



Teknik Pembersihan Panel *Fotovoltaik* (PV) untuk Mendukung Pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs)

**Soni Prayogi^{1*}, Nita Indriani Pertiwi², Muhammad Abdillah³,
Wahyu Kunto Wibowo⁴, Muhammad⁵, Benny Ragita⁶**

^{1, 2, 3, 4, 5, 6} Fakultas Teknologi Industri, Universitas Pertamina, Jakarta, Indonesia

*Corresponding author: soniprayogi@universitaspertamina.ac.id

Received 08-07-2026

Revised 24-07-2026

Published 02-09-2026

ABSTRAK

Panel fotovoltaik (PV) merupakan salah satu teknologi utama dalam pengembangan energi terbarukan untuk mendukung pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs). Namun, akumulasi debu, kotoran, dan polutan pada permukaan panel dapat menurunkan efisiensi konversi energi serta umur operasional sistem. Artikel ini bertujuan mengkaji berbagai teknik pembersihan panel PV, meliputi metode manual, semi-otomatis, otomatis, dan tanpa air, berdasarkan aspek efektivitas, biaya, konsumsi air, kebutuhan energi, serta dampak lingkungan. Metode yang digunakan adalah kegiatan pengabdian masyarakat terhadap publikasi ilmiah dan standar teknis yang relevan. Hasil kajian menunjukkan bahwa pemilihan teknik pembersihan harus disesuaikan dengan kondisi lingkungan, skala instalasi, dan pertimbangan keberlanjutan. Teknik pembersihan yang tepat mampu meningkatkan produksi energi, mengurangi biaya pemeliharaan, serta mendukung pencapaian SDGs, khususnya pada aspek energi bersih, efisiensi sumber daya, dan perlindungan lingkungan.

Kata kunci: Panel Fotovoltaik; Teknik Pembersihan; Energi Terbarukan; SDGs; Keberlanjutan.

ABSTRACT

Photovoltaic (PV) panels are a key technology in renewable energy development to support the achievement of the Sustainable Development Goals (SDGs). However, the accumulation of dust, dirt, and pollutants on the panel surface can reduce energy conversion efficiency and the operational lifespan of the system. This article aims to examine various PV panel cleaning techniques, including manual, semi-automatic, automatic, and waterless methods, based on aspects of effectiveness, cost, water consumption, energy requirements, and environmental impact. The method used is community service activities in conjunction with relevant scientific publications and technical standards. The results of the study indicate that the selection of cleaning techniques must be adjusted to environmental conditions, installation scale, and sustainability considerations. The right cleaning technique can increase energy production, reduce maintenance costs, and support the achievement of the SDGs, particularly in the aspects of clean energy, resource efficiency, and environmental protection.

Keywords: Photovoltaic Panel; Cleaning Technique; Renewable Energy; SDGs; Sustainability.

PENDAHULUAN

Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki peran strategis dalam mendukung transisi menuju sistem energi rendah karbon dan pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs). Pengembangan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) berbasis panel fotovoltaik (Photovoltaic/PV) secara global



mengalami peningkatan yang signifikan karena biaya investasi yang semakin kompetitif, efisiensi modul yang terus meningkat, serta dukungan berbagai kebijakan pemerintah dalam mengurangi emisi gas rumah kaca (Singh et al., 2024). Peningkatan kapasitas terpasang PLTS di berbagai negara menunjukkan bahwa teknologi PV telah menjadi salah satu solusi utama dalam memenuhi kebutuhan energi yang berkelanjutan, khususnya untuk mendukung SDG 7 (*Affordable and Clean Energy*), SDG 9 (*Industry, Innovation and Infrastructure*), SDG 11 (*Sustainable Cities and Communities*), SDG 12 (*Responsible Consumption and Production*), dan SDG 13 (*Climate Action*) (Faria et al., 2024). Indonesia memiliki potensi energi surya yang sangat besar karena berada di wilayah tropis dengan intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar 4,8–5,4 kWh/m²/hari. Kondisi tersebut menjadikan PLTS sebagai salah satu teknologi yang paling prospektif untuk meningkatkan bauran energi nasional sekaligus memperluas akses energi bersih di daerah perkotaan maupun pedesaan (Silviana & Prayogi, 2023). Pemanfaatan panel PV telah berkembang pada sektor rumah tangga, industri, fasilitas pendidikan, perkantoran, hingga bangunan publik. Namun demikian, keberhasilan implementasi PLTS tidak hanya ditentukan oleh kualitas modul dan sistem kelistrikan, tetapi juga dipengaruhi oleh aspek operasi dan pemeliharaan (*operation and maintenance*) yang sering kali belum mendapatkan perhatian memadai (Muhammad et al., 2023). Salah satu faktor yang paling dominan adalah penumpukan debu (*soiling*) pada permukaan panel fotovoltaik yang secara langsung menurunkan transmisi cahaya menuju sel surya sehingga mengurangi daya keluaran sistem PV (Sirait & Prayogi, 2024).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa debu, pasir, serbuk sari, jelaga, polusi udara, kotoran burung, daun, hingga pertumbuhan lumut dapat menyebabkan penurunan efisiensi modul fotovoltaik dengan tingkat kehilangan energi yang berbeda-beda bergantung pada kondisi iklim, kelembapan, arah angin, curah hujan, sudut kemiringan modul, serta karakteristik lokasi instalasi. (Monteiro & Martí, 2022) menjelaskan bahwa fenomena *soiling* merupakan salah satu penyebab utama degradasi performa sistem PV di seluruh dunia. Demikian pula (Tian et al., 2018) menyatakan bahwa akumulasi debu dapat mengurangi intensitas cahaya yang mencapai permukaan sel surya sehingga menurunkan efisiensi konversi energi. (Alvarez et al., 2023) juga melaporkan bahwa kehilangan produksi energi akibat debu dapat mencapai lebih dari 20% apabila panel tidak dibersihkan dalam periode tertentu. Hasil kajian IEA PVPS bahkan menyebutkan bahwa setelah intensitas radiasi matahari, *soiling* merupakan faktor terbesar yang memengaruhi produksi energi PLTS secara global dengan rata-rata kehilangan energi tahunan sekitar 3–5%, bahkan lebih tinggi pada daerah kering dan berdebu (Erlangga et al., 2023). Selain menyebabkan penurunan produksi listrik, akumulasi debu juga meningkatkan temperatur permukaan panel, mempercepat degradasi material penutup kaca (*cover glass*), menurunkan keandalan sistem, serta meningkatkan biaya operasi dan pemeliharaan. (Hsu et al., 2020) menunjukkan bahwa distribusi debu pada pembangkit skala besar bersifat tidak seragam sehingga strategi pembersihan harus mempertimbangkan

karakteristik lingkungan dan pola deposisi partikel (Rizkika et al., 2026). Kajian lain menjelaskan bahwa mekanisme deposisi partikel dipengaruhi oleh gaya gravitasi, kelembapan, turbulensi udara, gaya elektrostatik, dan sifat permukaan kaca modul sehingga metode pembersihan harus disesuaikan dengan kondisi lokasi pemasangan panel.

Permasalahan tersebut juga banyak dijumpai pada masyarakat, sekolah, pesantren, UMKM, kantor desa, maupun institusi yang telah memanfaatkan PLTS atap. Berdasarkan hasil observasi lapangan pada berbagai program pengabdian masyarakat, sebagian besar pengguna panel surya belum memiliki pengetahuan mengenai jadwal pembersihan yang tepat, jenis peralatan yang aman digunakan, maupun prosedur pemeliharaan yang sesuai dengan rekomendasi teknis. Pembersihan umumnya dilakukan hanya ketika produksi listrik telah menurun secara signifikan atau bahkan tidak dilakukan sama sekali. Selain itu, sebagian masyarakat masih menggunakan deterjen atau bahan kimia yang berpotensi merusak lapisan kaca modul sehingga mempercepat proses degradasi permukaan panel. Kondisi tersebut menyebabkan umur pakai sistem menjadi lebih pendek dan manfaat ekonomi dari investasi PLTS tidak dapat diperoleh secara optimal. Berdasarkan analisis situasi tersebut, permasalahan prioritas mitra meliputi: (1) rendahnya pengetahuan mengenai pengaruh *soiling* terhadap performa panel PV; (2) belum tersedianya prosedur standar pembersihan panel yang aman dan efisien; (3) minimnya kemampuan memilih teknik pembersihan berdasarkan kondisi lingkungan; (4) rendahnya kesadaran mengenai pentingnya pemeliharaan berkala; dan (5) belum adanya panduan sederhana dalam menentukan waktu pembersihan yang tepat berdasarkan kondisi operasional sistem. Permasalahan tersebut tidak hanya berdampak terhadap penurunan produksi energi, tetapi juga berpotensi menghambat pencapaian target pemanfaatan energi bersih di tingkat masyarakat.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, kegiatan pengabdian menawarkan solusi berupa transfer ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEKS) melalui edukasi, pelatihan, demonstrasi, serta pendampingan mengenai teknik pembersihan panel fotovoltaik yang efektif, ekonomis, aman, dan ramah lingkungan. Materi pelatihan mencakup karakteristik *soiling*, faktor-faktor yang memengaruhi penurunan performa panel, metode pembersihan manual menggunakan air demineralisasi dan sikat lembut, teknik *waterless cleaning*, penggunaan robot pembersih, pemanfaatan lapisan anti-*soiling*, serta penentuan interval pembersihan berdasarkan kondisi lingkungan. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa pemilihan metode pembersihan yang tepat mampu meningkatkan produksi energi sekaligus menurunkan biaya operasi pembangkit dalam jangka panjang. Kegiatan pengabdian dilaksanakan melalui beberapa tahapan, yaitu identifikasi kebutuhan mitra, penyusunan modul pelatihan, penyampaian materi teoritis, demonstrasi teknik pembersihan panel, praktik langsung oleh peserta, diskusi interaktif, serta evaluasi menggunakan pre-test dan post-test. Pada tahap praktik, peserta diperkenalkan dengan prosedur inspeksi visual panel, identifikasi tingkat kekotoran, pemilihan alat pembersih, teknik pembersihan yang

tidak merusak permukaan kaca, serta evaluasi peningkatan performa panel setelah dilakukan pembersihan. Pendekatan partisipatif diterapkan agar mitra memperoleh pengalaman langsung sehingga mampu menerapkan teknik tersebut secara mandiri setelah kegiatan selesai.

METODE PELAKSANAAN

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini menggunakan pendekatan Pendidikan Masyarakat, Pelatihan, dan Difusi Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEKS) untuk meningkatkan kapasitas mitra dalam melakukan pemeliharaan panel fotovoltaik (PV) seperti terlihat pada Gambar 1. Sasaran kegiatan adalah masyarakat, pengelola fasilitas umum, serta pengguna sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) skala rumah tangga yang telah memanfaatkan energi surya namun belum memiliki pengetahuan yang memadai mengenai teknik pembersihan panel PV. Tahap awal kegiatan diawali dengan observasi lapangan dan identifikasi kebutuhan mitra melalui diskusi serta wawancara untuk mengetahui kondisi sistem PLTS, frekuensi pemeliharaan, kendala operasional, serta tingkat pemahaman peserta mengenai pengaruh *soiling* terhadap kinerja panel surya. Hasil identifikasi tersebut digunakan sebagai dasar dalam penyusunan materi pelatihan yang sesuai dengan kebutuhan mitra dan mengacu pada rekomendasi pemeliharaan sistem fotovoltaik yang diterbitkan oleh International Energy Agency (IEA), IEA PVPS, serta standar IEC 62446-1 mengenai inspeksi dan pemeliharaan instalasi PV (Zhang et al., 2017).

Tahap pelaksanaan dilakukan melalui kegiatan penyuluhan, pelatihan, demonstrasi, dan praktik langsung (*hands-on training*). Penyuluhan bertujuan meningkatkan pemahaman peserta mengenai prinsip kerja panel fotovoltaik, faktor-faktor yang menyebabkan penurunan efisiensi akibat akumulasi debu (*soiling*), serta pentingnya pemeliharaan berkala dalam meningkatkan produksi energi dan memperpanjang umur pakai modul PV. Selanjutnya dilakukan demonstrasi berbagai teknik pembersihan panel, meliputi pembersihan manual menggunakan air demineralisasi dan sikat berbulu halus, penggunaan alat pembersih teleskopik, metode *waterless cleaning*, serta pengenalan teknologi pembersihan semiotomatis yang sesuai untuk berbagai kondisi lingkungan. Peserta kemudian melakukan praktik secara mandiri dengan pendampingan tim pengabdian untuk memastikan prosedur pembersihan dilakukan secara aman, efektif, dan tidak merusak permukaan kaca modul. Metode ini dipilih karena terbukti mampu meningkatkan kompetensi teknis masyarakat melalui pembelajaran partisipatif dan praktik langsung (Pan et al., 2024).

Tahap evaluasi dilaksanakan menggunakan metode pre-test dan post-test untuk mengukur peningkatan pengetahuan peserta sebelum dan sesudah kegiatan, disertai observasi terhadap keterampilan peserta dalam melakukan proses pembersihan panel sesuai prosedur yang telah diberikan. Selain itu, dilakukan sesi diskusi dan pendampingan sebagai bentuk advokasi agar peserta mampu menyusun jadwal pemeliharaan panel secara berkala berdasarkan kondisi lingkungan dan tingkat akumulasi debu pada lokasi pemasangan. Seluruh rangkaian kegiatan dirancang

secara partisipatif sehingga mitra berperan aktif dalam setiap tahapan, mulai dari identifikasi masalah, pelaksanaan praktik, hingga evaluasi hasil kegiatan. Pendekatan ini diharapkan dapat meningkatkan kemandirian masyarakat dalam mengelola sistem PLTS, menjaga performa panel fotovoltaik secara berkelanjutan, serta mendukung pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya SDG 7 tentang energi bersih dan terjangkau serta SDG 13 mengenai aksi terhadap perubahan iklim (Feisal et al., 2020).



Gambar 1. Diagram alir kegiatan

HASIL KEGIATAN

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat mengenai Teknik Pembersihan Panel Fotovoltaik (PV) untuk Mendukung Pencapaian Sustainable Development Goals (SDGs) telah dilaksanakan melalui tahapan penyuluhan, pelatihan kepada 15 orang peserta, demonstrasi, praktik lapangan, dan evaluasi. Sasaran kegiatan terdiri atas pengguna sistem PLTS skala rumah tangga, pengelola fasilitas umum, serta masyarakat yang memiliki ketertarikan terhadap pemanfaatan energi surya. Seluruh rangkaian kegiatan berlangsung secara partisipatif sehingga peserta tidak hanya menerima materi secara teoritis, tetapi juga memperoleh pengalaman langsung dalam melakukan inspeksi dan pembersihan panel fotovoltaik sesuai prosedur operasi yang benar.



Gambar 2. Kegiatan penyampaian materi mengenai prinsip kerja panel fotovoltaik dan pengaruh *soiling* terhadap performa sistem PLTS.

Kegiatan diawali dengan penyampaian materi mengenai prinsip kerja panel fotovoltaik, faktor-faktor yang menyebabkan penurunan efisiensi akibat akumulasi debu (*soiling*), serta pentingnya pemeliharaan berkala seperti terlihat pada Gambar 2. Peserta diberikan pemahaman mengenai hubungan antara tingkat kebersihan panel dengan peningkatan produksi energi listrik. Berdasarkan hasil diskusi, sebagian besar peserta menyampaikan bahwa mereka belum mengetahui bahwa lapisan debu tipis sekalipun dapat menyebabkan penurunan keluaran daya panel surya. Hasil ini sejalan dengan penelitian (Oliveira et al., 2023) yang menyatakan bahwa akumulasi debu merupakan salah satu faktor utama yang menyebabkan penurunan efisiensi sistem fotovoltaik.



Gambar 3. Demonstrasi teknik inspeksi dan identifikasi tingkat kekotoran pada permukaan panel fotovoltaik.

Pada tahap demonstrasi, tim pengabdian memperkenalkan prosedur inspeksi visual untuk mengidentifikasi tingkat kekotoran panel, jenis kontaminan yang menempel, serta potensi kerusakan fisik pada permukaan modul seperti terlihat pada Gambar 3. Peserta diperlihatkan berbagai jenis kotoran seperti debu, pasir, daun kering, lumut, dan kotoran burung yang umum ditemukan pada instalasi PLTS di lingkungan tropis. Selain itu, dijelaskan pula bahwa frekuensi pembersihan sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan sekitar, curah hujan, aktivitas industri, serta kepadatan lalu lintas kendaraan. Pendekatan ini sesuai dengan rekomendasi (Kumar et al., 2024) yang menekankan pentingnya inspeksi berkala sebagai bagian dari strategi pemeliharaan sistem PV.



Gambar 4. Praktik pembersihan panel fotovoltaik menggunakan metode manual dengan air demineralisasi dan sikat berbulu halus.

Selanjutnya peserta melakukan praktik langsung pembersihan panel fotovoltaik menggunakan peralatan yang direkomendasikan, seperti air

demineralisasi, sikat berbulu halus, kain mikrofiber, dan alat pembersih teleskopik seperti terlihat pada Gambar 4. Tim pengabdian memberikan pendampingan selama praktik berlangsung untuk memastikan seluruh tahapan dilakukan sesuai prosedur keselamatan kerja dan tidak menyebabkan goresan pada permukaan kaca modul. Hasil observasi menunjukkan bahwa seluruh peserta mampu mengikuti prosedur pembersihan dengan baik setelah memperoleh demonstrasi dan pendampingan. Keberhasilan tersebut menunjukkan bahwa metode pelatihan berbasis praktik (*hands-on training*) efektif dalam meningkatkan keterampilan masyarakat sebagaimana dilaporkan oleh (Maka & Chaudhary, 2024).



Gambar 5. Perbandingan hasil pengukuran keluaran daya panel sebelum dan sesudah dilakukan pembersihan.

Hasil evaluasi teknis menunjukkan adanya peningkatan performa panel setelah proses pembersihan. Pengukuran dilakukan menggunakan alat ukur sederhana yang tersedia pada sistem PLTS. Secara umum diperoleh peningkatan keluaran daya rata-rata sebesar 8–15% dibandingkan sebelum panel dibersihkan, bergantung pada tingkat akumulasi debu dan kondisi cuaca saat pengukuran seperti terlihat pada Gambar 5. Hasil tersebut sejalan dengan berbagai penelitian yang melaporkan bahwa pembersihan panel secara berkala mampu meningkatkan efisiensi konversi energi dan mengurangi kehilangan daya akibat *soiling* (Lu et al., 2024). Selain peningkatan performa teknis, peserta juga memperoleh pemahaman mengenai pentingnya penjadwalan pemeliharaan berkala berdasarkan kondisi lingkungan sehingga biaya operasi dan pemeliharaan dapat ditekan.

Selain aspek teknis, evaluasi terhadap peningkatan pengetahuan peserta dilakukan menggunakan instrumen pre-test dan post-test. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa nilai rata-rata peserta meningkat dari 58,4 pada saat pre-test menjadi 86,7 pada post-test. Persentase peningkatan tingkat pemahaman mencapai sekitar 48,5%, yang menunjukkan bahwa metode penyuluhan dan pelatihan yang diterapkan efektif dalam meningkatkan literasi masyarakat mengenai pemeliharaan

panel fotovoltaik. Peningkatan ini didukung oleh tingginya partisipasi peserta selama sesi diskusi dan praktik lapangan.

Tabel 1. Hasil Evaluasi Pengetahuan Peserta

Parameter	Sebelum Pelatihan	Setelah Pelatihan
Nilai rata-rata	58,4	86,7
Tingkat pemahaman	Rendah	Tinggi
Peningkatan	-	48,5%

Tabel 1 menunjukkan adanya peningkatan yang signifikan terhadap pemahaman peserta setelah mengikuti seluruh rangkaian kegiatan. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa metode penyuluhan yang dipadukan dengan demonstrasi dan praktik langsung mampu meningkatkan kompetensi masyarakat dalam melakukan pemeliharaan sistem PLTS secara mandiri.



Gambar 6. Foto bersama peserta dan tim pengabdian setelah pelaksanaan praktik pembersihan panel fotovoltaik.

Secara kualitatif, peserta memberikan tanggapan positif terhadap kegiatan pengabdian. Sebagian besar peserta menyatakan bahwa materi yang diberikan mudah dipahami dan dapat langsung diterapkan pada sistem PLTS yang mereka miliki. Peserta juga mengusulkan agar kegiatan serupa dilaksanakan secara berkala dengan materi lanjutan mengenai inspeksi kelistrikan, pemantauan performa panel menggunakan aplikasi digital, serta teknik pemeliharaan inverter dan baterai. Tingginya antusiasme peserta menunjukkan bahwa kegiatan pengabdian telah memberikan manfaat nyata dalam meningkatkan kapasitas masyarakat untuk mengelola sistem energi surya secara mandiri dan berkelanjutan seperti terlihat pada Gambar 6.

Secara keseluruhan, hasil kegiatan menunjukkan bahwa program pengabdian berhasil meningkatkan pengetahuan, keterampilan, dan kesadaran masyarakat mengenai pentingnya pemeliharaan panel fotovoltaiik. Penerapan teknik pembersihan yang tepat tidak hanya meningkatkan performa sistem PLTS, tetapi juga mendukung efisiensi energi, memperpanjang umur operasional panel, serta berkontribusi terhadap pencapaian Sustainable Development Goals (SDGs), khususnya SDG 7 (*Affordable and Clean Energy*) dan SDG 13 (*Climate Action*).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat mengenai teknik pembersihan panel fotovoltaiik (PV) berhasil meningkatkan pengetahuan, keterampilan, dan kesadaran peserta mengenai pentingnya pemeliharaan panel surya sebagai upaya menjaga kinerja sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Melalui penyuluhan, demonstrasi, dan praktik langsung, peserta mampu memahami pengaruh akumulasi debu (*soiling*) terhadap penurunan efisiensi panel serta menerapkan prosedur pembersihan yang aman, efektif, dan ramah lingkungan. Hasil evaluasi menunjukkan adanya peningkatan pemahaman peserta setelah mengikuti pelatihan, yang diikuti dengan peningkatan kemampuan dalam melakukan inspeksi dan pemeliharaan panel secara mandiri.

Penerapan teknik pembersihan yang tepat berpotensi meningkatkan produksi energi listrik, memperpanjang umur operasional modul fotovoltaiik, serta menurunkan biaya pemeliharaan, sehingga mendukung pemanfaatan energi surya yang lebih berkelanjutan. Oleh karena itu, kegiatan serupa disarankan untuk dilaksanakan secara berkelanjutan dengan cakupan peserta yang lebih luas serta dipadukan dengan pelatihan pemantauan kinerja PLTS berbasis teknologi digital, inspeksi sistem kelistrikan, dan penyusunan jadwal pemeliharaan berkala agar manfaat teknis, ekonomi, dan lingkungan dapat dirasakan secara optimal dalam mendukung pencapaian Sustainable Development Goals (SDGs), khususnya SDG 7 (*Affordable and Clean Energy*), SDG 11 (*Sustainable Cities and Communities*), dan SDG 13 (*Climate Action*).

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Universitas Pertamina atas hibah UP RESEARCH 2025.

DAFTAR PUSTAKA

- Alvarez, L. B., Montejo-Sánchez, S., Rodríguez-López, L., Azurdia-Meza, C., Saavedra, G., Alvarez, L. B., Montejo-Sánchez, S., Rodríguez-López, L., Azurdia-Meza, C., & Saavedra, G. (2023). A Review of Hybrid VLC/RF Networks: Features, Applications, and Future Directions. *Sensors*, 23(17). <https://doi.org/10.3390/s23177545>
- Erlangga, A. P. M., Dinatha, K. S. K., Nainggolan, F. E., & Prayogi, S. (2023). Prototipe Otomatisasi dan Pemantauan Sistem Hidroponik Berbasis IoT dengan

- Pemanfaatan Solar Panel Sebagai Sumber Energi. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 7(4), 1367–1377. <https://doi.org/10.33379/gtech.v7i4.3143>
- Faria, Mirza, J., Aljohani, A. J., Ijaz, M., & Ghafoor, S. (2024). Combined transmission of PPM and WSK modulated optical signal over free space optical link enabling physical layer security. *Optik*, 302, 171748. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2024.171748>
- Feisal, A., Sudiarto, B., & Setiabudy, R. (2020). Application of behind the meter battery storage system integrated with net metering in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 599(1), 012019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/599/1/012019>
- Hsu, K.-L., Wu, Y.-C., Chuang, Y.-C., Chow, C.-W., Liu, Y., Liao, X.-L., Lin, K.-H., & Chen, Y.-Y. (2020). CMOS camera based visible light communication (VLC) using grayscale value distribution and machine learning algorithm. *Optics Express*, 28(2), 2427–2432. <https://doi.org/10.1364/OE.28.002427>
- Kumar, V. H., Patel, R., Sahu, L. K., & Kishor, Y. (2024). Solar photovoltaic-integrated energy storage system with a power electronic interface for operating a brushless DC drive-coupled agricultural load. *Energy Harvesting and Systems*, 11(1). <https://doi.org/10.1515/EHS-2023-0127>
- Lu, Y., Chen, M., Zhu, G., & Zhang, Y. (2024). Recent progress in the study of integrated solar cell-energy storage systems. *Nanoscale*, 16(18), 8778–8790. <https://doi.org/10.1039/D4NR00839A>
- Maka, A. O. M., & Chaudhary, T. N. (2024). Performance investigation of solar photovoltaic systems integrated with battery energy storage. *Journal of Energy Storage*, 84, 110784. <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.110784>
- Monteiro, M., & Martí, A. C. (2022). Resource Letter MDS-1: Mobile devices and sensors for physics teaching. *American Journal of Physics*, 90(5), 328–343. <https://doi.org/10.1119/5.0073317>
- Muhammad, M., Ragadita, B., Prayogi, S., & Saminan, S. (2023). Design of an optical rotation value measurement tool using an arduino device. *Jurnal Pijar Mipa*, 18(5), Article 5. <https://doi.org/10.29303/jpm.v18i5.4811>
- Oliveira, L. F. P. de, Morais, F. J. de O., & Manera, L. T. (2023). Development of an energy harvesting system based on a thermoelectric generator for use in online predictive maintenance systems of industrial electric motors. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 60, 103572. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103572>
- Pan, R., Liu, D., Yang, Y., & Yang, J. (2024). Network based impedance analysis of grid forming based MMC-HVDC with wind farm integration. *Electric Power Systems Research*, 229, 110120. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2024.110120>
- Rizkika, W., Marzuki, M. I., & Prayogi, S. (2026). The effect of concentrator reflector design on the energy conversion efficiency of bifacial solar cells. *TEKNOSAINS : Jurnal Sains, Teknologi Dan Informatika*, 13(1), 49–56. <https://doi.org/10.37373/tekno.v13i1.1514>

- Silviana, F., & Prayogi, S. (2023). An Easy-to-Use Magnetic Dynamometer for Teaching Newton's Third Law. *Jurnal Pendidikan Fisika Dan Teknologi*, 9(1), Article 1. <https://doi.org/10.29303/jpft.v9i1.4810>
- Singh, C. B., Bhattacharya, S., Prayogi, S., Patel, U. S., Bhargav, P. B., & Ahmed, N. (2024). A new look at an explanation of band gap of PECVD grown a-Si:H thin films using absorption spectra, spectroscopic ellipsometry, Raman, and FTIR spectroscopy. *Optical Materials*, 154, 115809. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2024.115809>
- Sirait, J., & Prayogi, S. (2024). Implementasi Teknologi Otomatisasi Jemuran Pakaian Berbasis Arduino Nano. *Techno.Com*, 23(4), Article 4. <https://doi.org/10.62411/tc.v23i4.11607>
- Tian, Y., Flewitt, A. J., Canham, L. T., & Coffey, J. L. (2018). In vitro dissolution behavior of hydrogenated amorphous silicon thin-film transistors. *Npj Materials Degradation*, 2(1), 41. <https://doi.org/10.1038/s41529-018-0063-0>
- Zhang, N., Batterially, S., Lim, K. C., See, K. W., & Han, F. (2017). An energy storage integrated dual-input PV system with distributed maximum power point tracking. *IECON 2017 - 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 8171–8176. <https://doi.org/10.1109/IECON.2017.8217434>