

RANCANG BANGUN DAN ANALISIS KINERJA PEMBANGKIT LISTRIK PORTABLE TENAGA SURYA- PELTIER UNTUK PENERANGAN UMKM

¹Nurriza Kholifatulloh Hasanah, ²Dieta Wahyu Asry Ningtias, ³Dani Usman,
⁴Muhammad Amin Murtadho

^{1,3,4}Politeknik Enjineri Indorama, ²Politeknik Negeri Semarang

e-mail: 1nurriza@pei.ac.id, 2dieta.wahyu@polines.ac.id 3dani.usman@pei.ac.id

Abstrak

Kebutuhan energi listrik pada sektor Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) masih menjadi tantangan terutama bagi pelaku usaha yang beroperasi di area terbuka tanpa akses listrik permanen. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan pembangkit listrik portable hybrid berbasis tenaga surya dan modul Peltier (PV-TEG) sebagai solusi energi alternatif yang ramah lingkungan. Metode yang digunakan adalah rancang bangun (design and development) yang meliputi tahapan studi literatur, perancangan sistem, pemilihan komponen, pembuatan alat, pengujian, dan analisis data. Sistem dirancang dengan dua panel surya 10 Wp yang dirangkai paralel dan sepuluh modul Peltier TEC1-12706 yang dirangkai seri. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan tegangan maksimum sebesar 21,26 V dan arus 6,61 A pada kondisi penyinaran optimal pukul 13.00 WIB. Kontribusi rata-rata energi dari panel surya sebesar 98,04 % terhadap total daya sistem, sedangkan modul Peltier berkontribusi 1,96 %. Alat berhasil diimplementasikan pada gerobak pedagang roti bakar UMKM, yang dapat beroperasi mandiri tanpa pasokan listrik PLN. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi PLTS dan Peltier dapat menjadi solusi portable, hemat energi, dan ramah lingkungan bagi pelaku usaha kecil di wilayah dengan keterbatasan akses listrik.

Kata kunci: PLTS portable, Peltier, hybrid PV-TEG, energi terbarukan, UMKM

Abstract

Electric power demand in the Micro, Small, and Medium Enterprises (UMKM) sector remains a challenge, particularly for street vendors operating in open areas without access to a permanent power source. This study aims to design and implement a portable hybrid power generation system based on solar energy and Peltier modules (PV-TEG) as an alternative and environmentally friendly energy solution. The research method used is design and development, which includes literature study, system design, component selection, assembly, testing, and data analysis. The system was designed using two 10 Wp solar panels connected in parallel, and 10 TEC1-12706 Peltier modules connected in series. The experimental results show that the system can produce a maximum voltage of 21.26 V and a current of 6.61 A under optimal solar irradiation at 1:00 PM. The solar panels contributed an average of 98.04% of the total system power, while the Peltier modules contributed 1.96%. The prototype was successfully implemented on an MSME street food cart, allowing independent operation without relying on the national grid (PLN). The results indicate that integrating photovoltaic and Peltier modules can provide a portable, energy-efficient, and eco-friendly solution for small businesses in areas with limited electricity access.

Keywords: portable solar power, Peltier, hybrid PV-TEG, renewable energy, UMKM

1. PENDAHULUAN

Energi listrik memiliki peran penting dalam mendukung aktivitas sosial, ekonomi dan industri. Namun ketergantungan terhadap energi berbasis bahan bakar fosil masih menjadi tantangan besar karena menghasilkan emisi karbon yang berdampak pada pemanasan global

dan krisis iklim. Untuk mengurangi dampak penggunaan bahan bakar fosil tersebut, Pemerintah Indonesia mulai mendorong penggunaan sumber energi yang lebih ramah lingkungan. Melalui Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), pemerintah menargetkan peningkatan energi baru terbarukan (EBT) mencapai 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050 sebagai bagian dari strategi transisi menuju sistem energi yang bersih dan berkelanjutan[1].

Kebijakan tersebut dapat didukung dengan energi terbarukan yang mulai dikembangkan yang salah satu energi terbarukan paling potensial di Indonesia adalah energi surya. Indonesia memiliki potensi radiasi matahari rata-rata sebesar 4,8 kWh/m² per hari[2], yang dapat dimanfaatkan melalui Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik menggunakan efek *photovoltaic* (PV). Sistem PLTS memiliki fleksibilitas penerapan yang tinggi, baik untuk skala besar maupun portable.

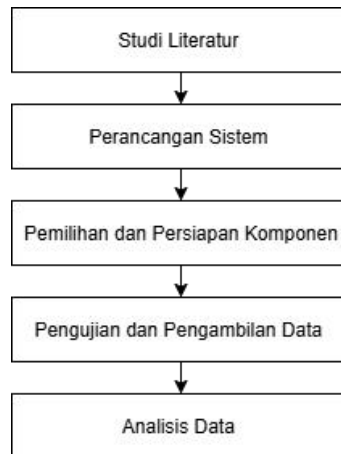
Sistem PLTS ini terus mengalami perkembangan baik dari segi teknologi konversi maupun rancangan aplikasinya. Inovasi ini melahirkan berbagai jenis sistem PLTS seperti *on-grid*, *off-grid*, *Stand-alone*, dan sistem portabel. Masing-masing sistem memiliki keunggulan dan batasan tertentu sesuai dengan karakteristik pengguna. Meskipun sistem *on-grid* efisien karena terhubung langsung dengan jaringan listrik, penerapannya terbatas pada wilayah dengan infrastruktur kelistrikan yang memadai[3]. Sistem *off grid* bekerja secara mandiri namun membutuhkan baterai berkapasitas besar dan biaya investasi yang relatif tinggi[4]. Adapun sistem stand-alone umumnya diterapkan pada beban tetap seperti pompa air atau penerangan stasioner sehingga kurang fleksibel untuk kebutuhan mobilisasi[5]. Keterbatasan tersebut mendorong munculnya inovasi PLTS portable yang dirancang ringkas, mudah dipindahkan, serta cocok untuk penyediaan energi berskala kecil seperti usaha mikro dan kegiatan luar ruangan [6].

Penerapan sistem PLTS portable untuk berbagai aplikasi, seperti penerangan kolam ikan [7], sistem energi darurat, dan pembangkit listrik skala kecil berbasis panel surya [8]. Sistem tersebut mengandalkan konversi energi fotovoltai konvensional yang menyimpan energi ke baterai dan mengubah menjadi arus bolak balik atau *Alternating Current* (AC) menggunakan inverter. Namun, pada proses konversi tersebut hanya sebagian kecil energi radiasi matahari yang diubah menjadi energi listrik, sebagian besar lainnya dilepaskan dalam bentuk energi panas (*waste heat*) pada permukaan panel[9], [10]. Hal ini menyebabkan kenaikan temperatur modul PV, yang menurunkan efisiensi konversi energi hingga 0,4-0,5% untuk setiap kenaikan suhu 1°C di atas suhu standar 25°C [11], [12].

Energi panas yang terbuang tersebut berpotensi dimanfaatkan kembali melalui konversi termoelektrik, sehingga dapat meningkatkan efisiensi total sistem. Beberapa penelitian mengintegrasikan *Photovoltaic Thermoelectric Generator* (PV-TEG) untuk meningkatkan efisiensi sistem dengan mengubah panas residu menjadi energi listrik tambahan [13], meningkatkan efisiensi hingga 4-5% pada sistem PV-TEG berpendingin aktif [14]. Selain penelitian internasional, studi di Indonesia juga mulai mengkaji Integrasi PV-TEG pada sistem PLTS 1 MW Cirata dan kompor portable PV-TEG di merauke. Namun, penelitian tersebut belum diarahkan pada sistem PLTS portable yang ditujukan sebagai energi alternatif untuk skala kecil seperti Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM). Berdasarkan hal tersebut, pada penelitian ini bertujuan merancang sistem hybrid PV-TEG berbasis modul Peltier untuk aplikasi portable, yang mampu memanfaatkan panas buangan panel surya guna meningkatkan efisiensi konversi energi dan mendukung kebutuhan energi mandiri bagi pelaku UMKM.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian bertujuan menganalisis hasil rancangan pembangkit energi listrik tenaga surya dan peltier yang dimanfaatkan untuk UMKM. Dalam pembuatannya, penulis melakukan langkah-langkah penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 1. Penelitian menggunakan metode rancang bangun (*design and development*) dengan pendekatan terapan yang difokuskan pada pembuatan dan pengujian pembangkit listrik portable tenaga surya dan peltier sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan.



Gambar 1. Alur Penelitian

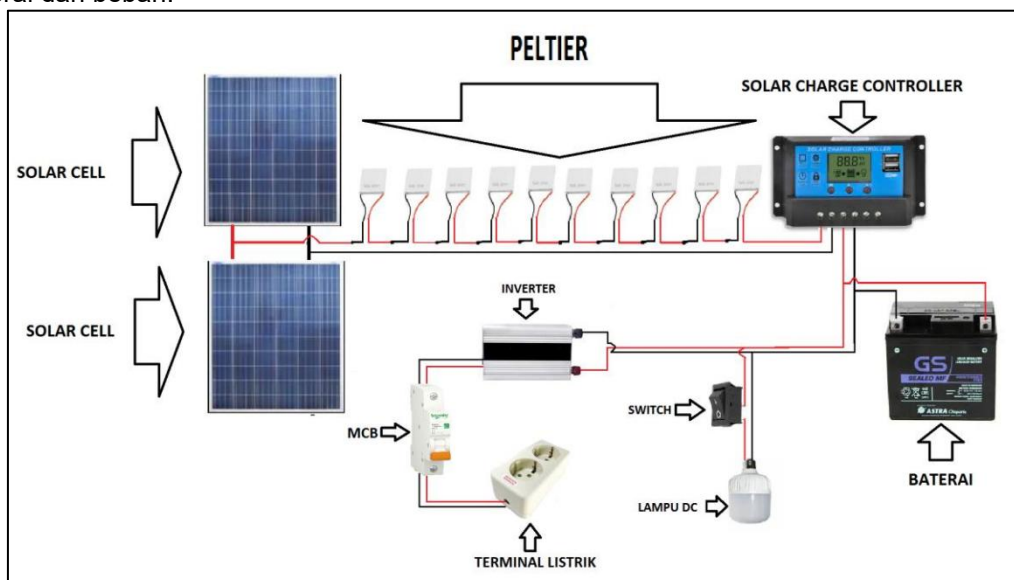
Berdasarkan Gambar 1, penelitian ini dilakukan dengan lima tahapan yaitu studi literatur, perancangan sistem, pemilihan dan persiapan komponen, pengujian dan pengambilan data, serta analisis data.

2.1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mengkaji referensi terkait potensi penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), modul Peltier, dan sistem pembangkit listrik portabel. Kemudian menganalisis untuk menentukan research gap dan menjadikan penelitian-penelitian yang terkait sebagai referensi dalam perancangan portable PLTS dan Peltier.

2.2. Perancangan Sistem

Pada tahapan perancangan sistem dilakukan desain elektrikal dan desain mekanikal alat. Pada desain tersebut juga ditentukan konfigurasi hubungan antara panel, peltier, kontroler, baterai dan beban.

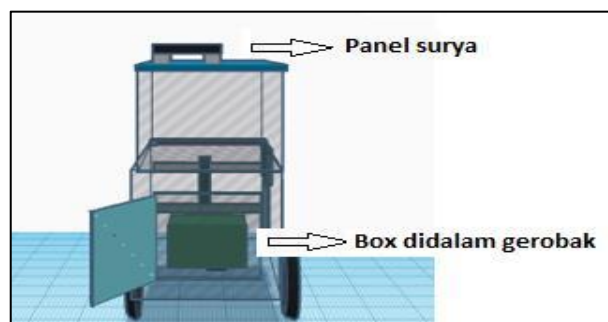


Gambar 2. Desain Elektrikal

Desain elektrikal yang ditunjukkan pada Gambar 2 merupakan wiring atau instalasi pengkabelan dari pembangkit listrik hibrid PLTS dan Peltier. Spesifikasi yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1.

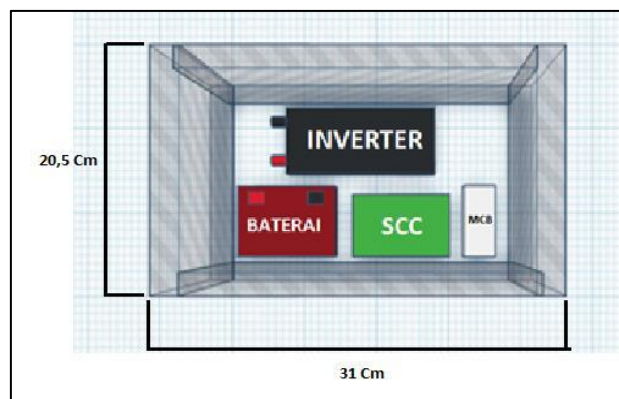
Tabel 1. Spesifikasi Alat

No	Nama Komponen
1	Panel Surya 2 x 10 WP
2	Peltier 10
3	Solar Charge Controller (SCC) 10 A
4	Baterai 12 V 7 AH
5	Lampu DC 12 V



Gambar 3. Tata Letak Komponen pada Gerobak

Pembuatan alat ini bertujuan untuk mengimplementasikan pembangkit listrik energi alternatif yang dimanfaatkan oleh pedagang UMKM. Penelitian menggunakan studi kasus gerobak pedagang roti bakar. Panel surya dan Peltier diletakkan pada bagian paling atas gerobak, sedangkan komponen lainnya diletakkan pada box di dalam gerobak seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 dan 4.



Gambar 4. Tata Letak Komponen pada Box

2.3. Pemilihan dan Persiapan Komponen

Tahapan pemilihan dan persiapan komponen dilakukan berdasarkan spesifikasi daya dan efisiensi yang dibutuhkan. Pemilihan jumlah panel yang diperlukan disesuaikan dengan kebutuhan energi beban harian, serta kapasitas baterai penyimpanan [15], [16]. Total daya beban dihitung berdasarkan daya masing-masing perangkat dikalikan dengan waktu penggunaannya sesuai dengan rumus (1).

$$E_{load} = \sum (P_i \times t_i) \quad (1)$$

Dengan E_{load} adalah energi beban (Wh), P_i adalah daya tiap beban (W), dan t_i adalah waktu operasi beban (jam). Dalam penelitian ini, beban terdiri atas lampu LED 12 W yang digunakan selama 4 jam, dan charger ponsel 10 W selama 4 jam, sehingga total energi beban adalah 88 Wh. Untuk mengantisipasi rugi sistem sebesar 30 %, maka energi yang harus disuplai oleh sistem adalah 146 Wh.

Hasil perhitungan total beban ini akan dibagi dengan lama penyinaran waktu (PSH), untuk menentukan kapasitas panel surya yang diperlukan. Untuk perhitungannya sesuai dengan rumus (2)

$$P_{PV} = \frac{E_{load}}{PSH} \quad (2)$$

Dengan PSH diasumsikan sebesar 8 jam/hari, sesuai rata-rata intensitas radiasi matahari di wilayah Indonesia [18]. Maka diperoleh 18,25 Wp, pada penelitian ini menggunakan panel 10 Wp panel surya yang terhubung secara paralel masih sesuai dengan kebutuhan beban. Sedangkan untuk kapasitas baterai dihitung untuk memastikan energi yang tersimpan mampu menyuplai beban minimal selama satu hari tanpa sinar matahari. Rumus yang digunakan Adalah (3):

$$P_{PV} = \frac{E_{load} \times N_{hari}}{V_{bat} \times DoD \times \eta_{bat}} \quad (3)$$

Dengan :

C_{bat} : kapasitas baterai (Ah),

E_{adj} : energi yang disesuaikan (Wh)

V_{bat} : tegangan nominal baterai (V),

DoD: *Depth of Discharge*, diambil 0.5 untuk baterai SLA,

η_{bat} : efisiensi baterai (0.9),

N_{hari} : hari otonomi

Dari hasil perhitungan penentuan kapasitas baterai diperoleh 27 Ah, namun pada implementasi sistem ini digunakan baterai 12 V 7 Ah untuk menekan ukuran dan bobot alat, karena sistem dirancang portable dan beroperasi pada beban ringan.

2.4 Pengujian dan Pengambilan Data

Alat memiliki keunggulan berupa portabel atau dapat dibawa kemana-mana. Pedagang tidak perlu mencari sumber listrik (PLN) karena telah mandiri energi menggunakan portabel PLTS dan peltier ini. Dalam memastikan alat berfungsi dengan baik, maka dilakukan pengujian alat dan pengambilan data. Dilakukan pengujian dengan cara mengukur parameter tegangan, arus, dan suhu permukaan panel surya dengan variasi waktu dan kondisi cuaca. Dilakukan pengujian dan pengambilan data berkali-kali agar mendapatkan data terbaik untuk dianalisis selanjutnya.

Tahapan pengujian dilakukan untuk mengukur parameter tegangan, arus, dan suhu permukaan panel dengan variasi waktu dan kondisi cuaca, sedangkan analisis data digunakan untuk mengevaluasi performa sistem dan kontribusi daya dari modul peltier terhadap keluaran total.

2.5 Analisis Data

Setelah melakukan pengujian, data hasil pengujian tersebut diolah dan kemudian dianalisis. Analisis data digunakan untuk mengevaluasi performa sistem dan kontribusi daya dari modul peltier terhadap keluaran total.

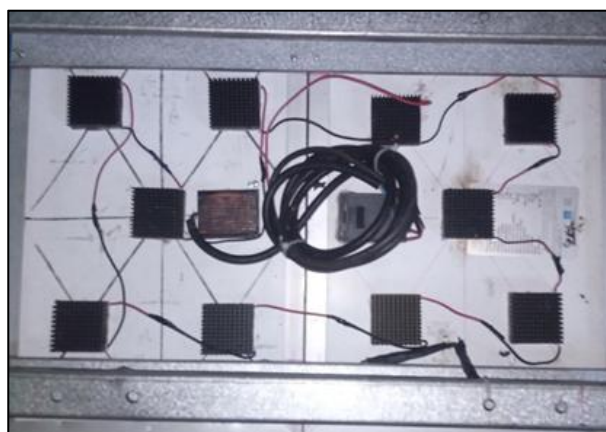
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembangkit Listrik Portable Hybrid Tenaga Surya–Peltier berhasil dipasang pada gerobak UMKM khususnya pedagang roti bakar yang ditunjukkan pada Gambar 5. PLTS diletakkan di atas gerobak sedangkan komponen lainnya di dalam gerobak bagian bawah.



Gambar 5. Implementasi pada Gerobak UMKM

Keunggulan penelitian yaitu adanya pembangkit listrik tambahan yaitu Peltier untuk memaksimalkan potensi yang ada dalam menghasilkan energi listrik. Pemasangan Peltier yaitu pada belakang panel surya yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Peltier Pada Panel Surya

3.1. Pengujian Alat

Telah dilakukan pengujian alat untuk mengamati performa alat dalam menghasilkan energi listrik. Bauran energi antara Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dibandingkan dengan Peltier yaitu presentasi rata-rata tegangan PLTS 98,04%, sedangkan Peltier 1,96%. Kemudian persentase rata-rata arus PLTS 94,49%, sedangkan peltier 5,51%. Nilai dari tegangan dan arus ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengujian Hasil Tegangan dan Arus pada PLTS dan Peltier

No	Jam	Tegangan Pembangkit (V)	Arus Pembangkit (A)	Tegangan PV (V)	Arus PV (A)	Tegangan Peltier (V)	Arus Peltier (A)
1	11:00	20,75	6,44	20,08	6,17	0,30	0,48
2	12:00	20,44	6,35	20,42	6,05	0,29	0,47
3	13:00	21,26	6,61	20,99	6,34	0,32	0,52
4	14:00	20,27	6,13	19,79	5,69	0,21	0,38
5	15:00	19,03	5,12	18,87	4,64	0,17	0,32

Berdasarkan Tabel 2, terlihat bahwa PLTS dan Peltier mampu menghasilkan tegangan yang cukup untuk digunakan beban. Kemudian, dilakukan pengujian dalam keadaan berbeban yaitu lampu dan charger handphone memanfaatkan energi listrik dari pembangkit hybrid tersebut. Berikut hasil pengujian alat dalam keadaan berbeban yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengujian Sistem Dengan Beban

No	Jam	Beban	Tegangan PV (V)	Arus PV (A)	Suhu (°C)	Keterangan Cuaca	Kondisi beban	
							Hidup	Mati
1	07:00	×	11,54	2,96	31,6	Cerah	-	√
2	08:00	×	12,02	3,09	32,8	Cerah	-	√
3	09:00	×	15,32	3,79	40,5	Cerah	-	√
4	10:00	Charger hp	11,89	2,99	32,2	Mendung	√	-
5	11:00	Charger hp	18,92	5,80	46,5	Cerah	√	-
6	12:00	×	17,59	4,91	39,4	Cerah	-	√
7	13:00	×	20,77	5,87	54,3	Cerah	-	√
8	14:00	×	17,93	4,46	39,0	Cerah	-	√
9	15:00	×	19,92	5,38	44,8	Cerah	-	√
10	16:00	×	19,62	5,04	41,2	Cerah	-	√
11	17:00	×	14,42	3,54	35,2	Cerah	-	√
12	18:00	Lampu	3,96	1,25	30,7	Tersinari lampu	√	-
13	19:00	Lampu	2,60	0,21	27,6	Tersinari lampu	√	-
14	20:00	Lampu	2,75	0,28	27,6	Tersinari lampu	√	-
15	21:00	Lampu	2,33	0,15	26,8	Tersinari lampu	√	-

Pengujian beban dilakukan berdasarkan realita penggunaan beban pedagang roti bakar tersebut. Lampu hanya hidup dari jam 18.00 WIB hingga jam 21.00 WIB. Sedangkan pagi hingga sore, listrik hanya digunakan untuk charging baterai handphone. Alat memiliki performa yang baik dan beban dapat hidup dan tersuplai dengan lancar serta stabil. Besar kecilnya tegangan yang dihasilkan oleh pembangkit hybrid yaitu PLTS dan Peltier tersebut dipengaruhi oleh paparan sinar matahari. Semakin terik cahaya matahari, maka suhu akan meningkat dan juga akan meningkatkan produksi energi listrik.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian, sistem pembangkit Listrik dirancang menggunakan dua buah Solar Cell 10 Wp yang disusun secara parallel dan 10 buah peltier yang terpasang secara seri. Hasil pengujian menunjukkan bahwa bauran energi antara Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan peltier menghasilkan presentasi rata-rata tegangan PLTS

98,04%, sedangkan Peltier 1,96%. Kemudian persentase rata-rata arus PLTS 94,49%, sedangkan peltier 5,51%. Sistem ini berhasil diimplementasikan pada gerobak UMKUM berbasis energi surya-peltier dan mampu beroperasi optimal pada pukul 11.00 WIB. Pembangkit mampu menghasilkan tegangan 18,92 V dan arus 5,8 ampere. Kondisi cuaca mempengaruhi kinerja sistem, khususnya terhadap suhu dan energi Listrik yang dihasilkan.

Untuk pengembangan selanjutnya. Sistem dapat ditingkatkan melalui penambahan kapasitas baterai guna memperpanjang waktu operasi, pengembangan beban menuju penggunaan perangkat pemanas seperti kompor Listrik. Integrasi sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) untuk pengawasan performa secara real-time, serta peningkatan aspek keamanan produk agar lebih andal dan layak diterapkan pada skala UMKM secara luas.

5. Daftar Notasi

C_{bat} : kapasitas baterai (Ah),

E_{adj} : energi yang disesuaikan (Wh)

V_{bat} : tegangan nominal baterai (V),

DoD: Depth of Discharge

η_{bat} : efisiensi baterai

N_{hari} : hari otonomi (hari tanpa penyinaran matahari)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Menteri, E. Dan, and S. Daya Mineral, "MENTERI ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL REPUBLIK INDONESIA," 2025.
- [2] Ministry of Energy and Mineral Resources, "HANDBOOK OF ENERGY & ECONOMIC STATISTICS OF INDONESIA 2023," 2023.
- [3] M. A. Eltawil and Z. Zhao, "Grid-connected photovoltaic power systems: Technical and potential problems-A review," Jan. 2010. doi: 10.1016/j.rser.2009.07.015.
- [4] N. I. Sijabat and Y. R. Pasalli, "Perencanaan PLTS Off-Grid Gedung Kantor Kelurahan Amban Manokwari Papua Barat," *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol. 19, no. 03, pp. 2549–3442, doi: 10.23960/elc.v19n3.2899.
- [5] S. R. Hamzah, C. G. Irianto, and I. Kasim, "Sistem PLTS Untuk Pompa Air Irigasi Pertanian di Kota Depok," *Jetri: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, pp. 73–86, Aug. 2019, doi: 10.25105/jetri.v17i1.4788.
- [6] J. P. Sembiring, T. Susanto, and I. Stiyawan, "Rancang Bangun Sistem Solar Panel Portable," *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. 14, no. 03, pp. 128–131, 2023, doi: 10.22441/jte.2023.v14i3.002.
- [7] Bagas Pamuji, Novia Utami Putri, and Elka Pranita, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya Portable untuk Penerangan Kolam Budidaya Ikan (Studi Kasus: Kolam Warga Desa Jembrana, Kecamatan Waway Karya, Lampung Timur)," *ELECTRICIAN – Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol. 17, pp. 317–325, 2023.
- [8] A. S. + U. M. + A. + H. Irtawaty, "Perancangan Dan Implementasi PLTS Mini Kapasitas 20 WP Untuk Teras Rumah Warga Di Kelurahan Manggar Kota Balikpapan," *Jaroa*, no. Volume1, p. 93, Jul. 2022.
- [9] R. Bjørk and K. K. Nielsen, "The maximum theoretical performance of unconcentrated solar photovoltaic and thermoelectric generator systems," *Energy Convers Manag*, vol. 156, pp. 264–268, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.enconman.2017.11.009.
- [10] A. Fudholi *et al.*, "Energy and exergy analysis of air based photovoltaic thermal (PVT) collector: A review," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 9, no. 1, pp. 109–117, Feb. 2019, doi: 10.11591/ijece.v9i1.pp109-117.
- [11] O. Bamisile, C. Acen, D. Cai, Q. Huang, and I. Staffell, "The environmental factors affecting solar photovoltaic output," Feb. 01, 2025, *Elsevier Ltd*. doi: 10.1016/j.rser.2024.115073.

- [12] E. Skoplaki and J. A. Palyvos, "Operating temperature of photovoltaic modules: A survey of pertinent correlations," *Renew Energy*, vol. 34, no. 1, pp. 23–29, Jan. 2009, doi: 10.1016/j.renene.2008.04.009.
- [13] W. WALUYO, A. R. DARLIS, F. HADIATNA, and A. ABIMANYU, "Influences of Environmental Factors of a Hybrid Photovoltaic and Thermoelectric Generation System," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 12, no. 4, p. 1038, Dec. 2024, doi: 10.26760/elkomika.v12i4.1038.
- [14] D. Parenden, H. Hariyanto, N. Yusman, C. A. Wahyudhi, S. Supriyadi, and A. Henukh, "PERFORMANCE EVALUATION OF THE PHOTOVOLTAIC-THERMOELECTRIC GENERATORS (PV-TEG) TANDEM HYBRID POWER PORTABLE STOVE," 2023.
- [15] Rachmad Ady Setiawan, Laga Erlangga Cendekia, Arwanti Saputri, and Nisa Saju Fernanda, "Analisis Perhitungan Kebutuhan Sistem pada Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Rumah Tangga 900 Watt," *Jupiter: Publikasi Ilmu Keteknikan Industri, Teknik Elektro dan Informatika*, vol. 3, no. 2, pp. 11–26, Mar. 2025, doi: 10.61132/jupiter.v3i2.778.
- [16] J. Homepage, M. T. Riandani, Y. Mauliza, M. Dwi, and A. Putra, "Analysis of Off Grid Solar Panel System Design on Floor 3 Lighting at Al-Azhar University Medan Analisis Perancangan Sistem Panel Surya Off Grid pada Pencahayaan Lantai 3 Universitas Al-Azhar Medan," *IJEERE: Indonesian Journal of Electrical Engineering and Renewable Energy*, vol. 5, pp. 39–50, 2025, doi: 10.57152/ijeere.v5i1.