

Pengendalian Pengisian Baterai Menggunakan *Boost Converter* Berbasis Logika *Fuzzy*

Battery Charging Control Using Boost Converter Based On Fuzzy Logic

Itmi Hidayat Kurniawan^{1*}, Rochmi Banu Amarudin²

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Muhammadiyah Purwokerto
Jl. KH. Ahmad Dahlan, Purwokerto 53182, Indonesia

*Corresponding author: itmy@ump.ac.id

ABSTRAK

DOI;
[10.30595/jrst.v9i1.24718](https://doi.org/10.30595/jrst.v9i1.24718)

Histori Artikel:

Diajukan:
06/12/2024

Diterima:
07/03/2025

Diterbitkan:
17/04/2025

Penurunan kualitas dan umur baterai salah satunya disebabkan oleh proses pengisian yang terlalu lama akibat tegangan pengisian yang tidak stabil sehingga berpotensi merusak sel baterai. Penelitian ini bertujuan untuk mengendalikan tegangan pengisian baterai menggunakan Boost Converter dengan sistem kendali berbasis logika fuzzy. Sistem yang dikembangkan terdiri dari rangkaian Boost Converter yang terhubung dengan mikrokontroler, sensor arus, dan sensor tegangan. Mikrokontroler mengimplementasikan logika fuzzy untuk menjaga kestabilan tegangan keluaran, sedangkan sensor tegangan berfungsi sebagai umpan balik sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem dapat beroperasi dengan baik. Boost Converter mampu mengisi baterai 12 V berkapasitas 4,5 Ah dengan peningkatan tegangan sebesar 1,90 V setelah 120 menit pengisian. Sistem kendali yang dikembangkan memiliki respons cepat, akurat, dan stabil dengan rata-rata rise time 0,034 s, overshoot 10,80%, settling time 0,88 s, dan steady-state error 0,57 V.

Kata Kunci: *Boost Converter, Logika Fuzzy, Pengisian Baterai, Pengendalian Tegangan, Mikrokontroler*

ABSTRACT

The decline in battery quality and lifespan is often caused by prolonged charging due to unstable charging voltage, which can damage battery cells. This study aims to regulate battery charging voltage using a Boost Converter with a Fuzzy Logic-based control system. The developed system consists of a Boost Converter connected to a microcontroller, a current sensor, and a voltage sensor. The microcontroller implements Fuzzy Logic to maintain output voltage stability, while the voltage sensor serves as a feedback mechanism. The results indicate that the system operates effectively. The Boost Converter successfully charges a 12 V battery with a capacity of 4.5 Ah, increasing the voltage by 1.90 V after 120 minutes of charging. The proposed control system exhibits fast, accurate, and stable performance, achieving an average rise time of 0.034 s, an overshoot of 10.80%, a settling time of 0.88 s, and a steady-state error of 0.57 V.

Keywords: *Boost Converter, Fuzzy Logic, Battery Charging, Voltage Control, Microcontroller*

1. PENDAHULUAN

Dalam sistem elektronik modern, efisiensi pengisian baterai merupakan aspek yang krusial, terutama untuk memperpanjang masa

pakai baterai dan meningkatkan kinerja sistem. Salah satu tantangan utama dalam pengisian baterai adalah menjaga kestabilan tegangan selama proses pengisian. Tegangan yang tidak

stabil dapat menyebabkan *overcharging* atau *undercharging*, yang berdampak pada degradasi sel baterai dan penurunan kapasitas penyimpanan energi. Oleh karena itu, diperlukan sistem pengendalian yang mampu mengatasi fluktuasi tegangan secara dinamis, salah satunya adalah menggunakan logika fuzzy pada *Boost Converter*.

Boost Converter adalah jenis konverter DC-DC yang berfungsi meningkatkan tegangan dari level rendah ke level yang lebih tinggi (Sutikno & Satrian Purnama, 2020). Konverter ini banyak digunakan dalam sistem pengisian baterai karena kemampuannya untuk menyesuaikan tegangan keluaran sesuai dengan kebutuhan baterai. Namun, tantangan utama dalam pengoperasian *Boost Converter* adalah ketidakstabilan tegangan akibat variasi beban dan fluktuasi sumber daya (Sahin & Okumus, 2011) (Imam Setyawan & Bambang Suprianto, 2019) (Nik Ismail et al., 2010).

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, logika fuzzy menjadi solusi efektif karena mampu mengontrol sistem non-linear dengan presisi tinggi dan respons yang adaptif (Al Gizi, 2022; Manickavasagam, 2014; Sahin & Okumus, 2011). Logika fuzzy pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi Zadeh pada tahun 1965 dan telah banyak diterapkan dalam berbagai sistem kendali, termasuk sistem pengisian baterai. Logika fuzzy memiliki keunggulan dalam menangani ketidakpastian dan variasi parameter yang tidak dapat diatasi oleh kontroler konvensional seperti PID (Pedrycz & Gomide, 2007).

Fuzzy Logic Controller (FLC) bekerja berdasarkan aturan linguistik yang mendekati cara berpikir manusia dalam mengambil keputusan. Dengan pendekatan ini, FLC mampu menyesuaikan parameter kontrol secara real-time sesuai dengan kondisi sistem, sehingga memastikan tegangan keluaran tetap stabil (Wang, 1997) (Daraz et al., 2023). Dalam konteks pengisian baterai, logika fuzzy memungkinkan penyesuaian tegangan dan arus pengisian secara dinamis.

Hal ini penting untuk menghindari kondisi *overcharging* yang dapat merusak sel baterai. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa implementasi logika fuzzy pada *Boost Converter* mampu meningkatkan efisiensi pengisian dan memperpanjang umur baterai (Imam Setyawan & Bambang Suprianto, 2019; Pramono, 2018; Rahmatullah, 2021;

Romadhon et al., 2017). *Boost Converter* berperan penting dalam meningkatkan tegangan dari sumber daya rendah, seperti panel surya atau baterai cadangan, ke level yang dibutuhkan untuk mengisi baterai utama.

Dalam sistem ini, pengendalian tegangan yang tepat sangat penting untuk memastikan bahwa baterai diisi dengan aman dan efisien (Daraz et al., 2023; Deb et al., 2022). Berbeda dengan kontroler konvensional, logika fuzzy dapat mengontrol *output Boost Converter* dengan lebih akurat dalam menghadapi variasi beban. Dengan menggunakan metode ini, sistem dapat menjaga tegangan keluaran tetap konstan meskipun terjadi perubahan pada input atau beban (Hussen & Stream, 2019).

Selain itu, FLC dapat meminimalkan waktu respons dan *overshoot*, yang merupakan parameter penting dalam sistem pengendalian (Pramono, 2018) (Sharma & Jain, 2015). Penelitian terkini telah mengeksplorasi penggunaan kontrol logika fuzzy pada *Boost Converter* untuk pengisian baterai. Misalnya, sebuah penelitian menunjukkan bahwa implementasi kontrol *Fuzzy Logic* pada *Boost Converter* dapat menjaga tegangan keluaran konverter sebesar 50 Volt dari tegangan masukan yang berkisar 9 Volt – 20 Volt.

Selain itu, penelitian lain menunjukkan bahwa penggunaan *Boost Converter* pada pengecasan baterai lithium ion menggunakan sistem kendali *Fuzzy Logic* dapat mempertahankan kesehatan baterai yang lebih lama. Penelitian ini menekankan efektivitas kontrol logika fuzzy dalam meningkatkan efisiensi dan stabilitas pengisian baterai (Rahmatullah, 2021).

Fokus utama dari penelitian ini adalah menganalisis kinerja sistem kendali logika fuzzy dalam menjaga stabilitas tegangan selama proses pengisian baterai dan mengevaluasi performa *Boost Converter* dalam kondisi beban dinamis dan sumber daya fluktuatif. Implementasi sistem pengendalian berbasis logika fuzzy pada *Boost Converter* diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pengisian baterai, mengurangi risiko *overcharging*, dan memperpanjang umur baterai.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Perancangan Sistem

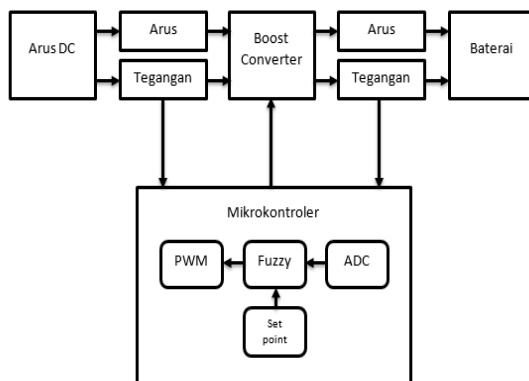
Pemilihan logika fuzzy untuk pengaturan tegangan pengisian baterai menggunakan *Boost Converter* didasarkan pada kemampuan logika

fuzzy dalam menangani ketidakpastian dan non-linearitas sistem. Dengan menggunakan kontrol logika fuzzy, tegangan keluaran konverter dapat dipertahankan stabil dengan rata-rata error sebesar 0,37%, yang menunjukkan bahwa error yang didapat tidak signifikan, sehingga kontrol logika fuzzy dapat digunakan untuk kontrol tegangan charging agar stabil (Faqih et al., 2021).

Selain itu, logika fuzzy memungkinkan penyesuaian dinamis terhadap variasi kondisi baterai dan sumber daya, sehingga meningkatkan efisiensi dan keamanan proses pengisian. Pada **Gambar 1** diperlihatkan proses pengendalian pengisian baterai menggunakan *Boost Converter* Berbasis *Fuzzy Logic*. Parameter masukan sistem berupa Tegangan DC yang bersumber dari solar panel atau power suply dengan rentang tegangan sekitar 1V - 16V.

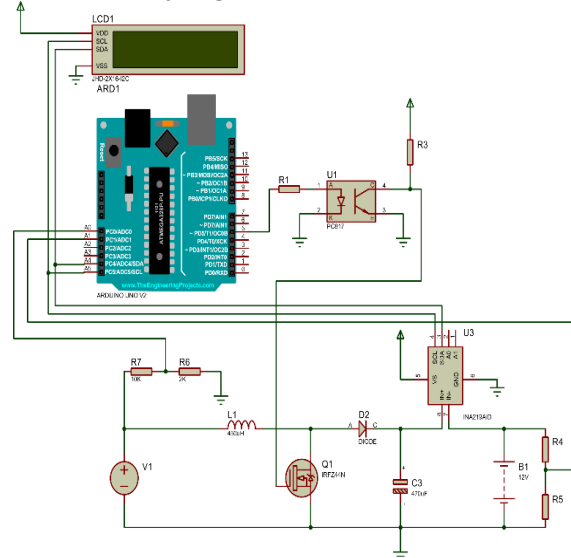
Untuk mengisi sebuah baterai 12V digunakan nilai tegangan pengisian dengan *set-point* sebesar 14V. Untuk mengatur agar tegangan pengisian baterai agar tetap terjaga sesuai setpoint digunakan *Boost Converter*. Sensor tegangan digunakan untuk membaca tegangan output dari *Boost Converter*. Data hasil pengukuran tegangan akan dikirim ke Mikrokontroler sebagai *input Analog to Digital Converter*.

Pada sistem ini mikrokontroler terprogram sistem kendali logika fuzzy yang akan mendeteksi nilai keluaran tegangan yang tidak sesuai *set point*. Mikrokontroler akan mengatur nilai keluaran berupa sinyal *Pulse Width Modulation* agar tegangan keluaran tetap pada *set point* yang telah ditentukan. Nilai *duty cycle* PWM dari mikrokontroler digunakan untuk mengatur besarnya tegangan keluaran *Boost Converter* melalui saklar elektronis berupa MOSFET.



Gambar 1. Diagram blok sistem

Pada **Gambar 2** diperlihatkan skema rangkaian elektronis pada sistem pengendalian pengisian baterai menggunakan *Boost Converter* Berbasis *Fuzzy Logic*.



Gambar 2. Wiring diagram secara keseluruhan

2.2. Perancangan Logika Fuzzy

Pada penelitian ini model aturan logika fuzzy yang digunakan yaitu Metode Mamdani. Kendali logika fuzzy yang digunakan memiliki 2 parameter input dan 1 parameter output. Nilai variabel input yang digunakan pada sistem kontrol logika fuzzy ini berupa variabel *error* dan *delta error* dari tegangan keluaran serta variabel outputnya berupa variabel PWM. Perhitungan nilai *error* dan *delta error* pada sistem ini ditunjukkan pada persamaan (1) dan (2):

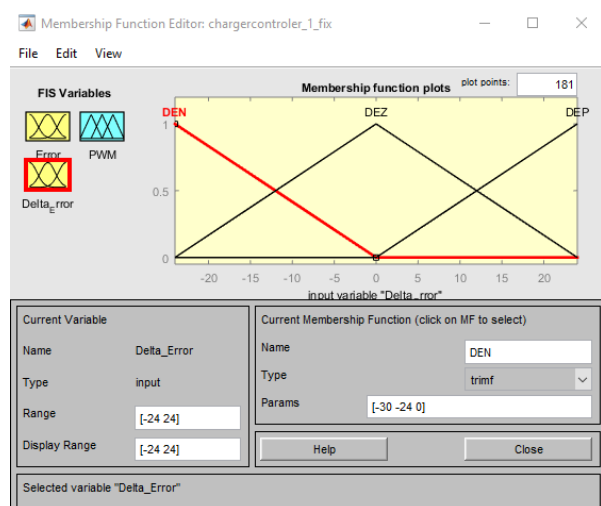
$$\text{Error}(e(t)) = V_{rf} - V_o \quad (1)$$

$$\text{Delta Error}(de) = e(t) - e(t - 1) \quad (2)$$

Fungsi keanggotaan Fuzzy untuk variabel Error ditunjukkan pada **Gambar 3**.

1. *Delta Error Negative* :

$$\mu[\text{DEN}] = \begin{cases} 1, & x \leq -24 \\ 0 - x, & -24 \leq x \leq 0 \\ 0, & x > 0 \end{cases} \quad (3)$$



Gambar 3. Fungsi keanggotaan variabel Error

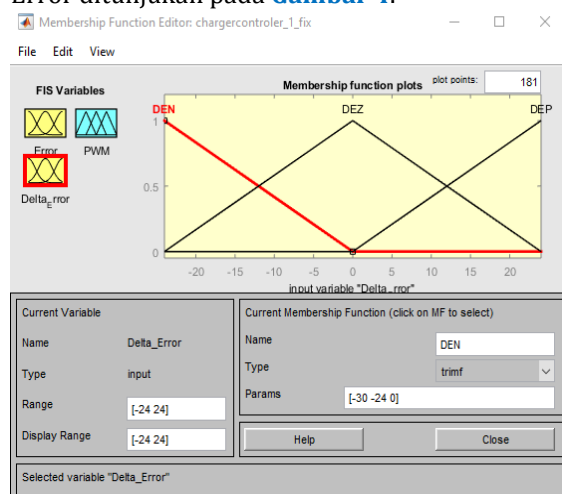
2. Delta Error Zero :

$$\mu[DEZ] = \begin{cases} 1, & -1 \leq x \leq 1 \\ 0, & x \leq 15 \text{ atau } x \geq 15 \\ \frac{x - (-15)}{-1 - (-15)}, & -15 \leq x \leq -1 \\ \frac{15 - x}{15 - 1}, & 1 \leq x \leq 15 \end{cases}$$

3. Delta Error Positive :

$$\mu[DEP] = \begin{cases} 1, & x \geq 24 \\ \frac{x - 0}{24 - 0}, & 0 \leq x \leq 24 \\ 0, & x > 0 \end{cases} \quad (5)$$

Fungsi keanggotaan Fuzzy variabel Delta Error ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Fungsi keanggotaan variabel Delta Error

1. Delta Error Negative :

$$\mu[DEN] = \begin{cases} 1, & x \leq -24 \\ \frac{0 - x}{0 - (-24)}, & -24 \leq x \leq 0 \\ 0, & x > 0 \end{cases} \quad (6)$$

2. Delta Error Zero :

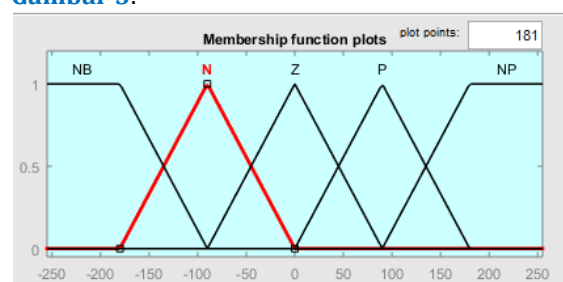
$$\mu[DEZ] = \begin{cases} 1, & -1 \leq x \leq 1 \\ 0, & x \leq 15 \text{ atau } x \geq 15 \\ \frac{x - (-15)}{-1 - (-15)}, & -15 \leq x \leq -1 \\ \frac{15 - x}{15 - 1}, & 1 \leq x \leq 15 \end{cases} \quad (7)$$

3. Delta Error Positive :

$$\mu[DEP] = \begin{cases} 1, & x \geq 24 \\ \frac{x - 0}{24 - 0}, & 0 \leq x \leq 24 \\ 0, & x > 0 \end{cases} \quad (8)$$

Membership output ditunjukkan pada

Gambar 5:



Gambar 5. Fungsi keanggotaan variabel output

Setelah tahap penentuan fungsi keanggotaan selanjutnya ditentukan aturan untuk memilih nilai dari derajat keanggotaan yang ada (*Rule Base*). Aturan-aturan ini dibentuk dari proses pengolahan data masukan yang nantinya akan menentukan respon dari sistem terhadap kondisi *set point* dan gangguan yang terjadi. *Rule base* yang telah dibuat ditunjukkan pada Tabel 1:

Tabel 1. Rule base logika fuzzy

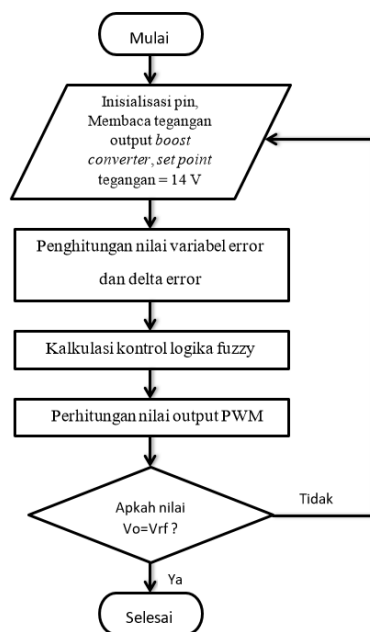
DE\E	NE	ZE	PE
DEN	NB	Z	P
DEZ	N	Z	P
DEP	N	Z	NP

Penentuan nilai kontrol ditentukan dengan perhitungan *Center Of Area* (COA) atau pusat dari suatu area. Persamaanya dapat dinyatakan sebagai berikut :

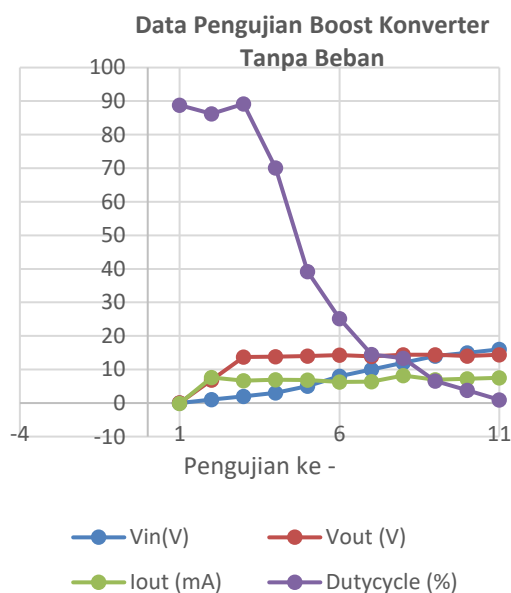
$$Z^* = \frac{\int f(z) \cdot z \cdot dz}{\int f(z) \cdot dz}$$

2.3 Flowchart Program

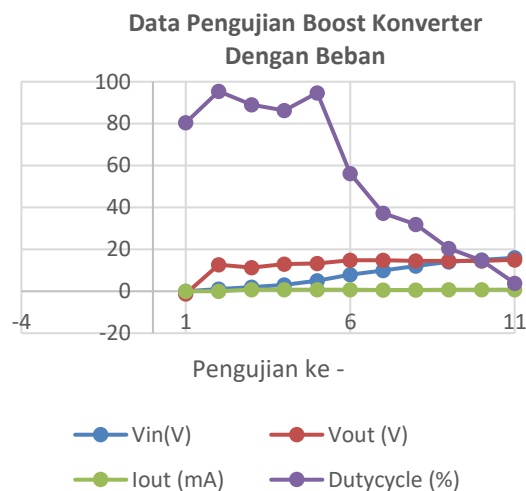
Flowchart untuk program kendali fuzzy pada pengisian baterai dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Diagram alir proses pengendalian pengisian baterai menggunakan *Boost Converter* Berbasis *Fuzzy Logic*



Gambar 7. Pengujian *Boost Converter* tanpa beban



Gambar 8. Pengujian *Boost Converter* tanpa beban

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

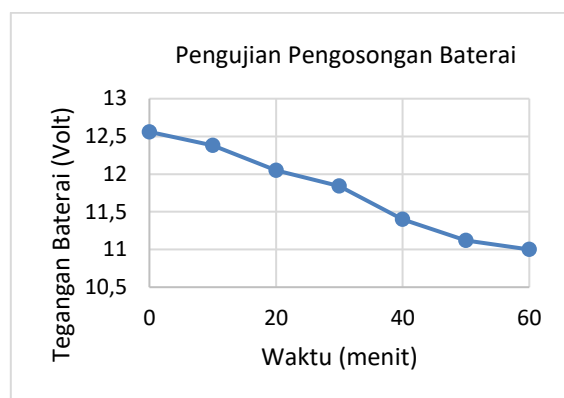
3.1. Pengujian Boost Converter

Pada pengujian ini Indikator yang diuji pada konverter adalah tegangan *output* serta *dutycycle* dari PWM yang berfungsi untuk mengatur nilai tegangan dari sumber tegangan DC pada pengisian baterai. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah sistem dapat menghasilkan *output* tegangan sesuai *setpoint* yang telah ditentukan (14V) dengan memberikan nilai *duty cycle* PWM. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan *input* tegangan dari 0 - 16 V dan frekuensi *switching* sebesar 32kHz ke *Boost Converter*. Hasil pengujian *Boost Converter* diperlihatkan pada **Gambar 7** dan **Gambar 8**.

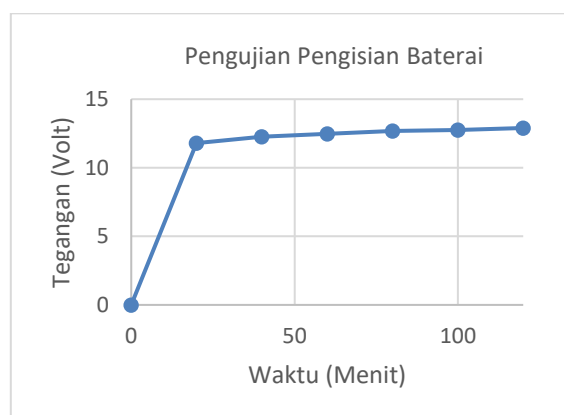
Berdasarkan data hasil pengujian yang diperlihatkan pada **Gambar 7** menunjukkan bahwa hasil pengujian dengan *input* tegangan yang bervariasi (berkisar antara 0 - 16V) *output* tegangan dari sistem dapat stabil di angka 14V, dengan *dutycycle* berkisar antara 0,97% - 89,16%. *Boost konverter* serta sistem kendalinya telah berfungsi sesuai harapan dan memiliki kemampuan untuk mengubah keluaran tegangan saat sistem tanpa beban.

Berdasarkan data hasil pengujian yang diperlihatkan **Gambar 8** menunjukkan bahwa hasil pengujian dengan *input* tegangan yang bervariasi (berkisar antara 0 - 16V) maka *output* tegangan dari sistem dapat stabil di angka 14V, dengan *dutycycle* berkisar antara 3,89% - 95,44%. *Boost konverter* memiliki kemampuan

untuk mengubah keluaran tegangan saat sistem diberi beban berupa aki.



Gambar 9. Pengujian pengosongan baterai



Gambar 10. Pengujian pengisian baterai

Tabel 2. Hasil pengujian respon transien

Set point	Vin	Rise Time	Peak Time	Over Shoot	Settling Time	Stady state Error
14 V	0 V	-	0,007s	-	0,57s	-
14 V	3 V	0,043s	0,16s	10,72 %	1,34s	0,80V
14 V	5 V	0,044s	0,17s	18,20 %	1,46s	0,50V
14 V	7.5V	0,048s	0,16s	15,95 %	1,39s	0,42V
14 V	10 V	0,036s	0,15s	9,36%	1,48s	0,42V
14 V	12 V	0,027s	0,15s	5,67%	0,54s	0,46V
14 V	14 V	0,007s	0,15s	4,93%	0,31s	0,79V
14 V	15 V	-	-	-	0s	0,64V

3.2. Pengujian Pengosongan Baterai

Pengujian pengosongan baterai dilakukan untuk mengetahui kondisi kapasitas baterai serta mengetahui kondisi performa baterai. Spesifikasi baterai yang digunakan adalah baterai kering 12V dengan kapasitas 4,5

Ah. Baterai diuji dengan dibebani 8 buah lampu dengan daya sebesar 5 Watt. Baterai diukur kembali nilai tegangannya setiap 10 menit untuk mengetahui penurunan kapasitasnya. Hasil dari pengukuran tegangan baterai saat proses *discharging* dapat diperlihatkan pada **Gambar 9**.

Berdasarkan data hasil pengukuran tegangan baterai pada **Gambar 9** diketahui ada penurunan tegangan sebesar 1,56 Volt pada baterai dari yang awalnya sebesar 12,56V setelah dilakukan pengujian *discharging* menjadi 11,00 Volt. Baterai biasanya berada pada kondisi penuh jika nilai tegangannya lebih dari 12,8 Volt, dan akan kurang jika tegangannya dibawah 10,8 Volt.

3.3. Pengujian Pengisian Baterai (Charging)

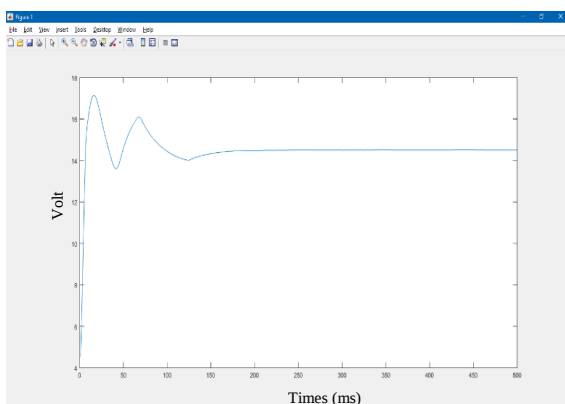
Pengujian pengisian dilakukan dengan cara baterai memberikan tegangan sebesar 14V dari *Boost Converter* untuk mengetahui kapasitas baterai pada saat proses pengisian. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana performa baterai terhadap sistem yang telah dibuat. Untuk memastikan apakah tujuan pengujian telah tercapai maka akan dilakukan analisis tambahan terhadap data yang diperoleh dari pengujian yang telah dilakukan.

Kondisi awal baterai sebelum dilakukan pengujian charging tegangannya sebesar 11,00V selanjutnya baterai diisi ulang dan diperoleh hasil pengukuran yang diperlihatkan pada **Gambar 10**. Dari data hasil pengukuran tegangan baterai pada **Gambar 10** dapat diamati bahwa saat pengujian *charging* tegangan baterai naik sebesar 1,90 Volt selama 120 menit sebesar 90% dari kapasitas baterai.

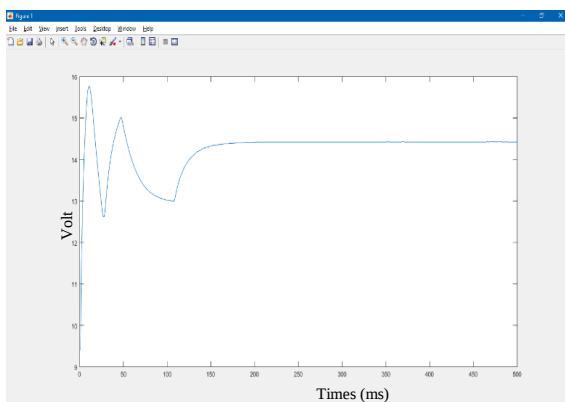
3.4. Pengujian Respon Transien

Untuk mengetahui *performansi* dari sistem kendali logika fuzzy pada *Boost Converter* dilakukan pengujian *output* tegangan yang diperoleh dari sensor tegangan. Hasil pengukuran tegangan keluaran dibaca melalui *Serial plotter* pada *Software Arduino IDE*. Untuk mendapatkan hasil yang lebih detail dan akurat maka *delay* yang digunakan untuk pembacaan sensor sebesar 10 atau sekitar $\pm 0,01$ detik, jadi untuk setiap 100 data yang ditampilkan di *Serial plotter* sama dengan ± 1 detik. **Tabel 2** menunjukkan hasil pengujian respon transien dari sistem kendali fuzzy terhadap beberapa *input*.

Pada pengujian digunakan beberapa input yang bervariasi untuk mendapatkan beberapa sampel *respon transien* dari sistem yang dibuat. Dari data yang telah diambil diketahui *rise time* sebesar 0,007s - 0,048s dengan rata-rata sebesar 0,034s. Nilai *peak time* antara 0,007s - 0,16s dengan rata-rata 0,13s. Untuk nilai *overshoot* sebesar 4,93% - 18,2% dengan rata-rata 10,8%. Nilai *Settling Time* antara 0s - 1,48s dengan rata-rata di angka 0,88s. Nilai *steady state error* sebesar 0s - 1,48s dengan rata-rata 0,57V. Dari grafik respon transien pada **Gambar 11** dan **Gambar 12** dapat dilihat bahwa fluktuasi tegangan sebesar 10,72% dan 8,36%, sedangkan nilai kesalahan tunaknya sebesar 0,8 V dan 0,42 V.



Gambar 11. Grafik respon transien saat tegangan input 3V



Gambar 12. Grafik respon transien saat tegangan input 10V

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini maka dapat diperoleh kesimpulan yaitu:

- 1) *Boost Converter* dengan kontrol logika fuzzy yang dibuat dapat mengisi baterai bertegangan 12V dan berkapasitas 4,5Ah dengan baik, dibuktikan dengan naiknya tegangan baterai dari 11,00V menjadi 12,90V setelah *charging* selama 120 menit.
- 2) *Respons transien* dari sistem kendali fuzzy pada *Boost Converter* yaitu nilai *rise time* yang cukup cepat dengan rata-rata sebesar 0,034s, nilai *overshoot* yang cukup rendah dengan rata-rata sebesar 10,80%, dan juga *steady state error* yang kecil dengan rata-rata sebesar 0,57V.

REFERENSI

- Al Gizi, A. J. H. (2022). *Fuzzy Logic Control Design and Implementation with DC-DC Boost Converter*. *EAI Endorsed Transactions on Context-Aware Systems and Applications*, 8, e6.
<https://doi.org/10.4108/eetcasa.v8i24.1920>
- 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), 1–18.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0281122>
- Deb, S., Pihlatie, M., & Al-Saadi, M. (2022). Smart Charging: A Comprehensive Review. *IEEE Access*, 10(November), 134690–134703.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3227630>
- Faqih, M. R., Windarko, N. A., & Wahjono, E. (2021). Sistem Baterai Cell Balancing Pasif Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy Tipe Mamdani untuk Baterai Pack Lithium. *J-Innovation*, 10(2), 34–43.
<https://doi.org/10.55600/jipa.v10i2.111>
- Hussen, A., & Stream, C. E. (2019). *Comparative Analysis of PID and Fuzzy Logic Controller for Induction Motor Speed Control Comparative Analysis of PID and Fuzzy Logic Controller for Induction Motor Speed Control*. 5(October), 134–138.
- Imam Setyawan & Bambang Suprianto. (2019). Rancang Bangun Prototype Solar Cell Buck Boost Converter Menggunakan Kontrol Fuzzy Di Implementasikan Pada Aerator

- Tambak Udang. *Jurnal Teknik Elektro*, 8(3), 627-635.
- Manickavasagam, K. (2014). *Fuzzy Logic Controller Based Single Buck Boost Converter for Solar PV Cell*. 3(1), 1-8.
- Nik Ismail, N. F., Musirin, I., Baharom, R., & Johari, D. (2010). *Fuzzy Logic controller on DC/DC Boost Converter*. *PECon2010 - 2010 IEEE International Conference on Power and Energy*, 661-666. <https://doi.org/10.1109/PECON.2010.5697663>
- Pedrycz, W., & Gomide, F. (2007). *Fuzzy Systems Engineering Computing*. In *Systems Research*. <http://www.wiley.com/go/p>
- Pramono, T. J. (2018). Implementasi Logika Fuzzy Untuk Sistem Otomatisasi Pengaturan Pengisian Baterai Pembangkit Listrik Tenaga Surya. *Energi & Kelistrikan*, 9(2), 111-119. <https://doi.org/10.33322/energi.v9i2.41>
- Rahmatullah, F. (2021). Desain dan Simulasi Battery Charger Metode CC-CV (Constant Current-Constant Voltage) dengan Kontrol Logika Fuzzy Menggunakan MATLAB. *Cyclotron*, 4(2), 18-22. <https://doi.org/10.30651/cl.v4i2.8621>
- Romadhon, R., Hardianto, T., & Hadi, W. (2017). Sistem Kontrol *Fuzzy Logic* Pada Tegangan Output Buck Converter Untuk Solar Charger. *Teknik Elektro Universitas Jember*, 20-25.
- Sahin, M. E., & Okumus, H. I. (2011). *Fuzzy Logic controlled buck-boost DC-DC converter for solar energy-battery system*. *INISTA 2011 - 2011 International Symposium on INnovations in Intelligent SysTems and Applications, June 2011*, 394-397. <https://doi.org/10.1109/INISTA.2011.5946099>
- Sharma, C., & Jain, A. (2015). Performance comparison of PID and fuzzy controllers in distributed MPPT. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, 6(3), 625-635. <https://doi.org/10.11591/ijpeds.v6.i3.pp625-635>
- Sutikno, T., & Satrian Purnama, H. (2020). *KONVERTER DC-DC Prinsip & Aplikasi* (Vol. 1).
- Wang, L.-X. (1997). A COURSE IN ' FUZZY A Course in Fuzzy Systems and Control. In *Design*. <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=248374&dl=>