

Perancangan dan Implementasi Sistem Kendali Tegangan *Boost Converter* Menggunakan *Fuzzy Integral Controller*

Alde Ferdian¹, Adnan Rafi Al Tahtawi², Sofian Yahya³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Otomasi Industri, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung
Jalan Gegerkalong Hilir, Kabupaten Bandung Barat 40559, Indonesia
alde.ferdian.toi17@polban.ac.id

Abstrak

Pengendalian tegangan keluaran dari konverter DC/DC merupakan salah satu hal yang perlu dikaji, khususnya dalam aplikasi sistem energi terbarukan. Seperti diketahui bahwa kestabilan tegangan keluaran harus tercapai dalam merancang sebuah sistem pembangkitan tegangan listrik. *Boost converter* merupakan salah satu jenis konverter DC/DC yang dapat menghasilkan tegangan keluaran lebih besar (*step-up*) dari tegangan masukannya. Konverter ini dapat digunakan untuk berbagai jenis sistem, seperti pembangkit listrik pikohidro hingga sistem baterai pada mobil listrik. Dalam merancang konverter ini, diperlukan sebuah metode pengendalian agar konverter dapat menghasilkan keluaran yang stabil, khususnya pada saat terjadi ketidakstabilan pada tegangan masukan. Pada penelitian tugas akhir ini untuk merancang pengendali tegangan keluaran *boost converter* dengan metode kendali *Fuzzy Integral Logic Control* (FIC). Tahapan pengendali dirancang dengan dua skema, yaitu kendali FLC dan kendali integral. Pengendali FLC dirancang dengan masukan nilai *error* dan *derror* yang diperoleh dari selisih antara tegangan referensi dan tegangan keluaran. Kemudian nilai yang diperoleh akan diproses melalui tahap fuzzifikasi, mekanisme inferensi, dan defuzzifikasi menggunakan model Sugeno. Kendali integral berperan sebagai penjejak referensi saat terjadi ketidakstabilan parameter tegangan masukan. Kedua sinyal kendali ini kemudian dijumlahkan dan diubah ke dalam bentuk sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) yang digunakan untuk mengendalikan pensaklaran *MOSFET* pada modul konverter. Hasil penelitian diperoleh respon tegangan keluaran pada pengendali FIC lebih baik dibandingkan dengan respon tegangan keluaran pada pengendali FLC dimana *error* sama dengan 0%.

Kata kunci: Kendali tegangan, *boost converter*, *integral*, *fuzzy logic control*, stabil.

I. PENDAHULUAN

Konverter DC/DC merupakan salah satu bagian sistem yang penting untuk menaikkan atau menurunkan tegangan keluaran sesuai dengan yang dibutuhkan. Dalam pengaplikasiannya konverter DC/DC dapat digunakan untuk pembangkit listrik [1], sistem panel surya [2], pengisian ulang baterai [3], dan aplikasi mobil listrik [4]-[5]. Salah satu permasalahan yang muncul pada sistem konverter yaitu pengendalian kestabilan tegangan keluaran terutama pada tegangan masukan yang tidak stabil. Hal ini biasanya terjadi pada generator DC dimana putarannya tidak selalu konstan sehingga dapat menyebabkan tegangan keluaran tidak stabil [6]. Oleh karena itu penelitian tentang pengendalian

tegangan pada konverter DC/DC banyak dilakukan oleh para peneliti seperti pada penelitian [7].

Merancang simulasi pengendali tegangan keluaran *boost converter* menggunakan PID. Hasil simulasi menunjukkan pengendali PID mampu menstabilkan tegangan keluaran dengan *overshoot* terbesar 2,2%. Sedangkan pada penelitian [8] merancang *fractional order* PID untuk *boost converter*. Hasil dari penelitiannya menunjukkan metode yang diusulkan menghasilkan performa lebih baik jika dibandingkan dengan pengendali PID konvensional. Selain Selain konverter DC/DC tipe *boost*, pengendali PID juga telah diterapkan untuk konverter DC/DC tipe *buck-boost* pada sistem panel surya. Hasil simulasi menggunakan proteus menunjukkan pengendali PID mampu menghasilkan efisiensi regulasi tegangan 90%-99% [9]. Selain metode kendali konvensional seperti PID, metode kendali cerdas seperti FLC juga telah

dikembangkan oleh beberapa peneliti untuk konverter DC/DC. Seperti pada penelitian [10] merancang FLC untuk pengendalian *boost converter* pada sistem panel surya. Hasil simulasi dengan beberapa kondisi pembebanan menunjukkan bahwa FLC mampu menghasilkan respon transien yang baik dengan *overshoot* 0% dan *settling time* kurang dari 0,05 detik. Sedangkan pada penelitian [12] menggabungkan skema pengendali PI dengan FLC Mamdani untuk kendali tegangan keluaran *boost converter*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan keluaran mampu melakukan *set point tracking* untuk kondisi tegangan masukan yang konstan. Pengendali *Fuzzy Sliding Mode* (FSMC) merupakan mekanisme lainnya dimana dengan adanya metode *sliding mode* mampu menghasilkan tegangan keluaran *boost converter* yang memiliki kekokohan terhadap gangguan [13]. Terakhir, pengendalian tegangan *converter* DC/DC tipe *boost* telah dirancang menggunakan pengendali interval *fuzzy* tipe 2 [14], [15]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengendali *fuzzy* tipe 2 mampu mengatasi adanya ketidakpastian parameter pada sistem *loop* tertutup. Hal ini karena pengendali *fuzzy* tipe 2 memiliki *Footprint of Uncertainty* (FoU) pada fungsi keanggotaan masukan.

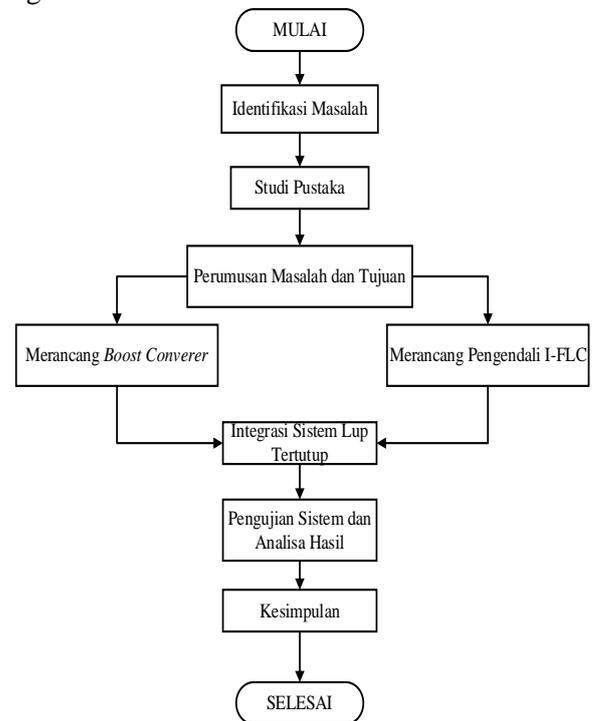
Dari beberapa metode pengendalian yang diuraikan di atas, FLC dapat memberikan hasil pengendalian yang lebih baik jika dibandingkan dengan kendali konvensional seperti PID. Hal ini dikarenakan FLC memiliki karakteristik kekokohan dengan mengkalkulasi sinyal kendali berdasarkan nilai *error* dan perubahannya. Berbeda dengan beberapa penelitian di atas, pada penelitian ini pengendali integral ditambahkan pada sinyal kendali FLC agar mampu menghasilkan *set point tracking* yang handal. Dengan adanya pengendali integral, maka tegangan keluaran konverter DC/DC tipe *boost* dapat tetap berada pada *set point* meskipun terjadi perubahan pada tegangan masukan. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk merancang pengendalian *Fuzzy Integral Controller* pada *boost converter* dengan tegangan dijaga konstan 24VDC dan membandingkan respon pengendalian FLC dengan pengendalian *Fuzzy Integral Controller*.

II. Metode Penelitian

Pada bagian ini dilakukan untuk mendeskripsikan tahapan penelitian, menentukan spesifikasi, pembuatan diagram blok, dan proses perancangan sistem.

A. Tahapan Penelitian

Berikut dibawah ini merupakan tahapan penelitian yang dilakukan oleh penulis dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Pada penelitian ini terbagi menjadi tahapan yaitu studi literatur, perancangan, pengujian evaluasi dan analisa yang diuraikan sebagai berikut:

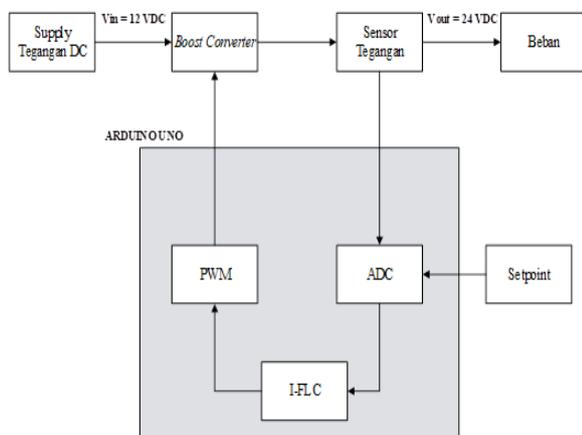
1) *Studi Literatur*: Pada tahapan ini penulis mengidentifikasi permasalahan, mencari referensi khususnya dari jurnal dan prosiding dari penelitian-penelitian sebelumnya mengenai pengendalian tegangan keluaran oleh konverter DC/DC tipe boost dengan metode kendali Fuzzy Integral Logic Controller dan kendali-kendali lainnya.

2) *Perancangan*: Pada tahap perancangan terdapat dua tahapan yaitu perancangan dan satu tahapan integrasi. Tahap perancangan terdiri dari tahap perancangan model boost converter dan tahap perancangan pengendali FIC. Pada tahap perancangan model boost converter terdiri dari penentuan nilai RLC dan duty cycle. Sedangkan pada tahap perancangan FIC terdiri dari penentuan fungsi keanggotaan error dan perubahan error, baris aturan, serta metode inferensi Sugeno. Kemudian kedua perancangan ini diintegrasikan menjadi sistem kendali loop tertutup.

3) *Pengujian*: Pada tahap ini penulis merealisasikan hasil rancangan sebelumnya untuk melakukan berbagai pengujian untuk mengetahui apakah sistem berjalan atau tidak. Apabila sistem berjalan dengan baik penulis dapat melanjutkan pengerjaan ke tahap selanjutnya.

4) *Evaluasi dan Analisa*: Tahap ini merupakan untuk mengetahui apakah penelitian tugas akhir yang penulis realisasikan sesuai dengan apa yang telah direncanakan. Apabila terdapat perbedaan maka diperlukan evaluasi dan analisa dari sistem yang telah penulis buat sehingga hasil dari evaluasi dan analisa dapat dicantumkan pada penulisan laporan tugas akhir sebagai hasil kesimpulan dan saran.

B. Diagram Sistem Keseluruhan



Gambar 2. Blok Diagram Pengendali

Dilihat pada Gambar 2 tegangan *supply input* yang diberikan yaitu 12volt, 10Ampere. yang di sambungkan dengan rangkaian *boost converter*. Tegangan keluaran rangkaian *boost converter* akan dibaca oleh sensor tegangan dengan spesifikasi pembacaan yaitu 0-25Vdc dimana *output* dari sensor yaitu dikonversi menjadi nilai ADC 10-bit sehingga dapat dibaca oleh Arduino uno.

1. Spesifikasi *Supply* Tegangan yang diberikan yaitu 12VDC. Supply tegangan berfungsi sebagai sumber masukan pada *boost converter*.
2. Keluaran tegangan pada *boost converter* yaitu 24Vdc.
3. Terdapat satu sensor analog yaitu satu sensor tegangan.
4. Sensor tegangan berfungsi untuk mengubah data yang diterima dari keluaran *boost converter* ke analog pin mikrokontroler sebagai data monitoring dan *feedback*.
5. Arduino Uno berfungsi sebagai mikrokontroler untuk mengatur nilai PWM keluaran, dan memasukkan program FIC.

C. Perancangan Boost Converter

Parameter perhitungan rangkaian boost converter dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 1. Spesifikasi Rangkaian Boost Converter

P	60 Watt
Vinput	12 Vdc
Voutput	24 Vdc
Ripple Tegangan	1%
Frekuensi	150 kHz
Iinput-max	5A

Menentukan nilai *Duty Cycle* (D)

$$V_{in} = 12Vdc$$

$$V_{output} = \frac{1}{1-D} V_{input}$$

$$24 = \frac{1}{1-D} 12$$

$$D = 0.5$$

Menentukan nilai Induktor minimal (L)

$$V_{in} = 12 Vdc$$

$$L \geq \frac{V_{input} \cdot D \cdot T}{I_{input} \cdot Ripple} \geq \frac{12 \cdot 0.5 \cdot 0.0000067}{5 \cdot 0.01}$$

$$L \geq 0.8 \text{ mH}$$

Menentukan nilai Kapasitor minimal (C)

$$V_{in} = 12 Vdc$$

$$C \geq \frac{I_{input} \cdot D \cdot (1-D)^2 \cdot T}{V_{input} \cdot Ripple}$$

$$C \geq \frac{5.0.5(1-0.5)^2.0.0000067}{12.0.01}$$

$$C \geq 35 \text{ uF}$$

Menentukan Arus Keluaran (I_{Output})

$$V_{in} = 12 \text{ Vdc}$$

$$I_{Output} = \frac{V_{in}.I_{in}}{V_{out}} = \frac{12.5}{24}$$

$$I_{Output} = 2.5 \text{ Ampere}$$

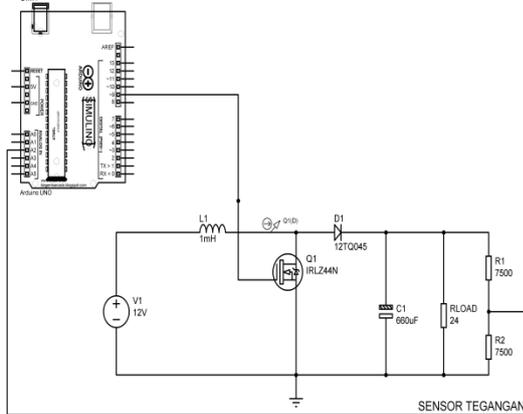
Menentukan Tahanan/Beban (R)

$$I_{Output} = 2.5 \text{ A}$$

$$R_{Load} = \frac{V_{out}}{I_{out}} = \frac{24}{2.5}$$

$$R_{Load} = 9.6 \text{ ohm}$$

Rancangan rangkaian dapat dilihat pada Gambar 3 dibawah ini:



Gambar 3. Rancangan Rangkaian Boost Converter

Adapun implementasi sistem yang dirancang dapat dilihat pada gambar di bawah:

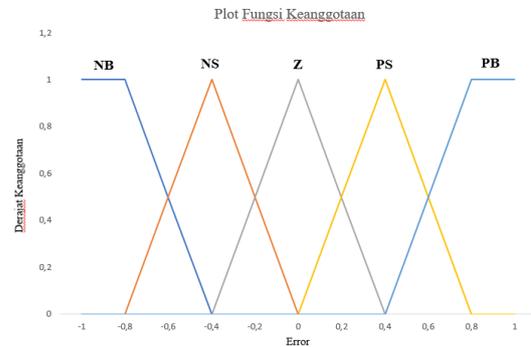


Gambar 4. Implementasi Sistem

D. Fuzzy Controller

Pada *fuzzy logic controller* terdapat dua masukan yaitu *error* dan perubahan *error*, dan terdapat satu

output yaitu keluaran nilai *duty cycle*. Untuk fungsi keanggotaan *error* dan perubahan *error* dapat dilihat pada Gambar 5. Sedangkan untuk *output* fungsi keanggotaan diklasifikasikan menjadi lima fungsi *crisp*, yaitu NB (-1), NS (-0,5), Z (0), PS (0,5), PB (1). Dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 5. Fungsi Keanggotaan Error dan Perubahan Error

Tabel 2. Fuzzy Rules

Error \ DError	NB	NS	Z	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NS	Z
NS	NB	NS	NS	Z	PS
Z	NB	NS	Z	PS	PB
PS	NS	Z	PS	PS	PB
PB	Z	PS	PB	PB	PB

Pada penelitian ini menggunakan metode *fuzzy* Sugeno, sehingga untuk mendapatkan nilai *crisp* pada tahap *defuzzifikasi* kami menggunakan persamaan luas area.

$$Z = \frac{\sum X_i \cdot \mu(X_i)}{\sum \mu(X_i)} \quad (1)$$

Dimana *z* adalah nilai *crisp* keluaran, *X_i* yaitu nilai *crisp* pada masukan ke-*i*. $\mu(X_i)$ adalah nilai derajat keanggotaan pada masing-masing *X_i*.

E. Integral Controller

Integral didapatkan dari persamaan berikut ini:

$$U(t) = K_i \int_0^t e(t) dt \quad (2)$$

$U(t)$ merupakan sinyal kontrol integral, K_i adalah nilai konstan integral dan $e(t)$ adalah nilai *error*. Pada penelitian ini nilai integral diperoleh

dengan metode *trial and error* sehingga untuk penelitian ini $K_i = 80$.

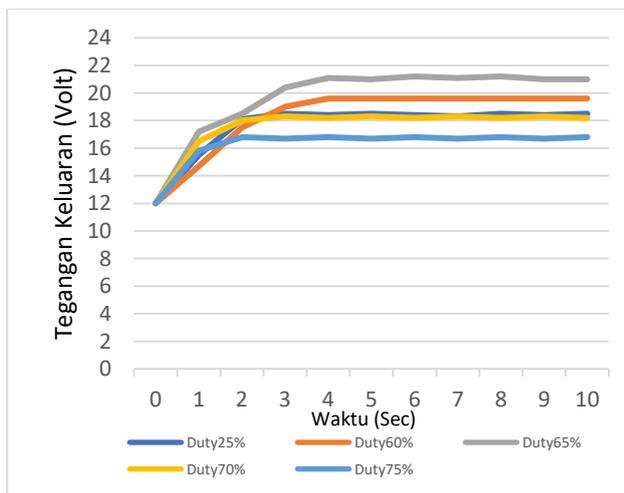
Kontrol integral digunakan untuk menghilangkan *steady state error* pada FLC.

III. Hasil dan Pembahasan

A. Pengujian Lup Terbuka

Pada pengujian alat pada lup terbuka rangkaian diberikan tegangan masukan konstan, masukan PWM pada MOSFET secara manual dengan cara mengganti-ganti nilai *duty cycle* dengan diberikan beban resistif 24Ohm dan 12Ohm. Tujuan pengujian alat pada lup terbuka untuk mengetahui batasan nilai *duty cycle* yang dapat menaikkan tegangan keluaran sampai 24volt DC.

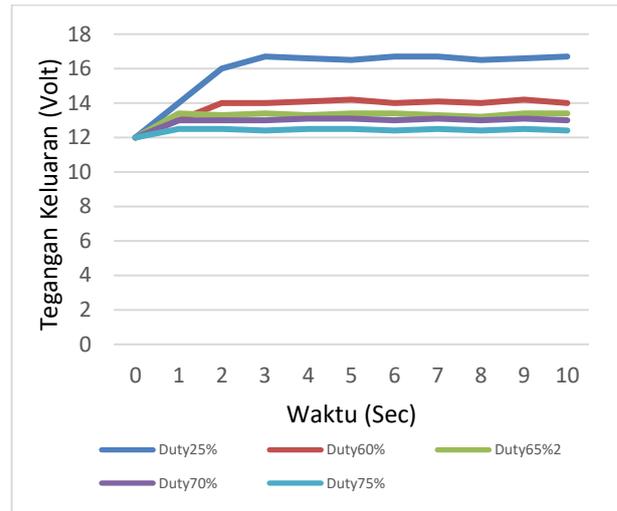
Berikut ini hasil pengambilan data tegangan keluaran pada pengujian rangkaian pada lup terbuka dengan beban 24Ohm, dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Pengujian Lup Terbuka Beban 24 Ohm

Dari hasil pengujian lup terbuka dapat dilihat pada gambar grafik di atas di mana hasil pengujian pada *duty cycle* lebih dari 65% dengan beban 24Ohm, tegangan keluaran tidak mampu untuk naik lagi seperti pengujian-pengujian yang sebelumnya ketika *duty cycle* nya di bawah 65%.

Berikut ini hasil pengambilan data tegangan keluaran pada pengujian rangkaian pada lup terbuka dengan beban 12Ohm, dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Pengujian Lup Terbuka Beban 12 Ohm

Dari hasil pengujian lup terbuka dapat dilihat pada gambar grafik di atas dimana hasil pengujian pada *duty cycle* lebih dari 25% dengan beban 12Ohm, tegangan keluaran tidak mampu untuk naik lagi seperti pengujian-pengujian yang sebelumnya ketika *duty cycle* nya di bawah 25%.

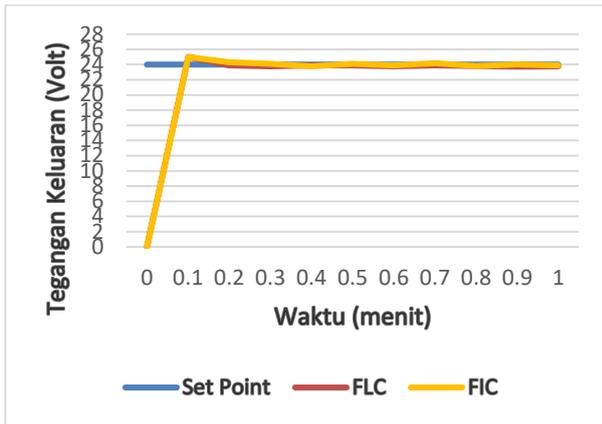
B. Pengujian Lup Tertutup Beban Konstan

Pada pengujian ini bertujuan untuk mengetahui respon tegangan keluaran FLC dengan pengendali *Fuzzy Integral Controller*.

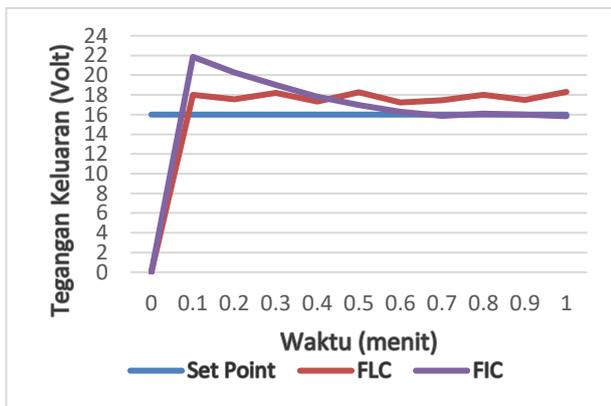
Berikut adalah hasil pengujian pada lup tertutup dengan beban konstan dapat dilihat dibawah ini:

Tabel 3. Pengujian Lup Tertutup Beban Konstan

Vin (Volt)	Set Point (Volt)	Duty (%)	Rload (Ohm)	Vout (Volt)		Error	
				FLC	FIC	FLC	FIC
12	24	0	24	11,74	11,74	0,51	0,51
12	24	25	24	16,17	16,02	0,33	0,33
12	24	50	24	20,63	20,51	0,14	0,15
12	24	65	24	23,62	23,35	0,02	0,03
12	24	67	24	23,79	24,06	0,01	0
12	16	0	24	11,74	11,74	0,51	0,51
12	16	25	24	18	16	0,06	0



Gambar 8. Respon Tegangan Keluaran Beban 24 Ohm



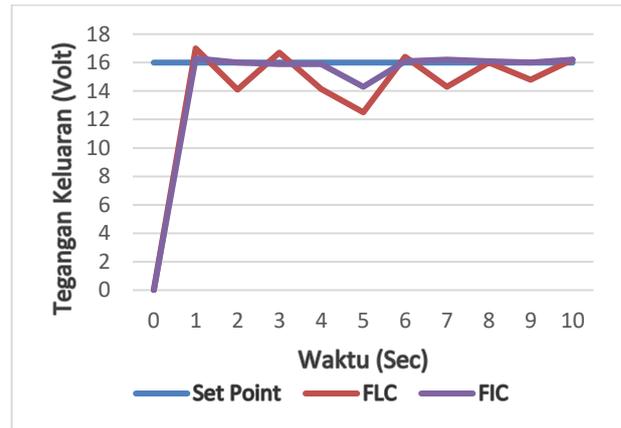
Gambar 9. Respon Tegangan Keluaran Beban 16 Ohm

Pada Gambar 8 respon pengendalian FIC dengan FLC memiliki karakteristik yang sama dimana *set point* 24Volt DC dengan beban 24Ohm, sedangkan pada Gambar 9 respon pengendalian FIC dengan FLC memiliki karakteristik yang berbeda dimana pada pengendalian FIC memiliki nilai *overshoot* yang lebih besar dibandingkan dengan pengendalian FLC, dan pada pengendalian FLC masih memiliki *steady state error*.

C. Pengujian Lup Tertutup Beban Berubah

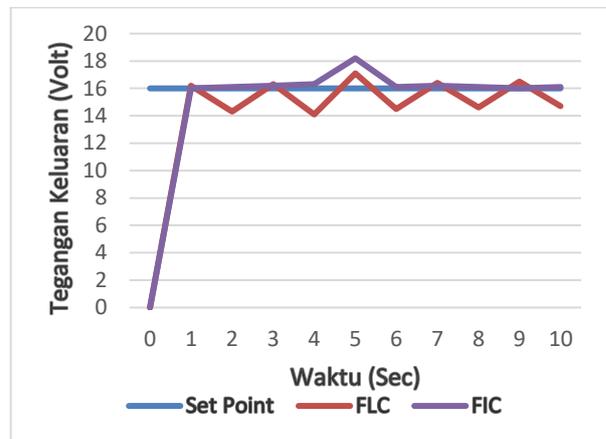
Pengujian dengan beban berubah dari 24Ohm menjadi 12Ohm, dan dari 12Ohm menjadi 24Ohm. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah pengendalian FIC dan FLC tahan terhadap perubahan beban atau tidak. Perubahan beban berubah diberikan pada detik ke-5. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar grafik dibawah ini:

1. Beban berubah dari 24Ohm menjadi 12Ohm



Gambar 10. Pengujian Beban Berubah dari 24 Ohm Menjadi 12 Ohm

2. Beban berubah dari 12 Ohm menjadi 24 Ohm



Gambar 11. Pengujian Beban Berubah dari 12 Ohm Menjadi 24 Ohm

Dilihat dari hasil Gambar 10 dan Gambar 11 dapat kita ketahui bahwa pengendalian FIC dan FLC tahan terhadap gangguan. Akan tetapi, pada pengendalian FLC masih memiliki *steady state error*.

IV. Kesimpulan

Dari serangkaian kegiatan yang telah dilakukan mulai dari studi literatur, perancangan perangkat lunak dan perangkat keras, hingga pembuatan perangkat keras dan pengujian maka didapatkan kesimpulan dimana pengendalian *Fuzzy-Integral Controller* pada *boost converter* dengan tegangan keluaran dijaga konstan pada 24VDC telah berhasil dilakukan dan respon Pengendalian *Fuzzy-Integral Controller* lebih baik dibandingkan dengan FLC dimana pada pengendalian *Fuzzy-Integral Controller Error* yang dihasilkan sama dengan 0%.

Ucapan Terima Kasih

Tim peneliti mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Bandung, melalui wakil Direktur Akademik atas bantuan pendanaan dengan SK nomor B/402/PL1.R1/EP.00.08/2021 kelompok A1.

Referensi

- [1] B. A. Mhlambi, K. Kusakana, and J. Raath, "Voltage and Frequency Control of Isolated Pico-Hydro System," in *2018 Open Innovations Conference (OI)*, Johannesburg, Oct. 2018, pp. 246–250, doi: 10.1109/OI.2018.8535603.
- [2] "K. Kajiwaru, N. Matsui, and F. Kurokawa, "A New MPPT Control for Solar Panel under Bus Voltage Fluctuation," in *2017 6th International Conference on Renewable Energy Research and Applications*, San Diego, Nov 2017.
- [3] A. Turksoy, A. Teke, and A. Alkaya, "A comprehensive overview of the dc-dc converter-based battery charge balancing methods in electric vehicles," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 133, p. 110274, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.rser.2020.110274.
- [4] C.-M. Lai, Y.-H. Cheng, M.-H. Hsieh, and Y.-C. Lin, "Development of a Bidirectional DC/DC Converter With Dual-Battery Energy Storage for Hybrid Electric Vehicle System," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 67, no. 2, pp. 1036–1052, Feb. 2018, doi: 10.1109/TVT.2017.2763157.
- [5] J. Rojas, H. Renaudineau, S. Kouro, and S. Rivera, "Partial power DC-DC converter for electric vehicle fast charging stations," in *IECON 2017 - 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Beijing, Oct. 2017, pp. 5274–5279, doi: 10.1109/IECON.2017.8216913.
- [6] Q. Wang, H. Chen, H. Cheng, S. Yan, and S. Abbas, "An Active Boost Power Converter for Improving the Performance of Switched Reluctance Generators in DC Generating Systems," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 35, no. 5, pp. 4741–4755, May 2020, doi: 10.1109/TPEL.2019.2944084.
- [7] S.-W. Seo and H. H. Choi, "Digital Implementation of Fractional Order PID-Type Controller for Boost DC–DC Converter," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 142652–142662, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2945065.
- [8] Mirza Fuad Adnan, Mohammad Abdul Moin Oninda, Mirza Muntasir Nishat, Nafiul Islam, and Islamic University of Technology, "Design and Simulation of a DC - DC Boost Converter with PID Controller for Enhanced Performance," *IJERT*, vol. V6, no. 09, p. IJERTV6IS090029, Sep. 2017, doi: 10.17577/IJERTV6IS090029.
- [9] F. S. Dinniyah, W. Wahab, and M. Alif, "Simulation of Buck-Boost Converter for Solar Panels using PID Controller," *Energy Procedia*, vol. 115, pp. 102–113, Jun. 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.05.011.
- [10] Z. B. Duranay, H. Guldemir, and S. Tuncer, "Fuzzy Sliding Mode Control of DC-DC Boost Converter," *Eng. Technol. Appl. Sci. Res.*, vol. 8, no. 3, pp. 3054–3059, Jun. 2018, doi: 10.48084/etasr.2116.
- [11] P. Sharma, P. Kumar, and N. Pal, "Design and implementation of closed loop controlled boost converter for solar power installation system using fuzzy logic controller," p. 5.
- [12] G. Ang, P. J. Arcibal, L. M. R. Crisostomo, C. F. Ostia, P. J. C. S. Joaquin, and J. E. C. Tabuton, "Implementation of a fuzzy controlled buck-boost converter for photovoltaic systems," *Energy Procedia*, vol. 143, pp. 641–648, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.12.740.
- [13] D. Murillo-Yarce, J. Munoz, and C. Restrepo, "Mamdani type PI-fuzzy controller in a boost converter," in *2020 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, Buenos Aires, Argentina, Feb. 2020, pp. 487–492, doi: 10.1109/ICIT45562.2020.9067257.
- [14] A. Bennaoui, "Type-2 fuzzy logic PID controller and different uncertainties design for boost DC–DC converters," *Electr Eng*, p. 9.
- [15] M. K. Asy'ari and A. Musyafa, "Design of Buck Converter Based on Interval Type-2 Fuzzy Logic Controller," in *2018 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)*, Bali, Indonesia, Aug. 2018, pp. 153–156, doi: 10.1109/ISITIA.2018.8711236.