



JASEE

Journal of Application and Science on Electrical Engineering

<https://jurnal.widyagama.ac.id/index.php/jasee/index>



Perancangan dan Implementasi Sistem PLTS Off-Grid pada Gerobak Bakso: Solusi Efisiensi Energi dan Mobilitas

Enggri Vristanto¹, Diky Siswanto^{2*}, Sabar Setiawidayat²

¹PT Veolia Services Indonesia, Pasuruan - Indonesia

²Teknik Elektro, Universitas Widyagama Malang, Malang - Indonesia

Corresponding author, email: [*dsiswanto@widyagama.ac.id](mailto:dsiswanto@widyagama.ac.id)

Abstract

This study investigates the design and implementation of an *off-grid* solar photovoltaic (PV) system for a meatball cart as a renewable energy solution for small mobile food businesses that still commonly rely on conventional energy sources for lighting and heating. The developed system integrates a 120 Wp monocrystalline PV module, a 12 V 100 Ah LiFePO₄ battery, a PWM solar charge controller, a 1000 W inverter, and an automatic soup-heating subsystem based on a DS18B20 temperature sensor, thermocontroller, and solid-state relay. Field testing was conducted on a meatball cart in Pakis District, Malang Regency, for two weeks of operation. The results show that the system was functionally able to operate the supporting loads and maintain soup temperature within 85–95°C through automatic switching control. However, the total daily load of 3810 Wh was still higher than the available daily energy of about 1920 Wh. This finding indicates that the current configuration is feasible as an implementation prototype but has not yet achieved fully autonomous full-load operation. Overall, the study demonstrates the potential of integrating *off-grid* PV and closed-loop thermal control to reduce dependence on fossil energy and improve the operational flexibility of micro-enterprises.

Keywords: *off-grid* photovoltaic; street food cart; automatic heating; DS18B20 temperature sensor; small and medium enterprises (SMEs).



p-ISSN : 2721-3625

e-ISSN : 2721-320X

1. PENDAHULUAN

Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) merupakan sektor strategis dalam perekonomian Indonesia [1]. Pada usaha kuliner keliling, kebutuhan energi tidak hanya mencakup penerangan, tetapi juga pemanasan produk dan perangkat pendukung penjualan. Di lapangan, kebutuhan tersebut masih banyak dipenuhi oleh LPG, aki, atau genset kecil yang relatif kurang efisien, menambah biaya operasional, serta menimbulkan emisi [2], [3].

Beberapa penelitian terdahulu telah melaporkan pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada gerobak atau beban UMKM untuk kebutuhan penerangan dan pengisian daya [4], [5], atau untuk monitoring [6]. Kajian terdahulu belum banyak membahas integrasi PLTS *off-grid* dengan beban termal yang dominan serta pengendalian suhu otomatis pada gerobak kuliner, padahal beban pemanas merupakan komponen energi terbesar dan paling menentukan kelayakan sistem.

<https://doi.org/10.31328/jasee.v6i2.01>

Received: 19-Jun-2025

Revised: 09-Sep-2025

Accepted: 23-Sep-2025, published by ©UWG Press 2025

Berbeda dengan penelitian terdahulu yang umumnya berfokus pada penerangan, pengisian daya, atau pemantauan kinerja PLTS, penelitian ini menekankan integrasi PLTS *off-grid* dengan beban termal dominan berupa pemanas kuah serta pengendalian suhu otomatis pada gerobak bakso. Dengan demikian, kontribusi penelitian ini tidak hanya terletak pada penyediaan energi mandiri untuk UMKM kuliner bergerak, tetapi juga pada pengendalian kualitas termal produk secara tertutup dan terukur. Berdasarkan kondisi tersebut, celah penelitian terletak pada perlunya rancangan gerobak bakso bertenaga surya yang tidak hanya menyediakan energi listrik, tetapi juga mampu menjaga suhu kuah secara otomatis pada rentang kerja yang aman dan stabil. Dengan demikian, persoalan yang dikaji dalam penelitian ini adalah: (1) bagaimana merancang konfigurasi PLTS *off-grid* yang sesuai dengan keterbatasan ruang gerobak bakso; (2) bagaimana menerapkan sistem kontrol suhu otomatis berbasis sensor suhu, thermocontroller, dan solid-state relay; dan (3) bagaimana kinerja teknis sistem ditinjau dari kecukupan energi, kestabilan suhu, efisiensi konversi, dan potensi penurunan emisi.

Penelitian ini bertujuan merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi sistem PLTS *off-grid* terintegrasi dengan pemanas otomatis pada gerobak bakso di Kecamatan Pakis, Kabupaten Malang. Kontribusi utama penelitian ini adalah integrasi sumber energi surya mandiri dengan kontrol suhu tertutup pada platform gerobak kuliner bergerak, sehingga artikel ini tidak hanya membahas penyediaan daya, tetapi juga pengendalian kualitas termal produk sebagai kebutuhan operasional UMKM pangan.

2. STUDI PUSTAKA

2.1 PLTS *Off-Grid* untuk UMKM

Penerapan sistem PLTS *off-grid* dalam sektor UMKM telah menunjukkan hasil yang positif dalam mengurangi ketergantungan pada energi fosil. Kurniawati dan Lukman [7] menerapkan PLTS pada gerobak makanan keliling untuk kebutuhan penerangan dan alat dapur kecil, menghasilkan efisiensi operasional yang signifikan. Ahmad Labib Fahlefi [8] mengembangkan sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk memantau performa PLTS secara real-time, yang meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem energi.

2.2 Komponen Sistem PLTS

Komponen utama dalam PLTS *off-grid* meliputi panel surya, solar charge controller (SCC), baterai, dan inverter. Panel surya mengubah energi cahaya menjadi listrik DC, yang kemudian disimpan dalam baterai melalui SCC. Inverter mengubah arus DC menjadi AC untuk digunakan oleh peralatan elektronik. Efisiensi sistem sangat dipengaruhi oleh jenis panel surya, intensitas cahaya, suhu lingkungan, dan kondisi instalasi [9].

2.3 Sistem Pemanas Otomatis

Pada penelitian ini, sistem pemanas otomatis tidak hanya berfungsi sebagai beban listrik, tetapi juga sebagai subsistem kendali utama yang menentukan kualitas operasional gerobak bakso. Berbeda dengan studi terdahulu yang lebih menekankan pemantauan performa PLTS, penelitian ini menerapkan thermocontroller PID, sensor suhu DS18B20, dan *solid-state relay* (SSR) untuk membentuk kontrol tertutup yang menjaga suhu kuah pada rentang kerja yang ditetapkan.

Perbedaan utama penelitian ini dibandingkan studi terdahulu terletak pada integrasi beban termal dominan ke dalam desain PLTS *off-grid* dan penerapan kontrol suhu tertutup pada kuah bakso. Jika penelitian sebelumnya lebih banyak berfokus pada penerangan, pengisian daya, atau monitoring

performa PLTS, maka penelitian ini menempatkan pemanas kuah sebagai beban utama yang sekaligus menjadi objek kendali otomatis.

2.4 Energi Terbarukan di Indonesia

Indonesia memiliki potensi energi surya sebesar 4,66–5,54 kWh/m² per hari, terutama karena letak geografis di kawasan tropis [10]. Pemerintah menargetkan bauran energi terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025 sesuai dengan Kebijakan Energi Nasional (KEN) [11]. Untuk mencapainya, dukungan teknologi dan inovasi di sektor akar rumput seperti UMKM sangat penting.

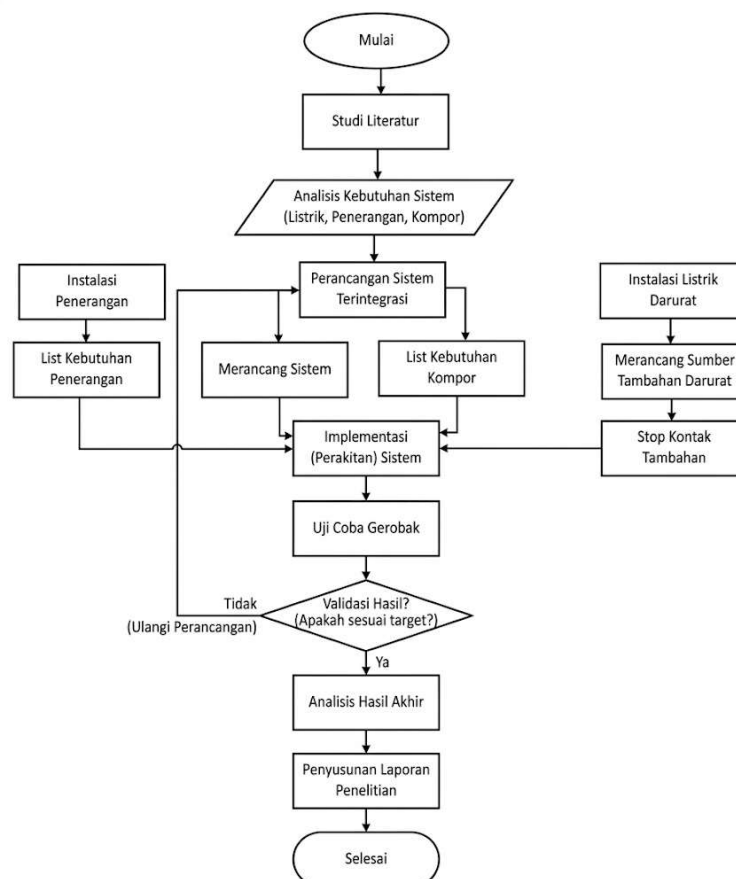
3. METODE

3.1 Lokasi dan Objek Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Kecamatan Pakis, Kabupaten Malang, Jawa Timur, yang memiliki intensitas radiasi matahari rata-rata 4,5–5,5 kWh/m² per hari. Subjek penelitian adalah gerobak bakso keliling yang dimodifikasi menggunakan sistem PLTS *off-grid* dan pemanas otomatis berbasis mikrokontroler.

3.2 Alur Penelitian

Penelitian diawali dengan identifikasi kebutuhan energi harian pedagang, dilanjutkan dengan perancangan sistem PLTS, perancangan sistem kontrol pemanas, integrasi perangkat, kalibrasi sensor suhu, dan pengujian lapangan. Data diperoleh melalui observasi, wawancara, pengukuran listrik, serta pengujian termal selama dua minggu.



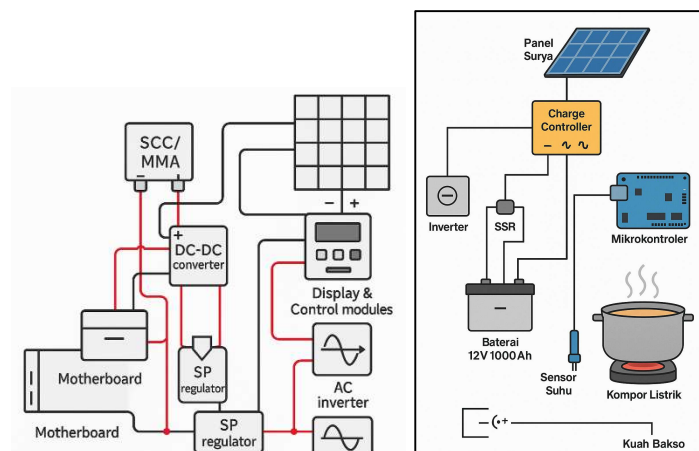
Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Alur kerja sistem pemanas otomatis bersifat tertutup dan berulang. Setelah sensor membaca suhu kuah, nilai suhu dibandingkan dengan setpoint yang telah ditentukan. Jika suhu berada di bawah batas bawah setpoint, SSR mengaktifkan elemen pemanas. Sebaliknya, jika suhu telah mencapai batas atas setpoint, SSR memutus daya ke elemen pemanas. Proses ini berlangsung secara kontinu selama sistem beroperasi.

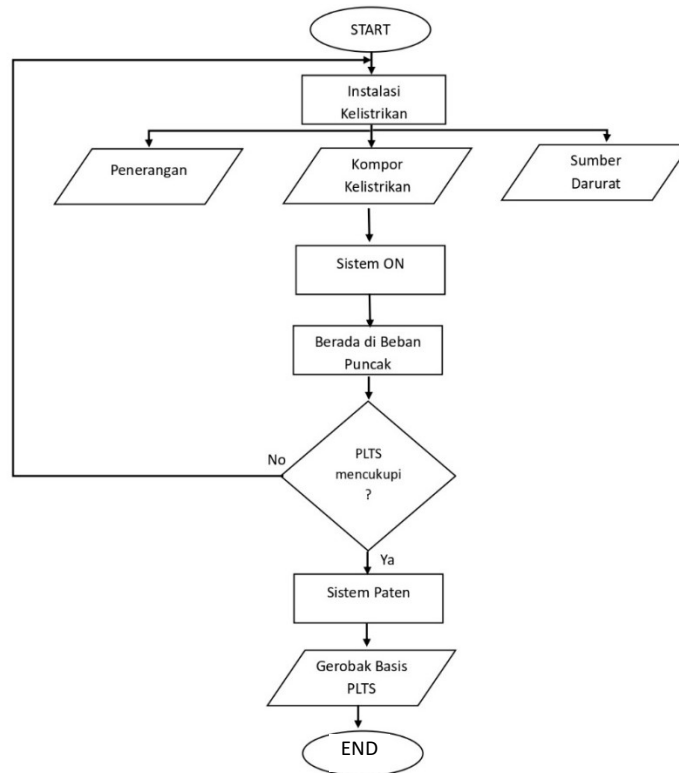
3.3 Desain Sistem

Konfigurasi yang disajikan pada artikel ini merupakan spesifikasi akhir prototipe yang digunakan pada pengujian lapangan, yaitu panel surya monokristalin 120 Wp, solar charge controller PWM 15 A, baterai LiFePO4 12 V 100 Ah, dan inverter 1000 W. Spesifikasi tersebut dipilih berdasarkan hasil perancangan dan ketersediaan komponen implementatif pada prototipe gerobak bakso.

Sistem PLTS terdiri atas panel surya monokristalin 120 Wp, *solar charge controller* PWM 15 A, baterai LiFePO4 12 V 100 Ah, dan inverter 1000 W. Beban sistem meliputi kompor/pemanas listrik, lampu LED, speaker, dan pengisi daya telepon genggam. Subsistem pemanas menggunakan sensor suhu DS18B20, thermocontroller PID sebagai pengendali setpoint, dan SSR sebagai saklar elektronik. Pada saat suhu kuah lebih rendah dari batas bawah setpoint, SSR mengaktifkan pemanas; sebaliknya, ketika suhu telah mencapai batas atas setpoint, SSR memutus pemanas. Mekanisme ini membentuk kontrol tertutup untuk menjaga suhu kuah pada rentang kerja 85-95°C. Gambar 2 menggambarkan desain prototipe. Gambar 3 menyajikan diagram system kelistrikan prototipe gerobak bakso.

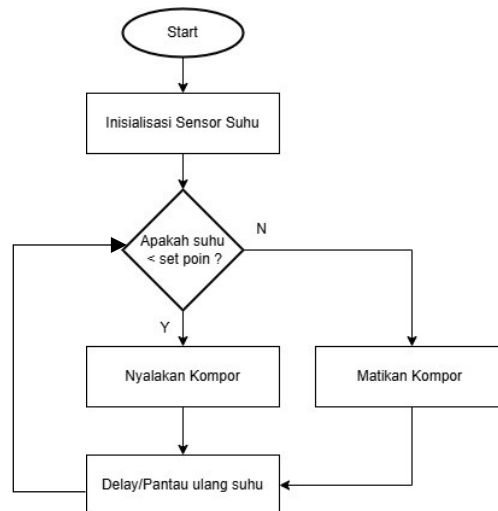


Gambar 2 Desain Sistem



Gambar 3. Diagram Rancangan Sistem Kelistrikan

Gambar 4 menunjukkan mekanisme kontrol tertutup yang berlangsung berulang, yaitu pembacaan suhu kuah, perbandingan terhadap setpoint, keputusan ON/OFF SSR, proses pemanasan, dan pembacaan ulang suhu. Alur ini menegaskan bahwa sistem bekerja secara otomatis dengan prinsip umpan balik selama gerobak beroperasi.



Gambar 4. Flowchart Sistem Kompor Otomatis

3.4 Pengumpulan Data

- Observasi dilakukan untuk mencatat kebutuhan energi harian, lama operasi, dan kondisi penyinaran di lokasi penelitian.

- Wawancara dilakukan dengan pedagang untuk mengetahui pola penggunaan energi, waktu operasional, dan kebutuhan fungsional gerobak.
- Eksperimen dilakukan selama dua minggu untuk mengevaluasi performa sistem. Parameter yang diuji meliputi tegangan dan arus sistem, durasi operasi, konsumsi energi, kestabilan suhu kuah, efisiensi inverter, serta kinerja pengendalian pemanas. Sebelum pengujian operasional, sensor suhu DS18B20 dikalibrasi terhadap termometer standar pada beberapa titik suhu. Hasil kalibrasi digunakan untuk menghitung selisih pengukuran, galat absolut, dan galat persentase, sehingga akurasi sensor yang digunakan dalam sistem pemanas otomatis dapat dievaluasi secara kuantitatif.

3.5 Perhitungan Energi

Konsumsi energi harian dihitung menggunakan persamaan berikut untuk setiap beban [12]:

$$E = P \times t \quad (1)$$

dengan E adalah energi dengan satuan Joule (J) atau Watt-detik(Ws); P adalah daya (Watt); t adalah waktu (detik).

Berdasarkan hasil pengukuran, total konsumsi energi harian sistem adalah 3810 Wh, yang berasal dari pemanas air 3520 Wh, lampu LED 15 Wh, speaker 110 Wh, dan charger telepon genggam 165 Wh. Energi yang dapat disuplai sistem diperkirakan sekitar 720 Wh per hari dari panel surya dan 1200 Wh dari baterai, sehingga energi tersedia sekitar 1920 Wh per hari. Selisih antara kebutuhan beban dan energi tersedia digunakan sebagai dasar evaluasi kecukupan kapasitas sistem.

Hasil observasi awal di lapangan menunjukkan kebutuhan energi gerobak berada pada kisaran beban menengah, namun setelah sistem dirancang dan seluruh beban operasional dimasukkan ke dalam perhitungan, total konsumsi energi harian prototipe mencapai 3810 Wh. Nilai ini digunakan sebagai dasar evaluasi kecukupan kapasitas sistem PLTS *off-grid* pada penelitian ini.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Implementasi Sistem

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem PLTS *off-grid* berhasil diimplementasikan pada gerobak bakso dengan konfigurasi panel surya 120 Wp, baterai LiFePO4 12 V 100 Ah, dan inverter 1000 W. Selama dua minggu pengujian, sistem mampu mendukung operasional beban ringan seperti lampu, speaker, dan pengisian daya, serta menjalankan sistem pemanas otomatis. Namun, hasil perhitungan energi menunjukkan bahwa total kebutuhan energi harian sebesar 3810 Wh masih lebih besar dibandingkan energi tersedia sekitar 1920 Wh per hari. Temuan ini menunjukkan bahwa sistem telah bekerja secara fungsional, tetapi kapasitas pembangkit dan penyimpanan belum sepenuhnya mencukupi untuk operasi mandiri penuh pada seluruh beban harian.



Gambar 5. Rancang bangun sistem

Tabel 1. Konsumsi Energi Harian Gerobak Bakso

Perangkat	Daya (W)	Durasi (jam)	Konsumsi Energi (Wh)
Pemanas Air	400	8.8	3520
Lampu LED	5	3	15
Speaker	10	11	110
Charger HP	33	5	165
Total	—	—	3810

Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa beban pemanas merupakan komponen konsumsi energi terbesar dalam sistem sebesar 3810 Wh, yang merupakan beban desain/prototipe akhir. Sedangkan energi tersedia sekitar 1920 Wh per hari, konfigurasi saat ini belum mampu memenuhi seluruh kebutuhan energi harian secara otonom penuh. Rasio pemenuhan energi sistem baru sekitar 50,4%. Oleh karena itu, prototipe dinilai layak secara fungsional, tetapi masih memerlukan manajemen beban atau peningkatan kapasitas sistem, agar dapat beroperasi mandiri secara penuh.

4.2 Kinerja Pemanas Otomatis

Thermocontroller PID bekerja dengan membandingkan suhu aktual yang dibaca sensor DS18B20 terhadap nilai setpoint. Ketika suhu kuah berada di bawah batas bawah setpoint, SSR menghubungkan daya ke elemen pemanas. Setelah suhu mendekati atau mencapai batas atas setpoint, SSR memutus daya sehingga pemanasan berhenti. Mekanisme ini berlangsung berulang selama operasional, sehingga suhu kuah dapat dipertahankan pada rentang 85–95°C.

Tabel 2. Uji Sistem Pemanas Otomatis

Waktu	Suhu Awal (°C)	Suhu Target (°C)	Waktu Pemanasan (menit)	Status Sensor
9:00	28	95	15	Akurat
11:00	80	95	2	Akurat
13:00	82	95	2	Akurat

Secara umum, sistem pemanas otomatis mampu menjaga suhu kuah pada rentang kerja 85–95°C melalui proses switching SSR yang berulang. Meskipun demikian, pada salah satu titik pengujian masih ditemukan keterlambatan pembacaan sensor, sehingga akurasi sistem belum sepenuhnya seragam pada seluruh kondisi pengujian. Temuan ini menunjukkan bahwa subsistem kontrol telah bekerja dengan baik pada level prototipe, tetapi masih memerlukan kalibrasi dan validasi lanjutan agar performanya lebih meyakinkan.

4.3 Efisiensi dan Emisi

Efisiensi sistem dianalisis berdasarkan efisiensi konversi inverter dan efisiensi elemen pemanas. Inverter menunjukkan efisiensi sekitar 80%, sedangkan elemen pemanas menunjukkan efisiensi sekitar 90% berdasarkan karakteristik operasionalnya. Dari sisi lingkungan, sistem PLTS tidak menghasilkan emisi langsung saat operasi. Oleh karena itu, perbandingan emisi dengan sistem berbasis LPG pada penelitian ini disajikan sebagai estimasi berbasis faktor emisi dan konsumsi energi ekuivalen.

4.4 Diskusi

Hasil penelitian menunjukkan bahwa beban pemanas merupakan komponen konsumsi energi terbesar dan menjadi faktor penentu dalam desain kapasitas sistem. Oleh sebab itu, meskipun integrasi PLTS *off-grid* dan kontrol suhu otomatis telah bekerja dengan baik secara fungsional, kecukupan energi total sistem masih menjadi kendala utama untuk mencapai operasi mandiri penuh.

5. SIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem PLTS *off-grid* yang terintegrasi dengan pemanas otomatis pada gerobak bakso. Sistem mampu menjaga suhu kuah pada rentang 85–95°C dan menunjukkan bahwa integrasi energi surya mandiri dengan kontrol suhu tertutup dapat diterapkan pada platform UMKM kuliner bergerak.

Meskipun demikian, hasil evaluasi energi menunjukkan bahwa total kebutuhan beban harian sebesar 3810 Wh masih lebih besar daripada energi tersedia sekitar 1920 Wh per hari. Dengan demikian, prototipe telah terbukti fungsional, tetapi kapasitas sistem saat ini belum optimal untuk operasi otonom penuh. Peningkatan kapasitas panel surya, kapasitas baterai, atau optimasi daya elemen pemanas menjadi arah pengembangan yang paling rasional pada penelitian berikutnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Widya Gama Malang atas dukungan fasilitas dan bimbingan yang diberikan selama proses penelitian dan pengembangan sistem PLTS *off-grid* ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada pelaku UMKM di Kecamatan Pakis, Kabupaten Malang, yang telah bersedia menjadi mitra uji coba sistem.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Deputi Bidang Koordinasi Ekonomi Digital Ketenagakerjaan dan UMKM, "Laporan Kinerja: Deputi Bidang Koordinasi Ekonomi Digital, Ketenagakerjaan dan UMKM," Jakarta, 2022. [Online]. Available: <https://kinerja.ekon.go.id/perencanaan/download/lakip-1660-2022-Elor4.pdf>
- [2] Krismadinata, Asnil, I. Husnaini, Hambali, and Ahyanuardi, "RANCANG BANGUN GEROBAK TENAGA SURYA UNTUK PEDAGANG KAKI LIMA," in *Prosiding Seminar Nasional ke 1*, Samarinda: Balai Riset dan Standarisasi Industri Samarinda, 2017, pp. 359–367. [Online]. Available: https://bspjisamarinda.kemenperin.go.id/download/proceeding/2017_semnas1/Hal_359-367_Ok.pdf
- [3] M. Manfaluthy, "Upaya Meringankan Biaya Penerangan Gerobak Kaki Lima di Saat Pandemi COVID-19 dengan LED Bertenaga Surya," *TERANG*, 2021, doi: <https://doi.org/10.33322/terang.v4i1.1264>.
- [4] A. Rombekila and N. Buang, "Perakitan Solar Cell untuk Penerangan Gerobak Pedagang Kaki Lima pada BUMDES Kampung Mawokau Jaya," *Pakem AMATA*, vol. 3, no. 1, pp. 1–5, 2023, [Online]. Available: https://jurnalpoltekam.or.id/index.php/pakem_amata/article/download/106/86
- [5] R. Kango, H. S. Kusno, E. H. Pongtuluran, D. I. L. Wijayani, and Suhaedi, "Penerapan Solar Cell untuk Mendukung Ketahanan Energi dan Perekonomian Pedagang Kaki Lima Ruang Terbuka Hijau Kota Balikpapan," *J. Appl. Community Engagem.*, vol. 2, no. 2, pp. 118–128, 2022, [Online]. Available: <https://journal.isas.or.id/index.php/JACE/article/view/444/176>
- [6] I. Wahyudi, D. Siswanto, M. Mukhsim, and S. Setyawidayat, "Solar Power System for Water Pressure Monitoring System at Perumda Tugu Tirta Kota Malang," *J. Sci. Appl. Eng.*, vol. 7, no. 1, pp. 18–26, 2024, doi: 10.31328/js.v7i1.5062.
- [7] K. Naim, M. P. Lukman, M. I. Bachtiar, and Z. Safitri, "PENERAPAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA SEBAGAI PEMENUHAN ENERGI LISTRIK PADA GEROBAK PELAKU USAHA KEDAI MANISTA TAKALAR," *Pros. Semin. Nas. Terap. Ris. Inov.* 9 (3), 82-90, 2023, 2023.
- [8] A. L. Fahlefi, "Perancangan Sistem Monitoring Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada Gerobak Energi Berbasis Internet of Things," Politeknik Negeri Jember, 2024. [Online]. Available: <https://sipora.polije.ac.id/id/eprint/34058>
- [9] P. Harahap, I. Bustami, Rimbawati, and B. Oktrialdi, "Pengaruh Intensitas Cahaya Matahari dan Suhu Terhadap Daya yang Dikeluarkan oleh Modul Sel Surya Monocrystalline dan Polycrystalline," *J. MESIL (Mesin Elektro Sipil)*, vol. 3, no. 2 SE-Articles, pp. 1–5, Dec. 2022, doi: 10.53695/jm.v3i2.791.
- [10] Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional, *Outlook Energi Indonesia 2022*. 2022. [Online]. Available: <https://www.scribd.com/document/651195893/Buku-Energi-Outlook-2022-Versi-Bhs-Indonesia>
- [11] Presiden RI, *Peraturan Pemerintah RI No. 79 Thn 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional*. Republik Indonesia, 2014. [Online]. Available: <https://jdih.esdm.go.id/common/dokumen-external/PP No. 79 Thn 2014.pdf#:~:text=Kebijakan energi nasional merupakan kebijakan Pengelolaan Energi,terciptanya Kemandirian Energi dan Ketahanan Energi nasional.>
- [12] G. N. Tiwari and L. Sahota, *Advanced Solar-Distillation Systems: Basic Principles, Thermal Modeling, and Its Application*, 1st ed. Singapore: Springer Verlag, Singapore, 2018. [Online]. Available: <https://www.amazon.sg/Advanced-Solar-Distillation-Systems-Principles-Application/dp/981135197X>