

Terbit online pada laman: <https://ejurnal.umri.ac.id/index.php/JST>

Jurnal Surya Teknika

| ISSN (Print) 2354-6751 | ISSN (Online) 2723-7222 |



Research Article

Metode Charging Constant Current Constant Voltage Baterai Li-Po

Wasith Dany Mufty*, Alfi Zuhriya Khoirunnisaa

Universitas Muhammadiyah Gresik, Jl. Sumatra No. 101, Gresik 61121, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Diserahkan : 19 Mei 2026
 Diterima : 10 Juni 2026
 Diterbitkan : 17 Juni 2026

KATA KUNCI

Baterai, Buck Converter, Li-Po, SoC.

KORESPONDENSI

*E-mail: wdanymufty479@gmail.com

A B S T R A K

Pemanfaatan energi terbarukan mengalami perkembangan yang signifikan khususnya teknologi panel surya. Karena karakteristik sumber energi matahari yang tidak stabil, dibutuhkan sistem penyimpanan energi untuk menjaga kontinuitas pasokan daya yang berupa baterai. Salah satu tipe baterai yaitu baterai Lithium Polymer (Li-Po) yang sering digunakan karena memiliki densitas energi yang tinggi serta efisiensi kerja yang baik. Tetapi seiring berjalannya waktu kapasitas baterai akan berkurang sehingga perlu dilakukan charging. Saat melakukan charging ada salah satu risiko yaitu kelebihan muatan (overcharge), sehingga perlu adanya metode charging Constant Current Constant Voltage (CC-CV). Metode ini biasanya dipadukan dengan kontroler Proportional-Integral (PI) untuk mengatur output buck converter melalui penyesuaian sinyal agar arus dan tegangan sesuai dengan nilai yang diinginkan. Penggunaan kombinasi metode CC-CV dan kontrol PI memungkinkan pengaturan parameter pengisian secara real-time berdasarkan kondisi State of Charge (SoC) baterai, sehingga dapat memperpanjang masa pakai baterai dan meningkatkan keamanan sistem penyimpanan energi berbasis panel surya.

A B S T R A C T

The use of renewable energy has experienced significant developments, especially solar panel technology. Due to the unstable nature of solar energy sources, an energy storage system is needed to maintain the continuity of power supply in the form of batteries. One type of battery is the Lithium Polymer (Li-Po) battery, which is often used because it has a high energy density and good work efficiency. However, over time the battery capacity will decrease so it needs to be charged. When charging, there is a risk of overcharging, so the Constant Current Constant Voltage (CC-CV) charging method is needed. This method is usually combined with a Proportional-Integral (PI) controller to regulate the buck converter output through signal adjustments so that the current and voltage match the desired values. The use of the combination of the CC-CV method and PI control allows real-time regulation of charging parameters based on the battery's State of Charge (SoC) conditions, thereby extending battery life and improving the safety of solar panel-based energy storage systems.

1. PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan akan energi yang ramah lingkungan telah mendorong perkembangan pesat teknologi energi terbarukan dalam beberapa tahun terakhir. Salah satu bentuk energi terbarukan yang paling potensial adalah energi surya, yang

dimanfaatkan melalui panel surya untuk mengubah sinar matahari menjadi listrik menggunakan prinsip efek fotovoltaiik. Meskipun demikian, karena energi matahari bersifat tidak tetap dan sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca serta waktu, sistem penyimpanan energi menjadi sangat penting agar distribusi listrik tetap stabil dan berkelanjutan[7].

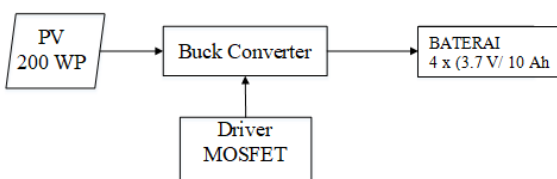
Metode charging pada baterai harus diperhatikan untuk menghindari baterai *over-charge* dan *over-discharge* yang berpengaruh pada *lifetime* baterai. ada banyak metode untuk charging baterai salah satunya yaitu metode *constant current constant voltage*. Pemilihan metode *CC-CV* dipilih karena mampu mengurangi kondisi *overcharge* pada baterai sehingga dengan menggunakan metode *CC-CV* dapat menjaga *lifetime* baterai[5]. Charging kondisi *constant current* digunakan untuk mengisi daya baterai diawal dan tegangan baterai akan meningkat. Ketika tegangan baterai mencapai *set point*, proses charge beralih pada kondisi *constant voltage* dan arus akan menurun.

Buck converter yang merupakan DC-DC Converter dipilih dalam metode charging *CC-CV* dimana memiliki keunggulan yaitu memiliki efisiensi yang tinggi dalam perubahan daya input ke daya output, memiliki rangkaian yang sederhana, dan pada konverter *buck* memiliki Riak (ripple) pada tegangan dan arus keluaran yang rendah sehingga filter yang dibutuhkan relatif kecil[1].

Pada konverter DC-DC banyak menggunakan kendali dengan PI dan PID, karena kendali ini praktis dan lebih mudah dalam perancangan dan penerapan pada converter [9]. Namun dalam pemilihan nilai parameter pengendali yang tepat pada kontrol PI dan PID sulit didapat karena danya komponen pasif pada konverter DC-DC serta pada tegangan masukan dan keluaran dapat berubah setiap waktu. Maka dari itu dilakukan penelitian tentang baterai charger menggunakan metode *constant current constant voltage* dengan konverter *buck* yang dikendalikan menggunakan kontrol PI sehingga aman dalam proses charging baterai *Li-Po*.

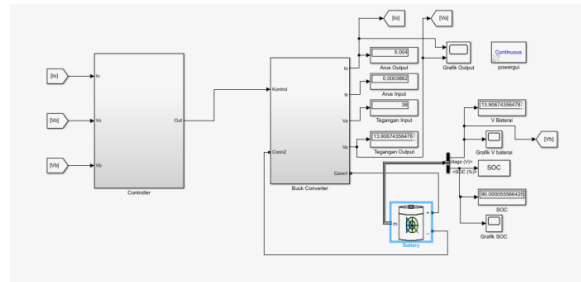
2. METODOLOGI

Perancangan penelitian tentang sistem charging ini didesain dengan menggunakan solar cell, Rangkaian converter arus searah tipe *Buck converter*, rangkaian kontrol pembangkit, dan beban. Untuk mengetahui lebih jelasnya dapat dilihat block diagram yang ditunjukkan pada Gambar 1.



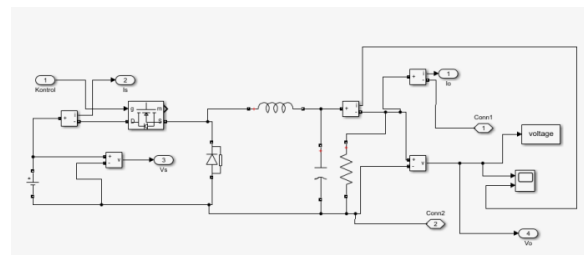
Gambar 1. Block Diagram sistem

Pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa bahwa pada sistem charging ini menggunakan sumber dari 2 buah *Photovoltaic* 100 WP yang disusun secara seri sehingga memiliki tegangan maksimum 38 V dan arus maksimum 5,71 A, dimana untuk tegangan dan arus output dari *Photovoltaic* akan diturunkan sesuai set point untuk proses charging menggunakan *Buck converter* dengan mengatur *Duty cycle* pada MOSFET yang diatur oleh rangkaian Driver MOSFET.



Gambar 2. Rangkaian Integrasi Simulasi MATLAB

Dari Gambar 2 terdapat suatu *Buck converter* yang dikontrol oleh suatu block yang berisi rangkaian Kontrol PI. Dimana Kontrol PI mendapatkan input dari parameter tegangan dan arus untuk dapat diolah sebagai masukan dan memiliki keluaran berupa besaran *Duty cycle* yang diberikan melalui driver Mosfet sebagai *Switching* untuk menjaga keluaran *Buck converter* agar tetap stabil dalam proses charging.



Gambar 3. Rangkaian DC-DC *Buck converter*

Dari Gambar 3 Rangkaian DC-DC *Buck converter* untuk nilai parameter dapat ditentukan dari perhitungan berikut:

$$\begin{aligned}
 V_{in} &= 38 \text{ Volt} \\
 V_{out} &= 14,8 \text{ Volt} \\
 I_{out} &= 5 \text{ A} \\
 \Delta I_L &= 20\% \times I_L \\
 \text{Frekuensi switching} &= 40 \text{ kHz} \\
 \text{Ripple Tegangan output} &= 0.1 \%
 \end{aligned}$$

Nilai *Duty cycle*

$$D = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{14.8}{38} = 0.389 \approx 0.39$$

Sehingga dari perhitungan tersebut didapat spesifikasi DC-DC *Buck converter* sebagai berikut:

Tabel 1.

Parameter <i>Buck converter</i>	
Parameter	Nilai
Vin Nominal	38 V
Vout CC-CV	14.8 V
Icharge	5 A
Frekuensi Switching	40 kHz
Induktor (L)	225.7 μH
Kapasitor (C)	211.14 μF
Resistensi	2.96 Ω
Rds(on)	8 mΩ
Driver MOSFET	FOD3182
Dioda	MBR2045
Ripple Arus Desain	20%
Ripple Tegangan Desain	0.1%

Baterai yang digunakan pada penelitian ini adalah baterai Lithium Polymer (Li-Po) konfigurasi 4 sel seri (4S) dengan kapasitas 10 Ah. Setiap sel memiliki tegangan nominal sebesar 3,7 V dan tegangan maksimum pengisian sebesar 4,2 V, sehingga tegangan nominal baterai adalah 14,8 V. Baterai dimodelkan menggunakan hubungan antara State of Charge (SoC), Open Circuit Voltage (OCV). Pada penelitian ini, proses charging dilakukan menggunakan metode Constant Current–Constant Voltage (CC-CV) dengan arus pengisian konstan sebesar 5 A hingga tegangan baterai mencapai batas tegangan pengisian, kemudian dilanjutkan dengan mode Constant Voltage dengan nilai tegangan charging 14.8 Volt hingga arus pengisian menurun mendekati nilai cut-off yang ditentukan.

Tabel 2.

Parameter Baterai	
Parameter	Nilai
Jenis Baterai	Li-Po 4S
Jumlah Sel	4 Sel Seri
Tegangan Nominal per Sel	3,7 V
Tegangan Maksimum per Sel	4,2 V
Tegangan Nominal Pack	14,8 V
Kapasitas Baterai	10 Ah
Arus Charging CC	5 A
C-Rate Charging	0,5C
Metode Charging	CC-CV

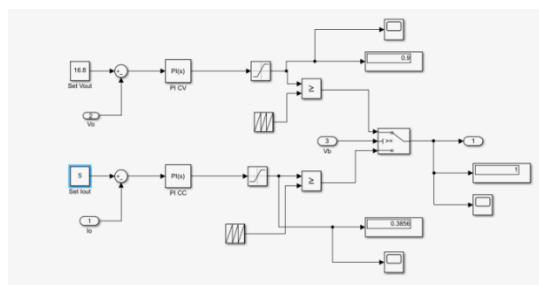
Pada penelitian ini menggunakan kontrol PI karena memiliki struktur yang sederhana, mudah diimplementasikan, serta mampu memberikan error steady-state yang kecil pada sistem charging baterai

Li-Po. Berikut untuk table perbandingan metode pengendalian pada sistem charging baterai.

Tabel 3.

Perbandingan metode charging baterai

Metode	Error Steady-State	Robustness	Kompleksitas Implementasi	Kebutuhan Komputasi
PI	Rendah	Sedang	Rendah	Rendah
PID	Sangat Rendah	Sedang	Sedang	Rendah
Fuzzy Logic	Rendah	Tinggi	Tinggi	Sedang
SMC	Sangat Rendah	Sangat Tinggi	Tinggi	Sedang
MPC	Sangat Rendah	Sangat Tinggi	Sangat Tinggi	Tinggi



Gambar 4. Rangkaian Kontrol PI CC-CV

Dari Gambar 4 untuk rangkaian Kontrol PI CC-CV tersebut menggunakan metode analitik dimana terdapat 2 kontrol PI yaitu pada kondisi Constant Current dan Kontrol PI Kondisi Constant Voltage. Untuk mencari nilai K_p dan K_I pada Constant Current sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 ts^* &= 5\tau \\
 ts^* &= \frac{1}{n^*} \times ts \\
 ts^* &= \frac{1}{5} \times 4,76 \text{ ms} \\
 ts^* &= 0,95 \text{ ms}
 \end{aligned}$$

$$\text{Maka } \tau^* = \frac{0,95 \times 10^{-3}}{5} = 0,19 \text{ ms}$$

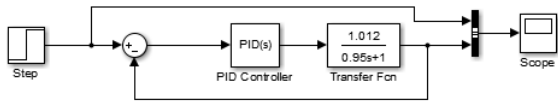
Sehingga:

$$CLTF = \frac{1}{\tau^*s + 1} = \frac{1}{0,19s + 1}$$

$$Kp = \frac{\tau}{k\tau^*} = \frac{0,95}{1,011 \times 0,19} = 4,945$$

$$KI = \frac{kp}{\tau} = \frac{4,945}{0,95} = 5,205$$

Setelah didapatkan nilai K_p dan K_I , maka dapat dilakukan simulasi *transfer function* yang dikontrol dengan kontrol PI seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Rangkaian Close loop CC Transfer Function

Sedangkan untuk mencari nilai K_p dan K_I pada Constant Voltage sebagai berikut:

$$t_s^* = 5\tau$$

$$t_s^* = \frac{1}{n^*} x t_s$$

$$t_s^* = \frac{1}{5} x 4,32 \text{ ms}$$

$$t_s^* = 0.864 \text{ ms}$$

$$\text{Maka } \tau^* = \frac{0.864 x 10^{-3}}{5} = 0,1728 \text{ ms}$$

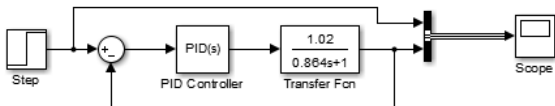
Sehingga:

$$CLTF = \frac{1}{\tau^*s + 1} = \frac{1}{0,1728 s + 1}$$

$$K_p = \frac{\tau}{k\tau^*} = \frac{0.864}{1.012 x 0.1728} = 4,94$$

$$K_I = \frac{kp}{\tau} = \frac{4.94}{0.864} = 5.71$$

Setelah didapatkan nilai K_p dan K_I , maka dapat dilakukan simulasi *transfer function* yang dikontrol dengan kontrol PI seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Rangkaian Close loop CV Transfer Function

Dari perhitungan K_p dan K_i untuk CC-CV, maka didapat parameter Kontrol PI sebagai berikut:

Tabel 4. Parameter Kontrol PI

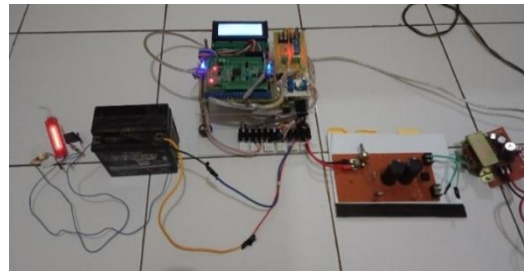
Parameter	Mode CC	Mode CV
K_p	4.945	4.94
K_i	5.205	5.71
Controller Type	PI	PI
Anti-Windup	Clamping	Clamping
Saturasi Output	0 – 1	0 – 1
Sampling Time	Continuous	Continuous

Setelah mengetahui parameter untuk Kontrol PI, maka untuk transisi CC-CV pada penelitian ini dilakukan berdasarkan tegangan baterai dan State of Charge (SoC). Sistem bekerja pada mode Constant Current (CC) dengan arus pengisian 5 A hingga tegangan baterai mencapai 14.8 V atau SoC sekitar

90%. Setelah kondisi tersebut tercapai, sistem beralih ke mode Constant Voltage (CV) dan mempertahankan tegangan pengisian sebesar 14,8 V. Pada mode CV, arus pengisian akan menurun secara bertahap mengikuti karakteristik baterai hingga mendekati kondisi penuh.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Penelitian ini, Pengujian dilakukan secara prototype parsial untuk hardware *Buck converter*, driver Mosfet, dan Kontrol PI.

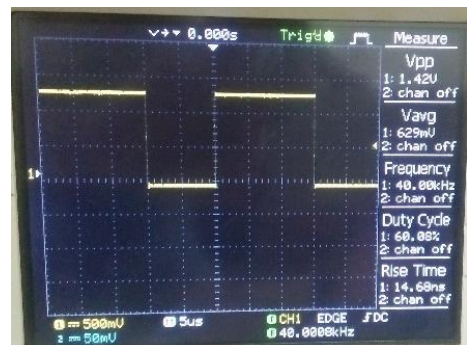


Gambar 7. Prototype sistem Charging dengan DC-DC *Buck converter*

Karena Sistem DC-DC *Buck converter* tersebut dikontrol oleh Driver Mosfet, berikut untuk pengujian Driver mosfet.

Tabel 5. Pengujian *Driver MOSFET*

V_{in} (V)	Duty cycle (%)	V_o Teori (V)	V_o Praktek (V)	Error (%)
12	10%	1.2	1.206	0.5%
12	20%	2.4	2.41	0.41%
12	30%	3.6	3.61	0.27%
12	40%	4.8	4.78	0.41%
12	50%	6	5.96	0.67%
12	60%	7.2	7.21	0.13%
12	70%	8.4	8.39	0.12%
12	80%	9.6	9.58	0.21%
12	90%	10.8	10.79	0.09%

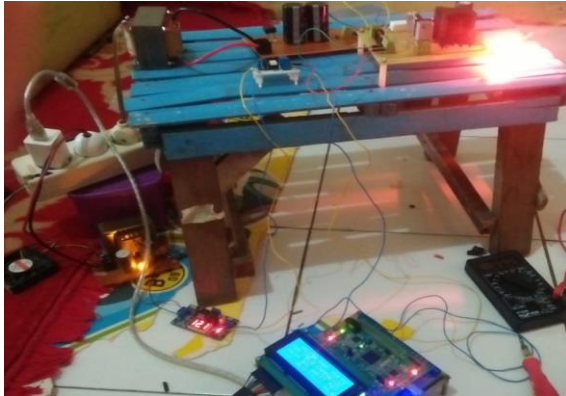


Gambar 8 Bentuk Sinyal PWM

Untuk perhitungan Error dari pengujian Driver Mosfet didapat dari rumus berikut :

$$Error \% = \frac{(V_o \text{ Praktek} - V_o \text{ Teori})}{V_o \text{ Teori}} \times 100\%$$

Setelah dilakukan pengujian Driver Mosfet, maka dilanjutkan pengujian dari DC-DC Buck converter, dimana untuk hasil pengujian nya sebagai berikut :



Gambar 9. Pengujian Buck converter

Tabel 6.

Hasil pengujian Buck converter

D (%)	V _{in} (V)	I _{in} (A)	V _{out} (V)	I _{out} (A)	V _{o teori} (V)	Error (%)
10%	38.8	0.02	3.43	0.167	3.88	11.60%
20%	38	0.06	6.98	0.274	7.6	8.16%
30%	37.2	0.11	11.08	0.318	11.16	0.72%
35%	36.3	0.14	12.55	0.322	12.705	1.22%
38%	36	0.142	13.66	0.33	13.68	0.15%
39%	36	0.144	13.97	0.33	14.04	0.50%
40%	35.8	0.145	14.22	0.33	14.32	0.70%
41%	35.7	0.145	14.35	0.331	14.637	1.96%
42%	35.6	0.148	14.42	0.331	14.952	3.56%

Dari Tabel 6 yang merupakan hasil pengujian dari Buck converter didapat bahwa untuk Buck converter sudah mampu bekerja sesuai prinsip kerjanya yaitu mampu menurunkan tegangan input sesuai dengan nilai Duty cycle yang diinginkan.

Tabel 7.

Hasil Pengujian Efisiensi Buck converter

D (%)	P _{in} (W)	P _{out} (W)	η (%)
10%	0.776	0.57281	74%
20%	2.28	1.91252	84%

30%	4.092	3.52344	86%
35%	5.082	4.0411	80%
38%	5.112	4.5078	88%
39%	5.184	4.6101	89%
40%	5.191	4.6926	90%
41%	5.1765	4.74985	92%
42%	5.2688	4.77302	91%

Dari Tabel 7 pengujian efisiensi Buck converter didapat bahwa efisiensi rata-rata dari pengujian adalah 85,9% dengan rumus perhitungan efisiensi sebagai berikut:

$$\eta (\%) = \frac{P_{out} (W)}{P_{in} (W)} \times 100\%$$

Pengujian Kontrol PI constant current constant voltage dilakukan dengan dua kondisi yaitu constant current dan constant voltage dengan hasil pengujian sebagai berikut:

Tabel 8.

Hasil pengujian control PI Constant Current

V _{in} (V)	I _{in} (A)		V _{out} (V)		I _{out} (A)	
	Open Loop	Close loop	Open loop	Close loop	Open loop	Close Loop
38	10,99	8,16	15,19	5,75	7,78	4,33
38	6,08	8,02	15,19	10,01	6,52	4,29
38	4,13	8,14	15,2	14,28	4,56	4,28
38	3,07	8,12	15,19	18,89	3,5	4,36
38	2,41	8,16	15,2	22,3	2,85	4,18
38	2,2	3,45	15,2	23,37	2,64	4,06
38	2,09	3,12	15,2	25,58	2,53	4,26
38	1,96	2,98	15,19	26,99	2,4	4,26

Untuk pengujian antara openloop dan closeloop memiliki error sebagai berikut:

Tabel 9.

Prosentase Error pengujian Kontrol PI Constant current

Error (%)	
Open loop	Close Loop
85,24	3,10
55,24	2,14
8,57	1,90
16,67	3,81
32,14	0,48
37,14	3,33
39,76	1,43
42,86	1,43

Tabel 10.

Hasil pengujian control PI Constant Voltage

V _{in} (V)	I _{in} (A)		V _{out} (V)		I _{out} (A)	
	Open loop	Close Loop	Open loop	Close loop	Open loop	Close loop
38	10,99	11,33	15,19	14,38	7,78	7,46

38	6,08	2,44	15,19	13,81	6,52	5,92
38	4,13	3,26	15,2	14,35	4,56	4,44
38	3,07	6,55	15,19	14,28	3,5	3,29
38	2,41	4,33	15,2	14,3	2,85	2,68
38	2,2	2,59	15,2	14,02	2,64	2,43
38	2,09	1,51	15,2	14,18	2,53	2,36
38	1,96	1,48	15,19	13,84	2,4	2,17

Untuk pengujian antara openloop dan closeloop memiliki error sebagai berikut :

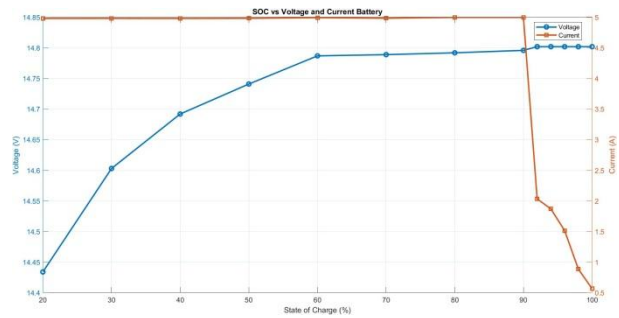
Tabel 11.

Prosentase Error pengujian Kontrol PI Constant Voltage

Error (%)	
Open	Close
loop	loop
8,50	2,71
8,50	1,36
8,57	5,71
8,50	2,00
8,57	2,14
8,57	0,14
8,57	1,29
8,50	1,14

Dari pengujian tersebut membuktikan bahwa penggunaan Kontrol PI pada sistem mampu mempertahankan arus output saat kondisi *constant current* dan mempertahankan tegangan output saat kondisi *constant voltage*.

Setelah melakukan pengujian Driver Mosfet, *Buck converter*, dan Kontrol PI didapat bahwa besar *Duty cycle* mempengaruhi besar kecilnya tegangan keluaran dari *Buck converter*. Selanjutnya dilakukan Pengujian sistem pengisian baterai dengan kondisi awal State of Charge (SoC) sebesar 20% hingga mencapai kondisi penuh (100%). Pemilihan SoC awal 20% bertujuan untuk menghindari kondisi over-discharge sekaligus merepresentasikan kondisi operasi normal baterai lithium selama proses pengisian menggunakan metode Constant Current–Constant Voltage (CC-CV). Pada Gambar 11. Terlihat respon output dari *Buck converter* saat kondisi charging dengan *constant current-constant voltage*. Pada kondisi charging set point yang digunakan yaitu 5 A saat *constant current* dan 14.8 Volt saat kondisi *constant voltage*. Transisi dari *constant current* ke *constant voltage* terjadi saat SoC mencapai 92 % dengan batas *switcing* pada 14.8 Volt.



Gambar 10. Respon Tegangan, Arus dan SoC dalam Kondisi CC-CV

Tabel 12.

SoC, Tegangan, dan Arus (CC-CV)

Soc (%)	Tegangan (V)	Arus (A)
20	14.434	4.981
30	14.603	4.982
40	14.692	4.981
50	14.741	4.984
60	14.787	4.993
70	14.789	4.985
80	14.792	4.998
90	14.796	4.998
92	14.802	2.033
94	14.802	1.869
96	14.802	1.515
98	14.802	0.886
100	14.802	0.566

Berdasarkan grafik pengujian pada gambar 10, tidak ditemukan overshoot yang signifikan pada tegangan baterai saat transisi dari mode Constant Current ke Constant Voltage. Tegangan maksimum yang dicapai sama dengan tegangan referensi yaitu 14,8 V sehingga overshoot sistem dapat dianggap mendekati 0%.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian sistem baterai charger *Li-Po* dengan metode *constant current constant voltage* berbasis kontrol PI dapat ditarik kesimpulan antara lain penggunaan DC-DC *Buck converter* memiliki efisiensi rata-rata yaitu 85.9% dan dengan menggunakan controller PI dapat menghasilkan arus konstan dan tegangan konstan sehingga menghasilkan error yang sangat kecil antara set point dengan keluaran arus atau tegangan pada kondisi *closeloop*. Penerapan konverter *Buck* sebagai charger baterai *Li-Po* dengan metode *Constant Current Constant Voltage* telah sesuai dengan

parameter arus dan tegangan yang diinginkan yaitu parameter arus 5 A dan parameter tegangan 14.8 V.

Sedangkan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya yaitu dalam pemilihan komponen penyusun rangkaian agar lebih teliti dan memperhatikan perancangan sistem agar kinerja sistem menjadi lebih sempurna.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. N. W. Satiawan, Supriono, and I. B. F. Citarsa, "Desain Buck Converter untuk Charging Baterai pada Beban Bervariasi," *Dielektrika*, vol. 5, no. 1, pp. 30–35, 2018.
- [2] B. W. Mahardika, T. Andromeda, and Sudjadi, "Perancangan Sistem Charging Baterai Menggunakan DC-DC Buck Converter Metode Constant Current (CC) dan Constant Voltage (CV)," *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 9, no. 3, 2020.
- [3] B. A. W. Widhiawan, S. Handoko, and Darjat, "Perancangan Sistem Charging Baterai Menggunakan Buck-Boost Converter dengan Sumber Panel Surya Berbasis Mikrokontroler Arduino Nano," *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 10, no. 1, 2021.
- [4] I. Husnaini and Krismadinata, "Komparasi Pengendali PI dan PID untuk Tegangan Keluaran Konverter Buck," *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, vol. 6, no. 3, pp. 143–151, 2017.
- [5] R. A. Sadewo, E. Kurniawan, and K. B. Adam, "Perancangan dan Implementasi Pengisian Baterai Lead Acid Menggunakan Solar Cell dengan Menggunakan Metode Three Steps Charging," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 4, no. 1, pp. 26–35, 2017.
- [6] A. Febrianto, W. Sunanda, and R. F. Gusa, "Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya: Studi Kasus di Kota Pangkalpinang," *Jurnal Presipitasi*, vol. 16, no. 2, pp. 33–39, 2019.
- [7] V.-B. Vu, D.-H. Tran, and W. Choi, "Implementation of the Constant Current and Constant Voltage Charge of Inductive Power Transfer Systems with the Double-Sided LCC Compensation Topology for Electric Vehicle Battery Charge Applications," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 33, no. 9, pp. 7398–7410, Sep. 2018.
- [8] D. W. Hart, *Power Electronics*. New York: McGraw-Hill Companies, Inc., 2002.
- [9] S. Baiturrohmah and A. Z. Khoirunnisaa, "Design and Development of a Non-Invasive Blood Glucose Level Measurement Device Based on Arduino Uno and Near-Infrared (NIR) Sensor," *Circuit: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, vol. 10, no. 1, pp. 40–55, 2026.
- [10] M. A. Mawalid et al., "Classification of EEG Signal for Detecting Cybersickness through Time Domain Feature Extraction Using Naïve Bayes," in *2018 International Conference on Computer Engineering, Network and Intelligent Multimedia (CENIM)*, 2018.
- [11] Y. Liu, X. Zhang, and J. Wang, "A Review of Lithium-Ion Battery Charging Methods and Control Strategies," *Journal of Energy Storage*, vol. 52, pp. 104–120, 2022, doi: 10.1016/j.est.2022.104120.
- [12] J. Schmalstieg, S. Käbitz, M. Ecker, and D. U. Sauer, "A Holistic Aging Model for Li-Ion Batteries," *Journal of Power Sources*, vol. 257, pp. 325–334, 2021, doi: 10.1016/j.jpowsour.2021.02.012.
- [13] S. Kouro, M. Malinowski, K. Gopakumar, et al., "Recent Advances and Industrial Applications of Multilevel Converters," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 57, no. 8, pp. 2553–2580, 2020, doi: 10.1109/TIE.2010.2049719.
- [14] A. Khaligh and Z. Li, "Battery, Ultracapacitor, Fuel Cell, and Hybrid Energy Storage Systems for Electric, Hybrid Electric, Fuel Cell, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles: State of the Art," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 59, no. 6, pp. 2806–2814, 2021, doi: 10.1109/TVT.2021.2070797.
- [15] I. Sudiharto, E. Wahjono, and L. N. F. Rhamadani, "Design and Simulation of Utilization of Solar Cells as Battery Chargers CC-CV (Constant Current–Constant Voltage) Method with Fuzzy Control," *Kinetik*, vol. 7, no. 2, pp. 153–162, 2022, doi: 10.22219/kinetik.v7i2.1448.
- [16] Sutedjo, R. Rakhmawati, B. P. P. Putih, A. F. Adila, Irianto, and D. S. Yanaratri, "Design Battery Charger with CC-CV Method for Series Connected Lithium-Ion Batteries Using Fuzzy Logic Controller," *Journal on Advanced Research in Electrical Engineering (JAREE)*, vol. 9, no. 1, 2025, doi: 10.12962/jaree.v9i1.389.

- [17] A. I. Yustikasari, E. Sunarno, and P. A. M. Putra, "Desain dan Simulasi Buck Konverter dengan Kontrol Logika Fuzzy untuk Pengisian Baterai," *Jurnal Ecotipe*, vol. 8, no. 2, 2021, doi: 10.33019/jurnalecotipe.v8i2.2389.
- [18] H. Suryoatmojo, "Design Li-Po Battery Charger with Buck Converter under Partially CC-CV Method," in *Proceedings of ISITIA 2020*, 2020, pp. 101–106, doi: 10.1109/ISITIA49792.2020.9163754.