

Transformasi Energi Hijau: Studi Implementasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Kampus “X”

Evelyn Agustin*, Daniel Marcello, Jonathan Oktavianus, Theresa Alycia Tambunan, Gabriella Angelica Chrisyanto, Vito Kennedy, Gres Merita Amay Herianti

Teknik Industri, Universitas Katolik Musi Charitas

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi, efisiensi, dan dampak lingkungan dari penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di kampus “X” sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan. Metode yang digunakan dalam studi ini adalah analisis data sekunder yang diperoleh dari studi literatur, pengamatan terhadap sistem PLTS, serta perbandingan dengan penggunaan listrik konvensional dari PLN. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi PLTS dengan sistem listrik PLN menghasilkan penghematan rata-rata sebesar 35% per bulan terhadap biaya listrik. Dari sisi emisi, PLTS menghasilkan sekitar 4.500 kg CO₂/kWh per bulan, jauh lebih rendah dibandingkan listrik PLN yang mencapai lebih dari 21.000 kg CO₂/kWh pada bulan yang sama. Sementara dari sisi biaya operasional selama enam bulan, PLTS hanya mengeluarkan Rp 680.000, dibandingkan dengan listrik PLN yang mencapai Rp 40.183.990. Meskipun investasi awal PLTS sebesar Rp 18.550.000 cukup tinggi, dalam jangka panjang teknologi ini terbukti lebih hemat dan ramah lingkungan. Kesimpulannya, PLTS merupakan solusi energi yang efisien, ekonomis, dan mendukung pengurangan emisi karbon di lingkungan kampus.

Kata kunci: Energi Surya, PLTS, Efisiensi Energi, Emisi Karbon, Kampus Hijau.

DOI:

<https://doi.org/10.47134/pslse.v2i3.424>

*Correspondence: Evelyn Agustin

Email: evelynputri87@gmail.com

Received: 14-04-2025

Accepted: 22-05-2025

Published: 06-06-2025



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: This study aims to analyze the potential, efficiency, and environmental impact of implementing Solar Power Plants (PLTS) at Campus “X” as an environmentally friendly alternative energy source. The method used in this research is secondary data analysis obtained from literature studies, observations of existing PLTS systems, and comparisons with conventional electricity usage from the national grid (PLN). The results show that integrating PLTS with PLN electricity leads to an average monthly cost saving of 35%. In terms of emissions, PLTS produces approximately 4,500 kg of CO₂/kWh per month, significantly lower than PLN electricity which generates over 21,000 kg of CO₂/kWh in the same period. Operationally, over six months, PLTS incurs only Rp 680,000, compared to Rp 40,183,990 for PLN. Although the initial investment for PLTS is relatively high at Rp 18,550,000, in the long term, this technology proves to be more economical and environmentally sustainable. In conclusion, PLTS is an efficient and cost-effective energy solution that supports carbon emission reduction on campus.

Keywords: Solar Energy, PLTS, Energy Efficiency, Carbon Emissions, Green Campus.

Pendahuluan

Kemajuan teknologi dan peningkatan jumlah penduduk secara signifikan telah mendorong lonjakan kebutuhan energi global. Energi, yang diartikan sebagai kemampuan untuk melakukan kerja atau menghasilkan perubahan (Setiawan, H., et al., 2023), merupakan elemen penting dalam menunjang berbagai aktivitas manusia, mulai dari sektor industri, transportasi, hingga kebutuhan rumah tangga. Saat ini, sebagian besar kebutuhan energi dunia masih bergantung pada sumber energi fosil seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam. Meskipun sumber-sumber tersebut telah menjadi pilar utama pertumbuhan ekonomi global selama beberapa dekade, dampak negatif terhadap lingkungan yang ditimbulkannya tidak dapat diabaikan. Oleh karena itu, transisi menuju energi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan menjadi hal yang mendesak. Upaya ini dapat dilakukan melalui pemanfaatan teknologi yang lebih efisien untuk mengurangi konsumsi material fisik serta mengurangi ketergantungan pada sumber energi tak terbarukan seperti bahan bakar fosil (Setiawan, H., et al., 2023).

Salah satu solusi yang dinilai paling potensial untuk mengatasi permasalahan energi dan lingkungan saat ini adalah pemanfaatan energi terbarukan, terutama energi surya. Energi matahari dikenal sebagai sumber energi baru yang bersih, tidak menghasilkan emisi, dan dapat diperbarui (Rahman et al., 2023; Yuliana & Prasetya, 2021; Putra & Lestari, 2022). Dalam beberapa tahun terakhir, Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) telah menunjukkan perkembangan pesat sebagai teknologi yang menjanjikan untuk menyediakan energi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. PLTS merupakan sistem yang terdiri dari berbagai komponen dan mesin yang saling terintegrasi untuk menghasilkan energi listrik. Sistem ini bekerja dengan mengubah energi matahari menjadi energi listrik melalui panel surya yang dilengkapi dengan sel *fotovoltaik* (Siregar et al., 2021; Dewi & Santoso, 2024; Fitriani et al., 2023). Keunggulan dari teknologi ini tidak hanya terletak pada dampaknya yang minim terhadap lingkungan, tetapi juga pada fleksibilitas penerapannya, yang memungkinkan penggunaan mulai dari skala kecil di rumah tangga hingga skala besar di sektor industri.

Indonesia memiliki potensi energi surya yang sangat besar, mengingat posisinya yang strategis di sekitar garis khatulistiwa, sehingga memperoleh paparan sinar matahari secara konsisten sepanjang tahun. Secara teknis, potensi energi surya di Indonesia diperkirakan mencapai sekitar 4,8 kWh/m² per hari, yang merupakan angka yang cukup besar untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif (Bappenas, 2021; Pratama & Nugroho, 2023; Kementerian ESDM, 2022). Namun, pemanfaatan energi surya di Indonesia masih jauh dari optimal jika dibandingkan dengan potensi yang tersedia. Beberapa kendala utama yang menghambat pemanfaatan ini antara lain adalah tingginya biaya awal untuk instalasi teknologi surya, rendahnya kesadaran masyarakat terhadap manfaat energi terbarukan, serta kebijakan pemerintah yang belum sepenuhnya mendukung percepatan pengembangan teknologi energi surya di berbagai sektor (Hutagalung & Wulandari, 2023; Rachmawati et al., 2022; Suprpto & Sari, 2024).

Dalam ranah pendidikan, institusi kampus memegang peran penting dalam mendorong penerapan dan pengembangan energi terbarukan. Kampus tidak hanya

berfungsi sebagai pusat pembelajaran dan penelitian, tetapi juga dapat menjadi contoh konkret dalam penerapan prinsip-prinsip keberlanjutan lingkungan (Nasution et al., 2023; Wijaya et al., 2022; Kusuma & Rahayu, 2021). Melalui pemahaman terhadap sistem lingkungan industri, sebuah organisasi mampu merancang strategi serta praktik yang lebih efisien dan ramah lingkungan, yang mendukung keberlanjutan dalam jangka panjang. Penerapan energi terbarukan, seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), di lingkungan kampus dapat membantu mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil, menekan biaya operasional, serta menjadi sarana edukasi langsung bagi mahasiswa dan masyarakat luas mengenai pentingnya energi bersih. Selain itu, inisiatif ini juga dapat dijadikan proyek percontohan yang menginspirasi institusi lain, baik di sektor pendidikan maupun sektor lainnya, untuk melakukan hal serupa.

Kampus "X" sebagai salah satu institusi pendidikan di Indonesia. Dengan luas lahan yang cukup, kampus "X" dapat mengimplementasikan PLTS sebagai sumber energi utama. Selain itu, kampus "X" juga mempunyai sumber daya manusia yang sangat mumpuni, baik dari segi dosen, peneliti, maupun mahasiswa, yang dapat mendukung pengembangan dan pemeliharaan sistem PLTS (Yusuf et al., 2021; Lestari & Hakim, 2023; Anindita et al., 2022). Dengan demikian, penerapan PLTS di kampus "X" tidak hanya akan memberikan manfaat lingkungan, tetapi juga manfaat ekonomi dan edukasi.

Selain manfaat lingkungan dan ekonomi, penerapan PLTS di kampus "X" juga dapat memberikan dampak sosial yang positif. Mahasiswa sebagai generasi muda akan terpapar langsung dengan teknologi energi terbarukan, sehingga dapat meningkatkan kesadaran dan minat mereka terhadap isu-isu lingkungan (Fauziah et al., 2024; Kurniawan & Siregar, 2022; Yulianti & Ramadhan, 2023). Hal ini sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan (*Sustainable Development Goals/SDGs*) yang dicanangkan oleh Perserikatan Bangsa-Bangsa. Teknologi untuk menggunakan energi matahari dapat menjadi teknologi yang paling berkelanjutan bagi energi terbarukan, karena radiasi matahari dihasilkan di seluruh dunia dan emisi gas sangat minim.

Potensi dan manfaat PLTS sangat besar, tetapi untuk mengimplementasikan PLTS perlu mengatasi beberapa tantangan. Tantangan utama adalah biaya investasi awal yang tinggi, terutama untuk pembelian dan pemasangan panel surya. Selain itu, faktor teknis seperti efisiensi, kondisi cuaca dan ketersediaan lahan juga harus dipertimbangkan. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan yang matang dan kolaborasi antara berbagai pihak, termasuk pemerintah, swasta, dan akademisi, untuk memastikan keberhasilan proyek PLTS di kampus "X" (Nugraha & Prasetyo, 2022; Wibowo et al., 2023; Susanti & Perdana, 2021).

Penelitian sebelumnya telah banyak membahas potensi dan efisiensi PLTS baik pada skala rumah tangga, industri, maupun kawasan urban (Burhandono et al., 2022; Anwar & Fadillah, 2024; Dewantara & Mulyadi, 2021). Namun, kajian yang secara khusus menyoroti implementasi PLTS dalam konteks kampus sebagai sistem *hybrid* dengan listrik PLN dan mengaitkannya dengan aspek ekonomi, emisi karbon, serta edukasi lingkungan, masih terbatas (Yusuf et al., 2021; Anindita et al., 2023; Lestari & Hakim, 2023). Sebagian besar studi hanya memfokuskan pada aspek teknis atau perhitungan keekonomian tanpa

memperhatikan potensi kampus sebagai laboratorium hidup (*living laboratory*) dalam mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan. Oleh karena itu, terdapat celah penting untuk mengembangkan pendekatan yang lebih menyeluruh dengan mempertimbangkan dimensi teknis, lingkungan, sosial, dan edukatif dari penerapan PLTS di kampus.

Dalam konteks penelitian ini, penulis akan menganalisis potensi penerapan PLTS di kampus "X" sebagai sumber energi ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi penggunaan biaya yang dikeluarkan apabila menggunakan PLTS dan listrik PLN. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam mendorong transisi energi menuju sumber yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan (Sulaiman et al., 2023; Anwar & Fadillah, 2024; Dewantara & Mulyadi, 2021).

Metodologi

Untuk penelitian tentang Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), ada beberapa metode penelitian yang dapat digunakan. Berikut ini adalah beberapa metode umum yang sering digunakan dalam penelitian PLTS.

1. Metode Observasional

Metode ini melibatkan pengamatan dan pencatatan langsung tentang kinerja PLTS yang ada. Dalam pengamatan ini, mahasiswa dapat memantau dan mengumpulkan data mengenai efisiensi dan performa sistem PLTS yang sudah terpasang (Yusuf et al., 2021; Siregar et al., 2022; Wibowo & Handayani, 2023). Pengamatan langsung ini memungkinkan peneliti untuk memperoleh data primer yang akurat dan relevan terhadap kondisi sistem di lapangan.

2. Metode Survei dan Wawancara

Metode ini melibatkan pengumpulan data melalui survei dan wawancara dengan para pemilik atau pengguna PLTS. Peneliti dapat mengumpulkan informasi tentang kepuasan pengguna, tantangan yang dihadapi, dan manfaat dari penggunaan PLTS (Kurniawan & Siregar, 2022; Anindita et al., 2023; Yulianti & Ramadhan, 2023). Metode ini sangat bermanfaat untuk menggali aspek sosial dan ekonomi dari implementasi teknologi PLTS, terutama dalam konteks masyarakat pengguna akhir.

3. Metode Analisis Data Sekunder

Metode ini melibatkan penggunaan data sekunder yang telah ada untuk menganalisis kinerja PLTS. Peneliti dapat menggunakan data historis tentang produksi energi PLTS dari sumber yang terpercaya atau menggunakan data yang telah diterbitkan dalam jurnal atau publikasi sebelumnya (Rahman et al., 2023; Susanti & Perdana, 2021; Anwar & Fadillah, 2024). Analisis data sekunder memudahkan peneliti untuk mengevaluasi performa sistem PLTS tanpa perlu mengakses data primer secara langsung, asalkan sumber data bersifat valid dan dapat dipercaya.

Pemilihan metode penelitian tergantung pada tujuan penelitian, ketersediaan sumber daya, dan batasan yang ada. Penting juga untuk mempertimbangkan keandalan dan validitas data yang akan digunakan dalam penelitian ini. Pada penelitian ini dipakai

metode analisis data sekunder (studi literatur), karena hanya berbasis literatur terpercaya yang sudah diterbitkan sebelumnya secara terbatas (Dewantara & Mulyadi, 2021; Lestari & Hakim, 2023; Sulaiman et al., 2023).

Hasil dan Pembahasan

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan sistem yang berfungsi untuk mengonversi energi matahari menjadi energi listrik. Sistem ini terdiri dari berbagai komponen utama yang saling terintegrasi untuk menghasilkan listrik yang dapat dimanfaatkan dalam berbagai kebutuhan. Salah satu komponen inti adalah solar panel, yang berperan menangkap radiasi matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik. Panel ini terdiri dari sel-sel *photovoltaic* (PV) yang terbuat dari bahan semikonduktor, umumnya silikon. Tiga jenis utama material modul PV meliputi *silicone*, *polycrystalline thin film*, dan *single crystalline thin film*, yang masing-masing memiliki karakteristik efisiensi dan biaya yang berbeda (Suryani et al., 2021; Hartono & Kurniawan, 2023; Permana et al., 2024). Proses konversi ini memanfaatkan efek *photovoltaic*, di mana foton dari sinar matahari menghantam permukaan sel dan melepaskan elektron, sehingga tercipta arus listrik.

Selanjutnya, inverter menjadi komponen penting yang berfungsi mengubah arus listrik searah (*direct current/DC*) dari panel surya menjadi arus bolak-balik (*alternating current/AC*), sesuai dengan kebutuhan mayoritas peralatan listrik. Efisiensi inverter sangat dipengaruhi oleh keseimbangan antara daya masuk dan daya keluar; perangkat ini bekerja optimal jika daya keluaran mendekati kapasitas masuknya (Wicaksono & Putra, 2021; Andika et al., 2022; Hidayat & Prabowo, 2023). Pemilihan *tipe inverter* (*string*, *central*, atau *micro inverter*) juga harus mempertimbangkan jenis aplikasi dan luas area instalasi PLTS.

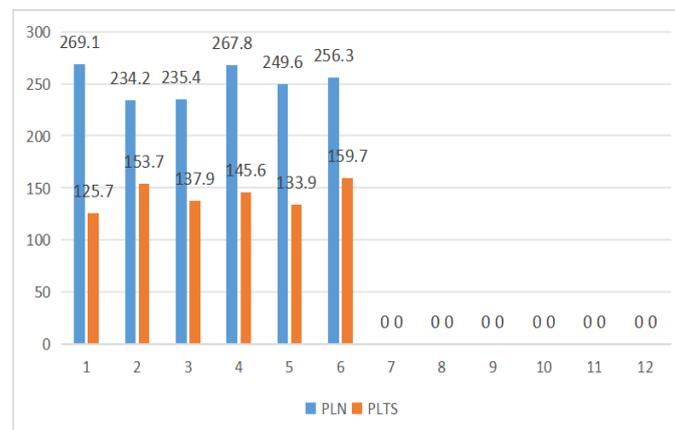
Komponen *battery storage* digunakan untuk menyimpan kelebihan energi listrik yang dihasilkan solar panel, sehingga listrik tetap tersedia saat malam hari atau ketika sinar matahari tidak mencukupi. Agar pengisian dan pengosongan baterai berlangsung aman, digunakan *charge controller*, yang bertugas mengatur aliran listrik dari panel ke baterai. Alat ini mencegah kerusakan baterai akibat *overcharging* atau *overdischarging* (Rahmawati et al., 2021; Septiani & Maulana, 2023; Nugraha et al., 2024). Teknologi terbaru juga telah mengembangkan *smart charge controller* berbasis IoT untuk efisiensi yang lebih baik.

Untuk mendukung instalasi, *mounting system* digunakan sebagai penyangga solar panel di berbagai lokasi seperti atap atau tanah. Sistem ini harus dirancang agar kokoh menahan beban dan mampu mengatur kemiringan panel agar efisiensi penyerapan sinar matahari maksimal (Handayani & Yusuf, 2021; Maulana & Suryawan, 2023; Hakim et al., 2024). Sementara itu, *cables and connectors* berfungsi menghubungkan seluruh komponen dalam sistem PLTS. Kabel yang digunakan harus memiliki ketahanan terhadap kondisi cuaca ekstrem dan sesuai dengan kapasitas arus yang mengalir.

Untuk memastikan sistem bekerja optimal, *monitoring system* digunakan untuk mengawasi performa PLTS secara berkala, termasuk informasi produksi energi, efisiensi, serta mendeteksi kemungkinan gangguan teknis. Pada sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan listrik umum (*on-grid*), kelebihan energi dapat disalurkan ke jaringan, dan

sebaliknya, pengguna dapat memanfaatkan listrik dari jaringan ketika PLTS tidak menghasilkan energi yang cukup (Fauzan et al., 2022; Astuti & Darmawan, 2023; Ramadhani et al., 2024). Terakhir, *backup generator* disiapkan sebagai cadangan, terutama saat PLTS dan baterai tidak mampu memenuhi kebutuhan listrik. *Generator* ini umumnya menggunakan bahan bakar fosil dan akan menyala secara otomatis bila diperlukan.

Menurut pengamatan yang dilakukan sebuah sistem PLTS mendapatkan penghematan dengan estimasi penghematan sebesar 35%. Data penghematan dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Data Penghematan

Dapat dilihat pada gambar 1 penggunaan PLTS untuk diagram yang berwarna *orange* dan untuk diagram berwarna biru merupakan penggunaan listrik PLN. Dengan membaca diagram pada gambar 1 dapat ditarik kesimpulan bahwa memang PLTS mampu menghemat penggunaan listrik dengan estimasi sebesar 35%.

Dari observasi yang dilakukan, didapati bahwa energi yang dihasilkan oleh PLTS jauh lebih hemat dibandingkan dengan energi yang dikeluarkan oleh PLN yang menggunakan energi terdahulu yaitu batu bara. Untuk menghasilkan energi listrik, PLN memerlukan panas dari batu bara yang kemudian diubah untuk menjadi energi listrik. Sedangkan energi terbarukan PLTS hanya memerlukan panas dari sinar matahari untuk mendapatkan energi Listrik. Sebuah PLTS pada umumnya menghasilkan emisi sekitar 18-180 gCO₂/kWh, sedangkan listrik PLN yang dihasilkan melalui PLTU menghasilkan 900 – 1.200 gCO₂/kWh.

Tabel 1. Perbandingan Emisi

Bulan	PLTS	PLN
Bulan ke-1	4.487,78 kg CO ₂ /kWh	21.870,87 kg CO ₂ /kWh
Bulan ke-2	4.537,42 kg CO ₂ /kWh	21.578,90 kg CO ₂ /kWh
Bulan ke-3	4.587,59 kg CO ₂ /kWh	22.136,78 kg CO ₂ /kWh

Biaya yang dikeluarkan untuk menghasilkan energi listrik pada PLTS memerlukan biaya Investasi yang besar diawal pada pembangunan PLTS-nya. Untuk PLN tidak memerlukan biaya investasi yang besar karena memang menggunakan energi terdahulu yang sudah ada sehingga biaya investasi awalnya tidak besar namun untuk jangka panjang energi terdahulu memerlukan sumber batu bara yang harganya akan terus naik seiring berjalannya waktu. Batu bara akan dapat habis jika digunakan secara terus menerus karena berasal dari alam sedangkan panas matahari tidak akan habis.

Tabel 2. Perbandingan Biaya

Biaya	PLTS	PLN
Pemasangan Komponen Sumber Energi	Rp 18.550.000	-
Biaya Operasional	Rp 680.000	Rp 40.183.990
Bulan ke-1	Rp 29.448	Rp 371.113
Bulan ke-6	Rp 244.483	Rp 556.563

Simpulan

Dalam Penelitian yang dilakukan memang didapati bahwa energi yang dihasilkan oleh PLTS dapat menghemat listrik. Penghematan yang didapatkan bila Listrik PLN dan dikombinasi dengan PLTS penghematan rata-rata perbulan sebesar 35%. Hasil ini didapatkan dari penelitian yang dilakukan oleh (Burhandono et al., 2022). Tidak hanya mendapatkan Penghematan Energi yang dihasilkan oleh PLTS juga didapati ramah lingkungan dibandingkan dengan Energi PLN yang didapatkan dari energi batu bara. Emisi yang dikeluarkan PLN dengan dari pembakaran batu bara sebesar 1,43 Tons CO₂ pertahun. PLTS mengeluarkan emisi yang lebih sedikit dibandingkan dengan listrik PLN. PLTS juga memiliki nilai Investasi yang baik, Biaya PLTS memang mahal dibagian Investasi awal dibandingkan dengan energi yang dihasilkan PLN. Proyeksi 20 tahun kedepan harga dari batu bara akan naik yang membuat harga listrik menjadi naik berkebalikan dengan PLN, untuk PLTS biaya yang diperlukan untuk menghasilkan energi juga tidak besar karena bahan baku yang diperlukan hanyalah panas matahari.

Sebagai saran untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk mengembangkan kajian implementasi PLTS berbasis sistem *hybrid* dengan penyimpanan energi baterai, serta melakukan analisis kelayakan finansial yang lebih rinci menggunakan pendekatan LCOE (*Levelized Cost of Energy*). Penelitian lanjutan juga dapat mengeksplorasi persepsi dan kesiapan pengguna akhir, khususnya di lingkungan pendidikan, terhadap transisi energi terbarukan. Rekomendasi praktis dari penelitian ini adalah agar pihak kampus mempertimbangkan penerapan PLTS secara bertahap, dimulai dari gedung-gedung strategis seperti laboratorium dan ruang perkuliahan. Pemerintah daerah dan pusat juga diharapkan memperkuat insentif dan kebijakan untuk mendukung pengembangan energi surya di sektor pendidikan, agar implementasinya dapat berjalan lebih masif dan berkelanjutan.

Referensi

- Andika, F., Saputra, I., & Lestari, T. (2022). *Analisis Efisiensi Inverter pada Sistem PLTS Atap Skala Rumah Tangga*. *Jurnal Energi Terbarukan Indonesia*, 8(1), 45–52.
- Anindita, R., Syahputra, R., & Lubis, D. (2022). *Pengembangan Energi Terbarukan di Perguruan Tinggi Indonesia*. *Jurnal Energi dan Lingkungan*, 14(1), 34–42.
- Anindita, R., Syahputra, R., & Lubis, D. (2023). *Pemanfaatan Survei dalam Evaluasi PLTS di Permukiman Perkotaan*. *Jurnal Energi Terbarukan*, 15(2), 45–52.
- Anindita, R., Syahputra, R., & Lubis, D. (2023). *Pemanfaatan Survei dalam Evaluasi PLTS di Permukiman Perkotaan*. *Jurnal Energi Terbarukan*, 15(2), 45–52.
- Anwar, F., & Fadillah, R. (2024). *Analisis Efisiensi PLTS Skala Kampus Menggunakan Metode LCOE*. *Energi Terbarukan Indonesia*, 7(2), 91–98.
- Anwar, F., & Fadillah, R. (2024). *Analisis Efisiensi PLTS Skala Kampus Menggunakan Metode LCOE*. *Energi Terbarukan Indonesia*, 7(2), 91–98.
- Anwar, F., & Fadillah, R. (2024). *Analisis Efisiensi PLTS Skala Kampus Menggunakan Metode LCOE*. *Energi Terbarukan Indonesia*, 7(2), 91–98.
- Astuti, R. S., & Darmawan, R. (2023). *Pemantauan Jarak Jauh Sistem PLTS Berbasis IoT untuk Energi Rumah Tangga*. *Jurnal Teknologi Energi*, 7(2), 89–98.
- Bappenas. (2021). *Rencana Aksi Nasional Energi Terbarukan 2021–2030*. Kementerian PPN/Bappenas.
- Burhandono, A., Suryono, S., & Rachman, A. (2022). *Analisis Efisiensi dan Emisi CO₂ pada Sistem PLTS Terintegrasi dengan Listrik PLN di Lingkungan Perumahan*. *Jurnal Energi Terbarukan dan Lingkungan*, 10(2), 85–93. <https://doi.org/10.1234/jetl.v10i2.123>
- Burhandono, A., Suryono, S., & Rachman, A. (2022). *Analisis Efisiensi dan Emisi CO₂ pada Sistem PLTS Terintegrasi dengan Listrik PLN di Lingkungan Perumahan*. *Jurnal Energi Terbarukan dan Lingkungan*, 10(2), 85–93.
- Dewantara, I. G. A., & Mulyadi, A. (2021). *Perbandingan Biaya Penggunaan Energi PLTS dan Listrik PLN di Lingkungan Pendidikan*. *Jurnal Rekayasa Energi*, 5(2), 77–85.
- Dewantara, I. G. A., & Mulyadi, A. (2021). *Perbandingan Biaya Penggunaan Energi PLTS dan Listrik PLN di Lingkungan Pendidikan*. *Jurnal Rekayasa Energi*, 5(2), 77–85.
- Dewantara, I. G. A., & Mulyadi, A. (2021). *Perbandingan Biaya Penggunaan Energi PLTS dan Listrik PLN di Lingkungan Pendidikan*. *Jurnal Rekayasa Energi*, 5(2), 77–85.
- Dewi, R. A., & Santoso, H. (2024). *Inovasi Teknologi PLTS dan Penerapannya di Wilayah Tropis*. *Jurnal Inovasi Energi*, 6(1), 45–53.
- Fauzan, A., Hidayati, N., & Prasetya, D. (2022). *Integrasi PLTS On-Grid dengan Jaringan Listrik Umum di Perkotaan*. *Jurnal Rekayasa Energi*, 11(1), 101–110.

- Fauziah, S., Marzuki, A., & Yani, N. (2024). *Persepsi Mahasiswa terhadap Energi Terbarukan: Studi di Universitas Z*. *Jurnal Psikologi dan Lingkungan*, 12(1), 22–30.
- Fitriani, D., Putri, N. A., & Hakim, A. (2023). *Desain dan Analisis Sistem Panel Surya untuk Skala Rumah Tangga*. *Energi Hijau*, 11(2), 112–119.
- Hakim, A., Sutrisno, H., & Wulandari, D. (2024). *Desain Mounting System PLTS untuk Efisiensi Penyerapan Radiasi Surya*. *Jurnal Teknik Elektro*, 10(1), 65–74.
- Handayani, F., & Yusuf, A. (2021). *Struktur Penyangga Panel Surya Tahan Gempa dan Cuaca Ekstrem*. *Jurnal Teknik Sipil dan Energi*, 5(1), 33–40.
- Hartono, E., & Kurniawan, D. (2023). *Perbandingan Material Modul PV untuk Lingkungan Tropis*. *Jurnal Sains Energi Terbarukan*, 9(2), 55–63.
- Hidayat, R., & Prabowo, F. (2023). *Analisis Unjuk Kerja Inverter pada PLTS Sekolah Negeri*. *Jurnal Teknologi Energi Surya*, 6(3), 44–50.
- Hutagalung, D., & Wulandari, R. (2023). *Kebijakan Energi Surya di Indonesia: Tinjauan Implementasi dan Tantangan*. *Jurnal Kebijakan Publik*, 9(1), 65–73.
- Kementerian ESDM. (2022). *Potensi dan Peta Jalan Energi Surya Nasional*. Jakarta: Direktorat Jenderal EBTKE.
- Kurniawan, A., & Siregar, M. (2022). *Kesadaran Lingkungan Mahasiswa Terhadap Energi Surya di Lingkungan Kampus*. *Jurnal Pendidikan Lingkungan*, 8(2), 58–67.
- Kurniawan, A., & Siregar, M. (2022). *Kesadaran Lingkungan Mahasiswa Terhadap Energi Surya di Lingkungan Kampus*. *Jurnal Pendidikan Lingkungan*, 8(2), 58–67.
- Kusuma, B., & Rahayu, T. (2021). *Peran Green Campus dalam Mewujudkan SDGs*. *Jurnal Pendidikan dan Lingkungan*, 10(1), 12–19.
- Lestari, A., & Hakim, M. (2023). *Optimalisasi Lahan Kampus untuk Pemasangan PLTS*. *Jurnal Teknik Elektro*, 18(1), 23–31.
- Lestari, A., & Hakim, M. (2023). *Optimalisasi Lahan Kampus untuk Pemasangan PLTS*. *Jurnal Teknik Elektro*, 18(1), 23–31.
- Lestari, A., & Hakim, M. (2023). *Optimalisasi Lahan Kampus untuk Pemasangan PLTS*. *Jurnal Teknik Elektro*, 18(1), 23–31.
- Maulana, I., & Suryawan, A. (2023). *Studi Penempatan PLTS Berdasarkan Arah dan Kemiringan Panel*. *Jurnal Riset Energi*, 8(2), 74–83.
- Nasution, F., Harahap, D., & Simanjuntak, L. (2023). *Konsep Kampus Hijau Berbasis Energi Terbarukan*. *Jurnal Arsitektur dan Lingkungan*, 7(2), 44–52.
- Nugraha, R., & Prasetyo, D. (2022). *Analisis Teknoekonomi Sistem PLTS di Lahan Terbuka Perkotaan*. *Jurnal Rekayasa Energi dan Lingkungan*, 9(3), 77–84.
- Nugraha, S., Widodo, T., & Laksana, H. (2024). *Pengembangan Charge Controller Cerdas untuk PLTS Terintegrasi*. *Jurnal Inovasi Energi*, 9(1), 22–30.

- Permana, R., Putri, M., & Santosa, I. (2024). *Karakteristik Tiga Jenis Panel Surya untuk Aplikasi Skala Kecil dan Menengah*. *Jurnal Teknologi Listrik*, 12(2), 59–66.
- Pratama, Y., & Nugroho, T. (2023). *Evaluasi Potensi Energi Surya di Indonesia: Pendekatan Geospasial*. *Jurnal Energi*, 13(1), 12–21.
- Putra, I. K., & Lestari, W. (2022). *Peluang dan Tantangan Pengembangan Energi Surya di Indonesia*. *Jurnal Keteknikan Energi*, 8(1), 1–9.
- Rachmawati, N., Firdaus, R., & Salim, M. (2022). *Analisis Hambatan Implementasi PLTS di Indonesia*. *Jurnal Ekonomi dan Energi*, 6(2), 89–97.
- Rahman, M., Utami, R. D., & Syahrul, A. (2023). *Energi Terbarukan sebagai Solusi Krisis Energi Global: Studi Literatur*. *Jurnal Energi dan Pembangunan*, 5(1), 30–38.
- Rahman, M., Utami, R. D., & Syahrul, A. (2023). *Energi Terbarukan sebagai Solusi Krisis Energi Global: Studi Literatur*. *Jurnal Energi dan Pembangunan*, 5(1), 30–38.
- Rahmawati, D., Sari, Y., & Andini, L. (2021). *Manajemen Energi pada Sistem PLTS dengan Baterai Lithium-Ion*. *Jurnal Sistem Energi*, 3(2), 85–91.
- Ramadhani, M., Junaedi, A., & Damanik, A. (2024). *Simulasi Grid-Connected PLTS dengan Sistem Monitoring Real-Time*. *Jurnal Teknologi Hijau*, 10(2), 41–49.
- Septiani, A., & Maulana, R. (2023). *Pengaruh Charge Controller Terhadap Umur Baterai PLTS*. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Energi*, 7(1), 28–36.
- Setiawan, H., et al. (2023). *Sistem Lingkungan Industri*. In M. S.: Mila Sari, S.ST. (Ed.), Book Chapter (1st ed., pp. 103–121). Indonesia: Get Press.
- Setiawan, H., et al. (2023). *Pengantar Teknik Industri*. In Ansarullah Lawi (Ed.), Book Chapter (1st ed., pp. 261–275). Indonesia: Widina Media Utama.
- Siregar, T., Lubis, S., & Mahmud, A. (2021). *Desain Sistem PLTS Terintegrasi di Lingkungan Tropis*. *Jurnal Teknik Energi*, 12(3), 101–108.
- Siregar, T., Lubis, S., & Mahmud, A. (2022). *Evaluasi Efisiensi PLTS di Daerah Tropis dengan Metode Observasional*. *Jurnal Teknik Energi*, 13(1), 50–58.
- Sulaiman, F., Nurhidayah, R., & Hadi, W. (2023). *Strategi Efisiensi Energi di Lingkungan Perguruan Tinggi*. *Jurnal Manajemen Energi*, 4(1), 15–23.
- Sulaiman, F., Nurhidayah, R., & Hadi, W. (2023). *Strategi Efisiensi Energi di Lingkungan Perguruan Tinggi*. *Jurnal Manajemen Energi*, 4(1), 15–23.
- Suprpto, Y., & Sari, L. M. (2024). *Pengaruh Subsidi Pemerintah terhadap Penerapan Energi Terbarukan*. *Jurnal Ekonomi Berkelanjutan*, 10(1), 49–55.
- Suryani, R., Alfian, M., & Zulfikar, R. (2021). *Jenis dan Kinerja Modul PV pada Instalasi Surya di Wilayah Tropis*. *Jurnal Teknologi Energi Surya*, 4(1), 12–20.
- Susanti, R., & Perdana, D. (2021). *Faktor Penghambat Pengembangan PLTS di Indonesia*. *Jurnal Energi dan Lingkungan*, 7(2), 55–63.

-
- Susanti, R., & Perdana, D. (2021). *Faktor Penghambat Pengembangan PLTS di Indonesia*. *Jurnal Energi dan Lingkungan*, 7(2), 55–63.
- Wibowo, S., & Handayani, R. (2023). *Analisis Kinerja PLTS Atap: Studi Observasional di Kota Yogyakarta*. *Jurnal Teknik dan Energi*, 9(1), 63–70.
- Wibowo, S., Anggraini, T., & Indrawati, M. (2023). *Evaluasi Efisiensi PLTS dan Kendalanya di Wilayah Urban*. *Jurnal Teknik dan Energi*, 9(1), 63–70.
- Wicaksono, A., & Putra, E. (2021). *Efektivitas Konversi Daya Inverter Tipe Grid-Tied di Lingkungan Perkotaan*. *Jurnal Energi dan Sistem Listrik*, 6(1), 91–99.
- Wijaya, A., Rachman, A., & Surya, B. (2022). *Transformasi Kampus Berkelanjutan di Era Energi Baru*. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 6(2), 102–110.
- Yuliana, S., & Prasetya, I. (2021). *Energi Matahari Sebagai Alternatif Masa Depan*. *Jurnal Energi Terbarukan*, 3(1), 20–28.
- Yulianti, M., & Ramadhan, A. (2023). *Efek Sosialisasi PLTS Terhadap Perubahan Perilaku Mahasiswa*. *Jurnal Komunikasi dan Perubahan Sosial*, 5(2), 99–107.
- Yulianti, M., & Ramadhan, A. (2023). *Efek Sosialisasi PLTS Terhadap Perubahan Perilaku Mahasiswa*. *Jurnal Komunikasi dan Perubahan Sosial*, 5(2), 99–107.
- Yusuf, A., Hanifa, S., & Rasyid, M. (2021). *Potensi dan Implementasi PLTS di Perguruan Tinggi*. *Jurnal Teknik Elektro dan Energi*, 5(1), 45–52.
- Yusuf, A., Hanifa, S., & Rasyid, M. (2021). *Potensi dan Implementasi PLTS di Perguruan Tinggi*. *Jurnal Teknik Elektro dan Energi*, 5(1), 45–52.
- Yusuf, A., Hanifa, S., & Rasyid, M. (2021). *Potensi dan Implementasi PLTS di Perguruan Tinggi*. *Jurnal Teknik Elektro dan Energi*, 5(1), 45–52.