

RANCANG BANGUN DAN PENGUJIAN SISTEM PENGISIAN SERTA PENGOSONGAN BATERAI JENIS LI – ION DAN LEAD – ACID DENGAN SUMBER PLTS

DESIGN AND TESTING OF CHARGING SYSTEM AND DISCHARGE OF LI-ION AND LEAD-ACID BATTERIES WITH A LEAD-ACID WITH PLTS SOURCE

Deny Ahmad Fadilla^{*1}, Dery Matthew², Raihan Alfarizi³

¹Program Studi Teknik Listrik, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Medan

^{2,3}Program Studi Teknologi Rekayasa Instalasi Listrik, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Medan

Email: denyahmadfadilla@students.polmed.ac.id

Abstract

As global energy demand increases and awareness of the environmental impacts of fossil fuels grows, the development of renewable energy sources such as Solar Power Plants (PLTS) becomes crucial. However, the intermittent nature of solar energy requires efficient energy storage systems. Batteries, specifically Lithium Ion (Li-Ion) and Lead Acid types, become vital components in optimizing the utilization of solar energy. This research aims to design, build, and test the charging and discharging systems for Li-Ion and Lead Acid batteries using PLTS as the source, to gain a deep understanding of the characteristics of both types of batteries and to develop a system that can optimize their performance. The integration of power electronics technology and control systems will be implemented to enhance system efficiency. Based on testing and analysis, Li-Ion batteries show significant advantages over Lead Acid batteries for PLTS applications. Li-Ion has higher charging efficiency, greater depth of discharge, longer cycle life, faster charging times, and higher energy density. Li-Ion also performs more stably at high temperatures and, despite the higher initial cost, offers better economic value in the long term due to lower cost per cycle. This research is expected to make a significant contribution to the development of renewable energy storage technology, particularly in PLTS applications. The findings from this study can serve as a reference for practitioners and researchers in selecting and optimizing battery systems for future renewable energy applications.

Keyword: PLTS, Li – Ion batteries, Lead – Acid batteries, charging system, discharging system

Abstrak

Seiring meningkatnya kebutuhan energi global dan kesadaran akan dampak lingkungan dari bahan bakar fosil, pengembangan sumber energi terbarukan seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menjadi krusial. Namun, sifat intermiten energi surya memerlukan sistem penyimpanan energi yang efisien. Baterai, khususnya jenis Li – Ion dan Lead – Acid, menjadi komponen vital dalam mengoptimalkan pemanfaatan energi surya. Penelitian ini bertujuan untuk merancang, membangun, dan menguji sistem pengisian serta pengosongan baterai jenis Li-Ion dan Lead Acid dengan sumber PLTS, guna memperoleh pemahaman mendalam tentang karakteristik kedua jenis baterai dan mengembangkan sistem yang dapat mengoptimalkan kinerja keduanya. Integrasi teknologi elektronika daya dan sistem kontrol akan diimplementasikan untuk meningkatkan efisiensi sistem. Berdasarkan pengujian dan analisis, baterai Li-Ion menunjukkan keunggulan signifikan dibandingkan Lead-Acid untuk aplikasi PLTS. Li-Ion memiliki efisiensi pengisian lebih tinggi, kedalaman pengosongan yang lebih besar, siklus hidup lebih panjang, waktu pengisian lebih cepat, dan densitas energi lebih tinggi. Li-Ion juga menunjukkan kinerja lebih stabil pada suhu tinggi dan, meskipun biaya awal lebih tinggi, menawarkan nilai ekonomi lebih baik dalam jangka panjang karena biaya per siklus yang lebih rendah. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan teknologi penyimpanan energi terbarukan, khususnya dalam aplikasi PLTS. Temuan-temuan dari penelitian ini dapat menjadi acuan bagi para praktisi dan peneliti dalam memilih dan mengoptimalkan sistem baterai untuk aplikasi energi terbarukan di masa depan.

Kata kunci : PLTS, baterai Li – Ion, baterai Lead – Acid, sistem pengisian, sistem pengosongan.

I. PENDAHULUAN

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi global dan kesadaran akan dampak lingkungan dari penggunaan bahan bakar fosil, pengembangan dan implementasi sumber energi terbarukan menjadi semakin penting. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu alternatif energi terbarukan yang menjanjikan, namun penggunaannya masih terkendala oleh sifat intermiten dari sinar matahari. Oleh karena itu, sistem penyimpanan energi yang efisien menjadi kunci dalam mengoptimalkan pemanfaatan energi surya. Baterai merupakan komponen vital dalam sistem PLTS, berfungsi untuk menyimpan kelebihan energi yang dihasilkan saat sinar matahari melimpah dan menyuplai listrik saat produksi energi surya berkurang atau tidak ada. Dua jenis baterai yang umum digunakan dalam aplikasi ini adalah baterai Li-Ion dan Lead Acid, masing-masing dengan karakteristik dan kelebihan tersendiri.

Baterai Li-Ion dikenal memiliki densitas energi yang tinggi, umur siklus yang panjang, dan efisiensi yang baik. Di sisi lain, baterai Lead Acid telah lama digunakan dalam berbagai aplikasi karena harganya yang relatif terjangkau dan ketahanannya. Namun, kedua jenis baterai ini memiliki karakteristik pengisian dan pengosongan yang berbeda, yang dapat mempengaruhi efisiensi keseluruhan sistem PLTS. Optimalisasi sistem pengisian dan pengosongan baterai menjadi sangat penting untuk memaksimalkan umur baterai, meningkatkan efisiensi energi, dan pada akhirnya mengurangi biaya operasional sistem PLTS. Sistem yang dirancang dengan baik harus mampu mengelola proses pengisian yang efisien dari sumber PLTS dan mengatur pengosongan yang optimal sesuai dengan kebutuhan beban. Selain itu, perkembangan teknologi dalam bidang elektronika daya dan sistem kontrol membuka peluang untuk merancang sistem pengisian dan pengosongan baterai yang lebih canggih dan efisien.

Integrasi teknologi ini dengan PLTS dan 2 baterai dapat menghasilkan sistem penyimpanan energi yang lebih handal dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang, membangun, dan menguji sistem pengisian serta pengosongan baterai jenis Li-Ion dan Lead Acid dengan sumber PLTS. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih mendalam tentang karakteristik kedua jenis baterai dalam konteks aplikasi PLTS, serta mengembangkan sistem yang dapat mengoptimalkan kinerja keduanya. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan teknologi penyimpanan energi terbarukan, khususnya dalam aplikasi PLTS. Selain itu, temuan-temuan dari penelitian ini dapat menjadi acuan bagi para praktisi dan peneliti dalam memilih dan mengoptimalkan sistem baterai untuk aplikasi energi terbarukan di masa depan.

Berdasarkan uraian masalah dari latar belakang diatas, maka dalam penelitian ini dapat dirumuskan masalah, antara lain :

- 1) Bagaimana merancang dan membangun sistem pengisian serta pengosongan baterai yang efisien untuk jenis Li-Ion dan Lead Acid dengan menggunakan sumber energi dari PLTS?
- 2) Bagaimana perbandingan kinerja antara baterai Li-Ion dan Lead Acid dalam hal efisiensi pengisian, kapasitas penyimpanan, dan laju pengosongan ketika diintegrasikan dengan sistem PLTS?
- 3) Sejauh mana faktor eksternal seperti variasi intensitas cahaya matahari dan suhu lingkungan mempengaruhi efisiensi sistem pengisian baterai pada PLTS?

Tujuan dari pembuatan penelitian ini adalah :

- 1) Merancang dan membangun sistem pengisian serta pengosongan baterai yang efisien untuk jenis Li - Ion dan Lead - Acid dengan menggunakan sumber energi dari PLTS.
- 2) Menganalisis dan membandingkan kinerja antara baterai Li - Ion dan Lead - Acid dalam hal efisiensi pengisian, kapasitas penyimpanan, dan laju pengosongan ketika diintegrasikan dengan sistem PLTS.
- 3) Mengevaluasi pengaruh faktor eksternal seperti variasi intensitas cahaya matahari dan suhu lingkungan terhadap efisiensi sistem pengisian baterai pada PLTS

II. LANDASAN TEORI

1. Pengertian Baterai dan Fungsinya

Baterai merupakan komponen penting dalam sistem penyimpanan energi, berfungsi untuk menyimpan dan menyediakan listrik saat diperlukan. Dalam konteks penelitian ini, dua jenis baterai yang dibahas adalah baterai Lithium-Ion (Li-Ion) dan Lead-Acid. Baterai Li-Ion dikenal karena densitas energinya yang tinggi, efisiensi pengisian yang baik, serta umur siklus yang panjang, menjadikannya pilihan ideal untuk aplikasi yang memerlukan pengisian cepat dan penggunaan yang intensif. Di sisi lain, baterai

Lead-Acid, meskipun memiliki kapasitas penyimpanan yang lebih rendah dan umur yang lebih pendek, masih banyak digunakan karena harganya yang lebih terjangkau dan kemudahan dalam perawatannya.



Gambar 1. Baterai Li – Ion dan Lead – Acid

2. Karakteristik Baterai Lithium-Ion

Baterai Lithium-Ion memiliki beberapa spesifikasi unggulan, termasuk densitas energi antara 200 hingga 300 Wh/kg dan siklus hidup yang dapat mencapai 2000 hingga 5000 siklus. Efisiensi pengisian baterai ini mencapai 95% hingga 98%, dan dapat beroperasi dengan baik pada suhu antara -20°C hingga 60°C. Selain itu, baterai Li-Ion memiliki kedalaman pengosongan yang lebih besar, yang memungkinkan penggunaannya hingga 85% dari kapasitas total tanpa merusak umur baterai. Karakteristik ini menjadikan baterai Li-Ion pilihan utama dalam banyak aplikasi modern, termasuk kendaraan listrik dan sistem penyimpanan energi terbarukan.

3. Karakteristik Baterai Lead-Acid

Sementara itu, baterai Lead-Acid memiliki densitas energi yang serupa tetapi cenderung memiliki siklus hidup yang lebih pendek dibandingkan dengan Li-Ion, dengan jumlah siklus pengisian sekitar 500 hingga 1000 kali. Meskipun efisiensinya juga tinggi, Lead-Acid biasanya hanya dapat digunakan hingga 50% dari kapasitasnya untuk menghindari kerusakan. Baterai ini lebih rentan terhadap fluktuasi suhu, tetapi keunggulannya terletak pada biaya awal yang lebih rendah dan kemudahan akses dalam berbagai aplikasi. Hal ini membuatnya masih relevan dalam banyak sistem penyimpanan energi, terutama di daerah dengan kebutuhan biaya yang lebih rendah.

4. Perbedaan Antara Baterai Li-Ion dan Lead-Acid

Dari perspektif biaya, baterai Lead-Acid lebih terjangkau, namun biaya total kepemilikan jangka panjang sering kali lebih tinggi untuk baterai ini karena umur pakainya yang lebih pendek dan kebutuhan pemeliharaan yang lebih intensif. Dalam hal siklus pengisian, baterai Li-Ion dapat diisi lebih cepat, yang menjadi keuntungan penting dalam aplikasi yang memerlukan pengisian cepat. Penggunaan yang tidak tepat pada baterai Lead-Acid dapat menyebabkan masalah seperti sulfatasi, yang dapat mengurangi performanya secara signifikan.

5. Aplikasi dan Integrasi dalam Sistem PLTS

Dalam konteks Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), penting untuk memilih baterai yang sesuai dengan karakteristik penyimpanan energi yang dibutuhkan. Baterai Li-Ion dan Lead-Acid memiliki kecocokan yang berbeda dalam aplikasi PLTS, terutama dalam hal efisiensi pengisian dan pengosongan. Penggunaan sistem pengisian yang efisien dapat meningkatkan umur baterai dan efisiensi energi secara keseluruhan. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada pengembangan dan pengujian sistem yang dapat mengoptimalkan penggunaan kedua jenis baterai dalam aplikasi PLTS.



Gambar 2. Panel Surya

6. Metode Pengisian dan Pengosongan

Metode pengisian dan pengosongan yang tepat sangat penting untuk memaksimalkan performa kedua jenis baterai. Penggunaan teknologi seperti Maximum Power Point Tracking (MPPT) dapat meningkatkan efisiensi pengisian pada baterai Li-Ion, sementara teknik pengelolaan beban yang baik diperlukan untuk baterai Lead-Acid untuk menghindari pengosongan yang berlebihan.

7. Faktor Eksternal yang Mempengaruhi Kinerja

Faktor eksternal seperti intensitas cahaya matahari dan suhu lingkungan juga berpengaruh besar terhadap kinerja sistem pengisian baterai. Variasi dalam intensitas sinar matahari dapat mempengaruhi jumlah energi yang disuplai ke baterai, sementara suhu ekstrem dapat mempengaruhi efisiensi pengisian dan umur baterai. Oleh karena itu, penting untuk melakukan analisis mendalam terhadap faktor-faktor ini dalam merancang sistem penyimpanan energi yang handal.

III. METODE PENELITIAN

Adapun metode yang dilakukan penulis dalam pembuatan Penelitian ini, antara lain :

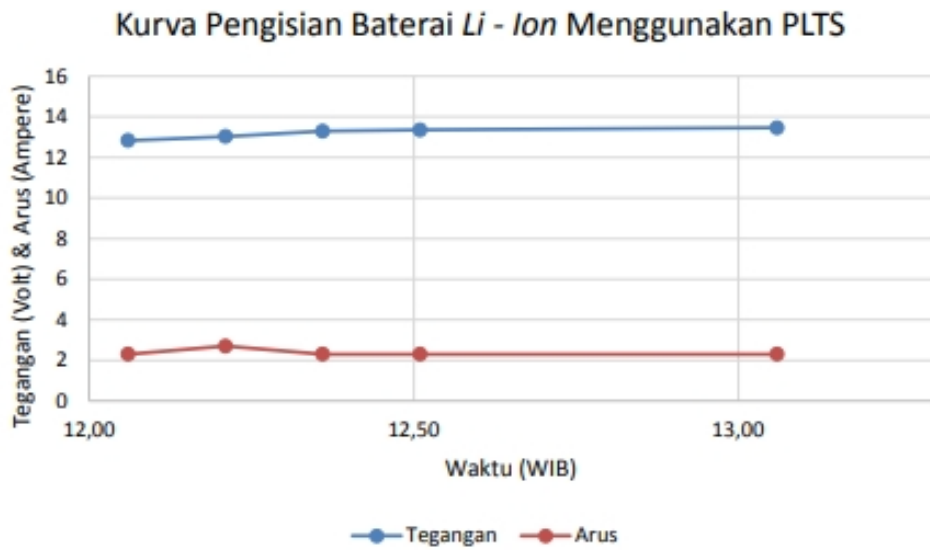
Metode penelitian ini dirancang untuk merancang, membangun, dan menguji sistem pengisian serta pengosongan baterai jenis Lithium-Ion dan Lead-Acid berbasis Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Proses dimulai dengan pengumpulan data melalui studi literatur dan penelitian terdahulu yang relevan, yang memberikan landasan teori untuk pengembangan sistem. Alat dan bahan yang digunakan meliputi komponen elektronik seperti panel surya, pengontrol pengisian, dan berbagai sensor untuk memantau kondisi baterai. Langkah-langkah perancangan mencakup pembuatan diagram blok sistem, deskripsi kerja alat, serta perencanaan beban dan lokasi pemasangan. Metode pengujian dilakukan dengan menganalisis kinerja sistem dalam hal efisiensi pengisian dan pengosongan, serta membandingkan hasil antara kedua jenis baterai dalam kondisi nyata.

Setelah sistem dibangun, pengujian dilakukan untuk mengevaluasi efisiensi pengisian dan pengosongan dalam berbagai kondisi, termasuk variasi intensitas cahaya matahari dan suhu lingkungan. Data yang diperoleh dari pengujian ini dianalisis untuk menilai kinerja baterai, baik secara individual maupun kolektif, serta untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas sistem. Metode pengolahan data mencakup analisis kuantitatif dan kualitatif, yang bertujuan untuk memberikan wawasan mendalam mengenai karakteristik dan kelebihan masing-masing jenis baterai, serta untuk mendukung rekomendasi dalam pengembangan sistem penyimpanan energi yang lebih efisien dan berkelanjutan di masa depan.

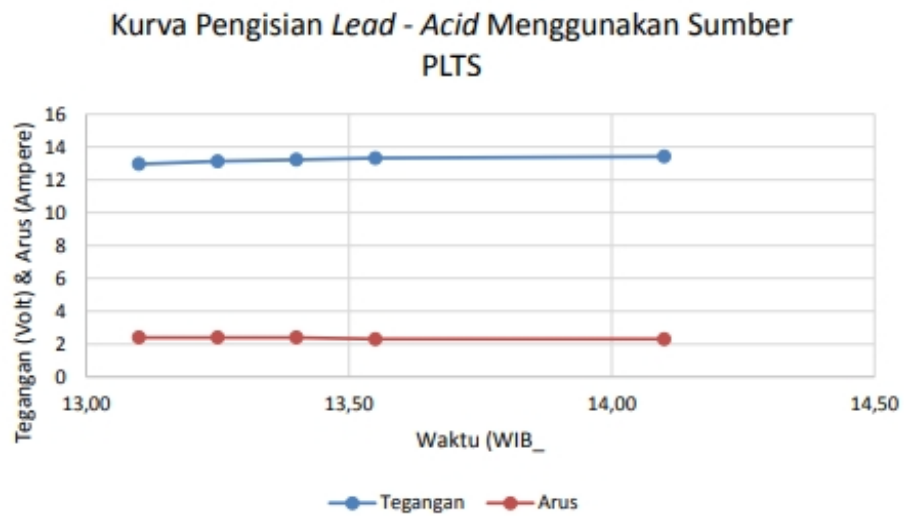
IV. HASIL DAN ANALISIS

1. Pengujian Kinerja Pengisian Baterai

Hasil pengujian menunjukkan bahwa baterai Lithium-Ion memiliki efisiensi pengisian yang lebih tinggi dibandingkan dengan baterai Lead-Acid. Pengisian baterai Li-Ion mencapai sekitar 95% hingga 98% dalam waktu yang lebih singkat, berkat teknologi pengisian yang lebih canggih dan kemampuan untuk menerima arus lebih tinggi. Sebaliknya, baterai Lead-Acid, meskipun lebih ekonomis, menunjukkan efisiensi pengisian sekitar 80% hingga 85%, dengan waktu pengisian yang lebih lama dan potensi kerusakan jika diisi secara berlebihan.



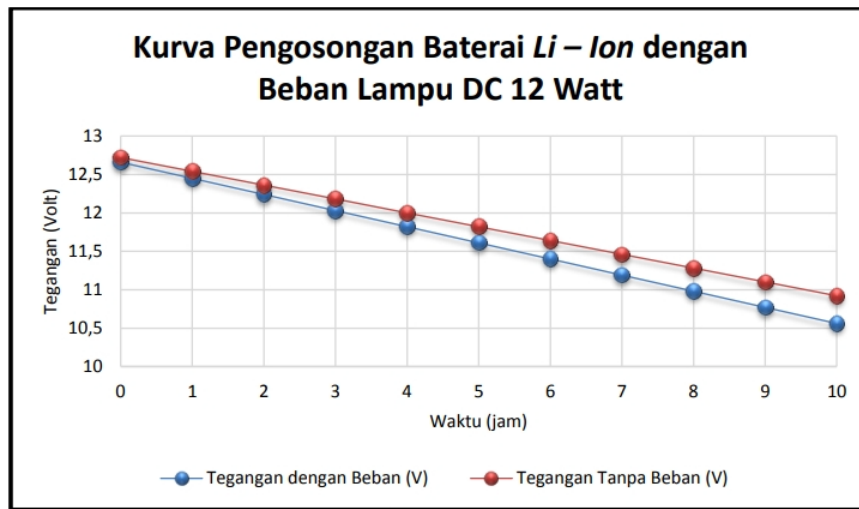
Gambar 3. Kurva hasil pengisian baterai dengan sumber PLN



Gambar 4. Kurva hasil pengisian baterai dengan sumber PLTS

2. Analisis Kedalaman Pengosongan

Kedalaman pengosongan menjadi faktor penting dalam menentukan kinerja baterai. Dalam pengujian, baterai Li-Ion dapat digunakan hingga 85% dari kapasitas total tanpa risiko kerusakan, sementara baterai Lead-Acid sebaiknya tidak melebihi 50% dari kapasitasnya untuk menjaga umur pakai. Hasil ini menunjukkan bahwa Li-Ion lebih unggul dalam hal fleksibilitas penggunaan energi, menjadikannya pilihan ideal untuk aplikasi yang memerlukan penyimpanan energi intensif.



Gambar 5. Kurva hasil pengosongan baterai

3. Perbandingan Siklus Hidup

Siklus hidup kedua jenis baterai juga dianalisis, di mana baterai Lithium-Ion menunjukkan umur siklus yang lebih panjang, mencapai hingga 2000 hingga 5000 siklus, tergantung pada kondisi penggunaan dan perawatan. Di sisi lain, baterai Lead-Acid hanya mampu bertahan sekitar 500 hingga 1000 siklus. Temuan ini menunjukkan bahwa, meskipun biaya awal baterai Li-Ion lebih tinggi, investasi tersebut dapat lebih ekonomis dalam jangka panjang karena kebutuhan penggantian yang lebih sedikit.

4. Pengaruh Suhu Terhadap Kinerja

Faktor suhu juga berperan dalam kinerja pengisian dan pengosongan baterai. Pengujian menunjukkan bahwa baterai Li-Ion tetap stabil pada suhu tinggi, dengan efisiensi yang tidak terpengaruh secara signifikan dalam rentang suhu yang lebih luas. Sebaliknya, baterai Lead-Acid mengalami penurunan efisiensi pada suhu ekstrem, yang dapat mengakibatkan kerusakan jika tidak dikelola dengan baik. Ini menyoroti pentingnya mempertimbangkan kondisi lingkungan dalam aplikasi nyata.

5. Evaluasi Pembebanan Daya

Hasil dari pengujian pembebanan daya menunjukkan bahwa baterai Li-Ion memberikan daya yang lebih konsisten dan stabil dibandingkan dengan Lead-Acid. Ketika diuji dengan beban DC 12 watt, Li-Ion mampu memberikan performa yang lebih baik dengan penurunan tegangan yang minimal, sedangkan Lead-Acid menunjukkan penurunan tegangan yang lebih cepat. Hal ini mengindikasikan bahwa baterai Li-Ion lebih cocok untuk aplikasi yang memerlukan kestabilan daya dalam waktu yang lama.

6. Efisiensi Sistem Secara Keseluruhan

Analisis keseluruhan menunjukkan bahwa sistem yang menggunakan baterai Lithium-Ion dengan pengontrol pengisian yang tepat dapat mencapai efisiensi energi yang lebih tinggi dalam integrasi dengan sistem PLTS. Penggunaan algoritma Maximum Power Point Tracking (MPPT) selama pengisian meningkatkan efisiensi dengan memaksimalkan energi yang diserap dari panel surya. Ini memberikan keuntungan signifikan dalam hal penghematan biaya operasional dan peningkatan kinerja sistem secara keseluruhan.



Gambar 6. MPPT

V. SIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan membangun sistem pengisian serta pengosongan baterai yang efisien untuk jenis Lithium-Ion dan Lead-Acid dengan memanfaatkan sumber energi dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Integrasi dengan PLTS memungkinkan optimalisasi pemanfaatan energi surya dalam pengisian baterai, dan hasil penelitian menunjukkan perbedaan kinerja yang signifikan antara kedua jenis baterai. Baterai Lithium-Ion menunjukkan efisiensi pengisian yang lebih tinggi dan kapasitas penyimpanan yang lebih besar, sementara Lead-Acid memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap siklus pengisian dan pengosongan berulang. Faktor eksternal seperti variasi intensitas cahaya matahari dan suhu lingkungan terbukti mempengaruhi efisiensi sistem pengisian baterai pada PLTS. Fluktuasi intensitas cahaya matahari menyebabkan variasi dalam laju pengisian, dengan efisiensi tertinggi dicapai pada kondisi cahaya optimal. Selain itu, laju pengosongan baterai Lithium-Ion lebih stabil, sedangkan Lead-Acid menunjukkan penurunan tegangan yang lebih cepat selama proses pengosongan, menekankan pentingnya pemilihan baterai yang tepat berdasarkan kebutuhan aplikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Barré, A., Deguilhem, B., Grolleau, S., Gérard, M., Suard, F., & Riu, D. (2013). A review on lithium-ion battery ageing mechanisms and estimations for automotive applications. *Journal of Power Sources*, 241, 680-689
- Femia, N., Petrone, G., Spagnuolo, G., & Vitelli, M. (2005). Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 20(4), 963-973. doi:10.1109/TPEL.2005.850975
- Akbar, M. dan Suryadi, D. (2019). Analisis Perbandingan Kinerja Baterai Lead Acid dan Lithium-Ion pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya. *Jurnal Energi dan Kelistrikan*, 11(2), 108-117.
- Pratama, H. dan Sutanto, D. (2018). Optimasi Pengisian Baterai Lithium-Ion Menggunakan Algoritma MPPT pada Sistem PLTS. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 16(3), 301-310.