

BATTERY MANAGEMENT SYSTEM PADA SOLAR RENEWABLE ENERGY SYSTEM MENGUNAKAN HUKUM KIRCHOFF 1

S. A Kusmiati^{1*}, A. Dhafia¹, A. Sofijan^{1*}, M. B. Akbar¹, W. Adipradana¹

¹ Teknik Elektro, Universitas Sriwijaya, Palembang
Corresponding author: a_sofijan@ft.unsri.ac.id

ABSTRAK: *Battery Management System* (BMS) berfungsi untuk meningkatkan arus yang digunakan pada pengisian baterai, BMS bekerja sebagai *charger* untuk melakukan looping energi pada keluaran baterai. BMS bekerja dengan bantuan *current booster* dan akan aktif saat tegangan baterai melebihi 11 Volt. Eksperimental riset ini menggunakan empat sampel beban lampu dengan variasi 25 W, 50 W, 75 W dan 100 W. Pengambilan data dilakukan perbandingan antar pembebanan baterai dengan menggunakan dan tanpa BMS, penggunaan BMS dilakukan untuk mengatur stabilitas dari pengisian baterai saat tegangan baterai berada pada tegangan 11 Volt maka proses pengisian dari BMS akan dihentikan untuk menjaga stabilitas kinerja dari baterai yang digunakan. Hasil pembebanan baterai dengan *looping* dan tanpa *looping* didapatkan hasil perbedaan waktu, yaitu pembebanan 25 Watt didapatkan selisih waktu selama 3 menit 43 detik, pembebanan 50 Watt didapatkan selisih waktu 2 detik, pembebanan 75 Watt didapatkan selisih waktu 1 menit 42 detik, dan untuk pembebanan 100 Watt didapatkan selisih waktu 48 detik, selisih waktu tersebut yang membuat baterai yang di *looping* dapat menjaga *realtime* baterai lebih lama.

Kata Kunci: *BMS, Current Booster, Looping, Realtime, VRLA Battery*

ABSTRACT: *Battery Management System (BMS) functions to increase the current used in battery charging, BMS works as a charger to loop energy on the battery output. BMS works with the help of a current booster and will be active when the battery voltage exceeds 11 Volts. This experimental research uses four lamp load samples with variations of 25 W, 50 W, 75 W and 100 W. Data collection is done by comparing battery loading using and without BMS, the use of BMS is done to regulate the stability of battery charging when the battery voltage is at 11 Volts then the charging process from the BMS will be stopped to maintain the stability of the performance of the battery used. The results of battery loading with and without looping obtained the time difference results, namely a 25 Watt load obtained a time difference of 3 minutes 43 seconds, a 50 Watt load obtained a time difference of 2 minutes 6 seconds, a 75 Watt load obtained a time difference of 1 minute 42 seconds, and for a 100 Watt load obtained a time difference of 48 seconds, this time difference makes the looped battery able to maintain the battery real time longer.*

Keywords: *BMS, Current Booster, Looping, Realtime, VRLA Battery*

PENDAHULUAN

Energi Baru Terbarukan (EBT) adalah energi berkelanjutan yang bersumber dari alam, seperti cahaya matahari, air, angin dan energi termal sebagai sumber energi listrik alternatif. Penggunaan panel surya sebagai sumber energi listrik alternatif telah banyak diterapkan karena kemudahan dalam pemasangan instalasinya serta fleksibilitasnya yang dapat disesuaikan dengan berbagai kebutuhan. Teknologi ini memungkinkan pengguna untuk memanfaatkan energi matahari sebagai sumber listrik yang ramah lingkungan dan efisien, tanpa memerlukan infrastruktur yang rumit. Selain itu, panel surya dapat

dipasang di berbagai lokasi, baik untuk skala kecil seperti rumah tangga maupun skala besar seperti fasilitas industri, sehingga semakin populer di berbagai sektor sebagai solusi energi terbarukan (Sofijan et al., 2022). Disisi lain, energi konvensional menggunakan bahan baku yang semakin menipis dan proses pembangkitan listriknya juga menimbulkan polusi udara, pencemaran lingkungan, serta gangguan lain pada daerah sekitarnya (Rinanti, 2021). Untuk mengatasi krisis energi, pengembangan dan pemanfaatan energi baru terbarukan harus dikembangkan dengan sistem pemanfaat energi yang telah ada. Hal ini akan memungkinkan Indonesia untuk mengurangi ketergantungan pada energi tak

terbarukan dan beralih sepenuhnya pada energi tak terbarukan sehingga dapat memberikan dampak positif bagi lingkungan sekitar (Solikah & Bramastia, 2024).

Penerapan pada energi cahaya matahari memerlukan beberapa komponen agar dapat dimanfaatkan langsung dalam penggunaan rumah tangga, seperti *battery*, *solar panel*, *solar charge control* dan inverter. Dengan menambahkan sistem pada daya yang dihasilkan, *looping* energi dapat dilakukan dengan menggunakan modul *current booster*, sehingga arus dari daya yang dihasilkan dapat ditingkatkan. Hal ini memungkinkan inverter untuk menghasilkan daya yang cukup guna mengisi ulang baterai (Widhiawan et al., 2021).

Baterai diperlukan dalam proses pemanfaatan energi panas matahari yang diubah menjadi listrik dengan panel surya. Baterai berfungsi sebagai tempat penyimpanan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya, sehingga masih dapat digunakan ketika matahari tidak tampak, seperti pada malam hari atau saat musim hujan yang menghalangi cahaya matahari. Untuk meningkatkan produksi listrik saat matahari jarang muncul, sistem *looping* dikembangkan agar baterai tetap dapat terisi meskipun sinar matahari terbatas atau suhu dari radiasi matahari belum cukup untuk mengoptimalkan kinerja panel surya (Zahra et al., 2023).

Komponen seperti *current booster converter* dapat digunakan untuk menyesuaikan nilai arus, baik meningkat maupun menurun dengan menjaga tegangan tetap konstan. Modul ini dirancang untuk memperbaiki sistem pengisian baterai, di mana tegangan yang dihasilkan dari *current booster* akan diteruskan ke *solar charge controller* (Vijayarangan & Kaliyaperumal, 2023).

Untuk memanfaatkan energi termal matahari, diperlukan inverter untuk mengubah energi matahari yang disimpan dalam baterai atau digunakan langsung. Inverter berfungsi mengkonversi tegangan DC menjadi AC, memungkinkan energi tersebut pada peralatan rumah tangga, mengingat di Indonesia sebagian besar peralatan rumah tangga memerlukan tegangan AC 220 V (Yuan et al., 2024).

Penerapan sistem kelistrikan sangat membutuhkan alat kontrol. Dalam hal ini Arduino adalah alat kontrol yang bisa menunjang sistem kelistrikan skala kecil. Arduino merupakan platform sumber terbuka yang digunakan untuk mengontrol sistem pencatatan dari sistem yang diusulkan. Arduino adalah papan mikrokontroler berdasarkan ATmega328 (Nabil et al., 2019).

Arduino

Arduino merupakan suatu *platform open source* yang dapat digunakan untuk merancang prototipe peralatan elektronika yang interaktif dengan memanfaatkan fitur

yang tersedia secara gratis dan fleksibel. Papan Arduino dapat menerima input seperti cahaya, suhu, tegangan, dan sebagainya lalu memberikan output berupa menghidupkan LED, menggerakkan motor, dan sebagainya (Satria, 2023). Arduino juga dilengkapi dengan berbagai macam sensor dan modul tambahan yang dapat memperluas fungsionalitasnya, sehingga memungkinkan pengguna untuk merancang sistem otomatisasi, pengukuran, hingga kendali jarak jauh. Dengan dukungan komunitas yang luas dan berbagai contoh proyek yang tersedia, platform ini sangat cocok untuk pemula maupun profesional dalam mengembangkan perangkat berbasis elektronik dan mekatronik yang cerdas dan responsif (Adipradana et al., 2021).

Konverter DC-DC

Penggunaan konverter DC-DC biasanya digunakan untuk mengubah tegangan DC ke DC dengan tingkat efisiensi yang lebih tinggi dari catu daya linier yang mana pada catu daya linier hanya dapat digunakan untuk merubah tegangan AC ke DC (Setyawan et al., 2019). Konverter memiliki kemampuan untuk mengubah dan menstabilkan tegangan dari sumber daya yang bervariasi, konverter ini sering digunakan dalam perangkat elektronik portabel, kendaraan listrik, hingga sistem energi terbarukan seperti panel surya. (Sofijan, 2020).

Transistor

Transistor merupakan komponen kelistrikan yang berfungsi sebagai saklar. Selain itu, transistor juga berfungsi sebagai penguat sinyal, penguat tegangan dan penguat arus (Energi et al., 2021).

Solar Panel

Solar panel merupakan suatu perangkat utama dalam PLTS yang berfungsi mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Energi listrik ini kemudian akan disimpan dalam baterai, namun sebelum memasukan ke baterai kabel aliran daya disambungkan ke *solar charge control*. *Solar charge control* mengontrol aliran daya yang masuk untuk mencegah *overcharging* dan *discharging battery*. Kemudian daya yang telah terkontrol dapat dialirkan ke inverter untuk mengubah tegangan DC ke AC (Mukundaswamy et al., 2024).

Baterai

Baterai merupakan media yang digunakan untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh generator listrik dan panel surya, sehingga dapat digunakan setiap saat. Baterai terdiri dari dua jenis utama, yaitu primer dan sekunder (Widjajanto et al., 2021).

Solar Charge Controller (SCC)

Charge Controller merupakan sebuah rangkaian elektronik yang mengatur proses pengisian baterai (rangkaiannya aki). Kontroler ini berfungsi sebagai pengatur tegangan baterai agar tidak melebihi batas toleransi dayanya (Acharya, 2023).

Inverter

Inverter berfungsi merubah tegangan dari DC (*Direct Current*) menjadi AC (*Alternating Current*) untuk dapat disuplai ke beban. Spesifikasi inverter yang dipilih dalam penerapan *energy looping* ini menggunakan inverter *off grid* dan menggunakan tegangan masukan 12 dan 24 VDC yang berasal dari baterai (Haddadi et al., 2021).

Hukum Kirchoff I

Hukum kirchoff adalah prinsip dasar yang mendasari perhitungan dalam rangkaian arus dan tegangan serta merupakan dasar dari kekekalan energy, pada dasarnya hukum kirchoff terbagi menjadi 2 (Anugrah, 2023). Hukum ini berbunyi “Jumlah arus yang masuk dalam satu titik sama dengan jumlah arus yang keluar” atau “jumlah dari arus yang masuk pada suatu titik sama dengan 0”. Mengingat polaritas dari arus masuk dan keluar dilambangkan dengan (+ dan -), maka dapat dirumuskan:

Rumus 1 : $I_1 + I_4 = I_2 + I_3$
 Rumus : $\sum_{k=1}^n I_k = 0$ (1)

METODE PENELITIAN

Alur Perancangan

Perancangan penelitian ini melibatkan beberapa langkah dalam penyelesaiannya, dengan informasi yang akan disajikan melalui diagram alur yang ditampilkan pada Gambar 1.

Penentuan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan bertempat di laboratorium konversi dan energi, Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya kampus Indralaya. Waktu penelitian dimulai pada bulan Juni 2023 sampai dengan Mei 2024.

Perancangan dan Pembuatan Alat

Perakitan alat dilakukan sesuai dengan desain yang telah dirancang. Gambar 2 menunjukkan alur sistem konversi energi matahari menjadi energi listrik Sinar matahari ditangkap oleh panel surya, kemudian mengonversi energi matahari menjadi arus searah (DC). Arus DC ini masuk ke sistem BMS (Battery Management

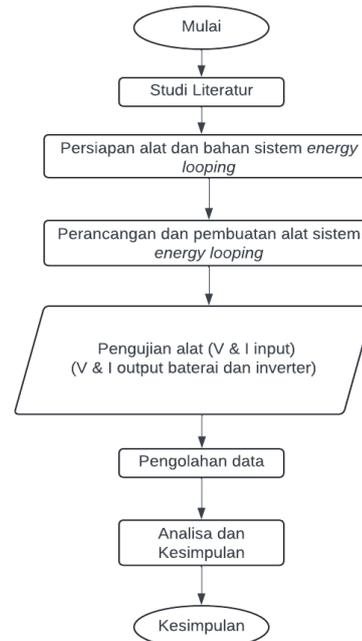
kemudian energi disimpan oleh baterai dalam bentuk arus DC. Ketika dibutuhkan, arus DC dari baterai mengalir ke inverter yang mengubahnya menjadi arus bolak-balik (AC) yang kemudian digunakan untuk menyuplai beban. Sebagian arus yang berasal dari inverter akan dikembalikan ke BMS untuk ditingkatkan. Proses ini terjadi secara berulang, menciptakan siklus yang memastikan pengisian baterai dapat berlangsung secara optimal.

Pengujian Alat

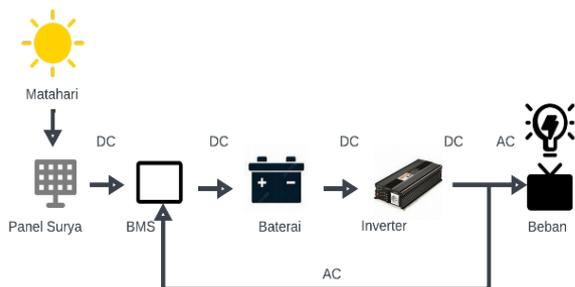
Pengujian alat dilakukan secara menyeluruh untuk memastikan setiap komponen berfungsi dengan baik dan sesuai dengan rancangan awal.

Pengambilan Data

Dilakukan dengan mencatat hasil setiap uji coba, parameter yang diukur meliputi tegangan, arus dan waktu operasi yang dicatat secara berkala selama proses pengujian. Data yang terkumpul kemudian disusun dalam bentuk tabel atau grafik untuk mempermudah analisis lebih lanjut.



Gambar 1 Alur Perancangan Penelitian



Gambar 2 Skema Perencanaan Penelitian

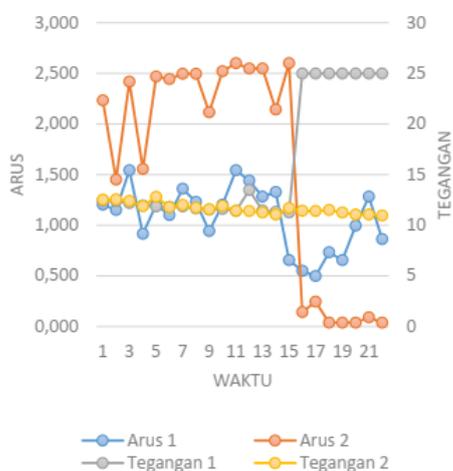
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian BMS ini menggunakan baterai VRLA dengan kapasitas Baterai 7,2 Ah dan inverter pure sine wave dengan kapasitas 500 W dengan variasi beban 25, 50, 75, dan 100 Watt dan dilakukan pengujian masing-masing sebanyak 10 kali. Berikut merupakan gambar grafik dari perbandingan arus dan tegangan pada setiap beban dengan sistem *looping*.



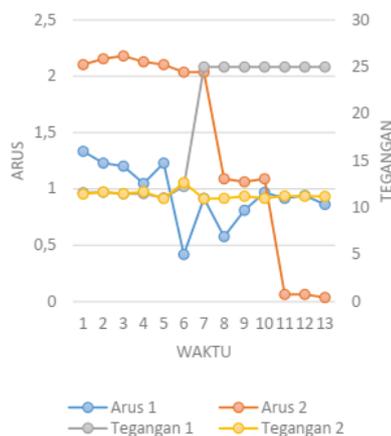
Gambar 3 Grafik Arus dan Tegangan dengan Beban 25 Watt.

Gambar 3 menunjukkan hasil pengujian nilai arus tertinggi terjadi pada menit ke-22 dengan arus sebesar 3,332 A dan nilai arus terendah terjadi pada menit ke-37 dan menit ke-38 dengan besar arus 0,063 A. Selain itu dari gambar 2 juga dapat dilihat bahwa, secara keseluruhan dari menit ke-1 sampai menit ke-36 nilai arus menunjukkan kenaikan dengan nilai tegangan yang stabil.



Gambar 4 Grafik Arus dan Tegangan dengan Beban 50 Watt

Pada Gambar 4, lama pengukuran terjadi selama 22 menit. Selama rentan waktu tersebut arus tertinggi terjadi pada menit percobaan ke-11 dan menit ke-14 dengan besar arus 2,600 A, dan nilai arus terendahnya terjadi pada menit ke-18, menit percobaan ke-19 dan menit ke-21 dengan besar 0,037 A. Penurunan arus mulai terjadi pada menit ke-16 diiringi dengan bertambahnya tegangan.



Gambar 5 Grafik Arus dan Tegangan dengan Beban 75 Watt

Gambar 5 memberikan hasil pengujian nilai arus tertinggi terjadi pada menit ke-3 dengan arus sebesar 2,181 A dan nilai arus terendah terjadi pada menit ke-13 dengan besar arus 0,037 A. Selain itu dari gambar grafik juga dapat dilihat bahwa, dari menit ke-1 sampai menit ke-10 nilai arus mengalami kenaikan.



Gambar 6 Grafik Arus dan Tegangan dengan Beban 100 Watt

Pada gambar 5 dapat dilihat bahwa arus mengalami kenaikan dari menit ke-1 sampai menit ke-7 sebelum akhirnya mengalami penurunan pada menit ke-8. Arus tertinggi berada pada menit ke-3 dan arus terendah pada menit ke-9.

Analisis gambar 1,2,3,4,5 untuk melihat perbandingan stabilitas antara pembebanan variasi baterai dengan

menggunakan sistem *looping* dan tanpa *looping*. Berikut ini merupakan rata-rata dari hasil pembebanan baterai dengan sistem *looping* dan tanpa *looping*.

Tabel 1 Pembebanan Baterai Tanpa Looping

Beban (W)	Pembebanan Tanpa Looping				Real time
	Inverter		Baterai		
	V	I	V	I	
25	222.39	0,2168	13,335	6,29	42:56
50	222.6	0,4615	13,353	11,801	20:42
75	221	0,7171	13,337	15,65	12:53
100	217,8	0,9659	13,344	21,59	9:07

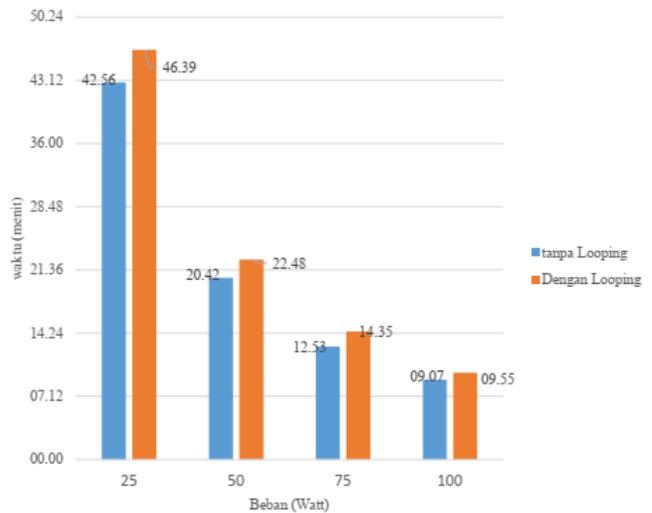
Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian terhadap pembebanan baterai pada sistem tanpa *looping* dengan variasi beban dari 25 W hingga 100 W. Pada beban terendah yaitu 25 W, tegangan yang dihasilkan oleh inverter tercatat 222,39 V dengan arus 0,2168 A, sementara tegangan baterai 13,335 V dengan arus 6,29 A. Seiring dengan peningkatan beban, tegangan inverter mengalami sedikit penurunan, terutama pada beban tertinggi 100 W dengan tegangan 217,8 V dan arus 0,9659 A. Tegangan baterai tetap stabil pada kisaran 13,33 V, tetapi arus meningkat hingga 21,59 A pada beban 100 W. Waktu operasional juga berkurang secara signifikan saat beban bertambah, dari 42 menit 56 detik pada 25 W menjadi hanya 9 menit 7 detik pada 100 W, menunjukkan semakin besar beban, semakin cepat daya baterai terkuras.

Tabel 2 Pembebanan Baterai dengan Looping

Beban	Pembebanan Dengan Looping				Real time
	Inverter		Baterai		
	V	I	V	I	
25	225,1	0,1816	13,318	6,41	46:39
50	223,7	0,4162	13,315	11,75	22:48
75	221,6	0,6621	13,318	14,91	14:35
100	221,5	1,0234	13,314	25,96	9:55

Tabel 2 menggambarkan hasil pengujian serupa, namun dengan penerapan sistem *looping*. Pada beban 25 W, tegangan inverter sedikit lebih tinggi yaitu 225,1 V dengan arus 0,1816 A, sementara tegangan baterai tetap stabil di 13,386 V dengan arus 6,41 A. Waktu operasional *real time* pada beban ini meningkat menjadi 46 menit 39 detik, lebih lama dibandingkan dengan sistem tanpa *looping*. Pada 100 W, tegangan inverter tetap cukup stabil

di 225 V, namun arus mencapai 1,0234 A. Tegangan baterai sedikit turun menjadi 13,344 V dan arus naik menjadi 25,96 A dengan waktu real-time 9 menit 55 detik. Dapat terlihat bahwa sistem dengan *looping* memberikan durasi operasi yang lebih lama pada setiap tingkat beban, meskipun perbedaan paling mencolok terjadi pada beban rendah (25 W), di mana waktu operasional bertambah sekitar 4 menit dibandingkan tanpa *looping*.



Gambar 2 Perbandingan waktu pembebanan baterai

Gambar 6 menunjukkan perbandingan waktu operasional antara pembebanan baterai 25, 50, 75 dan 100 Watt dengan dan tanpa *looping*. Dari pembebanan 25 Watt didapatkan selisih waktu selama 3 menit 43 detik, saat pebebanan 50 Watt selisih waktu 2 menit 6 detik, kemudian pembebanan 75 Watt didapatkan selisih waktu 1 menit 42 detik dan untuk pembebanan 100 Watt didapatkan selisih waktu 48 detik. Terlihat bahwa pada setiap tingkat beban, waktu operasi untuk pembebanan dengan *looping* selalu lebih lama dibandingkan dengan tanpa *looping*. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *looping* dapat memperpanjang waktu operasi baterai, terutama pada beban rendah.

KESIMPULAN

Perangkat *Battery management system* memiliki fungsi meningkatkan arus listrik DC dari sumber daya DC yang akan digunakan untuk pengisian baterai telah berhasil dibuat dengan menggunakan peralatan seperti adaptor, 4 modul current booster, modul *battery charge controller*.

Perbandingan kinerja baterai saat dilakukan pembebanan tanpa *looping* dan dengan *looping* menunjukkan perbandingan real time baterai yang menggunakan *Battery management system* lebih dapat bertahan lebih lama. Dari pembebanan 25 Watt

didapatkan selisih waktu selama 3 menit 43 detik, saat pebebanan 50 Watt didapatkan selisih waktu 2 menit 6 detik, kemudian pembebanan 75 Watt didapatkan selisih waktu 1 menit 42 detik, dan untuk pembebanan 100 Watt didapatkan selisih waktu 48 detik.

DAFTAR PUSTAKA

- Acharya, P. S. (2023). Analysis of the Solar Charge Controller using ABCD Framework. *International Journal of Applied Engineering and Management Letters*, 7(2), 1–26. <https://doi.org/10.47992/ijaeml.2581.7000.0171>
- Adipradana, W., Sofijan, A., Rahmawati, Bizzy, I., Sipahutar, R., & Fajri, M. A. (2021). Datalogger Experimental Analysis Based on Arduino Mega 2560 on a 100 Wp Monocrystalline Solar Panel Using Perforated Plate. *Proceedings of the 4th Forum in Research, Science, and Technology (FIRST-T1-T2-2020)*, 7(July). <https://doi.org/10.2991/ahe.k.210205.033>
- Anugrah, D. (2023). JUPITER (Jurnal Pendidikan Teknik Elektro) Penerapan Hukum Kirchhoff dan Hukum Ohm pada Metode Analisis Rangkaian Listrik Menggunakan Simulasi Software Electronics Workbench. *JUPITER (Jurnal Pendidikan Teknik Elektro)*, 08, 47–57.
- Energi, J., Teknologi, D. A. N., Jetm, M., Sahbana, M. A., & Farid, A. (2021). ANALISA PENGGUNAAN TRANSISTOR 2N3055 DAN TEC (THERMOELECTRIC COOLER) SEBAGAI BAHAN ALTERNATIF PANEL SEL SURYA (SOLAR CELL). 04(01), 1–7.
- Haddadi, A., Farantatos, E., Kocar, I., & Karaagac, U. (2021). Impact of inverter based resources on system protection. *Energies*, 14(4), 1–21. <https://doi.org/10.3390/en14041050>
- Mukundaswamy, M. S., Kanth, C. R., Karibasavaraj, K., Bharath, H. B., Manu, H. R., & Shreedhar, S. (2024). Robot Based Solar Panel Cleaning System. 2834–2836.
- Nabil, O., Bachir, B., & Allag, A. (2019). Implementation of a new MPPT Technique for PV systems using a Boost Converter driven by Arduino MEGA. *Proceedings - International Conference on Communications and Electrical Engineering, ICCEE 2018*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/CCEE.2018.8634503>
- Rinanti, A. (2021). *Pengantar energi baru dan terbarukan* (Issue January).
- Satria, I. H. (2023). *Aplikasi Arduino Dan Sensor*.
- Setyawan, A., Darmadi, S., Budi, E. M., & Ekawati, E. (2019). Studi Perbandingan Efisiensi Konversi Daya Konverter DC-DC Linier dan Pensaklaran pada Sistem Kelistrikan DCDC. *Seminar Kontribusi Fisika, Ic*, 11–16.
- Sofijan, A. (2020). The Solar Renewable Energy System Study with A Capacity of 1300 W Utilizing Polycrystalline Photovoltaic. *Journal of Mechanical Science and Engineering*, 6(1), 005–011. <https://doi.org/10.36706/jmse.v6i1.29>
- Sofijan, A., Pradana, W. A., Cekdin, C., & Bizzy, I. (2022). Sistem Portable Hybrid On-Grid PV-PLN-Generator Teraplikasi Di Desa Pemulutan. *Jurnal Surya Energy*, 6(2), 41. <https://doi.org/10.32502/jse.v6i2.4214>
- Solikah, A. A., & Bramastia, B. (2024). Systematic Literature Review : Kajian Potensi dan Pemanfaatan Sumber Daya Energi Baru dan Terbarukan Di Indonesia. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 5(1), 27–43. <https://doi.org/10.14710/jebt.2024.21742>
- Vijayarangan, V. A., & Kaliyaperumal, S. (2023). Design of Boost Integrated Luo Converter for Grid Tied EV Based Charging Station. *International Journal of Electrical and Electronics Research*, 11(4), 1167–1175. <https://doi.org/10.37391/ijeer-110438>
- Widhiawan, B. A. W., Handoko, S., & Darjat, D. (2021). Perancangan Sistem Charging Baterai Menggunakan Buck-Boost Converter Dengan Sumber Panel Surya Berbasis Mikrokontroler Arduino Nano. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 10(1), 17–25. <https://doi.org/10.14710/transient.v10i1.17-25>
- Widjajanto, D., Beny Maulana Achsan, Fajar Muhammad Noor Rozaqi, Augie Widyatratmo, & Edi Leksono. (2021). Estimasi Kondisi Muatan dan Kondisi Kesehatan Baterai VRLA dengan Metode RVP. *Jurnal Nasional Teknik Elektro Dan Teknologi Informasi*, 10(2), 178–187. <https://doi.org/10.22146/jnteti.v10i2.1299>
- Yuan, W., Wang, W., & Liu, J. (2024). Application analysis based on solar grid-connected photovoltaic power generation and intermittent energy storage system. *E3S Web of Conferences*, 520. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202452003004>
- Zahra, M. M. A., Sharif, H., Alazi, K. M. A., Mohammed, N. Q., Ali, A. A., Tariq, H., & Mohammed, M. Q. (2023). Battery Charging Monitoring System Using PZEM 004t Sensor and DC Voltage Sensor. *International Journal of Renewable Energy Research*, 13(2), 666–672. <https://doi.org/10.20508/ijrer.v13i2.14152.g8736>