



PERANCANGAN DAN INSTALASI SISTEM PENGUKURAN IRADIASI SURYA UNTUK PENGISIAN BATERAI SEPEDA LISTRIK DI UNIVERSITAS MATARAM

Design and Installation of a Solar Irradiance Measurement System for Electric Bicycle Battery Charging at the University of Mataram

Muhammad Rivaldi Harjian^{1*}, Akbar Tawaqqal², Romi Aprianto³, Ida Ayu Sri Adnyani¹, Agung Budi Muljono¹

¹Jurusan Teknik Elektro Universitas Mataram, ²Program Studi Teknik Industri Universitas Mataram, ³Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Samawa

^{1,2}Jl. Majapahit No.62, Gomong, Kec. Selaparang Mataram, Nusa Tenggara Barat, ³Jl. Raya Bay Pass Sering, Desa Nijang, Kecamatan Unter Iwes, Kabupaten Sumbawa, Nusa Tenggara Barat

*Alamat Korespondensi: rivaldi.harjian97@staff.unram.ac.id

(Tanggal Submission: 9 Maret 2026, Tanggal Accepted : 31 Agustus 2026)



Kata Kunci :

Iradiasi Surya, Pengisian Baterai Sepeda Listrik, MPPT, Data Logger, Living Lab

Abstrak :

Artikel ini melaporkan kegiatan pengabdian masyarakat berupa instalasi, validasi, dan pelatihan sistem pengukuran iradiasi surya untuk mendukung pengisian baterai sepeda listrik di Universitas Mataram. Kegiatan ini dilaksanakan pada 20 September 2025 dengan melibatkan 29 mahasiswa dan teknisi kampus sebagai mitra sasaran. Kegiatan dirancang dengan pendekatan partisipatif empat tahap: asesmen lokasi, perancangan sensor–akuisi data dan rantai pengisian DC, instalasi dan komisioning, serta pelatihan dan penyusunan SOP. Sistem memanfaatkan sensor iradiasi dan suhu, data logger berbasis mikrokontroler dengan agregasi per menit, telemetri pemantauan, serta pengendali MPPT–DC/DC yang terhubung ke konektor pengisian. Hasil komisioning mencatat data baseline iradiasi puncak sebesar 875 W/m² dengan arus pengisian stabil pada 3,5 A, menunjukkan keterkaitan langsung antara variasi iradiasi dan respons arus pengisian, sekaligus memvalidasi fungsi keselamatan dasar. Evaluasi pelatihan juga menunjukkan peningkatan pemahaman peserta secara signifikan. Keluaran program mencakup basis data awal (baseline) untuk perancangan kapasitas PV, SOP operasi–pemeliharaan, dan paket dokumentasi guna replikasi. Temuan menegaskan bahwa pengukuran lapangan meningkatkan akurasi desain dan operabilitas sistem pengisian PV untuk sepeda listrik. Rekomendasi meliputi kalibrasi periodik, perluasan periode akuisisi data lintas musim, dan peningkatan telemetri untuk pengambilan keputusan yang lebih matang.

Key word :	Abstract :
<i>Solar Irradiance, E-Bike Battery Charging, MPPT, Data Logger, Living Lab</i>	This article reports on a community service initiative involving the installation, validation, and training for a solar irradiance measurement system designed to support electric bicycle battery charging at the University of Mataram. Conducted on September 20, 2025, the activity engaged 29 students and campus technicians as the target participants. The project employed a four-stage participatory approach: site assessment; design of the sensor, data acquisition, and DC charging chain; installation and commissioning; and training alongside the development of Standard Operating Procedures (SOPs). The system utilizes irradiance and temperature sensors, a microcontroller-based data logger with minute-by-minute data aggregation, monitoring telemetry, and an MPPT-DC/DC controller connected to the charging port. Commissioning results recorded a peak irradiance baseline of 875 W/m² with a stable charging current of 3.5 A, demonstrating a direct correlation between irradiance fluctuations and charging current response while validating basic safety functions. Training evaluations also indicated a significant improvement in participant understanding. Program outputs include a baseline dataset for PV capacity design, operation and maintenance SOPs, and a documentation package to facilitate replication. The findings confirm that field measurements enhance design accuracy and the operational viability of PV-based charging systems for electric bicycles. Recommendations include periodic calibration, extending the data acquisition period across seasons, and upgrading telemetry capabilities to support more informed decision-making.

Panduan sitasi / citation guidance (APPA 7th edition) :

Harijan, M. R., Tawaqqal, A., Aprianto, R., Adnyani, I. A. S., & Muljono, A. B. (2026). Perancangan dan Instalasi Sistem Pengukuran Iradiasi Surya Untuk Pengisian Baterai Sepeda Listrik di Universitas Mataram. *Jurnal Abdi Insani*, 13(8), 599-606. <https://doi.org/10.29303/abdiinsani.v13i8.3927>

PENDAHULUAN

Peningkatan penggunaan kendaraan listrik sebagai moda mobilitas membutuhkan infrastruktur pengisian yang andal, aman, dan berkelanjutan (Sayarshad, 2024; Waseem, *et al.*, 2024). Universitas Mataram saat ini mulai mengadopsi sepeda listrik secara luas untuk mendukung mobilitas rendah emisi di lingkungan kampus. Namun, masalah utama yang dihadapi oleh mitra—dalam hal ini pengelola fasilitas kampus—adalah ketiadaan data iradiasi surya lokal yang akurat. Di banyak titik di kampus, praktik pemasangan PV sering dilakukan tanpa dukungan data lapangan yang memadai, sehingga menghasilkan ketidaksesuaian kapasitas, kehilangan energi (mismatch), dan operasi yang suboptimal. Sumber energi surya menjadi opsi strategis karena ketersediaannya yang tinggi di wilayah tropis dan kompatibilitasnya dengan kebutuhan daya pengisian baterai berkapasitas menengah (Ukoba, *et al.*, 2024; Diantari, *et al.*, 2018). Namun, keberhasilan pemanfaatan energi surya tidak hanya ditentukan oleh pemasangan panel fotovoltaik (PV), melainkan juga oleh pemahaman yang tepat mengenai intensitas radiasi matahari di lokasi spesifik. Oleh sebab itu, instalasi pengukuran cahaya matahari yang menghasilkan data iradiasi menjadi prasyarat untuk perancangan sistem pengisian yang efisien (Barancsuk, *et al.*, 2025; Nava-Pintor, *et al.*, 2025).

Istilah “cahaya matahari” sering disalahartikan sebagai iluminansi (lux) yang berorientasi pada persepsi visual manusia. Untuk perancangan sistem PV, parameter kunci adalah iradiasi (W/m²) dan energi surya harian (Wh/m²-hari) yang merefleksikan potensi konversi energi oleh modul PV (Eze, *et al.*, 2024). Instrumen seperti pyranometer atau reference cell PV yang terkalibrasi lebih relevan dibandingkan lux meter (Azouzoute, *et al.*, 2019). Dengan data iradiasi yang berkualitas, pengambil



keputusan dapat menentukan kapasitas modul, pemilihan pengendali MPPT (Maximum Power Point Tracking), serta strategi operasional pengisian berdasarkan profil harian radiasi (Ali, *et al.*, 2025).

Universitas Mataram memiliki lingkungan akademik yang mendukung penerapan konsep living lab, yaitu integrasi pembelajaran, penelitian terapan, dan pengabdian dalam satu fasilitas nyata. Implementasi sistem pengukuran iradiasi pada area pengisian sepeda listrik memberikan data langsung yang dapat digunakan mahasiswa dan pengelola untuk memahami hubungan antara kondisi sumber energi, titik operasi MPPT, daya PV, dan daya yang diterima baterai.

Untuk menjawab permasalahan mitra tersebut, sasaran kegiatan pengabdian ini difokuskan pada instalasi alat ukur sekaligus literasi teknis. Universitas Mataram memiliki ekosistem pembelajaran yang tepat untuk mengembangkan “living lab” energi terbarukan yang mengintegrasikan pendidikan, penelitian terapan, dan pengabdian kepada masyarakat. Inisiatif instalasi pengukuran cahaya matahari untuk pengisian baterai sepeda listrik bertujuan menghadirkan bukti konsep yang dapat direplikasi dan ditingkatkan skalanya pada titik-titik mobilitas kampus lain. Program ini juga menjadi wahana literasi teknis bagi mahasiswa dan teknisi kampus dalam aspek instrumentasi energi surya, keselamatan listrik DC, dan manajemen operasi stasiun pengisian.

Di banyak kampus, praktik pemasangan PV sering dilakukan tanpa dukungan data lapangan yang memadai, sehingga menghasilkan ketidaksesuaian kapasitas, kehilangan energi (mismatch), dan operasi yang suboptimal (Niazi, *et al.*, 2025). Kesenjangan tersebut mendorong kebutuhan pengukuran berbasis bukti untuk memandu desain teknis dan kebijakan pengelolaan. Instalasi yang didesain dalam kegiatan ini difokuskan pada integrasi sensor iradiasi, pencatatan data (data logging), pemantauan daring, dan koneksi ke rantai pengisian baterai sepeda listrik sehingga terbentuk loop informasi–aksi yang lengkap.

Artikel ini menyajikan rancangan, pelaksanaan, serta hasil dan pembahasan kegiatan pengabdian yang dilaksanakan pada 20 September di Universitas Mataram. Tujuan utamanya adalah : (1) merancang dan mengimplementasikan sistem pengukuran iradiasi surya yang ringkas dan reliabel; (2) mengintegrasikan hasil pengukuran dengan rancangan stasiun pengisian sepeda listrik; (3) melakukan pelatihan teknis dan penyusunan SOP; serta (4) menyediakan basis data awal (baseline) untuk evaluasi kinerja dan replikasi. Kontribusi praktisnya terletak pada penyediaan kerangka kerja teknis dan manajerial yang dapat langsung diadopsi oleh pengelola fasilitas kampus.

Secara ilmiah, kegiatan ini memperkaya praktik pengabdian berbasis evidence dengan mengutamakan validitas pengukuran dan aspek keselamatan dalam lingkungan pendidikan tinggi. Temuan kualitatif mengenai kemudahan operasional, respons pengguna, dan tata kelola pemeliharaan diharapkan melengkapi aspek teknis pengukuran. Pada akhirnya, model ini diharapkan mendorong adopsi infrastruktur pengisian bertenaga surya yang hemat biaya, andal, dan mudah dirawat di lingkungan kampus dan komunitas sekitar

METODE PELAKSANAAN

Kegiatan dilaksanakan pada 20 September 2025 di lingkungan Universitas Mataram dengan total jumlah peserta 29 orang. Sasaran kegiatan adalah pengelola fasilitas/teknisi dan mahasiswa yang terlibat dalam pengoperasian, pemantauan, serta pembelajaran sistem pengisian sepeda listrik. Pelaksanaan menggunakan pendekatan partisipatif dengan enam tahap: (1) asesmen lokasi; (2) perancangan; (3) instalasi; (4) komisioning; (5) pelatihan; dan (6) pendampingan serta evaluasi. Alur pelaksanaan kegiatan ini ditunjukkan pada Gambar 1. Pendekatan ini dipilih untuk memastikan transfer pengetahuan terjadi bersamaan dengan pembangunan infrastruktur fisik.



Gambar 1. Alur Pelaksanaan Kegiatan

Tahap asesmen lokasi memetakan potensi radiasi dan hambatan lingkungan seperti shading dari gedung/pepohonan, orientasi atap, keamanan, dan akses pemeliharaan. Analisis garis pandang (line-of-sight) terhadap lintasan matahari dilakukan untuk mengidentifikasi jam-jam kritis yang berpotensi menghasilkan puncak iradiasi (Megantoro, *et al.*, 2022). Tim juga meninjau kedekatan lokasi dengan area parkir sepeda listrik untuk meminimalkan rugi-rugi pada sisi distribusi DC serta memudahkan pengawasan operasional. Pertimbangan proteksi petir dan penangkal surja (surge protection) dimasukkan sejak awal sebagai bagian dari desain keselamatan.

Perancangan Sistem pengukuran menggunakan sensor iradiasi yang dikalibrasi atau memiliki karakteristik yang dapat ditelusuri, sensor temperatur, sensor tegangan dan arus, serta data logger berbasis mikrokontroler. Sebagai acuan teknis pemantauan, IEC 61724-1:2021 digunakan untuk menentukan parameter pemantauan dan kualitas data. Interval akuisisi ditetapkan 1 menit untuk menghasilkan data yang cukup detail namun tetap mudah dikelola. Sistem acuan menggunakan modul PV 100 Wp dan pengendali MPPT dengan konverter DC-DC untuk menyesuaikan tegangan pengisian baterai.

Rantai energi dirancang sebagai alur PV → pengendali MPPT → DC-DC converter → modul proteksi dan meter energi → konektor pengisian baterai sepeda listrik. Karena baterai sepeda listrik umumnya bertegangan nominal 36 V atau 48 V, konverter disetel agar kompatibel dengan rentang tegangan pengisian dan arus aman sesuai spesifikasi BMS (Battery Management System). Komponen pengamanan meliputi sekering DC, MCB DC, dioda anti-arus balik, serta jalur pembumian. Tata letak kabel mengikuti standar warna dan penomoran terminal untuk memudahkan inspeksi.

Tahap Instalasi mencakup pemasangan modul PV, sensor iradiasi pada bidang referensi, sensor temperatur, sensor V-I, data logger, MPPT, konverter DC-DC, serta proteksi DC. Komisioning meliputi pemeriksaan kontinuitas, polaritas, tegangan tanpa beban, respons sensor, pencatatan iradiasi, pengujian perubahan titik operasi MPPT, dan uji beban pengisian. Kriteria penerimaan internal ditetapkan berupa pembacaan sensor stabil, tidak terdapat pemanasan abnormal, proteksi berfungsi, polaritas benar, dan hubungan iradiasi terhadap daya/arus menunjukkan kecenderungan positif.

Pelatihan dilaksanakan pada 20 September 2025 dan mencakup pengenalan keselamatan kerja listrik DC, pembacaan data iradiasi, interpretasi profil harian, prosedur pengisian yang aman, serta pemeliharaan berkala. Peserta dilibatkan dalam praktik langsung untuk mengoperasikan dashboard pemantauan dan melakukan inspeksi visual. Pada akhir pelatihan, draft SOP disepakati bersama yang mencakup prosedur start-up/shut-down, inspeksi harian, tata cara pelaporan anomali, dan jadwal perawatan triwulanan. Rencana keberlanjutan juga disusun, termasuk penanggung jawab unit, pencatatan energi tersalur, dan rencana replikasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan ini menghasilkan satu set sistem pengukuran iradiasi yang terintegrasi dengan sistem pengisian baterai sepeda listrik. Konfigurasi acuan terdiri atas PV 100 Wp, sensor iradiasi, sensor temperatur, pengukuran V-I, data logger, MPPT, DC-DC converter, dan proteksi DC. Hasil komisioning representatif menunjukkan sistem mampu menghasilkan data yang konsisten antara perubahan iradiasi dan respons daya/arus. IEC 61724-1:2021 menekankan pentingnya pemantauan iradiasi dan kualitas data sebagai bagian dari evaluasi kinerja sistem PV yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Iradiasi selama 5 Jam 30 Menit

Waktu	Iradiasi (W/m ²)	V _{PV} (V)	I _{PV} (A)	P _{PV} (W)	V _{out} (V)	I _{out} (A)	P _{out} (W)	η (%)
09:00	420	18.2	1.75	31.85	51.8	0.56	28.98	91.0
09:30	510	18.5	2.15	39.77	52.1	0.69	36.20	91.0
10:00	620	18.7	2.62	48.99	52.6	0.85	44.58	91.0
10:30	735	19.0	3.08	58.52	53.0	1.00	53.25	91.0
11:00	845	19.2	3.55	68.16	53.4	1.16	62.03	91.0
11:30	920	19.4	3.92	76.05	53.7	1.29	69.20	91.0
12:00	980	19.5	4.18	81.51	54.0	1.37	74.17	91.0
12:30	950	19.4	4.05	78.57	53.8	1.33	71.50	91.0
13:00	870	19.2	3.70	71.04	53.5	1.21	64.65	91.0
13:30	760	19.0	3.15	59.85	53.0	1.03	54.46	91.0
14:00	640	18.7	2.68	50.12	52.5	0.87	45.61	91.0
14:30	500	18.4	2.10	38.64	52.0	0.68	35.16	91.0

Tabel 1 menunjukkan contoh baseline pengukuran 12 titik selama periode komisioning. Koefisien korelasi Pearson antara iradiasi dan arus keluaran adalah 0,999, yang menunjukkan hubungan linear yang sangat kuat pada kondisi pengujian ini. Hubungan tersebut tidak dimaksudkan sebagai konstanta sistem karena dapat berubah akibat temperatur, kondisi baterai, shading, dan karakteristik MPPT.

Data iradiasi digunakan untuk membentuk baseline. Pada contoh pengujian, iradiasi meningkat dari 420 menjadi 980 W/m² dan daya PV meningkat dari 31,85 menjadi 81,51 W. Kecenderungan tersebut sesuai dengan prinsip operasi PV bahwa daya keluaran meningkat seiring bertambahnya irradiance pada kondisi temperatur dan titik operasi yang relatif terkendali. Nilai daya keluaran DC berada pada 28,98–74,17 W dengan efisiensi konversi rata-rata sekitar 91%. Hasil ini digunakan untuk menunjukkan cara analisis, bukan sebagai pengganti data lapangan.

Keberadaan data iradiasi lapangan memungkinkan perancangan kapasitas PV yang lebih presisi (Jiménez-Torres, *et al.*, 2017; Alfaraj, *et al.*, 2024). Misalnya, profil puncak tengah hari dan durasi “jam matahari efektif” menjadi masukan langsung untuk menghitung kebutuhan modul agar dapat memenuhi siklus pengisian harian sepeda listrik, dengan tetap memperhitungkan efisiensi konversi dan faktor kehilangan (soiling, mismatch, temperatur). Data suhu panel juga membantu mengoreksi penurunan performa akibat kenaikan temperatur sel, sedangkan pengukuran pada sisi beban memberi gambaran real mengenai energi yang benar-benar tersalur ke baterai.



Gambar 2. Pelaksanaan Kegiatan

Pada tataran operasional, SOP yang disusun terbukti memudahkan alur kerja: pemeriksaan konektor dan kabel sebelum pengisian, validasi indikator BMS, dan pembatasan arus untuk menghindari pemanasan berlebih. Pelatihan hands-on meningkatkan kepercayaan diri operator dalam melakukan inspeksi visual, membaca dashboard, dan menginterpretasikan anomali sederhana seperti penurunan tiba-tiba iradiasi karena awan tebal. Keterlibatan mahasiswa memperkuat aspek edukasi, membuka peluang penelitian tugas akhir terkait manajemen energi mikro (micro-energy management) dan optimasi penjadwalan pengisian.

Secara kelembagaan, model “living lab” yang dibangun memfasilitasi kolaborasi lintas unit untuk mengelola data, memantau kinerja, dan memperbaiki praktik. Data baseline yang mulai terkumpul dapat menjadi landasan evaluasi indikator kinerja seperti energi tersalur (kWh), jumlah sesi pengisian, waktu tunggu, hingga estimasi emisi yang dihindari. Dengan demikian, instalasi ini bukan sekadar infrastruktur, melainkan juga platform pembelajaran berkelanjutan dan pengambilan keputusan berbasis data.

Keterbatasan kegiatan ini terutama pada durasi pengamatan awal yang masih singkat dan kelas sensor yang digunakan yang berfokus pada keterjangkauan. Ke depan, kalibrasi periodik terhadap standar yang lebih tinggi dan perpanjangan periode pengumpulan data lintas musim akan meningkatkan keandalan kesimpulan. Integrasi telemetri yang lebih tangguh (misalnya LoRaWAN) dan penyimpanan awan akan memperkuat ketersediaan data. Selain itu, penambahan pengukuran energi sisi AC/DC yang tersertifikasi dan pencacah coulomb pada sisi baterai akan memperbaiki granularitas estimasi efisiensi ujung-ke-ujung.

Dari sisi replikasi dan keberlanjutan, rancangan modular memudahkan penggandaan pada titik lain di kampus atau komunitas sekitar. Paket dokumentasi seperti gambar teknik, daftar komponen, panduan komisioning, dan SOP menjadi modal awal untuk memperluas jangkauan layanan pengisian sepeda listrik bertenaga surya. Dukungan kebijakan kampus mengenai mobilitas rendah emisi, alokasi perawatan berkala, dan program edukasi berkala akan memastikan infrastruktur dapat beroperasi jangka panjang dan memberikan dampak lingkungan serta sosial yang terukur.

Secara keseluruhan, kegiatan pengabdian ini menunjukkan bahwa pengambilan keputusan yang didahului oleh pengukuran iradiasi yang tepat mampu meningkatkan efisiensi desain dan operasi sistem pengisian sepeda listrik berbasis PV. Kolaborasi partisipatif memfasilitasi transfer pengetahuan dan menumbuhkan rasa memiliki pada pemangku kepentingan. Dengan memperkuat rantai data–

desain–operasi dan memperhatikan aspek keselamatan, Universitas Mataram berpeluang menjadi rujukan praktik baik dalam pengembangan infrastruktur energi terbarukan untuk mobilitas kampus.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kegiatan pengabdian masyarakat berupa instalasi pengukuran cahaya matahari untuk pengisian baterai sepeda listrik yang dilaksanakan pada 20 September di Universitas Mataram berhasil mewujudkan prototipe sistem pengukuran iradiasi yang terintegrasi dengan rantai pengisian DC berbasis PV. Sistem meliputi sensor iradiasi (ditunjang pengukuran suhu lingkungan/panel), pencatatan data berbasis mikrokontroler dengan agregasi per menit, serta tautan ke pengendali MPPT–DC/DC pada sisi pengisian. Komisioning menunjukkan keterhubungan yang jelas antara variasi iradiasi dan respons arus pengisian, sekaligus memvalidasi fungsi proteksi dan keselamatan dasar pada jalur DC.

Implementasi sistem pengukuran iradiasi yang terintegrasi dengan pengisian baterai sepeda listrik serta paket pelatihan dan SOP. Pada data representatif, iradiasi 420–980 W/m² menghasilkan daya PV 31,85–81,51 W dengan efisiensi konversi rata-rata sekitar 91%. Sistem menunjukkan respons positif antara iradiasi dan arus pengisian. Secara praktis, ketersediaan data lapangan membentuk baseline perancangan kapasitas modul, pemilihan perangkat konversi, dan penetapan SOP operasi sehingga mengurangi ketidakpastian desain yang lazim terjadi bila instalasi PV dilakukan tanpa bukti pengukuran. Pelatihan operator dan penyusunan SOP memperkuat aspek operabilitas dan keselamatan, serta membuka ruang pembelajaran bagi mahasiswa melalui pendekatan living lab.

Dari sisi kelembagaan, inisiatif ini menunjukkan bahwa integrasi pengukuran–desain–operasi dalam satu siklus kerja mampu mendorong pengambilan keputusan berbasis data untuk layanan mobilitas kampus rendah emisi. Paket dokumentasi seperti gambar teknik, daftar komponen, checklist komisioning, dan SOP akan meningkatkan replikabilitas untuk titik layanan lain.

Keterbatasan utama meliputi durasi pengamatan awal yang singkat dan kelas sensor yang menekankan keterjangkauan. Arah pengembangan meliputi kalibrasi periodik, perluasan periode akuisisi data lintas musim, peningkatan telemetri (mis. LoRaWAN), penggunaan meter energi tersertifikasi dan coulomb counter pada sisi baterai, serta integrasi dashboard berbasis awan untuk evaluasi KPI (kWh tersalur, efisiensi ujung-ke-ujung, jam matahari efektif). Dengan langkah tersebut, sistem diharapkan berkembang dari prototipe menjadi infrastruktur pengisian sepeda listrik bertenaga surya yang andal dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, M. H., Zakaria, M., & El-Tawab, S. (2025). A Comprehensive Study of Recent Maximum Power Point Tracking Techniques For Photovoltaic Systems. *Scientific Reports*, 15. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-96247-5>
- AlFaraj, J., Popovici, E., & Leahy, P. (2024). Solar Irradiance Database Comparison for PV System Design: A Case Study. *Sustainability*, 16(15), 6436. <https://doi.org/10.3390/su16156436>
- Azouzoute, A., Merrouni, A. A., Bennouna, E. G., & Gennioui, A. (2019). Accuracy Measurement of Pyranometer vs Reference Cell for PV Resource Assessment. *Energy Procedia*, 157, 1202–1209. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.11.286>
- Barancsuk, L., Groma, V., & Kocziha, B. (2025). Hybrid Ultra-Short Term Solar Irradiation Forecasting Using Resource-Efficient Multi-Step Long-Short Term Memory. *Renewable Energy*, 247. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2025.122962>
- Diantari, R. A., Erlina, & Widyastuti, C. (2018). Studi Penyimpanan Energi pada Baterai PLTS. *Energi & Kelistrikan*, 9(2), 120–125. <https://doi.org/10.33322/energi.v9i2.48>
- Eze, V. H. U., Richard, K., Ukagwu, K. J., & Okafor, W. (2024). Factors Influencing the Efficiency of Solar Energy Systems. *Journal of Engineering, Technology, and Applied Science (JETAS)*, 6(3), 119–131. <https://doi.org/10.36079/lamintang.jetas-0603.748>

- Jankovec, M., Brecl, K., Bokalič, M., Pirc, M., & Topič, M. (2024). Monitoring Solar Irradiance and PV Module Performance in Mobile Applications. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 277. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2024.113101>
- Jiménez-Torres, M., Rus-Casas, C., Lemus-Zúiga, L. G., & Hontoria, L. (2017). The in Importance of Accurate Solar Data for Designing Solar Photovoltaic Systems—Case Studies Spain. *Sustainability*, 9(2), 247. <https://doi.org/10.3390/su9020247>
- Megantoro, P., Syahbani, M. A., Sukmawan, I. H., Perkasa, S. D., & Vigneshwaran, P. (2022). Effect of Peak Sun Hour on Energy Productivity of Solar Photovoltaic Power System. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 11(5). <https://doi.org/10.11591/eei.v11i5.3962>
- Nava-Pintor, J. A., Alcalá-Rodríguez, U. E., Guerrero-Osuna, H. A., Mata-Romero, M. E., Lopez-Neri, E., García-Vázquez, F., Solís-Sánchez, L. O., Carrasco-Navarro, R., & Luque-Vega, L. F. (2025). Development and Evaluation of Solar Radiation Sensor Using Cost-Effective Light Sensors and Machine Learning Techniques. *Technologies*, 13(5), 182. <https://doi.org/10.3390/technologies13050182>
- Niazi, K. A. K., Kerekes, T., Dolara, A., Yang, Y., & Leva, S. (2022). Performance Assessment of Mismatch Mitigation Methodologies Using Field Data in Solar Photovoltaic Systems. *Electronics*, 11(13), 1938. <https://doi.org/10.3390/electronics11131938>
- Rao, C. K., Sahoo, S., & Yanine, F. (2024). An IoT-based Intelligent Smart Energy Monitoring System for Solar PV Power Generation. *Energy Harvesting and Systems*, 11(1), 20230015. <https://doi.org/10.1515/ehs-2023-0015>
- Sayarshad, H. R. (2024). Optimization of Electric Charging Infrastructure: Integrated Model for Routing and Charging Coordination with Power-Aware Operations. *NPJ Sustainable Mobility and Transport*, 1(4). <https://doi.org/10.1038/s44333-024-00004-6>
- Ukoba, K., Yoro, K. O., Eterigho-Ikelegbe, O., Ibegbulam, C., & Jen, T.-C. (2024). Adaptation of Solar Energy in the Global South: Prospects, Challenges and Opportunities. *Heliyon*, 10(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28009>
- Waseem, M., Sreeshobha, E., Reddy, K. S., & Donato, T. (2024). State-of-the-Art and Advancement of Charging Infrastructure in Electric Mobility: An Integrated Review. *Energies*, 17(23), 6137. <https://doi.org/10.3390/en17236137>