

Received : Agustus 2021

Accepted: Oktober 2021

Published : Oktober 2021

Desain Baterai Charger Kendaraan Listrik dengan Metode Constan Current dan Constan Voltage

Syechu Dwitya Nugraha^{1*}, Nuva Choironi Ersha², Epyk Sunarno³, Ony Asrarul Qudsi⁴,
Indra Frediansyah⁵, Gigih Prabowo⁶

^{1*,2,3,4,5} Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

*E-mail: syechu@pens.ac.id

Abstract

This paper will explain and simulate the Buck Converter circuit as a battery charger using MATLAB software. The source of this buck converter uses an alternating current source that has been rectified by the rectifier. And the output of the buck converter is a battery. The battery charging system here uses the constant current - constant voltage method. Where to achieve this constant current and voltage using fuzzy control. The constant current - constant voltage method was chosen because this method is the most suitable with the characteristics of the battery in general. In addition, this method will reduce the risk of the battery heating up quickly during the charging process. So, this method will increase the life of the battery. In this simulation process the voltage and current values will be seen during the charging process. The simulation also shows the effect of fuzzy control which causes the charging current and voltage to match the setpoint. The results of this paper on the charging process with two stages are a constant current of 3.5 Ampere and for a constant voltage of 14.4 Volts..

Keywords : Buck Converter, Constan Current, Constan Voltage, Fuzzy Logic Controller

Abstrak

Dalam makalah ini akan dijelaskan dan disimulasikan mengenai rangkaian Buck Converter sebagai charger baterai menggunakan software MATLAB. Sumber dari buck converter ini menggunakan sumber arus bolak balik yang telah disearahkan oleh rectifier. Dan keluaran dari buck converter yaitu baterai. Sistem charging baterai disini menggunakan metode constant current - constant voltage. Dimana untuk mencapai arus dan tegangan yang konstan ini menggunakan kontrol fuzzy. Metode constant current – constant voltage ini dipilih dikarenakan metode ini yang paling sesuai dengan karakteristik baterai secara umum. Selain itu juga dengan metode ini akan mengurangi resiko cepat panasnya baterai selama proses charging. Sehingga, dengan metode ini akan menambah umur baterai tersebut. Dalam proses simulasi ini akan dilihat nilai tegangan dan arus selama proses charging. Pada simulasi juga dapat dilihat pengaruh dari kontrol fuzzy yang menyebabkan arus dan tegangan charging sesuai dengan setpoint. Hasil dari makalah ini pada proses pengisian charging dengan dua tahapan adalah arus konstan sebesar 3,5 Ampere dan untuk tegangan konstan 14,4 Volt.

Kata kunci : Buck Converter, Constan Current, Constan Voltage, Fuzzy Logic Controller

1. Pendahuluan

Dalam beberapa tahun terakhir, masalah lingkungan yang disebabkan oleh kendaraan bahan bakar dan penghematan bahan bakar menjadi semakin serius. Kendaraan yang memanfaatkan renewable energy yang ramah lingkungan dan ekonomis, merupakan tujuan penting untuk pembangunan ekonomi dan sosial di banyak negara, tetapi juga arah pengembangan kendaraan di masa depan [1]. Teknologi transportasi saat ini sangat berkembang pesat, banyak transportasi yang telah menggunakan energi terbarukan sebagai sumber energinya. Dan tak memungkiri bahwa di masa yang akan datang, semakin banyak stasiun pengisian bahan bakar menggunakan listrik atau bisa disebut dengan PHEVs (Plug-in Electrical Vehicle). Dengan kondisi saat ini yang banyak beredar isu mengenai menipisnya bahan bakar minyak yang ada di dunia. Sehingga dengan adanya transportasi menggunakan sumber terbarukan ini menjadi solusi untuk transportasi yang ramah lingkungan [2]. Perangkat penyimpanan harus memiliki kemampuan yang baik agar energi listrik yang tersimpan dapat digunakan secara maksimal dan efisien [3].

Indikator baik tidaknya charger yang digunakan adalah proses pengisian baterai yang cepat, namun tidak akan menimbulkan kerusakan pada baterai. Sehingga apabila menginginkan kondisi baterai tetap dalam performa terbaik, maka diperlukan charger yang berkualitas. Dikarenakan proses pengisian juga menentukan umur baterai yang digunakan [4]. Pada dasarnya, metode pengisian baterai dapat dibedakan menjadi 3 jenis yaitu metode pengisian dengan tegangan konstan, metode pengisian dengan arus konstan dan juga menggunakan metode pulsa. Sedangkan untuk pembagian jenis pengisian baterai berdasarkan proses pengisiannya dapat dibedakan menjadi 4 jenis yaitu ultrafast charge, fast charge, rapid charge dan slow charge [5].

Proses pengisian baterai dengan menggunakan sistem Fast Charger dapat mengisi baterai dengan cepat, namun banyak

pengguna yang mengabaikan lamanya proses pengisian. Ketika baterai sudah terisi penuh, soket baterai tidak segera dilepas. Hal tersebut mengakibatkan overcharging baterai yang digunakan. Apabila terjadi overcharging baterai terus menerus maka dapat menimbulkan panas pada baterai sehingga baterai dapat meledak. Selain itu juga overcharging baterai dapat menyebabkan berkurangnya umur baterai. Oleh sebab itu perlu adanya sistem untuk mengontrol dan memonitor charger baterai yang digunakan, sehingga overcharging baterai dapat dihindari. [4].

Dari permasalahan tersebut, maka dibuatlah desain charger baterai yang sesuai dengan karakteristik baterai. Dimana baterai akan menggunakan metode pengisian constant current dan constant voltage. Metode ini diharapkan mampu kejadian overcharging baterai yang sering terjadi. Desain dari charger ini menggunakan buck converter yang di kontrol logika fuzzy agar arus dan tegangan konstan sesuai dengan setpoint.

2. Metoda Penelitian

Metode penelitian yang kami gunakan adalah mulai tahap tinjauan pustaka dan dilanjutkan dengan desain komponen sistem yang akan dibuat.

Buck Converter

Jenis *Buck-converter* merupakan salah satu konverter yang dapat menghasilkan tegangan output lebih kecil dibanding tegangan inputnya atau bisa disebut *step down converter* [6]. Untuk mendapat tegangan DC murni, sebuah filter low pass dipasang setelah saklar dari sebuah *regulator switching*. Diode menyediakan jalur bagi arus inductor pada saat saklar off. Konsep dasar rangkaian *buck converter* pada gambar 1.

Rangkaian dasar *buck converter* memiliki 2 mode yaitu mode saklar ON dan saklar OFF. Mode Saklar ON

Jika saklar tertutup atau dalam posisi ON maka diode akan terbias mundur sehingga arus inductor akan mengalir menuju beban. Dan tegangan inductor menjadi positif. Rangkaian

ekivalen Mode 1 saklar ON ditunjukkan pada gambar 2.

Dari gambar 2 dapat dirumuskan tegangan pada inductor sebagai berikut :

$$V_L = V_s - V_o = L \frac{di_L}{dt} \text{ atau } \frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (1)$$

Untuk perubahan arus inductor pada rangkaian buck converter saat saklar ON adalah :

$$\frac{\Delta I_L}{\Delta t} = \frac{\Delta I_L}{DT} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (2)$$

Karena perubahan arus adalah konstan positif, maka arus naik secara linier seperti pada gambar 3.

Mode Saklar OFF

Mode 2 yaitu saat saklar off atau dalam keadaan terbuka. Jika saklar terbuka, diode menjadi bias maju (ON) yang menyebabkan arus inductor mengalir ke sisi beban. Rangkaian ekivalen *buck converter* saat saklar terbuka dapat dilihat pada gambar 4.

Dari gambar 4 dapat dirumuskan untuk nilai tegangan inductor saat saklar terbuka adalah :

$$V_L = -V_o = L \frac{di_L}{dt} \text{ atau } \frac{di_L}{dt} = \frac{-V_o}{L} \quad (3)$$

Dan perubahan arus inductor nya adalah:

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta I_L}{\Delta t} = \frac{\Delta I_L}{(1-D)T} = \frac{-V_o}{L} \quad (4)$$

Sesuai dengan desain kebutuhan yang telah kami rencanakan, parameter - parameter buck converter dapat dilihat pada tabel 1.

Constant Current Constant Voltage

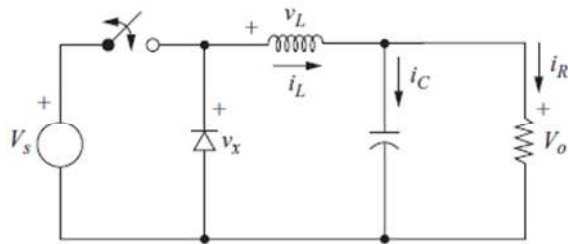
Baterai merupakan sebuah sel elektrik yang didalamnya terjadi proses elektrokimia yang dapat bergantian. Sehingga dalam baterai tersebut terdapat dua proses yaitu discharging dan charging [7]. Terdapat beberapa metode *charging* baterai seperti *Constant Voltage* (CV), *Constant Current* (CC), *Constant Trickle* (CTC) dan *Constant Current Constant Voltage* (CC CV) [8].

Constant trickle merupakan metode *charging* baterai sesuai rating saat discharge, sehingga metode ini menjaga baterai agar tetap full. CC merupakan metode charge baterai dengan menggunakan arus yang konstan hingga tegangan pada baterai mencapai maksimum. Walaupun sudah mencapai tegangan maksimum, nyatanya *Electro Motive Force* (EMF) pada baterai tidak mencapai tegangan terminal yang disebabkan *over potential* yang berlebih akibat dari hambatan internal baterai [9]. Namun apabila waktu *charging* dengan metode CC ini lama, maka dapat menyebabkan baterai cepat panas dan dapat mengakibatkan baterai cepat rusak [10]. CV merupakan metode *charging* baterai dengan tegangan yang konstan sampai dengan arus yang mengalir akan berkurang hingga batas *cut-off*. Metode ini tidak akan menyebabkan *overcharging* karena tegangan yang dijaga konstant di tegangan maksimumnya. Namun metode ini sedikit lebih lama dibanding metode CC [9].

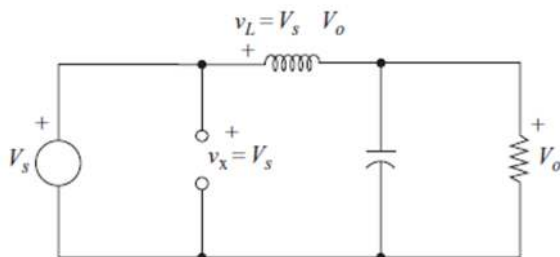
Metode yang terakhir yaitu CC CV, dimana dalam metode ini awalnya baterai akan di charge dengan CC terlebih dahulu hingga mencapai tegangan maksimum baterai. Setelah itu akan dilanjutkan ke mode CV hingga arus baterai berkurang hingga mencapai batas *cut-off*. Dengan menggunakan metode ini baterai dapat dipastikan mencapai kapasitas penuh [9]. Pengisian standard yang direkomendasikan pada data sheet baterai Lithium-ion yaitu menggunakan metode arus metode CC CV, dimana pada saat mode CC arus yang masuk 0,5C (Capacity) kemudian ketika kapasitas baterai telah mencapai 85% pengisian akan berubah ke mode CV sebesar 4,2V dan temperatur baterai Lithium-ion pada range 0 ~ 45°C.

Pengisian baterai akan berhenti ketika tegangan baterai telah mencapai 4,2V atau arus yang masuk pada baterai senilai 0,01C, [11]. Pada gambar 5 dapat dilihat proses *charging* baterai dengan menggunakan metode CC CV. *Charging* diawali dengan *constant current* kemudian dilanjutkan dengan *constant voltage* hingga kapasitas baterai penuh.

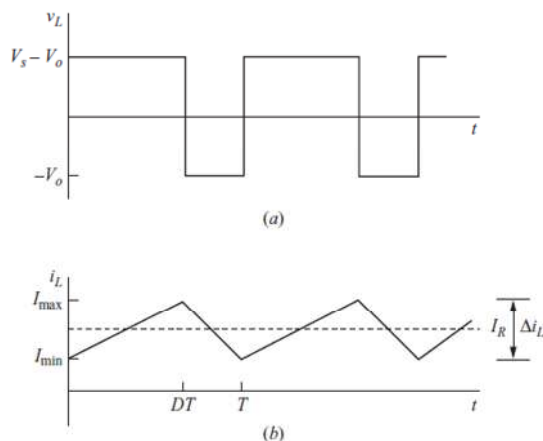
Dengan proses *CC* yang dilanjutkan *CV*, maka proses charging akan lebih cepat dan juga menjaga masa pakai dan kondisi baterai.



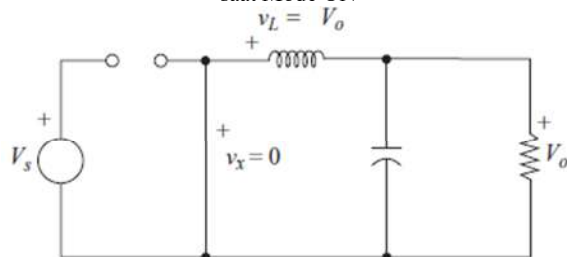
Gambar 1. Rangkaian Buck Converter



Gambar 2. Rangkaian Buck Converter saat Mode Saklar ON



Gambar 3. Gelombang Tegangan dan Arus Buck Converter saat Mode ON



Gambar 4. Rangkaian Buck Converter saat Mode OFF

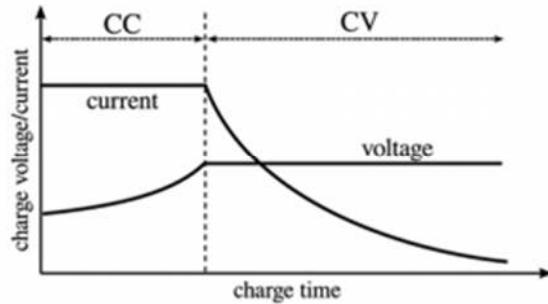
Fuzzy Logic Controller

Fuzzy Logic merupakan mekanisme pengolahan atau manajemen ketidakpastian. *Fuzzy Logic* memiliki tiga proses dalam pengaplikasian dalam suatu perangkat. Tiga proses yang dimaksud adalah fuzzifikasi, evaluasi rule, dan defuzzifikasi [13]. Pada makalah ini Fuzzy Sugeno digunakan sebagai acuan dalam mendesain sistem kontrol.

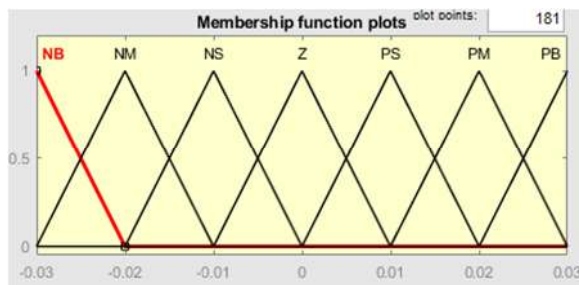
1. Fuzzifikasi, merupakan proses dimana untuk merubah suatu masukan yang bentuk tegas (*crisp*) menjadi bentuk fuzzy yang biasanya disajikan berupa himpunan-himpunan fuzzy yang memiliki fungsi kenggotaannya masing-masing. Untuk *membership function* untuk kontrol tegangan dari desain dapat dilihat pada gambar 6, gambar 7 dan gambar 8. Kemudian untuk kontrol arus *membership function* input dapat dilihat pada gambar 9 dan gambar 10. Sedangkan untuk *membership output* dapat dilihat pada gambar 11. Untuk hasil *surface* desain *rule base* dapat dilihat pada gambar 12 yang menunjukkan bahwa desain sebaran input dan output berimbang saat system dijalankan.
2. Evaluasi Rule (*Interference System*), merupakan bentuk acuan yang menjelaskan hubungan antara variable masukan dan keluaran. Dimana variabel variabel masukan dan keluaran tersebut tetap berbentuk fuzzy. Untuk menjelaskan hubungan antara variabel masukan dan keluaran biasanya menggunakan fungsi "IF-THEN".
3. Defuzzifikasi, merupakan kebalikan dari proses fuzzifikasi. Dimana proses defuzzifikasi ini yaitu mengubah variabel yang masih berbentuk fuzzy menjadi data yang pasti atau tegas (*crisp*). Dimana hasil akhir ini akan dikirimkan ke peralatan pengendalian.

Tabel 1. Parameter *Buck Converter*

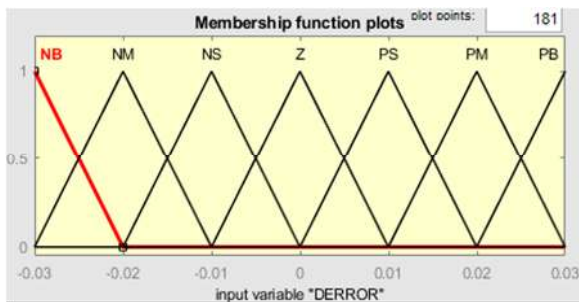
Parameter	Keterangan
Tegangan Input	22.51 Volt
Tegangan Output	14.4 Volt
Arus Output	4.5 Ampere
Frekuensi Switching	40 KHz
Effisiensi	80%
Resistor	3.2 Ohm
Induktor	149.18 μ H
Kapasitor	195.31 μ F



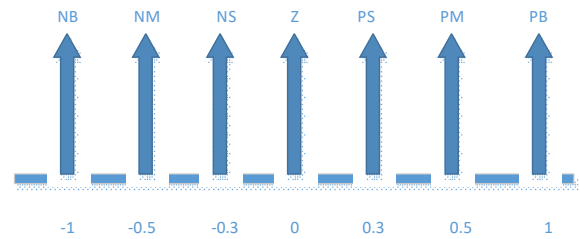
Gambar 5. Grafik Charging Baterai dengan metode CC-CV



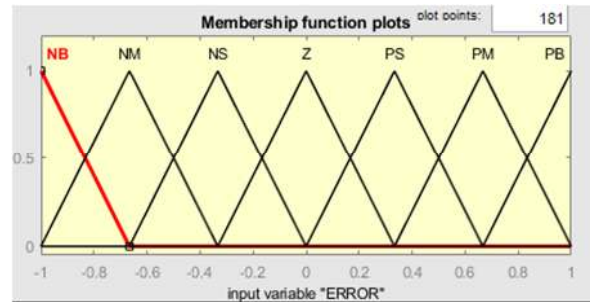
Gambar 6. Membership Function Variabel Input "ERROR" Tegangan



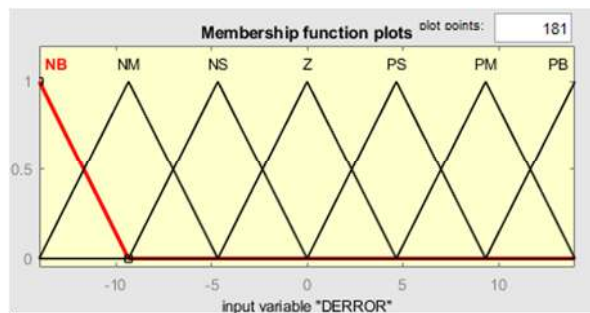
Gambar 7. Membership Function Variabel Input "DERROR" Tegangan



Gbr. 1 Membership Variabel Output Tegangan



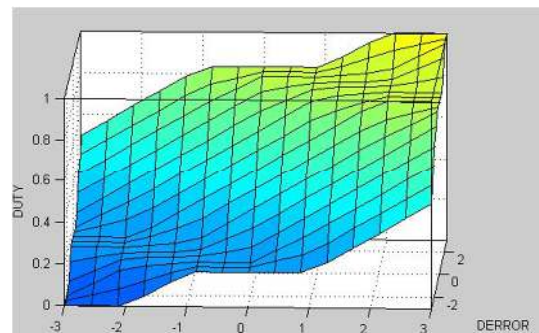
Gambar 9. Membership Function Variabel Input "ERROR" Arus



Gambar 10. Membership Function Variabel Input "DERROR" Arus

NB NM NS Z PS PM PB

Gambar 11. Membership Variabel Output Arus



Gambar 12. Surface Desain Kontrol Fuzzy

Tabel 2. Desain Rule Base

e/de	dNB	dNM	dNS	dZ	dPS	dPM	dPB
eNB	NB	NB	NM	NM	NM	NS	Z
eNM	NB	NM	NM	NM	NS	Z	PS
eNS	NM	NM	NM	NS	Z	PS	PM
eZ	NM	NM	NS	Z	PS	PM	PM
ePS	NM	NS	Z	PS	PM	PM	PM
ePM	NS	Z	PS	PM	PM	PM	PB
ePB	Z	PS	PM	PM	PM	PB	PB

3. Hasil Penelitian

Proses pengujian desain charger baterai dengan metode *constant current constant voltage* ini dilakukan menggunakan software MATLAB. Pada simulasi ini menggunakan sumber arus bolak balik. Kemudian dari arus bolak balik akan diturunkan menggunakan transformator dan kemudian akan disearahkan oleh *rectifier*. Dari *rectifier* ini akan masuk ke *buck converter* kemudian ke baterai. Baterai yang digunakan memiliki kapasitas 12V 45Ah. Untuk desain rangkaian sistem secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 13.

Untuk melakukan simulasi, perlu diketahui respon tegangan dan arus pada saat disimulasikan secara *open loop*. Hal ini untuk mengetahui nilai error dan derror yang akan dimasukkan kedalam fuzzy. Namun hasil dari nilai respon open loop masih kurang bagus. Sehingga perlu detuning, baik di nilai error maupun derror fuzzy. Untuk mengontrol tegangan dan arus, menggunakan *Fuzzy Interference System* (FIS) yang berbeda. Cara kerja dari sistem *close loop* ini yaitu, ketika awal charging arus yang keluar dari *buck converter* diatur sesuai setpoint yaitu 3,5A. Arus yang konstan tersebut akan menaikkan tegangan hingga ke nilai 14,4 Volt. Sehingga ketika tegangan maksimum sudah tercapai, maka akan menjadi mode *constant voltage*. Charging dengan mode *constant voltage* ini akan menyebabkan arus berkurang hingga mendekati nilai 0 A. Kemudian untuk data percobaan dapat dilihat pada tabel 3.

Pengambilan data dilakukan setiap 10 detik, dan pada detik ke-10 arus baterai telah pada titik steady state ke nilai 3,5 Ampere dan

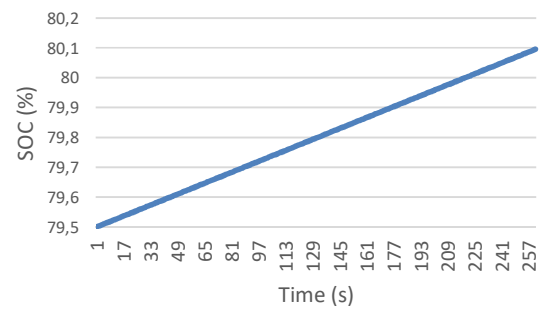
akan terus konstan hingga detik ke-228. Selama pengisian dengan mode *constant current*, tegangan akan naik perlahan hingga tegangan baterai mencapai setpoint yaitu 14,4 Volt. Setelah tegangan setpoint tercapai maka arus baterai akan turun. Dan pengisian beralih ke mode *constant voltage*. Untuk nilai SOC baterai akan naik dari awal pengisian hingga akhir. Dapat dilihat ketika awal pengisian SOC bernilai 79,5% dan di akhir pengisian yaitu sebesar 80,095%. Untuk rata rata presentase kesalahan untuk nilai arus output yaitu 0.68% dan untuk rata rata kesalahan tegangan output yaitu sebesar 3,96 %.

Penjelasan di atas digambarkan melalui grafik-grafik pada gambar 14-16. Kenaikan SOC selama proses charging, dapat dilihat pada gambar 14, grafik arus dapat dilihat pada gambar 15 dan untuk tegangan pada gambar 16. Dari gambar 15 dan gambar 16 dapat dilihat ketika awal charging, arus akan konstan. Dan tegangan baterai akan perlahan bertambah hingga mencapai setpoint. Setelah mencapai setpoint tegangan, maka pengisian dilakukan dengan mode *constant voltage* dan semakin lama arus baterai akan turun.

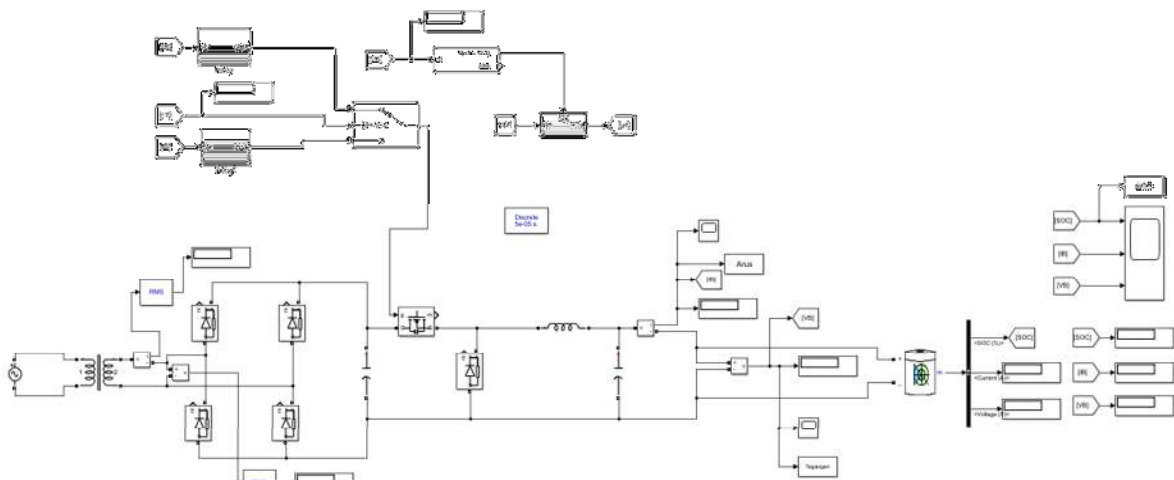
Tabel 3. Hasil Simulasi *close loop*

Time (s)	SOC (%)	Arus (A)	Tegangan (V)	Error Arus Output (%)	Error Tegangan Output (%)
10	79,523	3,525	13,598	0.68	5,57
20	79,546	3,525	13,606	0.68	5,52
30	79,569	3,525	13,624	0.68	5,39
40	79,592	3,524	13,630	0.68	5,35
50	79,615	3,524	13,636	0.68	5,31
60	79,637	3,524	13,800	0.68	4,17
70	79,660	3,523	13,811	0.68	4,09
80	79,683	3,523	13,861	0.68	3,75
90	79,706	3,523	13,866	0.68	3,71
100	79,729	3,523	13,872	0.68	3,67
110	79,752	3,522	13,882	0.68	3,60
120	79,775	3,522	13,887	0.68	3,56
130	79,798	3,522	13,893	0.68	3,52
140	79,821	3,521	13,899	0.68	3,48
150	79,843	3,521	13,904	0.68	3,44
160	79,866	3,521	13,910	0.68	3,40

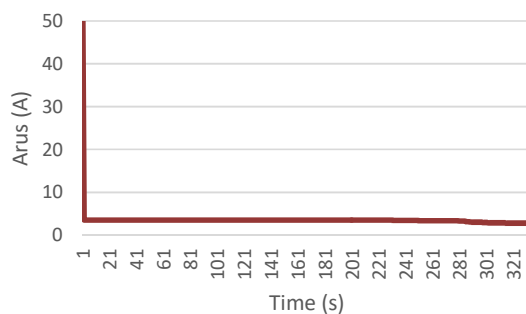
Time (s)	SOC (%)	Arus (A)	Tegangan (V)	Error Arus Output (%)	Error Tegangan Output (%)
170	79,889	3,521	13,916	0,68	3,36
180	79,912	3,520	13,922	0,68	3,32
190	79,935	3,520	13,930	0,68	3,26
200	79,958	3,520	13,963	0,68	3,03
210	79,981	3,519	14,005	0,68	2,74
220	80,004	3,519	14,382	0,68	0,13
228	80,022	3,509	14,395	0,68	0,04
229	80,024	3,489	14,400	0,68	0,00
230	80,027	3,484	14,400	0,68	0,00
240	80,049	3,440	14,412	0,68	0,08
250	80,072	3,402	14,400	0,68	0,00
260	80,095	3,375	14,400	0,68	0,00



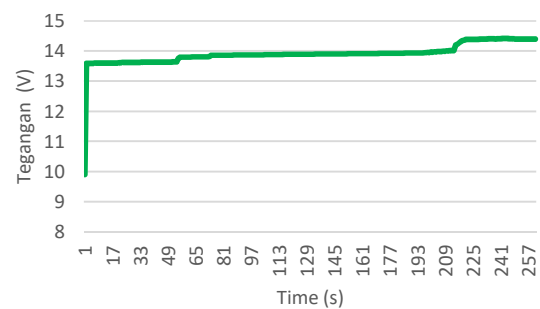
Gambar 14. Perubahan SOC terhadap Waktu selama Proses Charging



Gambar 13. Rangkaian Charging Baterai dengan CC-CV



Gambar 15. Perubahan Arus terhadap Waktu selama Proses Charging



Gambar 16. Perubahan Tegangan terhadap Waktu selama Proses Charging

4. Kesimpulan

Dari hasil desain dan simulasi yang dilakukan, dapat dilihat bahwa pengisian baterai dengan metode CC-CV berhasil diterapkan. Arus akan konstan di nilai 3,5A dan untuk tegangan konstan di nilai 14,4 Volt. Untuk peralihan mode *constant current* ke *constant voltage* terjadi pada detik ke-229. Besar *error* arus sebesar 0,68% sedangkan untuk tegangan output sebesar 3,96%. Untuk nilai SOC bertambah terus seiring dengan pengisian baterai, dari SOC awal 79,5% ke nilai 80,095% selama 260 detik.

6. Daftar Pustaka

- [1] Zhai Haizhou, "Modeling of Lithium-ion Battery for Charging/Discharging Characteristics Based on Circuit Model", Heze University, iJOE – Vol. 13, No. 6, 2017
- [2] H. Kikusato et al., "Electric Vehicle Charge–Discharge Management for Utilization of Photovoltaic by Coordination Between Home and Grid Energy Management Systems," in IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 10, no. 3, pp. 3186-3197, May 2019, doi: 10.1109/TSG.2018.2820026.
- [3] Muhammad Otong, Didik Aribowo, dan Rizky Wahyudi, "Perancangan Modular Baterai Lithium Ion (Li-Ion) untuk Beban Lampu LED", Jurnal Ilmiah setrum, Vol. 8 No.2, Desember 2019
- [4] Amar Anshori, Bambang Siswojo, dan Rini Nur Hasanah, "Teknik Fast Charging baterai Lithium-Ion Menggunakan Logika Fuzzy, Jurnal ECOTIPE, Volume 7, No.1, April 2020, Hal. 26-37
- [5] David, Linden and Reddy, Thomas B. 2001, Handbook Of Batteries, 3rd Edition, The McGraw-Hill Companies, Inc
- [6] W Hart Daniel, "Power Electronics" McGraw-Hill, New York, USA, 2011.
- [7] J. linru, Z. yuanxing, L. taoyong, D. xiaohong and Z. jing, "Analysis on Charging Safety and Optimization of Electric Vehicles," 2020 IEEE 6th International Conference on Computer and Communications (ICCC), 2020, pp. 2382-2385, doi: 10.1109/ICCC51575.2020.9344906..
- [8] Z. Lan, Y. Li, F. Gao and F. Qiao, "Research and Implementation of Step High Voltage Constant Current Closed-Loop Pre-Charging Technology," 2020 3rd International Conference on Advanced Electronic Materials, Computers and Software Engineering (AEMCSE), 2020, pp. 810-815, doi: 10.1109/AEMCSE50948.2020.00176.
- [9] A. B. Khan and W. Choi, "Optimal Charge Pattern for the HighPerformance Multistage Constant Current Charge Method for the Li Ion Batteries," IEEE transactions on energy conversion, vol. 33, no. 3, pp. 1132–1140, Sep. 2018.
- [10] A. Moeini and S. Wang, "Design of fast charging technique for electrical vehicle charging stations with grid-tied cascaded H-bridge multilevel converters," 2018 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2018, pp. 3583-3590, doi: 10.1109/APEC.2018.8341621.
- [11] EEMB Co., Ltd. (2010). Lithium-ion Battery DATA SHEET. LIR18650 Datasheet Li-ion Battery Edition: NOV. 2010.
- [12] Ahmad Faiz Farizy, Dimas Anton Asfani, dan Soedibjo, "Desain Sistem Monitoring State of Charge Baterai pada Charging Station Mobil Listrik Berbasis Fuzzy Logic Dengan Mempertimbangkan Temperature", JURNAL TEKNIK ITS Vol. 5, No. 2, 2016

