar tracking berbasis Arduino Uno dan sensor LDR mampu meningkatkan output daya panel surya secara signifikan dibandingkan sistem statis. Sistem ini bekerja dengan mendeteksi arah datangnya cahaya matahari menggunakan lima sensor LDR dan mengatur pergerakan panel melalui dua motor servo agar selalu berada pada posisi optimal terhadap matahari

Dalam penelitian Mohamad et al. (2021), sistem tracking dua sumbu yang dirancang dengan empat sensor LDR dan dua motor servo menghasilkan peningkatan efisiensi daya yang jelas dibandingkan dengan panel statis. Penelitian ini memperkuat bahwa pergerakan dinamis panel mengikuti intensitas cahaya yang tertinggi sepanjang hari mampu meningkatkan performa panel surya dalam berbagai kondisi cahaya

Sementara itu, Chaerul Jalaludin dan Triyanto Pangaribowo (2021) mengembangkan sistem solar tracking berbasis Internet of Things (IoT), yang memungkinkan pemantauan data tegangan, arus, dan posisi panel secara real-time melalui perangkat Android. Penambahan lensa Fresnel pada sistem tracking juga menunjukkan peningkatan daya sebesar 14% dibandingkan tanpa lensa, dan peningkatan hingga 27,4% dibandingkan sistem statis, menegaskan potensi besar optimalisasi melalui desain sistem yang lebih kompleks dan terintegrasi

Penelitian oleh Andriyas Ardiansyah dkk. (2023) membandingkan efisiensi panel surya 20 WP dengan dan tanpa sistem tracking. Hasilnya menunjukkan peningkatan efisiensi dari 5,1% pada sistem statis menjadi 5,6% pada sistem dengan tracking. Meski peningkatannya tergolong kecil, hasil ini tetap memperlihatkan bahwa penggunaan sistem tracking memberikan dampak positif terhadap efektivitas konversi energi matahari

Seluruh studi tersebut menegaskan bahwa sistem solar tracking dapat meningkatkan efisiensi panel surya secara signifikan, baik dalam konteks skala kecil hingga integrasi dengan sistem berbasis IoT. Untuk mencapai keberlanjutan energi, terutama di daerah-daerah terpencil, pengembangan sistem hybrid yang menggabungkan panel surya dengan baterai cadangan dan teknologi pelacak matahari menjadi solusi yang relevan dan menjanjikan.



Gambar 1. Alur Sistem Tracking PLTS

2.2. Komponen PLTS

Pada perancangan PLTS dengan sistem tracking sinar matahari kali ini membutuhkan alat dan bahan agar PLTS dapat dibuat sesuai yang di harapkan, untuk komponen yang dibutuhkan seperti:

2.2.1. Panel Surya

Panel surya adalah perangkat yang dirancang untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Proses ini berlangsung melalui efek fotovoltaik, di mana cahaya matahari yang mengenai permukaan panel akan membebaskan elektron dari atom-atom semikonduktor, umumnya berbahan dasar silikon. Elektron yang terbebas ini kemudian mengalir dalam sirkuit tertutup dan menciptakan arus listrik searah (DC).

Panel surya terdiri dari unit kecil yang disebut sel surya (solar cell). Satu sel surya hanya menghasilkan tegangan dan arus yang sangat kecil, sehingga banyak sel disusun menjadi satu modul atau panel untuk menghasilkan daya yang lebih besar. Struktur dasar sel surya adalah susunan doping positif dan negatif dari silikon, yang menciptakan sebuah sambungan p-n. Ketika cahaya matahari menyinari lapisan atas (negatif), terbentuklah beda potensial antara kedua lapisan, dan ketika dihubungkan dengan beban, arus listrik akan mengalir dan dapat digunakan.

Panel surya dapat digunakan secara mandiri (off-grid) maupun terintegrasi dengan sistem jaringan listrik (on-grid atau hybrid). Keluaran listrik dari panel ini bisa digunakan langsung, disimpan dalam baterai, atau diubah menjadi arus bolak-balik (AC) dengan menggunakan inverter agar dapat digunakan untuk peralatan rumah tangga dan industri.



Gambar 2. Panel Surya



Kinerja panel surya sangat bergantung pada intensitas cahaya matahari yang diterima. Semakin tinggi intensitas cahaya (dihitung dalam satuan lux atau W/m^2), maka semakin besar pula tegangan dan arus listrik yang dihasilkan. Namun, ada batasan efisiensi yang disebabkan oleh kondisi cuaca, sudut paparan cahaya, serta suhu permukaan panel.

a. Monokristal (Mono-Crystalline)

Panel surya monokristalin (mono-crystalline) adalah jenis panel surya yang dibuat dari satu kristal silikon murni yang besar, kemudian dipotong menjadi wafer. Jenis ini merupakan teknologi panel surya tertua sekaligus yang paling efisien dibandingkan jenis lainnya. Panel ini dikenal mampu menghasilkan daya listrik paling tinggi per satuan luas permukaan, sehingga sangat ideal untuk digunakan pada area dengan ruang terbatas namun membutuhkan output daya tinggi.

Panel monokristalin memiliki efisiensi konversi energi yang tinggi, yakni hingga 15% atau lebih, menjadikannya cocok untuk digunakan di wilayah dengan kondisi iklim ekstrem atau lingkungan yang menuntut kinerja tinggi. Karena bentuk kristalnya yang seragam, arus listrik dapat mengalir lebih efisien dibandingkan panel jenis lain. Inilah yang menyebabkan mono-crystalline sering digunakan dalam aplikasi skala besar maupun profesional.

Namun demikian, panel ini juga memiliki kelemahan: performanya menurun secara signifikan ketika berada di tempat yang berteduh atau dalam kondisi cuaca berawan. Efisiensinya sangat bergantung pada tingkat pencahayaan matahari langsung. Maka, untuk mendapatkan hasil optimal, panel jenis ini sebaiknya dipasang di lokasi dengan paparan sinar matahari langsung sepanjang hari.

2.2.2. Baterai 18650

Baterai 18650 adalah jenis baterai lithium-ion yang sering digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk sistem panel surya skala kecil. Nama "18650" mengacu pada dimensinya, yaitu 18 mm diameter dan 65 mm panjang. Baterai ini dikenal karena kapasitas penyimpanannya yang cukup besar, tegangan nominal sekitar 3,7 volt, dan kemampuannya untuk diisi ulang berkali-kali.

Dalam sistem panel surya, baterai 18650 dapat digunakan untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel pada siang hari, agar bisa digunakan pada malam hari atau saat cuaca mendung. Baterai ini sangat cocok untuk proyek DIY (do-it-yourself) atau sistem tenaga surya portabel karena bentuknya yang ringkas, ringan, dan mudah dirakit secara seri atau paralel sesuai kebutuhan tegangan dan kapasitas.

Beberapa keunggulan baterai 18650 dalam sistem panel surya meliputi densitas energi yang tinggi, siklus pengisian yang panjang, dan efisiensi pengisian yang baik. Namun, penting untuk mengatur pengisian dan pengosongan baterai ini dengan tepat menggunakan Solar Charge Controller (SCC) agar tidak terjadi overcharge atau overdischarge, yang bisa merusak baterai dan mengurangi masa pakainya.

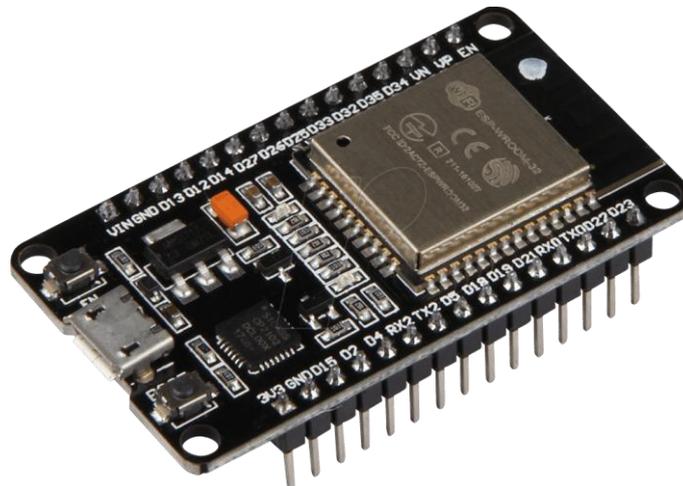
Secara keseluruhan, baterai 18650 merupakan solusi penyimpanan energi yang efisien dan fleksibel untuk sistem tenaga surya skala kecil hingga menengah, dengan syarat pengelolaannya dilakukan secara aman dan sesuai standar.



Gambar 3. Baterai 18650

2.2.3. ESP 32

ESP32 adalah sebuah mikrokontroler yang dikembangkan oleh Espressif Systems dan dirancang untuk memenuhi kebutuhan pengembangan aplikasi Internet of Things (IoT). Chip ini merupakan sistem pada chip (SoC) yang dilengkapi dengan dua inti prosesor (dual-core), memungkinkan kinerja yang lebih cepat dan responsif. ESP32 juga memiliki kemampuan untuk terhubung ke jaringan tanpa kabel melalui Wi-Fi dan Bluetooth, sehingga sangat cocok untuk aplikasi yang memerlukan konektivitas nirkabel. Mikrokontroler ini menawarkan berbagai fitur tambahan, seperti dukungan untuk berbagai protokol komunikasi dan antarmuka input/output (I/O), yang memudahkan penghubungan dengan perangkat lain. Selain itu, ESP32 memiliki konsumsi daya yang rendah, menjadikannya ideal untuk proyek yang mengutamakan efisiensi energi, seperti perangkat portable dan sensor yang berjalan dengan baterai. Platform pengembangannya pun fleksibel, memungkinkan pengguna untuk memprogram chip ini menggunakan berbagai alat pengembangan seperti Arduino IDE atau ESP-IDF, membuatnya sangat populer di kalangan penggemar elektronik dan pengembang sistem embedded. Dengan semua kemampuan tersebut, ESP32 menjadi pilihan utama untuk membangun aplikasi berbasis IoT yang kompleks dan inovatif.



Gambar 4. ESP 32

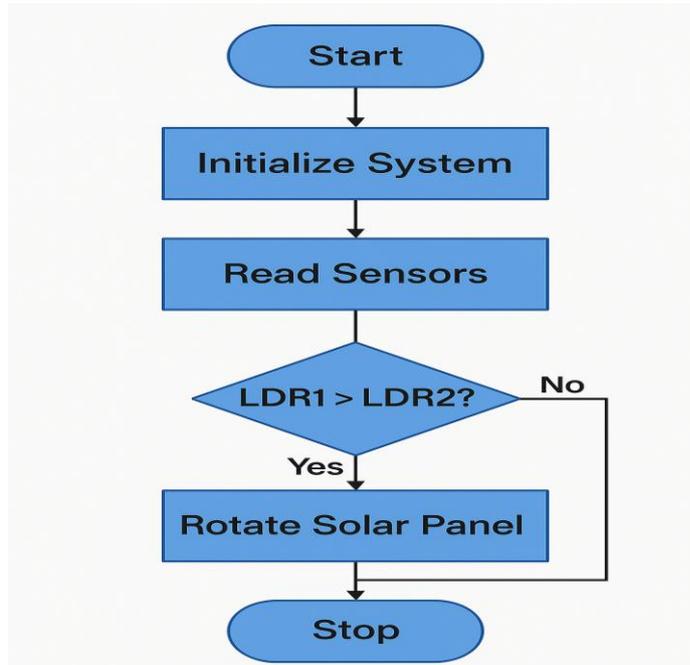
2.3. Kesimpulan Tinjauan Pustaka

Berdasarkan berbagai penelitian yang telah dikaji, dapat disimpulkan bahwa sistem pelacak matahari (solar tracking system) secara signifikan mampu meningkatkan efisiensi penyerapan energi panel surya dibandingkan sistem statis. Peningkatan ini diperoleh melalui pengaturan posisi panel yang secara aktif mengikuti arah datangnya cahaya matahari menggunakan sensor LDR dan aktuator servo. Selain itu, penggunaan mikrokontroler seperti Arduino Uno dan ESP32 terbukti efektif dalam mengelola sistem pelacakan secara otomatis dan real-time. ESP32 memiliki keunggulan dibanding mikrokontroler lain, terutama dalam aspek konektivitas nirkabel dan efisiensi pemrosesan. Kombinasi antara pelacak otomatis, penyimpanan energi (baterai), dan tampilan data melalui LCD membuka peluang sistem PLTS menjadi solusi energi terbarukan yang aplikatif dan terjangkau, khususnya di sektor rumah tangga maupun daerah terpencil.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Perencanaan

Diagram alir atau flow chart adalah diagram yang menggunakan simbol grafis untuk menggambarkan alur kerja, dengan algoritma yang digambarkan dalam bentuk kotak dan dihubungkan dengan tanda panah. Tujuan dari diagram alir ini adalah untuk memberikan gambaran singkat mengenai langkah-langkah yang dilakukan dalam penyelesaian tugas akhir ini.



Gambar 4. Diagram sistem tracking PLTS

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Alat

Pada perancangan ini alat yang dibutuhkan sebagai pendukung pembuatan sistem PLTS off-grid sebagai berikut.

Tabel 1. Alat Pendukung

No	Nama Alat	Jumlah (buah)
1	Bor tangan	1
2	Multimeter	1
3	Obeng mini	1
	+	
4	Obeng mini -	1
5	Skun	1
6	Tang	1
7	Gunting	1
8	Cutter	1
9	Tang potong	1

3.2.2. Bahan

Bahan yang dibutuhkan agar sistem PLTS dapat bekerja dengan maksimal sebagai berikut.

Tabel 2. Bahan Perancangan

No	Komponen	Jumlah (buah)
1	Panel Surya	1
2	ESP32	1



1 meter untuk sistem pondasi yang ditanamkan pada tanah, kemudian jarak antara panel box dari permukaan tanah yaitu 2 meter, dengan penggunaan ukuran panel box 40 cm x 20 cm x 50 cm, dan frame untuk panel suryanya sendiri memiliki ketinggian 1 meter dari panel box, dengan lebar penompang panel 40 cm x 54 cm.

3.3.3 Integrasi Komponen

- Sensor LDR terpasang di empat sudut untuk mendeteksi arah datangnya cahaya.
- ESP32 membaca nilai ADC dari sensor LDR dan memutuskan pergerakan servo.
- Servo MG90 digunakan pada dua sumbu (horizontal dan vertikal) untuk mengatur posisi panel.
- Sensor Tegangan digunakan untuk memantau tegangan panel atau baterai secara real-time.
- Modul LM2596 berfungsi sebagai pengatur tegangan dari panel/baterai agar sesuai dengan kebutuhan ESP32 (sekitar 5V).
- LCD I2C 16x2 menampilkan data tegangan dan status arah pelacakan.
- Soket JST dan kabel pita digunakan untuk mempercepat pemasangan dan menjaga koneksi tetap rapi dan mudah dipelihara.

3.3.4 Proses Perakitan

1. Komponen disusun sesuai skematik pada breadboard atau PCB.
2. Kabel pita dihubungkan dari sensor, servo, dan LCD ke ESP32 dengan soket JST.
3. Panel surya dihubungkan ke LM2596 untuk mengatur tegangan output.
4. Output LM2596 masuk ke baterai 18650 sebagai penyimpan daya dan ke ESP32.
5. Sistem diuji pada berbagai posisi matahari untuk melihat respons pergerakan dan pembacaan tegangan.

4. HASIL PENELITIAN

4.1 Pengujian Sistem Solar Tracking

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem dalam mengikuti arah datangnya sinar matahari. Sistem diletakkan di area terbuka dengan paparan cahaya matahari langsung sejak pagi hingga sore hari. Berikut beberapa hasil pengamatan yang kitalakukan selama 8 jam:

jam	Tegangan (AVO)	Tegangan LCD	Kemiringan sudut	Error
08.03	13.5 V	19.0 V	55°	40.74%
08.55	13.5 V	19.3 V	105°	42.96%
10.02	13.15 V	18.2 V	155°	38.41%
11.08	13.20 V	18.3 V	155°	38.64%
12.09	13.47 V	18.7 V	15°	38.87%
13.00	13.15 V	18.2 V	30°	38.41%
14.12	13.56 V	19.0 V	50°	40.11%
15.08	13.16 V	18.2 V	45°	38.28%

Untuk mencari nilai error yaitu : $error \% = \frac{Tegangan\ LCD - Tegangan\ AVO}{Tegangan\ AVO} \times 100\%$

tampilan LCD tidak akurat, kemungkinan karena:

- Kalibrasi sensor tegangan belum sesuai
- Perhitungan pembagi tegangan salah
- Nilai referensi ADC pada mikrokontroler tidak tepat



Jam	Foto kemiringan sudut	Foto tegangan
08.03		
08.55		
10.02		
11.08		



12.09			
13.00			
14.12			
15.08			

4.2 Tampilan Monitoring Sistem

Sistem dilengkapi LCD I2C 16x2 yang berfungsi menampilkan informasi tegangan panel atau baterai secara real-time. Hasil pengujian menunjukkan:

- LCD dapat menampilkan data tegangan yang terbaca dari sensor tegangan dengan baik.
- Tampilan LCD responsif terhadap perubahan sumber daya (misalnya saat sinar matahari menurun atau tertutup awan).



4.3 Efisiensi Operasional Tanpa Perhitungan

Meskipun tidak dilakukan analisis kuantitatif mendalam, sistem terbukti secara fungsional mampu:

- Meningkatkan potensi penyerapan sinar matahari karena panel secara otomatis mengikuti arah matahari.
- Menjaga stabilitas suplai tegangan ke ESP32 dan beban dengan bantuan LM2596 dan baterai cadangan.
- Menyimpan energi di siang hari dan menggunakannya saat sore atau cuaca mendung.

Sistem ini lebih efisien dibanding sistem statis karena posisi panel selalu optimal terhadap arah datang cahaya.

4.4 Analisis Integrasi Komponen

Seluruh komponen yang digunakan telah teruji dan bekerja secara terintegrasi:

- **ESP32** sebagai otak sistem menunjukkan performa yang cepat dan stabil.
- **Servo MG90** memiliki daya torsi yang cukup untuk menggerakkan panel kecil secara dua arah.
- **Sensor tegangan dan LDR** terbukti akurat dalam mendeteksi perubahan kondisi lingkungan.
- **Soket JST dan kabel pita** sangat membantu dalam hal perakitan cepat dan pengurangan kesalahan koneksi.

Dengan desain ini, sistem mudah dikembangkan lebih lanjut ke versi berbasis IoT atau ditambahkan logger data.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem panel surya dengan pelacak matahari berbasis ESP32, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem solar tracking berhasil dirancang menggunakan ESP32 sebagai pusat kendali dengan dukungan sensor LDR, servo MG90, modul LM2596, sensor tegangan, dan LCD I2C.
2. Sistem mampu mendeteksi perubahan arah datang sinar matahari secara otomatis dan menyesuaikan posisi panel surya secara responsif, meningkatkan potensi penyerapan energi dibandingkan sistem statis.
3. Komponen-komponen pendukung seperti kabel pita dan soket JST mempermudah proses instalasi, perawatan, serta meningkatkan keandalan sistem secara keseluruhan.
4. LCD I2C berfungsi dengan baik dalam menampilkan informasi tegangan secara real-time, memudahkan pengguna untuk memantau status sistem.
5. Sistem ini menunjukkan performa yang stabil dan efisien secara operasional, serta dapat diterapkan pada skala rumah tangga sebagai solusi energi alternatif terbarukan.

5.2 Saran

Untuk pengembangan sistem lebih lanjut, disarankan beberapa hal berikut:

1. Menambahkan konektivitas IoT (Internet of Things) pada ESP32 agar data pemantauan sistem dapat diakses melalui perangkat seluler secara real-time.
2. Menggunakan aktuator servo berdaya lebih besar apabila panel surya yang digunakan memiliki ukuran dan beban yang lebih besar.
3. Menyempurnakan sistem pelacakan menjadi dua sumbu (horizontal dan vertikal) agar mampu mengikuti pergerakan matahari lebih presisi sepanjang hari.
4. Mengintegrasikan data logger untuk merekam performa sistem harian secara otomatis.
5. Menambahkan casing atau pelindung komponen elektronik agar sistem dapat digunakan di luar ruangan secara tahan lama.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Erfandy, S. W. Susilo, Sujito, dan Aripriharta, “Rancang Bangun Panel Surya Off-Grid untuk Catu Daya Alat Pengusir Hama Tikus,” *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 4, no. 3, pp. 224-245, 2023. [Online]. Tersedia: <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/jebt/article/view/19665>
- [2] M. Asri dan Serwin, “Penerapan Solar Tracker Dua Arah Menggunakan Arduino,” *Jurnal Teknik Elektro Unsyiah*, vol. 8, no. 1, pp. 45-52, 2019.
- [3] Mohamad et al., “Design and Implementation of Dual Axis Solar Tracker using LDR Sensor,” *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, vol. 10, no. 3, pp. 302-309, 2021.
- [4] C. Jalaludin dan T. Pangaribowo, “Pemanfaatan Sistem Solar Tracking Berbasis IoT untuk Optimalisasi PLTS Skala Rumah Tangga,” *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 9, no. 2, pp. 123-130, 2021.
- [5] A. Ardiansyah, D. Mulyadi, dan S. Amalia, “Pengaruh Sistem Pelacak Terhadap Efisiensi Panel Surya Skala Mini,” *Jurnal Elektro dan Telekomunikasi*, vol. 7, no. 1, pp. 11-18, 2023.
- [6] Chaerul Jalaludin dan T. Pangaribowo, “Desain dan Implementasi PLTS Hybrid Rumah Tangga Berbasis IoT dengan Monitoring Real-Time,” *Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 5, no. 2, pp. 85-91, 2021.
- [7] A. Winne, “Optimasi Kapasitas Baterai pada Sistem Panel Surya Off-grid,” *Jurnal Rekayasa Elektronika*, vol. 4, no. 1, pp. 17-24, 2018.
- [8] A. Purwoto, “Teknologi Solar Cell dan Aplikasinya,” *Jurnal Ilmiah Teknologi Terapan*, vol. 6, no. 1, pp. 30-37, 2018.