

## Rancang Bangun Kontroler Logika Fuzzy Untuk SEPIC Pada Pengisian Baterai *Lead Acid* Berbasis SIMULINK

Safa Aulia Zerlina<sup>1</sup>, Era Purwanto<sup>2</sup>, Indra Ferdiansyah<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Jl. Raya ITS, Jawa Timur Indonesia

*email: safa.aulia.z@gmail.com<sup>1</sup>, era@pens.ac.id<sup>2</sup>, indraferdi@pens.ac.id<sup>3</sup>*

**Abstrak** - *Single Ended Primary Inductance Converter (SEPIC)* merupakan konverter turunan *buck-boost converter* di mana konverter tersebut dapat menaikkan maupun menurunkan tegangan *input* namun polaritas tegangan *output* SEPIC tidak berubah. Di mana polaritas tegangan *output buck-boost converter* terbalik. Salah satu pengaplikasian SEPIC adalah pada sistem pengisian baterai *Lead-Acid* 48 volt 45 AH. Hasil simulasi gelombang pada *software* MATLAB saat kondisi pengisian *open-loop* masih terdapat *ripple* di dalamnya. Kontrol yang digunakan saat sistem *charging close-loop* merupakan kontrol Fuzzy Logic dengan metode yang digunakan adalah metode Mamdani. Hasil yang didapatkan adalah nilai *error* pada tegangan *output* sistem *close-loop* dengan kontrol fuzzy yang lebih kecil yaitu 1,05 % dari respon kontrol PI dengan *error* pada tegangan *output* sebesar 1,56 % dan waktu yang diperlukan untuk mencapai *steady state* pada sistem dengan kontrol fuzzy lebih singkat sebesar 0,012 detik daripada dengan menggunakan kontrol PI dengan waktu sebesar 0,026 detik

**Kata Kunci**- SEPIC, *converter*, baterai *lead-acid*, kontrol fuzzy logic.

**Abstract** - *Single Ended Primary Inductance Converter (SEPIC)* is a derivative of *buck-boost converter* where the converter can increase or decrease the input voltage but the polarity of the SEPIC output voltage does not change. Where the polarity of the output voltage of the *buck-boost converter* is reversed. One of SEPIC's applications is in a 48 volt 45 AH *Lead-Acid* battery charging system. The results of the wave simulation in MATLAB software when the *open-loop* charging condition still has *ripple* in it. The control used when the *close-loop* charging system is a Fuzzy Logic control with the method used is the Mamdani method. The results obtained are the error value at the output voltage of the *close-loop* system with fuzzy control which is smaller, namely 1.05% of the PI control response with an error at the output voltage of 1.56% and the time required to reach *steady state* on the system with the control fuzzy is shorter by 0.012 seconds than using the PI control with a time of 0.026 seconds.

**Keywords** - SEPIC, *converter*, *lead acid* battery, fuzzy logic controller.

### I. PENDAHULUAN

Konverter DC-DC merupakan rangkaian elektronika daya yang mengubah tegangan DC ke tegangan DC dengan level yang berbeda yang biasanya nilai *output*-nya diatur [1]. Konverter DC-DC bekerja sama seperti trafo atau transformer yang mengubah tegangan AC tertentu ke tegangan AC yang lebih tinggi ataupun lebih rendah. Tidak ada peningkatan atau pengurangan nilai daya *input* selama pengkonversian bentuk energi listriknya.

Konverter DC-DC atau yang biasa disebut dengan *DC Chopper* seringkali dimanfaatkan terutama untuk penyediaan tegangan *output* DC yang bervariasi besarnya sesuai dengan permintaan beban. Daya *input* dari proses konversi DC-DC tersebut berasal dari sumber daya DC yang biasanya memiliki tegangan masukan yang tetap. Konverter DC-DC dengan struktur yang lebih efisien dan sederhana belakangan ini banyak menjadi topik penelitian aktif

elektronika daya [2]. Konverter yang diajukan berdasarkan dari DC-DC *converter* untuk mempertahankan *output constant voltage* [3].

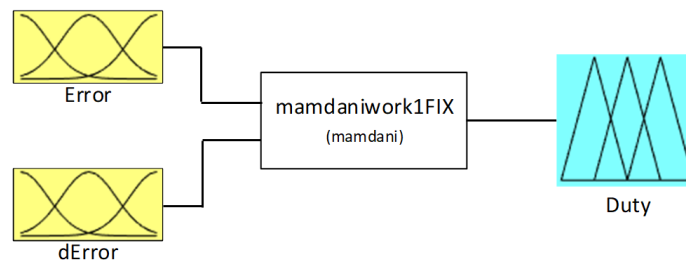
Pada dasarnya untuk mencapai nilai tegangan *output* DC yang diinginkan digunakan dengan cara pengaturan lamanya waktu penghubungan antara sisi *output* dan sisi *input* pada rangkaian yang sama. Komponen yang digunakan untuk menjalankan fungsi penghubung tersebut adalah *switch (solid state electronic switch)*, seperti Thyristor, IGBT, MOSFET, dan GTO. Untuk SEPIC *converter* sendiri, tanpa mengubah polaritas pembalikan *input*, SEPIC *converter* dapat menginduksi tegangan *output* lebih tinggi atau lebih rendah dari tegangan sumber [4] dan *output* dari SEPIC *converter* dikontrol melalui *duty cycle* [5].

*Single ended primary inductor converter* (SEPIC) adalah jenis khusus dari DC-DC *converter* yang mempertahankan tegangan *output* konstan bahkan dalam berbagai kondisi *input* dan kondisi beban [6], [7] sehingga cocok digunakan untuk pengisian baterai *Lead-Acid*. Kinerja SEPIC *converter* dapat lebih ditingkatkan dengan menggunakan skema kontrol yang sesuai [8], [6].

Untuk sistem kontrol yang digunakan yaitu sistem *control fuzzy*, kelemahan yang dialami oleh kontroler PI diatasi dengan fuzzy. Dibandingkan dengan pengontrol PI linier, fuzzy merupakan pengontrol non linier yang dapat memberikan kinerja yang memuaskan di bawah pengaruh perubahan parameter sistem dan kondisi operasi [9], [10]. Fungsi *control fuzzy* sangat berguna karena membebaskan sistem dari pemodelan dan perhitungan matematika yang tepat dan rumit. Kinerja kontrol fuzzy sudah dirancang dengan baik untuk perbaikan dalam keadaan transien dan keadaan *steady* [10].

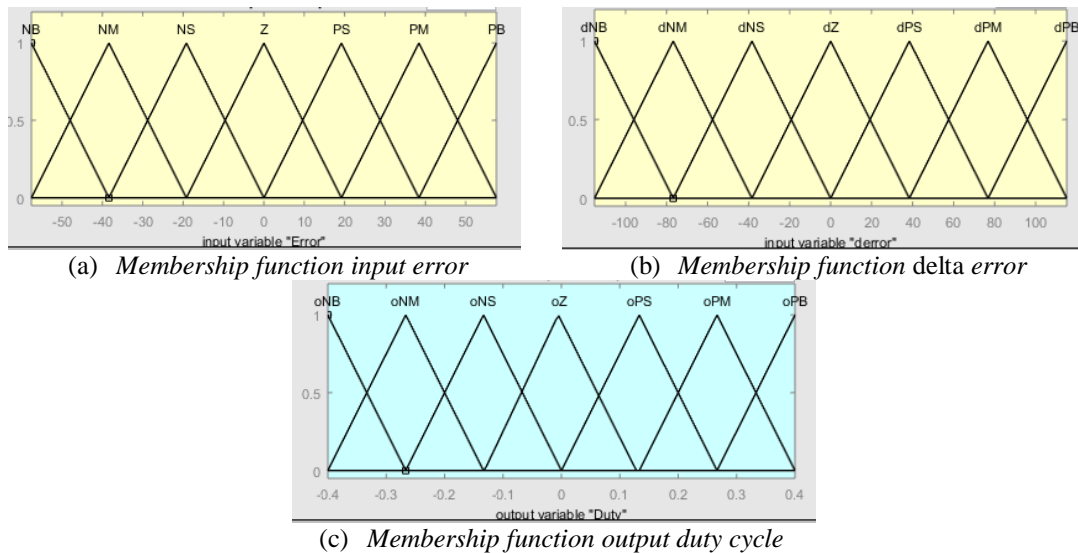
## II. METODE

Pada desain kontrol fuzzy dengan metode yang digunakan adalah Mamdani atau yang biasa disebut dengan Metode Max-Min, langkah awalnya adalah mengidentifikasi variabel kontrol utama dan menentukan himpunan yang menggambarkan nilai dari tiap variabel linguistik. Pada Gambar 1, variabel *input* kontrol fuzzy adalah nilai *error* dan *delta error* ( $\Delta e$ ). Pada penelitian kali ini nilai *error* yang digunakan adalah nilai *set point* tegangan yang diinginkan yaitu 57,6 volt, sehingga nilai *error*-nya mulai dari  $-57,6$  hingga  $57,6$  dan untuk nilai  $\Delta e$  yang digunakan adalah dua kali dari nilai *error*, yaitu  $-115,2 - 115,2$ . Nilai *output* kontrol fuzzy adalah *duty cycle* dari sinyal PWM, yang mengatur nilai tegangan *output*. Fungsi keanggotaan segitiga yang digunakan kontrol fuzzy adalah untuk mempermudah perhitungan kontrol.



Gambar 1. Model Sistem Kontrol Fuzzy

Variabel linguistik yang ditunjukkan pada Gambar 2 dimodelkan ke dalam sebuah bentuk fungsi yang dinamakan fungsi keanggotaan atau *membership function*. Fungsi keanggotaan yang terlihat pada gambar digunakan pada tahap fuzifikasi dan defuzifikasi sistem kontrol fuzzy untuk memetakan nilai *input* non-fuzzy ke istilah *linguistic* fuzzy dan sebaliknya. Pemilihan tujuh fungsi keanggotaan bertujuan untuk mendapatkan representasi variabel yang lebih baik dan lebih presisi ketika menghasilkan respon yang memadai [11]



Gambar 2. Membership Function Variabel Linguistik

Selanjutnya adalah proses inferensi, di mana proses ini berdasarkan dari sebuah aturan yang dapat dilihat pada Tabel 1. Tabel tersebut menunjukkan berbagai kemungkinan kombinasi anata *input* dan keputusan *output*. Aturan tersebut umumnya dibuat oleh manusia berdasarkan dari karakteristik dari sistem dan respon yang diinginkan.

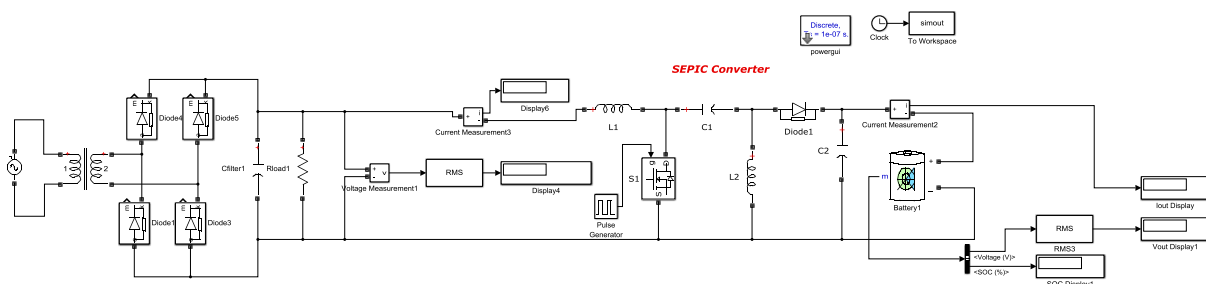
TABEL 1. ATURAN INFERENSI UNTUK FUZZY LOGIC CONTROLLER

dE	E						
	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
dNB	oNB	oNB	oNB	oNB	oNM	oNS	oZ
dNM	oNB	oNB	oNB	oNM	oNS	oZ	oPS
dNS	oNB	oNB	oNM	oNS	oZ	oPS	oPM
dZ	oNB	oNM	oNS	oZ	oPS	oPM	oPB
dPS	oNM	oNS	oZ	oPS	oPM	oPB	oPB
dPM	oNS	oZ	oPS	oPM	oPB	oPB	oPB
dPB	oZ	oPS	oPM	oPB	oPB	oPB	oPB

Untuk langkah terakhir dari *control fuzzy logic* adalah defuzzifikasi atau penegasan. Di mana defuzzifikasi bertugas untuk mengubah keseluruhan hasil yaitu nilai fuzzy ke bentuk *final crisp* atau *output non-fuzzy*. Terdapat beberapa metode defuzzifikasi pada metode Mamdani, yaitu Metode Centroid (*Composite Moment*), Metode Bisektor, Metode *mean of Maximum* (MOM), Metode *Largest of Maximum* (LOM), dan Metode *Smallest of Maximum* (SOM).

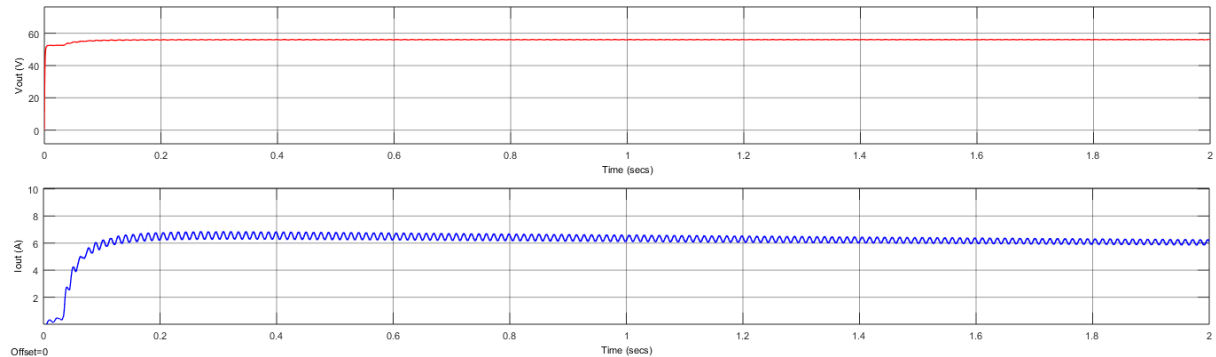
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi dilakukan pada *software MATLAB* dengan melakukan simulasi untuk rangkaian *charging* secara *open loop* dan juga menggunakan kontrol PI dan Fuzzy.



Gambar 3. Rangkaian Open-Loop SEPIC pada Simulink

Dari Gambar 3 dapat dilihat pada sistem pengisian baterai secara *open-loop* digunakan *pulse generator* untuk mengatur PWM pada SEPIC dengan nilai *duty cycle* sebesar 34 % sehingga nilai tegangan *output* pengisian baterai nilainya bisa mencapai sebesar 57,6 V. Dengan kondisi baterai yang digunakan pada simulasi adalah pada saat *State of Charge (SOC)* baterai sebesar 80 % dengan *simulation time* 1 detik. Dengan beban yang digunakan adalah beban baterai *Lead-Acid*.



Gambar 4. Respon *Open-Loop* pada Sistem Charging Baterai

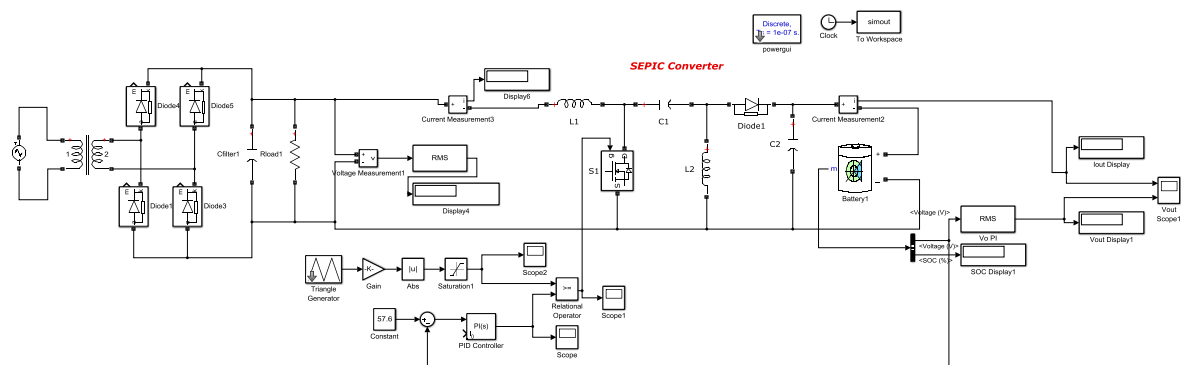
Berdasarkan Gambar 4 yaitu respon *open-loop* pada sistem pengisian baterai didapatkan data apabila terdapat pada tegangan *output* nilainya masih belum mencapai *set point* atau nilai tegangan yang diinginkan yaitu 57,6 V dengan gelombang yang dihasilkan masih belum konstan dengan kondisi awal dari detik ke 0 hingga detik ke 0,03 nilainya sebesar 52,57 V dan setelah itu naik menjadi 56,1 V dan masih terdapat *ripple* di dalamnya dan untuk nilai arus *output* yang dihasilkan sudah sesuai dengan prinsip pengisian baterai yaitu semakin lama nilai arusnya akan semakin menurun dengan kondisi awal nilai arusnya sebesar 6,813 A dan pada detik pertama nilai arusnya menurun menjadi 6,127 A, namun masih terdapat *time delay* yang cukup besar yaitu 0,03 detik sebelum mencapai *rise time* dan masih terkandung banyak *ripple* di dalamnya.

Selanjutnya adalah simulasi sistem *close loop* menggunakan kontrol PI di mana pada kontrol PI digunakan nilai  $K_p$  dan  $T_i$  dengan menggunakan rumus perhitungan sebagai berikut

$$K_p = 0,3 \times \frac{T}{L} \tag{1}$$

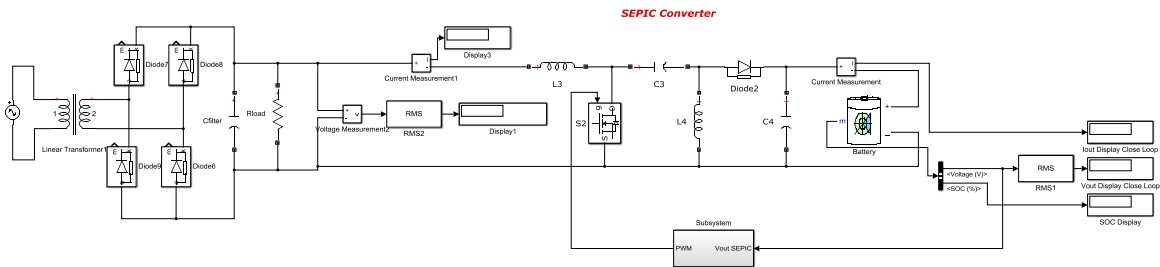
$$T_i = \frac{L}{0,3} \tag{2}$$

Pada rumus di atas  $K_p$  merupakan konstanta proporsional dan  $T_i$  merupakan konstanta integral, dengan hasil open loop dari simulasi SEPIC *converter* didapatkan nilai L sebesar 0,001959 dan nilai T sebesar 0,0042367 yang selanjutnya dimasukkan ke dalam rumus di atas sehingga didapatkan nilai  $K_p$  sebesar 1,946 dan nilai  $T_i$  sebesar sebesar 0,00653. Kemudian dimasukkan ke dalam simulasi *close-loop* pada Simulink MATLAB sesuai dengan Gambar 8.



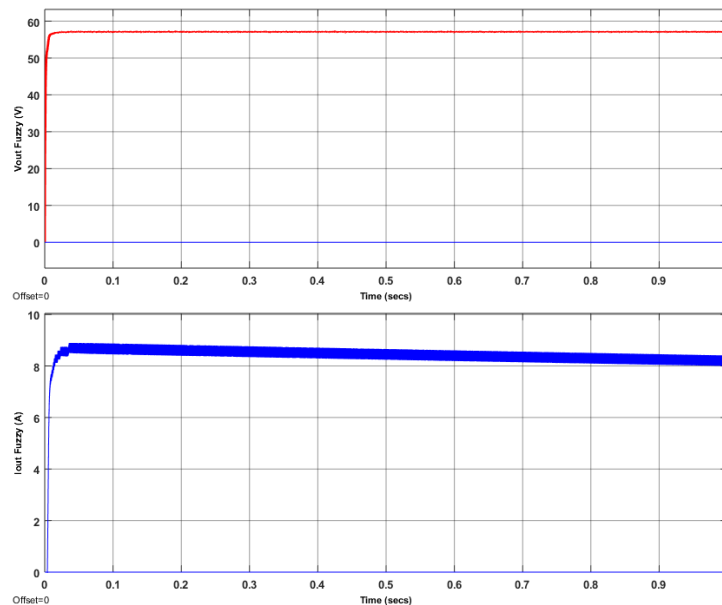
Gambar 8. Rangkaian Simulasi Simulink Sistem Charging *Close loop* dengan Kontrol PI

Gambar 8 adalah rangkaian simulasi untuk pengujian pengisian baterai dengan rangkaian kontrol PI, yang mana rangkaian tersebut adalah hasil dari *feedback* tegangan *output* SEPIC *converter* yang kemudian dibandingkan dengan tegangan referensi atau *setpoint* sebesar 57,6 yang diambil dari dari 120 %  $V_{charging}$  atau biasa disebut juga  $V_{out}$ , kemudian *error* yang terjadi antara *set point* dengan hasil *feedback* tadi diolah oleh kontrol PI-nya. Untuk menjadikan sinyal PWM, sinyal *output* dari kontrol PI akan dikomparasi dengan sinyal segitiga yang sebelumnya telah diproses melalui pengondisian sinyal dengan blok absolut dan saturasi untuk memberikan batas sehingga dapat menghasilkan sinyal PWM untuk melakukan *switching* pada MOSFET SEPIC *converter*.



Gambar 9. Rangkaian Simulasi Simulink Sistem *Charging Close loop* dengan Kontrol Fuzzy

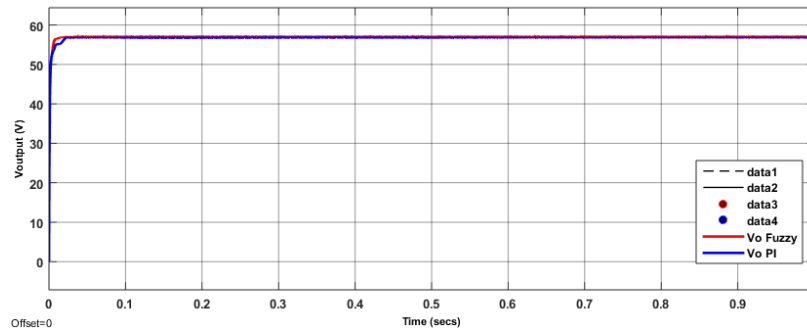
Selanjutnya adalah adalah simalasi menggunakan sistem *close-loop* dengan kontrol fuzzy di mana proses berawal dari sumber AC dan berbeda dengan sitem *open loop*, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 9, sistem ini menggunakan *feedback* dari *output* beban untuk mengambil nilai tegangan *output* SEPIC *Converter* dan digunakan sebagai *input* dari kontrol fuzzy dan hasil *output* dari kontrol fuzzy adalah berupa *duty cycle* untuk mengontrol kembali tegangan *output* SEPIC *Converter* supaya nilainya sesuai dengan *set point* yang telah ditentukan. Dengan pada *block subsystem* yang berisikan kontrol fuzzy yang mana pada sistem *open loop* untuk mengatur PWM dari SEPIC menggunakan *pulse generator* yang nilai *duty cycle*-nya diisikan sesuai desain.



Gambar 10. Respon *Close-Loop* pada Sistem *Charging* Baterai

Gambar 10 merupakan respon tegangan dan arus *output* dari rangkaian *close-loop* sistem *charging* baterai dengan *feedback output* tegangan digunakan sebagai *input* kontrol fuzzy yang hasil kontrol fuzzy digunakan sebagai pengatur nilai *duty cycle* SEPIC. Untuk hasil responnya dapat dilihat pada Gambar 10, di mana pada gambar 10 terlihat respon tegangan *output* yang

nilai *rise time* sebesar 0,004 detik dan *settling time* sebesar 0,01 detik. Sedangkan untuk respon arus *output*-nya memiliki *delay time* sebesar 0,005 detik, nilai *rise time* 0,013 detik, dan *settling time* sebesar 0,03 detik dan untuk nilainya sendiri tegangan *output* yang dihasilkan 57 V dan arus *output* awal saat *settling time* sebesar 8,661 A dan pada detik pertama nilai arusnya turun hingga menjadi 8,237 A. Nilai tersebut sudah hampir sesuai dengan desain di mana tegangan *output* desain yang diharapkan sebesar 9 V dan arus *output* sebesar 9 A.



Gambar 11. Perbandingan Respon Tegangan *Output* Simulasi *Close-Loop* kontrol PI dan Fuzzy

Lalu pada Gambar 11 dapat dilihat perbandingan hasil simulasi antara *close-loop* sistem *charging* SEPIC *converter* dengan menggunakan kontrol PI dengan kontrol fuzzy, di mana gelombang yang berwarna merah merupakan gelombang hasil respon *close-loop* kontrol fuzzy dan gelombang biru merupakan hasil respon *close-loop* kontrol PI. Pada gelombang *close-loop* kontrol PI dapat dilihat apabila diperlukan *settling time* yang sedikit lebih lama dibandingkan dengan sistem *close-loop* menggunakan kontrol fuzzy dengan *settling time* pada *close loop* kontrol PI dicapai pada 0,026 detik dengan nilai tegangan nilai tegangan *output* sebesar 56,7 V. Namun untuk pada gelombang respon saat *close-loop settling time* yang dibutuhkan lebih kecil daripada saat sistem *open-loop* yaitu sebesar 0,012 detik, dengan nilai tegangan *output* sebesar 57 V, di mana nilai tersebut memiliki *error* yang kecil yaitu hanya sebesar 1,05 % dari nilai desain yang diharapkan yaitu 57,6 V. Saat waktu ke 0,012 detik saat respon kontrol fuzzy sudah memasuki *steady state*, respon dari kontrol PI masih mengalami kenaikan hingga waktu ke 0,026 detik memasuki kondisi *steady state* dari 55,154 V ke 56,7 V saat kondisi *steady state*. Di mana untuk kontrol PI sendiri *error* respon tegangan *output*-nya sebesar 1,56 % dari tegangan *output set point* yang digunakan sebesar 57,6 V.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi sistem *charging* baterai dengan SEPIC menggunakan kontrol fuzzy yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan apabila kontrol fuzzy dapat menghilangkan *ripple* pada gelombang yang dihasilkan saat sistem tidak menggunakan kontrol dan membuat respon tegangan dan arus *output* pada sistem *charging* baterai lebih mendekati nilai yang telah didesain yaitu sebesar 57 V dan juga membuat respon *output* menjadi lebih baik daripada saat menggunakan kontrol PI. Dengan nilai *error* pada tegangan *output* sistem *close-loop* dengan kontrol fuzzy yang lebih kecil yaitu 1,05 % dari respon kontrol PI dengan *error* pada tegangan *output* sebesar 1,56 % dan waktu yang diperlukan untuk mencapai *steady state* pada sistem dengan kontrol fuzzy lebih singkat sebesar 0,012 detik daripada dengan menggunakan kontrol PI dengan waktu sebesar 0,026 detik.

#### REFERENSI

- [1] D. W. Hart, Power Electronics, New York: McGraw-Hill: 2010.

- [2] Ganesh, S., Janani, J., & Angel, B.G. A Maximum Power Point Tracker for PV Panels Using SEPIC Converter, *International Journal Electric and Computer Engineering, Electronic Communication Engineering*. 2014; 8(2): 356-361.
- [3] Mahendran, G., & Kandaswamy, K.V. *Ant Colony Optimized Tuned DC-DC Converter*, International Conference on Innovations In Intelligent Instrumentation, Optimization And Signal Processing "ICIIOSP-2013". Coimbatore. 2013; 16-21.
- [4] Baliwant, B. B., Gothane, A. R., & Waghmare, P. V. B. *PWM Based Charge Controller for Renewable Energy Applications Using SPIC Converter*. 3rd International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC), 2019; 1051-1054.
- [5] Rose, J. L., & Sankaragomathi, B. Design, Modeling, Analysis and Simulation of a SEPIC Converter. *Middle-East Journal of Scientific Research*. 2016; 24(7): 2302-2308,
- [6] Oudda, M., & Hazzab, A. Fuzzy Logic Control of a SEPIC Converter for a Photovoltaic System. *Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications*. 2016; 6(4): 1-7.
- [7] Khateb, H.E., Rahim, N.A., & Selvaraj, J. Fuzzy Logic Control Approach of a Maximum Power Point Employing SEPIC Converter for Standalone Photovoltaic System. *IEEE Transactions on Industry Applications*. 2014; 50(4): 2349-2358.
- [8] Dunia, J., & Mwinyiwiwa B.M.M. Performance Comparison between CUK and SEPIC Converters for Maximum Power Poinr Tracking Using Incremental Conductance Technique in Solar Power Applications. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*. 2013; 7(12): 1638-1643.
- [9] Patil, M. S., & Patil, S. P. Single-Phase Buck-Type P ower Factor Corrector with Lower Harmonic Contents in Compliance with IEC 61000-3-2. *International Journal of Engineering Science and Technology*. 2010; 2(11): 6122-6130.
- [10] Sangeetha, M., Kiruthika, S., Priyadharshini R., & Divya, K. Power Factor Correction Using DC-DC SEPIC Cinverter Optimized With Fuzzy Logic Controller. *International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology*. 2019; 8(3): 2502-2514.
- [11] Boutuba, M., Elougli, M., Miqoi S., & Tidhaf, B. Design and Experimentation of a Control System Implemented on Raspberry Pi 3 Board for Photovoltaic System Using SEPIC Converter. *Journal of Electrical System*. 2017; 13(4): 661-677.