

Perancangan Sistem Pengendali Lampu Jarak Jauh dan *Monitoring* Kinerja PLTS *Off-Grid* pada Penerangan Makam Desa Began Lamongan Berbasis *Internet of Things* (IoT) Menggunakan ESP32 dan Telegram

Muhammad Azmy Izzudien¹, Mahendra Widyartono², Aditya Chandra Hermawan³,
Nur Vidia Laksmi B⁴

^{1,2,3,4} Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

Article Info

Article history:

Diterima 22 Juli 2026

Direvisi 28 Juli 2026

Diterbitkan 29 Juli 2026

Keywords:

PLTS *Off-Grid*

ESP32

Telegram

PZEM-017

INA219

ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Off-Grid* merupakan salah satu solusi penyediaan energi listrik pada daerah yang belum terjangkau jaringan PLN. Namun, proses *monitoring* kondisi PLTS dan pengendalian beban masih banyak dilakukan secara manual sehingga kurang efektif. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem pengendali lampu jarak jauh serta *monitoring* kinerja PLTS *Off-Grid* berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan ESP32 dan aplikasi Telegram. Kontribusi penelitian ini adalah mengintegrasikan fungsi *monitoring* parameter PLTS *Off-Grid* dan pengendalian lampu jarak jauh berbasis Telegram menggunakan ESP32 dalam satu *platform* IoT sehingga proses pemantauan dan pengendalian dapat dilakukan secara terpusat melalui satu aplikasi. Sistem memanfaatkan sensor PZEM-017 untuk memonitor parameter panel surya serta sensor INA219 untuk memonitor parameter baterai dan beban. Metode penelitian meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, implementasi sistem, serta pengujian *monitoring* panel surya, baterai, dan beban dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap multimeter sebagai acuan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor PZEM-017 mampu membaca tegangan panel surya dengan rata-rata selisih sebesar 0,03 V pada hari pertama dan 0,10 V pada hari kedua, sedangkan rata-rata selisih arus menurun dari 3,70 A menjadi 3,40 A setelah dilakukan penyesuaian konfigurasi. Pengujian sensor INA219 menunjukkan bahwa data *monitoring* baterai dan beban berhasil ditampilkan melalui Telegram setelah dilakukan perbaikan perangkat lunak, dengan rata-rata selisih arus masing-masing sebesar 0,38 A dan 0,78 A. Namun, pembacaan tegangan pada baterai dan beban masih memiliki rata-rata selisih sebesar 2,52 V dan 6,06 V sehingga masih memerlukan penyempurnaan.

This is an open access article under the [CC BY-SA](#) license.



Corresponding Author:

Muhammad Azmy Izzudien,

Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

Email: muhammadazmy.21034@mhs.unesa.ac.id

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan kebutuhan energi listrik secara global terus meningkat seiring dengan perkembangan sektor industri, transportasi, dan aktivitas masyarakat sehingga mendorong perlunya penyediaan sumber energi yang berkelanjutan [1]. Ketergantungan terhadap bahan bakar fosil tidak hanya menyebabkan berkurangnya cadangan energi, tetapi juga memberikan kontribusi terhadap peningkatan emisi karbon yang berdampak pada perubahan iklim global [2]. Oleh karena itu, pengembangan energi terbarukan menjadi salah satu strategi utama dalam mendukung ketahanan energi sekaligus mengurangi dampak lingkungan [1].

Di antara berbagai sumber energi terbarukan, energi surya merupakan salah satu teknologi yang berkembang paling pesat karena memiliki potensi yang besar, biaya operasi yang relatif rendah, serta mudah

diintegrasikan pada berbagai skala pembangkit [3]. Teknologi fotovoltaik (*photovoltaic*/PV) mampu mengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung sehingga banyak dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif pada sistem pembangkit mandiri maupun sistem yang terhubung dengan jaringan listrik [3]. Perkembangan teknologi panel surya juga diikuti dengan peningkatan efisiensi konversi energi [4]. Perkembangan tersebut juga mencakup metode *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dan sistem kendali yang bertujuan memperoleh daya keluaran optimum pada berbagai kondisi lingkungan [5].

Salah satu konfigurasi yang banyak diterapkan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Off-Grid*, yaitu sistem pembangkit yang bekerja secara mandiri tanpa bergantung pada jaringan distribusi listrik [6]. Pada sistem ini, energi listrik yang dihasilkan panel surya disimpan ke dalam baterai sehingga dapat digunakan ketika intensitas penyinaran matahari menurun maupun pada malam hari [7]. Keberadaan baterai memiliki peran penting sebagai media penyimpanan energi sekaligus menjaga kontinuitas suplai daya terhadap beban sehingga karakteristik pengisian dan pengosongan baterai perlu dikendalikan secara optimal untuk memperpanjang umur pakai sistem [7]. Pemantauan dan pengendalian baterai berbasis IoT dapat digunakan untuk mengetahui kondisi operasional sistem penyimpanan energi serta mengatur penggunaannya dari jarak jauh [8]. Penelitian mengenai integrasi sistem penyimpanan energi juga menunjukkan bahwa pengelolaan baterai yang tepat mampu meningkatkan stabilitas dan efisiensi keseluruhan sistem fotovoltaik [7].

Dalam sistem PLTS *Off-Grid*, *Solar Charge Controller* (SCC) berfungsi sebagai pengatur proses pengisian baterai dengan mengendalikan tegangan dan arus yang berasal dari panel surya [9]. Selain melindungi baterai dari kondisi *overcharge* maupun *deep discharge*, SCC juga berperan menjaga titik kerja panel surya agar tetap berada pada kondisi daya maksimum melalui penerapan algoritma MPPT [9]. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa pengembangan metode MPPT mampu meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi surya serta menghasilkan keluaran daya yang lebih stabil dibandingkan metode konvensional [5]. Oleh karena itu, kombinasi antara panel surya, baterai, dan *Solar Charge Controller* menjadi tiga komponen utama yang menentukan performa sistem PLTS secara keseluruhan [9].

Meskipun teknologi PLTS telah berkembang cukup pesat, proses pemantauan kondisi sistem pada banyak instalasi masih dilakukan secara manual sehingga memerlukan inspeksi langsung terhadap setiap komponen [10]. Kondisi tersebut menyebabkan proses identifikasi gangguan menjadi kurang efisien, terutama apabila lokasi PLTS berada jauh dari pusat pengelolaan [6]. Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) memberikan peluang untuk mengembangkan sistem *monitoring* yang mampu mengirimkan informasi parameter kelistrikan secara *real-time* melalui jaringan internet sehingga proses pemeliharaan dapat dilakukan dengan lebih cepat dan efektif [11].

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem *monitoring* PLTS berbasis IoT menggunakan *platform website* maupun aplikasi bergerak sebagai media visualisasi data [12]. Namun, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada fungsi *monitoring* sehingga pengguna tetap memerlukan sistem lain untuk melakukan pengendalian beban listrik dari jarak jauh [10]. Penelitian selanjutnya menunjukkan bahwa sistem IoT dapat mengintegrasikan akuisisi data dan pengendalian untuk menganalisis kinerja modul fotovoltaik [13]. Perkembangan smart *photovoltaic* systems juga memungkinkan dilakukannya pemantauan, pengendalian koneksi panel, dan diagnosis gangguan secara *real-time* [14].

Telegram dipilih sebagai media pemantauan dan pengendalian karena dapat digunakan secara gratis, ringan sebagai aplikasi berbasis pesan, mendukung Bot API untuk komunikasi dua arah, serta mudah diimplementasikan pada ESP32 melalui jaringan Wi-Fi [15]. Pada implementasi dasar, ESP32 dapat berkomunikasi dengan layanan Telegram Bot API sehingga tidak memerlukan *server* aplikasi khusus yang dibangun dan dikelola oleh peneliti [15]. Meskipun komunikasi tetap bergantung pada infrastruktur *server* Telegram dan koneksi internet, pengguna dapat menerima informasi kondisi sistem maupun mengirimkan perintah pengendalian melalui satu aplikasi [15].

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem pengendali lampu jarak jauh dan alat *monitoring* kinerja PLTS *Off-Grid* berbasis *Internet of Things* menggunakan NodeMCU ESP32 dan Telegram. Sistem yang diusulkan mengintegrasikan fungsi pemantauan parameter tegangan, arus, suhu, dan kondisi baterai secara *real-time* dengan kemampuan pengendalian lampu melalui Telegram dalam satu *platform*. Integrasi tersebut diharapkan mampu meningkatkan efektivitas pemeliharaan PLTS, mempercepat deteksi gangguan, serta memberikan kemudahan dalam pengoperasian sistem penerangan makam Desa Began Lamongan.

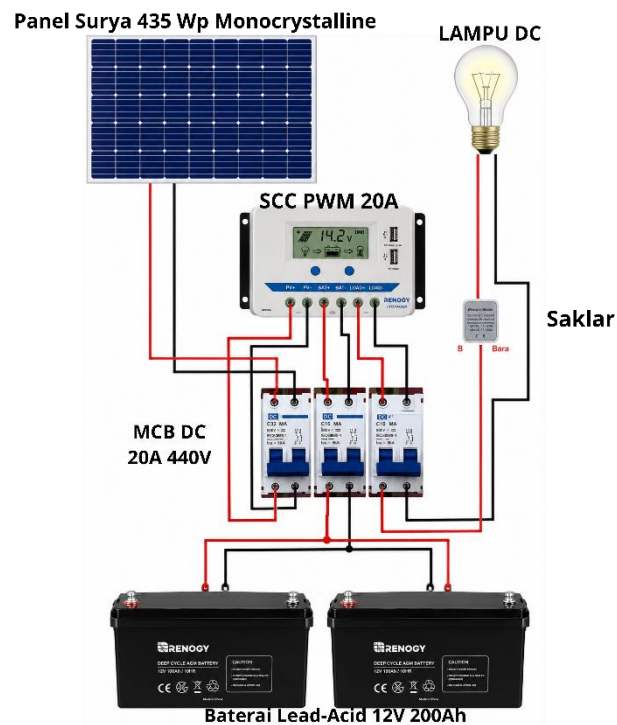
2. METODA

2.1 Skema Perancangan Sistem

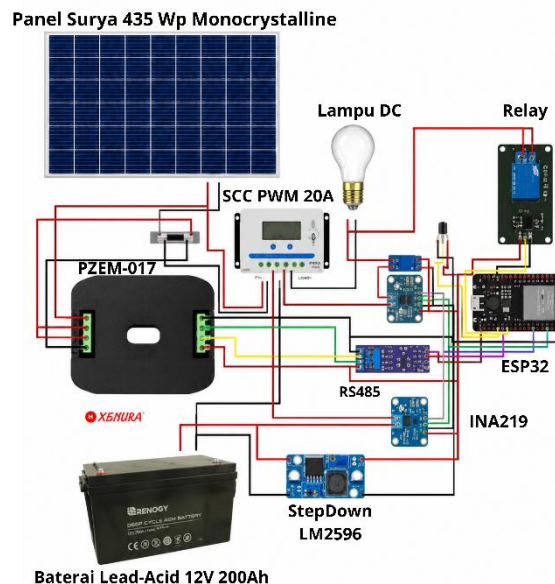
Perancangan sistem pada penelitian ini terdiri atas dua bagian, yaitu *wiring* PLTS dan *wiring* sistem *monitoring* serta pengendalian berbasis ESP32. *Wiring* PLTS dirancang sebagai sistem utama yang berfungsi menghubungkan panel surya, *Solar Charge Controller* (SCC), baterai, MCB DC, saklar, dan lampu DC sehingga proses pembangkitan, penyimpanan, distribusi, serta proteksi energi listrik dapat berlangsung dengan

Muhammad Azmy Izzudien: Perancangan Sistem Pengendali Lampu...

baik. Selanjutnya, *wiring* sistem *monitoring* dan pengendalian dirancang untuk mengintegrasikan ESP32 dengan berbagai sensor dan modul pendukung sehingga mampu melakukan akuisisi data kondisi PLTS secara *real-time*, mengirimkan informasi melalui Telegram, serta mengendalikan lampu DC dari jarak jauh. Skema perancangan kedua sistem tersebut ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1 menunjukkan *wiring* diagram sistem PLTS yang terdiri atas panel surya monocrystalline



Gambar 2 Skema Rangkaian ESP32

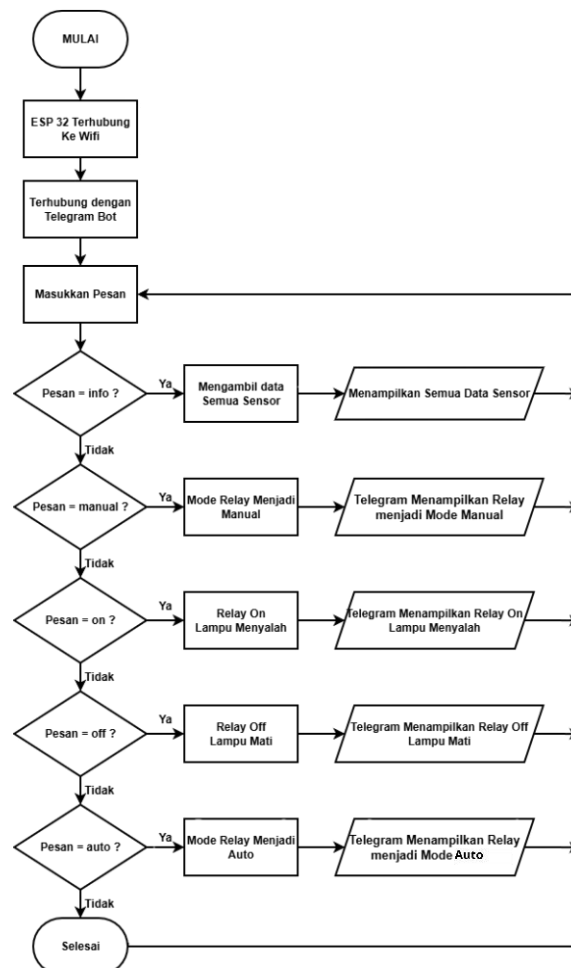
435 Wp, *Solar Charge Controller* (SCC) PWM 20 A, dua baterai Lead-Acid 12 V 200 Ah, MCB DC 20 A 440 V, saklar, dan lampu DC sebagai beban. Energi listrik yang dihasilkan panel surya dialirkan menuju SCC untuk mengatur proses pengisian baterai sekaligus mendistribusikan daya ke beban, sedangkan baterai berfungsi menyimpan energi listrik sehingga suplai daya tetap tersedia ketika intensitas penyinaran matahari menurun

atau pada malam hari. MCB DC digunakan sebagai sistem proteksi terhadap arus lebih dan hubung singkat untuk menjaga keamanan instalasi, sedangkan saklar berfungsi mengoperasikan lampu DC secara manual sehingga sistem PLTS dapat bekerja dengan aman dan sesuai kebutuhan pengguna.

Gambar 2 menunjukkan *wiring* sistem *monitoring* dan pengendalian berbasis ESP32 sebagai pusat pengendali yang mengintegrasikan sensor PZEM-017, sensor INA219, modul RS485, relay, dan modul *step-down* LM2596. Sensor PZEM-017 digunakan untuk memonitor parameter panel surya berupa tegangan, arus, daya, dan energi melalui komunikasi RS485, sedangkan sensor INA219 digunakan untuk memonitor tegangan dan arus pada baterai maupun beban. Modul *step-down* LM2596 berfungsi menurunkan tegangan agar sesuai dengan kebutuhan catu daya ESP32, sementara relay berfungsi sebagai saklar elektronik untuk mengendalikan lampu DC. Seluruh data hasil pembacaan sensor diproses oleh ESP32 dan dikirimkan ke aplikasi Telegram melalui jaringan Wi-Fi sehingga pengguna dapat memantau kondisi PLTS secara *real-time* serta mengendalikan lampu dari jarak jauh melalui satu aplikasi.

2.2 Prosedur Pengoperasian Alat

Prosedur operasional alat pada Gambar 3 merupakan jalannya sistem dari inisialisasi ESP32 terhubung dengan internet, kemudian dari perintah pada bot Telegram yang dipilih /user lalu ESP32 memproses sampai dengan mengontrol output relay untuk mengendalikan lampu.



Gambar 3 *Flowchart* Cara Kerja Alat

2.3 Metode Pengujian dan Pengambilan Data

Metode pengujian dan pengambilan data dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem pengendali lampu jarak jauh dan *monitoring* PLTS *Off-Grid* yang telah dirancang. Pengujian dilaksanakan secara bertahap meliputi pengujian setiap komponen penyusun sistem, pengujian fungsi *monitoring* parameter PLTS, pengujian pengendalian lampu melalui Telegram, serta pengujian kinerja sistem secara keseluruhan. Parameter yang diamati meliputi tegangan, arus, daya, energi, suhu, status lampu, serta waktu respon komunikasi antara

ESP32 dan aplikasi Telegram. Data hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengetahui tingkat keberhasilan fungsi, akurasi pembacaan sensor, kecepatan respon sistem, dan keandalan sistem dalam melakukan *monitoring* serta pengendalian lampu berbasis *Internet of Things* (IoT).

1. Pengujian *Monitoring* Panel Surya dengan PZEM-017

Pengujian *monitoring* parameter PLTS bertujuan untuk mengetahui tingkat akurasi sistem dalam memantau parameter keluaran dari panel surya. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan tegangan dan arus yang ditampilkan oleh sistem *monitoring* berbasis ESP32 melalui Telegram dengan hasil pengukuran menggunakan multimeter dan termometer sebagai nilai perbandingan.

$$\text{Nilai Selisih} = \text{Hasil Pembacaan Alat Ukur} - \text{Hasil Pembacaan Telegram} \quad (1)$$

2. Pengujian *Monitoring* Baterai dengan INA219

Pengujian *monitoring* baterai dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam membaca dan menampilkan nilai tegangan serta arus baterai menggunakan sensor INA219. Data hasil pembacaan sensor dikirimkan ke aplikasi Telegram kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan multimeter sebagai nilai acuan. Pengujian dilakukan sebanyak lima kali pada waktu yang berbeda untuk mengetahui tingkat akurasi sensor dalam melakukan *monitoring* baterai. Selisih hasil pengukuran dihitung menggunakan Persamaan (1), sedangkan rata-rata selisih dihitung menggunakan Persamaan (2).

$$\text{Rata - rata Selisih} = \frac{\text{Total Nilai Selisih}}{\text{Jumlah Percobaan}} \quad (2)$$

3. Pengujian *Monitoring* Beban dengan INA219

Pengujian *monitoring* beban bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sensor INA219 dalam mengukur tegangan dan arus pada sisi beban. Data yang ditampilkan melalui Telegram dibandingkan dengan hasil pengukuran multimeter sebagai acuan. Pengujian dilakukan sebanyak lima kali, kemudian selisih dan rata-rata selisih dihitung menggunakan Persamaan (1) dan Persamaan (2).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Implementasi Sistem

Gambar 4 di bawah ini merupakan hasil alat pada kontrol *Box* sistem yang meliputi perancangan dan integrasi perangkat keras sistem pengendali lampu jarak jauh serta *monitoring* kinerja PLTS *Off-Grid* berbasis *Internet of Things* (IoT). Sistem terdiri atas panel surya, *Solar Charge Controller* (SCC), baterai, ESP32, sensor PZEM-017, sensor INA219, sensor DS18B20, modul relay, serta beberapa komponen pendukung lainnya. ESP32 berfungsi sebagai pusat pengendali yang mengolah data hasil pembacaan sensor dan mengirimkan informasi parameter sistem ke aplikasi Telegram melalui jaringan Wi-Fi. Selain sebagai media *monitoring*, Telegram juga digunakan untuk mengirimkan perintah pengendalian lampu dari jarak jauh

Gambar 4 Hasil *Box* Kontrol Alat

3.2 Hasil Pengujian *Monitoring* Panel Surya

Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2, sistem *monitoring* panel surya menggunakan sensor PZEM-017 telah mampu menampilkan nilai tegangan dan arus panel surya melalui aplikasi Telegram. Hasil pengukuran yang ditampilkan kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan multimeter sebagai acuan. Nilai selisih setiap pengujian dihitung menggunakan Persamaan (1), sedangkan rata-rata selisih dihitung menggunakan Persamaan (2). Hasil pengujian menunjukkan bahwa pembacaan tegangan menggunakan sensor PZEM-017 memiliki hasil yang cukup baik. Pada pengujian hari pertama, selisih tegangan berada pada rentang 0,01 V sampai 0,04 V dengan rata-rata selisih sebesar 0,03 V. Sementara itu, pada pengujian hari kedua selisih tegangan berada pada rentang 0,02 V sampai 0,20 V dengan rata-rata selisih sebesar 0,10 V. Meskipun nilai selisih pada hari kedua sedikit lebih besar, hasil pembacaan tegangan yang ditampilkan melalui Telegram masih mendekati hasil pengukuran menggunakan multimeter sehingga sensor PZEM-017 dapat digunakan untuk memantau tegangan panel surya. Berbeda dengan pengukuran tegangan, hasil pembacaan arus masih menunjukkan selisih yang cukup besar.

Pada hari pertama, nilai arus yang ditampilkan Telegram berada pada kisaran 1,49–1,66 A, sedangkan hasil pengukuran menggunakan multimeter berada pada kisaran 5,12–5,38 A dengan rata-rata selisih sebesar 3,70 A. Setelah dilakukan penyesuaian konfigurasi dan dilakukan pengujian kembali pada hari kedua, nilai arus yang ditampilkan meningkat menjadi 1,80–2,04 A, sedangkan hasil pengukuran multimeter berada pada kisaran 5,11–5,36 A. Rata-rata selisih arus pada hari kedua menjadi 3,40 A, sehingga terdapat sedikit perbaikan dibandingkan hasil pengujian hari pertama. Perbedaan hasil pengukuran arus disebabkan oleh beberapa faktor yaitu dari proses kalibrasi sensor maupun konfigurasi komunikasi antara ESP32 dan sensor PZEM-017.

Setelah dilakukan penyesuaian konfigurasi, hasil pembacaan arus masih berbeda dengan hasil pengukuran menggunakan multimeter sehingga masih diperlukan penyempurnaan pada proses kalibrasi dan perangkat lunak. Secara keseluruhan, sistem *monitoring* panel surya telah berhasil menampilkan data tegangan dan arus melalui aplikasi Telegram secara *real-time*. Berdasarkan perbandingan dengan hasil pengukuran multimeter, sensor PZEM-017 menunjukkan tingkat akurasi yang baik pada pengukuran tegangan dengan rata-rata selisih sebesar 0,03 V pada hari pertama dan 0,10 V pada hari kedua. Sementara itu, pengukuran arus menunjukkan perbaikan yang ditandai dengan penurunan rata-rata selisih dari 3,70 A menjadi 3,40 A setelah dilakukan penyesuaian konfigurasi, meskipun hasil pembacaannya masih memerlukan kalibrasi dan penyempurnaan perangkat lunak agar lebih mendekati hasil pengukuran multimeter.

Tabel 1 Hasil Pengujian Panel Surya Hari Pertama

NO	WAKTU	Data Panel Surya Yang Ditampilkan Oleh Telegram		Multimeter		Selisih	
		Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)
1	10.30-10.40	1.66	34.31	5.24	34.32	3.58	0.01
2	10.40-10.50	1.55	34.15	5.31	34.18	3.76	0.03
3	10.50-11.00	1.62	33.62	5.38	33.66	3.76	0.04
4	11.00-11.10	1.49	33.19	5.37	33.22	3.88	0.03
5	11.10-11.20	1.61	31.28	5.12	31.25	3.51	0.03
Rata-rata						3.70	0.03

Tabel 2 Hasil Pengujian Panel Surya Hari Kedua

NO	WAKTU	Data Panel Surya Yang Ditampilkan Oleh Telegram		Multimeter		Selisih	
		Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)
1	10.30-10.40	1.84	34.02	5.28	34.15	3.44	0.17
2	10.40-10.50	1.90	33.95	5.11	34.02	3.21	0.07
3	10.50-11.00	1.80	34.29	5.33	34.33	3.53	0.04
4	11.00-11.10	2.04	33.58	5.33	33.78	3.29	0.20
5	11.10-11.20	1.84	33.99	5.36	33.97	3.52	0.02
Rata-rata						3.40	0.10

3.3 Hasil Pengujian *Monitoring* Baterai

Berdasarkan Tabel 3, pada pengujian hari pertama data arus dan tegangan baterai belum berhasil ditampilkan pada aplikasi Telegram meskipun hasil pengukuran menggunakan multimeter menunjukkan bahwa baterai berada pada kondisi normal, dengan tegangan berkisar antara 14,38–14,42 V dan arus 1,91–2,12 A. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa proses pembacaan data oleh sensor INA219 belum berhasil diteruskan ke aplikasi Telegram. Hal ini diduga disebabkan oleh konfigurasi perangkat lunak yang belum sesuai, seperti proses pembacaan sensor, pengelolaan variabel, maupun proses pengiriman data ke Telegram yang belum berjalan dengan baik. Oleh karena itu, pada pengujian hari pertama belum dapat dilakukan perbandingan maupun perhitungan selisih dengan hasil pengukuran menggunakan multimeter. Setelah dilakukan perbaikan pada konfigurasi perangkat lunak, pengujian hari kedua menunjukkan bahwa data *monitoring* baterai telah berhasil ditampilkan pada aplikasi Telegram. Nilai arus yang terbaca berada pada kisaran 1,64 A, sedangkan hasil pengukuran menggunakan multimeter berada pada kisaran 1,85–2,31 A dengan rata-rata selisih sebesar 0,38 A. Sementara itu, nilai tegangan yang ditampilkan Telegram sebesar 11,89 V, sedangkan hasil pengukuran multimeter berada pada kisaran 14,38–14,42 V dengan rata-rata selisih sebesar 2,52 V.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa perbaikan konfigurasi perangkat lunak berhasil mengatasi permasalahan pengiriman data sehingga sensor INA219 dapat menampilkan hasil pengukuran pada aplikasi Telegram. Berdasarkan perbandingan dengan hasil pengukuran menggunakan multimeter, pembacaan arus memiliki rata-rata selisih sebesar 0,38 A sehingga menunjukkan tingkat akurasi yang cukup baik. Namun, pembacaan tegangan masih memiliki rata-rata selisih sebesar 2,52 V, sehingga tingkat akurasinya masih lebih rendah dibandingkan pengukuran multimeter. Oleh karena itu, diperlukan penyempurnaan pada proses kalibrasi sensor maupun konfigurasi rangkaian pengukuran agar hasil pembacaan tegangan menjadi lebih akurat.

Tabel 3 Hasil *Monitoring* Baterai dengan INA219 Hari Pertama

NO	WAKTU	Data Baterai Yang Ditampilkan Oleh Telegram		Multimeter		Selisih	
		Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)
1	13.30-14.00	-	-	1.91 A	14.42 V	-	-
2	14.00-14.30	-	-	1.94 A	14.42 V	-	-
3	14.30-15.00	-	-	2.03 A	14.40 V	-	-
4	15.00-15.30	-	-	2.00 A	14.38 V	-	-
5	15.30-16.00	-	-	2.12 A	14.41 V	-	-
Rata-rata						-	-

Tabel

4 Hasil

Monitoring Baterai dengan INA219 Hari Kedua

NO	WAKTU	Data Baterai Ditampilkan Oleh Telegram		Multimeter		Selisih	
		Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)
1	10.30-10.40	1.64	11.89	1.95	14.42	0.31	2.53
2	10.40-10.50	1.64	11.89	1.85	14.42	0.21	2.53
3	10.50-11.00	1.64	11.89	1.93	14.38	0.29	2.49
4	11.00-11.10	1.64	11.89	2.05	14.42	0.41	2.53
5	11.10-11.20	1.64	11.89	2.31	14.41	0.67	2.52
Rata-rata						0.38	2.52

3.4 Hasil Pengujian *Monitoring* Beban

Berdasarkan Tabel 5, pada pengujian hari pertama data *monitoring* beban belum dapat ditampilkan pada aplikasi Telegram. Meskipun demikian, hasil pengukuran menggunakan multimeter menunjukkan bahwa beban masih bekerja dengan normal, dengan nilai arus berkisar antara 1,91–2,09 A dan tegangan antara 14,39–14,43 V. Hal ini menunjukkan bahwa permasalahan terjadi pada proses pengiriman data hasil pembacaan sensor INA219 ke Telegram, bukan pada kondisi beban maupun sistem PLTS. Akibatnya, selisih antara hasil pembacaan sistem dan multimeter pada pengujian hari pertama belum dapat dihitung.

Setelah dilakukan perbaikan pada program, pengujian hari kedua menunjukkan bahwa data arus dan tegangan beban telah berhasil ditampilkan pada aplikasi Telegram. Nilai arus yang terbaca berada pada kisaran 1,13–1,17 A, sedangkan hasil pengukuran menggunakan multimeter berada pada kisaran 1,87–2,01 A dengan rata-rata selisih sebesar 0,78 A.

Untuk pengukuran tegangan, sistem menampilkan nilai sebesar 8,35 V, sedangkan hasil pengukuran multimeter berada pada kisaran 14,39–14,43 V sehingga diperoleh rata-rata selisih sebesar 6,06 V. Berdasarkan hasil tersebut, proses *monitoring* beban telah dapat berjalan setelah dilakukan perbaikan konfigurasi perangkat lunak. Berdasarkan perbandingan dengan hasil pengukuran menggunakan multimeter, pembacaan arus oleh sensor INA219 memiliki rata-rata selisih sebesar 0,78 A sehingga menunjukkan tingkat akurasi yang cukup baik. Namun, pembacaan tegangan masih memiliki rata-rata selisih sebesar 6,06 V sehingga tingkat akurasi masih lebih rendah dibandingkan hasil pengukuran multimeter. Oleh karena itu, diperlukan penyesuaian pada proses kalibrasi sensor, konfigurasi pembacaan, maupun rangkaian pengukuran agar hasil *monitoring* yang ditampilkan melalui Telegram menjadi lebih akurat dan mendekati kondisi sebenarnya.

Tabel 5 Hasil *Monitoring* Beban dengan INA219 Hari Pertama

NO	WAKTU	Data Beban Yang Ditampilkan Oleh Telegram		Multimeter		Selisih	
		Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)
1	13.30-14.00	-	-	1.91 A	14.42 V	-	-
2	14.00-14.30	-	-	1.93 A	14.42 V	-	-
3	14.30-15.00	-	-	2.03 A	14.43 V	-	-
4	15.00-15.30	-	-	1.95 A	14.39 V	-	-
5	15.30-16.00	-	-	2.09 A	14.41 V	-	-
Rata-rata						-	-

Tabel 6 Hasil *Monitoring* Beban dengan INA219 Hari Kedua

NO	WAKTU	Data Beban Yang Ditampilkan Oleh Telegram		Multimeter		Selisih	
		Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)
1	10.30-10.40	1.13	8.35	1.96	14.42	0.83	6.07
2	10.40-10.50	1.17	8.35	1.87	14.41	0.70	6.06
3	10.50-11.00	1.15	8.35	1.92	14.39	0.77	6.04
4	11.00-11.10	1.13	8.35	2.01	14.43	0.88	6.08
5	11.10-11.20	1.16	8.35	1.90	14.41	0.74	6.06
Rata-rata						0.78	6.06

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem pengendali lampu jarak jauh serta *monitoring* kinerja PLTS *Off-Grid* berbasis *Internet of Things* menggunakan ESP32 dan aplikasi Telegram. Sistem mampu melakukan *monitoring* parameter panel surya, baterai, dan beban serta mengendalikan lampu dari jarak jauh melalui Telegram. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor PZEM-017 memberikan hasil pengukuran tegangan panel surya yang cukup baik dengan rata-rata selisih sebesar 0,03 V pada hari pertama dan 0,10 V pada hari kedua, sedangkan pembacaan arus mengalami peningkatan setelah penyesuaian konfigurasi dengan penurunan rata-rata selisih dari 3,70 A menjadi 3,40 A. Pada pengujian sensor INA219, data *monitoring* baterai dan beban berhasil ditampilkan melalui Telegram setelah perbaikan konfigurasi, namun hasil pembacaan tegangan masih memiliki selisih yang cukup besar dibandingkan hasil pengukuran menggunakan multimeter. Dengan demikian, keterbatasan penelitian ini terletak pada akurasi pembacaan arus sensor PZEM-017 yang masih memerlukan penyempurnaan serta akurasi pembacaan tegangan sensor INA219 yang belum mendekati hasil pengukuran multimeter. Secara keseluruhan, sistem telah mampu menjalankan fungsi *monitoring* dan pengendalian PLTS secara *real-time* melalui Telegram. Penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada penyempurnaan kalibrasi sensor, optimalisasi konfigurasi perangkat keras dan perangkat lunak, penambahan fitur data logging, serta integrasi *cloud monitoring* agar data dapat disimpan, diakses, dan dianalisis secara lebih efektif dalam jangka panjang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi D4 Teknik Listrik Universitas Negeri Surabaya atas dukungan fasilitas dan sarana yang diberikan selama pelaksanaan penelitian. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, masukan, dan dukungan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

REFERENSI

- [1] A. I. Osman, L. Chen, M. Yang, G. Msigwa, M. Farghali, S. Fawzy, D. W. Rooney, and P.-S. Yap, "Cost, Environmental Impact, and Resilience of Renewable Energy under a Changing Climate: A Review," *Environ. Chem. Lett.*, vol. 21, pp. 741–764, 2023, doi: 10.1007/s10311-022-01532-8.
- [2] M. Bilgili, S. Tumse, and S. Nar, "Comprehensive Overview on the Present State and Evolution of Global Warming, Climate Change, Greenhouse Gasses and Renewable Energy," *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 49, no. 11, pp. 14503–14531, 2024, doi: 10.1007/s13369-024-09390-y.

- [3] D. C. Nath, I. Kundu, A. Sharma, P. Shivhare, A. Afzal, M. E. M. Soudagar, and S. G. Park, "Internet of Things Integrated with Solar Energy Applications: A State-of-the-Art Review," *Environ. Dev. Sustain.*, vol. 26, no. 10, pp. 24597–24652, 2024, doi: 10.1007/s10668-023-03691-2.
- [4] M. A. Green, E. D. Dunlop, M. Yoshita, N. Kopidakis, K. Bothe, G. Siefer, D. Hinken, M. Rauer, J. Hohl-Ebinger, and X. Hao, "Solar Cell Efficiency Tables (Version 64)," *Prog. Photovolt. Res. Appl.*, vol. 32, no. 7, pp. 425–441, 2024, doi: 10.1002/pip.3831.
- [5] M. L. Katche, A. B. Makokha, S. O. Zachary, and M. S. Adaramola, "A Comprehensive Review of Maximum Power Point Tracking (MPPT) Techniques Used in Solar PV Systems," *Energies*, vol. 16, no. 5, Art. no. 2206, 2023, doi: 10.3390/en16052206.
- [6] B. E. Demir, "A New Low-Cost Internet of Things-Based Monitoring System Design for Stand-Alone Solar Photovoltaic Plant and Power Estimation," *Appl. Sci.*, vol. 13, no. 24, Art. no. 13072, 2023, doi: 10.3390/app132413072.
- [7] M. M. Rana, M. Uddin, M. R. Sarkar, G. M. Shafiullah, H. Mo, and M. Atef, "A Review on Hybrid Photovoltaic–Battery Energy Storage System: Current Status, Challenges, and Future Directions," *J. Energy Storage*, vol. 51, Art. no. 104597, 2022, doi: 10.1016/j.est.2022.104597.
- [8] A. Burgio, D. Cimmino, A. Nappo, L. Smarrazzo, and G. Donatiello, "An IoT-Based Solution for Monitoring and Controlling Battery Energy Storage Systems at Residential and Commercial Levels," *Energies*, vol. 16, no. 7, Art. no. 3140, 2023, doi: 10.3390/en16073140.
- [9] M. S. Endiz, "Design and Implementation of Microcontroller-Based Solar Charge Controller Using Modified Incremental Conductance MPPT Algorithm," *J. Radiat. Res. Appl. Sci.*, vol. 17, no. 2, Art. no. 100938, 2024, doi: 10.1016/j.jrras.2024.100938.
- [10] G. Boubakr, F. Gu, L. Farhan, and A. Ball, "Enhancing Virtual Real-Time Monitoring of Photovoltaic Power Systems Based on the Internet of Things," *Electronics*, vol. 11, no. 15, Art. no. 2469, 2022, doi: 10.3390/electronics11152469.
- [11] L. Jia, Z. Li, and Z. Hu, "Applications of the Internet of Things in Renewable Power Systems: A Survey," *Energies*, vol. 17, no. 16, Art. no. 4160, 2024, doi: 10.3390/en17164160.
- [12] A. Hamied, A. Mellit, M. Benhanem, and S. Boubaker, "IoT-Based Low-Cost Photovoltaic Monitoring for a Greenhouse Farm in an Arid Region," *Energies*, vol. 16, no. 9, Art. no. 3860, 2023, doi: 10.3390/en16093860.
- [13] M. A. Abu Radia, M. K. El Nimr, and A. S. Atlam, "IoT-Based Wireless Data Acquisition and Control System for Photovoltaic Module Performance Analysis," *e-Prime Adv. Electr. Eng. Electron. Energy*, vol. 6, Art. no. 100348, 2023, doi: 10.1016/j.prime.2023.100348.
- [14] M. Tradacete-Ágreda, E. Santiso-Gómez, F. J. Rodríguez-Sánchez, P. J. Hueros-Barrios, J. A. Jiménez-Calvo, and C. Santos-Pérez, "High-Performance IoT Module for Real-Time Control and Self-Diagnose PV Panels under Working Daylight and Dark Electroluminescence Conditions," *Internet Things*, vol. 25, Art. no. 101006, 2024, doi: 10.1016/j.iot.2023.101006.
- [15] D. N. Bestari and A. Wibowo, "An IoT-Based Real-Time Weather Monitoring System Using Telegram Bot and ThingsBoard Platform," *Int. J. Interact. Mob. Technol.*, vol. 17, no. 6, pp. 4–19, 2023, doi: 10.3991/ijim.v17i06.34129.