

Received : 29 April 2026
Revised : 21 May 2026
Published : 10 June 2026
Issued : 30 June 2026



DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM INSTRUMENTASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA TERINTEGRASI JALA-JALA BERBASIS *INTERNET OF THINGS*

Alfin Muhammad Nugroho^{1,a)*}, Agus Ulinuha^{b)}

Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. A. Yani, Mendungan, Pabelan, Kec. Kartasura,
Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah 57169, Indonesia

*Email: ^{a)}alvin20agustus@gmail.com, ^{b)}agus.ulnuha@ums.ac.id

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) terus mengalami peningkatan karena sistem ini memiliki prosedur instalasi yang relatif sederhana serta menghasilkan emisi lingkungan yang rendah. Namun, sebagian instalasi PLTS belum dilengkapi dengan sistem instrumentasi dan monitoring terintegrasi untuk mengevaluasi kinerja secara langsung dan komprehensif. Studi ini difokuskan pada perancangan dan penerapan sistem instrumentasi berbasis *Internet of Things (IoT)* yang digunakan untuk memantau serta mengevaluasi kinerja PLTS secara menyeluruh. Sistem dikembangkan dengan mengintegrasikan data inverter *on-grid* dan kWh meter *ekspor-impor*, serta pengukuran kondisi lingkungan yang meliputi suhu panel, suhu dan kelembapan udara, serta intensitas radiasi matahari. Data diproses menggunakan *mikrokontroler* ESP32, disinkronkan melalui jaringan internet, dan disajikan pada platform berbasis *web* secara *real-time* dengan fitur penyimpanan historis. Implementasi dilakukan pada instalasi PLTS *on-grid* di MA Darul Ihsan Muhammadiyah Sragen. Pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa keluaran sistem memiliki deviasi yang rendah terhadap data yang diperoleh dari instrumen referensi, sehingga menunjukkan tingkat keandalan yang tinggi. Pada lokasi, sistem dilengkapi dengan *display* LED TV untuk visualisasi yang lebih detail. Sistem instrumentasi dan monitoring berbasis *Internet of Things (IoT)* ini memungkinkan analisis kinerja sistem secara *real-time* serta memberikan tampilan visual yang edukatif melalui layar LED TV. Implementasi yang dikembangkan berpotensi menjadi solusi praktis dalam monitoring PLTS *on-grid* sekaligus media pembelajaran energi terbarukan.

Kata-kunci: energi terbarukan, PLTS *on-grid*, sistem instrumentasi, *internet of things*, monitoring.

Abstract

Solar Power Plants (SPPs) continue to grow in popularity due to their relatively simple installation and low environmental emissions. However, some SPP installations are not yet equipped with integrated instrumentation and monitoring systems to evaluate performance directly and comprehensively. This study focuses on the design and implementation of an Internet of Things

(IoT)-based instrumentation system to comprehensively monitor and evaluate SPP performance. The system was developed by integrating on-grid inverter data and export-import kWh meters, as well as environmental condition measurements, including panel temperature, air temperature, and humidity, and solar radiation intensity. Data is processed using an ESP32 microcontroller, synchronized via the internet, and presented on a web-based platform in real time with a historical storage feature. Implementation was carried out on an on-grid SPP installation at MA Darul Ihsan Muhammadiyah Sragen. Tests conducted showed that the system output had a low deviation from the data obtained from the reference instrument, thus demonstrating a high level of reliability. The system is equipped with an LED TV display at the location for more detailed visualization. This IoT-based instrumentation and monitoring system enables real-time system performance analysis and provides educational visual displays via an LED TV screen. The developed implementation has the potential to be a practical solution for monitoring on-grid solar power plants and a learning tool for renewable energy.

Keywords: *renewable energy, on-grid solar power plants, instrumentation systems, internet of things, monitoring.*

Pendahuluan

Perkembangan zaman mendorong meningkatnya kesadaran masyarakat untuk memanfaatkan sumber daya secara lebih optimal dan berkelanjutan. Pertumbuhan populasi yang pesat meningkatkan konsumsi energi secara signifikan (Muhammad Rifaldi et al., 2023). Ketergantungan pada energi fosil sebagai sumber utama berpotensi menimbulkan kelangkaan akibat sifatnya yang tidak terbarukan (Rahmat Hasrul, 2021). Pemanfaatan energi terbarukan menjadi solusi strategis untuk mengantisipasi krisis listrik di masa mendatang serta mendukung transisi energi dari sumber fosil menuju sistem energi berkelanjutan (Windarta et al., 2023). Energi fosil diketahui menghasilkan polusi serta emisi karbon yang signifikan, sedangkan energi terbarukan cenderung memberikan dampak lingkungan yang lebih minimal. Konsumsi bahan bakar fosil secara berlebihan berdampak pada peningkatan konsentrasi gas rumah kaca yang memicu ketidakseimbangan lingkungan dan perubahan iklim global (Setyono & Kiono, 2021).

Kenaikan konsumsi energi mendorong peningkatan permintaan listrik setiap hari. Sebagai respons terhadap kondisi tersebut, PLTS berkembang pesat sebagai salah satu teknologi pembangkit berbasis energi terbarukan. Teknologi ini telah banyak diterapkan untuk memenuhi kebutuhan listrik pada sektor rumah tangga maupun industri. Sumber utama PLTS berasal dari energi matahari yang tersedia secara alami dan berkelanjutan, sehingga tidak memerlukan biaya bahan bakar dalam proses pembangkitan listrik (Nurhasanah & Jember, 2023). Letak geografis Indonesia di wilayah tropis menyebabkan ketersediaan radiasi matahari yang relatif tinggi sepanjang tahun. Hal ini menjadi dasar yang kuat bagi pengembangan PLTS untuk memenuhi energi listrik di masa mendatang (Supriatna & Rabbika, 2024).

Panel surya memiliki efisiensi konversi energi yang kompetitif sehingga berpotensi menurunkan biaya konsumsi listrik. Selain itu, sistem PLTS memungkinkan produksi energi secara mandiri. Kinerja pembangkitan energi dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk suhu operasional modul, intensitas radiasi matahari, kebersihan permukaan, sudut kemiringan, serta kondisi cuaca (Menacer et al., 2025; Utami & Daud, 2020). Berdasarkan konfigurasi operasionalnya, PLTS diklasifikasikan menjadi sistem *off-grid*, *hybrid*, dan *on-grid*. Kinerja sistem dapat dipantau melalui inverter yang terpasang, dengan menampilkan parameter seperti tegangan, arus, daya, dan energi yang dihasilkan untuk mengevaluasi performa pembangkit (Hossain et al., 2025).

Meskipun pemanfaatan PLTS semakin meluas, penerapan sistem monitoring kinerja pembangkit belum diimplementasikan secara optimal. Dalam beberapa implementasi, sistem pemantauan masih dilakukan secara konvensional sehingga kurang efisien dan membatasi kemampuan monitoring secara real-time (Said et al., 2022). Perkembangan *Internet of Things (IoT)* mendukung perancangan sistem pemantauan terintegrasi yang memanfaatkan konektivitas jaringan sebagai media transmisi data (Medagedara & Liyanage, 2024). Teknologi ini memungkinkan akses dan pemantauan data kinerja PLTS secara jarak jauh melalui *platform web*. Selain itu informasi kondisi lingkungan sekitar juga

dapat dimonitoring secara langsung melalui sensor yang terpasang, seperti sensor cahaya, sensor suhu dan kelembaban (Abdinoor et al., 2025). Implementasi sistem tersebut memerlukan komponen yang kompatibel, terutama inverter yang mendukung konektivitas jaringan agar integrasi data dan proses monitoring dapat berlangsung secara optimal (Abdurahman et al., 2024).

Berdasarkan studi sebelumnya, seperti pada penelitian (Lellis et al., 2025.) menunjukkan sistem monitoring PLTS hanya berfokus pada parameter keluaran inverter tanpa mengintegrasikan parameter lingkungan secara *real-time* dalam satu platform terpadu. Selain itu, visualisasi hasil monitoring sebagai media edukasi masih jarang diterapkan. Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan kebaruan berupa integrasi data inverter melalui API, sensor lingkungan multi-parameter, dan visualisasi edukatif berbasis LED TV dalam satu sistem monitoring berbasis IoT.

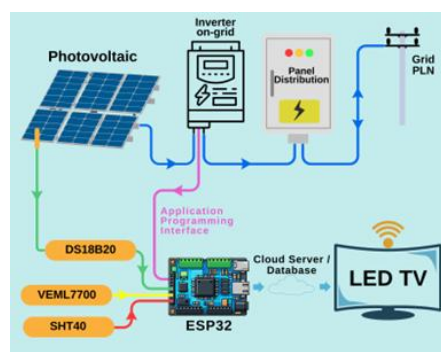
Metode

Metodologi penelitian diawali dengan survei lapangan untuk menentukan lokasi pemasangan sistem yang optimal. Tahap selanjutnya meliputi analisis kebutuhan sistem, perancangan instrumentasi, serta estimasi biaya pengembangan. Penelitian ini dilaksanakan pada instalasi PLTS *on-grid* di MA Darul Ihsan Muhammadiyah Sragen dengan fokus pada pengembangan sistem monitoring berbasis *Internet of Things (IoT)*. Sistem yang dirancang mencakup integrasi data inverter, pemasangan sensor lingkungan untuk memantau parameter yang memengaruhi performa pembangkit, serta penyediaan antarmuka visual berbasis layar LED TV sebagai media monitoring (Wiranto et al., 2023).

Proses akuisisi data dilakukan menggunakan ESP32 sebagai pengendali utama yang terhubung dengan sensor DS18B20 untuk pengukuran suhu panel surya, VEML7700 untuk pengukuran intensitas cahaya, serta SHT40 untuk pengukuran suhu dan kelembapan udara. Sensor VEML7700 dan SHT40 berkomunikasi melalui protokol I2C, sedangkan DS18B20 menggunakan protokol *one-wire*. Data hasil pembacaan sensor diproses secara periodik oleh ESP32, kemudian dikirimkan ke server *cloud* melalui jaringan WiFi menggunakan protokol HTTP dalam format *JavaScript Object Notation (JSON)*.

Selain data sensor lingkungan, parameter kelistrikan *inverter* Sungrow diperoleh melalui integrasi *Application Programming Interface (API)* yang disediakan oleh modul *inverter* Sungrow. API ini berfungsi sebagai jembatan yang digunakan untuk menyatukan data dari sumber-sumber yang heterogen dalam suatu sistem *Internet of Things (IoT)* (Bragança et al., 2023). Dengan memanfaatkan API, data dari kedua subsistem yang berbeda protokol dan format tersebut dapat digabungkan, disimpan secara terpusat, dan diolah sesuai dengan keperluan sistem yang dibuat.

Energi listrik yang dihasilkan modul *photovoltaic* (PV) terlebih dahulu dikonversi oleh *inverter* dari arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) sebelum disalurkan ke panel distribusi dan dihubungkan dengan jaringan PLN melalui mekanisme *ekspor-impor* energi (Halim, 2020). Seluruh data yang tersimpan pada server *cloud* kemudian divisualisasikan secara *real-time* melalui dashboard berbasis web dan ditampilkan pada layar LED TV, sehingga memungkinkan pemantauan kinerja PLTS secara terintegrasi, berkelanjutan, dan komprehensif. Disajikan skema sistem instrumentasi yang dapat diamati pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Sistem Instrumentasi

Parameter lingkungan dipantau menggunakan sensor VEML7700 untuk mengukur intensitas cahaya serta sensor SHT40 untuk mengukur suhu dan kelembapan udara. Selain itu, kondisi panel

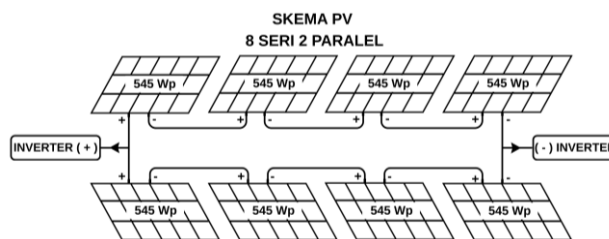
dipantau menggunakan sensor DS18B20 untuk mengukur suhu panel. Seluruh data hasil pengukuran diproses oleh ESP32, kemudian dikirimkan ke server cloud melalui koneksi internet (Tundo et al., 2024). Spesifikasi sensor disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tabel Spesifikasi Sensor

Sensor	Parameter	Range	Akurasi
DS18B20	Suhu Panel	-55° C ~ 125° C	±0.5°C
VEML7700	Cahaya	0 ~ 120.000 Lux	±10%
SHT40	Suhu Udara	-40° C ~ 125° C	±0.2°C
SHT40	Kelembapan	0% ~ 100 % RH	±1.8%

Hasil dan Pembahasan

Hasil perancangan dan implementasi sistem PLTS on-grid di MA Darul Ihsan Muhammadiyah Sragen menunjukkan bahwa sistem terdiri atas 16 modul PV yang dikonfigurasi dalam susunan 8 seri dan 2 paralel (8S2P) dengan kapasitas terpasang sebesar 8,7 kWp. Konfigurasi ini menghasilkan tegangan array sebesar 333,12 V dan arus 25,94 A pada kondisi nominal, sehingga telah sesuai dengan rentang operasi inverter dan mampu mendukung pemenuhan kebutuhan beban sekaligus menyalurkan kelebihan energi ke jaringan. Skema konfigurasi PV dapat diamati pada Gambar 2.



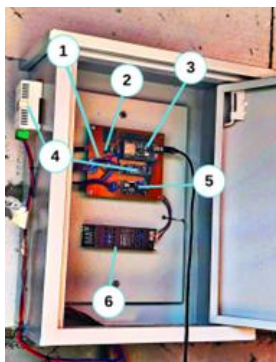
Gambar 2. Skema Konfigurasi PV

Proses konversi energi dari arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) serta sinkronisasi dengan jaringan dilakukan oleh inverter *on-grid* yang juga dilengkapi dengan sistem monitoring untuk memantau parameter kelistrikan secara *real-time*. Penggunaan inverter Sungrow dengan empat kanal input memberikan fleksibilitas dalam konfigurasi sistem serta mendukung optimalisasi kinerja PLTS. Inverter *on-grid* dapat diamati pada Gambar 3.



Gambar 3. Inverter *On-grid*

Sistem dilengkapi dengan boks sensor yang mengintegrasikan pengendali dan sensor lingkungan untuk memperoleh data operasional secara langsung. Data hasil pemantauan kemudian ditampilkan melalui antarmuka berbasis *Internet of Things (IoT)* yang divisualisasikan pada layar LED TV dalam beberapa tampilan informasi, sehingga memudahkan proses monitoring dan evaluasi kinerja sistem secara *real-time*. Boks panel sensor yang dapat diamati pada Gambar 4.



Gambar 4. Boks Panel Sensor: 1) Soket Sensor VEML7700; 2) Soket Sensor DS18B20; 3) ESP32; 4) Modul Sensor SHT40; 5) Step-down LM2596; 6) Power Supply

Tahap akhir instalasi pada studi ini adalah pemasangan perangkat antarmuka berupa layar televisi dan sinkronisasi seluruh data hasil pengukuran, konektivitas sistem dengan jaringan internet, serta penyajian informasi melalui platform berbasis *web* yang merupakan bagian integral dari sistem monitoring PLTS. Melalui mekanisme ini, data yang diperoleh dari inverter, kWh meter *ekspor-impor*, dan sensor lingkungan dapat dihimpun, ditransmisikan, dan ditampilkan secara terpusat. Sistem tersebut memungkinkan pemantauan kinerja PLTS secara *real-time* maupun historis, sekaligus mendukung proses analisis, evaluasi, dan pengambilan keputusan yang lebih akurat dan berkelanjutan. Perangkat ini digunakan untuk menampilkan data produksi energi harian serta hasil pemantauan kondisi lingkungan yang diperoleh dari sensor pendukung. Penempatannya berada pada area dengan tingkat aktivitas tinggi agar informasi dapat diakses secara luas sekaligus berfungsi sebagai media edukasi mengenai kinerja dan pemanfaatan energi terbarukan. Tampilan pada layar dibagi menjadi tiga slide. Profil sekolah ditampilkan pada slide pertama. Kemudian, slide kedua dan ketiga menampilkan parameter hasil produksi PLTS. Slide pertama menampilkan profil MA Darul Ihsan Muhammadiyah Sragen sebagai identitas institusi yang menjadi lokasi implementasi sistem. Disajikan tampilan slide pertama yang dapat diamati pada Gambar 5.



Gambar 5. Tampilan Slide Pertama

Slide kedua menampilkan parameter operasional sistem PLTS secara terintegrasi. Informasi yang disajikan meliputi daya sistem AC (total daya aktif, daya keluaran inverter, serta daya dari dan ke jaringan PLN), produksi energi harian dan bulanan, kualitas daya (frekuensi dan faktor daya), serta parameter DC panel surya yang mencakup tegangan, arus, dan daya sebelum proses inversi. Penyajian parameter tersebut bertujuan untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai kinerja pembangkitan, aliran daya, serta mutu daya listrik secara *real-time*, sehingga memudahkan proses evaluasi dan analisis performa sistem. Disajikan tampilan slide kedua yang dapat diamati pada Gambar 6.



Gambar 6. Tampilan Slide Kedua

Informasi kondisi lingkungan dan kinerja inverter tiga fasa ditampilkan pada slide ketiga. Parameter lingkungan yang ditampilkan meliputi iradiasi matahari, suhu modul PV, kelembapan relatif, dan suhu udara. Data tersebut digunakan untuk menganalisis pengaruh faktor lingkungan terhadap performa sistem. Sistem juga menyajikan parameter operasional inverter tiga fasa, termasuk tegangan, arus, dan daya pada tiap fasa (R, S, dan T). Penyajian data ini memungkinkan evaluasi keseimbangan beban dan kestabilan operasi sistem secara *real-time*. Pada bagian akhir, disertakan penjelasan singkat mengenai konsep kerja PLTS sebagai media edukasi. Disajikan tampilan slide ketiga informasi lingkungan yang dapat diamati pada Gambar 7.



Gambar 7. Tampilan Slide Ketiga Informasi Lingkungan

Validasi sistem dilakukan dengan menganalisis kesesuaian data sensor pada perangkat instrumentasi terhadap hasil pengukuran menggunakan instrumen standar serta data operasional yang terekam pada inverter. Evaluasi dilakukan untuk menentukan tingkat akurasi dan reliabilitas sistem monitoring yang dirancang, dengan menitikberatkan pada perhitungan selisih nilai terukur dan persentase error sebagai parameter penilaian kinerja sistem. Hasil perbandingan produksi PLTS disajikan pada Tabel 2. Hasil perbandingan pengukuran informasi kondisi lingkungan disajikan pada Tabel 3.

Table 2. Perbandingan Hasil Produksi PLTS

Parameter	LED TV	Inverter	Error %
Daya Aktif	5,34 kW	5,34 kW	0
Daya PLTS	5,25 kW	5,2 kW	0,96
Daya PLN	84 W	84 W	0
Produksi Harian	32,9 kWh	32,9 kWh	0
Produksi Bulanan	769,6 kWh	769,6 kWh	0
Tegangan (DC)	232,15 V	232,15 V	0
Arus (DC)	15,80 A	15,80 A	0
Frekuensi	50 Hz	50 Hz	0
Faktor Daya	1	1	0
Tegangan Fasa A	223,2 V	223,2 V	0
Arus Fasa A	7,7 A	7,72 A	0,26
Tegangan Fasa B	232,8 V	232,8 V	0
Arus Fasa B	7,7 A	7,71 A	0,13
Tegangan Fasa C	226,4	226,4	0
Arus Fasa C	7,7 A	7,72 A	0,26

Table 3. Perbandingan Hasil Pengukuran Informasi Kondisi Lingkungan

Parameter	LED TV (Sensor)	Alat Ukur	Error %
Irradiasi	905,31 W/m ²	906,26 W/m ²	0,10
Suhu Panel Surya	41,2° C	41,3° C	0,24
Suhu Udara	31,3° C	31,4° C	0,32
Kelembaban Udara	71%	70%	1,43

Sesuai dengan metode validasi yang digunakan, persentase kesalahan setiap parameter dihitung menggunakan rumus $\% \text{ Error} = \frac{X_{\text{sensor}} - X_{\text{referensi}}}{X_{\text{referensi}}} \times 100\%$, sedangkan akurasi keseluruhan sistem dievaluasi melalui Mean Absolute Percentage Error (MAPE) dengan rumus $\text{MAPE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|X_i - Y_i|}{Y_i} \times 100\%$. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa peningkatan irradiansi matahari berbanding lurus dengan kenaikan daya keluaran PLTS; pada saat irradiansi mencapai 906,26 W/m² (nilai referensi), sistem mencatat daya aktif sebesar 5,34 kW dengan error 0% dibandingkan dengan inverter. Selain itu, kenaikan temperatur modul hingga 41,3°C berpotensi menurunkan efisiensi panel akibat meningkatnya resistansi internal sel surya, dengan error pengukuran suhu panel sebesar 0,24%. Berdasarkan Tabel 2 dan Tabel 3, error terendah (0%) terdapat pada sebagian besar parameter kelistrikan; error tertinggi pada parameter kelistrikan adalah 0,96% (daya PLTS), sedangkan pada parameter lingkungan error tertinggi mencapai 1,43% (kelembaban udara). Dengan nilai MAPE keseluruhan sistem di bawah 1% untuk parameter kelistrikan dan di bawah 1,5% untuk parameter lingkungan, sistem monitoring yang dirancang dinilai memiliki akurasi tinggi serta layak diterapkan untuk pemantauan PLTS secara real-time.

Kesimpulan

Penelitian ini menghasilkan perancangan dan implementasi sistem instrumentasi serta monitoring pada PLTS *on-grid* yang terintegrasi dengan jaringan listrik. Sistem dikembangkan dengan memanfaatkan inverter sebagai pusat sinkronisasi daya, sensor lingkungan (suhu panel, suhu dan kelembaban udara, serta intensitas cahaya), modul komunikasi, serta mikrokontroler berbasis *Internet of Things (IoT)* untuk akuisisi dan transmisi data secara *real-time*. Seluruh parameter kelistrikan dan lingkungan dihimpun, diproses, kemudian ditampilkan melalui antarmuka berbasis *web* dan layar televisi sebagai media visualisasi dan edukasi. Analisis hasil pengujian mengindikasikan bahwa nilai yang dihasilkan sensor menunjukkan konsistensi dan keselarasan yang memadai terhadap hasil pengukuran menggunakan instrumen standar dan data inverter. Hasil validasi menunjukkan rata-rata *error* sistem kurang dari 1%, dengan error maksimum sebesar 0,26%, sehingga sistem dinilai memiliki akurasi tinggi dan layak diterapkan untuk monitoring PLTS secara *real-time*. Sistem mampu menyediakan informasi performa PLTS secara akurat dan berkelanjutan, sehingga mendukung proses analisis, evaluasi, serta pengambilan keputusan. Selain meningkatkan efektivitas pemantauan teknis, implementasi ini juga berperan sebagai sarana pembelajaran mengenai pemanfaatan energi terbarukan di lingkungan pendidikan. Pengembangan selanjutnya dapat diarahkan pada peningkatan fitur analitik, seperti integrasi algoritma prediksi produksi energi berbasis data historis dan kondisi cuaca. Penambahan sistem penyimpanan data berbasis *cloud* dengan tingkat keamanan yang lebih tinggi juga direkomendasikan untuk menjamin keandalan dan kontinuitas akses data. Selain itu, pengujian jangka panjang dengan variasi kondisi beban dan lingkungan diperlukan guna mengevaluasi stabilitas sistem serta meningkatkan akurasi dan ketahanan perangkat instrumentasi.

Acknowledgment

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Lembaga Riset dan Inovasi Universitas Muhammadiyah Surakarta dan Laboratorium Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta atas dukungan dan fasilitasi yang diberikan selama pelaksanaan penelitian. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada MA Darul Ihsan Sragen selaku mitra riset yang telah berkontribusi dan bekerja sama secara aktif dalam pelaksanaan penelitian yang berlangsung selama beberapa bulan.

References

- Abdinoor, J. A., Hashim, Z. K., Horváth, B., & Zseb, S. (2025). Performance of Low-Cost Air Temperature Sensors and Applied Calibration Techniques — A Systematic Review. *Atmosphere*, 16(8), 1–30.
- Abdurahman, A.-, Rosiana, E.-, Kusnadi, H.-, & Raharjo, T.-. (2024). Sistem Monitoring Panel Surya Berbasis Web. *Jurnal Sistem Dan Teknologi Informasi (JustIN)*, 12(3), 543. <https://doi.org/10.26418/justin.v12i3.79793>
- Bragança, H., Caetano da Silva, P., & Gomes, N. (2023). Web service and internet of things: a systematic literature review. *International Journal of Computer Applications in Technology*, 1. <https://doi.org/10.1504/IJCAT.2023.10059520>
- Halim, L. (2020). Perancangan dan implementasi awal solar inverter untuk pembangkit listrik tenaga surya off grid. *Jurnal Teknologi*, 12(1).
- Hossain, K., Chowdhury, P., Nowshin, I., & Islam, R. (2025). Energy Conversion and Management : X Grid-connected inverter for AC energy harvesting : Advances in topologies and control techniques. *Energy Conversion and Management: X*, 29(October 2025), 101422. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2025.101422>
- Lellis, R. A. De, Likadja, F. J., & Galla, W. F. (2025). Analisis Efisiensi dan Daya Output Operasional PLTS Atas Pada SMK Negeri 3 Kupang Analysis of Efficiency and Operational Output Power Of Rooftop Solar Power Plant at State Vocational School 3 Kupang. 7, 37–45.
- Medagedara, O. V., & Liyanage, M. H. (2024). Development of an IoT-based Real-Time Temperature and Humidity Monitoring System for Factory Electrical Panel Rooms. *ENGINEER : Institution of Engineers, Sri Lanka (IESL)*, LVII(01), 21–30.
- Menacer, B., El, N., Baghdous, H., Narayan, S., Al-lehaibi, M., Osorio, L., & Tuninetti, V. (2025). Efficiency Enhancement of Photovoltaic Panels via Air , Water , and Porous Media Cooling Methods : Thermal – Electrical Modeling. *Sustainability*, 17(6), 1–22.
- Muhammad Rifaldi, Alham, N. R., Izzah, N., Ihsan, M. N., & Sugianto, M. (2023). Analisis Efisiensi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya sebagai Sumber Energi Baru Terbarukan. *Jurnal Rekayasa Tropis, Teknologi, Dan Inovasi (RETROTEKIN)*, 1(1), 16–24. <https://doi.org/10.30872/retrotekin.v1i1.919>
- Nurhasanah, A. F., & Jember, U. (2023). Kajian Perubahan Iklim Terhadap Efisiensi Panel Surya. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(2), 366–375.
- Rahmat Hasrul. (2021). Analisis Efisiensi Panel Surya Sebagai Energi Alternatif Rahmat Hasrul. *SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri)*, 5(2), 79–87.
- Said, muhammad, Fuady, S., & Saputra, O. (2022). Desain dan Implementasi Sistem Monitoring Panel Surya 1200 Wp Berbasis Data Logger. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 4(2), 218–219.
- Setyono, A. E., & Kiono, B. F. T. (2021). Dari Energi Fosil Menuju Energi Terbarukan: Potret Kondisi Minyak dan Gas Bumi Indonesia Tahun 2020 – 2050. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 2(3), 154–162. <https://doi.org/10.14710/jebt.2021.11157>
- Supriatna, I., & Rabbika, A. I. (2024). Pengaruh Interval Waktu Dan Arah Mata Angin Terhadap Daya Yang Dihasilkan Pada PLTS. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Tangerang*, 8(4).
- Tundo, Sodik, Setiawan, K., & Aula, R. F. (2024). Penerapan IoT dengan Algoritma Fuzzy dan Mikrokontroler ESP32 dalam Monitoring Penyiraman. *Jurnal Indonesia : Manajemen Informatika Dan Komunikasi*, 5(3), 2915–2924. <https://doi.org/10.35870/jimik.v5i3.977>

- Utami, S., & Daud, A. (2020). Pengaruh Temperatur Panel Surya Terhadap Efisiensi Panel Surya Grafik Radiasi terhadap Temperatur. *Jurnall Energi*, 10(November), 7–10.
- Windarta, J., Energi, M., Pascasarjana, S., Diponegoro, U., & D, E. F. F. (2023). Overview Pemanfaatan dan Perkembangan Sumber Daya Energi Surya Sebagai Energi Terbarukan di Indonesia. *JEET: Jurnal Energi Baru & Terbarukan*, 4(3), 2–6.
<https://doi.org/10.14710/jebt.2023.15714>
- Wiranto, Nehru, & Hais, Y. R. (2023). Rancang Bangun Sistem Monitoring Dan Kontrol PLTS Berbasis. *Semaster*, 2(1), 73–87.