

Sistem Monitoring Tegangan, Arus dan Daya pada Panel Surya Tracking untuk Pengisian Baterai Berbasis IoT Menggunakan ESP32

Wahyu Tri Wahono^{1*}, Anindya Dwi Risdhayanti², Herwandi³, Adi Candra Kusuma⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Jalan Soekarno Hatta No.9 Malang, Indonesia

*Penulis Korespondensi, e-mail: wahyu_tri@polinema.ac.id

Received: 20/04/2026

Revised: 21/05/2026

Accepted: 21/05/2026

ABSTRAK

Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar sebagai alternatif penyedia energi bersih. Optimalisasi pemanfaatan panel surya memerlukan sistem monitoring yang mampu memantau parameter kelistrikan dan kondisi panel secara real-time sehingga proses pengisian baterai dapat berlangsung secara efisien. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring panel surya *tracking* berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32. Sistem yang dikembangkan memantau tegangan, arus, daya, suhu panel surya, suhu baterai, arah hadap panel, serta status pengisian baterai menggunakan sensor INA219, sensor NTC thermistor, modul RTC, LCD, dan aplikasi Virtuino melalui jaringan Wi-Fi. Metode penelitian meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, integrasi sensor dengan ESP32, serta pengujian akurasi melalui perbandingan hasil pengukuran sensor dengan multimeter digital. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor INA219 memiliki rata-rata galat sebesar 0,50% untuk tegangan dan 1,50% untuk arus. Sistem monitoring menghasilkan rata-rata galat sebesar 0,146% untuk tegangan, 2,80% untuk arus, dan 2,99% untuk daya. Sistem mampu menampilkan data secara real-time pada LCD serta mengirimkan informasi ke aplikasi Virtuino melalui Wi-Fi, sehingga layak diterapkan sebagai sistem monitoring panel surya dan baterai berbasis IoT.

Kata Kunci: Energi Surya, IoT, ESP32, Monitoring, Virtuino

ABSTRACT

Solar energy is a renewable energy source with significant potential as an alternative for clean energy generation. Optimizing the utilization of solar panels requires a monitoring system capable of observing electrical parameters and panel conditions in real time to ensure an efficient battery charging process. This study aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based monitoring system for a solar tracking panel using an ESP32 microcontroller. The proposed system monitors voltage, current, power, solar panel temperature, battery temperature, panel orientation, and battery charging status using INA219 sensors, NTC thermistors, an RTC module, an LCD, and the Virtuino application for remote monitoring via a Wi-Fi network. The research methodology includes hardware and software design, sensor integration with the ESP32, and system accuracy evaluation by comparing sensor measurements with those obtained from a digital multimeter. Experimental results show that the INA219 sensor achieved average measurement errors of 0.50% for voltage and 1.50% for current. Furthermore, the monitoring system recorded average errors of 0.146% for voltage, 2.80% for current, and 2.99% for power. The system successfully displays real-time monitoring data on an LCD and transmits the information to the Virtuino application via Wi-Fi, demonstrating satisfactory accuracy for IoT-based solar panel and battery monitoring applications.

Keywords: Solar Panel, IoT, ESP32, Monitoring, Virtuino

1. PENDAHULUAN

Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang terus dikembangkan sebagai alternatif penghasil energi listrik yang ramah lingkungan. Pemanfaatannya semakin luas, mulai dari skala rumah tangga hingga industri, karena mampu mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil. Meskipun demikian, keluaran daya panel surya tidak selalu konstan. Intensitas penyinaran matahari, suhu panel, orientasi panel terhadap matahari, serta kondisi baterai penyimpanan menjadi beberapa faktor yang memengaruhi performa sistem. Oleh sebab itu,

p-ISSN: 2356-0533; e-ISSN: 2355-9195



9 772356 053009

diperlukan sistem monitoring yang dapat menyajikan informasi kondisi panel surya dan baterai secara real-time sehingga proses pengoperasian maupun pemeliharaan dapat dilakukan dengan lebih efektif.

Beberapa penelitian telah mengembangkan sistem monitoring panel surya dengan pendekatan yang berbeda. Sistem monitoring berbasis ATmega328 yang dilengkapi RTC dan media penyimpanan microSD telah digunakan untuk merekam data tegangan, arus, dan suhu panel surya secara berkala [1]. Pengendalian proses pengisian baterai menggunakan konverter DC-DC juga telah diterapkan untuk menjaga baterai tetap bekerja pada batas tegangan yang aman [2]. Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) kemudian mendorong pemanfaatan NodeMCU dan ESP32 sebagai media pengiriman data monitoring ke platform berbasis web maupun aplikasi bergerak, seperti Firebase dan Blynk [3], [5], [7], [10]. Penelitian lain memanfaatkan sistem pelacak matahari (*solar tracking*) untuk meningkatkan penerimaan energi surya dibandingkan panel statis [6], [8], sedangkan beberapa penelitian berfokus pada pemantauan proses pengisian dan kondisi baterai menggunakan berbagai metode pengukuran [9], [11]. Selain itu, monitoring parameter panel surya menggunakan Arduino Uno juga telah dilakukan dengan mengukur tegangan, arus, suhu, dan radiasi matahari secara real-time.

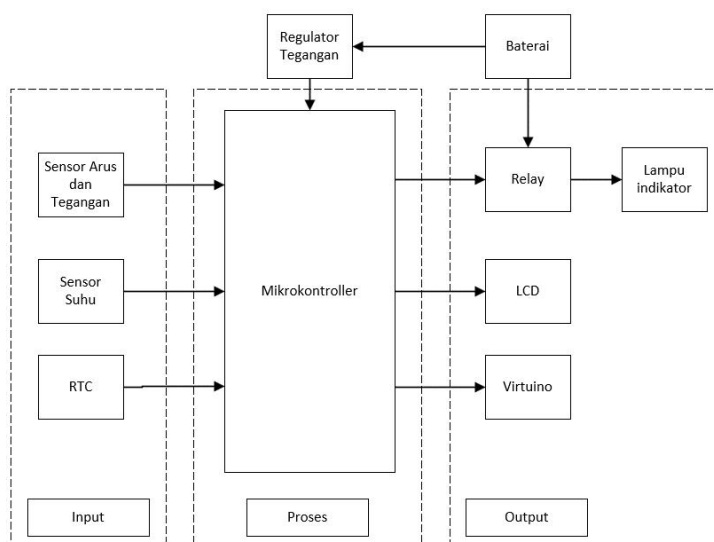
Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa sistem monitoring panel surya telah berkembang cukup pesat. Akan tetapi, sebagian besar penelitian masih memusatkan perhatian pada parameter tertentu, misalnya hanya memantau parameter kelistrikan panel surya atau kondisi baterai saja. Integrasi berbagai parameter penting, seperti tegangan, arus, daya, suhu panel, suhu baterai, arah hadap panel, dan status pengisian baterai dalam satu sistem monitoring masih belum banyak dijumpai. Di samping itu, tidak semua penelitian menyediakan fasilitas monitoring secara lokal sekaligus jarak jauh dalam satu platform sehingga informasi yang diterima pengguna belum sepenuhnya menggambarkan kondisi sistem secara menyeluruh.

Penelitian ini mengembangkan sistem monitoring parameter panel surya *tracking* berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32. Sistem dirancang dengan mengintegrasikan sensor INA219 untuk mengukur tegangan, arus, dan daya, sensor NTC thermistor untuk memantau suhu panel surya dan baterai, modul RTC sebagai penunjuk waktu, LCD sebagai media tampilan lokal, serta aplikasi Virtuino sebagai media monitoring jarak jauh melalui jaringan Wi-Fi. Seluruh parameter tersebut dipantau secara real-time sehingga pengguna dapat memperoleh informasi kondisi panel surya dan baterai dalam satu sistem yang terintegrasi. Tujuan penelitian ini adalah merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi sistem monitoring parameter panel surya *tracking* berbasis IoT menggunakan ESP32. Sistem yang dikembangkan diharapkan mampu memberikan hasil pengukuran yang akurat, mempermudah proses pemantauan panel surya dan baterai secara real-time, serta mendukung evaluasi kinerja sistem pembangkit listrik tenaga surya.

2. METODE PENELITIAN

Pembuatan sistem monitoring parameter panel surya berbasis IoT ini bertujuan untuk memantau kondisi panel dan baterai secara real-time sehingga proses pengisian daya dapat berjalan aman dan efisien. Sistem ini menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler utama yang terhubung dengan dua sensor INA219 untuk membaca arus dan tegangan baik dari panel maupun baterai, serta dua sensor suhu NTC thermistor untuk memantau suhu panel dan baterai. Modul RTC DS3231 dipasang untuk memberikan informasi waktu yang presisi, sedangkan LCD I2C 20x4 berfungsi menampilkan data secara lokal. Sebagai indikator tambahan, digunakan tiga lampu LED pilot 24 V yang dikendalikan melalui relay dan optocoupler untuk menandai kondisi suhu dan status pengisian baterai. Data hasil pemantauan juga dikirimkan secara nirkabel melalui jaringan Wi-Fi ke aplikasi Virtuino, sehingga pengguna dapat mengakses informasi dari perangkat seluler. Untuk menyesuaikan tegangan kerja komponen, sistem ditopang oleh baterai LiFePO₄ 24 V yang kemudian diturunkan menggunakan modul DC-DC Buck Converter berbasis LM2596 agar sesuai dengan kebutuhan ESP32, sensor, dan rangkaian pendukung lainnya.





Gambar 1. Blok Diagram

2.1 Diagram Blok Sistem

Blok diagram pada gambar 1 secara umum terdiri dari tiga bagian utama yaitu blok input, proses, dan output. Masing-masing blok memiliki peran penting dalam menunjang fungsi sistem monitoring berbasis mikrokontroler. Data dari lingkungan dan sistem panel surya dibaca melalui sensor pada bagian input, kemudian diproses oleh mikrokontroler, dan hasilnya ditampilkan melalui berbagai media pada bagian output. Keseluruhan sistem bekerja dengan dukungan pasokan daya dari baterai melalui regulator tegangan agar tetap stabil.

Pada bagian input, sistem menerima data dari tiga komponen utama yaitu sensor daya, sensor suhu, dan modul real-time clock (RTC). Sensor arus dan tegangan yang digunakan merupakan modul INA219, yang dapat membaca nilai arus dan tegangan secara akurat melalui komunikasi I2C. Sensor suhu menggunakan NTC thermistor yang menghasilkan perubahan resistansi sesuai dengan suhu lingkungan, lalu dikonversi menjadi data suhu. Selain itu, RTC berfungsi memberikan referensi waktu pembacaan agar sistem dapat menampilkan data secara real-time dengan informasi waktu yang tepat, meskipun tidak dilengkapi dengan fitur pencatatan histori.

Blok proses dalam sistem ini dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32 DevKitC V1. Mikrokontroler ini berperan sebagai unit utama pemrosesan data, menerima input dari seluruh sensor, mengolahnya menjadi informasi suhu, arus, tegangan, serta daya listrik yang dihasilkan. Selain itu, ESP32 juga bertanggung jawab mengelola komunikasi data, baik ke media tampilan lokal maupun ke perangkat nirkabel melalui koneksi Wi-Fi. Sebagai sumber energi, mikrokontroler memperoleh pasokan daya dari baterai yang terlebih dahulu distabilkan oleh regulator tegangan agar sesuai dengan tegangan kerja ESP32.

Sementara itu, pada bagian output, sistem menampilkan hasil pemrosesan data melalui tiga komponen yaitu lampu indikator, LCD I2C, dan aplikasi Virtuino. Lampu indikator yang digunakan adalah LED pilot 24V untuk memberikan informasi visual sederhana, seperti status aktif atau tidaknya sistem yang mana lampu ini dikendalikan oleh relay 5V. LCD I2C 20x4 digunakan untuk menampilkan data suhu, arus, tegangan, dan daya secara lokal dalam format teks yang mudah dibaca. Selain itu, sistem juga mengirimkan data yang sama secara real-time ke aplikasi Virtuino melalui jaringan Wi-Fi lokal. Dengan aplikasi ini, pengguna dapat memantau performa panel surya dan baterai melalui perangkat seluler secara cepat dan fleksibel.

2.2 Prinsip Kerja

Prinsip kerja sistem dimulai ketika ESP32 melakukan inisialisasi seluruh komponen, meliputi sensor INA219, sensor suhu NTC, modul RTC, LCD I2C, relay, dan koneksi Wi-Fi. Selanjutnya, ESP32 membaca nilai tegangan, arus, dan suhu pada panel surya serta baterai. Data tegangan dan arus digunakan untuk menghitung daya, sedangkan RTC menyediakan informasi waktu sehingga seluruh parameter dapat dipantau secara real-time. Setelah data



diproses, ESP32 mengevaluasi kondisi sistem berdasarkan batas yang telah ditentukan, seperti suhu panel, suhu baterai, dan status pengisian baterai. Hasil monitoring kemudian ditampilkan pada LCD I2C sebagai tampilan lokal dan dikirim melalui jaringan Wi-Fi ke aplikasi Virtuino sehingga pengguna dapat memantau kondisi panel surya dan baterai secara real-time melalui smartphone. Seluruh proses berlangsung secara terus-menerus selama sistem aktif.

2.3 Perancangan Mekanik

Perancangan mekanik dalam sistem monitoring panel surya ini difokuskan pada pembuatan dan pengaturan tata letak fisik dari komponen-komponen utama seperti panel surya, aktuator linear, sensor, box kontrol, serta perangkat pendukung lainnya. Tujuan dari perancangan ini adalah untuk memastikan semua komponen dapat terpasang dengan aman, terlindungi dari cuaca luar ruang, serta memiliki tata letak yang mendukung kinerja sistem secara keseluruhan, baik dari sisi pembacaan data maupun efisiensi aliran daya. Struktur utama sistem ini terdiri dari rangka penyangga panel surya satu axis, yang memungkinkan gerakan horizontal mengikuti arah pergerakan matahari dari timur ke barat. Pergerakan ini dikendalikan oleh aktuator linear, yang akan mengubah posisi panel berdasarkan sinyal dari sistem penggerak. Panel surya dipasang secara kokoh pada dudukan berbahan logam yang dirancang dengan kemiringan optimal terhadap permukaan tanah untuk memaksimalkan penyerapan cahaya matahari. Dimensi dudukan disesuaikan agar tetap stabil namun tetap mudah untuk dibongkar pasang saat pengujian maupun perawatan.



Gambar 2. Desain Mekanik Alat

2.4 Perancangan Software

Berdasarkan flowchart pada Gambar 3, perangkat lunak sistem monitoring panel surya berbasis ESP32 dirancang untuk mengakuisisi data sensor, mengolah informasi, melakukan pengambilan keputusan berdasarkan kondisi sistem, serta menampilkan hasil monitoring secara *real-time*. Program diawali dengan proses inialisasi

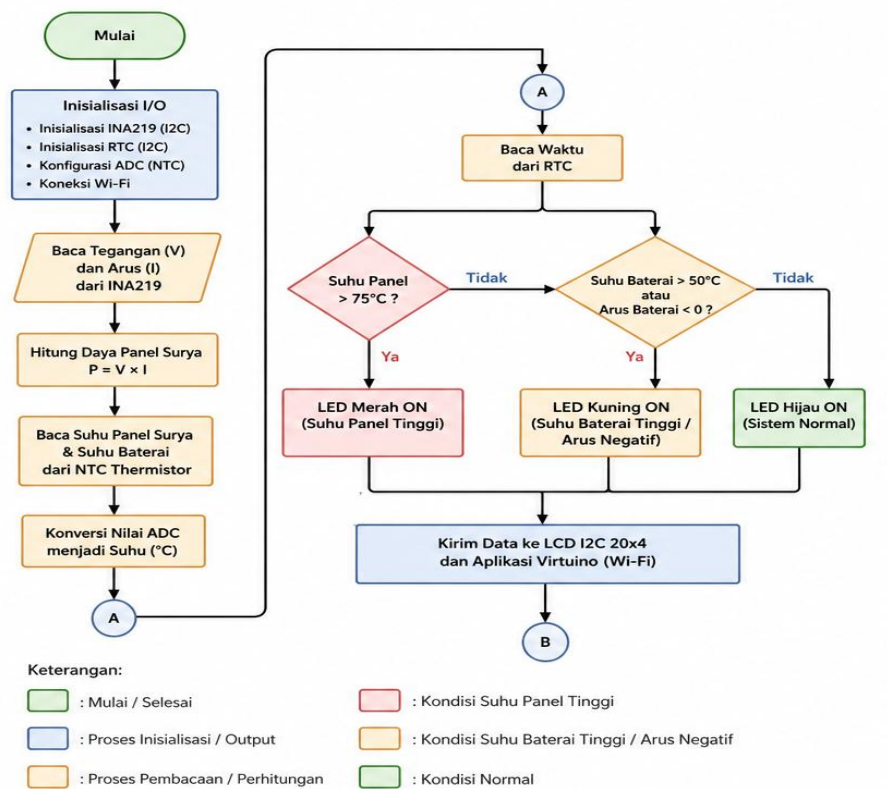


seluruh perangkat, meliputi konfigurasi komunikasi I²C untuk sensor INA219 dan modul RTC DS3231, konfigurasi ADC untuk sensor suhu NTC, serta koneksi jaringan Wi-Fi agar sistem dapat berkomunikasi dengan aplikasi Virtuino.

Setelah proses inisialisasi selesai, ESP32 membaca nilai tegangan dan arus dari sensor INA219 untuk memperoleh informasi parameter kelistrikan panel surya. Berdasarkan data tersebut, sistem menghitung nilai daya sebagai salah satu parameter yang digunakan dalam proses monitoring. Selanjutnya, ESP32 membaca suhu panel surya dan suhu baterai menggunakan sensor NTC thermistor, kemudian mengonversi hasil pembacaan sensor menjadi nilai suhu dalam satuan derajat Celsius. Informasi waktu diperoleh dari modul RTC sebagai penanda waktu pada setiap proses pengambilan dan pencatatan data monitoring.

Tahap berikutnya adalah proses pengambilan keputusan berdasarkan ambang batas yang telah ditentukan. Apabila suhu panel surya melebihi **75°C**, sistem mengaktifkan LED merah sebagai indikator suhu panel tinggi. Jika suhu panel berada dalam kondisi normal, sistem mengevaluasi kondisi baterai. Apabila suhu baterai melebihi **50°C** atau arus baterai bernilai negatif (*discharging*), LED kuning akan menyala sebagai indikator peringatan. Sebaliknya, apabila seluruh parameter berada dalam kondisi normal, LED hijau diaktifkan sebagai penanda bahwa sistem beroperasi dengan baik.

Seluruh data hasil pembacaan sensor, perhitungan daya, status indikator, serta informasi waktu kemudian ditampilkan pada LCD dan dikirimkan ke aplikasi Virtuino melalui jaringan Wi-Fi. Proses tersebut berlangsung secara berulang (*loop*) selama sistem aktif sehingga kondisi panel surya dan baterai dapat dipantau secara kontinu dan *real-time*.



Gambar 3. Flowchart Sistem

3. HASIL DAN PEMBAHASAN



Pengujian sistem monitoring parameter panel surya dilakukan untuk memastikan setiap komponen berfungsi sesuai rancangan serta menghasilkan data yang akurat. Pada tahap awal, pengujian sensor daya INA219 menunjukkan bahwa pembacaan arus dan tegangan relatif mendekati hasil pengukuran menggunakan alat ukur standar. Hal ini membuktikan bahwa sensor mampu bekerja dengan baik dalam mendeteksi perubahan nilai arus dan tegangan yang dihasilkan panel surya maupun baterai. Perbedaan kecil yang ditemukan masih dalam batas toleransi, sehingga tidak memengaruhi keandalan sistem secara keseluruhan.

3.1 Pengujian Pembacaan Sensor INA219

Pengujian sensor daya INA219 dilakukan untuk mengevaluasi kemampuannya dalam membaca nilai tegangan, arus, dan daya pada rangkaian monitoring secara akurat. Sebelum digunakan dalam sistem utama, sensor diuji secara terpisah dengan sumber dan beban yang dikendalikan untuk memastikan keandalan pembacaan. Dalam pengujian ini, digunakan resistor keramik sebagai beban tetap, yang mampu memberikan arus konstan berdasarkan tegangan sumber.

Tabel I Hasil Pengujian Sensor INA219

Beban (Ω)	PSU	Tegangan (V)			Arus (A)		
		Sensor	Multimeter	Error (%)	Sensor	Multimeter	Error (%)
5	9V	8,77	8,89	1,3	1,53	1,56	1,92
	12V	12,00	12,05	0,4	2,39	2,42	1,23
	24V	23,96	23,98	0,08	4,76	4,79	0,62
10	9V	8,89	8,99	1,1	0,95	0,92	3,15
	12V	11,37	11,44	0,6	1,14	1,19	4,20
	24V	23,96	24,00	0,1	2,38	2,39	0,41
20	9V	9,19	9,25	0,6	0,49	0,48	2,03
	12V	12,00	12,05	0,4	0,63	0,63	0
	24V	24,00	24,00	0	1,19	1,19	0
Rata – Rata Error (%)				0,50			1,50

Hasil pengujian sensor INA219 dengan variasi beban 5 Ω , 10 Ω , dan 20 Ω pada tegangan 9 V, 12 V, dan 24 V menunjukkan bahwa nilai pembacaan sensor mendekati hasil multimeter dengan selisih yang kecil. Rata-rata error pengukuran tegangan hanya sebesar 0,50%, sedangkan error arus sebesar 1,50%, di mana nilai terbesar tercatat saat pengujian beban 10 Ω dengan tegangan 12 V yaitu 4,2%. Meskipun demikian, keseluruhan hasil masih berada dalam batas toleransi pengukuran di bawah 5%, sehingga dapat disimpulkan bahwa sensor INA219 memiliki akurasi yang baik dan layak digunakan untuk sistem monitoring panel surya berbasis IoT.

3.2 Pengujian Monitoring Panel Surya dan Baterai

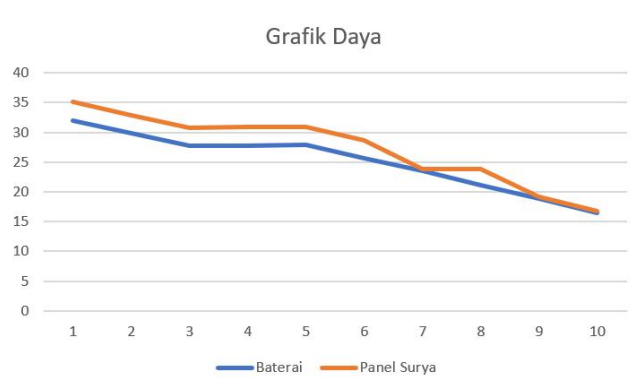
Pemantauan proses pengisian baterai untuk memastikan bahwa seluruh rangkaian bekerja sesuai rancangan. Sumber energi diperoleh dari panel surya berkapasitas 100 Wp dengan tegangan keluaran sekitar 24 V. Baterai yang digunakan berjenis LiFePO₄ dengan tegangan nominal 24 V dan kapasitas 30 Ah.

Tabel II. Hasil monitoring

Data	Tegangan (V)			Arus (A)			Daya (Watt)		
	Sensor	Multimeter	Error (%)	Sensor	Multimeter	Error (%)	Sensor	Multimeter	Error (%)
Baterai	22,9	22,92	0,087	1,4	1,42	1,40	32,0	32,54	1,65
	23,0	23,01	0,043	1,3	1,33	2,25	29,9	30,60	2,28
	23,1	23,16	0,259	1,2	1,25	4	27,7	28,95	4,31
	23,2	23,26	0,257	1,2	1,23	2,43	27,8	28,72	3,20
	23,3	23,35	0,214	1,2	1,26	4,76	27,9	29,42	5,16
	23,4	23,44	0,170	1,1	1,15	4,34	25,7	26,95	4,63
	23,5	23,51	0,042	1,0	1,02	1,96	23,5	23,98	2,00
	23,5	23,53	0,127	0,9	0,97	7,21	21,1	22,82	7,53

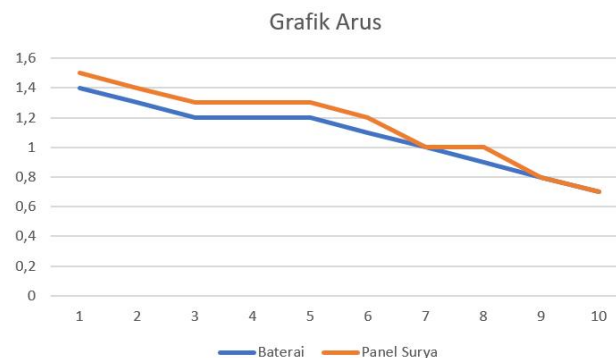


	23,6	23,67	0,295	0,8	0,80	0	18,8	18,67	0,69
	23,6	23,60	0	0,7	0,72	2,77	16,5	16,99	2,88
Panel	23,5	23,50	0	1,5	1,55	3,22	35,2	36,42	3,34
Surya	23,5	23,52	0,085	1,4	1,43	2,09	32,9	33,63	2,17
	23,7	23,75	0,210	1,3	1,32	1,51	30,8	31,35	1,75
	23,8	23,84	0,167	1,3	1,34	2,98	30,9	31,94	3,25
	23,8	23,87	0,293	1,3	1,32	1,51	30,9	31,50	1,90
	23,9	23,93	0,125	1,2	1,25	4	28,6	29,91	4,37
	23,9	23,96	0,250	1,0	1,02	1,96	23,9	24,43	2,16
	23,9	23,94	0,167	1,0	1,01	0,99	23,9	24,17	1,11
	23,9	23,94	0,167	0,8	0,82	2,43	19,1	19,63	2,69
	23,9	23,89	0,041	0,7	0,73	4,10	16,7	17,43	4,18
Rata – Rata Error (%)			0,146			2,80			2,99



Gambar 4. Grafik Daya pengisian Baterai

Berdasarkan hasil pengujian pada grafik daya, terlihat bahwa output daya panel surya dan baterai sama-sama mengalami penurunan seiring bertambahnya waktu pengukuran. Pada awal pengujian, daya panel surya berada di atas baterai dengan selisih sekitar 2 watt, menunjukkan bahwa sumber energi utama masih mampu menghasilkan daya lebih besar dibandingkan energi yang dilepaskan oleh baterai. Namun, penurunan daya panel surya cenderung lebih tajam akibat dipengaruhi oleh intensitas cahaya yang berfluktuasi, sedangkan penurunan daya baterai lebih stabil karena proses pelepasan energi berlangsung secara bertahap. Pada titik akhir pengukuran, kedua daya hampir seimbang di kisaran 16–17 watt, yang menunjukkan bahwa ketika suplai panel surya menurun, baterai mampu menjaga kontinuitas daya meskipun dengan nilai yang lebih rendah.

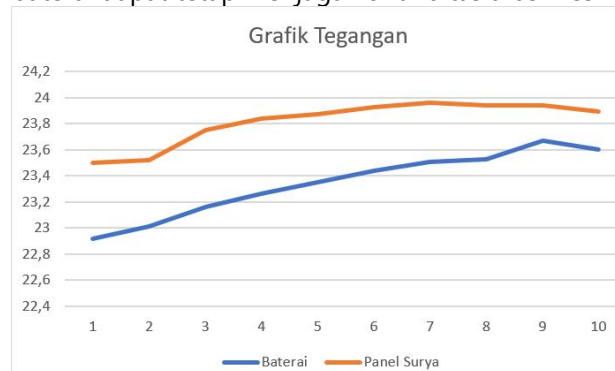


Gambar 5. Grafik Arus pengisian baterai

Berdasarkan grafik arus, dapat dilihat bahwa baik arus pada panel surya maupun baterai menunjukkan tren penurunan seiring bertambahnya waktu pengukuran. Pada awal pengujian, arus panel surya lebih tinggi dibandingkan baterai, yaitu sekitar 1,5 A berbanding 1,4 A, yang menunjukkan bahwa panel surya mampu



menghasilkan suplai arus lebih besar saat intensitas cahaya masih optimal. Seiring berjalannya waktu, nilai arus keduanya menurun dengan kecenderungan yang hampir seimbang, meskipun panel surya mengalami penurunan yang lebih tajam terutama pada titik ke-6 hingga ke-9. Pada akhir pengukuran, arus panel surya dan baterai hampir sama, sekitar 0,7 A, menandakan bahwa pada kondisi daya rendah, keluaran arus dari panel surya dan baterai cenderung seimbang sehingga baterai dapat tetap menjaga kontinuitas arus meskipun suplai dari panel menurun.



Gambar 5. Grafik Tegangan Pengisian Baterai

Berdasarkan grafik tegangan, terlihat bahwa nilai tegangan panel surya cenderung lebih tinggi dibandingkan baterai pada seluruh titik pengukuran. Tegangan panel surya mengalami kenaikan hingga mencapai nilai maksimum sekitar 24 V pada titik ke-7 sebelum sedikit menurun pada pengukuran selanjutnya, yang menunjukkan adanya pengaruh intensitas cahaya terhadap kestabilan output tegangan. Sementara itu, tegangan baterai meningkat secara bertahap dari sekitar 22,9 V hingga mendekati 23,7 V pada titik ke-9, menandakan proses pengisian yang berlangsung stabil. Secara teknis, hal ini menunjukkan bahwa panel surya mampu menjaga tegangan output relatif konstan dengan sedikit fluktuasi, sedangkan baterai menunjukkan tren peningkatan tegangan sebagai respon terhadap proses charging dari suplai energi panel surya.

3.3 Hasil Tampilan Aplikasi Virtuino

Pengujian sistem monitoring menggunakan aplikasi Virtuino dilakukan untuk memvisualisasikan data pembacaan sensor secara real-time melalui koneksi nirkabel antara ESP32 dan perangkat smartphone. Tampilan antarmuka Virtuino pada Gambar 4.5 dirancang agar setiap parameter penting dari sistem dapat dipantau secara jelas dan terstruktur.

Pada bagian atas, terdapat enam gauge meter yang dibagi menjadi dua kelompok. Tiga gauge di bagian atas digunakan untuk menampilkan parameter panel surya, yaitu gauge berwarna merah untuk tegangan, hijau untuk daya, dan biru untuk arus. Sementara itu, tiga gauge di bagian bawah digunakan untuk menampilkan parameter baterai dengan urutan warna dan fungsi yang sama, yaitu merah untuk tegangan, hijau untuk daya, dan biru untuk arus. Di sisi kiri tampilan terdapat sebuah slider yang menunjukkan suhu panel surya, sedangkan di sisi kanan terdapat slider untuk suhu baterai. Nilai suhu ini diperoleh dari sensor suhu yang dipasang pada masing-masing komponen. Pada bagian tengah atas, value display digunakan untuk menampilkan informasi waktu secara lengkap, meliputi tanggal dan jam, yang dibaca dari modul RTC DS3231.

Bagian bawah antarmuka menampilkan dua grafik monitoring. Grafik di bagian atas digunakan untuk merekam dan menampilkan perubahan nilai tegangan dan arus dari panel surya, sedangkan grafik di bagian bawah digunakan untuk menampilkan tegangan dan arus pada baterai.





Gambar 6. Tampilan Virtuino

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem monitoring parameter solar tracking panel untuk pengisian baterai berbasis IoT menggunakan ESP32, dapat disimpulkan bahwa sistem yang dibuat telah berfungsi dengan baik dalam memantau parameter panel surya dan baterai secara real-time. Parameter yang dimonitor meliputi tegangan, arus, daya, arah hadap panel, suhu panel surya, suhu baterai, serta status pengisian baterai. Data hasil monitoring dapat ditampilkan melalui LCD I2C yang terpasang di lokasi alat serta dikirimkan ke aplikasi Virtuino sehingga pengguna dapat memantau kondisi sistem dari jarak jauh melalui koneksi internet. Pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa sistem mampu membaca dan memperbarui nilai parameter sesuai perubahan kondisi lingkungan dan beban, sehingga mendukung analisis performa panel surya dalam proses pengisian baterai. Dengan demikian, seluruh rumusan masalah telah terjawab, mulai dari perancangan perangkat keras untuk monitoring parameter panel surya dan baterai, pengembangan perangkat lunak untuk pembacaan, pengolahan, dan pengiriman data ke platform IoT, hingga penampilan data monitoring baik secara lokal maupun jarak jauh. Hasil ini juga membuktikan bahwa tujuan penelitian, yaitu merancang dan merealisasikan sistem monitoring panel surya berbasis IoT yang handal dengan akurasi pengukuran sesuai kebutuhan serta kemudahan akses informasi bagi pengguna, telah tercapai sepenuhnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Suryawinata, D. Purwanti, and S. Sunardiyo, "Sistem Monitoring pada Panel Surya Menggunakan Data logger Berbasis ATmega 328 dan Real Time Clock DS1307," vol. 9, no. 1, 2017.
- [2] A. Ainuddin, S. Manjang, and F. A. Samman, "Sistem Pengendali Pengisian Baterai pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya," vol. 21, no. 02, pp. 16–24, 2017.
- [3] M. Mungkin, H. Satria, J. Yanti, G. B. A. Turnip, and S. Suwarno, "Perancangan Sistem Pemantauan Panel Surya Polycrystalline Menggunakan Teknologi Web Firebase Berbasis IoT," *INTECOMS J. Inf. Technol. Comput. Sci.*, vol. 3, no. 2, pp. 319–327, 2020, doi:



- 10.31539/intecom.v3i2.1861.
- [4] D. Pratama and A. Asnil, "Sistem Monitoring Panel Surya Secara Realtime Berbasis Arduino Uno," *MSI Trans. Educ.*, vol. 2, no. 1, pp. 19–32, 2021, doi: 10.46574/mted.v2i1.46.
- [5] khoerul ummah, "Sistem Monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTs) Berbasis Internet of Things," *Digit. Repos. Unila*, vol. 4, no. 8.5.2017, pp. 2003–2005, 2022.
- [6] A. I. Rizkianto, E. Endryansyah, B. Suprianto, and P. W. Rusimamto, "Rancang Bangun Sistem Kontrol Tracking Panel Surya Dengan Metode Fuzzy Logic Controller Berbasis ESP32," *J. Tek. Elektro*, vol. 11, no. 1, pp. 126–135, 2022, doi: 10.26740/jte.v11n1.p126-135.
- [7] D. Kurnia Setiawan, W. Widjonarko, and A. Firdaus, "Sistem Monitoring Panel Surya Berbasis Android Secara Real-Time," *J. FORTECH*, vol. 3, no. 1, pp. 7–16, 2022, doi: 10.56795/fortech.v3i1.102.
- [8] A. Effendi, F. Kusuma, A. M. N. Putra, S. Amalia, and A. Y. Dewi, "Study Pengisian Energi Ke Baterai Terhadap Output Energi Panel Surya Dengan Menggunakan Solar Tracker 4 Axis," vol. 2, no. 2, pp. 2–7, 2022.
- [9] R. Andari, S. Amalia, and C. D. Tinambunan, "Sistem monitoring pengisian baterai PLTS 100 Wp menggunakan sensor PZEM 004t dan sensor tegangan DC," vol. 22, pp. 28–38, 2022.
- [10] M. Radina and F. X. S. Arinto, "SISTEM KONTROL BEBAN DAN MONITORING DAYA BATERAI PADA PANEL SURYA 50WP UNTUK APLIKASI PENERANGAN BERBASIS INTERNET OF THINGS," vol. 10, no. 3, 2022.
- [11] M. S. Utomo and I. Nugrahanto, "Sistem Penyimpanan Energi Menggunakan Baterai Sel Sekunder Pada Photovoltaic," vol. 10, no. 9, 2023.

