

SISTEM MONITORING KINERJA PANEL SURYA MENGGUNAKAN DATA LOGGER DAN WEBSITE DENGAN PENYIMPANAN DATA PER JAM

Fitriani Dewi¹, Suhanto^{2*}, Ahmad Rossydi³

^{1,2,3}Politeknik Penerbangan Makassar, Makassar, Indonesia

Keywords:

data logger; ESP32; Internet of Things; panel surya; Supabase.

Correspondent Email:

suhanto@poltekbangmakassar.ac.id

Abstrak. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem monitoring kinerja panel surya berbasis data logger dan website yang mampu melakukan pengukuran, pengiriman, penyimpanan, serta penyajian data secara otomatis dengan mekanisme penyimpanan data setiap satu jam, sekaligus mengevaluasi akurasi sensor INA219 terhadap watt meter sebagai alat ukur referensi. Penelitian menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan pendekatan prototype yang meliputi tahap perancangan, implementasi, pengujian, dan penyempurnaan sistem. Sistem dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor INA219, basis data Supabase, dan website berbasis React.js. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh fungsi sistem berjalan sesuai rancangan, meliputi pembacaan data sensor, pengiriman data ke basis data, penyimpanan data rata-rata setiap satu jam, serta penyajian informasi secara real-time melalui website. Pengujian akurasi menghasilkan rata-rata persentase kesalahan sebesar 1,22% pada panel surya monokristalin dan 4,25% pada panel surya polikristalin, dengan tingkat akurasi masing-masing sebesar 98,78% dan 95,75%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi yang baik dan memenuhi batas toleransi kesalahan sebesar 5%. Dengan demikian, sistem monitoring yang dikembangkan layak digunakan sebagai media pemantauan kinerja panel surya berbasis Internet of Things (IoT).



Copyright © 2026 The Author(s), Published by Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

Abstract. This study aimed to develop a solar panel performance monitoring system based on a data logger and website capable of automatically measuring, transmitting, storing, and displaying data using an hourly data storage mechanism, while evaluating the accuracy of the INA219 sensor against a watt meter as the reference instrument. The study employed a Research and Development (R&D) method using a prototype approach consisting of system design, implementation, testing, and refinement. The monitoring system was developed using an ESP32 microcontroller, INA219 sensors, a Supabase cloud database, and a React.js-based website. The results showed that all system functions operated as intended, including sensor data acquisition, data transmission to the database, hourly averaged data storage, and real-time data visualization through the website. Accuracy testing produced average percentage errors of 1.22% for the monocrystalline solar panel and 4.25% for the polycrystalline solar panel, corresponding to accuracy levels of 98.78% and 95.75%, respectively. These results indicate that the developed system achieved good measurement accuracy and satisfied the predefined error tolerance of 5%. Therefore, the proposed monitoring system is feasible for real-time solar panel performance monitoring based on the Internet of Things (IoT).

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik terus meningkat seiring dengan perkembangan teknologi dan aktivitas manusia di berbagai sektor, termasuk sektor transportasi udara. Bandar udara merupakan salah satu infrastruktur yang sangat bergantung pada ketersediaan energi listrik untuk mendukung berbagai fasilitas dan sistem operasional, seperti pencahayaan runway dan taxiway, sistem navigasi penerbangan, fasilitas terminal penumpang, serta peralatan *Ground Support Equipment* (GSE). Kondisi tersebut menjadikan keandalan dan keberlanjutan pasokan energi sebagai salah satu aspek penting dalam mendukung kelancaran operasional bandar udara. Di sisi lain, ketergantungan terhadap sumber energi fosil menghadapi tantangan berupa keterbatasan sumber daya dan dampak lingkungan, sehingga pemanfaatan sumber energi terbarukan menjadi salah satu alternatif dalam memenuhi kebutuhan energi listrik.

Salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar adalah energi matahari. Teknologi photovoltaic (PV) memungkinkan radiasi matahari dikonversi secara langsung menjadi energi listrik melalui panel surya [1]. Indonesia yang berada di wilayah tropis memiliki potensi energi surya yang relatif besar karena memperoleh paparan sinar matahari sepanjang tahun. Peningkatan kebutuhan energi listrik juga menunjukkan pentingnya pengembangan sumber energi alternatif yang dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan. Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) yang dikutip oleh [2], konsumsi listrik per kapita Indonesia menunjukkan peningkatan dari 1.084 kWh per kapita pada tahun 2019 menjadi 1.089 kWh pada tahun 2020 dan mencapai 1.109 kWh pada triwulan III tahun 2021. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan energi listrik terus berkembang sehingga pemanfaatan energi terbarukan, termasuk energi surya, perlu didukung oleh sistem pengelolaan dan pemantauan yang memadai.

Kinerja panel surya dipengaruhi oleh berbagai kondisi lingkungan, seperti intensitas radiasi matahari, suhu, arah datangnya cahaya, dan kondisi cuaca. Perubahan faktor-faktor tersebut menyebabkan tegangan, arus, dan daya keluaran panel surya dapat mengalami perubahan dari waktu ke waktu. Oleh karena

itu, pemantauan secara kontinu diperlukan untuk memperoleh informasi mengenai kondisi dan performa panel surya secara lebih akurat [3]. Pengukuran secara manual menggunakan multimeter atau alat ukur konvensional memiliki keterbatasan karena pengambilan data tidak dapat dilakukan secara kontinu, pencatatan membutuhkan keterlibatan operator, dan terdapat kemungkinan terjadinya kesalahan pencatatan. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya sistem yang mampu melakukan pengukuran, pencatatan, dan penyajian data secara otomatis.

Penerapan data logger dapat menjadi salah satu solusi untuk mengatasi keterbatasan pengukuran manual. Data logger memungkinkan parameter kelistrikan panel surya, seperti tegangan, arus, dan daya, dibaca secara otomatis dan direkam pada media penyimpanan tertentu. Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) selanjutnya memungkinkan data hasil pengukuran dikirimkan melalui jaringan internet menuju server atau basis data dan ditampilkan melalui antarmuka berbasis website. Integrasi antara perangkat embedded, sensor, jaringan komunikasi, basis data, dan aplikasi web memungkinkan proses monitoring dilakukan secara real-time serta memberikan akses terhadap data historis tanpa harus berada di lokasi panel surya.

Sejumlah penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem monitoring panel surya menggunakan pendekatan data logger dan IoT. [4] mengembangkan sistem monitoring kinerja panel surya menggunakan data logger yang mampu merekam parameter masukan dan keluaran panel surya secara otomatis dengan interval pengambilan data setiap detik dan setiap menit. Pendekatan tersebut memungkinkan karakteristik kinerja panel diamati secara lebih detail, tetapi frekuensi penyimpanan data yang tinggi menghasilkan volume data yang relatif besar apabila diterapkan untuk pemantauan dalam jangka panjang. [3] mengembangkan sistem monitoring yang mengukur tegangan, arus, dan suhu panel surya, kemudian menyimpan hasil pengukuran pada SD Card dalam format .txt. Pendekatan tersebut menyediakan pencatatan data secara otomatis, tetapi media penyimpanan lokal membatasi akses terhadap data ketika pemantauan dilakukan dari jarak jauh.

Sementara itu, [1] mengembangkan sistem monitoring panel surya berbasis IoT menggunakan sensor INA219, mikrokontroler ESP32, website, dan basis data MySQL sehingga hasil pengukuran dapat dipantau secara real-time.

Hasil kajian terhadap penelitian terdahulu menunjukkan bahwa teknologi data logger dan IoT telah mampu meningkatkan otomatisasi proses pengukuran dan pemantauan panel surya. Namun, masih terdapat celah dalam aspek pengelolaan data untuk kebutuhan pemantauan jangka panjang. Sistem dengan interval penyimpanan per detik atau per menit menghasilkan data dalam jumlah besar yang dapat meningkatkan kebutuhan penyimpanan dan menyulitkan pengolahan data historis. Di sisi lain, sistem yang menggunakan penyimpanan lokal belum memberikan fleksibilitas akses data secara daring, sedangkan penerapan basis data daring pada penelitian sebelumnya masih dapat dikembangkan melalui mekanisme penyimpanan data yang lebih terstruktur sesuai kebutuhan analisis jangka panjang. Dengan demikian, diperlukan pendekatan yang tidak hanya mampu melakukan monitoring secara real-time, tetapi juga mengelola data hasil pengukuran secara efisien.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem monitoring kinerja panel surya berbasis IoT yang mengintegrasikan sensor INA219, mikrokontroler ESP32, basis data Supabase, dan website berbasis React.js. Kebaruan penelitian terletak pada penerapan mekanisme penyimpanan data rata-rata setiap satu jam sebagai strategi pengelolaan data historis. Data sensor tetap dapat digunakan untuk proses monitoring, sedangkan data yang disimpan secara periodik dalam basis data diringkas menjadi nilai rata-rata per jam sehingga volume data dapat dikurangi dan data historis menjadi lebih terstruktur untuk analisis jangka panjang. Selain aspek pengelolaan data, penelitian ini juga mengevaluasi akurasi pengukuran sensor INA219 dengan membandingkan hasil pengukuran sistem terhadap watt meter sebagai alat ukur acuan.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem monitoring kinerja panel surya berbasis data logger dan website

yang mampu melakukan pengambilan, pengiriman, penyimpanan, dan penyajian data secara otomatis dengan mekanisme penyimpanan data per jam. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi kinerja fungsional sistem serta menganalisis tingkat akurasi pengukuran sensor INA219 terhadap watt meter. Sistem yang dikembangkan diharapkan dapat menyediakan pemantauan kinerja panel surya secara real-time sekaligus menghasilkan data historis yang lebih terstruktur dan efisien untuk mendukung evaluasi performa panel surya dalam jangka panjang.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Energi Surya dan Panel Fotovoltaik

Energi surya merupakan sumber energi terbarukan yang berasal dari radiasi matahari dan dapat dikonversi menjadi energi listrik menggunakan teknologi photovoltaic (PV). Teknologi PV bekerja dengan mengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik melalui sel fotovoltaik. Indonesia memiliki potensi energi surya yang besar karena berada di wilayah tropis dengan ketersediaan radiasi matahari sepanjang tahun. Pemanfaatan energi surya menjadi salah satu alternatif untuk mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil dan mendukung pengembangan energi terbarukan [1].

Kinerja panel surya dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, terutama intensitas radiasi matahari dan suhu. Perubahan kondisi tersebut dapat menyebabkan perubahan pada tegangan dan arus keluaran sehingga daya yang dihasilkan panel surya juga berubah. Oleh karena itu, pengukuran parameter listrik secara kontinu diperlukan untuk memperoleh informasi mengenai kinerja panel surya.

2.2. Sistem Monitoring dan Data Logger

Data logger merupakan perangkat yang digunakan untuk melakukan pengukuran dan pencatatan data secara otomatis dalam periode tertentu. Pada sistem panel surya, data logger dapat digunakan untuk merekam parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, dan daya sehingga perubahan kinerja panel dapat diamati secara kontinu [4]. Penggunaan data logger dapat mengurangi ketergantungan terhadap pencatatan manual serta meningkatkan efisiensi proses pengumpulan data.

Sistem monitoring panel surya merupakan sistem yang digunakan untuk memperoleh dan menyajikan informasi mengenai kondisi serta kinerja panel secara berkala maupun real-time. Integrasi data logger dengan teknologi IoT memungkinkan data hasil pengukuran tidak hanya direkam, tetapi juga dikirimkan melalui jaringan internet menuju basis data dan ditampilkan melalui antarmuka berbasis web. Dengan demikian, proses pemantauan dapat dilakukan dari jarak jauh dan data historis dapat digunakan untuk evaluasi kinerja panel.

Dalam penelitian ini, mekanisme penyimpanan data per jam digunakan untuk mengurangi volume data hasil pengukuran sekaligus menyediakan data historis yang lebih terstruktur. Data pengukuran yang diperoleh selama periode pengamatan diringkas menjadi nilai rata-rata dalam interval satu jam sebelum disimpan pada basis data. Pendekatan tersebut ditujukan untuk mendukung pemantauan jangka panjang dengan kebutuhan penyimpanan data yang lebih efisien.

2.3. Internet of Things dan Embedded System

Internet of Things (IoT) merupakan konsep yang memungkinkan perangkat fisik dilengkapi sensor dan kemampuan komunikasi untuk mengumpulkan serta bertukar data melalui jaringan. Pada sistem monitoring panel surya, IoT memungkinkan data hasil pembacaan sensor dikirimkan dari perangkat embedded menuju server atau basis data sehingga dapat diakses dan dipantau secara jarak jauh [5].

ESP32 digunakan sebagai perangkat pengendali utama dalam penelitian ini. Mikrokontroler tersebut memiliki kemampuan komunikasi Wi-Fi sehingga sesuai untuk pengembangan sistem monitoring berbasis IoT. ESP32 menerima data hasil pembacaan sensor, melakukan pemrosesan data, kemudian mengirimkan data melalui jaringan internet menuju basis data. Integrasi ESP32 dengan sensor dan layanan basis data memungkinkan proses pengambilan dan pengiriman data dilakukan secara otomatis.

2.4. Sensor INA219

INA219 merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur parameter listrik berupa tegangan dan arus serta menyediakan perhitungan daya pada rangkaian DC. Sensor ini dapat diintegrasikan dengan mikrokontroler melalui antarmuka komunikasi I²C sehingga

data hasil pengukuran dapat dibaca dan diproses oleh ESP32. Pada penelitian sebelumnya, INA219 telah digunakan dalam sistem monitoring panel surya berbasis IoT untuk memperoleh parameter kelistrikan secara otomatis [1].

Dalam penelitian ini, INA219 digunakan sebagai sensor utama untuk memperoleh nilai tegangan dan arus keluaran panel surya. Nilai daya diperoleh berdasarkan hasil pengukuran tersebut dan digunakan sebagai salah satu parameter dalam monitoring kinerja panel. Untuk mengetahui tingkat keandalan hasil pengukuran, nilai yang diperoleh dari INA219 dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan watt meter sebagai alat ukur acuan.

2.5. Website dan Basis Data

Website digunakan sebagai antarmuka untuk menyajikan data hasil monitoring kepada pengguna. Dalam sistem monitoring berbasis IoT, website berfungsi untuk menampilkan data pengukuran dalam bentuk tabel, angka, maupun grafik sehingga kondisi panel surya dapat dipantau secara lebih mudah. Penyajian data melalui website juga memungkinkan pengguna mengakses informasi monitoring tanpa harus berada di lokasi instalasi.

JavaScript digunakan sebagai bagian dari pengembangan antarmuka dan pengelolaan data pada aplikasi web. Bahasa pemrograman tersebut memungkinkan data yang diperoleh dari basis data diproses dan ditampilkan secara dinamis sehingga informasi monitoring dapat diperbarui tanpa harus melakukan pencatatan secara manual.

Supabase digunakan sebagai layanan backend dan basis data dalam sistem yang dikembangkan. Supabase menggunakan PostgreSQL sebagai sistem manajemen basis data dan menyediakan layanan yang dapat digunakan untuk menyimpan serta mengakses data aplikasi. Pada penelitian ini, Supabase berfungsi sebagai media penyimpanan data hasil pengukuran dari perangkat IoT dan sebagai penghubung antara perangkat monitoring dengan aplikasi website. Penggunaan basis data daring memungkinkan data hasil pengukuran tersimpan secara terstruktur dan dapat diakses oleh aplikasi web.

Integrasi ESP32, INA219, jaringan internet, Supabase, dan website membentuk suatu sistem monitoring terintegrasi. Data hasil pengukuran

sensor dikumpulkan oleh ESP32, dikirim melalui jaringan internet, disimpan pada basis data, kemudian diambil dan disajikan melalui website. Arsitektur tersebut mendukung monitoring secara real-time sekaligus memungkinkan penyimpanan data historis dengan interval satu jam.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan pendekatan prototype untuk merancang, mengembangkan, dan menguji sistem monitoring kinerja panel surya berbasis data logger dan website. Pendekatan prototype dipilih karena memungkinkan proses pengembangan dilakukan secara bertahap melalui tahapan perancangan, implementasi, pengujian, dan penyempurnaan hingga sistem memenuhi kebutuhan fungsional. Selain itu, pendekatan eksperimen diterapkan untuk mengevaluasi performa sistem yang dikembangkan melalui serangkaian pengujian terhadap pembacaan sensor, pengiriman data, penyimpanan data, serta visualisasi data pada website [6], [7].

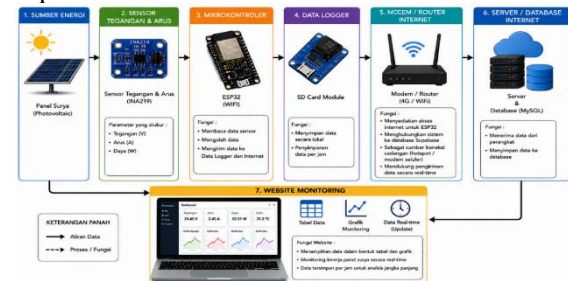
Penelitian dilaksanakan di Politeknik Penerbangan Makassar dengan objek penelitian berupa sistem monitoring panel surya yang mampu mengukur parameter tegangan, arus, dan daya secara otomatis, kemudian menyimpan hasil pengukuran ke basis data berbasis cloud menggunakan interval penyimpanan setiap satu jam.

3.2. Arsitektur Sistem

Sistem monitoring yang dikembangkan terdiri atas perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software) yang saling terintegrasi. Perangkat keras meliputi panel surya sebagai sumber energi listrik, sensor INA219 sebagai sensor pengukur tegangan dan arus, ESP32 sebagai mikrokontroler sekaligus modul komunikasi Wi-Fi, serta modem sebagai alternatif koneksi internet. Sementara itu, perangkat lunak terdiri atas Arduino IDE untuk pemrograman ESP32, Supabase sebagai basis data, dan website berbasis JavaScript sebagai media visualisasi data.

Arsitektur sistem ditunjukkan pada Gambar 1. Panel surya menghasilkan energi listrik yang kemudian diukur oleh sensor INA219. Data hasil pembacaan diproses oleh ESP32 sebelum

dikirimkan melalui jaringan internet menuju basis data Supabase. Selanjutnya, website mengambil data dari basis data dan menampilkannya dalam bentuk tabel maupun grafik sehingga kondisi panel surya dapat dipantau secara real-time.



Gambar 1 Arsitektur sistem monitoring panel surya berbasis ESP32, sensor INA219, Supabase, dan website.

3.3. Prosedur Penelitian

Penelitian dilaksanakan melalui enam tahapan sebagai berikut.

1. Studi literatur, yaitu mengkaji berbagai referensi mengenai sistem monitoring panel surya, Internet of Things (IoT), data logger, ESP32, sensor INA219, Supabase, dan teknologi website.
2. Perancangan sistem, yang meliputi penyusunan arsitektur perangkat keras dan perangkat lunak. Pada tahap ini dirancang hubungan antarperangkat, diagram alir sistem, struktur basis data, serta antarmuka website.
3. Implementasi sistem, yaitu perakitan perangkat keras, pemrograman ESP32 menggunakan Arduino IDE, pembangunan basis data menggunakan Supabase, serta pengembangan website monitoring menggunakan JavaScript.
4. Pengujian sistem, dilakukan untuk memastikan seluruh komponen bekerja sesuai dengan rancangan, mulai dari pembacaan sensor hingga penyajian data pada website.
5. Pengambilan data, yaitu merekam nilai tegangan, arus, dan daya panel surya yang diperoleh melalui sensor INA219. Data dikirim ke Supabase secara real-time dan disimpan menggunakan mekanisme penyimpanan setiap satu jam.
6. Analisis hasil, dilakukan dengan mengevaluasi keberhasilan sistem dalam membaca, mengirimkan, menyimpan, dan

menampilkan data, serta menganalisis tingkat akurasi sensor terhadap alat ukur referensi.

3.4. Pengujian Sistem

3.4.1. Pengujian Fungsional

Pengujian fungsional bertujuan memastikan seluruh komponen bekerja sesuai rancangan. Aspek yang diuji meliputi kemampuan sensor INA219 membaca tegangan dan arus, kemampuan ESP32 mengirimkan data ke basis data, keberhasilan penyimpanan data pada Supabase, serta kemampuan website menampilkan data dalam bentuk tabel dan grafik.

3.4.2. Pengujian Akurasi Sensor

Pengujian akurasi dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor INA219 terhadap hasil pengukuran menggunakan watt meter sebagai alat ukur referensi. Nilai kesalahan (error) dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$\text{Error (\%)} = \frac{(\text{Nilai sensor} - \text{Nilai referensi})}{\text{Nilai referensi}} \times 100\%$$

Selanjutnya, tingkat akurasi dihitung menggunakan Persamaan (2).

$$\text{Akurasi (\%)} = 100\% - \text{Error (\%)}$$

Sensor dinyatakan memiliki performa yang baik apabila menghasilkan nilai kesalahan kurang dari 5% atau tingkat akurasi minimal 95%.

3.4.3. Pengujian Komunikasi Data

Pengujian komunikasi dilakukan untuk memastikan seluruh data hasil pembacaan sensor berhasil dikirim dari ESP32 menuju basis data Supabase melalui jaringan internet tanpa kehilangan data. Selain itu, pengujian juga dilakukan terhadap mekanisme penyimpanan data setiap satu jam.

3.4.4. Pengujian Sistem Terintegrasi

Tahap ini mengevaluasi keseluruhan proses mulai dari pembacaan sensor, pengiriman data, penyimpanan pada basis data, hingga penyajian informasi melalui *website*. Pengujian bertujuan memastikan seluruh subsistem mampu bekerja secara terintegrasi.

3.4.5. Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif. Data hasil pengukuran berupa tegangan, arus, dan daya dianalisis untuk mengevaluasi performa sistem monitoring. Besarnya daya listrik dihitung menggunakan Persamaan (3).

$$P = V \times I$$

dimana:

P = daya (Watt)

V = tegangan (Volt)

I = arus (Ampere).

Selanjutnya dilakukan analisis terhadap tingkat kesalahan pengukuran sensor, keberhasilan pengiriman data, konsistensi penyimpanan data setiap satu jam, serta kesesuaian antara data yang tersimpan pada Supabase dengan data yang ditampilkan pada website. Selain itu, data divisualisasikan dalam bentuk grafik untuk mengamati perubahan tegangan, arus, dan daya panel surya selama periode pengamatan sehingga performa sistem dapat dievaluasi secara menyeluruh.

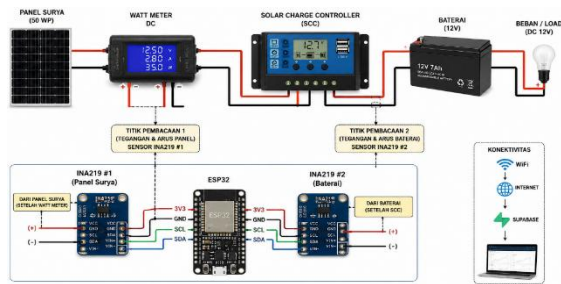
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil

4.1.1. Implementasi Sistem Monitoring

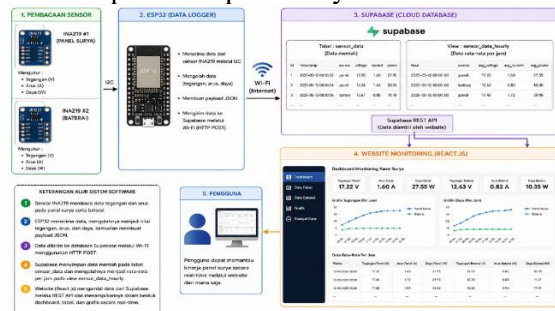
Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem monitoring kinerja panel surya berbasis data logger dan website dengan mekanisme penyimpanan data setiap satu jam. Sistem terdiri atas panel surya monokristalin dan polikristalin, dua sensor INA219 sebagai sensor pengukuran tegangan dan arus, mikrokontroler ESP32 sebagai pengolah data, basis data Supabase sebagai media penyimpanan, serta website berbasis React.js sebagai media visualisasi hasil monitoring. Seluruh komponen berhasil diintegrasikan sehingga mampu membentuk sistem monitoring yang bekerja secara otomatis.

Gambar 2 menunjukkan implementasi perangkat keras yang digunakan dalam penelitian. Sensor INA219 dipasang pada jalur keluaran panel surya untuk memperoleh data tegangan dan arus. Data hasil pembacaan kemudian diproses oleh ESP32 sebelum dikirimkan menuju basis data Supabase melalui jaringan internet. Selanjutnya, website mengambil data dari basis data dan menampilkannya dalam bentuk tabel serta grafik secara real-time.



Gambar 2 Implementasi perangkat keras sistem monitoring panel surya

Implementasi perangkat lunak ditunjukkan pada Gambar 3. Website monitoring berhasil terhubung dengan basis data Supabase sehingga mampu menampilkan parameter tegangan, arus, dan daya panel surya secara otomatis. Selain menampilkan data hasil pembacaan sensor secara real-time, sistem juga menyajikan data historis yang telah dirata-ratakan setiap satu jam sehingga memudahkan proses pemantauan dan evaluasi performa panel surya.



Gambar 3 Tampilan dashboard website monitoring panel surya

4.1.2. Hasil Pengujian Fungsional Sistem

Pengujian fungsional dilakukan untuk memastikan seluruh komponen sistem bekerja sesuai dengan rancangan. Pengujian meliputi pembacaan sensor, pengiriman data menuju basis data, penyimpanan data, serta penyajian informasi melalui website.

Tabel 1 Hasil pengujian fungsional sistem monitoring

Komponen yang diuji	Hasil pengujian
Sensor INA219 membaca tegangan dan arus	Berhasil
ESP32 memproses data sensor	Berhasil
Pengiriman data ke Supabase	Berhasil

Penyimpanan data setiap satu jam	Berhasil
Website menampilkan data secara <i>real-time</i>	Berhasil
Visualisasi data dalam bentuk tabel dan grafik	Berhasil

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh fungsi utama sistem dapat berjalan sesuai dengan rancangan. Data hasil pembacaan sensor berhasil dikirim menuju basis data Supabase dan disimpan secara otomatis menggunakan mekanisme penyimpanan setiap satu jam. Data yang tersimpan selanjutnya dapat ditampilkan pada website dalam bentuk tabel maupun grafik.

4.1.3. Hasil Monitoring Kinerja Panel Surya

Pengujian sistem dilakukan terhadap dua jenis panel surya, yaitu panel surya monokristalin dan panel surya polikristalin. Pengambilan data dilaksanakan mulai pukul 08.00 hingga 16.00 WITA dengan interval penyimpanan data setiap satu jam. Parameter yang diamati meliputi tegangan, arus, dan daya keluaran panel surya.

4.1.4. Panel Surya Monokristalin

Hasil pengukuran panel surya monokristalin menggunakan sistem monitoring dan watt meter sebagai alat pembanding ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Pengukuran Panel Surya Monokristalin

Jam	Watt Meter Tegangan (V)	Monitoring Tegangan (V)	Watt Meter arus (A)	Monitoring Arus (A)	Watt Meter Daya (W)	Monitoring Daya (W)
08.00	12,11	12,00	1,00	0,992	12,11	11,90
09.00	12,43	12,42	1,20	1,221	14,92	15,16
10.00	12,66	12,85	1,29	1,315	16,33	16,90
11.00	12,69	12,91	1,33	1,364	16,88	17,61
12.00	12,75	12,99	1,34	1,366	17,09	17,74
13.00	12,76	12,93	1,33	1,371	16,97	17,72
14.00	12,73	12,84	1,33	1,366	16,93	17,54
15.00	12,57	12,64	1,29	1,269	16,22	16,04
16.00	12,21	11,95	0,95	0,992	11,60	11,85

Selama periode pengamatan, tegangan panel surya berada pada kisaran 12,21–12,76 V berdasarkan pengukuran watt meter, sedangkan sistem monitoring menghasilkan pembacaan

11,95–12,99 V. Nilai arus yang diperoleh berkisar antara 0,95–1,34 A pada watt meter dan 0,992–1,371 A pada sistem monitoring. Daya keluaran panel surya meningkat sejak pagi hingga mendekati tengah hari, kemudian menurun pada sore hari.

4.1.5. Panel Surya Polikristalin

Hasil pengukuran panel surya polikristalin disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Pengukuran Panel Surya Polikristalin

Jam	Watt Meter Tegangan (V)	Monitoring Tegangan (V)	Watt Meter Arus (A)	Monitoring Arus (A)	Watt Meter Daya (W)	Monitoring Daya (W)
08.00	12,83	12,35	1,24	1,311	15,91	16,19
09.00	12,35	12,73	1,47	1,589	18,15	20,35
10.00	12,56	13,17	1,60	1,760	20,10	23,18
11.00	12,59	13,32	1,53	1,663	19,26	22,15
12.00	12,65	13,28	1,48	1,615	18,72	21,45
13.00	12,63	13,35	1,44	1,590	18,19	21,23
14.00	12,63	13,29	1,37	1,490	17,30	19,80
15.00	12,49	13,01	1,10	1,277	14,74	16,61
16.00	12,12	12,34	0,81	0,886	9,82	10,93

Berdasarkan hasil pengujian, tegangan panel surya polikristalin berada pada rentang 12,12–12,83 V berdasarkan watt meter dan 12,34–13,35 V berdasarkan sistem monitoring. Nilai arus yang diperoleh berkisar antara 0,81–1,60 A pada watt meter dan 0,886–1,760 A pada sistem monitoring. Pola perubahan daya menunjukkan kecenderungan meningkat hingga mendekati tengah hari dan menurun pada sore hari.

4.1.6. Hasil Pengujian Akurasi Sistem Monitoring

Pengujian akurasi dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor INA219 terhadap hasil pengukuran menggunakan watt meter sebagai alat ukur referensi. Nilai persentase kesalahan dihitung menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada bagian metode penelitian. Hasil analisis persentase kesalahan ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Analisis Persentase Error Sensor INA219 terhadap Watt Meter

Jam	Error Mono (%)	Error Poli (%)
08.00	0,91	2,66
09.00	0,08	3,08
10.00	1,50	4,86
11.00	1,73	5,80
12.00	1,88	4,98
13.00	1,33	5,70
14.00	0,86	5,23
15.00	0,56	4,16
16.00	2,13	1,82
Rata-rata	1,22	4,25

Berdasarkan hasil pengujian, sensor INA219 pada panel surya monokristalin menghasilkan rata-rata persentase kesalahan sebesar 1,22%, sedangkan pada panel surya polikristalin sebesar 4,25%. Berdasarkan nilai tersebut, tingkat akurasi sistem masing-masing mencapai 98,78% untuk panel surya monokristalin dan 95,75% untuk panel surya polikristalin. Untuk mempermudah perbandingan tingkat akurasi kedua sensor, hasil rata-rata persentase kesalahan diringkas pada Tabel 5.

Tabel 5 Ringkasan hasil pengujian akurasi sistem

Panel Surya	Rata-rata error (%)	Tingkat akurasi (%)
Monokristalin	1,22	98,78
Polikristalin	4,25	95,75

Secara keseluruhan, sistem monitoring berhasil melakukan pembacaan parameter tegangan, arus, dan daya panel surya, mengirimkan data menuju basis data, menyimpan data menggunakan mekanisme penyimpanan setiap satu jam, serta menampilkan hasil monitoring melalui website secara real-time. Temuan-temuan tersebut menjadi dasar untuk pembahasan mengenai performa sistem, efektivitas mekanisme penyimpanan data, dan tingkat akurasi sensor pada bagian selanjutnya.

4.2. Pembahasan

Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem monitoring kinerja panel surya berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu melakukan pengukuran parameter listrik, pengiriman data melalui jaringan internet, penyimpanan data secara otomatis setiap satu jam, serta penyajian informasi melalui website secara real-time. Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian, sistem yang dikembangkan telah mampu menjalankan seluruh fungsi tersebut secara terintegrasi. Keberhasilan integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak menunjukkan bahwa rancangan sistem dapat digunakan sebagai media monitoring panel surya yang bekerja secara otomatis tanpa memerlukan pencatatan manual.

Salah satu temuan penting dalam penelitian ini adalah keberhasilan proses penyempurnaan sistem melalui metode prototype. Pada tahap pengujian awal, sistem belum menghasilkan tingkat akurasi yang memenuhi kriteria penelitian karena nilai kesalahan pembacaan

sensor masih berada di atas batas toleransi yang ditetapkan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa implementasi awal belum sepenuhnya mampu merepresentasikan kondisi aktual panel surya. Setelah dilakukan evaluasi terhadap konfigurasi sensor, rangkaian perangkat keras, komunikasi antara sensor dan ESP32, serta program pengolahan data, tingkat kesalahan pengukuran mengalami penurunan hingga berada di bawah batas toleransi 5%. Hasil ini menunjukkan bahwa pendekatan prototype tidak hanya berfungsi sebagai metode pengembangan sistem, tetapi juga memberikan ruang untuk melakukan penyempurnaan secara bertahap hingga diperoleh performa sistem yang sesuai dengan kebutuhan penelitian.

Penurunan nilai kesalahan setelah proses penyempurnaan mengindikasikan bahwa akurasi sistem monitoring tidak hanya dipengaruhi oleh karakteristik sensor INA219, tetapi juga oleh kualitas integrasi antarperangkat dalam sistem IoT. Sensor yang memiliki spesifikasi baik belum tentu menghasilkan data yang akurat apabila konfigurasi perangkat keras, komunikasi data, maupun algoritma pemrosesan belum bekerja secara optimal. Dengan demikian, hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa keberhasilan sistem monitoring merupakan hasil dari integrasi keseluruhan komponen, bukan hanya ditentukan oleh kemampuan sensor secara individual.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa sistem mampu mengirimkan data dari ESP32 menuju database Supabase secara otomatis dan menampilkan informasi pada website tanpa mengalami kegagalan komunikasi selama koneksi internet tersedia. Temuan ini menunjukkan bahwa penerapan arsitektur berbasis IoT mampu mendukung proses monitoring panel surya secara real-time. Pengguna tidak lagi bergantung pada pengamatan langsung di lokasi karena seluruh informasi dapat diakses melalui website. Kemampuan tersebut memberikan kemudahan dalam proses pemantauan, terutama pada instalasi panel surya yang berada di lokasi yang sulit dijangkau atau memerlukan pengawasan secara berkelanjutan.

Kebaruan utama penelitian ini terletak pada penerapan mekanisme penyimpanan data rata-rata setiap satu jam menggunakan Supabase sebagai basis data berbasis cloud. Berbeda

dengan sistem monitoring yang menyimpan seluruh data mentah secara terus-menerus, mekanisme yang diterapkan pada penelitian ini mengolah data hasil pengukuran menjadi nilai rata-rata per jam sebelum digunakan sebagai data historis. Pendekatan tersebut mampu mengurangi jumlah data yang tersimpan sehingga penggunaan kapasitas penyimpanan menjadi lebih efisien tanpa menghilangkan informasi mengenai kecenderungan perubahan kinerja panel surya. Dengan demikian, sistem tidak hanya berfungsi sebagai alat monitoring, tetapi juga menghasilkan data historis yang lebih mudah dianalisis untuk evaluasi performa panel surya dalam jangka panjang.

Apabila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, sistem yang dikembangkan memiliki beberapa perbedaan. Penelitian [4] menyimpan data hasil pengukuran setiap detik atau setiap menit sehingga menghasilkan jumlah data yang relatif besar. Penelitian [3] menggunakan media penyimpanan lokal berupa SD Card sehingga akses terhadap data masih terbatas pada perangkat penyimpanan tersebut [3]. Sementara itu, penelitian [1] memanfaatkan basis data MySQL sebagai media penyimpanan. Penelitian ini mengembangkan pendekatan yang berbeda melalui penggunaan Supabase sebagai basis data berbasis cloud yang terintegrasi langsung dengan website berbasis React.js serta dilengkapi mekanisme penyimpanan data rata-rata setiap satu jam. Integrasi tersebut memberikan kemudahan dalam pengelolaan data, akses jarak jauh, dan visualisasi informasi secara real-time.

Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan. Pengujian sistem dilakukan pada satu lokasi penelitian dengan durasi pengamatan yang relatif singkat sehingga belum menggambarkan performa sistem pada berbagai kondisi cuaca maupun musim yang berbeda. Selain itu, parameter yang dimonitor masih terbatas pada tegangan, arus, dan daya sehingga belum mencakup faktor lingkungan lain, seperti intensitas radiasi matahari, suhu permukaan panel, maupun kelembapan udara yang juga dapat memengaruhi performa panel surya. Ketergantungan sistem terhadap koneksi internet juga menjadi salah satu keterbatasan karena proses pengiriman data menuju basis data tidak dapat dilakukan ketika jaringan mengalami gangguan.

Berdasarkan keterbatasan tersebut, penelitian selanjutnya dapat mengembangkan sistem dengan menambahkan sensor intensitas cahaya matahari (irradiance sensor) dan sensor suhu lingkungan sehingga analisis performa panel surya menjadi lebih komprehensif. Selain itu, mekanisme penyimpanan data dapat dikembangkan menggunakan kombinasi penyimpanan lokal (edge storage) dan penyimpanan berbasis cloud sebagai cadangan ketika koneksi internet terputus. Pengujian dalam periode yang lebih panjang pada berbagai kondisi lingkungan juga diperlukan untuk memperoleh gambaran mengenai keandalan sistem dalam penggunaan jangka panjang.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem monitoring panel surya berbasis ESP32, sensor INA219, Supabase, dan website berhasil memenuhi tujuan penelitian. Integrasi perangkat keras dan perangkat lunak menghasilkan sistem yang mampu melakukan pengukuran, pengiriman, penyimpanan, serta penyajian data secara otomatis dengan tingkat akurasi yang memenuhi kriteria penelitian. Temuan ini menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan memiliki potensi untuk diterapkan sebagai media monitoring panel surya yang praktis, efisien, dan mudah diakses melalui jaringan internet, khususnya pada instalasi panel surya skala kecil hingga menengah.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring kinerja panel surya berbasis ESP32, sensor INA219, database Supabase, dan website berhasil dirancang serta diimplementasikan sesuai dengan tujuan penelitian. Sistem mampu melakukan pengukuran parameter listrik berupa tegangan, arus, dan daya, mengirimkan data secara otomatis melalui jaringan internet, menyimpan data rata-rata setiap satu jam pada database Supabase, serta menampilkan informasi secara real-time melalui website dalam bentuk tabel dan grafik. Proses penyempurnaan yang dilakukan melalui metode prototype berhasil meningkatkan performa sistem, yang ditunjukkan oleh penurunan rata-rata persentase error sensor menjadi 1,22% pada panel surya

monokristalin dan 4,25% pada panel surya polikristalin, sehingga memenuhi batas toleransi kesalahan $\leq 5\%$ yang telah ditetapkan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan memiliki tingkat akurasi yang baik, mampu bekerja secara terintegrasi, serta berpotensi menjadi solusi yang efektif dan efisien untuk monitoring kinerja panel surya berbasis Internet of Things (IoT). Untuk pengembangan selanjutnya, sistem dapat ditingkatkan dengan menambahkan sensor lingkungan seperti intensitas radiasi matahari dan suhu, menerapkan mekanisme penyimpanan cadangan ketika koneksi internet terputus, serta melakukan pengujian dalam periode yang lebih panjang dan pada kondisi lingkungan yang lebih beragam guna meningkatkan keandalan sistem.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknologi Pemeliharaan Pesawat Udara, Politeknik Penerbangan Makassar, atas dukungan dan fasilitas yang diberikan selama pelaksanaan penelitian. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada dosen pembimbing, seluruh pihak yang telah memberikan masukan, bantuan teknis, dan dukungan selama proses penelitian hingga penyusunan skripsi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. A. Wahyu, C. N. Atika, A. A. H. L. Adriani, Ridwang, and A. Nasri, "Desain Data Logger untuk Output Panel Surya Menggunakan MYSQL Database," *J. Tek. Elektro UNISMUH*, vol. 16, no. 1, pp. 10–23, 2024, doi: <https://doi.org/10.26618/jte.v16i1.12542>.
- [2] G. D. P. Aryono, "Penggunaan Energi Ramah Lingkungan Panel Surya sebagai Pembangkit Listrik pada Desa Kalumpang," *Communnity Dev. J.*, vol. 4, no. 4, pp. 7373–7380, 2023, doi: <https://doi.org/10.31004/cdj.v4i4.18886>.
- [3] M. Said, S. Fuady, and O. Saputra, "Desain dan Implementasi Sistem Monitoring Panel Surya 1200 Wp Berbasis Data Logger," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 218–223, 2022, [Online]. Available: <https://ejurnal.ung.ac.id/index.php/jjeeec/article/view/14485>
- [4] M. Y. Albustomi, I. M. Wartana, and A. U. Krismanto, "Merancang Sistem Monitoring dan Menganalisa Kinerja Realtime pada PLTS Skala Kecil," *Magnetika*, vol. 07, no. 2, pp. 357–364, 2023, [Online]. Available:

- <https://ejournal.itn.ac.id/magnetika/article/view/8630>
- [5] S. R. Abduh, L. Lisapaly, and T. Pangaribuan, "Disain dan Implementasi Sensor Monitoring Jarak Jauh Berbasis IoT Terhadap Kinerja Panel Surya," *J. Renew. Energy, Electr. Eng. , Artif. Intell.*, vol. 1, no. 1, pp. 19–26, 2024, [Online]. Available: <https://ejournal.uki.ac.id/index.php/JREEEAI/article/view/5868>
- [6] H. Angriani, Y. Saharaeni, and Husniati, "Implementasi Metode Prototype pada Rancang Bangun Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Mahasiswa Berprestasi Berbasis Web Prototype Method Implementation in Designing," *J. Inf. Syst. Process.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–7, 2023.
- [7] A. A. Saputra, B. Irawan, H. Akbar, and M. H. Arfian, "Rancang Bangun Prototype Dryer House Berbasis Internet of Things," *J. Mhs. Tek. Inform.*, vol. 9, no. 6, pp. 10144–10151, 2025, [Online]. Available: <https://ejournal.itn.ac.id/jati/article/view/16403>