

Desain dan Simulasi *Battery Charger* Metode CC-CV (*Constant Current-Constant Voltage*) dengan Kontrol Logika Fuzzy Menggunakan MATLAB

Irianto¹, Diah Septi Yanaratri², dan Faris Rahmatullah³
^{1,2,3}Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

Jl. Raya ITS, Keputih Kec. Sukolilo Kota Surabaya Jawa Timur, 60111
e-mail: farisrahmatullah@pe.student.pens.ac.id

Abstrak— Baterai merupakan salah satu sistem penyimpanan energi listrik. Namun, dalam pengisiannya rentan mengalami kerusakan. Kerusakan pada baterai sering terjadi ketika dilakukan pengisian daya yang berlebih (*over charging*). Waktu pengisian baterai juga menjadi faktor yang perlu diperhatikan dalam pengisian daya. Oleh karena itu, pengisian daya baterai yang efisien menjadi penting dan sangat perlu dilakukan untuk menghindari terjadinya kerusakan. Sistem *charging* pada baterai disini dengan metode *constant current-constant voltage* (CC-CV) menggunakan dua buah kontrol logika fuzzy. Metode *charging* CC-CV digunakan untuk memaksimalkan daya *charging* dengan waktu yang singkat serta mencegah terjadinya *over charging* pada baterai. Kontrol logika fuzzy pertama dan kedua digunakan untuk mengatur *duty cycle* agar arus konstan dan tegangan konstan. Dari hasil simulasi menggunakan metode CC-CV ketika kondisi CC diperoleh nilai arus sebesar 3.3A pada *duty cycle* 42.6% dan terjadi transisi menuju kondisi CV ketika *state of charge* (SoC) 80.02% dengan nilai tegangan sebesar 14.4 V pada *duty cycle* 41.2%. Pengisian daya dan peningkatan SoC pada metode CC-CV lebih cepat 0.15 detik terhadap metode CC dan 0.25 detik terhadap metode CV.

Kata kunci: *Battery Charging, Buck Converter, Logika Fuzzy, Constant Current, Constant Voltage*

Abstract— *Battery is one of the electrical energy storage systems. However, in its charging process is prone to damage. Damage to the battery often occurs due to overcharging. Time is one important factor to consider in charging. Therefore, an efficient charging system is important and indispensable to avoid damage. The method used in this charging system is the constant current-constant voltage (CC-CV) method with two fuzzy logic controls used to calculate the duty cycle of converter. CC-CV charging method is used to maximize charging power with a short amount of time and prevent over charging on the battery. The fuzzy logic controls are used to set constant current and constant voltage. From the simulation results using CC-CV method, in CC state the current value obtained is 3.3A on duty cycle 42.6% and the transition to CV state occurs at state of charge (SoC) 80.02% with voltage value of 14.4 V at duty cycle 41.2%. The increase of SoC percentage using CC-CV method is 0.15 seconds faster than CC method while compared to CV method is 0.25 seconds faster.*

Keywords: *Battery Charging, Buck Converter, Fuzzy Logic, Constant Current, Constant Voltage*

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan manusia yang sangat penting dan vital yang tidak dapat dilepaskan dari keperluan sehari-hari. Kesadaran akan energi di seluruh dunia tentang isu lingkungan telah mengakibatkan pentingnya peningkatan pengembangan sistem penyimpanan energi. Untuk mendukung penyedia energi tersebut, penyimpanan energi menjadi sangat penting untuk menyediakan pasokan yang handal dan kontinyu dalam waktu yang relatif lama, salah satunya adalah baterai.

Baterai adalah salah satu sistem penyimpanan energi yang paling menarik karena efisiensi tinggi dan polusi rendah [1]. Namun dalam pemakaiannya baterai mudah mengalami kerusakan dan tidak dapat diketahui apakah masih dalam keadaan baik atau sudah rusak. Kelebihan pengisian daya

dan pemakaian berlebihan akan mengurangi masa pakai baterai dan akan mengakibatkan kerusakan ekstrem pada baterai [2].

Konverter DC-DC adalah sirkuit elektronika daya yang mengubah tegangan DC ke tegangan DC dengan nilai yang berbeda, sesuai dengan jenis dan pengaturan output [3]. Konverter DC-DC melakukan dua fungsi yakni mengubah tingkat tegangan *output* (meningkat atau berkurang) dan memberikan tegangan beban konstan [4]. Tegangan keluaran dilakukan dengan pengaturan lamanya waktu penghubungan menggunakan *switch* antara sisi keluaran dan sisi masukan pada rangkaian yang sama.

Buck converter merupakan rangkaian elektronika daya yang berfungsi menurunkan tegangan DC. Pemilihan *buck converter* didasarkan pada efisiensi yang tinggi dalam perubahan daya serta rangkaian yang sederhana [5].

Biasanya digunakan untuk mengontrol tegangan keluaran yang sesuai untuk beberapa aplikasi seperti *charging* baterai dan kontrol motor DC. Sistem kontrol yang akan digunakan ialah *Fuzzy Logic Controller* untuk mengatur tegangan *charging* tetap konstan.

Pada *fuzzy logic controller* digambarkan secara sederhana kesimpulan dari informasi yang samar-samar. Terdapat aturan yang berasal dari data observasional memberikan pengetahuan tentang sistem yang disimulasikan [6]. Kehandalan *fuzzy logic* tidak bergantung pada model matematis sistem yang dikendalikan namun pada kegiatan percobaan dan pengalaman [7].

II. STUDI PUSTAKA

A. Full Wave Rectifier

Full Wave Rectifier digunakan untuk menghasilkan tegangan atau arus DC yang murni. Output dari *full wave rectifier* secara inheren memiliki lebih sedikit riak/ripple daripada *half wave rectifier* [3].

$$V_{in(max)} = V_{in(rms)} \times \sqrt{2} \quad (1)$$

$$\Delta V_o = 1\% \times V_{in(max)} \quad (2)$$

$$V_{o(dc)} = V_{i(max)} - \frac{\Delta V_o}{2} \quad (3)$$

$$C = \frac{V_{in(max)}}{2 \times f \times R \times \Delta V_o} \quad (4)$$

Keterangan:

$V_{o(dc)}$ = Tegangan Output DC (V)

$V_{in(max)}$ = Tegangan Input RMS (A)

ΔV_o = Ripple Tegangan Output

C = Kapasitansi (F)

Masukan penyearah berasal dari transformator 24V untuk menghasilkan tegangan keluaran sebesar 33.7 VDC. Penggunaan persamaan 1,2,3 dan 4 dilakukan sebagai perhitungan untuk mendapatkan keluaran penyearah yang sesuai.

B. DC-DC Buck Converter

DC-DC *buck converter* digunakan untuk menghasilkan jumlah tegangan output yang rendah dari jumlah tegangan input yang tinggi [8]. Terdiri dari beban resistor (R), induktor (L), kapasitor (C), ultra fast diode, dan MOSFET transistor sebagai *switch*.

$$D = \frac{V_o}{V_s} \quad (5)$$

$$R = \frac{V_o}{I_o} \quad (6)$$

$$L = \left(\frac{1}{f}\right) \times (V_s - V_o) \times \left(\frac{V_o}{V_s}\right) \times \left(\frac{1}{\Delta I_L}\right) \quad (7)$$

$$C = \frac{1-D}{8 \times L \times \left(\frac{\Delta V_o}{V_o}\right) \times f^2} \quad (8)$$

Keterangan:

D = Duty Cycle

R = Resistansi (Ω)

L = Induktansi (H)

C = Kapasitansi (F)

Perancangan desain dari *buck converter* meliputi besarnya *duty cycle* yang diberikan untuk menghasilkan keluaran yang sesuai. Untuk mengurangi riak/*ripple* tegangan, *filter* yang terbuat dari kapasitor ditambahkan ke *output* konverter dan *input*.

Tabel 1. Spesifikasi DC-DC Buck Converter

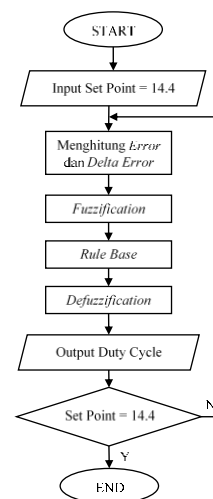
Parameter	Nilai
Tegangan Input (Vin)	33.77 V
Arus Input (Iin)	3 A
Tegangan Output (Vo)	14.4 V
Arus Output (Io)	3.6 A
Frekuensi (fs)	40 kHz
Resistansi (R)	4 Ω
Induktansi (L)	268.8 μ H
Capacitance (C)	166.83 μ F

Pada tabel 1. menunjukkan besar nilai masing-masing komponen pada sistem untuk menghasilkan tegangan keluaran sebesar 14.4 V.

C. Fuzzy Logic Controller

Logika Fuzzy menggabungkan perhitungan matematis dan algoritma. Dalam memproses setiap masukan, metode fuzzy menggunakan *range-to-point control*. Setiap parameter (input/output) diklasifikasikan dalam variabel linguistik [7].

Metode Kontrol Logika Fuzzy yang digunakan pada sistem ini ialah Metode Mamdani. Metode mamdani lebih intuitif, sangat fleksibel terhadap data dan sudah digunakan oleh banyak pihak. Kontrol Logika Fuzzy digunakan untuk mengendalikan pembangkitan PWM yang berfungsi untuk mengontrol tegangan output Buck Converter agar tetap konstan.

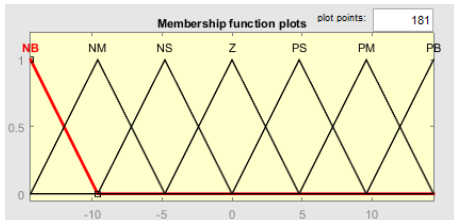


Gambar 1. Flowchart Kontrol Logika Fuzzy

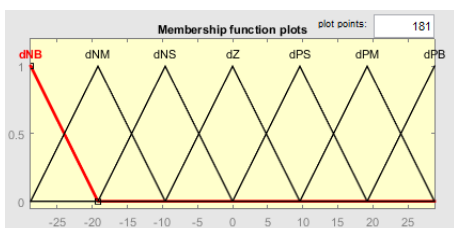
Pada Gambar 1. merupakan *flowchart* Kontrol Logika Fuzzy dimana parameter yang akan digunakan sebagai input ialah parameter tegangan dan arus. Parameter ini akan

dikonversikan menjadi dua variabel fuzzy yakni *error* (*e*) dan *delta error* (*de*).

Kedua variabel ini nantinya akan di olah melalui *Fuzzification*, *Fuzzy Inference System* serta *Defuzzification* yang akan menghasilkan output berupa besaran *duty ratio* untuk pembangkitan PWM sebagai *switching* dari *Buck Converter*. *Fuzzification* merupakan transformasi domain dari *crisp* menjadi input *fuzzy* [9].

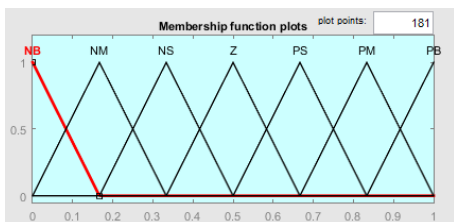


Gambar 2. Fungsi Keanggotaan Input Fuzzy Variabel Error



Gambar 3. Fungsi Keanggotaan Input Fuzzy Variabel Delta Error

Gambar 2. menunjukkan fungsi keanggotaan variabel *error* dengan rentang -14.4 sampai 14.4. Pada gambar 3. menunjukkan fungsi keanggotaan variabel *delta error* dengan rentang -28.8 sampai 28.8.



Gambar 4. Fungsi Keanggotaan Output Fuzzy Variabel Duty Cycle

Gambar 4. merupakan fungsi keanggotaan output *fuzzy* yakni berupa *duty cycle* dengan rentang 0 sampai 1. Keluaran dari fuzzifikasi akan diolah *fuzzy inference system* dengan mempertimbangkan *rule based* yang telah ditentukan.

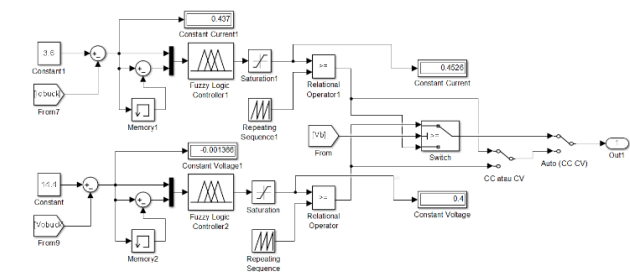
Tabel 2. *Fuzzy Rule Based*

$\begin{matrix} E \\ dE \end{matrix}$	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZO
NM	NB	NB	NB	NM	NS	ZO	PS
NS	NB	NB	NM	NS	ZO	PS	PM
ZO	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
PS	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	PB
PM	NS	ZO	PS	PM	PB	PB	PB
PB	ZO	PS	PM	PB	PB	PB	PB

Tabel 2. Merupakan aturan dasar yang menentukan aksi kontrol untuk menentukan besaran output yakni *duty cycle*.

Keluaran dari *fuzzy inference system* akan diolah sebagai input defuzzifikasi yang diekspresikan dalam bentuk *fuzzy set* ke bilangan ril.

Defuzzifikasi ialah proses mengkonversi nilai *fuzzy output* kembali menjadi data keluaran tegas (*crisp output*) atau keluaran klasik kepada objek kontrol [10]. Metode *defuzzification* yang digunakan ialah Metode Centroid. Dimana output solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil titik pusat. Output berupa besar nilai *duty cycle* 0 – 1 untuk menjaga tegangan output tetap konstan.

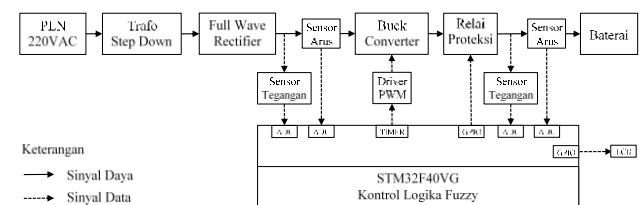


Gambar 5. Rangkaian Kontrol Logika Fuzzy

Terlihat pada gambar 5. ialah rangkaian kontrol dengan parameter masukan tegangan dan arus. Kedua parameter ini diolah menjadi dua variabel *fuzzy* (*error* dan *delta error*) untuk di proses menjadi keluaran berupa nilai *duty cycle*. Terdapat *switch* sebagai pergantian dari proses *charging constant current* (CC) menuju *constant voltage* (CV).

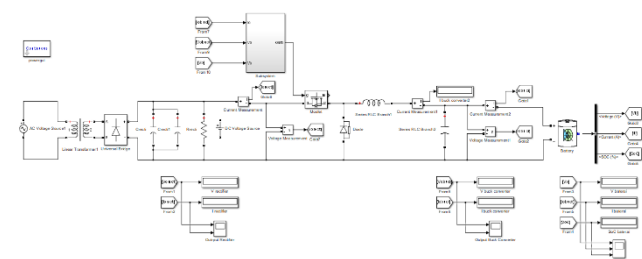
III. METODE

Sistem dialiri sumber sebesar 220 VAC yang masuk menuju *full wave rectifier* untuk disearahkan menjadi tegangan DC. Keluaran penyearah menjadi input *buck converter* untuk dapat distabilkan dan diturunkan menjadi 14.4 VDC yakni sebagai tegangan *charging*.



Gambar 6. Skema Sistem

Pada gambar 6. Kontrol logika fuzzy mendapat input dari parameter tegangan dan arus untuk dapat diolah sebagai masukan. Hasil keluarannya berupa besar *duty cycle* yang diberikan melalui driver PWM sebagai *switching* untuk menjaga keluaran *buck converter*.

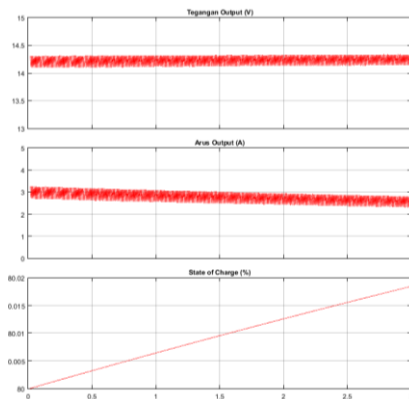


Gambar 7. Rangkaian Simulasi MATLAB

Output dari *buck converter* sebagai tegangan *charging* pada baterai. Pada gambar 7. terlihat rangkaian simulink pada MATLAB dimana menggambarkan keseluruhan sistem. *Input* fuzzy yakni tegangan, arus dan *state of charge* didapat dari parameter *output* pada baterai.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi dilakukan dengan *running time* selama 3 detik secara *continuous*. Pada gambar 7. terlihat respon keluaran pada sistem *open loop*. Besar *duty cycle* mempengaruhi besar kecilnya tegangan keluaran dari *buck converter*. Semakin besar *duty cycle* yang diberikan, semakin besar tegangan pada keluaran *buck converter*.

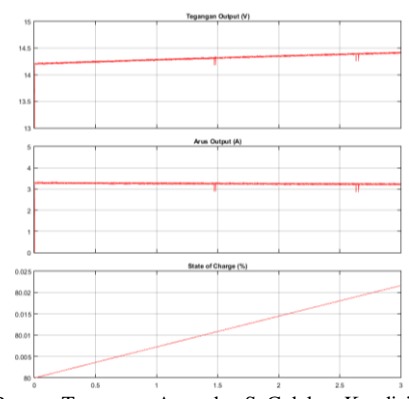


Gambar 8. Respon Tegangan, Arus, dan SoC dalam Kondisi *Open Loop*

Tabel 3. SoC, Tegangan dan Arus (*open loop*)

SoC (%)	Tegangan (V)	Arus (A)
80	14.25	3
80.005	14.25	2.9
80.01	14.25	2.8
80.015	14.25	2.7
80.018	14.25	2.6

Terdapat data keluaran *buck converter* atau masukan baterai hasil pengujian pada tabel 3. Terlihat jika arus terus menurun, hal ini disebabkan karena *duty cycle* pada kondisi *open loop* bernilai konstan atau tanpa kontrol. Maka tegangan keluaran bernilai konstan dan arus akan menurun sesuai karakteristik *charging* baterai. Pada gambar 9. menunjukkan respon output ketika kondisi *constant current*. Terjadi peningkatan nilai tegangan seiring kenaikan *state of charge* (SoC).



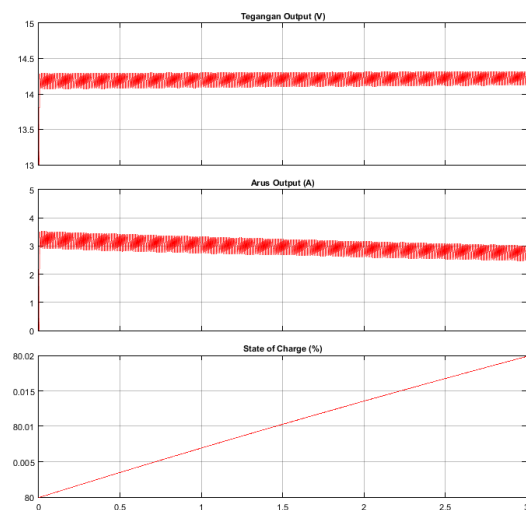
Gambar 9. Respon Tegangan, Arus, dan SoC dalam Kondisi *Constant Current*

Tabel 4. SoC, Tegangan dan Arus (*constant current*)

SoC (%)	Tegangan (V)	Arus (A)
80	14.2	3.2
80.005	14.25	3.2
80.01	14.3	3.2
80.015	14.35	3.2
80.02	14.4	3.2
80.022	14.42	3.2

Data hasil pengujian kondisi *over current* ditampilkan pada tabel 4. Peningkatan nilai tegangan disebabkan oleh karakteristik dari *charging* baterai. Pada kondisi ini, kontrol digunakan untuk mengatur besar nilai arus konstan 3.3 A. Maka ketika arus *charging* konstan, tegangan akan terus naik walaupun sudah mencapai tegangan maksimal. Hal ini berbahaya karena bisa menyebabkan *over voltage* pada baterai dan menyebabkan kerusakan pada baterai.

Respon kondisi *constant voltage* terlihat pada gambar 10. Terjadi penurunan pada nilai arus *charging* seiring peningkatan nilai SoC. Tegangan akan tetap bernilai konstan 14.2 V walaupun arus terus menurun.



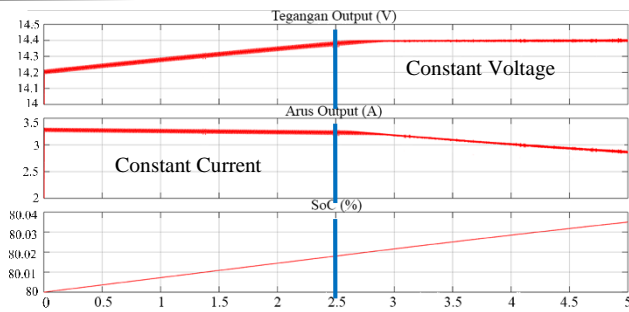
Gambar 10. Respon Tegangan, Arus dan SoC dalam Kondisi *Constant Voltage*

Tabel 5. SoC, Tegangan dan Arus (*constant voltage*)

SoC (%)	Tegangan (V)	Arus (A)
80	14.25	3.4
80.005	14.25	3.2
80.01	14.25	3
80.015	14.25	2.8
80.02	14.25	2.6

Terjadi penurunan nilai arus pada respon maupun data yang terlihat pada tabel 5. Dimana hal ini disebabkan karena kontrol fuzzy hanya mengatur tegangan bukan arus. Maka arus secara karakteristik akan menurun. Metode *charging* ini jarang digunakan karena efektifitas yang kurang baik dan waktu *charging* yang cukup lama.

Pada gambar 11. Terlihat respon output pada kondisi *charging* dengan *constant current-constant voltage*. Sistem ini menggunakan set point sebesar 3.6 A pada *constant current* dan 14.4 V pada *constant voltage* sebagai daya *charging* pada baterai. Transisi CV menuju CV terjadi ketika tegangan mencapai maksimum 14.4 V yakni pada SoC 80.02%. Dimana kedua kondisi ini dilakukan menggunakan dua sistem kontrol terpisah.



Gambar 11. Respon Tegangan, Arus dan SoC dalam Kondisi CC-CV (Constant Current-Constant Voltage)

Tabel 6. SoC, Tegangan dan Arus (CC-CV)

SoC (%)	Tegangan (V)	Arus (A)
80	14.2	3.3
80.005	14.25	3.3
80.01	14.3	3.3
80.015	14.35	3.3
80.02	14.4	3.3
80.025	14.4	3.16
80.03	14.4	3
80.035	14.4	2.66

Terjadi transisi dari metode charging *constant current* menjadi *constant voltage* ketika tegangan mencapai 14.4 V atau tegangan maksimal pada baterai. Pada tabel 6. Terlihat transisi terjadi ketika tegangan bernilai 14.4 V dan arus 3.3 A. *State of charge* (SoC) akan terus meningkat atau mengisi daya seiring berjalannya transisi maupun dia kedua kondisi. Transisi di tegangan maksimal baterai dilakukan untuk menghindari terjadinya *over voltage* pada baterai. *Constant current-constant voltage* dilakukan untuk memaksimalkan daya dan meminimalisir waktu pada *charging* baterai. Ripple yang dialami disebabkan karena masukan dari sistem berupa tegangan AC namun masih tahap wajar.

V. KESIMPULAN

Pada simulasi ini didapatkan hasil ketika dilakukan dalam kondisi *open loop* tegangan keluaran sebesar 14.25 V konstan dengan arus sebesar 3 A. Pada metode *charging* CC-CV diperoleh nilai arus sebesar 3.3 A pada duty cycle 42.6% ketika kondisi CC dan nilai tegangan sebesar 14.4 V

pada duty cycle 41.2% ketika kondisi CV. Pengisian daya dan peningkatan SoC pada kondisi CC-CV lebih cepat 0.15 detik jika dibandingkan dengan *constant current* dan 0.25 detik dengan *constant voltage*.

REFERENSI

- [1] M. Charkhgard dan M. Farrokhi, "State-of-Charge Estimation for Lithium-Ion Batteries Using Neural Networks and EKF," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 57, no. 12, hlm. 4178–4187, Des 2010, doi: 10.1109/TIE.2010.2043035.
- [2] D. Saji, P. S. Babu, dan K. Ilango, "SoC Estimation of Lithium Ion Battery Using Combined Coulomb Counting and Fuzzy Logic Method," dalam *2019 4th International Conference on Recent Trends on Electronics, Information, Communication & Technology (RTEICT)*, Bangalore, India, Mei 2019, hlm. 948–952. doi: 10.1109/RTEICT46194.2019.9016956.
- [3] D. W. Hart, *Power electronics*. New York: McGraw-Hill, 2011.
- [4] D. Ounnas, D. Guiza, Y. Soufi, R. Dhaouadi, dan A. Bouden, "Design and Implementation of a Digital PID Controller for DC–DC Buck Converter," dalam *2019 1st International Conference on Sustainable Renewable Energy Systems and Applications (ICSRESA)*, Tebessa, Algeria, Des 2019, hlm. 1–4. doi: 10.1109/ICSRESA49121.2019.9182430.
- [5] I. N. W. Satiawan dan I. B. F. Citarsa, "DESAIN BUCK CONVERTER UNTUK CHARGING BATERE PADA BEBAN BERVARIASI," hlm. 6.
- [6] D. Renwal dan M. Kumar, "Hybrid PI-fuzzy logic controller based DC-DC converter," dalam *2015 International Conference on Green Computing and Internet of Things (ICGCIoT)*, Greater Noida, Delhi, India, Okt 2015, hlm. 753–757. doi: 10.1109/ICGCIoT.2015.7380563.
- [7] G. Dewantoro, D. Susilo, dan P. P. Adi, "Implementasi Pengendali Logika Fuzzy pada Navigasi Robot Penjejak Dinding," *JTE*, vol. 16, no. 2, hlm. 72, Agu 2017, doi: 10.24843/MITE.2017.v16i02p13.
- [8] S. N. Soheli, G. Sarowar, Md. A. Hoque, dan M. S. Hasan, "Design and Analysis of a DC -DC Buck Boost Converter to Achieve High Efficiency and Low Voltage Gain by using Buck Boost Topology into Buck Topology," dalam *2018 International Conference on Advancement in Electrical and Electronic Engineering (ICAEEE)*, Gazipur, Bangladesh, Nov 2018, hlm. 1–4. doi: 10.1109/ICAEEE.2018.8643001.
- [9] M. W. Alim, N. A. Windarko, dan R. Rakhmawati, "Fuzzy Logic Control Design On Buck Converter For Thermo Electric Air Cooler Power Supply," *JAREE*, vol. 4, no. 2, Okt 2020, doi: 10.12962/j25796216.v4.i2.137.
- [10] A. Ilyas, S. Jahan, dan M. Ayyub, "Tuning Of Conventional Pid And Fuzzy Logic Controller Using Different Defuzzification Techniques," vol. 2, no. 1, hlm. 5, 2013.