

Rancang Bangun Sistem *Monitoring* Dan Pengendalian Panel Surya Berbasis IoT Menggunakan ESP32

¹Chavin Oktavianto

¹Teknik Elektro, Universitas Darul ‘Ulum, Jombang

¹kevinoktavianto93@gmail.com

Abstract - The use of solar panels as a renewable energy source requires a monitoring and control system capable of providing real-time information on the panels' condition to improve their efficiency. This study aims to develop an Internet of Things (IoT)-based solar panel monitoring and control system using the ESP32 microcontroller. The method used is Research and Development (R&D) through the stages of system design, implementation, and testing. The system consists of solar panels, a solar tracker based on an LDR sensor and a servo motor, a PZEM-004T sensor, an OLED display, and a Wi-Fi connection. The PZEM-004T sensor is used to measure electrical parameters such as voltage, current, power, and electrical energy; the data is then processed by the ESP32, displayed on the OLED, and transmitted to an IoT platform so it can be monitored via a smartphone or computer. Test results show that all components were successfully integrated and that the system is capable of performing monitoring and control functions simultaneously. The system is also capable of providing data on the condition of the solar panels quickly, accurately, and in real time, thereby facilitating monitoring and supporting the evaluation of solar panel performance both locally and remotely.

Keywords — ESP32; Internet of Things (IoT); monitoring panel surya; PZEM-004T; solar tracker.

Abstrak— Pemanfaatan panel surya sebagai sumber energi terbarukan memerlukan sistem monitoring dan pengendalian yang mampu memberikan informasi kondisi panel secara *real-time* untuk meningkatkan efisiensi pemanfaatannya. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem monitoring dan pengendalian panel surya berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32. Metode yang digunakan adalah *Research and Development* (R&D) melalui tahapan perancangan, implementasi, dan pengujian sistem. Sistem terdiri atas panel surya, solar tracker berbasis sensor LDR dan motor servo, sensor PZEM-004T, layar OLED, serta koneksi Wi-Fi. Sensor PZEM-004T digunakan untuk mengukur parameter kelistrikan berupa tegangan, arus, daya, dan energi listrik, kemudian data diproses oleh ESP32, ditampilkan pada OLED, dan dikirimkan ke platform IoT sehingga dapat dipantau melalui smartphone maupun komputer. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh komponen berhasil diintegrasikan dan sistem mampu menjalankan fungsi monitoring serta pengendalian secara bersamaan. Sistem juga mampu menyajikan data kondisi panel surya secara cepat, akurat, dan *real-time*, sehingga memudahkan pemantauan serta mendukung evaluasi kinerja panel surya baik secara lokal maupun jarak jauh.

Kata Kunci— ESP32; Internet of Things (IoT); pemantauan panel surya; PZEM-004T; solar tracker.

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk, perkembangan teknologi, serta aktivitas industri dan rumah tangga yang semakin tinggi, sehingga konsumsi listrik terus bertambah [1]. Di sisi lain, penggunaan energi fosil menghadapi keterbatasan sumber daya dan menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, sehingga diperlukan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan [2]. Salah satu sumber energi terbarukan yang berpotensi besar adalah energi surya. Indonesia yang berada di wilayah tropis memiliki intensitas penyinaran matahari yang tinggi sepanjang tahun, sehingga sangat mendukung pemanfaatan teknologi panel surya atau photovoltaic (PV) [3].

Panel surya mampu mengubah energi matahari menjadi energi listrik serta mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan emisi gas rumah kaca [2]. Namun, kinerjanya dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari, suhu, cuaca, dan beban yang digunakan. Untuk mengoptimalkan penyerapan cahaya, digunakan solar tracker, yaitu sistem

yang mengarahkan panel surya agar mengikuti posisi matahari sehingga energi listrik yang dihasilkan lebih optimal dibandingkan panel tetap (*fixed-tilt*) [11].

Mikrokontroler ESP32 dipilih karena memiliki komunikasi WiFi, kemampuan pemrosesan data yang baik, dan kompatibel dengan berbagai sensor [5]. Data tegangan, arus, daya, dan energi listrik diproses oleh ESP32 lalu dikirim ke platform IoT untuk dimonitor secara real-time. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem monitoring dan pengendalian panel surya berbasis IoT menggunakan ESP32, dengan solar tracker berbasis sensor LDR dan motor servo untuk mengoptimalkan penyerapan energi matahari.

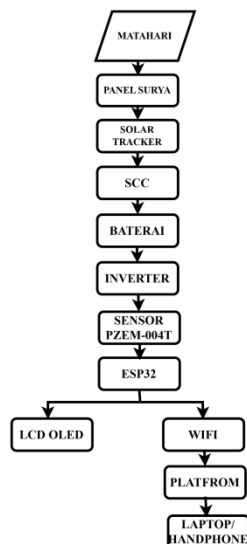
II. METODE PENELITIAN

A. Metode

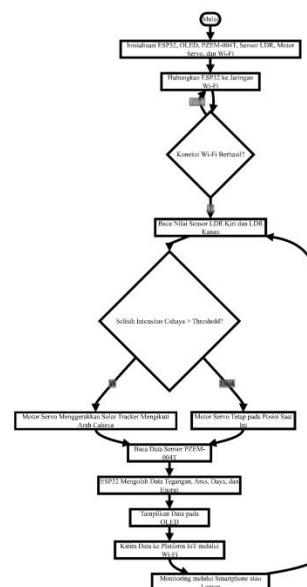
Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) untuk mengembangkan dan menguji sistem hingga berfungsi sesuai kebutuhan [10]. Produk yang dikembangkan berupa sistem monitoring panel surya berbasis IoT menggunakan ESP32 sebagai pengendali utama dan sensor PZEM-004T untuk mengukur parameter kelistrikan panel surya [8]. Penelitian diawali dengan studi literatur untuk memahami teori mengenai PLTS, Internet of Things (IoT), sensor PZEM-004T, dan sistem monitoring energi listrik. Kajian dari berbagai referensi ilmiah digunakan sebagai dasar dalam perancangan sistem monitoring yang dikembangkan.

Panel surya menghasilkan energi listrik DC yang dialirkan ke *Solar Charge Controller* (SCC) untuk mengatur pengisian baterai. Energi dari baterai kemudian digunakan untuk inverter dan beban listrik. Parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, daya, dan energi diukur menggunakan sensor PZEM-004T [7][9]. Data dari sensor dikirim ke ESP32 melalui komunikasi serial TTL untuk diolah, ditampilkan pada layar OLED, dan dikirim ke platform IoT melalui Wi-Fi sehingga kondisi panel surya dapat dipantau secara *real-time* melalui smartphone atau komputer [4][6]. Sistem ini diharapkan mampu menyediakan monitoring yang cepat, akurat, dan efisien tanpa pengguna harus berada di lokasi pemasangan.

B. Gambar



Gambar 1 Diagram Blok Sistem



Gambar 2 Flowchart Sistem

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem monitoring dan pengendalian panel surya berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali. Sistem memiliki dua fungsi utama, yaitu mengendalikan pergerakan panel surya secara otomatis menggunakan solar tracker serta memantau parameter kelistrikan secara real-time melalui sensor PZEM-004T.

Sistem terdiri dari panel surya, solar tracker (sensor LDR dan motor servo), sensor PZEM-004T, mikrokontroler ESP32, layar OLED, dan jaringan Wi-Fi. ESP32 mengolah data intensitas cahaya dari sensor LDR untuk menggerakkan motor servo sehingga panel mengikuti arah datangnya cahaya. Selanjutnya, sensor PZEM-004T mengukur tegangan, arus, daya, dan energi listrik.

Data hasil pengukuran diproses oleh ESP32, ditampilkan pada layar OLED, serta dikirim ke platform IoT melalui Wi-Fi sehingga dapat dipantau menggunakan smartphone atau komputer. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem mampu menjalankan fungsi pengendalian dan monitoring secara bersamaan, sehingga pemantauan kondisi panel surya dapat dilakukan secara lokal maupun jarak jauh secara *real-time*.

A. Hasil perakitan keseluruhan alat

Hasil realisasi menunjukkan seluruh komponen berhasil diintegrasikan menjadi sistem monitoring dan pengendalian panel surya berbasis IoT yang berfungsi dengan baik. Sistem menggunakan ESP32 sebagai pengendali utama, solar tracker, sensor PZEM-004T, dan layar OLED, serta mampu menampilkan dan mengirimkan data kondisi panel surya secara *real-time* melalui Wi-Fi sehingga dapat dipantau menggunakan smartphone maupun komputer.



Gambar 1. Hasil Perakitan Alat Keseluruhan.

Tabel 1 Hasil Pengujian Keseluruhan

No	Pengujian	Hasil	Keterangan
1	Solar	Berhasil	Panel mengikuti cahaya
2	PZEM	Berhasil	Memonitoring
3	OLED	Berhasil	Data tampil
4	WIFI	Berhasil	Stabil
5	IOT	Berhasil	<i>Real-time</i>

B. Panel surya

Panel surya berfungsi sebagai sumber energi listrik yang mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Pada penelitian ini, panel dipasang pada solar tracker sehingga dapat mengikuti arah datangnya cahaya matahari untuk mengoptimalkan penyerapan energi.



Gambar 2. Panel Surya

C. Solar Tracker

Solar tracker berfungsi mengatur posisi panel surya secara otomatis mengikuti arah dengan intensitas cahaya yang lebih tinggi menggunakan dua sensor LDR yang dikendalikan oleh ESP32. Sistem menggerakkan motor servo hingga posisi panel sesuai dengan arah cahaya, sehingga penerimaan sinar matahari dapat lebih optimal.



Gambar 3. Solar Tracker

Tabel 2 Hasil Pengujian Solar Trakcker

No	Nilai Ldr atas	Nilai Ldr bawah	Selisih	Gerakan servo	Status
1	3250	2180	1070	Naik	berhasil
2	3025	2415	610	Naik	berhasil
3	27060	2725	35	Diam	berhasil
4	2430	2915	485	Turun	berhasil
5	2195	3340	1145	Turun	berhasil
6	2885	2860	25	Diam	berhasil
7	3150	2505	645	Naik	berhasil
8	3150	2505	645	Naik	berhasil

D. SCC (Solar Charge Controller)

Solar Charge Controller (SCC) berfungsi mengatur proses pengisian dan penyaluran energi dari panel surya ke baterai agar tetap aman dan optimal. Hasil implementasi menunjukkan bahwa SCC mampu mengelola penyimpanan energi pada baterai untuk selanjutnya digunakan dalam menyuplai inverter dan beban sesuai kebutuhan sistem.



Gambar 4. SCC (Solar Charge Controller)

E. Baterai

Baterai berfungsi menyimpan energi listrik yang dihasilkan panel surya dan diatur oleh *Solar Charge Controller* (SCC) untuk mencegah *overcharging* dan *deep discharging*. Baterai DC 12 Volt digunakan sebagai sumber daya inverter agar sistem tetap dapat beroperasi saat energi dari panel surya tidak mencukupi.



Gambar 5 Baterai

F. Inverter

Inverter berfungsi mengubah tegangan DC dari baterai menjadi tegangan AC 220 Volt untuk menyuplai beban. Keluaran inverter dipantau menggunakan sensor PZEM-004T yang mengukur tegangan, arus, daya, dan energi, kemudian datanya diproses ESP32, ditampilkan pada OLED, serta dikirim ke platform IoT melalui Wi-Fi. Hasil pengujian menunjukkan inverter menghasilkan tegangan AC yang stabil sehingga monitoring dapat dilakukan secara *real-time*.



Gambar 6 Inverter

G. ESP32

ESP32 berfungsi sebagai pusat pengendali sistem yang memproses data dari sensor PZEM-004T dan LDR. Berdasarkan data tersebut, ESP32 mengendalikan motor servo untuk menggerakkan panel surya, menampilkan hasil pengukuran pada layar OLED, serta mengirimkannya ke platform IoT melalui jaringan Wi-Fi.



Gambar 7 ESP32

Tabel 3 Pengujian Wifi

No	Jarak	Status
1	2m	Terhubung
2	5m	Terhubung
3	10m	Terhubung

H. Sensor PZEM-004T

Sensor PZEM-004T digunakan untuk mengukur parameter kelistrikan berupa tegangan, arus, daya, dan energi listrik secara *real-time*. Data hasil pengukuran dikirim ke ESP32 untuk diproses, ditampilkan pada layar OLED, dan dikirim ke platform IoT, sehingga proses monitoring dapat dilakukan secara otomatis.



Gambar 8 Sensor PZEM-004T

Tabel 4 Pengujian Sensor PZEM-004T

No	Pengujian	Multimeter	PZEM
1	Arus	0,01	0,01
2	Daya	23,0	23,0
3	Tegangan	220	220

Tabel 5 Hasil Pengujian Platform IoT

No	Sensor	Parameter	Hasil pembacaan	Tampilan platfrom	Keterangan
1	LDR	Itensitas cahaya	Terbaca	Tampil	Berhasil
2	PZEM	Tegangan	220 V	220 V	Sesuai
3	PZEM	Arus	0,01 A	0,01 A	Sesuai
4	PZEM	Daya	23,0 W	23,0 W	Sesuai

I. Layar OLED

Layar OLED berfungsi sebagai media monitoring lokal yang menampilkan data tegangan, arus, daya, dan energi listrik hasil pengukuran PZEM-004T, sehingga kondisi sistem dapat dipantau secara langsung tanpa menggunakan perangkat lain.



Gambar 9 Layar OLED

Tabel 6 Pengujian OLED

No	Parameter	Tampil	Keterangan
1	tegangan	ya	sesuai
2	arus	ya	sesuai
3	daya	ya	sesuai
4	energi	ya	sesuai

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian, penelitian ini berhasil mengembangkan sistem monitoring panel surya berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32. Sistem mengintegrasikan panel surya, sensor PZEM-004T, layar OLED, dan platform IoT sehingga mampu memantau parameter kelistrikan berupa tegangan, arus, daya, dan energi listrik secara *real-time*. Data hasil pengukuran berhasil diproses oleh ESP32, ditampilkan pada OLED, dan dikirim melalui jaringan Wi-Fi ke platform IoT.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem bekerja dengan baik dan stabil, sehingga mampu menyajikan informasi kondisi panel surya secara cepat, akurat, dan berkelanjutan. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan telah memenuhi tujuan penelitian serta memberikan kemudahan dalam pemantauan dan evaluasi kinerja panel surya secara lokal maupun jarak jauh dibandingkan metode pemantauan manual.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Afif and A. Martin, "Tinjauan potensi dan kebijakan energi surya di Indonesia," *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, vol. 6, no. 1, pp. 43–52, 2022, doi: 10.30588/jeemm.v6i1.997.
- [2] Ferdyson and J. Windarta, "Overview pemanfaatan dan perkembangan sumber daya energi surya sebagai energi terbarukan di Indonesia," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 2023. [Online]. Available: <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/jebt/article/view/15714>
- [3] Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, "Proyeksi potensi energi surya sebagai energi terbarukan (Studi wilayah Ambon dan sekitarnya)," *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 2009. [Online]. Available: <https://jmg.bmkg.go.id/jmg/index.php/jmg/article/view/30>
- [4] A. Kharisma, S. Pinandita, and A. E. Jayanti, "Literature Review: Kajian Potensi Energi Surya Alternatif Energi Listrik," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 5, no. 2, pp. 145–154, 2024, doi: 10.14710/jebt.2024.23956.

-
- [5] H. Andrianto, Y. Susanthi, and V. Jonathan, "Platform Sistem Pemantauan Penggunaan Energi Listrik Berbasis IoT," *Techné: Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, vol. 23, no. 2, pp. 199–212, 2024, doi: 10.31358/techne.v23i2.422.
 - [6] S. Khaeri et al., "Rancang Bangun Sistem Monitoring Energi Listrik Berbasis IoT untuk Pemantauan dan Analisis Konsumsi Daya," *Jurnal Mahasiswa Teknik Elektro (JMTE)*, vol. 3, no. 1, 2026.
 - [7] M. Mulawarman, N. R. Alham, N. Izzah, M. N. Ihsan, and M. Sugianto, "Analisis Efisiensi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya sebagai Sumber Energi Baru Terbarukan," *Jurnal Rekayasa Tropis, Teknologi, dan Inovasi (RETROTEKIN)*, vol. 1, no. 1, 2023, doi: 10.30872/retrotekin.v1i1.919.
 - [8] F. Mubina and G. Firasanto, "Pemantauan dan pengendalian pemakaian energi listrik berbasis Internet of Things (IoT)," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 11, no. 4, 2023, doi: 10.23960/jitet.v11i4.3248.
 - [9] Y. Karunia, E. E. Prasetyo, and G. Marausna, "Pemanfaatan intensitas cahaya pada panel surya 200 WP untuk pembangkit listrik," *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, vol. 8, no. 1, 2022, doi: 10.56521/teknika.v8i1.429.
 - [10] R. Ananda and M. Fadhli, "Pengembangan produk menggunakan metode Research and Development (R&D)," *Jurnal Pendidikan dan Teknologi*, vol. 6, no. 2, 2022.
 - [11] N. Kuttybay et al., "Assessment of solar tracking systems: A comprehensive review," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 68, Art. no. 103879, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.seta.2024.103879.