

Rancang Bangun Sistem *Monitoring* PLTS *Off-Grid* Pada *Mobile Tower* Berbasis *Internet of Things*

Trisuyono Suparmin^{**1}, Adi Mulyadi², Widhi Winata Sakti³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas PGRI Banyuwangi, 68416, Indonesia

¹ trisuyonosuparmin19@gmail.com ² adimulyadi@unibabwi.ac.id ³ widhiwinata@unibabwi.ac.id

^{**}Corresponding Author: trisuyonosuparmin19@gmail.com

 Cite: <https://doi.org/10.63440/jef.v3i1.126>

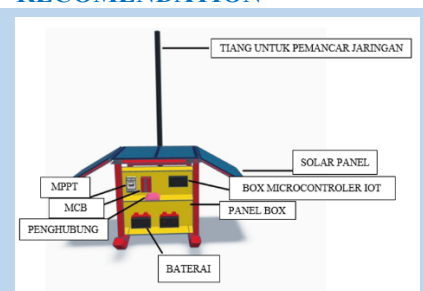
 Read Online

ACCESS

Abstract: This research developed and tested an Internet-of-Things-based off-grid solar power plant monitoring system on mobile towers using the Telegram platform as the monitoring medium. The objective of this research was to create an efficient and real-time mobile tower performance monitoring system based on temperature, current, power, light intensity, voltage, latency, and error percentage.

The experimental method, using hardware (ESP32, RS485, LM2596) and software (Telegram) for data monitoring, was tested in the field. Testing was conducted twice on different dates, weather conditions, and for different durations. The results showed a system efficiency of 84.68%, error below 5%, accuracy of 99.54% for temperature, 98.52% for current, 98.7% for power, and 99.33% for voltage, with latency of 89-267 ms. The system was deemed to meet the criteria for a sustainable mobile tower monitoring solution.

RECOMENDATION



Keyword: PLTS off-grid, Mobile Tower, Internet of Things, Monitoring System, Telegram

Article Info

Recieved
January 12, 2026

Revised
March 05, 2026

Accepted
May 29, 2026

Published
June 30, 2026



1. PENDAHULUAN

Penggunaan energi terbarukan merupakan kebutuhan strategis dalam menjaga keberlanjutan sumber daya alam seiring meningkatnya konsumsi energi global. Meskipun kebijakan transisi energi terus berkembang, ketergantungan terhadap bahan bakar fosil masih dominan, khususnya pada sektor pertambangan yang membutuhkan suplai listrik stabil dan berkelanjutan. Banyak lokasi pertambangan di Indonesia yang berada di wilayah terpencil yang belum terjangkau aliran listrik PLN (Perusahaan Listrik Negara), sehingga penggunaan genset berbahan bakar fosil masih menjadi solusi utama. Namun, solusi tersebut memiliki kelemahan berupa biaya perasional tinggi, perawatan intensif dan dampak lingkungan cukup beresiko seperti emisi karbon dan polusi suara [1]. Data menunjukkan pada 2016-2022 penggunaan bahan bakar fosil 88%, 2023 menjadi 81% dan 77% pada 2025, laju transisi ini masih memerlukan percepatan untuk mencapai target kebijakan energi nasional [2].

Sebagai alternatif yang lebih ramah lingkungan, pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) off-grid mulai banyak diterapkan di wilayah terpencil karena mampu beroperasi secara mandiri tanpa harus bergantung pada jaringan listrik PLN [3]. Sistem PLTS off-grid yang dikombinasikan dengan baterai penyimpanan dapat menyediakan energi secara berkelanjutan, terutama untuk beban yang kritis. Namun demikian performa PLTS sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan teknis seperti intensitas cahaya, suhu, degradasi, panel, inverter serta kondisi baterai. Oleh karena itu, diperlukan sistem pemantauan yang mampu mengawasi kinerja PLTS secara berkelanjutan agar suplai energi tetap stabil dan gangguan dapat terdeteksi sedini mungkin [4].

Mobile tower merupakan infrastruktur yang vital dalam mendukung layanan komunikasi, terutama di kawasan pertambangan yang terpencil dan minim akses jaringan listrik konvensional. Dalam konteks operasional pertambangan, kestabilan komunikasi menjadi faktor krusial karena berkaitan langsung dengan koordinasi aktivitas di lapangan. Oleh karena itu, PT Putra Perkasa Abadi (PPA) site Makmur Lestari Primatama (MLP) memanfaatkan PLTS *off-grid* sebagai sumber energi utama untuk *mobile tower* guna menjamin keberlangsungan komunikasi dan operasional [5]. Tetapi, permasalahan yang dihadapi yaitu pada monitoring sistem PLTS yang masih dilakukan secara manual, sehingga berpotensi menimbulkan keterlambatan deteksi gangguan dan meningkatkan resiko downtime layanan. Berdasarkan data operasional dalam kurun waktu enam bulan terakhir tercatat sekitar 30 kejadian downtime yang berdampak terganggunya komunikasi, pemantauan CCTV, koordinasi operasional tambang, yang pada akhirnya berimplikasi pada keselamatan dan produktivitas. Pemeriksaan dan perbaikan manual membutuhkan biaya yang cukup besar mencapai ± 15 juta perkejadian meliputi biaya transportasi, bahan bakar, dan tenaga teknis. Kondisi ini meningkatkan biaya operasional.

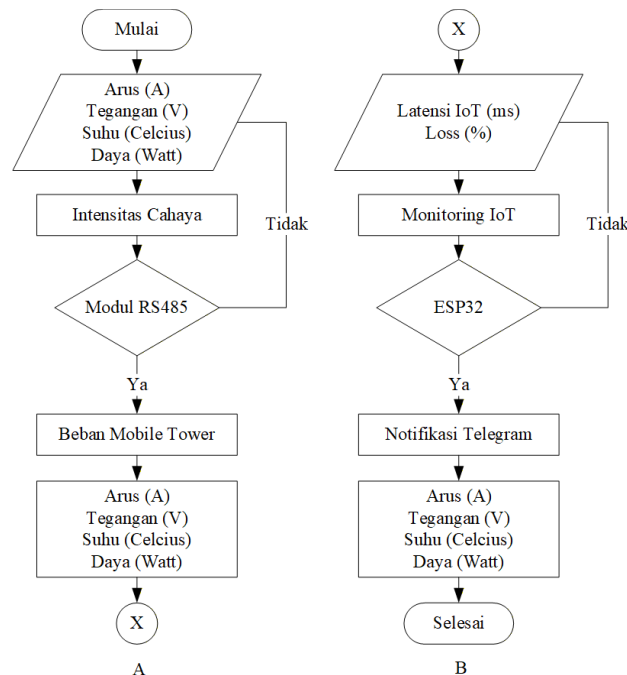
Beberapa penelitian terdahulu telah mengembangkan sistem monitoring berbasis IoT dengan hasil yang cukup memuaskan dari sisi akurasi dan pengukuran. Penelitian Dimas Rangga (2024) dan Haryanto (2024) memanfaatkan mikrokontroler ESP32 dan sensor PZEM-004T untuk memantau parameter listrik secara real-time namun implementasinya masih terbatas pada skala laboratorium dan belum diterapkan secara kritis di lapangan [6][7]. Penelitian Abdurahman (2024) dan Hendro Darmono (2022) mengembangkan sistem monitoring PLTS berbasis android pada sistem on-grid sehingga membutuhkan jaringan yang lebih kompleks dan konsumsi daya yang lebih besar [8] [9]. Hal ini menunjukkan bahwa penelitian terdahulu belum spesifik membahas monitoring PLTS *off-grid* yang diterapkan pada *mobile tower* di wilayah pertambangan terpencil dengan keterbatasan jaringan.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut pengembangan sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) menjadi solusi yang relevan karena mampu menyediakan data kondisi PLTS secara real-time dan dapat diakses dari jarak jauh [10]. Pemanfaatan *platform* Telegram menjadi media monitoring dipilih karena ringan, mudah digunakan, dan mampu beroperasi dengan koneksi *internet* minim, sehingga sesuai dengan kondisi wilayah yang terpencil. Telegram bersifat open source sehingga mampu menyediakan *Application Program Interface* (API) yang terbuka untuk pengembangan bot sehingga mampu mengirimkan peringatan secara cepat ketika terjadi kondisi abnormal. Sistem ini memungkinkan pengiriman data dan notifikasi otomatis dengan parameter seperti tegangan, arus, suhu, daya dan kondisi energi faktual secara tepat tanpa memerlukan server khusus atau aplikasi tambahan. Semua dapat diakses dalam genggaman menggunakan ponsel dimana saja dan kapan saja [11].

Berdasarkan kondisi tersebut penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem monitoring PLTS off-grid pada *mobile tower* berbasis IoT menggunakan platform Telegram sebagai media notifikasi real-time. Sistem yang dikembangkan diharap mampu meningkatkan kendalan suplai energi, menekan biaya operasional pemeliharaan, serta mendukung penerapan *predictive maintenance* pada infrastruktur energi di wilayah tambang terpencil. Selain memberikan solusi praktis juga memberikan solusi teknis bagi PT PPA site MLP, dengan adanya penelitian diharapkan tidak hanya berkontribusi secara akademis tetapi juga dapat menjadi Solusi praktis yang dapat di implementasikan langsung pada *mobile tower* di PT PPA site MLP serta dapat berkontribusi dan mendukung pemanfaatan energi terbarukan dalam meningkatkan efisiensi operasional sejalan dengan upaya nasional dalam transisi menuju energi bersih dan berkelanjutan.

2. METODE

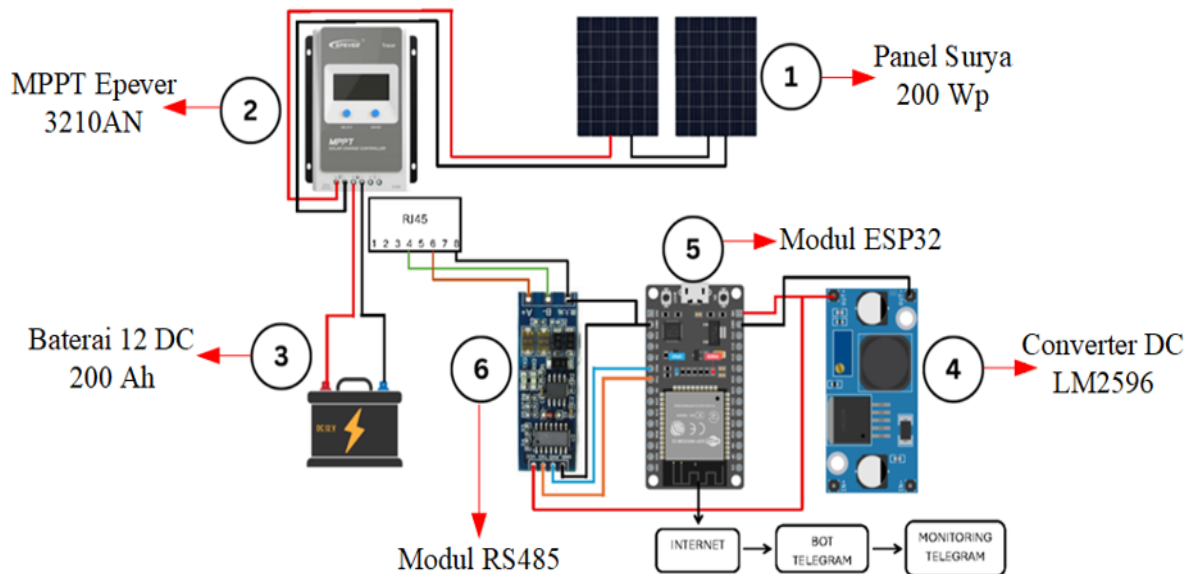
Penelitian diawali dengan studi literatur guna mengumpulkan referensi dan teori yang relevan terkait PLTS *off-grid*, IoT, Telegram, hingga sensor arus dan tegangan agar dasar teori dan konsep dapat digunakan dalam perancangan sistem. Proses perancangan sistem digunakan untuk menentukan kerangka keras dan perangkat lunak. Pembuatan alat dilakukan setelah sistem sudah tersedia sehingga dapat di implementasikan. Pengukuran, pengujian dan pengumpulan data dilakukan parameter berupa pengukuran arus, tegangan, hambatan, daya, error persen untuk memastikan akurasi sistem. Data hasil pengukuran tersebut kemudian diproses melalui teknologi IoT dimana data dapat dikonversi, disimpan, serta ditampilkan secara real-time guna memudahkan pemantauan. Hasil dari proses ini yaitu manajemen sistem yang lebih efisien berupa informasi kinerja panel surya yang dapat digunakan sebagai optimalisasi dan peningkatan sistem PLTS dalam jangka panjang. Tahap terakhir ditarik kesimpulan dan saran agar terlihat keunggulan dan kelemahan dari alat dan sistem yang telah dibuat. *Flowchart* penelitian dijelaskan pada gambar 1 dan spesifikasi komponen utama seperti kapasitas panel, baterai, tipe MPPT, jenis baterai dan modul RS485 dijelaskan pada gambar 2.



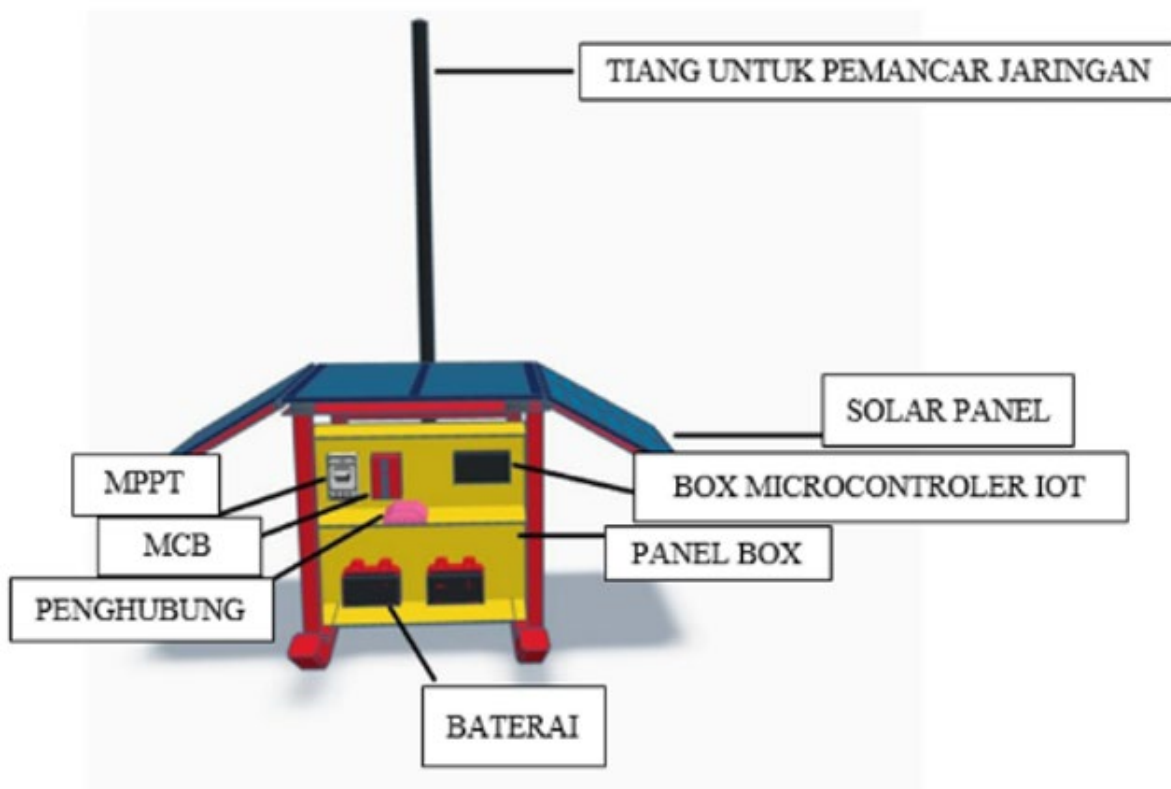
Gambar 1. (a) Pengukuran Sistem Mobile Tower, (b) Monitoring IoT Mobile Tower

A. Rangkaian Sistem dan Desain *Mobile Tower*

Pada gambar 2 cahaya matahari yang masuk dari solar panel diubah menjadi energi listrik dan dialirkan menuju sistem MPPT. Kemudian MPPT menyalurkan energi menuju empat penyimpanan yaitu baterai. Baterai kemudian berperan sebagai media penyimpanan energi listrik yang dihasilkan dari panel surya, selanjutnya konverter atau step-down digunakan untuk menurunkan tegangan agar dapat mengaktifkan modul RS485 dan ESP32. Modul RS485 mentransmisikan data dari hasil pengukuran tegangan, arus, suhu, menuju ke ESP32. Selanjutnya ESP32 berperan sebagai penghubung ke internet untuk pembacaan data secara *real-time* melalui aplikasi telegram.



Gambar 2. Desain PLTS Off-Grid



Gambar 3. Desain Mobile Tower

3. HASIL

A. Implementasi Sistem Monitoring

Sistem monitoring PLTS *off-grid* pada mobile tower dirancang untuk pemantauan secara real-time melalui Telegram. Sistem ini mengintegrasikan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) berbasis IoT dengan ESP32 sebagai pusat pengolahan data. Dengan parameter meliputi daya, arus, tegangan, suhu dan intensitas cahaya yang diperoleh melalui komunikasi RS485 yang dapat dikirimkan secara berkala dengan interval 1 menit ataupun dengan perintah. Sistem diuji langsung sesuai kondisi yang ada dilapangan untuk memastikan fungsi dan kendala dalam mempresantasikan kondisi aktual PLTS *off-grid* pada mobile tower.

B. B. Kondisi Objek Penelitian

Pada penelitian ini mobile tower tidak dirancang ulang tetapi sudah ada dan beroperasi di PT. PPA site MLP yang kemudian dikembangkan sistem monitoringnya agar memudahkan dalam perbaikan dan monitoringnya. Jarak *mobile tower* dari *mobile tower* lainnya beragam jaraknya, dan menyesuaikan dengan daerah dan jarak lemparan jaringan Point to Point (PTP) dari peralatan *Access Point* (AP) yang akan dilakukan penyebaran atau backup jaringan *internet*. Untuk dilapangan biasanya berjarak antara 2-3 km dan paling jauh berjarak 5 kilometer.



A B

Gambar 4. (a) Mobile Tower, (b) Pengujian Alat

C. Pengujian Software

Pengujian software guna memastikan sistem mampu mengolah data hasil pembacaan dari mikrokontroler ESP32 berupa arus, tegangan, suhu, daya, intensitas cahaya, dan latensi. Kemudian data di akuisisi melalui komunikasi RS485 sehingga data dapat dikirim secara berkala dengan interval 1 menit serta dapat ditampilkan berdasarkan perintah pengguna melalui bot Telegram ataupun menggunakan perintah otomatis, sistem.



Gambar 5. Monitoring Melalui Telegram

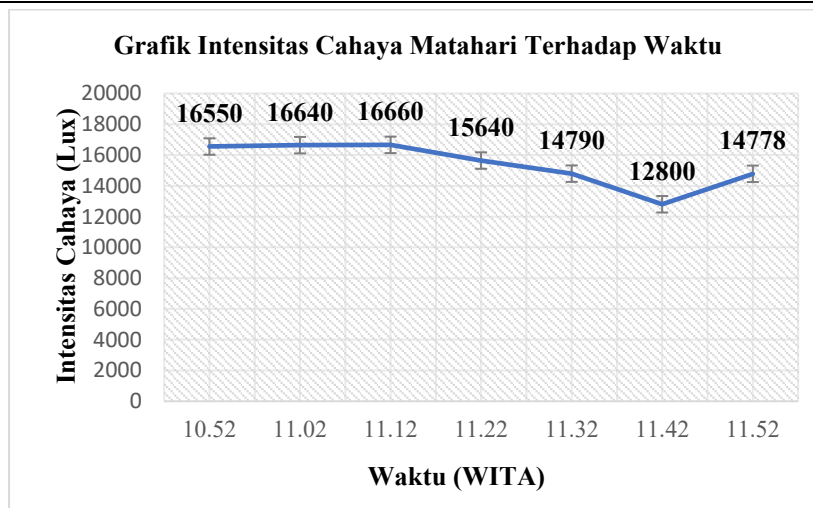
D. D. Hasil Pengujian

Pengujian ini dilakukan secara manual menggunakan multimeter dan melalui aplikasi telegram. Setelah perakitan, sistem diaktifkan dan monitoring data dilakukan di PT.PPA site MLP, Sulawesi Tenggara, pada tanggal 24 Desember 2025. Pukul 10.52 - 11.52 WITA pengukuran pertama dengan kondisi cuaca panas berawan dengan interval waktu 10 menit, dan pengukuran kedua pada tanggal 6 Januari 2026 dengan cuaca panas terik, pukul 09.00 – 10.35 WITA, dengan interval pengambilan data setiap 5 menit, untuk memaksimalkan kinerja Solar cell. Pengukuran pada tanggal 24 Desember 2025 Pukul 10.52 - 11.52 WITA dengan kondisi cuaca panas berawan dengan interval waktu 10 menit. Diuji sebanyak 7 kali dikarenakan cuaca hujan setelahnya. Berdasarkan tabel 2.1 intensitas cahaya yang diukur menggunakan multimeter dan telegram relative sama pada saat diukur. pada multimeter intensitas cahaya menunjukkan 16550 lux pada pukul 11.12 WITA sedangkan telegram menunjukkan 16550 lux pada waktu yang sama. Nilai tegangan, arus, suhu, daya antara multimeter dan telegram menunjukkan perbedaan nilai yang cukup kecil.

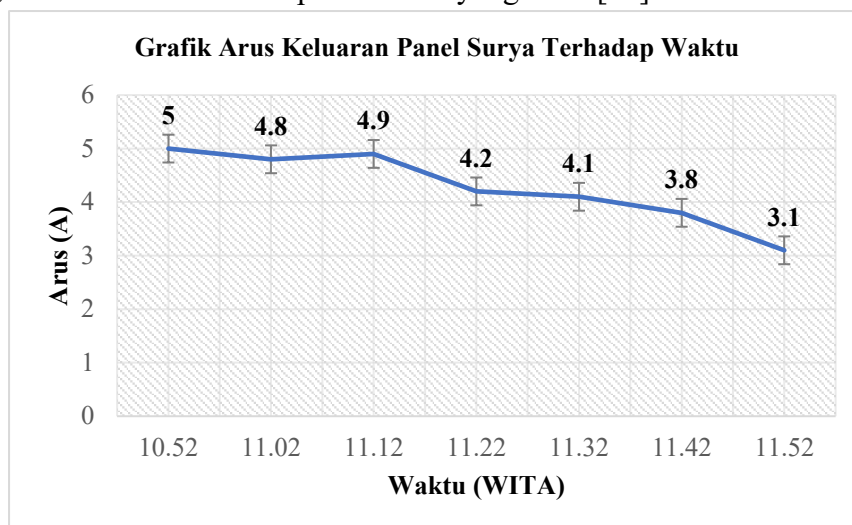
Terlihat pada daya tertinggi multimeter dan telegram bahkan sama tercatat pada pukul 10.52 WITA sebesar 169,37 W sedangkan daya terendah pada pukul 11.52 WITA sebesar 114,30 W, sedangkan pada telegram pada pukul 11.52 WITA dengan nilai 117,69 W, jika dengan adanya intensitas cahaya yang relative tinggi juga. Penurunan daya pada waktu juga dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari yang mengalami fluktuasi. Tegangan panel pada rentang 33-36,9 V cenderung stabil. Arus keluaran mengalami penurunan seiring berkurangnya intensitas cahaya antara 3,1 hingga 5 A. serta selama pengujian suhu panel berada rata-rata 36 hingga 38 °C. suhu ini masih pada kategori wajar sehingga panel masih menghasilkan daya relatif yang cukup tinggi. Batas wajar suhu pada panel surya yaitu suhu berada pada 25-45°C, kurang optimal > 45 °C, performa menurun ≥ 60 °C, batas maksimal atau absolut 85 °C [12].

Tabel 1. Hasil Pengukuran Multimeter dan Telegram

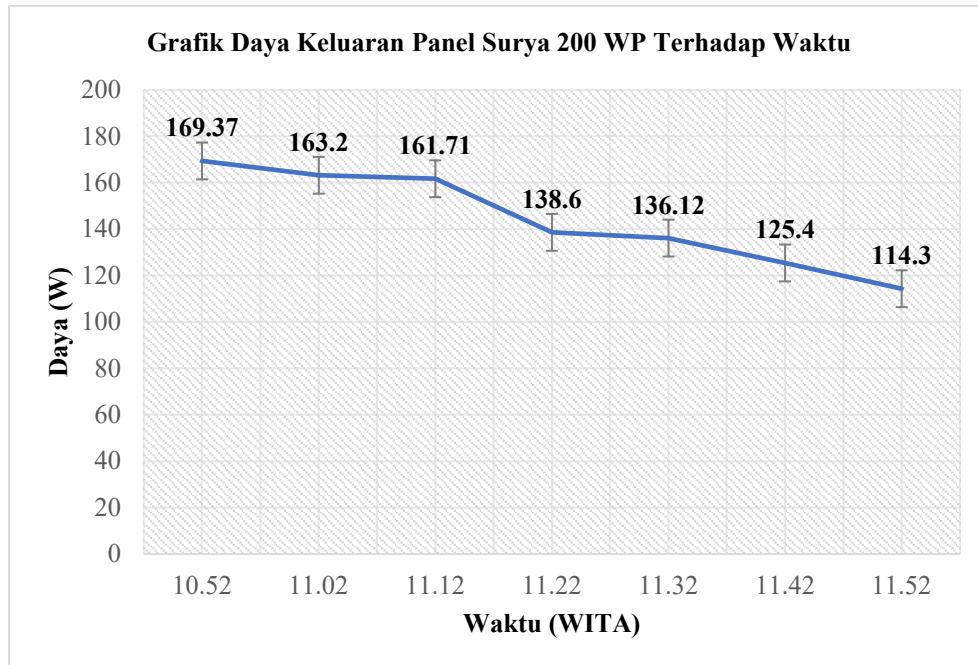
PANEL SURYA 200 WP											
Waktu (WITA)	Intensitas Cahaya Pada Multimeter (lux)	Intensitas Cahaya Pada Telegram (lux)	Tegangan Pada Multimeter (V)	Tegangan Pada Telegram (V)	Arus Pada Multimeter (A)	Arus Pada Telegram (A)	Suhu Pada Multimeter (°C)	Suhu Pada Telegram (°C)	Daya Pada Multimeter (W)	Daya Pada Telegram (W)	Latensi / ms
10.52	16550	16550	34	34.05	5	4.97	36	36.05	169,37	169.37	198
11.02	16640	16640	34	34.46	4.8	4.73	36	36.01	163,20	163.23	89
11.12	16660	16660	33	32.48	4.9	4.90	37	37.02	161,71	159.35	97
11.22	15640	15640	33	33.34	4.2	4.14	37	37.04	138,60	138.11	127
11.32	14790	14790	33.2	33.27	4.1	4.06	38	37.55	136,12	135.19	107

**Gambar 6.** Intensitas Cahaya Terhadap Waktu

Selain itu latensi pengiriman data ke telegram masih dapat dikatakan bagus nilainya antara 89 ms hingga 267 ms. variasi latensi menunjukkan adanya perbedaan waktu pengiriman data pada setiap pengukuran yang dipengaruhi oleh jaringan internet. Tetapi latensi tidak mempengaruhi nilai pengukuran listrik secara langsung, hanya mempengaruhi waktu penerimaan data pada sistem monitoring. Latensi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jarak, kemacetan dan waktu pemrosesan yang lama [13].

**Gambar 7.** Arus Terhadap Waktu

Pada grafik 5 menunjukkan arus yang dihasilkan panel surya mengalami perubahan selama periode pengujian. Arus tertinggi ada pada pukul 10.52 dengan nilai 5A dan matahari berada pada kondisi tertinggi. Seiring berjalannya waktu arus keluaran panel mulai menurun secara bertahap pada pukul 11.22 WITA hingga 11.52 WITA sebesar 4,2 hingga 3,1 A. Penurunan ini sejalan dengan kurangnya intensitas cahaya matahari yang diterima oleh panel surya sehingga arus yang diperoleh ikut menurun.



Gambar 8. Daya Terhadap Waktu

Pada gambar 8 terlihat pada awal pengamatan daya keluaran panel berada pada posisi tertinggi sebesar 169,37 W pada pukul 10.52 WITA. Dan kondisi terendah berada pada pukul 11.52 WITA sebesar 114,3 W. Berdasarkan data diatas perubahan daya merupakan akibat langsung dari intensitas cahaya yang naik turun. Dari gambar grafik 8 menjelaskan hubungan sebab akibat penurunan intensitas cahaya matahari dapat menyebabkan penurunan arus yang berdampak juga pada penurunan daya pada panel surya 200 WP. Hal ini juga membuktikan kinerja panel surya bergantung pada kondisi selama penyinaran saat pengujian berlangsung

4. PEMBAHASAN

Perhitungan efisiensi digunakan untuk mengetahui seberapa besar energi listrik yang berhasil dimanfaatkan oleh sistem dibandingkan dengan kapasitas maksimum panel surya. Dihitung berdasarkan perbandingan antara daya keluaran panel surya dengan hasil pengukuran dengan daya panel surya. Panel surya memiliki spesifikasi 200 Wp. Daya maksimum dapat dihasilkan dalam kondisi standar (standard test condition) dan daya tertinggi panel sebesar 169,37 W pada pukul 10.52 WITA. Jika dihitung menggunakan persamaan.

Nilai diatas menunjukkan bahwa sebagian besar daya potensial panel surya berhasil dimanfaatkan oleh sistem. Tetapi nilai efisiensi belum mencapai 100% dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti fluktuasi intensitas cahaya matahari dimana arus dan daya panel tidak selalu dalam kondisi maksimum dikarenakan intensitas cahaya yang berubah-ubah, pengaruh suhu lingkungan jika efisiensi kerja panel dapat menurun jika suhu panel meningkat, kerugian pada sistem apabila kehilangan daya listrik yang terjadi selama proses penyaluran dan pengolahan energi dari panel surya hingga ke beban [17]. Kerugian ini disebabkan oleh

beberapa komponen dalam sistem, seperti MPPT, rangkaian elektronik, dan penghantar kabel, serta kondisi pengujian lapangan dimana pengujian dilakukan dalam kondisi nyata (real condition), bukan kondisi standar laboratorium.

Penelitian ini pengembangan dari penelitian- penelitian sebelumnya yang membahas tentang sistem monitoring menggunakan IOT berbasis platform telegram. Pengembangan utama dari penelitian ini terletak pada objek yang diteliti atau objek penerapannya, peneliti terdahulu belum ada yang spesifik melakukan pengujian terhadap mobile tower. Sedangkan penelitian sebelumnya berfokus pada karakteristik panel surya, pengiriman data secara daring, pengujian akurasi sensor dan belum spesifik menerapkannya pada mobile tower dilokasi terpencil. Penggunaan sistem IoT pada mobile tower memiliki keunggulan yaitu konsistensi dan kontinuitas dalam hasil pengukuran dibanding metode konvensional. Sistem mampu melakukan pengukuran sesuai parameter yang ditentukan dan secara real-time dan berulang dalam waktu interval 1 menit. Sehingga data dapat disajikan secara detail tidak hanya dalam kondisi sesaat. Hal ini berbeda dengan pengukuran konvensional yang masih bergantung pada kehadiran operator yang tentunya berpotensi melewatkan kondisi penting pada sistem panel surya pada mobile tower.

Selain itu hasil pengujian menunjukkan error berada dibawah 5% dan efisiensi di range 84,68% yang baik dalam mempresentasikan kondisi aktual pada panel dengan begitu hasil pengukuran memberikan keunggulan berupa data yang konsisten, akurat, efisien dan mudah di akses yang sangat krusial dikarenakan sistem mobile tower yang masih berada dilokasi terpencil atau sulit dijangkau. Efisiensi tidak hanya pada energi panel surya saja tetapi juga efisiensi operasional dan pemeliharaan sistem. Dengan adanya pemantauan jarak jauh melalui platform telegram operator tidak perlu melakukan inspeksi rutin ke lokasi mobile tower. Hal ini tentunya mengurangi biaya operasional, waktu dan kebutuhan tenaga kerja terutama pada mobile tower yang berada pada area sulit dijangkau. Selain itu monitoring memungkinkan deteksi dini jika ada penurunan kinerja pada panel di mobile tower, informasi ini dapat mencegah gangguan berkembang menjadi kerusakan yang lebih parah.

Berbeda dengan penelitian sebelumnya masih keterbatasan pada interval pengambilan data yang relative jarang dan panjang. Perkasa dkk. dan Haryanto dkk. [7], [8] berhasil membangun sistem monitoring berbasis IoT tetapi penerapannya masih berbasis skala pengujian laboratorium, belum diimplementasikan secara langsung pada beban kebutuhan di lapangan pada sistem PLTS off-grid. Selain itu penelitian yang dilakukan Abdurrahman dkk. dan Darmono dkk. [9], [10] lebih fokus pada sistem on-grid berbasis android sehingga integrasi panel surya membutuhkan daya lebih tinggi dan infrastruktur yang lebih kompleks. Berdasarkan hal tersebut research gap yang muncul berupa kebutuhan akan monitoring PLTS off-grid yang berorientasi pada operasional mobile tower dengan karakter yang mudah diakses, hemat daya, mampu menampilkan data suhu, tegangan, arus, dan efisiensi secara real-time melalui IoT berbasis telegram. Peneliti berupaya mengisi celah yang belum dibahas dengan merancang dan membangun sistem monitoring PLTS off-grid menggunakan mikrokontroler dan komunikasi telegram bot sebagai media visualisasi dan notifikasi data, yang menjadi pembaruan yaitu sistem pemantauan manual menjadi real-time agar lebih praktis digunakan di lokasi terpencil tanpa memerlukan infrastruktur yang kompleks.

Monitoring mobile tower diterapkan secara khusus pada mobile tower dengan interval yang lebih rapat dan singkat agar pengambilan data dapat dimaksimalkan. Penelitian sebelumnya juga berfokus pada akurasi sensor dan karakteristik panel namun belum

menekankan aspek pemantauan jarak jauh secara real-time pada mobile tower. Serta memberikan kemudahan akses data di mana saja dan kapan saja tanpa perlu perangkat khusus selain ponsel pintar. Selain itu, penelitian sebelumnya juga menunjukkan keterbatasan dalam kondisi dinamis akibat fluktuasi cuaca karena interval pengambilan data lebih jarang atau durasi waktu yang lumayan jarang. Berbeda dengan hal tersebut sistem ini mampu menangkap perubahan data secara responsif sehingga dapat dipantau secara maksimal. Sistem ini lebih unggul dari segi pemantauan jangka panjang, efisiensi operasional dan kelayakan penerapannya pada mobile tower di PT PPA site MLP.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, serta pengujian sistem monitoring PLTS off-grid pada Mobile Tower berbasis IoT menggunakan telegram menunjukkan bahwa sistem monitoring PLTS off-grid pada Mobile Tower di PT PPA site MLP berhasil diimplementasikan menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengelolaan data serta komunikasi RS485 untuk mengirimkan data dari PLTS. Sistem mampu memonitor parameter arus, daya, tegangan, suhu, intensitas cahaya, dan latensi secara real-time. Kemudian sistem mengirimkan informasi tersebut ke aplikasi telegram melalui koneksi internet sehingga memungkinkan pemantauan jarak jauh terhadap kondisi PLTS off-grid di lapangan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem bekerja secara stabil dan responsif dalam menampilkan monitoring serta mampu memenuhi kebutuhan pemantauan PLTS off-grid pada mobile tower. Sistem monitoring memiliki tingkat efisiensi sebesar 84,68% dengan persentase error dibawah 5% yang menunjukkan tingkat akurasi cukup baik. Latensi pengiriman data tercatat berada dibawah 300 ms, sehingga sistem tergolong responsif dalam pengiriman data dan informasi secara real-time. Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, implementasi dan sistem monitoring dinyatakan layak digunakan untuk mendukung pemantauan PLTS off-grid pada mobile tower di PT PPA site MLP secara efektif dan efisien. Saran sistem yang dapat dikembangkan penelitian selanjutnya dengan menambah penyimpanan menggunakan cloud atau database. Pada penelitian selanjutnya dapat memperluas waktu dan variasi pengujian atau cuaca yang berbeda. Serta sistem dapat dikembangkan lebih jauh menjadi multi-node agar mampu memantau beberapa PLTS sekaligus dalam satu platform monitoring.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Laboratorium Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas PGRI Banyuwangi yang telah memberikan fasilitas dalam menyelesaikan proyek skripsi. Proyek ini merupakan syarat untuk memenuhi penyelesaian program sarjana teknik elektro (S-1) di Universitas PGRI Banyuwangi.

REFERENSI

- [1] Y. S. Lembong, "Analisis Genset 500 Kva Sebagai Sumber Energi Utama di PT. Antam TBK, Unit Bisnis Pertambangan Bauksit Kalimantan Barat Menggunakan Software ETAP," p. 1, 2022. [Online]. Tersedia: <https://repositori.telkomuniversity.ac.id/home/catalog/id/180254/slug/>
- [2] A. E. Setyono and B. F. T. Kiono, "Dari Energi Fosil Menuju Energi Terbarukan: Potret Kondisi Minyak dan Gas Bumi Indonesia Tahun 2020 – 2050," J. Energi Baru dan

- Terbarukan, vol. 2, no. 3, pp. 154–162, 2021, doi: <https://doi.org/10.14710/jebt.2021.11157>
- [3] Y. Y. N. Maulana, Z. Zamzani, “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Off-Grid Menggunakan Baterai Lithium-Ion Untuk Perkebunan di Desa Blang Pie,” vol. 8, no. 2, pp. 249–255, 2024. doi: <http://doi.org/10.30811/tektro.v8i2.6316>
- [4] A. F. Hernawan, E. Mulyana, and B. Trisno, “Evaluasi Kinerja Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Hybrid Pada Gedung Centre of Excellence Universitas,” *Transm. J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 26, no. 1, pp. 31–39, 2024, doi: <https://doi.org/10.14710/transmisi.26.1.31-39>
- [5] Triraharjo, J. “Tentang Kami, PT. Putra Perkasa Abadi,” [Online]. Tersedia: <https://ppa.co.id/tentang-ppa/>. [Diakses Juli 5, 2026].
- [6] D. R. R. P. Putra and J. Joko, “Perancangan Alat Monitoring Kinerja PLTS Off Grid Berbasis IoT Menggunakan NodeMCU ESP 32 dan Telegram,” *J. Tek. Elektro*, vol. 13, no. 3, pp. 248–255, 2024, doi: <https://doi.org/10.26740/jte.v13n3.p248-255>
- [7] M. Ulum, H. Haryanto, and D. Neipa Purnamasari, “Smart Monitoring Sistem Panel Surya Berbasis Internet of Things (IoT),” *Cyclotron*, vol. 7, no. 01, pp. 67–70, 2024, doi: <https://doi.org/10.30651/cl.v7i01.21175>
- [8] A.- Abdurahman, E.- Rosiana, H.- Kusnadi, and T.- Raharjo, “Sistem Monitoring Panel Surya Berbasis Web,” *J. Sist. dan Teknol. Inf.*, vol. 12, no. 3, p. 543, 2024, doi: <https://doi.org/10.26418/justin.v12i3.79793>
- [9] H. Darmono, K. Koesmariyanto, and F. R. Naufal, “Monitoring of Voltage and Load Current Integration of Solar Panels with Electric Grids Android-Based,” *Jartel*, pp. 128–131, 2022, doi: <https://doi.org/10.33795/jartel.v12i3.345>
- [10] Tisna, D. R., Maharani, T., Nugroho, K. T) “Pemanfaatan Chatbot Telegram Untuk Monitoring Dan Kontrol Kualitas Air Menggunakan Esp32,” *J. Ilm. Pen dan Pem Inform.*, vol. 9, no. 3, 2024, doi: <https://doi.org/10.29100/jipi.v9i3.5329>
- [11] D. Wijayanto, S. I. Haryudo, T. Wrahatnolo, and N. Nurhayati, “Rancang Bangun Monitoring Arus Dan Tegangan Pada Plts Sistem on Grid Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan Aplikasi Telegram,” *J. Tek. Elektro*, vol. 11, no. 3, pp. 447–453, 2022, doi: <https://doi.org/10.26740/jte.v11n3.p447-453>
- [12] H. S. Jaya and M. H. Rahmat, “Analisis Pengaruh Suhu Panel Surya Terhadap Output Panel Performance,” no. 1, pp. 42–51, 2024. doi: <https://doi.org/10.47134/jme.v1i1.2189>
- [13] Alwakeel, A. M. “Enhancing IoT Performance in Wireless and Mobile Networks Through Named Data Networking (NDN) and Edge Computing Integration,” *Computer Networks.*, vol. 264, no. 111267, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2025.111267>
- [14] B. Rudiyanto, R. E. Rachmanita, and A. Budiprasojo, Dasar Dasar Pemasangan Panel Surya. <https://unismapress.unisma.ac.id/product/dasar-dasar-pemasangan-panel-surya/>
- [15] Saputri, V. D., Febriani, R. A. “Study on The Effect of Edge Computing on Latency in IoT Applications,” *J. Tek. Elektro*, vol. 3, no. 1, pp. 33–36, 2024, doi: <https://doi.org/10.37676/jki.v3i1.572>
- [16] A. Y. Salile and S. Nisworo, “Analisis Fluktuasi Radiasi Matahari dan Implikasinya Terhadap Penempatan PLTS,” vol. 2, no. 6, pp. 354–358, 2025. doi: <https://doi.org/10.14710/jpii.2024.24596>

- [17] M. Karjadi, “Optimalisasi Efisiensi Panel Surya dalam Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Skala Rumah Tangga,” *Ranah Research: Journal of Multidisciplinary Research and Development*, vol. 7, no. 4, pp. 3002–3010, 2025. doi: <https://doi.org/10.38035/rrj.v7i4.1579>