

Analisis Active Balancer pada Battery Management System (BMS) Sebagai Penyeimbang Tegangan Pengisian Power Bank Tenaga Surya dengan Kapasitas 160WP

Akhmad Jamaah¹, Aji Hari Riyadi, Juwarta², Eriko Arvin Karuniawan^{3*}, Agus Rochadi⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Semarang, Indonesia

Email Penulis Korespondensi: *eriko@polines.ac.id

Abstrak—Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) off-grid dengan kapasitas 160Wp menggunakan baterai Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄) membutuhkan sistem manajemen baterai (Battery Management System/BMS) yang efektif untuk menjaga keseimbangan tegangan antar sel baterai agar umur dan performa baterai optimal. Penelitian ini membandingkan penggunaan BMS passive balancing dan active balancing sebagai metode penyeimbang tegangan baterai pada sistem PLTS off-grid. Pengujian dilakukan dengan mengukur efisiensi keseimbangan tegangan selama proses pengisian dan pengosongan baterai menggunakan sumber PLN dan PLTS. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan active balancing menghasilkan efisiensi keseimbangan tegangan tertinggi sebesar 98,97% (pengisian dengan sumber PLN), sedangkan passive balancing mencapai efisiensi tertinggi 99,18%. Namun, pada pengosongan baterai active balancing dan passive balancing memberikan hasil efisiensi yang bervariasi. Kesimpulan dari penelitian ini bahwa kedua metode BMS efektif dalam menyeimbangkan tegangan baterai, dengan kelebihan masing-masing dalam kondisi operasi yang berbeda. Penggunaan BMS meningkatkan durasi pengisian dan menurunkan penyimpangan tegangan antar sel baterai secara signifikan.

Kata Kunci: Battery Management System, Passive Balancing, Active Balancing, Pembangkit Listrik Tenaga Surya, Tegangan Baterai, LiFePO₄

Abstract— Off-grid Solar Power Generation System (PLTS) with a capacity of 160Wp using Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄) batteries requires an effective Battery Management System (BMS) to maintain voltage balance between battery cells for optimal battery life and performance. This study compares the use of passive balancing BMS and active balancing BMS as methods for balancing battery voltage in off-grid solar power systems. The testing was conducted by measuring the voltage balancing efficiency during the battery charging and discharging processes using PLN and solar power sources. The test results show that the use of active balancing yields the highest voltage balance efficiency of 98.97% (charging with PLN source), while passive balancing achieves the highest efficiency of 99.18%. However, during battery discharge, active balancing and passive balancing yield varying efficiency results. The conclusion of this study is that both BMS methods are effective in balancing battery voltage, each with its own advantages under different operating conditions. The use of BMS significantly increases the charging duration and reduces the voltage deviation between battery cells.

Keywords: Battery Management System, Passive Balancing, Active Balancing, Solar Energy, Battery voltage, LiFePO₄

1. PENDAHULUAN

Dengan semakin berkembangnya kebutuhan energi terbarukan, khususnya energi surya, Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menjadi solusi penting dalam penyediaan energi listrik di daerah terpencil atau off-grid [1]. Salah satu masalah utama dalam sistem PLTS off-grid adalah pengelolaan energi yang tersimpan dalam baterai. Penggunaan baterai yang tidak terkelola dengan baik dapat menyebabkan ketidakseimbangan tegangan antara sel-sel baterai, yang dapat menurunkan kinerja dan umur baterai[2]. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem manajemen baterai yang efektif, seperti Battery Management System (BMS), untuk memastikan keseimbangan tegangan yang optimal pada setiap sel baterai. Pada penelitian ini, kami membandingkan dua metode BMS yaitu Passive Balancing dan Active Balancing.

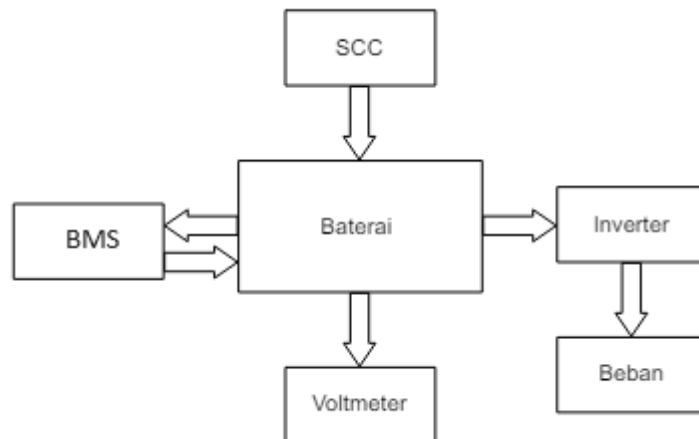
Passive Balancing merupakan metode yang lebih sederhana dan murah, namun kurang efisien dalam menjaga keseimbangan tegangan antara sel-sel baterai. Sementara itu, Active Balancing menggunakan teknologi yang lebih canggih dan mampu secara aktif mengatur tegangan pada setiap sel baterai untuk memastikan keseimbangan yang optimal[3]. Melalui perbandingan ini, diharapkan dapat diketahui metode mana yang lebih efektif dalam meningkatkan kinerja dan umur baterai pada sistem PLTS. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk memberikan rekomendasi terbaik bagi pengembangan sistem manajemen baterai di masa depan. Dengan demikian, pemilihan metode balancing yang tepat sangat penting untuk memaksimalkan efisiensi dan umur pakai baterai pada sistem PLTS. Active Balancing bisa menjadi pilihan yang lebih unggul karena kemampuannya dalam menjaga keseimbangan tegangan secara optimal. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan panduan yang jelas bagi pengembangan teknologi baterai yang lebih baik di masa mendatang[4].

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Perancangan Pengujian

Pengujian Active balancing dan passive balancing dilakukan dengan merancang sistem charging baterai dengan sumber tegangan stabil. Dari hasil charging dan discharging kemudian nanti akan dibandingkan hasilnya[5]. Pengujian

dengan menggunakan sumber *voltage regulator* dengan mengatur nilai *output* tegangan *voltage regulator* sebesar 15V. Pengujian pengisian baterai menggunakan sumber PLN menyajikan 2 buah data yaitu pengujian dengan menggunakan *active balancing* dan tidak menggunakan *active balancing*. Pengujian serupa dilakukan pada metode *passive balancing*. Sistem yang dirancang terdiri dari panel surya monocrystalline 160Wp, baterai LifePO4 dengan konfigurasi 4 seri dan 6 paralel (total 24 baterai), solar charge controller PWM 10A, inverter pure sine wave 1000W, serta modul BMS *passive balancing* 20A dan *active balancing* 5.5A.



Gambar 1. Blok diagram sistem charging BMS

2.2 Pengujian Active Balancing dan Passive Balancing

Pengujian dilakukan pada proses pengisian dan pengosongan baterai menggunakan sumber PLN dan PLTS[6]. Tegangan tiap grup sel baterai diukur secara berkala menggunakan multimeter dan voltmeter digital. Efisiensi keseimbangan tegangan dihitung dari penurunan nilai penyimpangan tegangan antar sel selama pengujian berlangsung[7].

2.3 Analisis Data

Data hasil pengukuran dianalisis untuk menentukan efisiensi penyeimbangan dengan rumus perbandingan penurunan penyimpangan tegangan awal dan akhir serta lama waktu pengisian dan pengosongan baterai[8].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Passive Balancing

Pengujian dengan *passive balancing* menunjukkan efisiensi penyeimbangan tegangan pengisian baterai sebesar 99,18% menggunakan sumber PLN dan 96,93% menggunakan sumber PLTS. Penggunaan *passive balancing* juga memperpanjang durasi pengisian baterai serta menurunkan penyimpangan tegangan antar sel secara signifikan dibandingkan tanpa *balancing*[9]. Selain itu, penggunaan *Active Balancing* juga berhasil mengoptimalkan pengisian baterai dan mengurangi penyimpangan tegangan antar sel secara lebih efektif daripada *passive balancing*. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa implementasi BMS *Passive* dan *Active* memberikan dampak positif dalam meningkatkan kinerja sistem off-grid solar.

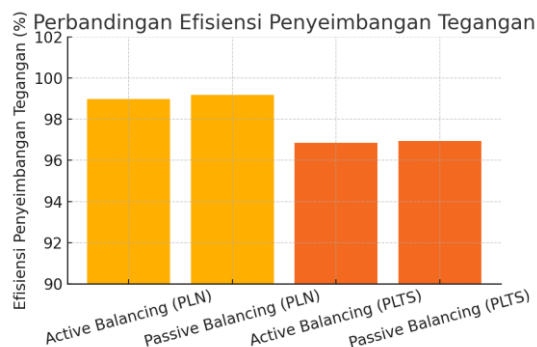
3.2 Pengujian Active Balancing

Active balancing memberikan efisiensi penyeimbangan tegangan pengisian baterai sebesar 98,97% dengan sumber PLN dan 96,85% dengan sumber PLTS. Pada pengosongan baterai, efisiensi *active balancing* dan tanpa *active balancing* relatif berimbang[10]. Metode ini efektif mengurangi ketidakseimbangan tegangan selama siklus pengisian. Selain itu, *active balancing* juga mampu mempertahankan kestabilan tegangan selama penggunaan baterai, sehingga memperpanjang umur pakai baterai secara keseluruhan. Dengan demikian, penggunaan *active balancing* dalam BMS dapat memberikan manfaat yang signifikan dalam meningkatkan efisiensi dan kinerja sistem off-grid solar secara keseluruhan[11]. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa *active balancing* merupakan solusi yang efektif untuk mengatasi ketidakseimbangan tegangan selama pengisian dan pengosongan baterai[12].

3.3 Perbandingan Metode

Kedua metode BMS efektif menyeimbangkan tegangan dan meningkatkan efisiensi pengisian baterai. *Passive balancing* memiliki keunggulan dalam kesederhanaan dan biaya lebih rendah dengan efisiensi sedikit lebih tinggi pada pengujian pengisian, namun membuang energi sebagai panas[13]. *Active balancing* lebih hemat energi dan memperpanjang umur baterai namun dengan sistem yang lebih kompleks. Pengujian ini juga menunjukkan bahwa kedua metode BMS efektif dalam menyeimbangkan tegangan selama pengisian dan pengosongan baterai[14]. *Passive balancing* memiliki keunggulan dalam hal kesederhanaan dan biaya yang lebih rendah, namun membuang energi

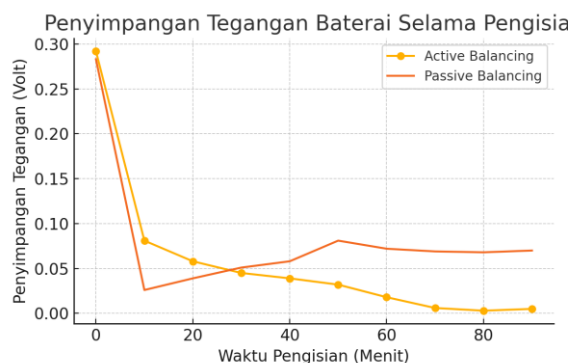
sebagai panas. Di sisi lain, active balancing lebih hemat energi dan dapat memperpanjang umur baterai meskipun membutuhkan sistem yang lebih kompleks[15]. Dalam hal efisiensi pengisian, passive balancing sedikit lebih unggul daripada active balancing.



Gambar 2. Efisiensi penyimpangan tegangan baterai selama proses pengisian menggunakan BMS Active dan Passive Balancing

Grafik di atas menunjukkan perbandingan efisiensi penyeimbangan tegangan antara dua metode BMS (Battery Management System), yaitu Active Balancing dan Passive Balancing, dengan dua sumber daya yang berbeda, yaitu PLN (listrik dari jaringan) dan PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya).

Dari grafik tersebut, dapat dilihat bahwa secara keseluruhan, metode Passive Balancing menunjukkan efisiensi yang sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan Active Balancing pada kedua sumber daya. Dengan PLN, efisiensi Passive Balancing mencapai 99,18%, sedangkan Active Balancing hanya mencapai 98,97%. Begitu juga dengan PLTS, efisiensi Passive Balancing tercatat 96,93%, sementara Active Balancing sedikit lebih rendah, yakni 96,85%.



Gambar 3. Perbandingan penyimpangan tegangan baterai saat charging

Grafik ini menggambarkan perbandingan penyimpangan tegangan baterai selama pengisian dengan dua metode BMS, yaitu Active Balancing dan Passive Balancing, dalam satuan waktu pengisian (menit). Penyimpangan tegangan ini mengukur seberapa besar perbedaan tegangan antar sel baterai dalam sistem BMS selama proses pengisian daya.

Dari grafik tersebut, terlihat bahwa pada awal pengisian (0-10 menit), metode Active Balancing menunjukkan penyimpangan tegangan yang lebih besar dibandingkan dengan Passive Balancing. Penyimpangan tegangan untuk Active Balancing mencapai lebih dari 0,30 Volt, sementara Passive Balancing langsung turun lebih cepat dan stabil di bawah 0,10 Volt. Hal ini menunjukkan bahwa Passive Balancing mampu menyeimbangkan tegangan antar sel dengan lebih cepat pada tahap awal pengisian.

Pada rentang waktu selanjutnya (30-90 menit), penyimpangan tegangan untuk kedua metode mulai mendekati angka yang lebih rendah. Namun, metode Active Balancing masih menunjukkan fluktuasi lebih besar dibandingkan dengan Passive Balancing, meskipun kedua metode akhirnya mencapai nilai tegangan yang relatif stabil. Di sisi lain, Passive Balancing tetap lebih konsisten dalam menjaga penyimpangan tegangan rendah sepanjang pengisian.

Analisis ini menunjukkan bahwa Passive Balancing tidak hanya lebih efisien dalam menurunkan penyimpangan tegangan pada awal pengisian, tetapi juga lebih stabil dalam menjaga keseimbangan tegangan antar sel baterai selama pengisian. Hal ini dapat berimplikasi pada perpanjangan umur baterai, karena penyimpangan tegangan yang rendah membantu mengurangi risiko kerusakan pada sel baterai akibat tegangan yang tidak seimbang.

Tabel 1. Hasil pengujian pada sistem active dan passive balancing

Metode	Sumber	Efisiensi (%)
Active Balancing	PLN (tegangan stabil)	98.97
Active Balancing	PLTS	96.85
Passive Balancing	PLN (tegangan stabil)	99.18
Passive Balancing	PLTS	96.93

Dari data yang disajikan, terlihat bahwa passive balancing memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan active balancing, baik pada PLN maupun PLTS. Secara spesifik, pada sumber energi PLN, efisiensi passive balancing mencapai 99.18%, sedangkan efisiensi active balancing tercatat 98.97%. Perbedaan ini menunjukkan bahwa passive balancing lebih efektif dalam meminimalkan kehilangan energi selama proses pengisian baterai.

Selain itu, pada sumber PLTS, meskipun kedua metode balancing menunjukkan efisiensi yang lebih rendah dibandingkan dengan PLN, passive balancing tetap menunjukkan keunggulan dengan 96.93% dibandingkan dengan 96.85% pada active balancing. Penurunan efisiensi ini dapat disebabkan oleh fluktuasi tegangan dan arus yang lebih besar pada PLTS, yang dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti intensitas sinar matahari yang bervariasi, dibandingkan dengan sistem PLN yang lebih stabil.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa baik metode passive balancing maupun active balancing terbukti efektif dalam menyeimbangkan tegangan antar sel baterai pada sistem PLTS off-grid 160Wp. Di antara keduanya, passive balancing menghasilkan efisiensi tertinggi, mencapai 99,18% saat pengisian menggunakan sumber PLN, sedangkan active balancing sedikit lebih rendah dengan efisiensi 98,97%. Kedua metode ini tidak hanya memperpanjang durasi pengisian baterai, tetapi juga secara signifikan mengurangi penyimpangan tegangan antar sel jika dibandingkan dengan kondisi tanpa balancing. Pemilihan antara kedua metode balancing ini dapat disesuaikan dengan kebutuhan pengguna, antara kesederhanaan dalam implementasi dan efisiensi energi yang diinginkan. Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa baik metode passive balancing maupun active balancing terbukti efektif dalam menyeimbangkan tegangan antar sel baterai pada sistem PLTS off-grid 160Wp. Di antara keduanya, passive balancing menghasilkan efisiensi tertinggi, mencapai 99,18% saat pengisian menggunakan sumber PLN, sedangkan active balancing sedikit lebih rendah dengan efisiensi 98,97%. Kedua metode ini tidak hanya memperpanjang durasi pengisian baterai, tetapi juga secara signifikan mengurangi penyimpangan tegangan antar sel jika dibandingkan dengan kondisi tanpa balancing. Pemilihan antara kedua metode balancing ini dapat disesuaikan dengan kebutuhan pengguna, antara kesederhanaan dalam implementasi dan efisiensi energi yang diinginkan. Dengan demikian, pemilihan metode balancing yang tepat dapat memberikan manfaat yang signifikan bagi sistem off-grid 160Wp. Selain itu, pengguna juga dapat mengatur pengisian baterai sesuai dengan preferensi mereka, entah itu lebih fokus pada efisiensi energi atau kesederhanaan dalam implementasi. Dengan adanya passive dan active balancing, pengguna memiliki fleksibilitas untuk mengoptimalkan kinerja sistem mereka sesuai dengan kebutuhan masing-masing. Sehingga, pengguna dapat memaksimalkan penggunaan sumber daya yang tersedia dan meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada pihak-pihak yang telah mendukung terlaksananya penelitian ini.

REFERENCES

- [1] M. M. S. Wafa, A. Kusmantoro, dan M. Margono, "PLTS MODULE DESIGN USING BATTERY MANAGEMENT SYSTEM ON LI-ION BATTERY," *JETI J Elektro Dan Teknol Inf*, vol. 2, no. 2, Art. no. 2, Mar 2024, doi: 10.26877/jeti.v2i2.317.
- [2] M. Nizam, H. Maghfiroh, R. A. Rosadi, dan K. D. U. Kusumaputri, "Battery management system design (BMS) for lithium ion batteries," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2217, no. 1, hlm. 030157, Apr 2020, doi: 10.1063/5.0000649.
- [3] S. Kıvrak, T. Özer, Y. Oğuz, dan M. M. Kelek, "Novel active and passive balancing method-based battery management system design and implementation," *J. Power Electron.*, vol. 21, no. 12, hlm. 1855–1865, Des 2021, doi: 10.1007/s43236-021-00320-x.
- [4] P. Deja, "Tests of BMS Battery Management System with active and passive system of balancing the battery capacity," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 679, no. 1, hlm. 012009, Des 2019, doi: 10.1088/1757-899X/679/1/012009.
- [5] M. O. Qays dkk., "An Intelligent Controlling Method for Battery Lifetime Increment Using State of Charge Estimation in PV-Battery Hybrid System," *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 24, Art. no. 24, Jan 2020, doi: 10.3390/app10248799.
- [6] "Battery Management System (BMS) simulation environment for electric vehicles." Diakses: 20 Juni 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7555475>



- [7] “Design of a Basic BMS: A Warning System.” Diakses: 20 Juni 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10146650>
- [8] “An Exhaustive Investigation of Battery Management System (BMS).” Diakses: 20 Juni 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10117824>
- [9] S. J. Wattimena, L. H. Laisina, dan C. O. E. Pelamonia, “Analyzing and designing energy storage system and charging station from solar energy-lithium ion,” *Indones. J. Multidiscip. Sci.*, vol. 3, no. 3, Art. no. 3, Des 2023, doi: 10.55324/ijoms.v3i3.752.
- [10] “Performance comparison of active balancing techniques for lithium-ion batteries,” *J. Power Sources*, vol. 267, hlm. 603–609, Des 2014, doi: 10.1016/j.jpowsour.2014.05.007.
- [11] A. Ziegler, D. Oeser, B. Arndt, dan A. Ackva, “Comparison of Active and Passive Balancing by a Long Term Test Including a Post-Mortem Analysis of all Single Battery Cells,” dalam *2018 International IEEE Conference and Workshop in Óbuda on Electrical and Power Engineering (CANDO-EPE)*, Nov 2018, hlm. 000015–000020. doi: 10.1109/CANDO-EPE.2018.8601165.
- [12] J. Zich dan J. Jandik, “Active Battery Management System for Home Battery Energy Storage,” dalam *2020 21st International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE)*, Okt 2020, hlm. 1–4. doi: 10.1109/EPE51172.2020.9269172.
- [13] K. Basaran, N. S. Cetin, dan S. Borekci, “Energy management for on-grid and off-grid wind/PV and battery hybrid systems,” *IET Renew. Power Gener.*, vol. 11, no. 5, hlm. 642–649, 2017, doi: 10.1049/iet-rpg.2016.0545.
- [14] “Optimized battery-management system to improve storage lifetime in renewable energy systems,” *J. Power Sources*, vol. 168, no. 1, hlm. 58–65, Mei 2007, doi: 10.1016/j.jpowsour.2006.12.024.
- [15] H. A. Gabbar, A. M. Othman, dan M. R. Abdussami, “Review of Battery Management Systems (BMS) Development and Industrial Standards,” *Technologies*, vol. 9, no. 2, Art. no. 2, Jun 2021, doi: 10.3390/technologies9020028.