

Pemodelan Bidirectional Converter DC-DC menggunakan *Fuzzy Logic* pada Sistem *Micro-Grid* dengan PLTS dan PLN

Azmi Saleh¹, Ellend Sekar Ayu Asmara², dan Supriyadi Prasetyono³

Teknik Elektro, Universitas Jember

Jl. Kalimantan No.37, Jember, Jawa Timur, Indonesia

azmi.teknik@unej.ac.id

Abstrak

Indonesia merupakan negara tropis yang memiliki ketersediaan energi matahari melimpah sepanjang tahun. Pemanfaatan energi matahari sebagai pembangkit energi listrik sudah banyak diteliti oleh peneliti. Sifat energi matahari yang berubah-ubah tergantung pada intensitas matahari, maka dibutuhkan hibridasi dengan sumber lain dan penyimpanan agar bisa mensuplai beban. Dalam pengembangan sistem micro-grid yang terintegrasi dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Perusahaan Listrik Negara (PLN), penggunaan converter DC-DC bidirectional menjadi krusial untuk mengatur aliran daya antara komponen penyimpanan energi dan beban. Artikel ini membahas pemodelan converter DC-DC bidirectional yang dilengkapi dengan kontrol Fuzzy Logic agar sistem bisa beroperasi secara optimal (mempunyai efisiensi yang tinggi). Metodologi yang digunakan melibatkan simulasi dan analisis performa converter di bawah berbagai kondisi operasi, termasuk variasi input dari PLTS dan PLN. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan kontrol Fuzzy Logic pada converter DC-DC bidirectional mampu mengoptimalkan transfer daya, dan mengurangi fluktuasi tegangan. Hasil penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi micro-grid yang lebih andal dan efisien.

Kata Kunci — energi matahari, bidirectional konverter, fuzzy logic, microgrid.

Abstract

Indonesia is a tropical country with abundant solar energy availability throughout the year. Researchers have widely studied the use of solar energy as a generator of electrical energy. The changing nature of solar energy depends on the sun's intensity, so it requires hybridization with other sources and storage to supply the load. In developing a micro-grid system integrated with Solar Power Plants (PLTS) and the State Electricity Company (PLN), using bidirectional DC-DC converters is crucial to regulate the power flow between the energy storage components and the load. This article discusses modeling a bidirectional DC-DC converter equipped with Fuzzy Logic control so that the system can operate optimally (have high efficiency). The methodology involves simulating and analyzing converter performance under various operating conditions, including variations in input from PLTS and PLN. The research results show that applying Fuzzy Logic control to a bidirectional DC-DC converter can optimize power transfer and reduce

voltage fluctuations. The results of this research contribute to the development of more reliable and efficient microgrid technology.

Keywords — solar energy, bidirectional converter, fuzzy logic, microgrid

PENDAHULUAN

Penggunaan energi terbarukan semakin meningkat untuk mengurangi emisi karbon dan ketergantungan pada bahan bakar fosil. Salah satu solusi yang banyak dikembangkan adalah sistem micro-grid, yang memungkinkan integrasi berbagai sumber energi terbarukan (energi matahari, energi angin dan lainnya). Dalam sistem micro-grid, bidirectional konverter DC-DC berfungsi untuk mengatur aliran daya antara sumber energi, penyimpanan energi, dan beban. Pengendalian bidirectional konverter DC-DC sangat penting untuk mengoptimalkan efisiensi dan kinerja keseluruhan sistem.

Penggunaan metode Fuzzy logic dalam kontrol bidirectional konverter DC-DC digunakan untuk mengatur aliran daya atau menentukan sumber energi mana yang akan mensuplai beban. Fuzzy logic akan meniru cara berpikir manusia dalam mengambil keputusan berdasarkan informasi yang ambigu atau tidak lengkap, mampu memberikan respons yang adaptif dan robust terhadap variasi kondisi operasi.

Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan dan menganalisis kinerja bidirectional konverter DC-DC yang dikendalikan oleh fuzzy logic dalam sistem micro-grid yang mengintegrasikan PLTS dan PLN. Fokus utama dari penelitian ini adalah mengkaji bagaimana penerapan fuzzy logic agar efisiensi transfer daya meningkat serta memberikan solusi terhadap tantangan teknis dalam integrasi energi terbarukan ke dalam micro-grid.

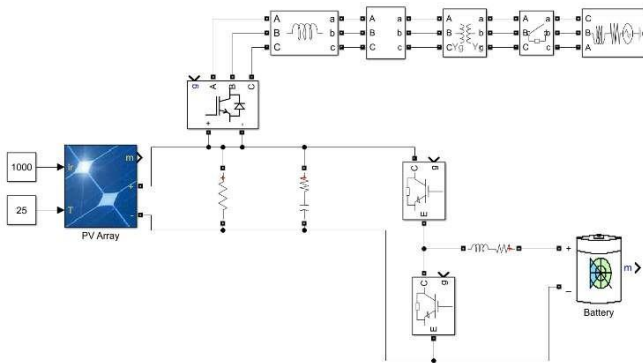
Struktur artikel ini akan diawali dengan tinjauan literatur yang relevan mengenai teknologi bidirectional konverter DC-DC dan penerapan fuzzy logic dalam sistem kontrol. Selanjutnya, metodologi yang digunakan dalam pemodelan dan simulasi akan dijelaskan secara rinci. Bagian hasil dan pembahasan akan menyajikan analisis kinerja sistem berdasarkan simulasi yang dilakukan, diikuti dengan kesimpulan yang merangkum temuan utama dan rekomendasi untuk penelitian lebih lanjut.



METODE PENELITIAN

A. Pemodelan Simulasi

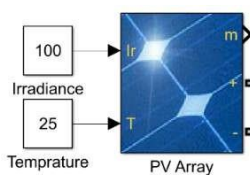
Pada penelitian ini dilakukan pembuatan pemodelan simulasi PLTS dengan simulink MATLAB dengan indicator input adalah iradiansi dan juga temperature. Hasil daya dari PLTS akan dikontrol oleh bidirectional converter DC-DC untuk kemudian digunakan menyuplai beban dan juga baterai ketika dalam kondisi charging. Dari simulasi ini akan diketahui bagaimana kerja *fuzzy logic* terhadap management baterai oleh bidirectional converter DC-DC. Pemodelan simulasi yang digunakan pada Simulink MATLAB dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Pemodelan Simulasi

B. Pemodelan Sumber Energi

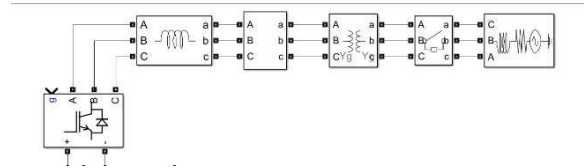
Simulasi sistem microgrid ini terdiri dari dua sumber energi yaitu PLTS dan PLN. Panel surya yang digunakan adalah jenis Soltech dengan daya maksimum yang dapat dihasilkan adalah 213.15 Watt dengan nilai tegangan maksimum (V_{mp}) adalah 29V dan arus maksimum (I_{mp}) adalah 7.35A. Rangkaian PV pada Simulink MATLAB dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian PV

Output tegangan dan arus dari panel kemudian akan dijadikan input dari bidirectional converter DC-DC untuk menyuplai baterai ketika charging dan juga untuk mensuplai beban. Sumber energi selanjutnya yang akan digunakan pada system microgrid ini adalah PLN. Arus dan tegangan dari PLN akan diturunkan menggunakan trafo step-down agar tegangan dan arus dapat bersinergi dengan panel surya yang akan digunakan. Kemudian tegangan dan arus AC dari PLN

akan disearahkan menjadi DC sehingga pada rangkaian ini dapat digunakan untuk menyuplai beban yang merupakan beban DC. Rangkaian PLN pada Simulink MATLAB dapat dilihat pada gambar 3.

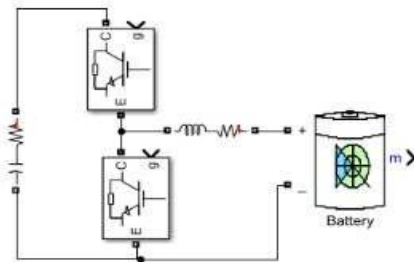


Gambar 3. Rangkaian PLN

C. Bidirectional Converter DC-DC

Perancangan bidirectional converter DC-DC pada sistem menggunakan prinsip kerja *buck-boost* converter. Pada converter ini dapat membuat output tegangan pada rangkaian menjadi tetap pada level yang telah ditentukan dengan berapapun input yang diberikan. Ketika tegangan sumber turun hingga pada level yang tidak efektif, maka converter ini akan dapat mentolerir tegangan dengan cara membuat range tegangan menjadi lebih lebar daripada sebelumnya sehingga tegangan output pada rangkaian sistem dapat tetap stabil.

Bidirectional converter DC-DC mampu merubah arah dari aliran daya pada rangkaian sistem. Arus listrik yang mengalir pada sistem dapat dialirkan dari sumber menuju beban ataupun sebaliknya. Dalam hal ini, baterai akan berlaku sebagai beban ketika dalam mode charging dan akan berlaku sebagai sumber alternative ketika dalam mode discharge. Rangkaian Bidirectional converter DC-DC pada Simulink MATLAB dapat dilihat pada gambar 4.



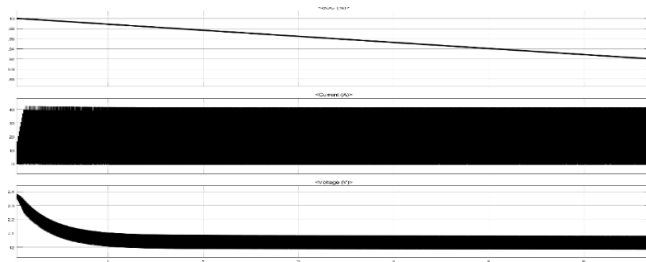
Gambar 4. Bidirectional converter DC-DC

Bidirectional converter DC-DC dapat beroperasi pada mode *buck* dan *boost* dengan menggunakan MOSFET sebagai komponen penyusun rangkaian. Ketika MOSFET pertama (P) dalam keadaan aktif dan MOSFET kedua (N) dalam keadaan tidak aktif, maka rangkaian akan dalam keadaan *buck*. Ketika MOSFET kedua (N) dalam keadaan aktif dan MOSFET (P) dalam keadaan tidak aktif, maka rangkaian akan dalam mode *boost*.

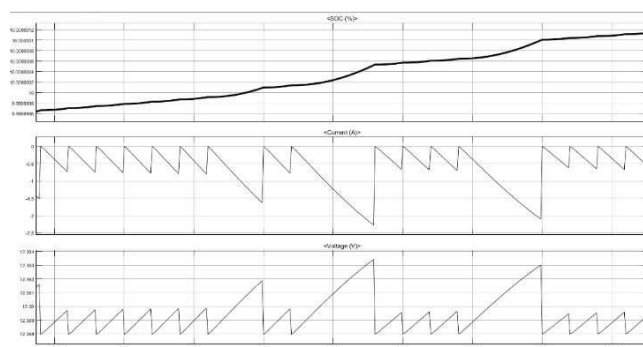
D. Pengujian Aliran Daya

Rangkaian daya yang akan diuji adalah bidirectional converter DC-DC pada baterai. Baterai yang digunakan merupakan jenis baterai Lithium-Ion dengan spesifikasi tegangan 12V dan kapasitas 5Ah. Rangkaian bidirectional converter DC-DC akan diuji dalam dua kondisi yaitu ketika baterai dalam keadaan *discharge* dan dalam kondisi *charge*.

Ketika baterai dalam keadaan discharging, arus akan dalam keadaan negatif. Kontroler akan akan dalam keadaan boost, sehingga MOSFET N akan aktif dan MOSFET P dalam keadaan tidak aktif. Tegangan pada saat ini akan terus dipertahankan hingga arus kembali menyentuh titik Nol. Hasil pengujian mode *charge* dan mode *discharging* dapat dilihat pada gambar 5 dan gambar 6.



Gambar 5. Hasil Pengujian mode *charging*



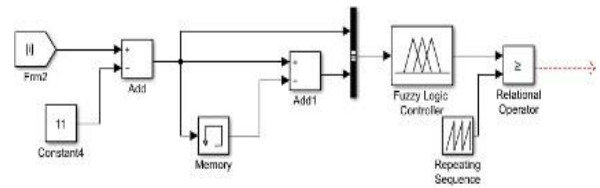
Gambar 6. Hasil Pengujian mode *discharging*

Ketika baterai dalam keadaan discharging, arus akan dalam keadaan negatif. Kontroler akan akan dalam keadaan boost, sehingga MOSFET N akan aktif dan MOSFET P dalam keadaan tidak aktif. Tegangan pada saat ini akan terus dipertahankan hingga arus kembali menyentuh titik Nol.

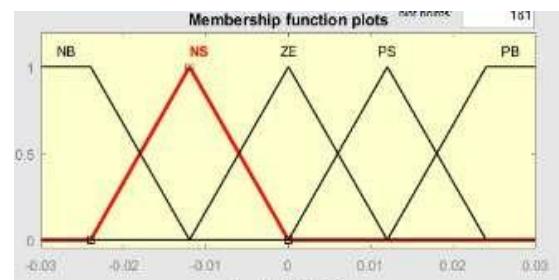
E. Perancangan FLC

Input dari kontrol *fuzzy* yang digunakan merupakan power dan juga Soc pada baterai. Sehingga ketika baterai dalam keadaan dibawah 50% maka secara otomatis, kontrol akan membuat baterai dalam kondisi *charging* melalui bidirectional konverter DC-DC. Dengan cara mentrigger pada gate MOSFET P untuk aktif sehingga membuat bidirectional

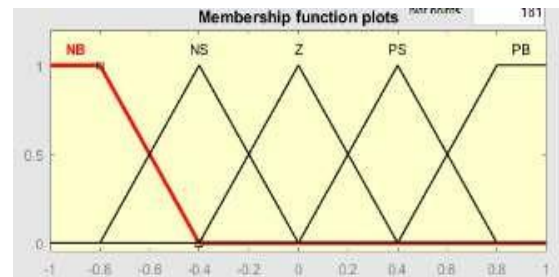
konverter DC-DC dalam keadaan *boost*. Rangkaian control fuzzy pada Simulink MATLAB dapat dilihat pada gambar 7. Sedangkan fungsi keanggotaan dari fuzzy logic dapat dilihat pada gambar 8 sampai dengan gambar 10.



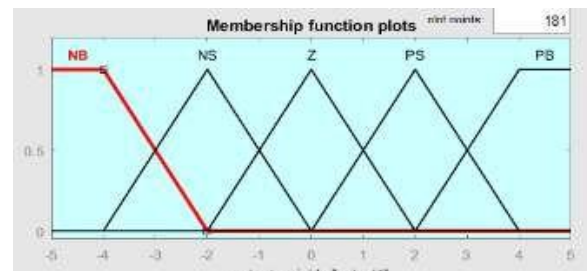
Gambar 7. Kontrol Logika Fuzzy



Gambar 8. Membership *function* untuk Idc Ref



Gambar 9. Membership *function* untuk Soc Battery



Gambar 10. Membership *function* untuk Output

HASIL DAN PEMBAHASAN

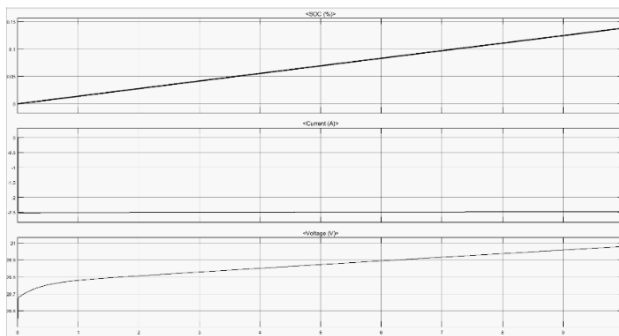
Pada penelitian ini akan dibahas mengenai bidirectional konverter DC-DC sebagai regulator tegangan pada panel surya. Output dari panel surya ini merupakan input dari bidirectional konverter DC-DC. Untuk mendapatkan nilai baterai yang konstan pada rangkaian, maka bidirectional akan bertindak



sebagai regulator tegangan pada rangkaian sehingga, dapat mengatur nilai tegangan untuk mengendalikan arus pada rangkaian.

A. Pada SoC 0% dengan Iradiansi 1000W/m²

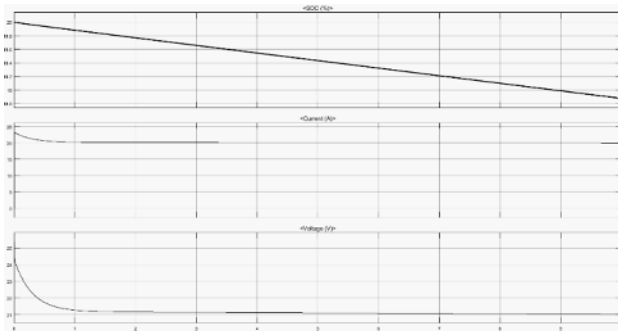
Pengujian dilakukan pada saat SoC 0% dengan iradiansi matahari sebesar 1000W/m² didapatkan hasil seperti pada gambar 11. Pada gambar 11 dapat diketahui bahwa nilai arus yang terukur pada baterai adalah negatif. Hal ini menunjukkan bahwa rangkaian sedang pada mode boost sehingga menyebabkan baterai menjadi pada keadaan *discharging*.



Gambar. 11 Hasil pengujian pada saat SoC 0% dengan Iradiansi 1000W/m²

B. Pada SoC 20% dengan Iradiansi 1000W/m²

Pengujian dilakukan pada saat SoC 20% dengan Iradiansi 1000W/m², kurva pada rangkaian kembali menjadi sama ketika *charging* mode. Dengan input SoC sebesar 20% baterai kembali pada mode *charging*. Hal ini diketahui dengan adanya penurunan arus hingga titik negatif sehingga kurva akan bergerak menuju kearah titik positif selama *charging* berlangsung. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar. 12 Hasil pengujian pada saat SoC 20% dengan Iradiansi 1000W/m²

C. Pada SoC 80% dengan iradiansi 1000W/m²

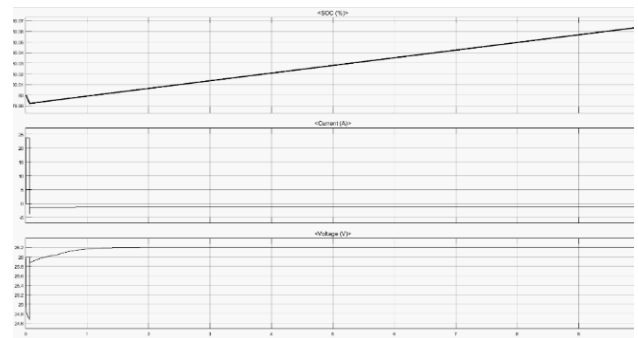
Pengujian dilakukan pada saat SoC 80% dengan iradiansi 1000W/m² Pada Hasil pengujian SoC 80% dengan Iradiansi

1000W/m², kurva pada rangkaian kembali menjadi sama ketika *charging* mode. Dengan input SoC sebesar 80% baterai kembali pada mode *charging*. Hal ini diketahui dengan adanya penurunan arus hingga titik negatif sehingga kurva akan bergerak menuju kearah titik positif selama *charging* berlangsung. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 13.

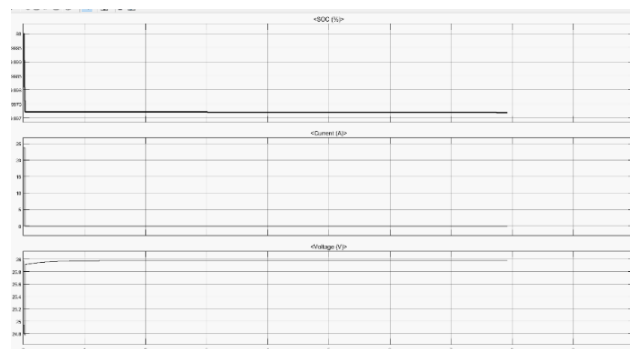
D. Pada SoC 80% dengan iradiansi 100W/m²

Pengujian dilakukan pada saat SoC 80% dan iradiansi 100W/m² didapatkan hasil tegangan pada panel adalah sebesar 3.637V dengan arus sebesar 0.7852A. Sedangkan pada baterai terukur arus sebesar 0A dengan tegangan 25.98V.

Tegangan pada baterai terukur sebesar 25.98V. Hal ini dikarenakan bi-directional converter dan fuzzy mampu mengontrol baterai agar tetap pada titik konstan menggunakan prinsip *buck-boost* konverter yaitu pada titik 25V. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 14.



Gambar 13. Hasil pengujian pada saat SoC 80% dengan iradiansi 1000W/m²



Gambar 14. Hasil pengujian pada saat SoC 80% dengan iradiansi 100W/m²

Saat kondisi iradiansi 0W/m² diasumsikan dengan tidak adanya cahaya matahari yang mengenai panel, sehingga listrik tidak dapat diproduksi. Oleh karena itu, ketika panel surya tidak lagi dapat menyuplai energi maka, aliran energi pada rangkaian akan disuplai oleh PLN.

Hasil dari percobaan pada iradiansi 0W/m² terukur arus dan tegangan pada panel surya adalah 0A dan 0V. Hasil yang sama ditunjukkan pada baterai, yaitu terukur arus 0A.

KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan dapat ditulis berdasarkan dari hasil penelitian, yaitu:

1. Fuzzy bekerja untuk mengontrol posisi buck – boost pada bidirectional converter untuk mengontrol tegangan baterai agar tetap 25V pada rangkaian pada setiap output dari panel surya.
2. Ketika arus pada baterai trukur negative maka batetrai akan dalam keadaan charging. Charging akan terus berjalan dengan cara mempertahankan tegangan baterai hingga arus mencapai titik nol.
3. Baterai akan dalam keadaan discharge jika arus keluaran baterai bernilai positif. Artinya arus akan keluar dari baterai uuntuk menyuplai beban seperti pada saat percobaan dengan iradiansi 100W/m².
4. Fuzzy akan merubah sumber tegangan utama rangkaian microgrid dari panel surya menjadi PLN ketika arus yang terukur pada panel bernilai negative. Seperti yang tertera pada percobaan dengan suhu 40 dengan arus terukur -18A.

Penelitian ini masih perlu dikembangkan dengan menambahkan “transformer-less D-STATCOM” dengan menggunakan multilevel konverter dan merancang sistem kontrol yang mampu mengatur tegangan DC yang terhubung secara seri, sehingga menghilangkan sumber DC dari *bridge*. Selain itu, kontroler menggunakan metode *Neural Network* lainnya mampu dibuat dengan memperbanyak iterasi dan *hidden layer* untuk hasil yang lebih maksimal.

REFERENSI

- [1] Agung Pamuji, F., & Soedibyo, *Desain Kontrol Multi-Input Dc-Dc Converter Sistem Hibrid Turbin Angin Dan Sel Surya Menggunakan Kontrol Fuzzy Logic Untuk Tegangan Rendah*, Jurnal Nasional Teknik Elektro Vol. 4, Issue 2, 2015.
- [2] Nagaiah, M., & Sekhar, K. C., *Analysis of fuzzy logic controller based bi- directional DC-DC converter for battery energy management in hybrid solar/wind micro grid system*, International Journal of Electrical and Computer Engineering, 10(3), 2271–2284, 2020. <https://doi.org/10.11591/ijece.v10i3.pp2271-2284>
- [3] Rahayu, N., Irianto, I., & Prasetyono, E., *Desain dan Implementasi Bidirectional DC-DC Converter Untuk Penerangan Darurat*, Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering), 7(2), 108–116, 2020. <https://doi.org/10.33019/jurnalecotipe.v7i2.1883>
- [4] Asyadi, T. M., Sara, I. D., & Suriadi, S., *Metode Maximum Power Point Tracking (MPPT) dan Boost Converter Menggunakan Fuzzy Logic Controller (FLC) pada Modul Surya*. Jurnal Rekayasa Elektriika, 17(1), 1–6, 2021. <https://doi.org/10.17529/jre.v17i1.17863>
- [5] Fabianto, F., & Prilian Eviningsih, R., *Multiple Output Buck Converter (SIMO) untuk Pengaturan Kecepatan Motor DC Penguat Terpisah Berbasis Fuzzy Logic Control*, Jurnal EECCIS, Vol. 16, Issue 1, 2022. <https://jurnaleeccis.ub.ac.id/>
- [6] Saefuddin, R. F., Winardi, B., & Sudjadi, D. (n.d.), *Perancangan PLTS Hybrid dengan Bidirectional Dc-Dc Converter Di Gedung ICT Universitas Diponegoro Menggunakan Software Matlab Simulink*, Jurnal Ilmiah Teknik Elektro TRANSIENT, Vol. 10, Issue 2, 390-398, 2021. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient/article/view/29546>
- [7] Mustiko Aji, S., & Winardi dan Sudjadi, B. (n.d.). *Perancangan PLTS Hybrid Menggunakan Maximum Power Point Tracking (MPPT) sebagai Pemaksimalan Daya Photovoltaic (PV) Di Gedung ICT Universitas Diponegoro Dengan Software Matlab Simulink*, Jurnal Ilmiah Teknik Elektro TRANSIENT, Vol. 10, Issue 2, 370-376, 2021. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient/article/view/29553>
- [8] Effendy, M., *Rancang Bangun Maximum Power Point Tracking (Mpppt) Solar Sel Untuk Aplikasi Pada Sistem Grid Pembangkit Listrik Tenaga Angin (Pltag)*, Jurnal GAMMA, Vol. 9 No. 1, 2013. <http://ejournal.umm.ac.id/index.php/gamma/article/view/2420>
- [9] Hayusman, L. M., & Hidayat, T., *Redesain Panel kendali PLTS 400 Wp di Masjid Al-Ikhlas Perumahan Bumi Perkasa Regency Kabupaten Malang Jawa Timur*. Buletin Profesi Insinyur, 4(2), 62–69, 2021. <https://doi.org/10.20527/bpi.v4i2.100>
- [10] Saleh, A. *Perancangan Sistem Kontrol Hibrid Energi Surya Fotovoltaik (SESF) dengan Sumber Listrik PLN Menggunakan Fuzzy Logic Controller*, Seminar Nasional dan Expo Teknik Elektro SNETE, 2015.
- [11] Tri Nugroho, D., Mubyarto, A., Aminatus, A., *Desain Dan Analisis Hybrid System Controller Pv-Diesel berbasis Fuzzy Inference System*, Seminar Nasional Edusaintek, 2019. <https://prosiding.unimus.ac.id/index.php/edusaintek/article/download/354/357>.
- [12] SPLN D5.004-1: 2012, Standar PT PLN (Persero). *Power Quality (Regulasi Harmonisa, Flicker Dan Ketidakseimbangan Tegangan)*, 563.
- [13] Sree Jyothi, K. R., Venkatesh Kumar, P., & JayaKumar, J., *A Review of Different Configurations and Control Techniques for DSTATCOM in the Distribution system*. E3S Web of Conferences, 309, 01119, 2021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130901119>
- [14] Yang, X. P., Zhong, Y. R., & Wang, Y., *A novel control method for DSTATCOM using artificial neural network*. Conference Proceedings - IPEMC 2006: CES/IEEE 5th International Power Electronics and Motion Control Conference, 3, 1724–1727, 2007. <https://doi.org/10.1109/IPEMC.2006.297372>
- [15] Yendi Esye, S. L., *Analisa Perbaikan Faktor Daya Sistem Kelistrikan*. Sains & Teknologi, XI(1), 103–113, 2021.

