

Table Of Content

Journal Cover 2

Author[s] Statement 3

Editorial Team 4

Article information 5

 Check this article update (crossmark) 5

 Check this article impact 5

 Cite this article 5

Title page 6

 Article Title 6

 Author information 6

 Abstract 6

Article content 8

Academia Open



By Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Originality Statement

The author[s] declare that this article is their own work and to the best of their knowledge it contains no materials previously published or written by another person, or substantial proportions of material which have been accepted for the published of any other published materials, except where due acknowledgement is made in the article. Any contribution made to the research by others, with whom author[s] have work, is explicitly acknowledged in the article.

Conflict of Interest Statement

The author[s] declare that this article was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright Statement

Copyright © Author(s). This article is published under the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) licence. Anyone may reproduce, distribute, translate and create derivative works of this article (for both commercial and non-commercial purposes), subject to full attribution to the original publication and authors. The full terms of this licence may be seen at <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>

EDITORIAL TEAM

Editor in Chief

Mochammad Tanzil Multazam, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Managing Editor

Bobur Sobirov, Samarkand Institute of Economics and Service, Uzbekistan

Editors

Fika Megawati, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Mahardika Darmawan Kusuma Wardana, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Wiwit Wahyu Wijayanti, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Farkhod Abdurakhmonov, Silk Road International Tourism University, Uzbekistan

Dr. Hindarto, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Evi Rinata, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

M Faisal Amir, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Dr. Hana Catur Wahyuni, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Complete list of editorial team ([link](#))

Complete list of indexing services for this journal ([link](#))

How to submit to this journal ([link](#))

Article information

Check this article update (crossmark)



Check this article impact (*)



Save this article to Mendeley



(*) Time for indexing process is various, depends on indexing database platform

Optimal Power Distribution Strategy for Intermittent Solar-Powered Hybrid Energy Storage Systems

Strategi Distribusi Daya yang Optimal untuk Sistem Penyimpanan Energi Hibrida Bertenaga Surya yang Bersifat Intermiten

Indah Sulistiyowati, indah_sulistiyowati@umsida.ac.id, (1)

Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Jamaaluddin Jamaaluddin, indah_sulistiyowati@umsida.ac.id, (0)

Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Izza Anshory, indah_sulistiyowati@umsida.ac.id, (0)

Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Yunardhika Wahyu Pratama, indah_sulistiyowati@umsida.ac.id, (0)

Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Sahrul Romadhoni, indah_sulistiyowati@umsida.ac.id, (0)

Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

⁽¹⁾ Corresponding author

Abstract

Addressing challenges in solar panel systems, hybrid energy storage systems have gained prominence but face distribution imbalances. This study presents a power distribution approach for hybrid systems in intermittent solar scenarios, leveraging First-Order Filters to allocate power between primary and supporting storage. By employing Lowpass and Highpass First-Order Filters, energy management issues in off-grid systems are addressed. Experimental findings reveal that during high intermittency, the battery stores 387 W and contributes 62 W, while the supercapacitor stores 297 W and contributes 167 W as the primary storage. Conversely, during low intermittency, the battery stores 390 W and contributes 62 W, while the supercapacitor stores 295 W and contributes 164 W. Surprisingly, the supercapacitor doesn't outperform the battery in power efficiency as the primary storage. This work contributes to enhancing the viability of solar-powered hybrid energy storage systems by optimizing power distribution strategies.

Highlight:

- **Distribution Imbalances in Hybrid Systems:** Hybrid energy storage systems for solar panels face challenges in power distribution, motivating the need for innovative solutions.
- **First-Order Filter Allocation:** This research introduces a power distribution approach utilizing First-Order Filters to effectively allocate power between primary and supporting storage in intermittent solar scenarios.
- **Comparative Power Efficiency:** Experimental results demonstrate the performance of battery and supercapacitor as primary storage, revealing unexpected power efficiency outcomes under varying solar intermittency, informing strategic energy management

decisions.

Keyword: Hybrid Energy Storage, Power Distribution, Intermittent Solar Scenarios, First-Order Filters, Energy Management

Published date: 2023-08-15 00:00:00

Pendahuluan

Sumber energi terbarukan banyak dipasang untuk memenuhi kebutuhan listrik yang terus meningkat. Namun, variabilitas dan intermitennya masih menjadi perhatian utama untuk meningkatkan keandalan dan efisiensi sistem tenaga. Sistem manajemen energi terbarukan [1] yang sampe saat ini masih memanfaatkan kesamaan tegangan mulai dimodifikasi untuk tujuan tersebut.

Permasalahan utama yang terjadi selain keandalan dan efisiensi sistem kelistrikan energi terbarukan adalah permasalahan terkait pemerataan distribusi daya pada sistem penyimpanan energi yang digunakan apabila memanfaatkan lebih dari satu penyimpan energi [2]. Beberapa penelitian telah memberikan suatu gambaran bahwa perlu dibagi distribusi daya antara penyimpan energi primer dengan penyimpan energi pendukung pada studi kasus intermitensi iradiasi matahari [3]. Perbandingan untuk penyimpan baterai, memiliki kapasitas penyimpanan daya yang tinggi (kerapatan energi yang tinggi), cocok untuk penggunaan dalam waktu yang cukup lama meskipun tidak ada sumber daya. Sedangkan untuk penyimpan superkapasitor, memiliki kapasitas penyerapan dan pelepasan daya yang tinggi (kerapatan daya yang tinggi), cocok untuk penggunaan intermitensi sesuai dengan karakteristik input energi terbarukan.

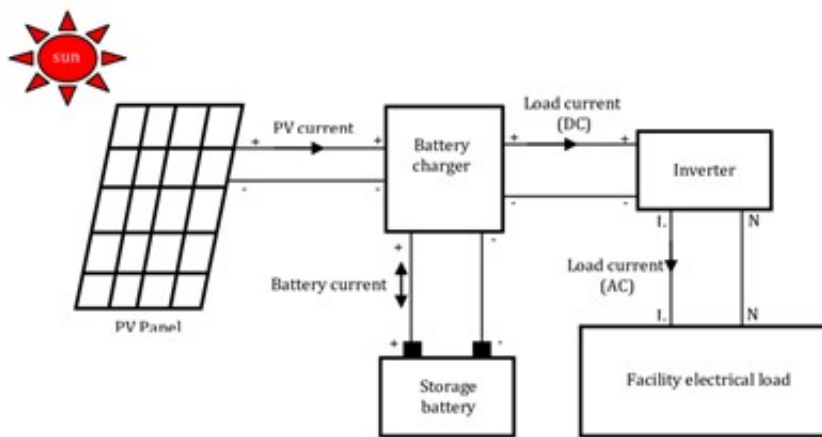


Figure 1. Konsep sistem panel surya off-grid [1]

First Order Filter, yang pada dasarnya digunakan pada telekomunikasi pun dapat menjadi opsi untuk membagi sinyal orde pertama dan sinyal orde selanjutnya sebagai pembagi daya [4] yang masuk penyimpanan energi primer dan penyimpanan energi pendukung [5]. Berdasarkan masalah yang ada, penelitian ini ditujukan untuk mengatasi permasalahan manajemen energi dan daya untuk sistem kelistrikan off-grid dengan penggunaan First-Order Filter bertipe Lowpass dan Highpass.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan mengevaluasi sistem manajemen energi untuk pemerataan distribusi daya untuk penyimpan energi pada sistem kelistrikan off-grid (tipe panel surya) dengan menggunakan first-order filter serta berfokus pada duty cycle di konverter bidireksional dari masing-masing penyimpan daya dan modifikasinya dengan tipe lowpass dan tipe highpass. Aspek yang akan dipelajari adalah distribusi daya, serta kestabilan tegangan dan daya pada masing-masing penyimpan energi..

Penelitian Terdahulu dan Dasar Teori

Dalam kurun waktu saat ini, pemanasan global merugikan lingkungan dan kemanusiaan. Sektor produksi energi menyumbang hampir 75% dari total emisi CO₂ global [1]. Penerapan energi terbarukan semakin meningkat karena tahan lama dan rendah emisi [2]. Energi matahari merupakan salah satu energi bebas karena tersedia langsung dari alam.

Sistem PV yang berdiri sendiri memiliki banyak aplikasi di daerah dan pulau terpencil dan terpencil. Jaringan publik tidak tersedia untuk memenuhi beban listrik esensial [3]. Dalam sistem yang berdiri sendiri, daya yang masuk ke penyimpanan energi sangat bervariasi tergantung pada kondisi beban. Perubahan daya pada ESS (Energy Storage System) adalah komponen frekuensi tinggi ketika terjadi perubahan mendadak pada beban PV atau variasi daya pada hari mendung dan komponen frekuensi rendah, energi terbarukan alami atau pola konsumsi daya energi rata-rata harian [4], [5].

Perkembangan sistem terbarukan saat ini membuat penyimpanan energi mengatasi gangguan sistem tenaga dan kualitas daya akibat masalah energi terbarukan yang terputus-putus. Penyimpanan energi, dalam aplikasi tertentu, tidak dapat menggunakan hanya satu jenis penyimpanan. Pertukaran energi frekuensi tinggi umumnya

membutuhkan Energy Storage System (ESS) dengan waktu respon yang cepat. Sebaliknya, pertukaran daya frekuensi rendah membutuhkan ESS kepadatan daya tinggi untuk memerlukan penyimpanan daya cadangan.

Penyimpanan energi seperti baterai tidak cocok untuk sistem yang berdiri sendiri karena memiliki tingkat disipasi energi yang rendah dan respons yang lambat. Sebaliknya, PV yang berdiri sendiri memiliki transien yang cepat [6]. Sedangkan superkapasitor [7] memiliki daya yang tinggi. Itu dapat dikosongkan dengan arus tinggi untuk waktu yang singkat jika baterai gabungan dan superkapasitor dapat menjadi solusi baru untuk meningkatkan kualitas daya sistem PV yang berdiri sendiri.

Permasalahan lain yang terjadi adalah dengan kendala sistem manajemen energi dengan menggunakan modifikasi pada first-order filter. Pada sistem manajemen energi, untuk penentuan apakah baterai atau superkapasitor yang baik sebagai penyimpan energi utama atau penyimpan energi pendukung masih belum terlalu representative sebagai pengambilan keputusan pada sistem kelistrikan energi terbarukan pada jenis ini.

Pengembangan terhadap kemanfaatan adanya energi matahari yang lebih masif berskala lebih besar sangat penting dilakukan mengingat di Indonesia merupakan negara yang memiliki keistimewaan yaitu letak geografis yang dilewati garis khatulistiwa, sehingga sangat menguntungkan jika dimanfaatkan untuk pembangkit bersumber dari energi panas matahari. Sedangkan dalam penelitian ini akan dicoba sistem manajemen energi untuk beberapa skenario pada sistem off-grid dengan manajemen energi yang diatur untuk baterai dan superkapasitor.

Sistem photovoltaic (PV) off-grid adalah sistem mandiri yang menghasilkan listrik dari sinar matahari menggunakan panel surya. Sistem ini umumnya digunakan di daerah terpencil atau lokasi yang tidak terhubung dengan jaringan listrik utama. Komponen utama dalam sistem PV off-grid adalah panel surya, yang mengubah sinar matahari menjadi energi listrik melalui efek fotovoltai. Listrik yang dihasilkan kemudian disimpan dalam sistem penyimpanan energi untuk digunakan nanti. Sistem PV off-grid menawarkan solusi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan untuk memenuhi kebutuhan listrik di lokasi yang tidak terhubung dengan jaringan listrik utama [8].



Figure 2. Baterai panel surya tipe deep cycle [2]

Baterai memainkan peran penting dalam sistem PV off-grid sebagai perangkat penyimpanan energi. Baterai menyimpan kelebihan listrik yang dihasilkan oleh panel surya selama periode sinar matahari yang tinggi. Ketika permintaan listrik melebihi output panel surya atau selama periode sinar matahari yang rendah, energi yang disimpan dalam baterai digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban. Baterai yang digunakan dalam sistem PV off-grid umumnya adalah baterai siklus dalam yang dirancang untuk memberikan daya secara berkelanjutan selama periode yang panjang. Baterai ini memiliki kapasitas untuk menyimpan dan mendischarge energi listrik secara efisien, sehingga cocok untuk aplikasi off-grid, seperti dilihat pada gambar 2, tipe deep cycle [9].

Superkapasitor, juga dikenal sebagai ultra-kapasitor atau kapasitor elektrokimia, menjadi pilihan penyimpanan energi alternatif untuk sistem PV off-grid. Berbeda dengan baterai, superkapasitor menyimpan energi melalui pemisahan muatan secara elektrostatik daripada melalui reaksi kimia. Superkapasitor memiliki kemampuan untuk mengisi dan mengosongkan energi dengan cepat, sehingga ideal untuk aplikasi yang membutuhkan lonjakan daya tinggi [10]. Dalam sistem PV off-grid, superkapasitor dapat digunakan dalam kombinasi dengan baterai untuk memberikan sistem penyimpanan energi ganda. Sementara baterai menghandle penyimpanan energi dalam jangka panjang, superkapasitor dapat memberikan lonjakan daya saat permintaan beban tinggi atau mengatasi fluktuasi tiba-tiba pada ketersediaan energi surya [11].



Figure 3. Superkapasitor atau ultrakapasitor [2]

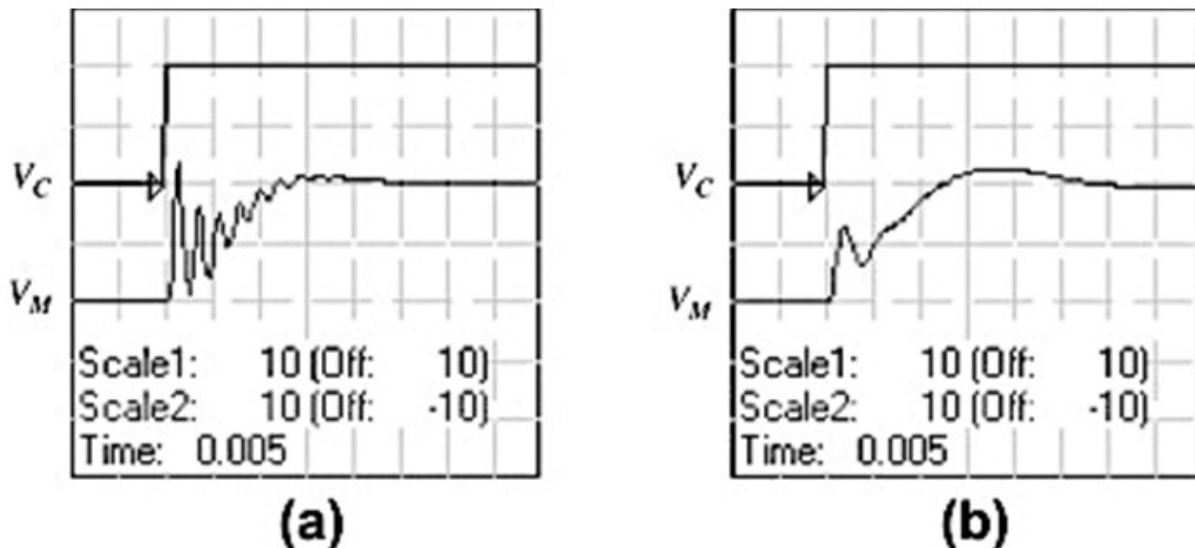


Figure 4. Hasil output first-order filter (a) sebelum (b) sesudah [15]

Pemilihan antara baterai dan superkapasitor dalam sistem PV off-grid tergantung pada berbagai faktor. Baterai dikenal dengan kepadatan energi yang tinggi, memungkinkan mereka untuk menyimpan jumlah energi yang besar untuk jangka waktu yang lama [12]. Mereka cocok untuk aplikasi yang membutuhkan daya yang berkelanjutan dalam waktu yang lama, bahkan dalam ketiadaan sinar matahari [13]. Di sisi lain, superkapasitor memiliki kepadatan daya yang tinggi, memungkinkan mereka untuk memberikan dan menyerap energi dengan cepat. Mereka lebih cocok untuk mengatasi fluktuasi daya jangka pendek dan memberikan lonjakan energi secara cepat [14].

Metode dan Metodologi

Filter first-order (filter urutan pertama) digunakan dalam sistem manajemen energi fotovoltaik (PV) untuk mengontrol aliran daya dan memaksimalkan titik daya maksimum (MPPT) dari panel PV. Filter ini menggunakan resistor dan kapasitor sebagai komponen dasar untuk membentuk filter low-pass. Mereka membantu menyaring kebisingan frekuensi tinggi dan menghaluskan fluktuasi tegangan dan arus keluaran panel PV. Selain itu, filter orde pertama juga dapat melindungi sistem PV dari keadaan kelebihan tegangan atau penarikan arus.

Filter orde pertama memiliki kelebihan konstruksi yang mudah, biaya rendah, dan dapat berfungsi dengan baik tanpa memerlukan pemrograman atau algoritme kontrol yang rumit. Mereka merupakan solusi andal dan kokoh

yang dapat bekerja di berbagai lingkungan. Namun, filter ini memiliki beberapa batasan, seperti tidak seefisien dalam menyaring kebisingan pada frekuensi tinggi atau harmonik, serta kemampuan terbatas dalam mengatur aliran daya dalam sistem PV.

Pada penelitian ini, dilakukan perbandingan antara mode low-pass dan mode high-pass dalam pengaturan energi sistem PV. Mode low-pass lebih cocok untuk memasukkan semua input utama ke baterai sebagai penyimpan energi utama, sementara mode high-pass lebih cocok untuk memasukkan input utama ke superkapasitor sebagai penyimpan energi utama. Dalam penelitian ini, efisiensi daya dari kedua mode akan dibandingkan untuk menentukan mode yang lebih efisien dalam manajemen energi sistem PV. Untuk hasil pada penelitian sebelumnya menjawab mengapa first-order filter digunakan untuk penggunaan sistem energi terbarukan skala kecil hingga menengah, karena kemampuan meredam osilasi yang sangat baik saat terjadi perubahan input (dalam hal ini iradiansi) seperti bisa dilihat di gambar 4.

Prosedur simulasi dibuat dengan 2 detik untuk mengetahui saat terjadi perubahan tiba-tiba pada saat detik pertama (iradiansi naik dan iradiansi turun) dengan kondisi filter menunjukkan high-pass dan low-pass sehingga akan muncul 4 skenario. 2 detik diambil karena mempertimbangkan kapasitas simulasi laptop dan powergui yang sudah dipasang discrete (untuk mendapatkan hasil yang baik pada scope). Setelah dilakukan simulasi kemudian akan diambil titik-titik scope untuk mengetahui hasil tiap scope (tegangan, arus, daya, dan soc) dan mengamati overshoot atau undershoot yang sesuai dengan standar.

Pada blok diagram dapat dilihat bahwa awalnya PV masuk kedalam DC-DC converter kemudian berada pada bus yang sama dengan penyimpan energi. First order filter mengambil data tegangan dan arus dari beban DC kemudian diambil sebagai bahan pengatur duty cycle (pengatur manajemen energi) kepada kedua bidirectional converter dari penyimpan baterai maupun superkapasitor. Ketika daya surplus maka masuk ke penyimpan utama, tapi pada saat perubahannya masuk ke penyimpan pendukung, ini yang diatur oleh first order filter, seperti dilihat pada.

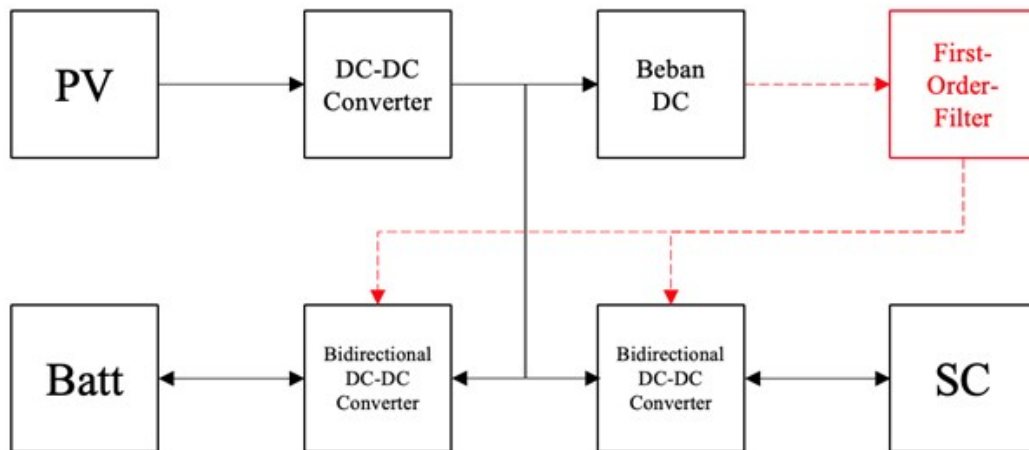


Figure 5. Blok diagram keseluruhan penelitian

Hasil Simulasi dan Analisa

Berikut adalah hasil simulasi dan hasil analisa dari sistem secara keseluruhan simulasi, pada sistem ini akan dilakukan analisa hasil simulasi untuk skenario iradiansi turun untuk kedua tipe / mode pada first-order filter yaitu lowpass dan highpass.

A. Simulasi Lowpass First-Order Filter

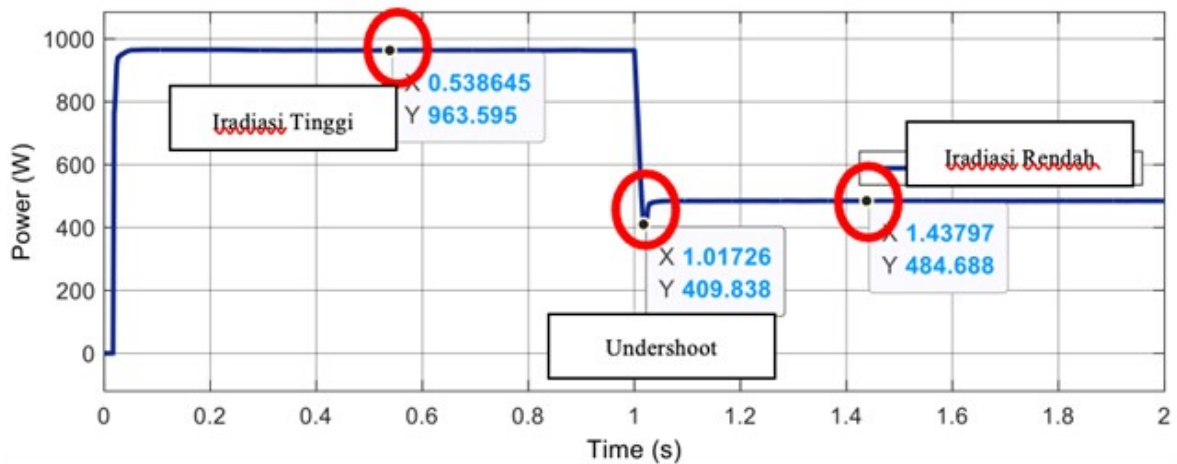


Figure 6. Hasil daya PV tipe filter lowpass

Dua bentuk iradiasi yang berbeda, 500 W/m² dan 1000 W/m², akan digunakan untuk mewakili skenario ini. Dalam hal ini, penyimpanan utama adalah baterai. Pada setiap grafik, untuk X adalah fungsi waktu dalam detik, sedangkan untuk Y adalah fungsi dari masing-masing aspek kualitas daya yang dilihat (daya, arus, tegangan).

Dari gambar 6, hasil menunjukkan bahwa daya PV adalah 963W pada keadaan awal dan kemudian menjadi 484W selama perubahan. Terjadi penurunan daya atau undershoot seketika menjadi 409 W saat perubahan. Penginstalan yang dilakukan sudah benar dengan sedikit kenaikan dari 960 W dan 480 W.

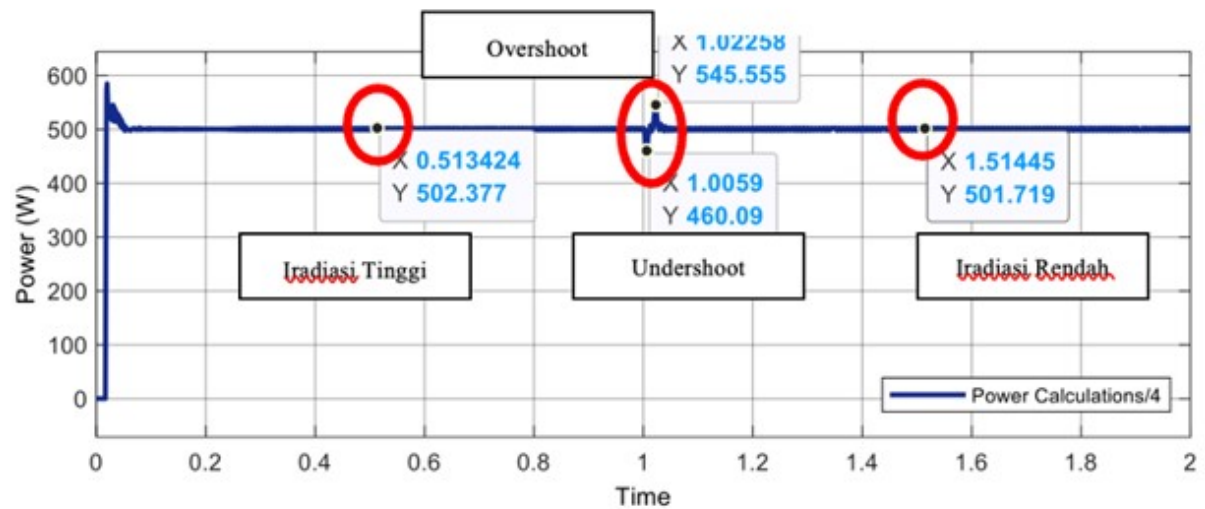


Figure 7. Hasil daya beban tipe filter lowpass

Dari gambar 7, hasil menunjukkan bahwa daya pengisian adalah 501 watt pada kondisi awal dan tetap sama pada saat perubahan iradiasi. Performa pengisian daya menunjukkan bahwa baterai dan superkapasitor adalah perangkat penyimpanan energi yang mampu menyimpan dan memasok energi ke sistem.

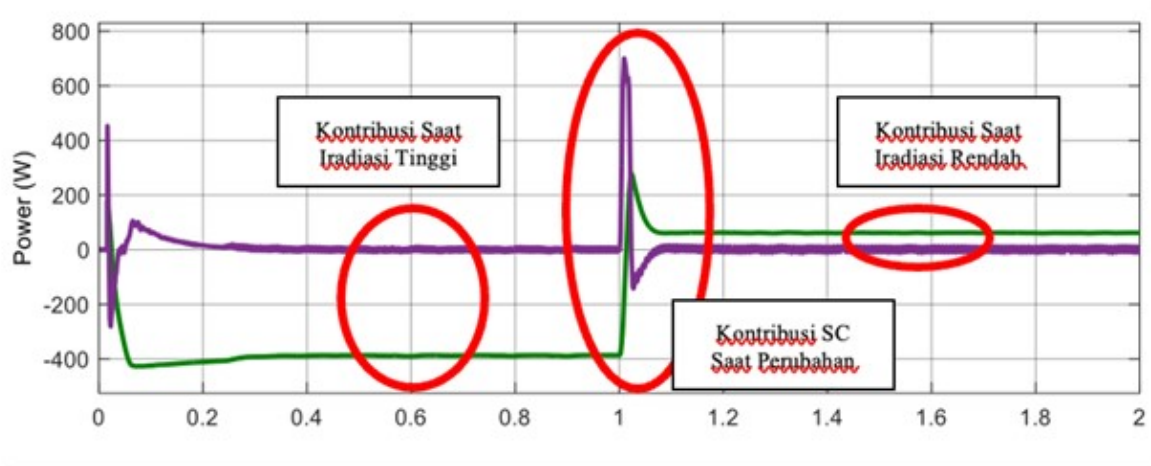


Figure 8. Hasil daya hybrid storage baterai dan superkapasitor tipe filter lowpass

Dari gambar 8, didapatkan bahwa daya baterai dan superkapasitor apabila ketika sumber menghasilkan daya kecil maka baterai akan ikut menyuplai, namun ketika sumber menghasilkan daya besar maka baterai akan ikut menyerap surplus daya pada sistem. Sementara untuk superkapasitor sebagai penyimpan energi sekunder sehingga akan membantu menyerap osilasi dengan memanfaatkan kerapatan daya nya yang tinggi.

B. Simulasi Highpass First-Order Filter

Dua bentuk iradiasi yang berbeda, 500 W/m² dan 1000 W/m², akan digunakan untuk mewakili skenario ini. Dalam hal ini, penyimpanan utama adalah baterai. Pada setiap grafik, untuk X adalah fungsi waktu dalam detik, sedangkan untuk Y adalah fungsi dari masing-masing aspek kualitas daya yang dilihat (daya, arus, tegangan).

Dari gambar 6, hasil menunjukkan bahwa daya PV adalah 963W pada keadaan awal dan kemudian menjadi 484W selama perubahan. Terjadi penurunan daya atau undershoot seketika menjadi 409 W saat perubahan. Penginstalan yang dilakukan sudah benar dengan sedikit kenaikan dari 960 W dan 480 W.

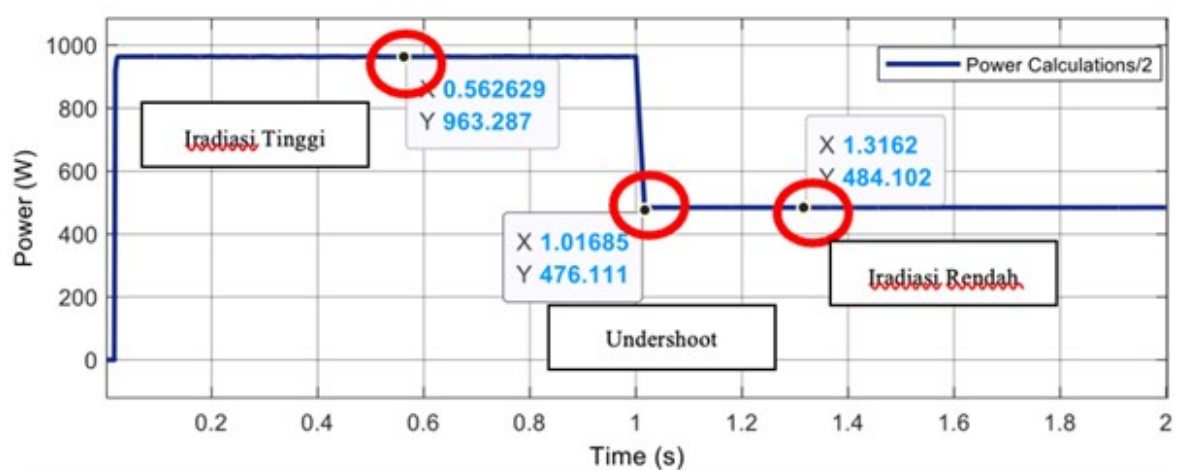


Figure 9. Hasil daya PV tipe filter highpass

Dari gambar 9, didapatkan bahwa daya PV saat kondisi awal adalah 963 W, dan kemudian menjadi 484 W dengan adanya undershoot hingga 476 W pada saat iradiasi. Pada skenario ini dengan daya turun, daya luaran juga ikut turun, maka plant yang sudah dibuat sudah benar dengan penyesuaian naik sedikit dari 480 W dan 960 W. Dapat dilihat terjadi perbaikan yaitu undershoot pada saat baterai sebagai penyimpan utama (409 W) dan ketika superkapasitor sebagai penyimpan utama (476 W). Diambil superkapasitor sebagai penyimpan utama terbukti opsi yang lebih baik daripada baterai sebagai penyimpan utama dari sisi pembangkit.

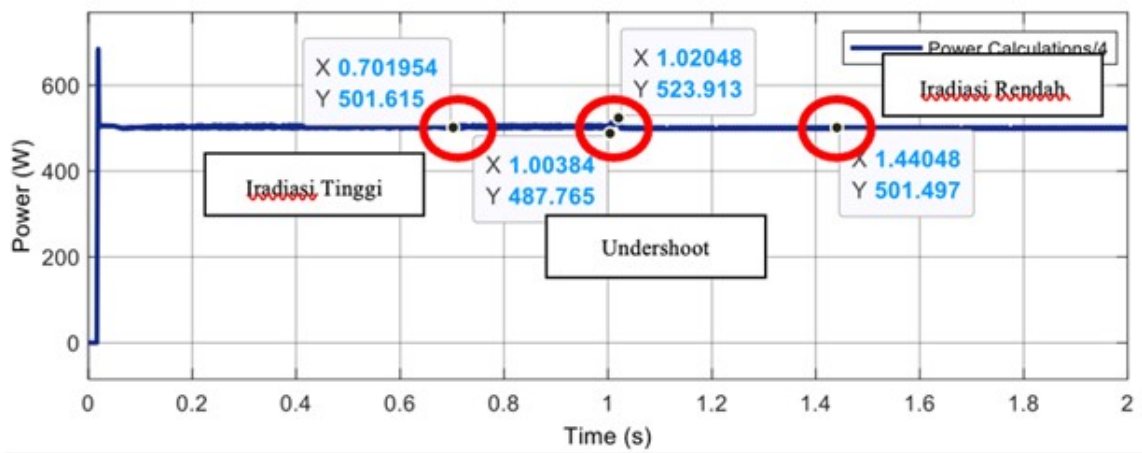


Figure 10. Hasil daya beban tipe filter highpass

Dari gambar 10, didapatkan bahwa daya beban saat kondisi awal adalah 501 W, dan tetap ketika terjadi perubahan. Dari daya beban dapat diketahui bahwa baterai dan superkapasitor sebagai penyimpan energi mampu menyimpan dan menyuplai sistem. Bisa dibandingkan dengan superkapasitor sebagai penyimpan utama, overshoot (523 W) dan tanpa undershoot lebih baik dari pada saat ketika baterai sebagai penyimpan utama (545 W) dan undershoot (460 W). Terbukti juga bahwa di sisi daya DC, superkapasitor lebih baik sebagai penyimpan utama daripada baterai.

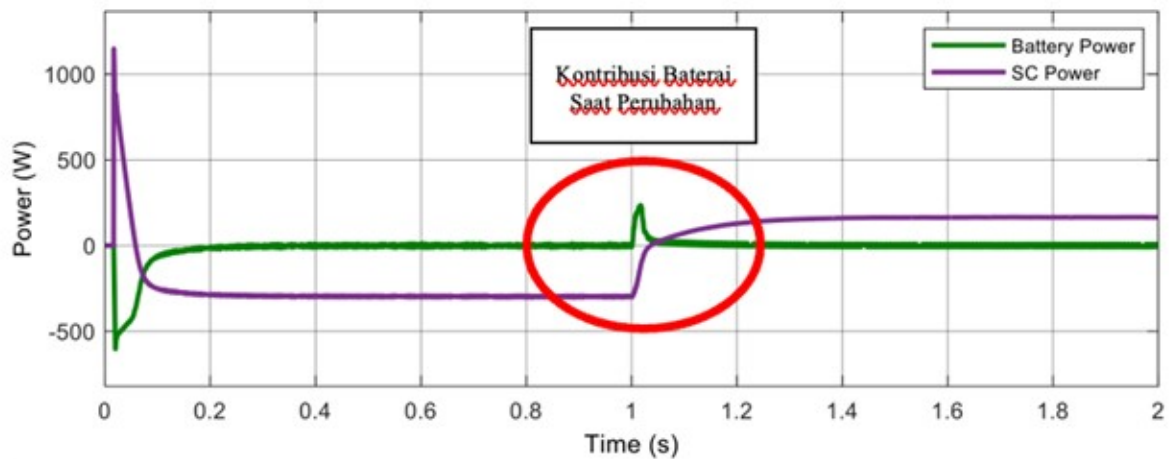


Figure 11. Hasil daya hybrid storage superkapasitor dan baterai tipe filter highpass

Dari gambar 11, didapatkan bahwa daya baterai dan superkapasitor apabila ketika sumber menghasilkan daya kecil maka baterai akan ikut menyuplai, namun ketika sumber menghasilkan daya besar maka baterai akan ikut menyerap surplus daya pada sistem. Sementara untuk superkapasitor sebagai penyimpan energi sekunder sehingga akan membantu menyerap osilasi dengan memanfaatkan kerapatan daya nya yang tinggi.

Pada saat intermitensi turun, baterai sebagai penyimpan utama menyimpan 390 W dan menyumbang 62 W. Sedangkan, ketika superkapasitor menjadi penyimpan utama menyimpan 295 W dan menyumbang 164 W. Dari hasil dapat dilihat bahwa superkapasitor sebagai penyimpan utama tidak lebih baik di efisiensi daya.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan bahwa dengan filter lowpass atau baterai sebagai penyimpan utama dan superkapasitor sebagai penyimpan pendukung, efisiensi daya meningkat 18% dari kapasitas terpasang dibanding dengan pemasangan filter highpass (dimana terdapat selisih daya tersimpan sebanyak 90 hingga 100 W), namun karakteristik self-discharge yang dapat membuat superkapasitor susah digunakan dalam jangka waktu yang lama apabila sebagai penyimpan utama, namun dari hasil apabila dalam waktu singkat dan naik turun secara cepat maka lebih baik menggunakan superkapasitor sebagai penyimpan utama. Sedangkan untuk aspek ripple pada tegangan beban, filter highpass memiliki osilasi sebesar 1% dan overshoot undershoot pada daya beban ada pada maksimal 8% terhadap daya nominal. Ini berbeda dengan filter lowpass yang memiliki osilasi sebesar 2% dan overshoot

undershoot pada daya beban ada pada maksimal 13%. Semoga dengan adanya penelitian ini dapat menyumbang perkembangan dalam bidang kendali stabilitas daya untuk teknik elektro khususnya pada bidang sistem kelistrikan energi terbarukan dan sekaligus mengusulkan kepada penelitian selanjutnya untuk melakukan perubahan temperatur agar mendapatkan pendekatan optimal pada luaran daya.

References

1. R. M. Elavarasan et al., "A Comprehensive Review on Renewable Energy Development, Challenges, and Policies of Leading Indian States With an International Perspective," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 74432-74457, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2988011.
2. B. Zhou et al., "Optimal Scheduling of Biogas-Solar-Wind Renewable Portfolio for Multicarrier Energy Supplies," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 33, no. 6, pp. 6229-6239, 2018, doi: 10.1109/TPWRS.2018.2833496.
3. K. Sehil and M. Darwish, "Effective Power Management in a Stand-alone PV System," in 2018 53rd International Universities Power Engineering Conference (UPEC), 2018, pp. 1-5. doi: 10.1109/UPEC.2018.8541924.
4. W. Jing, C. Hung Lai, S. H. W. Wong, and M. L. D. Wong, "Battery-supercapacitor hybrid energy storage system in standalone DC microgrids: areview," *IET Renewable Power Generation*, vol. 11, no. 4, pp. 461-469, Mar. 2017, doi: <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2016.0500>.
5. H. Chen, T. N. Cong, W. Yang, C. Tan, Y. Li, and Y. Ding, "Progress in electrical energy storage system: A critical review," *Progress in Natural Science*, vol. 19, no. 3, pp. 291-312, 2009, doi: <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2008.07.014>.
6. S. K. Kollimalla, M. K. Mishra, and N. L. Narasamma, "Design and Analysis of Novel Control Strategy for Battery and Supercapacitor Storage System," *IEEE Trans Sustain Energy*, vol. 5, no. 4, pp. 1137-1144, 2014, doi: 10.1109/TSSTE.2014.2336896.
7. Z. Cabrane, M. Ouassaid, and M. Maaroufi, "Management and control of storage photovoltaic energy using battery-supercapacitor combination," in 2014 Second World Conference on Complex Systems (WCCS), 2014, pp. 380-385. doi: 10.1109/ICoCS.2014.7060896.
8. D. Jain, N. Sandeep, A. K. Verma, and U. R. Yaragatti, "A Simple Methodology for Sizing of Stand-Alone PV-Battery System," in 2019 8th International Conference on Power Systems (ICPS), 2019, pp. 1-5. doi: 10.1109/ICPS48983.2019.9067672.
9. A. Berrueta, A. Ursúa, I. S. Martín, A. Eftekhari, and P. Sanchis, "Supercapacitors: Electrical Characteristics, Modeling, Applications, and Future Trends," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 50869-50896, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2908558.
10. A. M. AbdelAty, A. S. Elwakil, A. G. Radwan, C. Psychalinos, and B. J. Maundy, "Approximation of the Fractional-Order Laplacian s^α As a Weighted Sum of First-Order High-Pass Filters," *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, vol. 65, no. 8, pp. 1114-1118, 2018, doi: 10.1109/TCSII.2018.2808949.
11. X. Li, R. Ma, L. Wang, S. Wang, and D. Hui, "Energy Management Strategy for Hybrid Energy Storage Systems with Echelon-use Power Battery," in 2020 IEEE International Conference on Applied Superconductivity and Electromagnetic Devices (ASEMD), 2020, pp. 1-2. doi: 10.1109/ASEMD49065.2020.9276135.
12. J. A. del Valle, D. Anseán, J. C. Viera, J. L. Antuña, M. González, and V. García, "Analysis of Advanced Lithium-Ion Batteries for Battery Energy Storage Systems," in 2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), 2018, pp. 1-6. doi: 10.1109/EEEIC.2018.8493934.
13. D. Menniti et al., "A Real-Life Application of an Efficient Energy Management Method for a Local Energy System in Presence of Energy Storage Systems," in 2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), 2018, pp. 1-6. doi: 10.1109/EEEIC.2018.8494629.
14. Y. Xu, S. Jiang, and T. X. Zhang, "Research and design of lithium battery management system for electric bicycle based on Internet of things technology," in 2019 Chinese Automation Congress (CAC), 2019, pp. 1121-1125. doi: 10.1109/CAC48633.2019.8997319.