

Optimasi Sudut Panel Surya dengan *Solar Tracker* Sumbu Tunggal Berbasis *PLC* dan ESP32

Pujianto*, M. Zaky Zaim Muhtadi, Waskita Adi, Akbar Hakin Hasibuan
Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Blora

INFORMASI NASKAH

Diterima : 6 Januari 2026
Direvisi : 2 Juni 2026
Disetujui : 19 Juni 2026
Terbit : 30 Juni 2026

Email korespondensi:
pujianto@esdm.go.id

Kata Kunci:

- Efisiensi
- Panel Surya
- Pelacak Surya
- Sudut Optimal

ABSTRAK

Efisiensi sistem pembangkit listrik tenaga surya sangat bergantung pada sudut orientasi panel surya relatif terhadap matahari. Pelacak surya digunakan untuk mengoptimalkan penyerapan energi dengan menyesuaikan sudut panel secara dinamis sepanjang hari. Penelitian ini mengembangkan dan mengevaluasi pelacak surya sumbu tunggal yang memanfaatkan *Programmable Logic Controller (PLC)* dan ESP32, dengan tujuan mengidentifikasi sudut panel yang paling optimal. Sistem ini menggabungkan *Light Dependent Resistor (LDR)* sebagai sensor intensitas sinar matahari, motor servo sebagai aktuator, dan algoritma kontrol yang terintegrasi dengan *PLC* dan ESP32. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa, pada pukul 10:00 WIB, sistem tanpa pelacakan menghasilkan 21,1 V, 0,2 A, dan 4,22 W, sedangkan dengan pelacak yang diatur pada sudut optimal 19°, tegangan meningkat menjadi 21,6 V, arus menjadi 0,4 A, dan daya menjadi 8,64 W. Temuan ini menunjukkan bahwa pelacak secara signifikan meningkatkan keluaran listrik serta mengonfirmasi efektivitas orientasi dinamis. Sudut paling optimal ditentukan dengan membandingkan tegangan, arus, dan perolehan daya, yang menunjukkan bahwa penyesuaian panel ke sudut yang ditentukan akan meningkatkan kinerja sistem dan efisiensi energi.

ABSTRACT

The efficiency of solar power generation systems heavily depends on the orientation angle of the solar panels relative to the sun. Solar trackers are employed to optimize energy absorption by dynamically adjusting panel angles throughout the day. This study develops and evaluates a single-axis solar tracker utilizing a Programmable Logic Controller (PLC) and ESP32, with the goal of identifying the most optimal panel angle. The system incorporates a Light Dependent Resistor (LDR) as a sunlight intensity sensor, a servo motor as an actuator, and a control algorithm integrated with PLC and ESP32. Experimental results show that, at 10:00 WIB, the system without tracking produced 21.1 V, 0.2 A, and 4.22 W, whereas with the tracker set at an optimal angle of 19°, voltage increased to 21.6 V, current to 0.4 A, and power to 8.64 W. These findings demonstrate that the tracker significantly improves electrical output, confirming the effectiveness of dynamic orientation. The most optimal angle was determined by comparing voltage, current, and power gains, indicating that adjusting the panels to the identified angle enhances system performance and energy efficiency.

Keywords: Efficiency, Optimal Angle, Solar Panel, Solar Tracker.

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik di Indonesia semakin meningkat seiring pertumbuhan jumlah penduduk dan perkembangan ekonomi. Seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk, kebutuhan energi juga semakin meningkat (Setiawan et al., 2024). PLN aktif mengkampanyekan efisiensi energi melalui program penghematan pada jam puncak beban dari pukul 17.00 hingga 22.00 WIB, guna mengurangi beban puncak dan memperlancar suplai listrik nasional (Erwan Eko Prasetyo et al., 2022). Salah satu sumber energi terbarukan yang semakin diminati adalah energi surya. Indonesia memiliki potensi radiasi tinggi sekitar 4,8 kWh/m²/hari (Sartika et al., 2023). Secara umum, panel surya yang dipasang secara statis saat ini belum dapat mengoptimalkan penerimaan energi matahari, sehingga hasil konversi energi cenderung kurang maksimal (Ardiansyah & Haryudo, 2023). Ketidakefisienan ini disebabkan oleh faktor sudut kemiringan dan arah pemasangan panel yang tidak menyesuaikan dengan posisi matahari yang selalu berubah sepanjang hari. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, pengembangan sistem pelacakan surya (*solar tracker*) diusulkan sebagai solusi, karena mampu mengikuti posisi matahari secara otomatis dan meningkatkan efisiensi energi yang dihasilkan (Kusuma, 2019).

Performa panel surya sangat dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari, suhu lingkungan, serta sudut kemiringan anguler dari panel (Sadewo et al., 2022). Untuk memaksimalkan konversi energi, panel surya perlu mengikuti arah pergerakan sinar matahari. Semakin besar sinar matahari yang diterima panel surya, maka daya listrik yang dihasilkan menjadi semakin besar

(Fauzi et al., 2018). *Solar tracker* merupakan teknologi yang dirancang untuk meningkatkan produksi energi listrik dari panel surya, dengan prinsip kerja mendeteksi posisi matahari yang ditangkap oleh sensor kemudian sinyalnya diteruskan ke aktuator untuk mengikuti arah datangnya sinar matahari secara otomatis sehingga panel surya selalu menghadap lurus terhadap matahari (Hanif et al., 2023), (Fernandes & Yuhendri, 2020). Penggunaan *solar tracker* dapat meningkatkan produksi energi listrik yang dihasilkan photovoltaic, namun membutuhkan biaya tambahan (Wahyu et al., 2022). Sistem ini memungkinkan panel surya untuk mengikuti pergerakan matahari sepanjang hari, sehingga meningkatkan efisiensi energi yang dihasilkan dibandingkan dengan panel surya statis. Panel surya memiliki dua jenis sistem pelacakan yaitu sumbu tunggal dan sumbu ganda. *Solar tracker* sumbu tunggal beroperasi dengan satu sumbu, memungkinkan panel mengikuti pergerakan matahari dalam satu arah. Sedangkan panel surya sumbu ganda *tracker* adalah sistem pelacakan yang dapat melacak arah cahaya matahari dan menggerakkan posisi panel surya dengan dua sumbu putaran (Pulungan et al., 2021). Di antara berbagai jenis *solar tracker*, sistem sumbu tunggal *tracker* menjadi pilihan populer karena biaya implementasi yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan sistem sumbu ganda *tracker*, namun tetap memberikan peningkatan efisiensi yang signifikan.

Di tengah perkembangan teknologi otomasi dan komunikasi, penggunaan mikrokontroler dan PLC untuk mengendalikan sistem *solar tracker* semakin diminati. PLC yang telah lama digunakan dalam otomasi industri, menawarkan keunggulan

dalam keandalan dan kestabilan kontrol proses (Dafa et al., 2023), (Ruwahida et al., 2023). Sementara itu ESP32 sebagai mikrokontroler berbasis *Wi-Fi* mendukung pengembangan sistem yang lebih cerdas dan mampu terintegrasi dalam jaringan *IoT*, sehingga memudahkan pemantauan dan pengendalian jarak jauh (Nizam et al., 2022), (Setiana et al., 2023). Kombinasi keduanya—*PLC* dan ESP32—berpotensi menghadirkan sistem *solar tracker* yang tidak hanya efisien dan presisi, tetapi juga mampu menjalankan monitoring secara *real-time* dan lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan.

Walaupun penelitian tentang *solar tracker* telah banyak dilakukan, sebagian besar sistem yang telah dikembangkan masih memiliki keterbatasan, seperti kurangnya integrasi yang optimal antara kontrol otomatis dan kemampuan komunikasi jarak jauh, serta biaya yang relatif tinggi pada sistem sumbu ganda. Penelitian sebelumnya yang menggunakan *PLC* maupun ESP32 secara terpisah, kurang mampu menjawab tantangan efisiensi dan kebaruan yang berkaitan dengan pengembangan sistem yang terintegrasi secara optimal. Oleh karena itu, studi ini bertujuan untuk mengembangkan dan menguji sistem pelacak surya sumbu tunggal berbasis gabungan *PLC* dan ESP32, yang diharapkan dapat mengatasi kekurangan tersebut dan memberikan solusi yang lebih efisien serta dapat dipantau secara *real-time*, khususnya untuk aplikasi skala kecil hingga menengah.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian dilakukan melalui beberapa tahap, yang meliputi desain sistem, pengumpulan data, implementasi algoritma kontrol, dan evaluasi kinerja sistem. Adapun penelitian ini dilakukan di Laboratorium Energi, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas Cepu.

Alat dan Bahan

A. Panel surya Sunlite 20 WP

Panel surya adalah komponen utama dalam sistem PLTS. Yang terbentuk dari beberapa sel surya, merupakan perangkat yang dapat mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik. Spesifikasinya seperti Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Panel Surya

No.	Spesifikasi	Detail
1	Model	SUNlite
2	Daya maksimum	20 Wp
3	Tegangan maksimum	17,2 V
4	Arus Maksimum	1,16 A

5	V_{OC}	20,64 V
6	I_{SC}	1,3 A
7	Berat	2 Kg

B. PLC FX3U-14mr

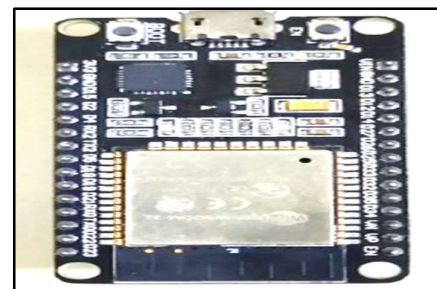
PLC (*Programmable Logic Controller*) merupakan suatu instrument atau alat dengan pengontrol berbasis mikroprocessor atau mikrocontroller yang dapat diprogram karna memiliki memori, sehingga bisa menyimpan suatu perintah berupa logika untuk mengendalikan mesin ataupun proses lainnya. *PLC* yang digunakan model FX3U-14mr, seperti terlihat pada Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. PLC FX3U-14MR

C. ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler berkinerja tinggi yang sering dipakai dalam beragam aplikasi *Internet of Things (IoT)*. Perangkat ini memiliki beberapa fitur komunikasi, serta memiliki kemampuan pemrosesan yang kuat untuk menangani berbagai tugas seperti komunikasi nirkabel, pemrosesan data, dan kontrol perangkat. Dengan dukungan untuk berbagai antarmuka dan protokol komunikasi, ESP32 sangat cocok untuk aplikasi *IoT* yang kompleks seperti Gambar 2 dibawah ini.

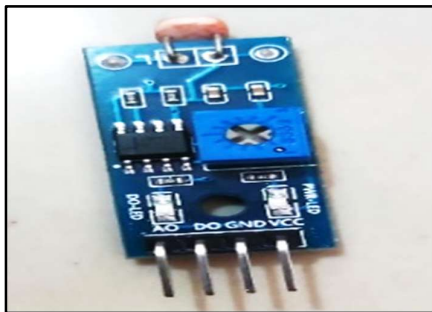


Gambar 2. ESP32

D. Modul Sensor LDR

LDR (*Light Dependent Resistor*) adalah jenis resistor yang resistansinya berubah berdasarkan intensitas cahaya. Dalam kondisi gelap, nilai resistansinya meningkat, sementara dalam cahaya terang, nilai resistansinya menurun. *LDR* sering digunakan sebagai detektor cahaya atau untuk

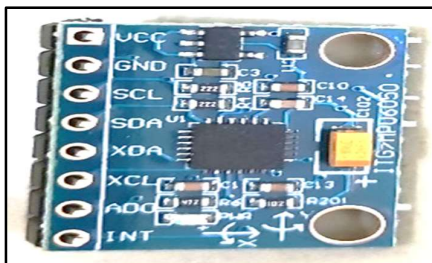
mengukur intensitas Cahaya, seperti pada Gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Modul Sensor LDR

E. Sensor MPU6050

Sensor MPU6050 adalah perangkat yang dirancang sebagai pengukur serta menjaga hasil seperti prinsip ketetapan sudut. Sebelum digunakan, sensor ini perlu dikalibrasi dengan menentukan titik acuan sebagai referensi. Proses kalibrasi dilakukan menggunakan bandul, dan setelah selesai, sensor akan menghasilkan nilai faktor kalibrasi, seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Sensor MPU6050

F. Digital Motor Servo DS3225MG

Motor servo adalah perangkat elektromekanis yang menggunakan sistem kontrol tertutup untuk menggerakkan komponen dalam suatu rangkaian, seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Digital Motor Servo

G. PWM Servo Driver PLC

Sensor *Pulse Width Modulation* (PWM) Generator untuk servo driver pada PLC adalah sebuah modul atau fungsi dalam PLC yang bertanggung jawab untuk menghasilkan sinyal PWM yang akan dikirim ke servo driver. PWM

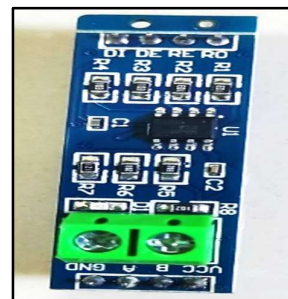
adalah metode untuk mengontrol posisi motor servo dengan mengatur lebar pulsa sinyal kontrol yang diberikan ke *driver*. seperti pada Gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6. PWM Servo Driver PLC

H. Serial Komunikasi TTL to RS-485

RS-485 adalah sebuah standar komunikasi serial yang digunakan dalam jaringan dan sistem kontrol industri. Pada RS-485 mendukung konfigurasi multi-drop yang memungkinkan hingga 32 perangkat untuk terhubung pada satu bus komunikasi, di RS-485 menggunakan differential signaling untuk mengirimkan data, yang membuat lebih tahan pada *noise* dan gangguan elektromagnetik. Hal ini dilakukan dengan menggunakan dua kabel (A dan B) untuk setiap sinyal dimana perbedaan tegangan antara kedua kabel ini yang membawa informasi. Standar ini digunakan dalam komunikasi Modbus RTU atau protokol industri yang lainnya, seperti Gambar 7 dibawah ini.



Gambar 7. Serial Komunikasi TTL to RS-485

Flowchart Penelitian

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. *Start* (Mulai)
Menandakan awal dari proses
2. Studi Literatur
Pada tahap ini dilakukan:
Pengumpulan referensi (buku, jurnal, standar, dll). Mempelajari teori yang relevan dengan penelitian yang dilakukan agar mendapatkan landasan teori yang kuat.
3. Perancangan Proyek

Pada tahapan ini meliputi: menentukan tujuan sistem, mendesain, menentukan metode yang akan digunakan. sedangkan outputnya berupa blueprint atau rancangan sistem.

4. Mengumpulkan Alat & Bahan

Meliputi menyiapkan komponen (sensor, aktuator, mikrokontroler, dll), menyiapkan *software* yang dibutuhkan dengan tujuan memastikan semua kebutuhan proyek tersedia sebelum implementasi.

5. Integrasi *Hardware & Software*

Pada tahap ini Perangkat keras (hardware) dirakit program/*software* dibuat dan diinstal

6. Running (Pengujian Sistem)

Sistem mulai dijalankan untuk diuji:

Apakah sistem bekerja sesuai rencana?

Apakah ada *error* atau kegagalan?

7. Pengambilan Data & Analisa Data

Mengambil data hasil pengujian, menganalisis performa sistem, membandingkan hasil dengan teori atau target.

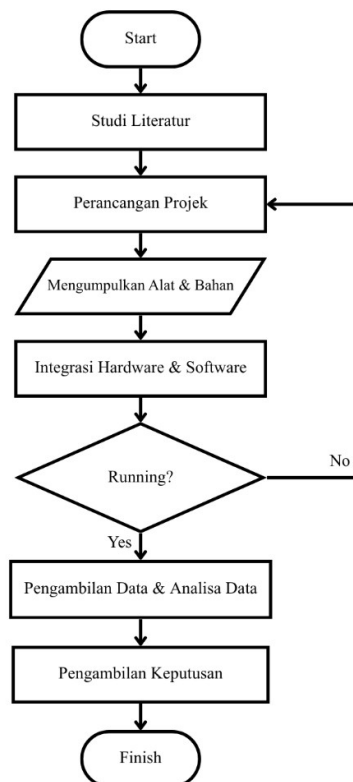
8. Pengambilan Keputusan

Berdasarkan hasil analisis:

Apakah sistem sudah layak?, apakah perlu perbaikan?, apakah tujuan sudah tercapai?

9. *Finish* (Selesai)

Untuk lebih jelasnya diagram *flowchart* penelitian yang tunjukan dalam Gambar 8.dibawah ini.



Gambar 8. *Flowchart* Penelitian

Analisis data dilakukan secara kuantitatif dengan menghitung parameter utama berupa tegangan (V), arus (I), dan daya (P). Daya listrik dihitung menggunakan persamaan $P=V \times I$. Selanjutnya, dilakukan perbandingan antara sistem tanpa *tracker* dan dengan *tracker* menggunakan metode deskriptif komparatif.

Efisiensi peningkatan kinerja sistem dihitung menggunakan persamaan:

$$\eta = \frac{P_{tracker} - P_{statis}}{P_{statis}} \times 100\%$$

Selain itu, dilakukan analisis nilai rata-rata dan tren perubahan daya terhadap waktu untuk mengevaluasi performa sistem secara keseluruhan.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan yaitu:

1. Durasi pengujian terbatas

Pengambilan data hanya dilakukan dalam rentang waktu tertentu (09.00–14.00 WIB), sehingga belum merepresentasikan kondisi harian dan musiman secara penuh.

2. Pengaruh cuaca tidak dikontrol

Variasi intensitas matahari akibat awan atau kondisi atmosfer dapat mempengaruhi hasil pengukuran.

3. Akurasi sensor *LDR* terbatas

Sensor *LDR* memiliki sensitivitas yang dipengaruhi oleh noise dan tidak selalu linear terhadap intensitas cahaya.

4. Tidak mempertimbangkan konsumsi energi sistem *tracker*. Energi yang digunakan oleh motor servo dan sistem kontrol belum dianalisis terhadap energi yang dihasilkan.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bagian hasil penelitian dan pembahasan penulis menyajikan Implementasi berupa prototipe sistem *solar traker* dan hasil pengujian sebagai berikut:

A. Implementasi Prototipe Sistem *Solar Tracker*

Implementasi prototipe sistem tracking panel surya sumbu tunggal telah berhasil direalisasikan. Konstruksi mekanik dirancang dengan tinggi kerangka 81,2 cm dan lebar 21,4 cm untuk memberikan stabilitas struktural yang memadai terhadap beban angin. Sistem penopang panel surya dikonfigurasi dengan tinggi 30 cm pada kedua sisi dan lebar 4,3 cm, memungkinkan rentang pergerakan angular yang optimal.

Integrasi poros batangan shaft berdiameter 10 mm dengan panjang 60 cm memberikan kemudahan dalam rotasi yang diperlukan untuk pelacakan matahari secara akurat, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9 dibawah ini.



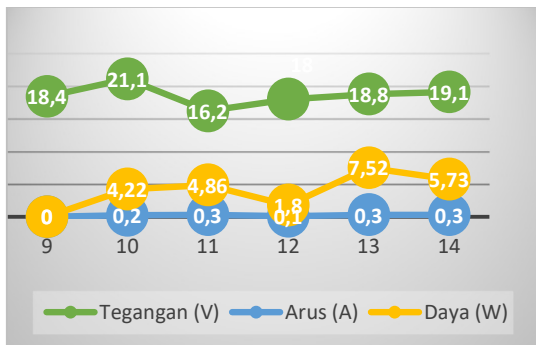
Gambar 9. Prototype Hasil Penelitian

B. Hasil Pengujian

Hasil pelacakan cahaya matahari berupa arus, tegangan, daya dan sudut tanpa sistem *tracker* selama periode pengujian dari pukul 09.00 hingga 14.00 WIB seperti pada Tabel 2 dan Gambar 10 di bawah ini.

Tabel 2. Data Tanpa Sistem *Tracker*

Waktu (WIB)	Sudut	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
09.00	0°	18.4	0	0
10.00	0°	21.1	0.2	4.22
11.00	0°	16.2	0.3	4.86
12.00	0°	18	0.1	1.8
13.00	0°	18.8	0.3	5.64
14.00	0°	19.1	0.3	5.73
Rata-rata		18.6	0.2	3.71



Gambar 10. Hasil Pengujian Tanpa *Tracker*

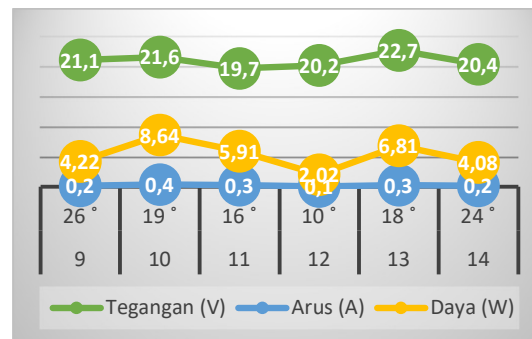
Hasil pengujian sistem tanpa *traker* menunjukkan variabilitas output yang signifikan dengan rata-rata daya hanya 3,71 W. Namun, penelitian ini mengidentifikasi penurunan drastis

pada pukul 12.00 WIB (1,80 W) yang kontradiktif dengan ekspektasi iradiasi maksimum, mengindikasikan fenomena *self-shading* atau misalignment yang tidak terdeteksi dalam studi sebelumnya.

Sedangkan hasil pelacakan cahaya matahari berupa arus, tegangan, daya dan sudut dengan sistem *tracker* seperti pada Tabel 3 dan Gambar 11 di bawah ini.

Tabel 3. Data Menggunakan Sistem *Tracker*

Waktu (WIB)	Sudut	Arah Matahari	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
09.00	26 °	Timur	21.1	0.2	4.22
10.00	19 °	Timur	21.6	0.4	8.64
11.00	16 °	Timur	19.7	0.3	5.91
12.00	10 °	Timur	20.2	0.1	2.02
13.00	18 °	Barat	22.7	0.3	6.81
14.00	24 °	Barat	20.4	0.2	4.08
Hasil rata-rata panel surya			20.9	0.2	5.28



Gambar 11. Hasil Pengujian Dengan *Tracker*

Berdasarkan hasil pengujian, sistem pencarian sudut kemiringan panel surya optimal menggunakan solar tracker sumbu tunggal berbasis *PLC* dan *ESP32* menunjukkan peningkatan performa yang signifikan dibandingkan sistem statis. Pada pengujian pukul 10.00 WIB, tanpa *tracker* diperoleh 21,1 V, 0,2 A, dan 4,22 W, sedangkan dengan *tracker* pada sudut optimal 19° diperoleh 21,6 V, 0,4 A, dan 8,64 W. Secara rata-rata, penggunaan sistem tracking meningkatkan *output* daya sebesar 42,3% (dari 3,71 W menjadi 5,28 W). Fenomena ini konsisten dengan literatur yang melaporkan efisiensi sistem *tracker* dapat lebih besar dari 13% sistem statis. Meski demikian, terdapat beberapa aspek yang masih perlu dikembangkan, seperti perlunya pengujian jangka panjang untuk menangkap variabilitas musiman, optimalisasi konsumsi energi sistem tracking yang berhubungan dengan

energi yang dihasilkan, serta potensi integrasi algoritma *machine learning* untuk prediksi lintasan matahari berbasis data historis. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam demonstrasi integrasi teknologi *IoT* modern dengan sistem kontrol industri, yang dapat menjadi landasan pengembangan manajemen energi terbarukan yang lebih efisien dan terkoneksi di masa depan.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan sistem *solar tracker* sumbu tunggal berbasis PLC dan ESP32 yang menunjukkan peningkatan efisiensi energi sebesar 42,3% dibandingkan sistem panel surya statis (dari 3,71 W menjadi 5,28 W). Hasil ini sejalan dan memperkuat temuan penelitian sebelumnya yang melaporkan efisiensi sistem *tracker* lebih dari 13% dibandingkan sistem statis, bahkan menunjukkan peningkatan yang lebih signifikan. Integrasi teknologi *PLC* dengan ESP32 memberikan kontribusi berupa kombinasi presisi kontrol industri dengan kapabilitas *IoT* modern, berbeda dengan studi-studi sebelumnya yang umumnya menggunakan mikrokontroler tunggal. Pendekatan hibrid ini menghasilkan presisi pengendalian mekanis superior, fleksibilitas monitoring jarak jauh, dan kemampuan pemrosesan data *real-time*, serta mengidentifikasi fenomena *self-shading* yang belum terdeteksi dalam studi sebelumnya.

Penelitian ini memberikan dasar teknologi yang kuat untuk transformasi sistem energi terbarukan dengan peluang pengembangan yang luas, meliputi optimasi algoritma tracking berbasis *machine learning*, pengembangan sumbu ganda tracking, implementasi energi management sistem, serta aplikasi pada skala residensial hingga solar farm komersial. Skalabilitas arsitektur *PLC-ESP32* memungkinkan integrasi dengan *smart grid*, *microgrid*, dan sistem *PLTS* portable, bahkan potensi pengembangan teknologi lanjutan seperti *AI-driven optimization*, *predictive maintenance*, dan *blockchain integration* untuk distributed energy trading.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiansyah, A., & Haryudo, S. I. (2023). Analisis Perbandingan Efisiensi Panel Surya 20wp Dengan Tracking Dan Tanpa Tracking. *Jurnal Teknik Elektro*, 12(2), 43–47. <https://doi.org/10.26740/jte.v12n2.p43-47>
- Dafa, M. D. B., Rini Puji Astutik, & Hendra Ari Winarno. (2023). Smart IO PLC Berbasis

- IoT Menggunakan Esp32. Journal Zetroem*, 5(2), 165–168. <https://doi.org/10.36526/ztr.v5i2.3120>
- Erwan Eko Prasetyo, Gaguk Marausna, & Nugroho, D. W. (2022). Optimalisasi Pembangkitan Daya Panel Surya 200 WP Menggunakan Solar Tracker System Dual Axis. *Jurnal Nasional Teknik Elektro Dan Teknologi Informasi*, 11(3), 215–221. <https://doi.org/10.22146/jnteti.v11i3.4143>
- Fauzi, K. W., Arfianto, T., & Taryana, N. (2018). Perancangan dan Realisasi Solar Tracking System Untuk Peningkatan Efisiensi Panel Surya Menggunakan Arduino Uno. *TELKA - Telekomunikasi, Elektronika, Komputasi Dan Kontrol*, 4(1), 63–74. <https://doi.org/10.15575/telka.v4n1.63-74>
- Fernandes, R., & Yuhendri, M. (2020). Implementasi Solar Tracker Tanpa Sensor pada Panel Surya. *JTEV (Jurnal Teknik Elektro Dan Vokasional)*, 6(2), 337–343.
- Hanif, M. N., Zaenudin, M., & Saleh, Y. K. P. (2023). Analisis sistem solar tracker terhadap daya yang dihasilkan untuk irigasi hidroponik tenaga panel surya. *Jurnal Crankshaft*, 6(2), 21–36. <https://doi.org/10.24176/crankshaft.v6i2.11050>
- Kusuma, W. (2019). Optimalisasi Daya Sistem Sel Surya Menggunakan Solar Tracker Dual Axis. *Jurnal Ilmiah Komputasi*, 18(1). <https://doi.org/10.32409/jikstik.18.1.2557>
- Nizam, M. N., Haris Yuana, & Zunita Wulansari. (2022). Mikrokontroler Esp 32 Sebagai Alat Monitoring Pintu Berbasis Web. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 6(2), 767–772. <https://doi.org/10.36040/jati.v6i2.5713>
- Pulungan, A. B., Fajri, Q., & Yelfianhar, I. (2021). Peningkatan Daya Keluaran Panel Surya Menggunakan Single Axis Tracker Pada Daerah Khatulistiwa. *JTEV (Jurnal Teknik Elektro Dan Vokasional)*, 7(2), 261. <https://doi.org/10.24036/jtev.v7i2.113304>
- Ruwahida, D. R. R., Rachman, I., Widodo, H. A., Adhitya, R. Y., & Irawan, Y. (2023). Sistem Komunikasi Mikrokontroler dan PLC Berbasis Komunikasi Serial Host Link dan Protokol C-Command RS232. *Infotekmesin*, 14(2), 354–361.

- <https://doi.org/10.35970/infotekmesin.v14i2.1924>
- Sadewo, D. N., Arifianto, T., Sunardi, S., Moonlight, L. S., & Wasito, B. (2022). Penggunaan Solar Tracker untuk Analisis Pencarian Daya Maksimal pada Panel Surya. *Jurnal Kajian Teknik Elektro*, 7(2), 43–47.
- <https://doi.org/10.52447/jkte.v7i2.6246>
- Sartika, N., Fajri, A. N. R., & Kamelia, L. (2023). Perancangan Dan Simulasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Atap Pada Masjid Jami' Al-Muhajirin Bekasi. *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 25(1), 1–9. <https://doi.org/10.14710/transmisi.25.1.1-9>
- Setiana, H., Bening Kusumaningtyas, A., & Maulana, R. (2023). Rancang Bangun PLTS Solar Tracker Dual Axis Berbasis IoT Menggunakan ESP32. *Prosiding SENIATI*, 7(2), 177–182. <https://doi.org/10.36040/seniati.v7i2.7944>
- Setiawan, N. B., Priyandoko, G., & Mukhsin, M. (2024). *Journal of Application and Science on Electrical Engineering Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan Solar Tracker Dual Axis dan Monitoring Data Logger Berbasis Internet Of Things (IOT)*. 5, 1–11.
- Wahyu, D., Rosa, Y., Hanif, Ardiyanto, & Hendra. (2022). Pengaruh Sudut Kemiringan Dan Orientasi Solar Cell Terhadap Luaran Energi Listrik Sebagai Kajian Power Charge Station Untuk Kendaraan Alat Berat. *Rotasi*, 25(1), 9–16.