

Rancang bangun sistem manajemen energi baterai otomatis untuk cadangan listrik rumah dengan kapasitas 300 Watt

Dadan Purnama^{a,b,1}, Muki Satya Permana^b, Hery Sonawan^b, Toto Supriyono^b

^aSMKN 1 Cilaku, Cianjur, 43285

^bProgram Studi Magister Teknik Mesin, Universitas Pasundan, Bandung, 40153

¹Email korespondensi: purnamadadan09@gmail.com

Abstract. Unstable electricity supply in rural areas is a significant challenge that disrupts community activities. The poor quality of the electricity grid and supply fluctuations demand a reliable, independent energy backup solution. This study proposes a Battery Energy Storage System (SMEB) design that integrates an inverter, a flexible battery charging system, and an automatic power-source switching mechanism. A literature review indicates a research gap regarding the use of vehicle alternators as a battery-charging source, which offers a practical solution, especially in remote locations. This study aims to design and build a prototype SMEB equipped with an integrated inverter, develop an efficient automatic battery-charging system powered by various sources (the PLN electricity grid, PV, and an alternator), and implement a reliable Automatic Transfer Switch (ATS) to ensure a continuous electricity supply. The main contribution of this study is the creation of a portable, efficient SMEB prototype with plug-and-play charging capabilities from various sources, including alternators. This system is designed to operate independently (stand-alone) and provides a practical solution to electricity supply problems.

Keywords: Battery Energy Storage System (SMEB), Integrated Inverter, Battery Charging, Alternator, Automatic Power Source Switching, Microgrid

Received: 30 September 2025; **Presented:** 9 October 2025; **Publication:** 9 March 2026

DOI: <https://doi.org/10.71452/3nkpw914>

PENDAHULUAN

Lancarnya pasokan energi listrik di Kampung Cijaksa, Desa Karangmekar, Kecamatan Cimanggu, Jampang Kulon, Sukabumi, masih menjadi tantangan. Hal ini terbukti dengan seringnya pemadaman aliran listrik antara 1 dan 5 jam. Meningkatnya kebutuhan listrik di Kabupaten Sukabumi rata-rata 10,69% per tahun [1]. Kualitas jaringan listrik (*grid*) yang tidak mampu melayani kebutuhan listrik merupakan salah satu penyebabnya. Kesadaran akan keberlanjutan lingkungan dapat mendorong untuk menciptakan terobosan, sistem pembangkit listrik yang efisien dan lestari, demi masa depan yang lebih hijau. Sistem Penyimpanan Energi Baterai (SMEB) menjadi salah satu solusi yang menjanjikan, dan semakin menarik, terutama untuk aplikasi residensial dan komersial skala kecil hingga menengah. Kemampuan SMEB dalam menyimpan energi memungkinkan pemanfaatan sumber energi terbarukan secara optimal dan menyediakan daya cadangan yang krusial saat terjadi gangguan pada sumber listrik utama.

Integrasi SMEB dengan inverter menjadi esensial untuk mengkonversi daya searah (DC) dari baterai menjadi daya bolak-balik (AC) yang sesuai dengan kebutuhan peralatan listrik. Lebih lanjut, sistem pengisian baterai yang efisien dan peralihan sumber listrik otomatis antara baterai dan sumber listrik lain (seperti jaringan listrik atau sumber energi terbarukan)

merupakan aspek penting untuk menjamin kehandalan dan efisiensi operasional sistem secara keseluruhan. Baterai sebagai komponen krusial dalam sistem ini, menawarkan solusi penyimpanan energi yang fleksibel dan handal, khususnya untuk mengatasi *intermitensi* sumber energi terbarukan seperti *fotovoltaik* (PV) [2], [3], [4]. Integrasi sistem PV dengan penyimpanan baterai telah terbukti meningkatkan stabilitas dan kehandalan pasokan listrik, baik untuk sistem yang terhubung dengan jaringan listrik maupun sistem *stand-alone* [2], [3], [5], [6], [7], [8]. Sistem tersebut pada umumnya dipasang secara *fixed installation*, sesuai kebutuhan yang terbatas, sehingga memerlukan perancangan lebih lanjut untuk menggunakan sistem yang lainnya.

Pengembangan inverter menjadi inti dalam menyediakan cadangan listrik PLN dalam SMEB, terutama untuk mengonversi daya DC dari baterai menjadi daya AC yang sesuai dengan kebutuhan beban atau jaringan [9], [10]. Inverter multifungsi atau *multiport* semakin menarik perhatian karena kemampuannya untuk mengelola berbagai sumber energi (misalnya, PV dan baterai) secara efisien melalui satu platform konversi daya [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17]. Selain itu, kemampuan pengisian baterai yang terintegrasi dalam sistem inverter menjadi fitur penting untuk optimalisasi pengelolaan energi. Desain ini tidak hanya menyederhanakan topologi sistem tetapi juga memungkinkan pengisian baterai

yang efisien dari berbagai sumber [18], [19], [20], [21]. Dari tinjauan literatur yang ada, penggunaan alternator sebagai sumber pengisian baterai pada sistem SMEB belum ada yang membahasnya.

Meskipun demikian, kompleksitas dalam pengelolaan daya, sistem pengisian baterai dan peralihan sumber listrik otomatis pada SMEB masih menjadi tantangan. Sistem perlu mampu beralih secara mulus antara sumber daya yang berbeda (misalnya, baterai, jaringan listrik, PV, atau sumber yang lainnya) untuk memastikan pasokan listrik yang tidak terputus dan efisiensi energi yang maksimal [2], [22], [23]. Oleh karena itu, penelitian mengenai rancang bangun Sistem Penyimpanan Energi Baterai yang dilengkapi dengan inverter terintegrasi, kemampuan pengisian baterai yang fleksibel, dan sistem peralihan sumber listrik yang bekerja secara otomatis menjadi sangat relevan untuk dilakukan. Penelitian ini difokuskan pada implementasi fisik dari SMEB, termasuk pemilihan komponen inverter dan sistem kontrol yang sesuai, perancangan sistem pengisian baterai yang efisien dari berbagai sumber, dan pengembangan mekanisme peralihan sumber listrik yang otomatis dan handal.

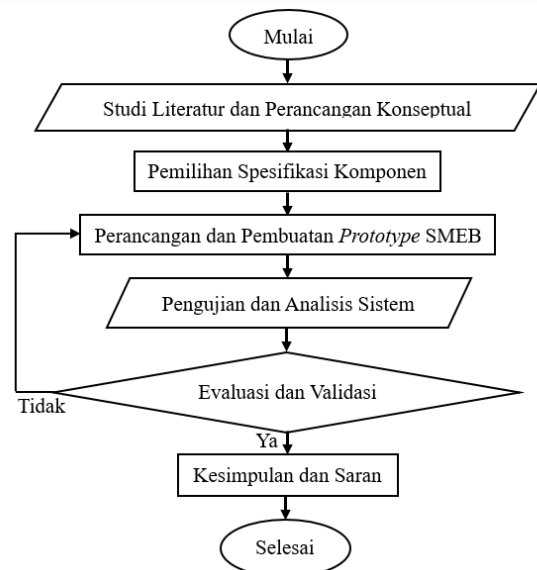
Kontribusi utama dari penelitian ini dapat memberikan *prototype* SMEB yang memiliki kemampuan integrasi pengisian daya dan peralihan sumber listrik secara otomatis. Sistem ini juga memberikan wawasan praktis mengenai tantangan dan solusi dalam implementasi penggunaan sumber listrik alternatif bagi masyarakat. Lebih dari itu, penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam menciptakan sistem energi yang mandiri, handal, dan efisien.

METODOLOGI

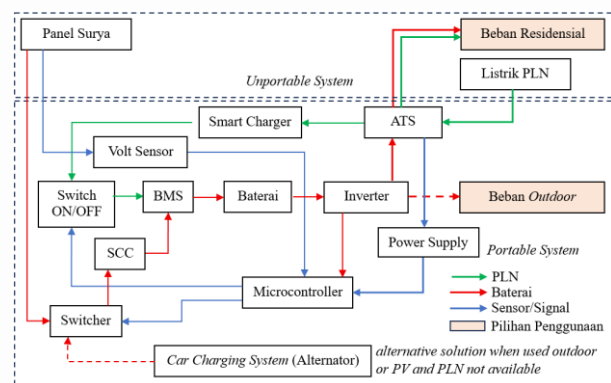
Penelitian ini menggunakan pendekatan Eksperimental dan Pengembangan (*Research and Development - R&D*). Pendekatan ini dipilih karena fokus penelitian adalah pada perancangan, pembangunan, dan pengujian sebuah *prototipe* sistem SMEB yang terintegrasi.

Tahapan Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan melalui lima tahapan utama yang saling berkesinambungan, diilustrasikan pada Gambar 1. Tahapan-tahapan tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Proses Penelitian



Gambar 2. Arsitektur SMEB

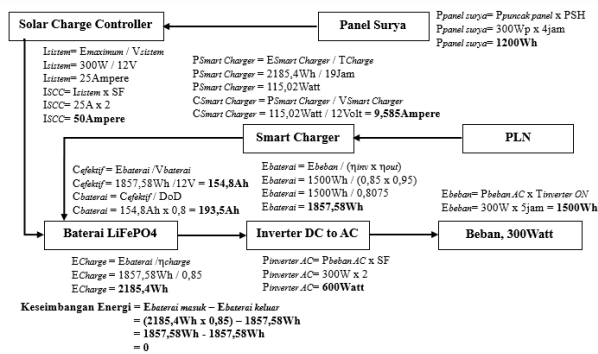
Studi Literatur dan Perancangan Konseptual

Melakukan penelusuran literatur secara komprehensif dan mendalam mengenai Sistem Penyimpanan Energi Baterai (SMEB), berbagai teknologi inverter (khususnya inverter multifungsi/multiport), sistem pengisian baterai (termasuk implementasi penggunaan alternator), dan mekanisme peralihan sumber listrik otomatis. Studi ini bertujuan untuk memahami prinsip kerja, teknologi terkini, tantangan, dan solusi yang telah ada.

Berdasarkan hasil studi literatur, dapat dirumuskan arsitektur sistem SMEB secara keseluruhan sesuai Gambar. 2 Arsitektur SMEB.

Pemilihan Spesifikasi Komponen

Menentukan spesifikasi teknis secara rinci untuk setiap komponen yang dipilih. Ini mencakup pertimbangan daya (Watt), tegangan (Volt), arus (Ampere), dan efisiensi yang dibutuhkan, berdasarkan perhitungan keseimbangan energi sesuai Gambar 3, untuk memastikan sistem dapat beroperasi sesuai tujuan dan ketersediaan komponen di pasaran.



Gambar 3. Diagram Keseimbangan Energi SMEB



Gambar 4. Desain Prototype SMEB

Perancangan dan Pembuatan *Prototype* SMEB

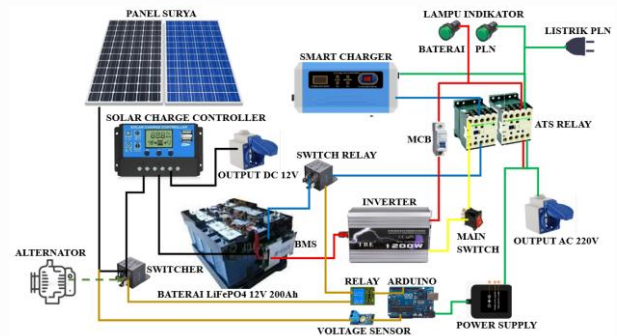
Tahap ini fokus pada realisasi fisik dari desain sistem. Aktivitas yang dilakukan adalah mendesain skematik dan tata letak rangkaian elektronika untuk modul inverter, sistem pengisian baterai (termasuk sirkuit khusus untuk integrasi alternator), dan unit kontrol berbasis mikrokontroler sesuai Gambar 4.

Melakukan perakitan fisik *prototipe* SMEB. Ini mencakup instalasi dan pengkabelan baterai, inverter, panel kontrol, serta koneksi ke berbagai sumber listrik yang akan digunakan (jaringan listrik PLN, PV, dan alternator) sesuai Gambar 5.

Pengembangan perangkat lunak merupakan bagian integral untuk mengelola dan mengotomatisasi operasi sistem. Merancang dan mengembangkan algoritma kontrol untuk fungsi-fungsi utama seperti kontrol inverter, manajemen pengisian baterai (termasuk algoritma untuk pengisian optimal dari *photovoltaic*, alternator dan listrik PLN), serta logika peralihan sumber listrik otomatis yang dilakukan secara mulus dan singkat.

Melakukan pemrograman pada mikrokontroler yang telah dipilih untuk mengimplementasikan algoritma kontrol yang telah dirancang. Proses ini melibatkan penulisan kode, *debugging*, dan optimasi

untuk memastikan respon sistem yang cepat dan akurat, seperti Gambar 6.



Gambar 5. Wiring Diagram SMEB



Gambar 6. Algoritma dan Program Mikrokontroler

Pengujian dan Analisis Sistem

Setelah perangkat keras dan perangkat lunak selesai diimplementasikan pada *prototype* SMEB, tahap selanjutnya adalah pengujian untuk memvalidasi fungsionalitas dan kinerja sistem. Langkah-langkah yang dilakukan:

- Melakukan serangkaian pengujian fungsional untuk setiap modul sistem secara terpisah, yaitu modul inverter, pengisi baterai, dan mekanisme peralihan sumber. Ini bertujuan untuk memastikan setiap modul bekerja sesuai desain.
- Menguji kinerja sistem SMEB secara keseluruhan dalam berbagai skenario operasional. Skenario ini mencakup pengujian pengisian baterai dari berbagai sumber (listrik PLN, *fotovoltaik*, alternator), konversi daya DC ke AC di bawah beban yang bervariasi, dan respons peralihan sumber listrik otomatis saat terjadi perubahan atau gangguan pada sumber utama.
- Melakukan pengukuran parameter-parameter kunci kinerja sistem, seperti efisiensi konversi daya inverter, stabilitas tegangan dan arus keluaran inverter, serta efisiensi pengisian baterai dari masing-masing sumber.

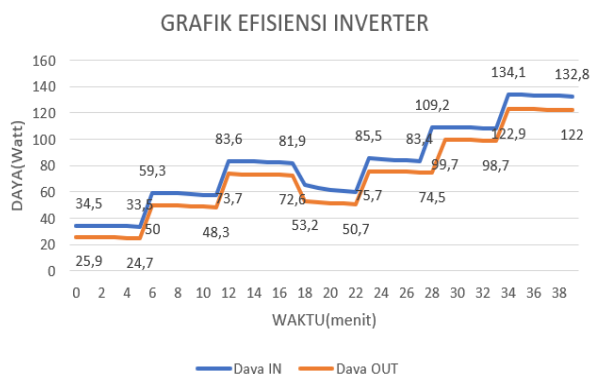
Evaluasi dan Validasi

Tahap terakhir ini melibatkan peninjauan kembali hasil dan optimasi sistem. Aktivitas yang dilakukan yaitu:

- Mengevaluasi secara menyeluruh hasil pengujian terhadap tujuan penelitian yang telah ditetapkan. Apakah sistem telah memenuhi semua kriteria kinerja yang diharapkan?
- Menganalisis data yang terkumpul dari pengujian untuk mengidentifikasi potensi perbaikan pada desain atau implementasi, serta untuk memvalidasi kinerja sistem secara keseluruhan pada SMEB terhadap spesifikasi dan tujuan yang telah ditetapkan.
- Berdasarkan hasil analisis dan evaluasi, melakukan validasi dan perbaikan pada desain perangkat keras maupun perangkat lunak sistem. Ini bisa berupa penyesuaian komponen, optimasi algoritma kontrol, atau perbaikan tata letak.
- Mendokumentasikan secara lengkap seluruh proses perancangan, implementasi, pengujian, dan hasil yang diperoleh selama penelitian. Dokumentasi ini akan menjadi dasar laporan tesis dan panduan untuk pengembangan lebih lanjut.

HASIL DAN DISKUSI

Pengujian kinerja sistem secara keseluruhan dilakukan dalam berbagai skenario operasional dengan menganalisis hasil pengujian menggunakan alat ukur melalui sensor PZEM 017 (DC) Modbus, dan PZEM004T (AC) Modbus dengan konverter RS-485. Akuisisi data didapatkan melalui aplikasi Modbus Poll. Efisiensi konversi daya inverter dari DC ke AC, merupakan data hasil pengukuran energi baterai yang digunakan ($E_{Discharge}$). Gambar 7 menampilkan data hasil pengukuran daya inverter pada kondisi beban bervariasi antara 25 watt sampai dengan 125 watt dengan interval 6 menit per beban.



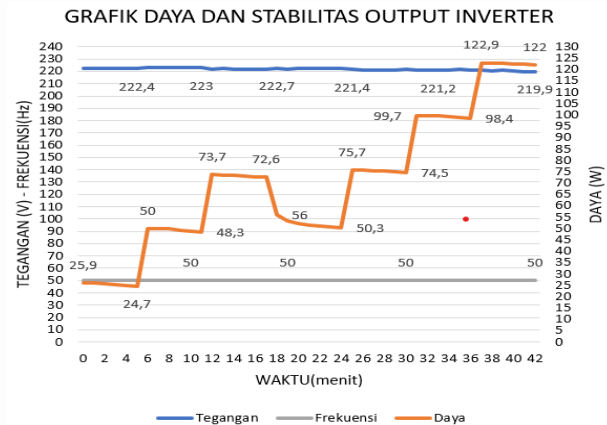
Gambar 7. Efisiensi Inverter

Berdasarkan pada Gambar 3.1. Efisiensi inverter dalam %, dapat dihitung sebagai berikut:

$$\eta_{Inverter} = \frac{\sum \text{Daya OUT}}{\sum \text{Daya IN}} \times 100\%$$

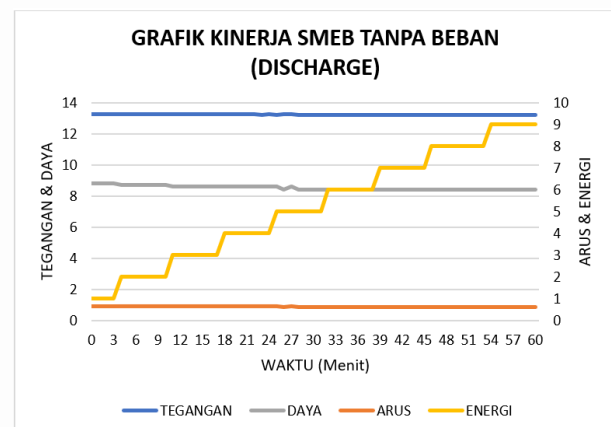
$$= \frac{2830 \text{ Watt}}{3239 \text{ Watt}} \times 100\% \\ = 87,37 \%$$

Kestabilan output dari inverter terhadap beban bervariasi dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Stabilitas Output Inverter

Berdasarkan data tersebut, dalam kondisi beban bervariasi, tegangan keluaran AC dipertahankan pada 219,9–222,4 V, masih pada kriteria standar kualitas daya ($220 \text{ V} \pm 5\%$), dan frekuensi pada $50 \text{ Hz} \pm 0,1\%$, menunjukkan stabilitas yang baik. Kinerja SMEB diukur berdasarkan beban pada 0 watt dan 300 watt. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 9. Discharge Beban Output Inverter 0Watt

Berdasarkan pada Gambar 9 tersebut $P_{Inverter}$ sebesar 8,8Watt, $V_{Inverter}$ sebesar 13,25Volt dan $I_{Inverter}$ sebesar 0,67Ampere, dengan $T_{Inverter}$ selama 1jam, maka $E_{Discharge}$ pada kondisi ini, dapat dihitung sebagai berikut:

$$E_{Discharge} = E_{Inverter}$$

$$E_{Inverter} = P_{Inverter} \times T_{Inverter}$$

$$= 8,8\text{Watt} \times 1\text{jam} = \mathbf{9\text{Wh}}$$

Berdasarkan data dari spesifikasi baterai LiFePO4 12Volt 200Ah dengan *DoD* 0,8 atau 80%, maka energi baterai yang tersimpan (E_{Baterai}) dapat dihitung sebagai berikut:

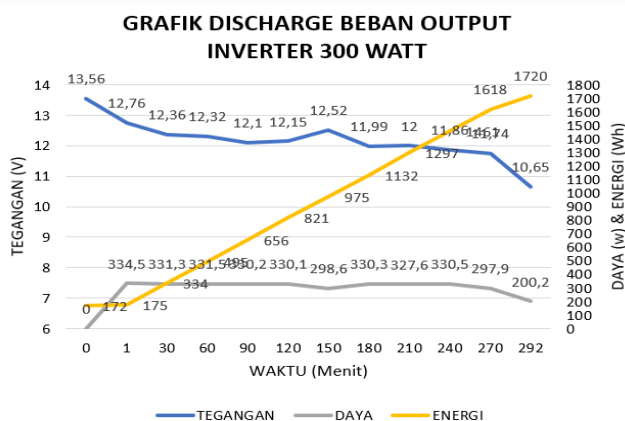
$$\begin{aligned} E_{\text{Baterai}} &= (V_{\text{Baterai}} \times C_{\text{Baterai}}) \times \text{DoD} \\ &= (12\text{Volt} \times 200\text{Ah}) \times 0,8 \\ &= (2.400\text{VAh}) \times 0,8 \\ &= 1.920\text{VAh} \text{ atau } \mathbf{1920\text{Wh}} \end{aligned}$$

Efisiensi regulator (BMS) untuk mengamankan baterai dari *Over Discharge*, yaitu sebesar 90%, maka energi baterai yang dapat digunakan sebesar:

$$\begin{aligned} E_{\text{Baterai}} &= E_{\text{Baterai}} \times \eta_{\text{Regulator}} \\ &= 1920\text{Wh} \times 0,9 \\ &= \mathbf{1728\text{Wh}} \end{aligned}$$

Maka dapat dihitung waktu pengosongan baterai ($T_{\text{Discharge}}$) tanpa beban sebagai berikut:

$$\begin{aligned} T_{\text{Discharge}} &= \frac{E_{\text{Baterai}}}{E_{\text{Discharge}}} \\ &= \frac{1728\text{Wh}}{9\text{Wh}} \\ &= \mathbf{192\text{ jam atau } 11.520\text{ menit.}} \end{aligned}$$



Gambar 10. Discharge Beban Output Inverter 300Watt

Berdasarkan pada Gambar 10 tersebut P_{Inverter} sebesar 334,5Watt pada awal dinyalakan, menurun sampai dengan 200,2Watt, V_{Inverter} sebesar 12,26Volt pada awal diberikan beban menurun sampai dengan 10,65Volt, dan I_{Inverter} sebesar 23,3Ampere, dengan T_{Inverter} selama 292 menit atau 4,87 jam, $E_{\text{Discharge}}$ sebesar 1720 Wh. Maka efisiensi pengosongan baterai dapat dihitung sebagai berikut:

$$\eta_{\text{Discharge}} = \frac{E_{\text{Discharge Hasil Ukur}}}{E_{\text{Baterai}}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1720\text{Wh}}{1728\text{Wh}} \times 100\% \\ &= \mathbf{99,5\%} \end{aligned}$$

Efisiensi waktu pengosongan baterai dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \eta_{T \text{ Discharge}} &= \frac{T_{\text{Discharge Hasil Ukur}}}{T_{\text{Discharge}}} \times 100\% \\ &= \frac{292\text{menit}}{300\text{menit}} \times 100\% \\ &= \mathbf{97,33\%} \end{aligned}$$

KESIMPULAN

Sistem Manajemen Energi Baterai Otomatis Untuk Cadangan Listrik Rumah Dengan Kapasitas 300watt telah **Berhasil** dirancang dan dibangun. Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan arsitektur SMEB yang mengintegrasikan inverter 1200 watt. Inverter yang dikembangkan mampu mengonversi daya DC dari baterai menjadi daya AC *pure sine wave* 220 V/50 Hz dengan efisiensi rata-rata 87,37% pada beban optimal. Tegangan keluaran AC dipertahankan pada 219,9–222,4 V, masih pada kriteria standar kualitas daya (220 V $\pm$ 5%), dan frekuensi pada 50 Hz $\pm$ 0,1%, menunjukkan stabilitas yang baik. Desain perangkat keras meliputi rangkaian BMS dan SCC dengan kontrol PWM dan sirkuit proteksi *over-voltage*, *under-voltage*, *over-current*, dan *over-temperature*, memastikan operasi yang aman dan stabil, hal ini terbukti dengan proses pengosongan baterai dari 1920Wh energi yang tersimpan pada baterai hanya 1728Wh yang dapat digunakan untuk sistem, sehingga dalam kondisi SOC 100% untuk beban output 300Watt dapat dilayani baterai selama 292 menit atau 4,87 jam, dengan efisiensi waktu sekitar **97,33 %** dari waktu yang direncanakan, dan efisiensi energi sekitar **99,5 %** dari total energi yang disimpan baterai, hal ini terjadi pada saat proses pengosongan kondisi baterai tidak dalam kondisi SOC 100%.

Mekanisme peralihan sumber listrik otomatis dan andal berhasil diimplementasikan. Sistem telah berhasil mengimplementasikan logika peralihan sumber listrik otomatis menggunakan kontaktor relay magnetik dengan memanfaatkan kontak *normally open* dan *normally closed*. Logika ini memprioritaskan sumber daya dan mampu mendeteksi kehilangan daya, kemudian beralih ke sumber cadangan waktu transisi yang cepat ini memastikan pasokan listrik yang tidak terputus (*seamless transition*) bagi beban. Mikrokontroler Arduino Uno R3 dan Solid State Relay (SSR). Algoritma serta optimasinya mampu mendeteksi sumber energi yang dapat mengisi baterai, sehingga dapat memilih sumber yang paling sesuai dan beralih secara otomatis dengan mulus.

Secara keseluruhan, *prototipe* SMEB multifungsi yang dikembangkan dalam penelitian ini terbukti efektif dan fungsional sesuai dengan rumusan masalah yang diajukan, menawarkan solusi daya cadangan yang komprehensif dan adaptif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang tulus kepada Bapak Dr. Ir. Muki Satya Permana, M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah meluangkan waktu, memberikan bimbingan, arahan, dan motivasi yang tak terhingga mulai dari awal hingga akhir dalam penelitian ini. Kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Hery Sonawan, M.T, selaku

Dosen Pembimbing Pendamping yang telah memberikan masukan, saran, dan dukungan yang konstruktif demi kesempurnaan penelitian ini.

KONTRIBUSI PENULIS

Penulis kesatu berkontribusi dalam menulis original paper, pengambilan data, pengolahan data, membuat gambar, menganalisis, menyusun metode, setup peralatan pengujian, pengukuran. Penulis kedua dan ketiga berkontribusi dalam memberikan arahan dan bimbingan serta mereview karya tulis ini.

DANA PENELITIAN

Penelitian ini telah didanai oleh pribadi penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rosyanti, D. (2020). *Analisis Kebutuhan Energi Listrik Tahun 2019-2029 Menggunakan Metode Gabungan (Studi Kasus Di PT. PLN (Persero) UP3 Sukabumi)* (Doctoral dissertation, Universitas Negeri Jakarta).
- [2] S. Kumar and B. Singh, "Self-Normalized-Estimator-Based Control for Power Management in Residential Grid Synchronized PV-BES Microgrid," *IEEE Trans Industr Inform*, vol. 15, no. 8, pp. 4764–4774, Mar. 2019, doi: 10.1109/tii.2019.2907750.
- [3] G. A. Preeti and A. Karthikeyan, "Finite control set model predictive control of three-port converter for interfacing a PV-battery energy storage system to a three-phase stand-alone AC system," *Clean Energy*, vol. 8, no. 2, pp. 73–84, Apr. 2024, doi: 10.1093/ce/zkae006.
- [4] *Proceedings, IECON 2018-44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society : Omni Shoreham Hotel, Washington DC, Washington D.C., United States of America, 20-23 October, 2018*. IEEE, 2018.
- [5] N. M. Nor, A. Ali, T. Ibrahim, and M. F. Romlie, "Battery Storage for the Utility-Scale Distributed Photovoltaic Generations," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 1137–1154, Nov. 2017, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2778004.
- [6] S. Kumar and B. Singh, "Seamless Operation and Control of Single-Phase Hybrid PV-BES-Utility Synchronized System," *IEEE Trans Ind Appl*, vol. 55, no. 2, pp. 1072–1082, Mar. 2019, doi: 10.1109/TIA.2018.2876640.
- [7] M. K. Senapati, C. Pradhan, S. R. Samantaray, and P. K. Nayak, "Improved power management control strategy for renewable energy-based DC micro-grid with energy storage integration," *IET Generation, Transmission and Distribution*, vol. 13, no. 6, pp. 838–849, 2019, doi: 10.1049/iet-gtd.2018.5019.
- [8] S. Khanal, B. R. Bhattarai, and N. Dahal, "A Model Predictive Power Control Scheme for PV Inverter and Battery Energy Storage System for a Microgrid," *Journal homepage: Journal of Engineering and Sciences (nepjol.info) Publisher: Research Management Cell*, vol. 2.
- [9] Syururi, M. A., Kaloko, B. S., & Cahyadi, W. (2022). Design and Build a 600 Watt Inverter With Sinusoidal Pulse Width Modulation Method. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 19(3),".
- [10] S. S. Lee, A. S. T. Tan, D. Ishak, and R. Mohd-Mokhtar, "Single-phase simplified split-source inverter (S3I) for Boost DC-AC Power Conversion," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 66, no. 10, pp. 7643–7652, Oct. 2019, doi: 10.1109/TIE.2018.2886801.
- [11] J. Wang, K. Sun, D. Zhou, and Y. Li, "Virtual SVPWM-Based Flexible Power Control for Dual-DC-Port DC-AC Converters in PV-Battery Hybrid Systems," *IEEE Trans Power Electron*, vol. 36, no. 10, pp. 11431–11443, Oct. 2021, doi: 10.1109/TPEL.2021.3074059.
- [12] Z. Huang, D. Zhou, Z. Shen, and J. Zou, "A Family of Single-Stage Multiport Inverters for Hybrid Renewable Energy Generation," in *PEAS 2023 - 2023 IEEE 2nd International Power Electronics and Application Symposium, Conference Proceedings*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2023, pp. 1342–1347. doi: 10.1109/PEAS58692.2023.10394766.
- [13] S. Kurm and V. Agarwal, "Current fed dual active bridge based multi-port DC/AC converter for standalone solar PV fed systems with battery backup," in *9th IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems, PEDES 2020*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Dec. 2020. doi: 10.1109/PEDES49360.2020.9379447.

- [14] C. Perera, J. Salmon, and G. Kish, "Multiport converter with enhanced port utilization using multitasking dual inverters," *IEEE Open Journal of Power Electronics*, vol. 2, pp. 511–522, 2021, doi: 10.1109/OJPEL.2021.3109098.
- [15] J. Hong, J. Yin, Y. Liu, J. Peng, and H. Jiang, "Energy Management and Control Strategy of Photovoltaic/Battery Hybrid Distributed Power Generation Systems with an Integrated Three-Port Power Converter," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 82838–82847, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2923458.
- [16] S. Neira, J. Pereda, and F. Rojas, "Three-Port Full-Bridge Bidirectional Converter for Hybrid DC/DC/AC Systems," *IEEE Trans Power Electron*, vol. 35, no. 12, pp. 13077–13084, Dec. 2020, doi: 10.1109/TPEL.2020.2990667.
- [17] L. Liu, D. Zhou, Y. Wan, and J. Zou, "Unified Coordination Control of MPPT and Frequency Support for Single-Stage Multiport Inverter-Connected PV-ESS Hybrid Systems," *IEEE J Emerg Sel Top Power Electron*, vol. 13, no. 1, pp. 1041–1052, Feb. 2025, doi: 10.1109/JESTPE.2024.3474729.
- [18] *2019 21st European Conference on Power Electronics and Applications (EPE '19 ECCE Europe)*. IEEE, 2019.
- [19] S. Foti, A. Testa, G. Scelba, S. De Caro, and L. D. Tornello, "A V2G Integrated Battery Charger Based on an Open End Winding Multilevel Configuration," *IEEE Open Journal of Industry Applications*, vol. 1, pp. 216–226, 2020, doi: 10.1109/OJIA.2020.3035851.
- [20] A. Diouri, M. Khafallah, A. Hassoune, and M. A. Meskini, "Bi-directional Battery Charging/Discharging Converter for Grid Integration: A Step Towards Power Quality and Efficient Energy Management in Electric Vehicles," in *E3S Web of Conferences*, EDP Sciences, Dec. 2023. doi: 10.1051/e3sconf/202346900053.
- [21] *ECCE 2018, 10th anniversary: IEEE Energy Conversion Congress & Expo : Portland, Oregon, Sept. 23-27*. IEEE, 2018.
- [22] Z. Tang, A. Sangwongwanich, and F. Blaabjerg, "Flexible Power Control for Stand-alone Interlinking Converter in PV and Storage System Application," in *2022 IEEE 13th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems, PEDG 2022*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2022. doi: 10.1109/PEDG54999.2022.9923253.
- [23] L. Liu, D. Zhou, and J. Zou, "A Flexible Power Allocation Strategy for Dual-DC-Port Inverter-Connected PV-Battery Hybrid Systems," in *IECON Proceedings (Industrial Electronics Conference)*, IEEE Computer Society, 2023. doi: 10.1109/IECON51785.2023.10311663.