

Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Kebutuhan Rumah Kebun di Kabupaten Selayar

Ayu Fitriah Sapruddin¹, Nur Rahmah H. Anwar^{2*}, Firman³, Yiyin Klistafani⁴,
Muhammad Yusuf Yunus⁵, Marhatang⁶, A.M. Shiddiq Yunus⁷, Anastasya⁸, Wulandari⁹

^{1,2,3,4,5,6,7,8,9} Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia

*E-mail korespondensi : nurrahmah@poliupg.ac.id

Abstract: Solar Power Plants (PLTS) are renewable-based electricity systems suitable for areas not yet reached by the national grid. This study aims to design, build, and evaluate a small-scale solar power system for lighting a farm house in Selayar Regency. The system consists of a 100 Wp solar panel, a 10A PWM charge controller, LiFePO₄ batteries, and 30–40 W LED loads. The research method includes load estimation, system sizing, design, assembly, and performance testing. The load analysis showed a total daily energy demand of approximately 1.26 kWh. The solar panel generated voltages between 13.2–13.6 V, solar radiation intensity between 560–1235 W/m², and an average efficiency of 11.71%. An economic assessment showed a total investment cost of IDR 5.5 million with an estimated payback period of about eight years, indicating that the system is technically and economically feasible. Furthermore, the study suggests the potential integration of hybrid systems (e.g., PV-genset or additional energy storage) and community-based training to ensure long-term sustainability. This PLTS system proves effective as a clean and reliable energy solution for remote agricultural areas.

Keywords: solar energy; off-grid PLTS; LiFePO₄ battery; economic analysis; selayar

Abstrak: Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan sistem penyedia energi listrik berbasis energi terbarukan yang sesuai untuk daerah yang belum terjangkau jaringan PLN. Penelitian ini bertujuan untuk merancang, membangun, dan menguji sistem PLTS skala kecil sebagai sumber listrik penerangan rumah kebun di Kabupaten Kepulauan Selayar. Sistem terdiri dari panel surya 100 Wp, solar charge controller tipe PWM 10A, baterai LiFePO₄, serta beban lampu LED 30–40 W. Metode penelitian meliputi analisis kebutuhan beban listrik, penentuan ukuran sistem berdasarkan efisiensi komponen, perancangan, perakitan, serta pengujian performa di lapangan. Hasil analisis menunjukkan kebutuhan energi harian sebesar ±1,26 kWh dengan efisiensi sistem rata-rata 11,71% dan tegangan keluaran panel 13,2–13,6 V pada intensitas radiasi 560–1235 W/m². Analisis ekonomi menunjukkan total biaya investasi sebesar Rp 5,5 juta dengan waktu pengembalian modal sekitar 8 tahun, sehingga sistem dinilai layak secara teknis dan ekonomis. Selain itu, penelitian ini merekomendasikan pengembangan sistem hybrid (misalnya kombinasi PLTS-genset atau penyimpanan energi tambahan) serta pelatihan teknis bagi masyarakat untuk mendukung keberlanjutan proyek energi terbarukan di wilayah terpencil.

Kata kunci : energi surya; PLTS off-grid; baterai LiFePO₄; analisis ekonomi; Selayar

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan utama bagi masyarakat modern, baik di perkotaan maupun di wilayah pedesaan. Namun demikian, ketersediaan listrik di Indonesia belum merata, terutama di daerah terpencil dan kawasan perkebunan yang jauh dari jaringan listrik PLN. Ketimpangan akses energi ini berdampak langsung terhadap produktivitas masyarakat dan kualitas hidup, terutama bagi petani yang membutuhkan penerangan pada malam hari untuk menjaga dan mengelola kebun [1]. Oleh karena itu, diperlukan alternatif sumber energi yang bersifat mandiri, berkelanjutan, dan ramah lingkungan.

Indonesia sebagai negara tropis memiliki potensi energi surya yang sangat melimpah dengan rata-rata intensitas radiasi matahari harian mencapai 4,5–5,5 kWh/m² per hari [2]. Pemanfaatan potensi ini melalui sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menjadi salah satu strategi utama dalam mendukung transisi energi nasional dari energi fosil menuju energi terbarukan. Beberapa studi telah menunjukkan bahwa penerapan PLTS skala kecil di wilayah pedesaan dapat secara signifikan menurunkan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil serta meningkatkan kemandirian energi masyarakat [3].

Kabupaten Kepulauan Selayar merupakan salah satu daerah dengan potensi energi surya yang tinggi dan tingkat elektrifikasi yang belum optimal. Kondisi geografisnya yang terdiri atas pulau-pulau kecil menyebabkan

banyak rumah kebun belum terjangkau jaringan listrik PLN. Hal ini menjadi kendala bagi petani yang membutuhkan penerangan di malam hari. Penerapan sistem PLTS off-grid menjadi solusi yang relevan untuk memenuhi kebutuhan energi di lokasi tersebut, karena sistem ini dapat beroperasi secara mandiri dengan memanfaatkan radiasi matahari sebagai sumber energi utama [4].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji sistem PLTS skala kecil yang mampu memenuhi kebutuhan energi penerangan rumah kebun di Kabupaten Kepulauan Selayar. Rancangan sistem difokuskan pada optimasi kapasitas panel surya dan baterai agar efisien, tahan lama, serta mudah diaplikasikan oleh masyarakat. Diharapkan hasil penelitian ini dapat menjadi referensi dalam pengembangan sistem PLTS serupa di daerah 3T (tertinggal, terdepan, dan terluar) di Indonesia [5].

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Desa Kalepandang, Kecamatan Bontoharu, Kabupaten Kepulauan Selayar. Jenis pendekatan yang dilakukan yaitu metode rancang bangun eksperimental. Tahapan penelitian meliputi perancangan sistem PLTS, simulasi perhitungan kapasitas komponen, perakitan, serta pengujian performa sistem di lapangan. Secara umum, langkah-langkah penelitian meliputi:

A. Studi Literatur dan Survei Lokasi

Pada bagian ini, penulis menentukan kebutuhan energi harian di rumah kebun dan potensi intensitas radiasi matahari di lokasi penelitian.



Gambar 1. Peta lokasi rumah kebun berdasarkan Google Maps

Perhitungan kebutuhan energi harian dilakukan dengan menginventarisasi seluruh peralatan listrik di rumah kebun, seperti lampu LED, kipas DC, dan perangkat kecil lainnya. Setiap peralatan dicatat daya (Watt) dan lama waktu operasi (jam/hari). Energi total harian (Wh/hari) diperoleh dengan menjumlahkan seluruh hasil perkalian daya dan waktu operasi masing-masing peralatan sebagaimana persamaan:

$$E_{\text{harian}} = \sum(P_i \times t_i)$$

Berdasarkan hasil survei, total beban harian diperoleh sebesar ± 1.260 Wh/hari, yang menjadi dasar perancangan kapasitas sistem PLTS. Penentuan kapasitas panel dan baterai mempertimbangkan efisiensi sistem, yaitu efisiensi inverter ($\eta_{\text{inv}} = 0,9$), efisiensi baterai ($\eta_{\text{bat}} = 0,95$), serta kehilangan sistem ($\eta_{\text{sys}} = 0,85$). Kebutuhan energi dari panel surya dihitung sebagai:

$$E_{PV} = \frac{E_{\text{harian}}}{\eta_{\text{inv}} \times \eta_{\text{bat}} \times \eta_{\text{sys}}}$$

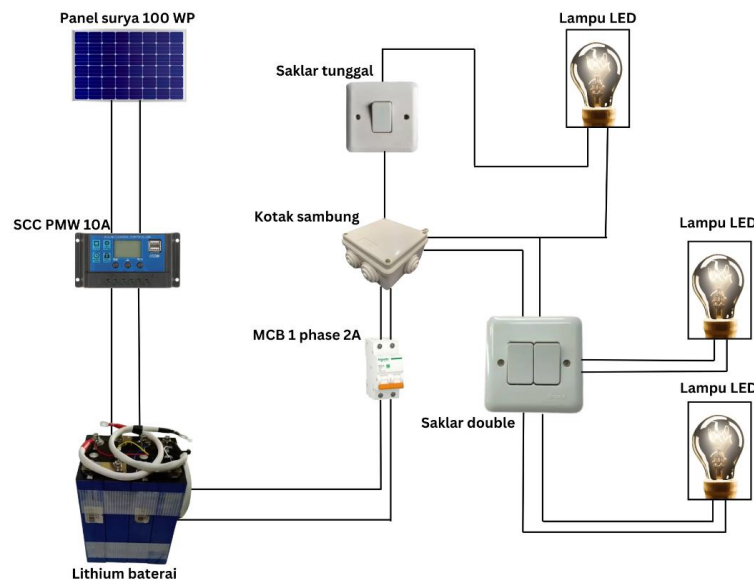
sehingga kapasitas panel surya minimum yang diperlukan adalah sekitar 100 Wp dengan asumsi radiasi harian rata-rata 5 kWh/m²/hari di wilayah Selayar.

B. Perancangan Sistem

Penulis mulai menentukan kapasitas panel surya, baterai, *solar charge controller* (SCC), dan inverter. Rancangan sistem dibuat dengan konfigurasi DC 12V menggunakan panel 100 Wp, SCC PWM 10 A, dan baterai LiFePO4 3,2V/100Ah (4 unit).

C. Perakitan dan Instalasi Sistem

Pada tahap ini, penulis merangkai komponen dalam panel box besi untuk melindungi kondisi komponen dari faktor eksternal.



Gambar 2. Skema Kelistrikan Sistem

D. Pengujian dan Pengambilan Data

Pada tahap ini, penulis melakukan pengambilan data pada siang dan sore hari untuk mengukur intensitas radiasi matahari (W/m²), tegangan panel (V), arus keluaran (A), serta daya (W). Data diambil setiap jam selama 10 hari berturut-turut.

E. Analisis Efisiensi dan Kinerja

Efisiensi sistem dihitung menggunakan persamaan:

$$\eta = (P_{\text{out}} / P_{\text{in}}) \times 100\%$$

dimana,

$$P_{\text{in}} = G \times A$$

$$P_{\text{out}} = V \times I$$

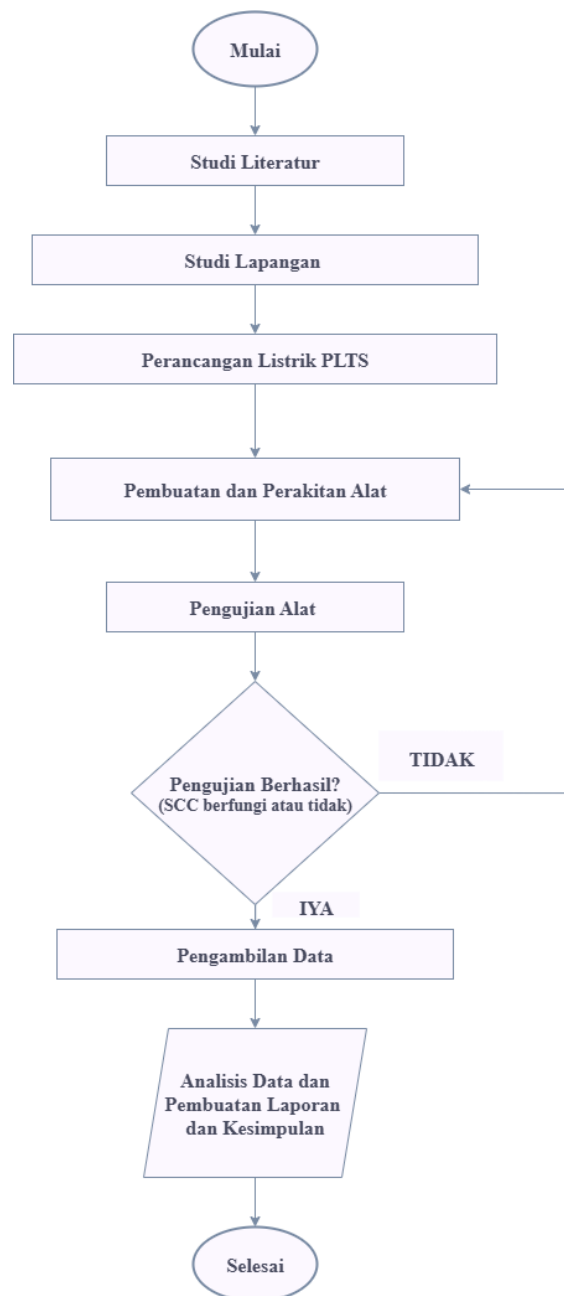
Keterangan:

G = Intensitas Radiasi (W/m²)

A = Luas Permukaan panel surya (m²)

P_{in} = Daya Masukan (W)

P_{out} = Daya Keluaran (W)



Gambar 3. Diagram alir penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengukuran Lapangan

Pengujian sistem dilakukan selama 10 hari pada kondisi cuaca cerah dan berawan di Desa Kalepandang, Kabupaten Kepulauan Selayar. Hasil pengukuran menunjukkan variasi tegangan, arus, dan daya keluaran yang bergantung pada intensitas radiasi matahari setiap jam. Nilai tertinggi intensitas radiasi dicapai pada pukul 12.00 WITA sebesar 1235 W/m², sedangkan nilai terendah tercatat pada pukul 08.00 WITA sebesar 560 W/m². Tabel 1 menunjukkan data rata-rataa pengukuran intensitas matahari dan daya keluaran dari panel surya selama masa pengujian.

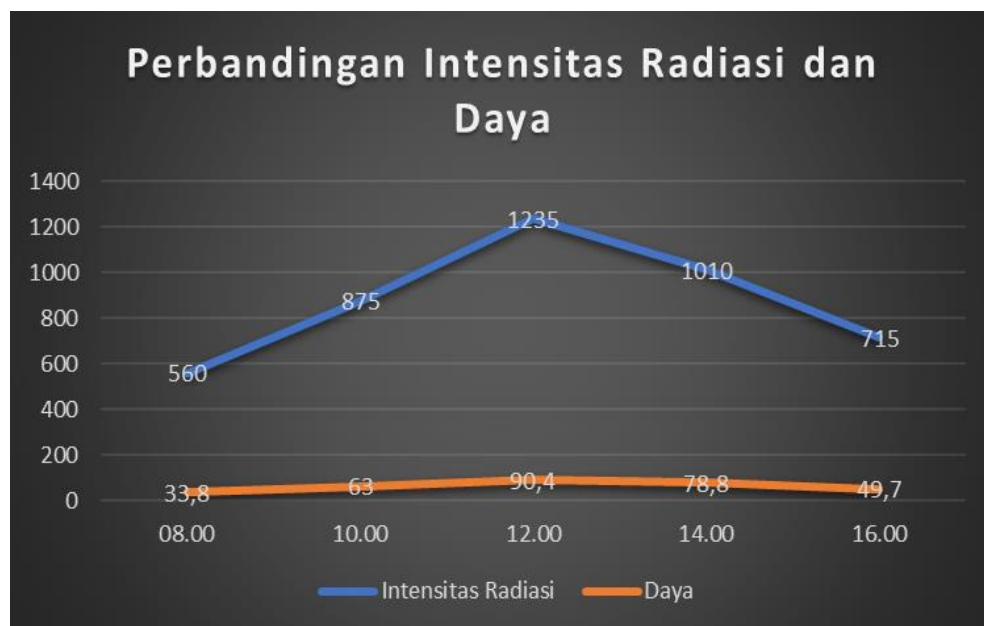
Tabel 1. Hasil Pengukuran PLTS di Rumah Kebun

Waktu (WITA)	Intensitas Radiasi (W/m ²)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
08.00	560	13,28	2,55	33,8
10.00	875	13,45	4,68	63,0
12.00	1235	13,60	6,6	90,4
14.00	1010	13,48	5,85	78,8
16.00	715	13,35	3,72	49,7

Dari hasil tersebut, diperoleh efisiensi sistem rata-rata sebesar 11,71%, mendekati kisaran efisiensi tipikal panel surya monocrystalline pada kondisi tropis yang berkisar antara 12–14% [2]. Performa sistem cenderung menurun pada pagi dan sore hari akibat rendahnya sudut datang cahaya dan meningkatnya suhu permukaan panel. Fenomena ini sesuai dengan karakteristik *temperature coefficient* panel surya, di mana efisiensi menurun sekitar 0,4–0,5% setiap kenaikan suhu 1°C [1].

B. Analisis Performa Sistem

Hasil pengujian menunjukkan adanya hubungan linear antara intensitas radiasi matahari terhadap daya keluaran panel, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4. Hal ini menandakan bahwa sistem bekerja stabil mengikuti variasi radiasi harian.



Gambar 4. Hubungan antara Intesitas Radiasi Matahari dan Daya Keluaran Panel

Analisis menunjukkan bahwa pada intensitas tinggi (pukul 12.00 WITA), sistem mencapai titik daya maksimum (P_{max}) sebesar 90,4 W — mendekati spesifikasi nominal panel 100 Wp. Pada kondisi langit berawan ringan, penurunan daya hanya berkisar 15–20%, menandakan respons sistem cukup baik terhadap fluktuasi intensitas radiasi. *Solar charge controller* (SCC) tipe PWM berperan penting dalam menjaga kestabilan pengisian baterai dengan memutus arus saat tegangan mencapai ambang batas 14,4 V, sehingga umur baterai dapat dipertahankan lebih lama [3]. Kinerja baterai LiFePO₄ juga menunjukkan stabilitas tinggi. Setelah proses pengisian penuh selama 5–6 jam, baterai mampu menyuplai beban penerangan sebesar 100 W selama ±12 jam penuh di malam hari. Dibandingkan baterai timbal-asam (*lead-acid*), LiFePO₄ memiliki keunggulan pada siklus pengisian (>2000 kali), efisiensi pengisian >95%, serta keamanan termal yang lebih baik [4]. Hal ini

menjadikan sistem lebih andal untuk aplikasi jangka panjang di daerah terpencil.

C. Analisis Ekonomi Sederhana

Kelayakan penerapan sistem PLTS rumah kebun dapat diketahui dengan melakukan analisis ekonomi sederhana dengan membandingkan biaya investasi awal terhadap penghematan energi listrik yang dihasilkan. Rincian biaya komponen utama ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Biaya Inverstasi Sistem PLTS 100 Wp

Komponen	Jumlah	Harga Satuan (Rp)	Total (Rp)
Panel surya 100 Wp	1 unit	1.200.000	1.200.000
Solar Charge Controller 10A	1 unit	150.000	150.000
Baterai LiFePO4 3,2V/100Ah	4 unit	800.000	3.200.000
Inverter DC to AC 300 W	1 unit	500.000	500.000
Kabel dan Box Panel		450.000	450.000
Total			5.500.000

Berdasarkan data pada Tabel 2, total biaya investasi sistem mencapai Rp 5.500.000. Untuk menilai kelayakan sistem, dilakukan analisis biaya energi menggunakan *Levelized Cost of Energy (LCOE)* dengan asumsi umur sistem 10 tahun dan tingkat diskonto 5%. Rumus LCOE dinyatakan sebagai:

$$LCOE = \frac{C_0 + \sum_{t=1}^n \frac{C_{OM,t}}{1+r}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

Dengan biaya operasi dan pemeliharaan sekitar Rp 100.000 per tahun dan produksi energi 1,26 kWh/hari (≈ 460 kWh/tahun), diperoleh nilai LCOE sekitar Rp 1.370/kWh. Nilai ini setara dengan tarif listrik rumah tangga nonsubsidi PLN (Rp 1.500/kWh), menunjukkan bahwa sistem layak secara ekonomi, terutama untuk daerah yang belum terjangkau jaringan PLN.

Hasil perhitungan menunjukkan masa pengembalian investasi (*payback period*) sekitar 8 tahun [9], masih lebih pendek dari umur sistem, sehingga proyek ini dapat dikategorikan feasible dan berkelanjutan untuk aplikasi rumah kebun di wilayah terpencil[11].

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil rancang bangun PLTS yang telah dilakukan, penulis dapat menarik kesimpulan diantara:

1. Sistem PLTS 100 Wp berhasil dirancang, dirakit, dan diuji untuk kebutuhan penerangan rumah kebun di Kepulauan Selayar.
2. Sistem menunjukkan efisiensi rata-rata 11,71% dengan daya maksimum 90,4 W pada radiasi 1235 W/m².
3. PLTS mampu menyediakan energi sebesar 1.260 Wh per hari dan beroperasi stabil selama 12 jam malam hari.
4. Dari aspek ekonomi, sistem dengan biaya investasi Rp 5,5 juta memiliki masa pengembalian sekitar 8 tahun, sehingga layak diterapkan sebagai solusi energi berkelanjutan di wilayah 3T.
5. Ke depan, sistem dapat dikembangkan menjadi sistem hybrid dengan mengintegrasikan sumber cadangan seperti genset atau penyimpanan energi tambahan untuk meningkatkan keandalan suplai listrik. Selain itu, perlu dilakukan pelatihan teknis bagi masyarakat penerima manfaat, terutama dalam hal perawatan panel, pengecekan baterai, dan pengelolaan beban, agar keberlanjutan proyek PLTS ini dapat terjaga dalam jangka panjang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Ujung Pandang (PNUP) atas dukungan pendanaan yang telah diberikan dalam pelaksanaan penelitian ini melalui program riset terapan internal. Tak lupa, penulis menghargai dukungan dan partisipasi dari mitra masyarakat di Desa Kalepandang, Kabupaten Kepulauan Selayar, yang telah membantu dalam penyediaan lokasi dan fasilitas lapangan selama kegiatan penelitian berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Gunoto and A. Sofyan, "Teknologi Energi Surya Terapan di Indonesia," *Jurnal Rekayasa Energi*, vol. 6, no. 2, pp. 97–104, 2020.
- [2] R. Siregar et al., "Potensi Radiasi Matahari di Indonesia untuk Penerapan Energi Terbarukan," *Jurnal Rekayasa Energi Nasional*, vol. 4, no. 2, pp. 170–176, 2023.
- [3] M. Idris, "Analisis Penyimpanan Energi pada Sistem PLTS Off-Grid," *Jurnal Teknik Energi*, vol. 12, no. 1, pp. 17–22, 2020.
- [4] M. Afif and D. Pratiwi, "Analisis Karakteristik Baterai Li-Ion dan Li-Po untuk Aplikasi Energi Surya," *Jurnal Energi dan Konversi*, vol. 8, no. 2, pp. 90–98, 2015.
- [5] A. Widyastuti et al., "Analisis Efisiensi Panel Surya pada Kondisi Tropis," *Jurnal Energi Surya Indonesia*, vol. 5, no. 3, pp. 258–263, 2024.
- [6] N. Fitriani and T. Rahmawati, "Optimasi Sudut Kemiringan Panel Surya Menggunakan Metode Eksperimen Lapangan di Indonesia," *Jurnal Teknologi Energi*, vol. 9, no. 1, pp. 33–42, 2021.
- [7] S. R. Nugroho and B. Lestari, "Analisis Perbandingan MPPT dan PWM pada Sistem PLTS Rumah Tangga," *Jurnal Rekayasa Energi Berkelanjutan*, vol. 5, no. 2, pp. 112–120, 2022.
- [8] Y. Kurniawan, H. D. Setiawan, and P. P. Sari, "Evaluasi Performa Baterai LiFePO₄ untuk Sistem Penyimpanan Energi Surya," *Jurnal Energi dan Sistem Daya*, vol. 4, no. 1, pp. 45–53, 2023.
- [9] T. Santoso and A. H. Rinaldi, "Studi Kelayakan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Daerah Pedesaan," *Jurnal Energi Terbarukan Indonesia*, vol. 11, no. 3, pp. 210–217, 2022.
- [10] I. M. Suparsa, "Analisis Performa Panel Surya dengan Variasi Arah dan Kemiringan di Wilayah Tropis," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 14, no. 2, pp. 98–106, 2021.
- [11] M. J. Siregar, "Evaluasi Efisiensi Sistem PLTS pada Kondisi Radiasi Fluktuatif," *Jurnal Inovasi Energi dan Listrik*, vol. 7, no. 1, pp. 65–72, 2020.
- [12] K. R. Hidayat, "Implementasi PLTS Off-Grid untuk Rumah Tangga di Pulau-Pulau Kecil Indonesia," *Jurnal Energi dan Rekayasa Lingkungan*, vol. 3, no. 2, pp. 132–141, 2023.