

Pengaturan Tegangan Pada *Boost Converter* Menggunakan Kontrol Fuzzy-PI

Nanda Eka Saputra

Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia

e-mail: nanda.21035@mhs.unesa.ac.id

Rifqi Firmansyah, Habib Brilian Wicaksono

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia

e-mail: rifqifirmansyah@unesa.ac.id, habib.21028@mhs.unesa.ac.id

Abstrak

Perkembangan teknologi pada sistem pengaturan tegangan listrik terus mengalami perkembangan seiring dengan meningkatnya kebutuhan sebagai implementasi dalam berbagai aplikasi industri seperti pada sistem tenaga surya, kendaraan listrik, dan perangkat elektronik portabel. Salah satu komponen penting dalam suatu sistem pengaturan tegangan adalah *boost converter*, yang memiliki fungsi untuk meningkatkan nilai tegangan dari sumber daya ke nilai yang lebih tinggi. Dalam penerapannya, *boost converter* sering menghadapi beberapa tantangan dalam menjaga kinerja terutama di bawah pengaruh kondisi beban yang bervariasi. Untuk memastikan *boost converter* dapat bekerja dalam berbagai kondisi, dibutuhkan metode yang efektif dan adaptif dengan performa optimal. Penelitian ini mengusulkan metode Fuzzy-PI untuk pengaturan tegangan pada *boost converter*. Penerapan metode ini diharapkan mampu meningkatkan kinerja pada *boost converter*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kontrol Fuzzy-PI mampu memberikan performa paling unggul dibandingkan metode konvensional lainnya, dengan karakteristik *rise time* yang cepat, *overshoot* yang rendah, serta *error steady state* yang minimal. Sistem ini juga menunjukkan ketahanan tinggi terhadap gangguan dan adaptasi cepat terhadap perubahan, menjadikannya solusi yang efektif dan andal untuk pengaturan tegangan dalam berbagai aplikasi.

Kata Kunci: Fuzzy-PI, *boost converter*, pengaturan tegangan.

Abstract

The development of technology in voltage regulation systems continues to progress along with the increasing need for implementation in various industrial applications such as solar power systems, electric vehicles, and portable electronic devices. One important component in a voltage regulation system is a boost converter, which has a function to increase the voltage value from the power source to a higher value. In its application, the boost converter often faces several challenges in maintaining performance especially under the influence of varying load conditions. To ensure the boost converter can work under various conditions, an effective and adaptive method with optimal performance is needed. This research proposes a Fuzzy-PI method for voltage regulation in boost converters. The application of this method is expected to improve the performance of the boost converter. The test results show that Fuzzy-PI control is able to provide the most superior performance compared to other conventional methods, with characteristics of fast rise time, low overshoot, and minimal steady state error. The system also exhibits high robustness to disturbances and fast adaptation to changes, making it an effective and reliable solution for voltage regulation in various applications.

Keywords: Fuzzy-PI, *boost converter*, voltage regulation.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi pengaturan tegangan membutuhkan solusi untuk mencapai kinerja yang diinginkan dalam aplikasi seperti sistem tenaga surya dan kendaraan listrik. Tanpa perangkat yang dapat mengatur tegangan, sulit untuk mencapai kinerja sistem yang diinginkan di bawah pengaruh perubahan kondisi yang bervariasi. Perangkat pengaturan tegangan berperan penting untuk memastikan performa sistem bekerja secara optimal dalam menghadapi gangguan dan perubahan kondisi. Salah satu contoh perangkat pengaturan tegangan adalah *boost converter*.

Boost converter merupakan suatu solusi pengaturan tegangan, yang berfungsi sebagai peningkat tegangan dengan memanfaatkan kapasitor dan induktor sebagai elemen penyimpanan energi untuk meningkatkan arus dan tegangan pada beban. Rangkaian *boost converter* terdiri dari

elemen *switching* cepat seperti transistor, serta dioda untuk mencegah arus pelepasan kapasitor kembali dan memastikan arus yang disuplai ke beban saat sumber daya terputus. Hal ini penting untuk menjaga kinerja sistem untuk menghasilkan tegangan *output* meskipun terjadi perubahan kondisi (Sierra et al., 2022). Permasalahan utama yang sering dihadapi oleh sistem *boost converter* adalah kehilangan kinerja dan fluktuasi tegangan akibat perubahan kondisi. Hal tersebut mengakibatkan sistem mengalami penurunan performa dan menghasilkan nilai tegangan *output* yang tidak diinginkan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, metode kontrol konvensional digunakan untuk meningkatkan performa *boost converter*. Salah satu metode kontrol konvensional yang digunakan adalah metode PI, metode ini dapat mengurangi nilai *error steady state* dan meningkatkan kinerja sistem dalam menghasilkan tegangan *output* (Atacak & Bay, 2012).

Sistem kontrol PI merupakan salah satu sistem kontrol

konvensional yang terdiri dari P yang bersifat sebagai gain untuk mencapai set point dan I yang berfungsi mempercepat respon sistem. Penerapan sistem kontrol PI pada *boost converter* menunjukkan bahwa sistem ini dapat bekerja dengan baik dalam mengatur tegangan *output* walaupun terjadi perubahan kondisi pada *boost converter* (Peri & Yuhendri, 2022). Meskipun sistem dapat bekerja dengan baik, terdapat beberapa permasalahan seperti respon sistem kontrol dalam menghadapi perubahan dan pengaturan parameter PI agar nilai *output* dari *boost converter* sesuai dengan kinerja yang diinginkan. Hal tersebut mengakibatkan penurunan performa *boost converter* (Dwiono, 2013).

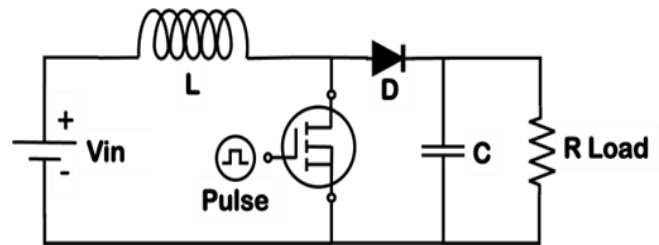
Untuk mengatasi permasalahan diatas, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem Fuzzy-PI pada *boost converter* untuk meningkatkan kinerja pengaturan tegangan *output*. Sistem kontrol Fuzzy-PI menggabungkan kelebihan dari logika fuzzy yang mampu menangani ketidakpastian dan non-linearitas, dengan keefektifan dari kontrol PI dalam mencapai nilai *steady state*. Implementasi Fuzzy-PI pada suatu konverter mewakili sebuah konsep pengaturan yang memaksimalkan hasil sesuai dengan *output* yang diinginkan. Sistem kontrol Fuzzy-PI berfungsi sebagai pembanding yang mendeteksi kesalahan pada *input* dan bekerja sesuai algoritma untuk mengimplementasikan *steady state*, menangani *error*, serta menghilangkan penyimpangan (Al-Dabbagh et al., 2024).

Dengan menggunakan metode ini, diharapkan *boost converter* dapat beroperasi dan menghasilkan nilai *output* sesuai dengan yang diinginkan serta respon dinamis yang lebih cepat dalam berbagai kondisi (Murillo-Yarce et al., 2020). Pentingnya penelitian ini terletak pada potensi untuk meningkatkan performa pengaturan tegangan yang memiliki dampak positif terhadap aplikasi pada sumber daya terbarukan seperti kendaraan listrik dan perangkat elektronik portabel.

TINJAUAN PUSTAKA

Boost converter

Penelitian ini menggunakan DC-DC *boost converter*, sebuah topologi klasik dengan perilaku non-linear akibat dua keadaan switch, menghasilkan sinyal PWM untuk menentukan siklus kerja per periode *switching* (Murillo-Yarce et al., 2020). DC-DC *boost converter*, dikenal sebagai *step-up converter*, berfungsi meningkatkan tegangan input rendah menjadi tegangan output tinggi dengan mengubah *duty cycle*, menggunakan *switch*, dioda, serta induktor sebagai penyimpan energi, sementara kapasitor di ujung beban mengurangi *ripple* pada arus output (K et al., 2020).



Gambar 1. Rangkaian DC-DC *boost converter*

Fuzzy Logic Controller

Alur proses logika fuzzy diawali dengan menentukan membership function, yaitu fungsi yang menetapkan derajat keanggotaan suatu nilai dalam himpunan fuzzy (antara 0 dan 1). Selanjutnya, dalam proses fuzzifikasi, nilai pasti (crisp) dikonversi menjadi nilai fuzzy menggunakan membership function. Nilai fuzzy ini kemudian masuk ke tahap inferensi, di mana fuzzy rules diterapkan untuk menghasilkan nilai fuzzy output. Terakhir, melalui defuzzifikasi, nilai fuzzy output dikonversi kembali menjadi nilai pasti (crisp). Sederhana, tetapi sangat kuat dalam menangani ketidakpastian. (Lwin, 2021).

PI Controller

Sistem kontrol PI bertujuan untuk mengatur variabel proses agar mencapai nilai yang diinginkan dengan memperhatikan selisih antara set point dan nilai aktual. Kontrol P merespons perubahan dengan cepat untuk mengurangi kesalahan, sedangkan kontrol I mengintegrasikan kesalahan seiring waktu untuk menghilangkannya pada kondisi stabil. Kombinasi keduanya memungkinkan sistem mencapai kinerja optimal dengan respons cepat dan akurasi tinggi, meskipun ada gangguan atau variasi dalam parameter sistem. (Laoprom & Tunyasirirut, 2020) Sistem kontrol PI dapat ditunjukkan melalui bentuk matematika di bawah (Yudaningtyas, 2017)

$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int_0^1 e(t) dt \quad (1)$$

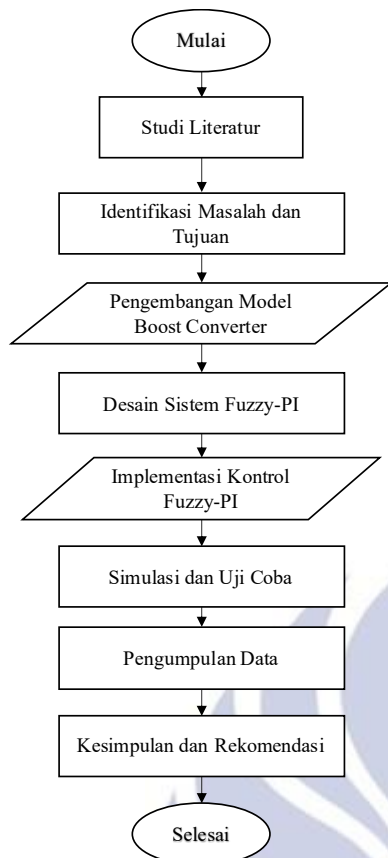
Dimana $u(t)$ merupakan nilai *output* dari sistem kontrol, K_P merupakan Konstanta pengontrol P, $e(t)$ adalah nilai *error*, dan K_I merupakan konstanta pengontrol I.

METODE PENELITIAN

Pendekatan Penelitian

Pendekatan penelitian yang dipilih berupa pendekatan kuantitatif, yang berfokus pada pengumpulan dan analisis data numerik yang diukur secara objektif. Metode kuantitatif menekankan pentingnya perolehan data melalui pengukuran yang akurat dan sistematis. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental untuk mengembangkan dan menguji desain sistem Fuzzy-PI untuk pengaturan tegangan pada *boost converter*.

Penelitian ini melibatkan beberapa tahapan yang terdapat pada gambar 2:



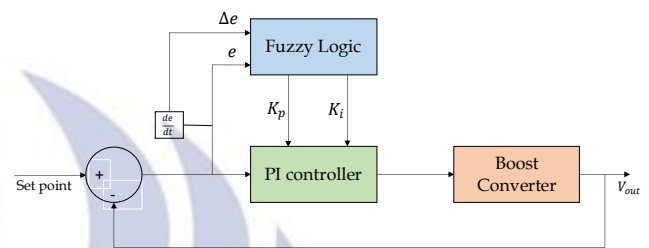
Gambar 2. Flowchart rancangan penelitian penelitian

Penelitian ini diawali dengan perencanaan awal dan pengumpulan sumber daya yang dibutuhkan. Langkah selanjutnya adalah melakukan studi literatur untuk memahami konsep-konsep yang relevan untuk digunakan sebagai dasar teoritis. Salah satu contohnya yaitu Penelitian yang dilakukan oleh menganalisis keunggulan performa antara sistem kontrol *fuzzy* dengan PID untuk pengaturan tegangan pada *boost converter*. Penelitian yang dilakukan oleh Daraz A dkk. pada tahun 2023 dengan judul “*Performance analysis of PID controller and fuzzy logic controller for DC-DC boost converter*” membandingkan kinerja dari sistem kontrol *fuzzy logic* dan PID pada DC – DC *boost converter*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan berbasis *fuzzy* lebih unggul dalam respon transien dibandingkan dengan kontrol berbasis PID Berdasarkan studi tersebut, peneliti mengidentifikasi masalah spesifik dan menetapkan tujuan penelitian, termasuk merumuskan pertanyaan atau hipotesis yang akan diuji. Peneliti kemudian mengembangkan model matematis atau simulasi dari *boost converter* untuk mempelajari karakteristik dan perilakunya dalam berbagai kondisi (Daraz et al., 2023). Setelah model *boost converter* sesuai, sistem kontrol Fuzzy-PI dirancang untuk meningkatkan kinerja sistem dengan menggabungkan logika fuzzy dan kontrol PI. Sistem ini kemudian diimplementasikan ke dalam model dan diuji melalui simulasi menggunakan perangkat lunak MATLAB.

Data dari hasil simulasi dikumpulkan secara sistematis, kemudian dianalisis untuk mengevaluasi kinerja sistem kontrol Fuzzy-PI. Berdasarkan hasil analisis tersebut, peneliti menarik kesimpulan mengenai efektivitas sistem dan memberikan rekomendasi untuk pengembangan atau implementasi lebih lanjut. Akhirnya, seluruh rangkaian proses penelitian didokumentasikan dalam bentuk laporan sebagai bagian dari penyusunan akhir.

Blok Diagram

Diagram blok pada Gambar 3 menunjukkan alur kerja sistem pada penelitian ini.



Gambar 3. Block diagram sistem

Gambar 3 menunjukkan diagram blok sistem yang menggambarkan alur kerja dan hubungan antar komponen utama. Sistem ini dimulai dari *set point*, yaitu nilai tegangan yang diinginkan sebagai output dari *boost converter*. Selanjutnya, logika fuzzy menerima masukan berupa nilai *error* dan perubahan *error* ($\Delta error$), yang kemudian digunakan untuk menyetel parameter K_p dan K_i dari *PI controller*. *PI controller* ini kemudian mengatur sinyal kendali yang dikirimkan ke bagian *switching* pada *boost converter*. *Boost converter* bekerja dengan mengolah tegangan input menggunakan perangkat *switching* berupa MOSFET, guna menghasilkan tegangan output yang lebih tinggi. Tegangan hasil keluaran dari *boost converter* ini disebut sebagai V_{out} .

Parameter Komponen

Parameter komponen *boost converter* yang digunakan pada penelitian ini terdapat pada tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. Parameter komponen *boost converter*

No.	Parameter	Nilai
1.	Tegangan <i>Input</i> (V_{in})	12 Volt
2.	Tegangan <i>Output</i> (V_{out})	24 Volt
3.	Frekuensi (f)	20 kHz
4.	Resistor (R)	100 Ω
5.	Induktor (L)	4,7 mH
6.	Kapasitor (C)	47 μF

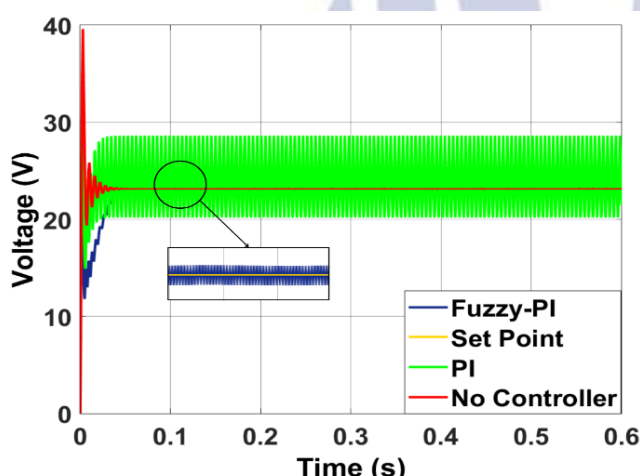
Sistem pengaturan tegangan pada *boost converter* ini menggunakan tegangan *input* 12 V dengan tegangan *output* 24 V. Perhitungan Untuk frekuensi pensaklaran yang digunakan adalah 20kHz karena komponen pensaklaran yang digunakan adalah MOSFET. Nilai Induktor yang digunakan adalah 4.7 mH. Sementara itu untuk kapasitor,

didapatkan nilai $47 \mu F$. Nilai *duty cycle* yang digunakan sebesar 0.5.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi *Boost converter* Saat *Set Point* Tetap

Pengujian kondisi *Boost converter* saat set point tetap dilakukan untuk mengevaluasi stabilitas dan respons sistem dalam mempertahankan tegangan *output* sesuai dengan set point yang diinginkan. Dalam uji coba ini, tegangan *input* dan set point diberikan secara konstan. Beberapa parameter utama yang diuji meliputi *rise time* serta *maximum overshoot*. *Rise time* mengacu pada waktu yang diperlukan oleh tegangan *output* untuk mencapai nilai *set point* dari kondisi awalnya dan *maximum overshoot* menunjukkan sejauh mana sistem menyimpang dari *set point*. *Maximum overshoot* menunjukkan lonjakan tertinggi yang terjadi sebelum sistem kembali ke keadaan stabil. Hasil dari pengujian *boost converter* dalam kondisi *set point* tetap dapat dilihat pada gambar 4 dan tabel 2 sebagai berikut:



Gambar 4. Grafik pengujian respon sistem

Tabel 2. Hasil pengujian pada kondisi set point tetap

No.	Kontroler	Rise time (s)	Maximum Overshoot (V)
1.	Fuzzy-PI	1.01m	24.07
2.	PI	935.85 μ	30.56
3.	Tanpa Pengontrol	1.08m	39.58

berdasarkan Gambar 4 dan tabel 2, dapat dilakukan perbandingan performa antara beberapa jenis kontroler, yaitu Fuzzy-PI, PI, dan tanpa pengontrol. Parameter evaluasi yang digunakan meliputi *rise time*, osilasi tegangan, dan maksimum *overshoot*. Kontroler Fuzzy-PI menunjukkan performa yang paling seimbang, dengan *rise time* sebesar 1.01 ms, dan *maximum overshoot* hanya 24.07 V, yang hampir mendekati set point sebesar 24 V. Hal ini menandakan bahwa Fuzzy-PI mampu memberikan respon yang cepat sekaligus mempertahankan kestabilan sistem,

sehingga dapat dikatakan sebagai kontroler dengan performa terbaik secara keseluruhan. Sebaliknya, Kontroler PI menunjukkan *rise time* tercepat sebesar 935.85 μs , namun performa ini dibarengi dengan *maximum overshoot* yang tinggi sebesar 30.56 V. Sementara itu, sistem tanpa kontrol memiliki *rise time* sebesar 1.08 ms, osilasi yang kecil, namun *overshoot* tetap tinggi 39.58 V, yang menunjukkan kekurangan sistem dalam mengatur respon secara efektif terhadap set point. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun respon awal sangat cepat, sistem dapat menjadi kurang stabil. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa kontroler Fuzzy-PI memberikan hasil paling optimal, dengan waktu respon yang cukup cepat dan kestabilan sistem yang baik, dibandingkan dengan kontroler lainnya.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya saya sampaikan kepada bapak Rifqi Firmansyah, S.T., M.T., Ph.D. selaku pembimbing saya, yang telah dengan sabar, cermat, dan tulus memberikan bimbingan, arahan, dan masukan yang berharga selama proses penelitian. Berkat dukungan beliau, saya dapat menyelesaikan penelitian ini dengan lebih terarah dan mendalam. Semangat, ilmu, dan pengalaman yang dibagikan beliau menjadi motivasi dan inspirasi yang sangat berarti bagi saya dalam menyelesaikan artikel ini.

PENUTUP

Simpulan

Sistem kontrol Fuzzy-PI berhasil dirancang dengan menggabungkan logika fuzzy dan kontrol PI konvensional. Implementasi sistem ini dalam simulasi menunjukkan bahwa desain dapat bekerja secara efektif untuk mengatur *duty cycle*. Analisis hasil simulasi mengungkapkan bahwa sistem Fuzzy-PI memiliki kinerja terbaik dibandingkan dengan kontrol PI dan tanpa pengontrol, karena mampu mengurangi overshoot serta meminimalkan *error steady state*. Hal ini membuktikan bahwa sistem kontrol Fuzzy-PI efektif dalam meningkatkan stabilitas dan keandalan *boost converter*.

Saran

Penelitian ini masih terbatas pada simulasi menggunakan MATLAB, sehingga disarankan untuk dikembangkan lebih lanjut dalam bentuk implementasi fisik menggunakan perangkat keras seperti mikrokontroler agar efektivitas sistem kontrol Fuzzy-PI dapat diuji secara langsung dalam kondisi nyata. Selain itu, untuk meningkatkan performa sistem, metode optimasi seperti *Particle Swarm Optimization* (PSO) atau *Genetic Algorithm* (GA) dapat diterapkan guna menyempurnakan pemilihan parameter K_p dan K_i dalam rule base, sehingga respon sistem menjadi lebih presisi dan adaptif terhadap berbagai perubahan kondisi.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Dabbagh, Z. A., Waley Shneen, S., & Hanfesh, A. O. (2024). Fuzzy Logic-based PI Controller with PWM for Buck-Boost Converter. *Journal of Fuzzy Systems and Control*, 2, 2024. <https://doi.org/10.59247/jfsc.v2i3.239>
- Atacak, I., & Bay, O. F. (2012). A type-2 fuzzy logic controller design for buck and boost DC-DC converters. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23(4), 1023–1034. <https://doi.org/10.1007/s10845-010-0388-1>
- Daraz, A., Basit, A., & Zhang, G. (2023). Performance analysis of PID controller and fuzzy logic controller for DC-DC boostconverter. *PLoS ONE*, 18(10 October). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0281122>
- Dwiono, W. (2013). Fuzzy PI Controllers Performance on Boost Converter. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 3(2), 215–220.
- Firmansyah, R., & Irmawanto, R. (2021, October). Comparison study of PI controller tuning method to regulate the DC motor speed. In *2021 3rd International Conference on Research and Academic Community Services (ICRACOS)* (pp. 93-97). IEEE.
- Firmansyah, R., & Ramli, M. A. (2024). A new adaptive droop control strategy for improved power sharing accuracy and voltage restoration in a DC microgrid. *Ain Shams Engineering Journal*, 15(9), 102899.
- Gnanavadivel, J., Senthil Kumar, N., & Yogalakshmi, P. (2017). Comparative study of PI, fuzzy and fuzzy tuned PI controllers for single-phase AC-DC three-level converter. *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 12(1), 78–90. <https://doi.org/10.5370/JEET.2017.12.1.078>
- Laoprom, I., & Tunyasirirut, S. (2020). Design of PI Controller for Voltage Controller of Four-Phase Interleaved Boost Converter Using Particle Swarm Optimization. *Journal of Control Science and Engineering*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/9515160>
- Muktiadji, R. F., Ramli, M. A., & Milyani, A. H. (2024). Twin-Delayed Deep Deterministic Policy Gradient Algorithm to Control a Boost Converter in a DC Microgrid. *Electronics*, 13(2), 433.
- Muktiadji, R. F., Ramli, M. A., Boucekara, H. R., Milyani, A. H., Rawa, M., Seedahmed, M. M., & Budiman, F. N. (2022). Control of boost converter using observer-based backstepping sliding mode control for DC microgrid. *Frontiers in Energy Research*, 10, 828978.
- Muktiadji, R. F., Ramli, M. A., Seedahmed, M. M., & Uswarman, R. (2022, September). Power Sharing Control and Voltage Restoration in DC Microgrid Using PI Fuzzy. In *2022 Fifth International Conference on Vocational Education and Electrical Engineering (ICVEE)* (pp. 130-135). IEEE.
- Murillo-Yarce, D., Munoz, J., & Restrepo, C. (2020). Mamdani type PI-fuzzy controller in a boost converter.
- Peri, & Yuhendri, M. (2022). Kendali Tegangan Konverter Boost Berbasis Proposional Integral (PI). *R2J*, 5(1). <https://doi.org/10.38035/rj.v5i1>
- Sierra, J. E., Guerrero Hernández, A. S., & López Prado, J. L. (2022). Classic And Fuzzy PI Controller For A DC-DC Boost Converter (Vol. 19, Issue 6). <http://www.webology.org>
- Yudaningtyas, E. (2017). *Belajar sistem kontrol: Soal dan pembahasan*. Universitas Brawijaya Press.