JURNAL EDUNITRO
JURNAL PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO
HTTPS://JURNAL-EDUNITRO.JEDUNITRO.COM/EDUNITRO
E-ISSN 2776-284X
P-ISSN 2776-2920
Vol. 6, No. 2, October 2026

Sistem Monitoring Jalur DC dan Suhu PLTS 1.650 Wp Berbasis IoT dengan Dashboard Web (IoT-Based Monitoring of the DC Side and Temperature of a 1,650 Wp Solar PV System Using a Web Dashboard)

Mohammad Agung Saputra[1*], Abdurahman[2], Faraida Nafiri[3], Dwi Anie Gunastuti[4], dan Elfirza Rosalinda[5]
[1,2,3,4,5] Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang
[*]Corresponding author, e-mail: agungsatra18@gmail.com [1]

Received: October 8th, 2026. Revised: November 5th, 2026. Accepted: November 11th, 2026.
Available online: November 14th, 2026. Published: November 14th, 2026.

Abstract— This study developed and evaluated an Internet of Things (IoT) prototype for monitoring electrical and temperature parameters of a 1,650 Wp nominal-capacity photovoltaic (PV) power plant, with a web-based dashboard. The system combines a PZEM-017 sensor for DC parameters, an MLX90614 infrared sensor for panel surface and ambient-area temperature, an ESP32 microcontroller, an LCD, and MQTT communication to the IoTKita dashboard. Readings are shown locally on the LCD and can be accessed remotely through the dashboard. The system was tested over five days by comparing its readings against a reference instrument. Because time-resolved data were not included in the test documentation, the comparison was made on average values. The relative differences from the reference instrument were 0.00% for voltage, 2.65% for current, 2.21% for power, 1.55% for panel surface temperature, and 0.51% for ambient-area temperature. The system recorded a cumulative energy of 14.67 kWh during the test period. The 0.00% voltage difference arises because both averages round to 120.9 V, so it should not be read as a measure of precision. These results indicate only a preliminary agreement at the level of averages. Sample-by-sample accuracy and long-term reliability cannot be concluded until the DC measurement point, data collection dates, and communication logs have been verified.

Keywords: photovoltaic system; Internet of Things; PZEM-017; measurement accuracy; energy monitoring

Abstrak— Penelitian ini mengembangkan dan mengevaluasi prototipe sistem pemantauan parameter kelistrikan dan suhu pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berkapasitas nominal 1.650 Wp berbasis Internet of Things (IoT) dengan dashboard web. Sistem terdiri atas sensor PZEM-017 untuk parameter DC, sensor inframerah MLX90614 untuk suhu permukaan panel dan area sekitarnya, mikrokontroler ESP32, layar LCD, serta protokol MQTT yang mengirimkan data ke dashboard IoTKita. Hasil pembacaan dapat dilihat langsung pada LCD dan diakses dari jarak jauh melalui dashboard. Pengujian berlangsung selama lima hari dengan membandingkan pembacaan sistem terhadap instrumen pembanding. Karena data per waktu tidak tersedia dalam dokumen pengujian, perbandingan dilakukan pada nilai rata-rata. Selisih relatif terhadap instrumen pembanding adalah 0,00% untuk tegangan, 2,65% untuk arus, 2,21% untuk daya, 1,55% untuk suhu permukaan panel, dan 0,51% untuk suhu area. Sistem mencatat energi kumulatif sebesar 14,67 kWh selama periode pengujian. Selisih tegangan 0,00% muncul karena kedua nilai rata-rata dibulatkan menjadi 120,9 V, sehingga angka ini tidak dapat dipakai sebagai ukuran ketelitian. Hasil ini baru menunjukkan kedekatan awal pada tingkat rata-rata. Akurasi per sampel dan keandalan jangka panjang belum dapat disimpulkan sebelum titik ukur DC, tanggal pengambilan data, dan log komunikasi diverifikasi.

Kata kunci: PLTS; Internet of Things; PZEM-017; akurasi pengukuran; pemantauan energi

Copyright (c) 2026. Mohammad Agung Saputra, Abdurahman, Faraida Nafiri, Dwi Anie Gunastuti, & Elfirza Rosalinda.

I. PENDAHULUAN

Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) tidak cukup dinilai hanya dari kapasitas nominal panel. Tegangan, arus, daya, energi, dan suhu perlu diamati pada titik ukur yang jelas agar perubahan operasi dapat dibedakan dari perubahan lingkungan. Intensitas radiasi, suhu modul, orientasi, pengotoran, dan kondisi komponen listrik memengaruhi keluaran sistem fotovoltaik; faktor-faktor tersebut juga saling berinteraksi, sehingga pembacaan sesaat belum tentu mewakili kinerja sepanjang hari (Aslam dkk., 2022; Iturralde Carrera dkk., 2025; Sepúlveda-Oviedo, 2025a, 2025b; Sharma & Mishra, 2025). Suhu menjadi parameter penting karena temperatur sel yang meningkat umumnya menurunkan tegangan dan dapat mengurangi efisiensi konversi. Oleh sebab itu,

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

pemantauan suhu bersama parameter listrik dapat membantu menjelaskan perubahan keluaran, meskipun pemantauan saja tidak membuktikan sebab-akibat tanpa data radiasi dan kondisi operasi yang memadai (Shaker dkk., 2024).

Pemantauan berbasis Internet of Things (IoT) memberi peluang untuk mengumpulkan data secara berulang dan menampilkannya dari jarak jauh. Sistem yang dikembangkan pada penelitian terdahulu menggabungkan sensor, mikrokontroler, jaringan nirkabel, dan penyimpanan berbasis cloud untuk memantau parameter listrik maupun lingkungan pada PLTS (Abu Radia dkk., 2023; De Assis dkk., 2025; Khowarizmi & Setiyono, 2025; Nkinyam dkk., 2025; Rao dkk., 2025). Sistem berbasis ESP32 dan LoRa, misalnya, memperluas jangkauan akuisisi data, sedangkan integrasi data logger menyediakan rekaman yang dapat ditelaah setelah pengukuran berlangsung (De Assis dkk., 2025; Nkinyam dkk., 2025; Sefiani & Bouftane, 2022). Rancangan lain menggunakan sensor PZEM untuk mengevaluasi parameter listrik PLTS dan menilai penyimpangan terhadap instrumen pembanding, sehingga validasi pengukuran tetap menjadi bagian penting dari pengembangan sistem pemantauan (Wibowo dkk., 2024).

Studi terdahulu menunjukkan variasi tujuan implementasi. Suprayogi dkk. (2024) mengembangkan pemantauan PLTS terapung, Muzazanah dan Silaban (2025) memantau baterai surya, sedangkan Akhund dkk. (2024) dan Shweta dkk. (2022) mengkaji deteksi anomali atau gangguan. Dashboard memperluas akses data, tetapi tidak dengan sendirinya membuktikan ketepatan ukur atau keandalan komunikasi. Karena itu, waktu tunda, kehilangan paket, pemulihan koneksi, dan kalibrasi instrumen perlu diuji secara terpisah sebelum sistem dinyatakan andal untuk operasi jangka panjang.

Pembacaan suhu inframerah nonkontak dipengaruhi jarak, sudut pandang, emisivitas, ukuran bidang ukur, dan kondisi pengukuran. Literatur termometri inframerah menekankan bahwa prosedur penggunaan dan karakteristik objek memengaruhi hasil pembacaan (Mazdeyasna dkk., 2023; Yamada dkk., 2021). Studi sistem pemantauan dan pendinginan fotovoltaik juga menunjukkan relevansi suhu untuk pengembangan kendali, tetapi evaluasi suhu harus dibedakan dari evaluasi keberhasilan mekanisme pendinginan (Akrouch dkk., 2024; Azhari dkk., 2026; Sheik dkk., 2022; Winardi dkk., 2023). MQTT dan dashboard web dapat mendukung transmisi serta visualisasi data, namun tidak otomatis menjamin latensi atau tingkat keberhasilan pengiriman tertentu (Utomo & Izzaturrahmani, 2025).

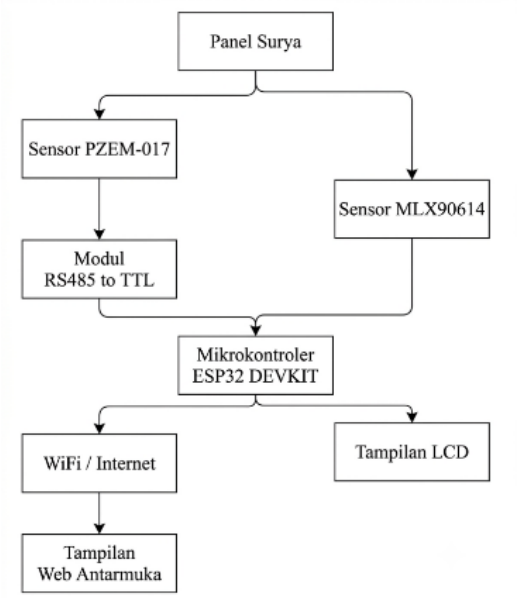
Penelitian tentang kendali rumah pintar dan dehumidifikasi berbasis mikrokontroler juga menunjukkan penerapan pemrosesan masukan sensor, logika kendali, dan antarmuka pengguna pada sistem embedded (Kilis & Mamahit, 2021; Mamahit dkk., 2023; Mamahit, 2026). Kajian tersebut digunakan sebagai konteks penerapan sistem elektronika tertanam, bukan sebagai pembanding langsung terhadap akurasi pengukuran PLTS. Berdasarkan penelitian terdahulu, kebutuhan yang masih perlu dijawab pada prototipe ini ialah seberapa dekat nilai rata-rata parameter DC dan suhu terhadap instrumen pembanding, bagaimana data lokal dan jarak jauh ditampilkan, serta sejauh mana temuan yang tersedia mendukung klaim kinerja. Kontribusi penelitian dibatasi pada integrasi sensor PZEM-017 dan MLX90614 dengan ESP32, LCD, dan dashboard web, serta evaluasi kuantitatif menggunakan angka ringkasan yang tercatat. Dua pertanyaan teknis menjadi arah analisis: bagaimana selisih pembacaan sistem terhadap nilai referensi untuk setiap parameter, dan fungsi pemantauan apa yang terbukti berjalan pada kondisi pengujian yang dilaporkan.

II. METODE

Penelitian menggunakan pendekatan rekayasa prototipe dan pengujian komparatif. Objeknya adalah sistem PLTS yang terdiri atas tiga modul surya berkapasitas nominal masing-masing 550 Wp, dengan kapasitas total 1.650 Wp. Perangkat pemantauan mengintegrasikan sensor PZEM-017 untuk parameter DC, sensor suhu inframerah MLX90614, mikrokontroler ESP32, antarmuka komunikasi RS-485–TTL, LCD 20×4 untuk parameter kelistrikan, serta LCD 16×2 untuk tampilan suhu. Data dikirim melalui jaringan Wi-Fi menggunakan protokol MQTT menuju dashboard IoTKita. Gambar 1 memperlihatkan diagram blok sistem; diagram ini menjelaskan aliran data, bukan skema rinci sambungan listrik seri/paralel modul atau posisi relatif semua komponen daya.

PZEM-017 ditempatkan pada jalur DC yang dipantau dan shunt dipasang pada jalur negatif yang dalam catatan rancangan dijelaskan sebagai jalur menuju beban. Dengan demikian, pembacaan energi dalam analisis ini diperlakukan sebagai energi kumulatif pada cabang ukur, bukan otomatis sebagai total energi yang dihasilkan seluruh array. Sensor MLX90614 diarahkan ke permukaan panel dengan jarak sekitar 5 cm, sedangkan termogun digunakan sebagai pembanding suhu. AVO meter digunakan untuk tegangan dan clamp meter untuk arus; model, rentang, resolusi, status kalibrasi, dan kemampuan spesifik alat pembanding untuk mengukur arus DC tidak dicantumkan dalam catatan yang tersedia.

Informasi tersebut perlu dilengkapi sebelum pengujian direplikasi.



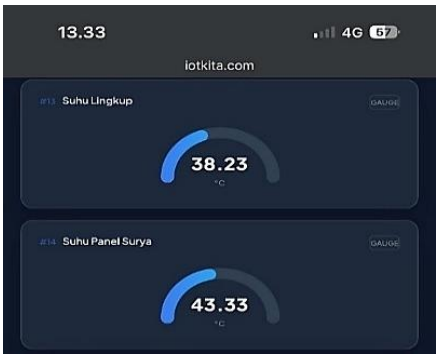
Gambar 1. Diagram blok sistem monitoring PLTS berbasis ESP32, sensor listrik, sensor suhu, dan dashboard web.

Pengujian dilaporkan berlangsung selama lima hari pada pukul 09.00–16.00 WIB, dengan rentang kalender 29 Juni–4 Juli 2026. Rentang kalender itu mencakup enam tanggal, sedangkan catatan yang tersedia tidak menyebutkan secara terperinci lima tanggal yang digunakan, interval sampling, jumlah sampel, maupun pencocokan waktu pembacaan sensor dan instrumen pembanding. Karena data mentah per waktu tidak disertakan, analisis kuantitatif dibatasi pada lima pasangan nilai rata-rata yang tercantum pada tabel ringkasan. Persentase selisih relatif dihitung menggunakan rumus $e = |Xs - Xr|/Xr \times 100\%$, dengan Xs sebagai nilai rata-rata sensor dan Xr sebagai nilai rata-rata instrumen referensi. Nilai ini bukan MAPE sampel-per-sampel. Tidak dilakukan perhitungan simpangan baku, error maksimum, latensi jaringan, kehilangan paket, atau uji pemulihan koneksi karena data yang diperlukan tidak tersedia. Fritzing diperlakukan sebagai alat bantu gambar rangkaian, bukan sebagai bukti empiris kinerja sensor atau komunikasi.

III. HASIL

Implementasi perangkat keras menyatukan sensor PZEM-017, MLX90614, ESP32, antarmuka komunikasi RS-485–TTL, dan display dalam satu sistem pemantauan. Alur akuisisi dimulai ketika sensor membaca parameter pada titik ukur, kemudian data diteruskan ke mikrokontroler untuk ditampilkan pada LCD atau dikirim ke dashboard. Gambar 1 memperlihatkan susunan fungsional tersebut. Karena konfigurasi lengkap panel, pengendali pengisian, baterai, dan inverter tidak dirinci pada dokumentasi yang tersedia, gambar ini tidak digunakan untuk menyimpulkan konfigurasi listrik array atau total energi yang dihasilkan oleh panel.

Tampilan lokal dibagi berdasarkan jenis data. LCD 20×4 digunakan untuk parameter listrik yang dibaca PZEM-017, sedangkan LCD 16×2 menampilkan suhu permukaan panel dan suhu area sekitar berdasarkan pembacaan MLX90614. Pembacaan lokal memberi akses langsung tanpa membuka dashboard. Sistem juga dirancang agar ESP32 mengirim data melalui Wi-Fi dan MQTT menuju platform IoTKita. Pada tampilan dashboard yang terdokumentasi, nilai suhu ditampilkan sebagai kartu numerik sehingga pengguna dapat membandingkan suhu permukaan dengan suhu lingkungan dalam satu layar. Gambar 2 menyajikan potongan antarmuka tersebut. Nilai pada tangkapan layar adalah pembacaan sesaat dan tidak dipakai sebagai pengganti pasangan data pada tabel validasi.



Gambar 2. Potongan dashboard IoTKita yang menampilkan pembacaan suhu area dan suhu panel pada saat tangkapan layar.

Tabel 1 memindahkan ringkasan numerik ke bagian hasil. Kolom selisih relatif dihitung ulang dari nilai rata-rata tercetak menggunakan rumus yang dijelaskan pada metode. Untuk tegangan, kedua nilai tercetak adalah 120,9 V sehingga perbedaan yang dapat dihitung dari angka pembulatan adalah 0,00%. Nilai tersebut tidak membuktikan bahwa seluruh pembacaan individual sama. Untuk arus, 4,15 A pada alat referensi dibandingkan dengan 4,04 A pada sensor menghasilkan selisih relatif sekitar 2,65%. Untuk daya, pasangan 437,9 W dan 428,2 W menghasilkan sekitar 2,21%.

Pada parameter suhu, nilai pembanding untuk permukaan panel adalah 45,2 °C, sedangkan MLX90614 mencatat 44,5 °C; selisih relatif dari kedua rata-rata tersebut sekitar 1,55%. Untuk suhu area, nilai pembanding 39,3 °C dan pembacaan sensor 39,1 °C menghasilkan selisih relatif sekitar 0,51%. Nilai-nilai ini menggambarkan perbedaan antar rata-rata yang ditampilkan, bukan distribusi

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

penyimpangan seluruh sampel. Ringkasan awal melaporkan nilai error yang berbeda, tetapi tanpa data individual nilai itu tidak dapat dihitung ulang atau diperiksa melalui statistik per sampel.

Tabel 1. Selisih relatif yang dihitung dari pasangan nilai rata-rata.

Parameter	Referensi	Sensor	Selisih (%)
Tegangan DC	120,9 V	120,9 V	0,00*
Arus DC	4,15 A	4,04 A	2,65
Daya	437,9 W	428,2 W	2,21
Suhu permukaan	45,2 °C	44,5 °C	1,55
Suhu area	39,3 °C	39,1 °C	0,51

Catatan: * Nilai 0,00% hanya berasal dari dua angka tegangan yang sama setelah pembulatan satu desimal; nilai itu bukan hasil perhitungan error dari seluruh sampel.

Dashboard juga dilaporkan menyimpan nilai energi kumulatif sebesar 14,67 kWh selama periode yang disebut lima hari, setara dengan 2,93 kWh per hari jika durasi lima hari tersebut benar. Karena tidak tersedia rekap energi untuk setiap tanggal ataupun nilai awal dan akhir meter, perhitungan tersebut dipertahankan sebagai ringkasan keluaran sistem yang dilaporkan, bukan verifikasi independen produksi energi array. Selain itu, titik pemasangan sensor belum dibuktikan sebagai titik ukur seluruh keluaran array. Oleh karena itu, istilah "energi yang tercatat pada cabang ukur" lebih tepat daripada "total energi yang dihasilkan panel surya".

Secara fungsional, nilai dapat ditampilkan di LCD dan diteruskan ke dashboard melalui koneksi Wi-Fi/MQTT selama periode uji. Dashboard juga mencatat data dengan penanda waktu, sehingga secara prinsip rekaman dapat digunakan untuk meninjau perubahan dari waktu ke waktu. Namun, ekspor data historis dan rekap per hari tidak disertakan dalam dokumen yang tersedia. Tidak terdapat pula tabel waktu respons, jumlah pesan terkirim/diterima, paket hilang, durasi koneksi terputus, atau hasil pemulihan koneksi. Dengan demikian, bukti hasil mendukung implementasi pemantauan lokal dan jarak jauh pada kondisi uji, tetapi belum mendukung klaim kuantitatif tentang latensi, ketersediaan, atau keandalan jangka panjang. Ringkasan perbandingan kuantitatif disajikan pada Tabel 1.

IV. PEMBAHASAN

Hasil implementasi menunjukkan bahwa sensor kelistrikan, sensor suhu, ESP32, display lokal, dan dashboard web telah diintegrasikan dalam satu prototipe. Nilai tambah utamanya adalah penggabungan pemantauan parameter DC dan suhu dengan penyajian lokal serta akses jarak jauh. Arsitektur ini sejalan dengan sistem akuisisi data fotovoltaik berbasis sensor dan platform daring yang dilaporkan dalam penelitian sebelumnya (Abu Radia dkk., 2023; De Assis dkk., 2025; Nkinyam dkk., 2025; Rao dkk., 2025). Meski demikian, integrasi fungsional tidak sama dengan validasi bahwa alat mengukur seluruh produksi array atau telah terbukti andal untuk jangka panjang.

Hal utama yang perlu dicermati ialah perbedaan antara angka error yang dilaporkan dan nilai yang dapat dihitung dari pasangan rata-rata yang tercantum. Angka error yang dilaporkan adalah 0,6% untuk tegangan, 2,0% untuk arus, 2,1% untuk daya, 2,3% untuk suhu permukaan, dan 1,6% untuk suhu area. Namun, nilai tegangan sebesar 120,9 V pada kedua kolom menghasilkan selisih 0,00% setelah pembulatan, sedangkan pasangan arus 4,15 A dan 4,04 A menghasilkan error sebesar 2,65%. Perbedaan ini belum membuktikan bahwa perhitungan yang dilaporkan keliru, karena rata-rata error dari pengukuran individual dapat berbeda dari error yang dihitung berdasarkan dua nilai rata-rata. Akan tetapi, tanpa data mentah yang dilengkapi penanda waktu (timestamp) dan rumus pengolahan data yang digunakan, nilai-nilai tersebut belum dapat diverifikasi secara independen. Pendekatan studi monitoring fotovoltaik berbasis PZEM memperlihatkan pentingnya transparansi metode pembandingan dan perhitungan error (Khowarizmi & Setiyono, 2025; Wibowo dkk., 2024).

Perbandingan nilai rata-rata menunjukkan selisih relatif 2,65% pada arus dan 2,21% pada daya. Namun, daya perlu ditafsirkan hati-hati: hasil kali rata-rata tegangan 120,9 V dan arus 4,15 A adalah sekitar 501,7 W, bukan 437,9 W seperti yang tercetak pada tabel. Pada sisi sensor, 120,9 V dikalikan 4,04 A menghasilkan sekitar 488,4 W, bukan 428,2 W. Perbedaan ini dapat terjadi karena parameter tidak diukur pada waktu atau titik yang sama, atau karena rata-rata daya tidak setara dengan hasil kali dua rata-rata. Dokumen yang tersedia tidak cukup untuk memilih penjelasan mana yang benar. Pengujian berikutnya harus mencatat tegangan, arus, dan daya pada timestamp dan titik ukur yang sama serta menjelaskan apakah daya dibaca langsung oleh PZEM-017 atau dihitung oleh mikrokontroler. Oleh sebab itu, hasil daya saat ini lebih tepat disebut pemeriksaan awal daripada validasi final.

Untuk suhu, selisih relatif dari rata-rata tercetak adalah 1,55% pada permukaan panel dan 0,51% pada area sekitar. Perbedaan tersebut mungkin terkait dengan jarak, sudut, emisivitas, ukuran bidang pandang, atau perubahan suhu selama pengukuran manual; faktor-faktor ini tidak dievaluasi satu per satu pada penelitian ini. Kajian pengukuran inframerah menegaskan bahwa prosedur dan karakteristik objek

memengaruhi akurasi termometri (Mazdeyasna dkk., 2023; Yamada dkk., 2021). Karena itu, pengujian lanjutan sebaiknya mempertahankan jarak dan sudut sensor, menandai titik ukur, serta mengambil pembacaan pembanding pada waktu yang sedekat mungkin. Suhu yang terukur juga belum dapat digunakan untuk menjelaskan penurunan daya secara kausal karena intensitas radiasi dan kondisi operasi tidak direkam bersamaan.

Dashboard dilaporkan mencatat energi kumulatif 14,67 kWh selama periode yang disebut lima hari, atau sekitar 2,93 kWh per hari jika durasi tersebut tepat. Angka ini berguna sebagai bukti bahwa parameter energi tersedia pada antarmuka, tetapi belum dapat disebut sebagai total produksi array. Catatan rancangan menempatkan shunt pada jalur negatif menuju beban; jika konfigurasi tersebut benar, data merepresentasikan energi pada cabang yang dipantau dan dapat berbeda dari keluaran array, pengendali pengisian, baterai, atau inverter. Pemisahan titik ukur penting karena monitoring baterai dan monitoring sisi pembangkitan menjawab persoalan teknis yang berbeda (Muzazanah & Silaban, 2025; Nkinyam dkk., 2025). Konfigurasi modul seri/paralel dan hubungan antarkomponen perlu dilengkapi agar arti energi kumulatif dapat ditetapkan dengan tepat.

Fungsi transmisi Wi-Fi/MQTT dan tampilan data pada dashboard dilaporkan berjalan selama pengujian. Penelitian sebelumnya menggunakan data logger dan web untuk menyimpan informasi sistem fotovoltaik, sehingga riwayat pengukuran dapat membantu evaluasi setelah pengujian selesai (Sefiani & Bouftane, 2022; Utomo & Izzaturrahmani, 2025). Namun, adanya tampilan atau rekaman historis tidak membuktikan bahwa latensi selalu di bawah tiga detik atau tidak ada paket hilang. Pengujian jaringan perlu menggunakan timestamp pengiriman dan penerimaan, jumlah pesan, rasio pesan berhasil, serta skenario terputusnya Wi-Fi atau broker. Studi monitoring dan inspeksi PV yang lebih luas juga menunjukkan bahwa klaim teknis perlu dinilai berdasarkan metrik sesuai fungsi sistem yang diuji (Akhund dkk., 2024; Tradacete-Ágreda dkk., 2025).

Dalam konteks penelitian terdahulu, fokus pemantauan bervariasi mulai dari PLTS terapung, baterai surya, hingga deteksi gangguan pada sistem fotovoltaik (Suprayogi dkk., 2024; Muzazanah & Silaban, 2025; Shweta dkk., 2022). Kajian strategi MPPT menunjukkan bahwa evaluasi performa juga bergantung pada karakteristik masukan, termasuk radiasi dan suhu panel (Hanzaei dkk., 2020; Lyu dkk., 2025). Dengan demikian, prototipe ini dapat dipandang sebagai lapisan akuisisi dan visualisasi data, bukan sistem diagnosis anomali, pengendalian MPPT, atau optimasi energi. Fungsi tersebut berpotensi dikembangkan, tetapi memerlukan algoritma, sensor masukan tambahan, serta prosedur evaluasi terpisah. Kajian umum tentang performa fotovoltaik juga mendorong pemantauan sejumlah faktor lingkungan dan operasional secara bersamaan, bukan hanya satu pembacaan sesaat (Aslam dkk., 2022; Iturralde Carrera dkk., 2025; Sepúlveda-Oviedo, 2025a, 2025b; Sharma & Mishra, 2025).

Data suhu dapat menjadi dasar untuk membangun peringatan atau kendali pendinginan pada tahap pengembangan berikutnya. Berbagai kajian membahas hubungan temperatur, teknik pendinginan, dan efisiensi panel, termasuk prototipe monitoring yang dipadukan dengan pendinginan (Akrouch dkk., 2024; Azhari dkk., 2026; Shaker dkk., 2024; Sheik dkk., 2022; Winardi dkk., 2023). Akan tetapi, penelitian ini hanya mengimplementasikan pemantauan dan belum menguji aktuator pendingin atau kendali beban. Pengembangan juga dapat mengadopsi praktik pemrograman dan antarmuka dari sistem embedded lain, misalnya penerapan ESP32 dan IoT pada kendali dehumidifikasi maupun rumah pintar (Kilis & Mamahit, 2021; Mamahit dkk., 2023), tetapi referensi tersebut merupakan konteks teknis, bukan pembanding langsung akurasi PLTS.

Keterbatasan penelitian meliputi durasi yang singkat, ketidakjelasan lima hari pengujian di dalam rentang kalender 29 Juni–4 Juli 2026, tidak tersedianya data pasangan pengukuran individual, belum lengkapnya spesifikasi dan status kalibrasi instrumen pembanding, serta tidak adanya evaluasi kuantitatif jaringan. Belum tersedia pula data untuk menghitung error maksimum, simpangan baku, atau ketidakpastian pengukuran. Karena itu, hasil kuantitatif dalam naskah ini terbatas pada selisih relatif dari nilai rata-rata yang telah dibulatkan. Sebelum kesimpulan akhir diterbitkan, penulis perlu memeriksa kembali log asli, menyamakan timestamp sensor dan alat referensi, menjelaskan titik ukur, dan menghitung ulang error dari data per sampel. Bukti yang tersedia mendukung implementasi prototipe untuk pemantauan lokal dan jarak jauh, tetapi belum cukup untuk menyatakan akurasi metrologis atau reliabilitas jangka panjang.

V. KESIMPULAN

Prototipe monitoring PLTS nominal 1.650 Wp berhasil mengintegrasikan sensor PZEM-017, MLX90614, ESP32, LCD, serta dashboard web melalui komunikasi MQTT. Sistem dirancang untuk menampilkan parameter listrik DC dan suhu pada antarmuka lokal maupun jarak jauh, sedangkan hasil yang tersedia menunjukkan bahwa fungsi

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

pemantauan tersebut telah digunakan selama periode uji yang dilaporkan. Berdasarkan pasangan rata-rata yang tercetak, selisih relatif adalah 0,00% untuk tegangan, 2,65% untuk arus, 2,21% untuk daya, 1,55% untuk suhu permukaan, dan 0,51% untuk suhu area. Angka tersebut hanya menggambarkan perbedaan dari nilai rata-rata yang telah dibulatkan; bukan pengganti analisis data individual. Nilai energi 14,67 kWh juga perlu ditafsirkan sebagai catatan kumulatif pada titik ukur yang dipantau sampai konfigurasi jalur DC dipastikan. Kontribusi utama penelitian ini adalah integrasi pemantauan kelistrikan dan suhu dengan akses data berbasis web, yang dapat mendukung pemeriksaan rutin PLTS. Untuk meningkatkan kekuatan bukti, penelitian selanjutnya perlu menyimpan data bertanda waktu, memverifikasi titik ukur array dan beban, mendokumentasikan spesifikasi serta kalibrasi instrumen, memperpanjang pengujian pada kondisi cuaca yang berbeda, dan mengukur latensi serta kehilangan paket saat koneksi terganggu.

PERNYATAAN

Tidak konflik kepentingan dalam penelitian dan penyusunan naskah ini. Penulis mengarsipkan log sensor dan instrumen pembanding serta menyatakan mekanisme akses data yang benar-benar dapat diberikan. Penelitian ini merupakan pengembangan dan pengujian perangkat pemantauan kelistrikan dan suhu; penelitian tidak melibatkan manusia atau hewan sebagai subjek. Ini adalah karya orisinal dan telah disetujui oleh semua penulis yang terlibat. Perangkat kecerdasan buatan generatif dimanfaatkan untuk mendukung penyuntingan bahasa dan penataan struktur naskah. Namun, penulis tetap bertanggung jawab untuk memverifikasi data, memastikan ketepatan interpretasi, serta menjamin keakuratan dan integritas isi akhir artikel.

REFERENSI

Abu Radia, M. A., El Nimr, M. K., & Atlam, A. S. (2023). IoT-based wireless data acquisition and control system for photovoltaic module performance analysis. e-Prime—Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy, 6, Article 100348. https://doi.org/10.1016/j.prime.2023.100348

Akhund, T. M. N. U., Nice, N. T., Joy, M. A., Ahmed, T., & Whaiduzzaman, M. (2024). Anomaly prediction in solar photovoltaic (PV) systems via Rayleigh distribution with integrated Internet of Sensing Things (IoST) monitoring and dynamic sun-tracking. Information, 15(8), Article 451. https://doi.org/10.3390/info15080451

Akrouch, M. A., Chahine, K., Faraj, J., Hachem, F., Castelain, C., & Khaled, M. (2024). Advancements in cooling techniques for enhanced efficiency of solar photovoltaic panels: A detailed comprehensive review and innovative classification. Energy and Built Environment, 6(2), 248–276. https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2023.11.002

Aslam, A., Ahmed, N., Qureshi, S. A., Assadi, M., & Ahmed, N. (2022). Advances in solar PV systems: A comprehensive review of PV performance, influencing factors, and mitigation techniques. Energies, 15(20), Article 7595. https://doi.org/10.3390/en15207595

Azhari, F., Daud, M., Yusdartono, H. M., Muthalib, M. A., & Badriana, B. (2026). Prototipe alat monitoring dan pendinginan pada panel surya dengan Internet of Things. Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, 28(2), 115–123. https://doi.org/10.14710/transmisi.28.2.115-123

De Assis, D. P., De Oliveira Santos, L., Pereira, R. I. S., De Souza, J. J. S., & De Carvalho, P. C. M. (2025). Scalable data acquisition system for real-time monitoring of photovoltaic plants. IEEE Access, 13, 166787–166799. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3609654

Hanzaei, S. H., Gorji, S. A., & Ektesabi, M. (2020). A scheme-based review of MPPT techniques with respect to input variables including solar irradiance and PV arrays' temperature. IEEE Access, 8, 182229–182239. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3028580

Iturralde Carrera, L. A., Garcia-Barajas, M. G., Constantino-Robles, C. D., Álvarez-Alvarado, J. M., Castillo-Alvarez, Y., & Rodríguez-Reséndiz, J. (2025). Efficiency

and sustainability in solar photovoltaic systems: A review of key factors and innovative technologies. Eng, 6(3), Article 50. https://doi.org/10.3390/eng6030050

Khowarizmi, M. H., & Setiyono. (2025). Real-time monitoring system for solar power plants using PLC and IoT-based architecture. Jurnal Elkomika, 13(2). https://doi.org/10.26760/elkomika.v13i2.215

Kilis, B., & Mamahit, C. (2021). Penerapan sistem proteksi arus bocor pada instalasi listrik rumah tinggal. Jurnal Edunitro: Jurnal Pendidikan Teknik Elektro, 1(2). https://doi.org/10.53682/edunitro.v1i2.2650

Lyu, G., Soomar, A. M., Shah, S. H. H., Shaikh, S., & Musznicki, P. (2025). Maximum power point tracking strategies for solar PV systems: A review of current methods and future innovations. Results in Engineering, 28, Article 107227. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.107227

Mamahit, C., (2026). FUNDAMENTAL ELEKTRONIKA. PT Mafy Media Literasi Indonesia.

Mamahit, C., Wauran, A., Manoppo, F., Seke, F., & Ticoh, J. (2023). Smart home with voice control lights using Arduino Uno R3. Jurnal Edunitro: Jurnal Pendidikan Teknik Elektro, 3(2), 97–104. https://doi.org/10.53682/edunitro.v3i2.6792

Mazdeyasna, S., Ghassemi, P., & Wang, Q. (2023). Best practices for body temperature measurement with infrared thermography: External factors affecting accuracy. Sensors, 23(18), Article 8011. https://doi.org/10.3390/s23188011

Muzazanah, A. T., & Silaban, F. A. (2025). Internet of Things based solar battery monitoring system. Techno.Com, 24(3), 999–1012. https://doi.org/10.62411/tc.v24i3.13499

Nkinyam, C. M., Ujah, C. O., Asadu, C. O., Anyaka, B., & Olubambi, P. A. (2025). Development of a low-cost monitoring device for solar electric (PV) system using Internet of Things (IoT). Results in Engineering, 28, Article 107324. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.107324

Rao, C. K., Sahoo, S. K., & Yanine, F. F. (2025). Development of a smart cloud-based monitoring system for solar photovoltaic energy generation. Unconventional Resources, 6, Article 100173. https://doi.org/10.1016/j.uncres.2025.100173

Sefiani, N., & Bouftane, S. (2022). IoT-based data logger for solar systems applications. ITM Web of Conferences, 46, Article 01003. https://doi.org/10.1051/itmconf/20224601003

Sepúlveda-Oviedo, E. H. (2025a). A review of operational factors affecting photovoltaic system performance. Energy Conversion and Management: X, 26, Article 100942. https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2025.100942

Sepúlveda-Oviedo, E. H. (2025b). Impact of environmental factors on photovoltaic system performance degradation. Energy Strategy Reviews, 59, Article 101682. https://doi.org/10.1016/j.esr.2025.101682

Sharma, P., & Mishra, R. K. (2025). Comprehensive study on photovoltaic cell's generation and factors affecting its performance: A review. Materials for Renewable and Sustainable Energy, 14(1), 1–28. https://doi.org/10.1007/s40243-024-00292-5

Shaker, L. M., Al-Amiery, A. A., Hanoon, M. M., Al-Azzawi, W. K., & Kadhum, A. A. H. (2024). Examining the influence of thermal effects on solar cells: A comprehensive review. Sustainable Energy Research, 11(1), 1–30. https://doi.org/10.1186/s40807-024-00100-8

Sheik, M. S., Kakati, P., Dandotiya, D., Udaya Ravi, M., & Ramesh, C. S. (2022). A comprehensive review on various cooling

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

techniques to decrease an operating temperature of solar photovoltaic panels. Energy Nexus, 8, Article 100161. https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100161

Shweta, R., Sivagnanam, S., & Kumar, K. A. (2022). Fault detection and monitoring of solar photovoltaic panels using Internet of Things technology with fuzzy logic controller. Electrical Engineering & Electromechanics, (6), 67–74. https://doi.org/10.20998/2074-272X.2022.6.10

Suprayogi, F., Al Fatah, S., & Wulandari, R. (2024). Design of system monitoring for floating solar pane energy based on IoT: Blynk. Indonesian Journal of Innovation and Applied Sciences, 4(3), 217–224. https://doi.org/10.47540/ijias.v4i3.1582

Tradacete-Ágreda, M., Santos-Pérez, C., Hueros-Barrios, P. J., Rodríguez-Sánchez, F. J., Pérez-Seguí, R., Melero-Deza, J., & Campoy, P. (2025). Framework for autonomous inspection of PV plants using IoT electronics on each PV panel and UAV collaboration. Energy Conversion and Management: X, 26, Article 100878. https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2025.100878

Utomo, E. B., & Izzaturrahmani, N. (2025). Temperature and humidity monitoring system using Node-Red based on MQTT protocol. Journal of Electrical Engineering and Computer, 7(1), 40–48. https://doi.org/10.33650/jeecom.v7i1.10658

Wibowo, L., Wahyusari, R., Yuwono, T., & Shofia, A. (2024). IoT-based high-accuracy monitoring system for on-grid photovoltaic power system using NodeMCU ESP8266 and PZEM004T. Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology, 15(2), 230–241. https://doi.org/10.55981/j.mev.2024.823

Winardi, B., Nugroho, A., & Alvin, Y. (2023). Monitoring and automatic cooling systems in realtime photovoltaic based on IoT. Bulletin of Computer Science and Electrical Engineering, 3(2). https://doi.org/10.25008/bcsee.v3i2.1164

Yamada, Y., Kato, T., Shimizu, T., Ishii, J., Iguchi, K., Ishikawa, K., Honjo, H., Ohsuga, N., Onda, Y., Suzuki, K., Tsuda, K., Yamakawa, T., & Yamazaki, T. (2021). A study on infrared thermometer measurement capabilities in the calibration laboratories and the user community in Japan. SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, 14(1), 107–115. https://doi.org/10.1080/18824889.2021.1917181