

# Sistem Proteksi Arus Lebih pada Proses Pengisian Baterai Menggunakan *Buck Converter* Metode *Constant Voltage*

Dicky Satria Nanda Lestyanto<sup>1\*</sup>, Sutedjo<sup>1</sup>, Novie Ayub Windarko<sup>1</sup>, Ahmad Firyal Adila<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Elektro Industri, Departemen Teknik Elektro, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya  
Jl. Raya ITS, Keputih, Sukolilo, Kota Surabaya, Jawa Timur  
E-mail: [dickysatria481@gmail.com](mailto:dickysatria481@gmail.com)

Naskah Masuk: 09 Februari 2023; Diterima: 27 Mei 2023; Terbit: 28 Agustus 2023

---

## ABSTRAK

---

**Abstrak** - Sistem proteksi arus lebih pada suatu rangkaian listrik sangat diperlukan untuk menghindari kerusakan pada komponen yang diakibatkan oleh lonjakan arus yang tinggi (*overcurrent*). Salah satu penyebab terjadinya arus lebih adalah terjadinya hubung singkat (*short circuit*). Apabila terjadi hubung singkat pada sistem, maka tegangan pada *buck converter* akan menurun drastis dan arus akan mengalami lonjakan hingga melampaui arus nominal sistem. Pada umumnya untuk melakukan proteksi arus lebih digunakan MCB (*Miniature Circuit Breaker*). Namun pada praktiknya penggunaan MCB harus mengaktifkan secara manual setelah melakukan proteksi arus lebih. Oleh karena itu, komponen relay digunakan untuk membatasi arus dan melakukan proteksi terhadap arus lebih pada sistem. Pada penelitian ini digunakan panel surya 100WP, baterai *lead-acid* 12V/20Ah, dan *buck converter*. Deteksi arus lebih didapatkan dari hasil pembacaan arus keluaran *buck converter*. Saat terminal keluaran tegangan *buck converter* dihubungkan singkat dalam keadaan berbeban atau tidak berbeban dapat menyebabkan terjadi arus lebih pada sistem, relay memutuskan rangkaian sebagai aksi proteksi terhadap arus lebih. Sistem pengisian baterai dengan menggunakan kontrol PI (*Proportional Integral*) dapat menstabilkan tegangan keluaran *buck converter* sebesar 14,38 V. Sistem kontrol yang diimplementasikan terbukti dapat melakukan pengisian baterai dengan baik.

**Kata kunci:** Proteksi Arus Lebih, Hubung Singkat, *Buck Converter*, Pengisi Baterai, Kontrol PI.

---

## ABSTRACT

---

**Abstract** - An overcurrent protection system is needed to avoid components damage caused by high current surges (*overcurrent*). One of the causes of overcurrent is the occurrence of a short circuit. If there is a short circuit in the system, the voltage on the buck converter will decrease drastically and the current exceed the nominal current of the system. Miniature Circuit Breaker (MCB) is commonly use as overcurrent protection. However, in practice, the use of MCB must activate manually after overcurrent protection. For this reason, relay components are used to limit current and protect against overcurrent in the system. In this study, the circuit configurations used a 100WP solar panel, 12V/20Ah lead-acid battery, and a buck converter. Overcurrent detection obtained from the current reading of the output of the buck converter. When the output terminal of the buck converter is short-circuited under load or unloaded, it can cause an overcurrent in the system. The relay breaks the circuit as a protective action against overcurrent. The battery pengisian system using PI (*Proportional Integral*) control can stabilize the output voltage of the buck converter with a voltage value of 14.38 V. The implemented control system can perform battery pengisian properly.

**Keywords:** Overcurrent Protection, Short Circuit, Buck Converter, Battery Charger, PI Control.

Copyright © 2023 Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi (ELKOM)

---

## 1. PENDAHULUAN

Dalam sistem *buck converter*, penggunaan sistem proteksi sangat diperlukan untuk menjaga kualitas komponen kelistrikan dan mencegah kerusakan pada komponen sistem [1]. Salah satu sistem proteksi yang dimaksud adalah sistem proteksi terhadap adanya arus lebih (*overcurrent*), yang melebihi nilai arus nominalnya. Arus lebih pada sistem *buck converter* dapat disebabkan oleh adanya hubung singkat (*short circuit*) yang terjadi pada sistem [2]. Hubung singkat terjadi apabila polaritas positif (+) dan polaritas negatif (-) pada listrik DC terhubung. Hubung singkat ini dapat terjadi secara sementara ataupun permanen. Pada hubung singkat sementara dapat disebabkan karena terjatuhnya konduktor seperti kawat yang mengenai

kabel jumper polaritas positif (+) dan polaritas negatif (-) secara cepat dan singkat [3]. Sedangkan hubung singkat permanen dapat terjadi karena hubung singkat yang berlangsung lama atau terjadi kerusakan pada baterai atau beban sehingga menyebabkan resistansi beban mendekati atau sama dengan nol [4]. Apabila terjadi hubung singkat, maka tegangan akan menurun drastis dan akan terjadi lonjakan arus yang melebihi arus nominal sistem *buck converter* sistem pengisian baterai.

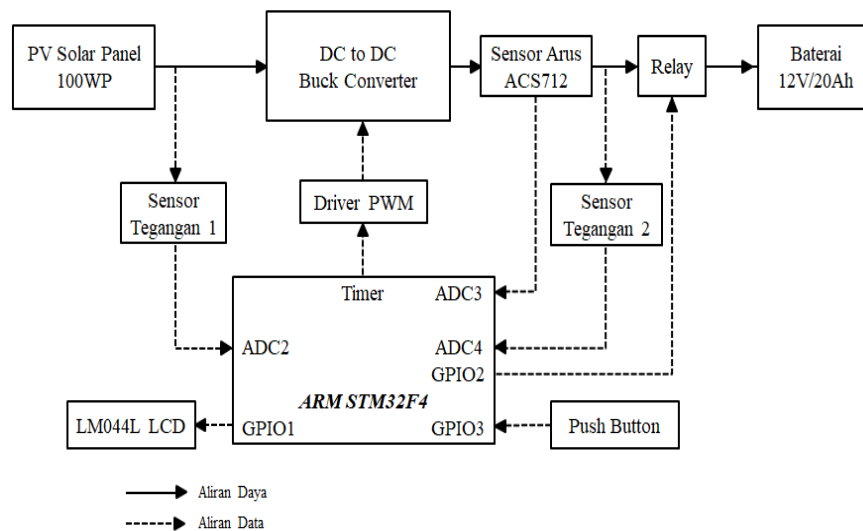
Apabila suatu sistem rangkaian listrik tidak mempunyai proteksi arus lebih, maka saat terjadi arus lebih akibat hubung singkat komponen pada rangkaian sistem akan menjadi panas dan dapat terjadi kerusakan pada komponen tersebut apabila hubung singkat didiamkan dalam kurun waktu tertentu. Beberapa komponen proteksi terhadap adanya arus lebih yaitu relay [5]. Untuk itu, digunakan relay yang dapat membuat rangkaian sistem *buck converter* tertutup atau terbuka dengan otomatisasi melalui kontrol mikrokontroler.

Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan perancangan sistem *buck converter* akan digunakan untuk menurunkan tegangan sumber berupa sumber panel surya 100WP untuk mengisi baterai *lead-acid* 12V/20Ah sebagai beban [6]. Jenis kontrol PI metode *constant voltage* digunakan pada sistem pengisian baterai [7]. Sistem proteksi terhadap arus lebih menggunakan komponen relay untuk memutuskan arus lebih yang terjadi karena adanya hubung singkat saat keadaan tidak berbeban maupun berbeban.

**2. METODE PENELITIAN**

**2.1. Blok Diagram Sistem**

Sistem ini merancang suatu alat yang berfungsi untuk melakukan pengenalan terhadap adanya arus yang melebihi nominal arus, pada saat kondisi pengisian baterai dengan *buck converter* digunakan sebagai penurun tegangan, dan melakukan proteksi dari arus lebih akibat hubung singkat yang terjadi pada sistem tersebut. Perancangan sistem pada penelitian ini dimuat pada diagram blok yang ditunjukkan pada gambar 1, mencakup rancangan software dan hardware secara menyeluruh.



Gambar 1. Blok diagram sistem

Pada sistem digunakan sumber berupa panel surya 100WP untuk melakukan pengisian baterai *lead-acid* 12V/20Ah. Tegangan keluaran maksimum panel surya dihasilkan sebesar 21,8 V. Dimana, *buck converter* akan mempertahankan nilai tegangan keluaran sebesar 14,4 V (untuk kondisi pengisian baterai) dengan nilai duty cycle = 66%, yang diatur dengan metode *constant voltage* kontrol PI (Proportional Integral) [8][9]. Duty cycle yang diberikan pada *Buck converter* berasal dari pengaturan Timer (PWM) dari mikrokontroler STM32F407 Discovery yang disalurkan melalui driver MOSFET. Kemudian tegangan keluaran dari *Buck converter* akan diukur oleh sensor tegangan. Tegangan dan arus keluaran dari panel surya juga akan diukur oleh sensor. Untuk memudahkan monitoring tegangan, arus dan duty cycle (PWM) maka digunakan LCD LM044L.

Proteksi terhadap adanya arus lebih akibat hubung singkat pada keadaan berbeban maupun tidak berbeban dilakukan dengan menggunakan relay melalui *trigger* pengukuran arus keluaran *buck converter*. Apabila nilai arus tidak melebihi 1,05 kali arus nominal (arus nominal = 4 A) maka relay (NC) akan berada pada kondisi *close*. Namun apabila nilai arus yang terdeteksi sensor arus ACS712

melebihi 4,2 A (terjadi arus lebih  $>1,05(4A) = 4,2$  A) maka relay (NC) akan berada pada kondisi *open* [5]. Untuk membuat relay *close* kembali harus dilakukan dengan cara menekan push button untuk mereset sistem.

## 2.2. Perencanaan Sistem

Pada penelitian ini menggunakan baterai *lead-acid* 12V/20Ah dengan perencanaan tegangan pengisian  $V_{ch} = 14,4$  V; Arus pengisian baterai  $I_{ch} = 4$ A; dan waktu pengisian baterai selama 5 jam. Sumber energi listrik berasal dari panel surya. Dimana prinsip kerja panel surya yaitu menciptakan listrik melalui perubahan energi cahaya menjadi energi listrik. Hal ini terjadi ketika foton cahaya mengalirkan energi ke elektron yang memiliki muatan negatif di dalam bahan semikonduktor. Elektron-elektron tersebut ditarik ke satu permukaan yang memiliki muatan negatif, sedangkan muatan positif tersisa pada permukaan yang lainnya. Akibatnya, muatan positif dan negatif ini dikumpulkan pada permukaan konduktif depan dan belakang sel surya [10]. Selanjutnya baterai *lead-acid* 12V/20Ah akan digunakan sebagai tempat untuk menyimpan energi listrik keluaran panel surya 100 Wp dengan spesifikasi yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi modul panel surya

Parameter Panel Surya	Keterangan
Jenis Panel Surya	Polycrystalline
Daya <i>Rated</i> Maksimum ( $P_{max}$ )	100W
Tegangan saat Pmp ( $V_{mp}$ )	17,8 V
Asrus saat Pmp ( $I_{mp}$ )	5,62 A
Tegangan <i>Open-Circuit</i> ( $V_{oc}$ )	21,8 V
Arus <i>Short-circuit</i> ( $I_{oc}$ )	6,05 A
<i>Standart test condition</i>	1000W/m <sup>2</sup> , 25°C

Tabel 2. Data *State of Charge* (SOC) baterai *lead-acid*

Presentase <i>State of Charge</i>	6 V	12 V	24 V
100%	6.37	12.73	25.48
90%	6.31	12.62	25.24
80%	6.25	12.5	25
70%	6.19	12.37	24.76
60%	6.12	12.24	24.48
50%	6.05	12.2	24.4
40%	5.98	11.86	23.92
30%	5.91	11.71	23.74
20%	5.83	11.66	23.32
10%	5.75	11.51	23

Adapun Tabel 2 merupakan data batasan tegangan pengisian pada baterai atau *state of charge* (SOC) dari baterai *lead-acid*. SOC adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan rasio kapasitas energi yang dapat digunakan dari suatu baterai terhadap total kapasitas baterai secara keseluruhan [11]. Untuk baterai *lead-acid*, batas SOC yang umumnya dianjurkan adalah antara 20% hingga 80%. Ini berarti sebaiknya tidak menguras baterai hingga di bawah 20% SOC dan tidak mengisi baterai hingga melebihi 80% SOC. Untuk baterai *lead-acid* nilai tegangan SOC pada 20% sebesar 11.66 V dan SOC pada 80 % sebesar 12.5 V [12][13].

Kemudian *buck converter* sebagai pada sistem bertujuan untuk menurunkan nilai tegangan keluaran panel surya. Sehingga nilai tegangan yang keluar setelah melewati *buck converter* sesuai dengan nilai tegangan pengisian baterai. Prinsip kerja dari *buck converter* sendiri adalah dengan menggunakan switch atau saklar yang bekerja secara terus-menerus (ON-OFF)[14]. Dalam proses *switching* akan dikenal dua istilah yaitu PWM (*Pulse Width Modulation*) dan *duty cycle* yang diperlukan untuk mengatur kecepatan atau frekuensi kerja dari *switch* tersebut [15]. Untuk menghitung parameter komponen *buck converter* dapat menggunakan persamaan (1-4).

Resistansi beban ( $R$ ) dalam *buck converter* dinyatakan sebagai rasio tegangan output ( $V_o$ ) terhadap arus output ( $I_o$ ). Nilai resistansi beban dapat ditentukan pada persamaan (1),

$$R = \frac{V_o}{I_o} \quad (1)$$

Duty cycle ( $D$ ) ini menunjukkan seberapa lama saklar (switch) dalam buck converter berada dalam kondisi tertutup dan mengirimkan tegangan output. Duty cycle merupakan rasio antara tegangan output ( $V_o$ ), dan tegangan input ( $V_{in}$ ). Nilai duty cycle dapat ditentukan pada persamaan (4),

$$D = \frac{V_o}{V_{in}} \quad (2)$$

Nilai induktansi ( $L$ ) dalam buck converter bergantung pada tegangan output ( $V_o$ ), duty cycle ( $D$ ), dan perubahan arus di induktor ( $\Delta I_L$ ) pada setiap siklus switching ( $f$ ). Nilai induktansi dapat ditentukan pada persamaan (4),

$$L = \frac{V_o(1-D)}{\Delta I_L(f)} \quad (3)$$

Dalam rangkaian buck converter, kapasitor ( $C$ ) digunakan untuk menyaring tegangan output agar lebih stabil. Nilai kapasitansi ( $C$ ) dalam buck converter bergantung pada tegangan output ( $V_o$ ), duty cycle ( $D$ ) induktansi ( $L$ ), resistansi beban ( $R$ ) dan frekuensi switching ( $f$ ). Nilai kapasitansi dapat ditentukan pada persamaan (4),

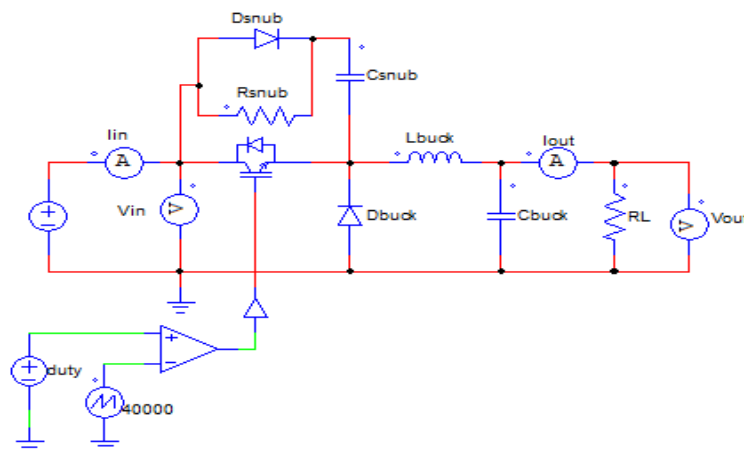
$$C = \frac{V_o(1-D)}{8(L)(rV_o)(f^2)} \quad (4)$$

Dari persamaan (1-4) diatas, maka didapatkan nilai parameter dari *buck converter* yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter *buck converter*

Parameter <i>Buck converter</i>	Nilai	Satuan
Tegangan Panel Surya ( <i>Input max</i> )	21,8	Volt
Tegangan <i>Output</i>	14,4	Volt
Frekuensi	40000	Hz
Arus Keluaran ( <i>Max</i> )	4	A
Ripple Tegangan	0,2%	-
Ripple Arus	20%	-
Induktor <i>Buck converter</i>	153 $\mu$	Henry
Kapasitor <i>Buck converter</i>	86,8 $\mu$	Farad
Kapasitor Snubber	33n	Farad
Resistor Snubber	330	Ohm

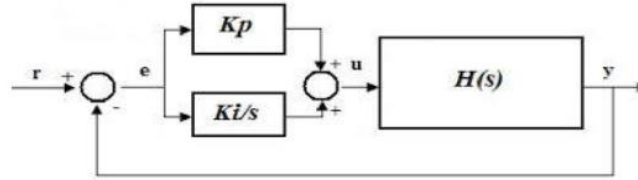
Rangkaiannya *buck converter* terdiri dari sebuah saklar aktif (*MOSFET*), satu buah saklar pasif (dioda), kapasitor serta induktor yang berfungsi untuk tapis keluarannya [15]. Skema rangkaian *buck converter* pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian *buck converter*

**2.3. Kontrol PI (Proportional Integral)**

Terdapat dua jenis pengaturan kontrol dari Kontrol PI, yaitu Kontrol P (*Proportional*) dan Kontrol I (*Integral*). Pada masing-masing jenis kontroler memiliki unsur parameter tertentu yang harus di set agar sistem kontrol dapat beroperasi dengan baik [16].



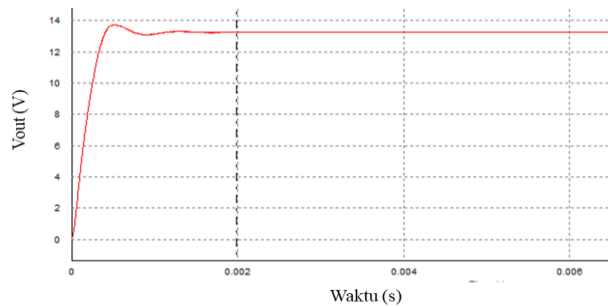
Gambar 3. Blok diagram kontrol PI

Karena memiliki *zero offset*, respon keluaran Kontrol PI akan sama dengan *setting point*. Keluaran kontroler P *proportional* terhadap error sistem. Sinyal keluaran dari kontrol I merupakan hasil dari integral matematika sinyal error sehingga *controller* I merespon ukuran dan lama waktu dari sinyal error tersebut. Ketika terdapat selisih antara keluaran dengan *set-point*, sinyal error ini akan muncul [17]. Dari jenis kontrol *proportional* dan kontrol *integral* memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masingnya, yang dijelaskan di Tabel 4 [18].

Tabel 4. Respon PI kontrol terhadap perubahan konstanta

Penguatan	Overshoot	Rise Time	Setling Time	SS Error
Kp	Meningkat	Menurun	Perubahan Kecil	Menurun
Ki	Meningkat	Menurun	Meningkat	Hilang

Kontrol PI (*Proportional Integral*) metode *constant voltage* akan digunakan untuk membuat kondisi tegangan keluaran dari *buck converter* menjadi stabil sesuai dengan nilai *set point* yang diberikan. Dalam perancangan kontrol PI ini digunakan metode analitik guna menentukan parameter kontrol PI. Untuk merancang sistem kontrol PI, terlebih dahulu mengamati kondisi *open loop* atau sistem tanpa kontrol yang disimulasikan seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil simulasi tegangan keluaran *buck converter* kondisi *open loop*

Dari Gambar 4 didapatkan data hasil simulasi *buck converter* tanpa kontrol yang mana tegangan keluaran ketika kondisi *steady state* adalah pada tegangan  $Y_{ss} = 13.26$  V dengan waktu *steady state*  $t_s = 0.00198$  sekon dan tegangan target  $X_{ss} = 14.4$  V. Kemudian nilai Kp dan Ki dapat dihitung menggunakan persamaan analitik (5-8), dimana hasil perhitungannya ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Parameter kontrol PI

Parameter	Nilai
K	0.92
$\tau$	0.396 ms
Kp	5
Ki	12.62

Steady-state gain (K), yang merupakan rasio output steady-state ( $Y_{ss}$ ) terhadap input steady-state ( $X_{ss}$ ) dari sistem yang dikendalikan. Nilai steady-state gain dapat ditentukan pada persamaan (5),

$$K = \frac{Y_{ss}}{X_{ss}} \tag{5}$$

Faktor penundaan ( $\tau$ ) yang merupakan waktu penyelesaian ( $t_s$ ) sistem dibagi dengan faktor skala sebesar 5. Nilai faktor penundaan dapat ditentukan pada persamaan (6),

$$\tau = \frac{t_s}{5} \tag{6}$$

Konstanta proporsional ( $K_p$ ) menentukan sejauh mana respons sistem terhadap kesalahan (error) antara setpoint dan output aktual. Konstanta proporsional ( $K_p$ ) menggunakan faktor penundaan ( $\tau$ ) dan faktor penundaan ( $K_\tau$ ) sistem. Nilai konstanta proporsional dapat ditentukan pada persamaan (7),

$$K_p = \frac{\tau}{K_\tau} \tag{7}$$

Konstanta integral ( $K_i$ ) mempengaruhi penyesuaian sistem terhadap kesalahan yang terjadi selama periode waktu tertentu dan membantu menghilangkan offset atau kesalahan sistem steady-state. Konstanta integral ( $K_i$ ) dengan membagi konstanta proporsional ( $K_p$ ) dengan faktor penundaan ( $\tau$ ). Nilai konstanta integral dapat ditentukan pada persamaan (8),

$$K_i = \frac{K_p}{\tau} \tag{8}$$

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

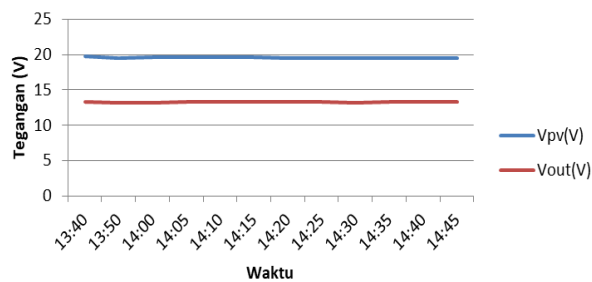
Pengujian dilakukan pada masing-masing bagian terlebih dahulu, kemudian masing-masing bagian tersebut di uji integrasikan secara keseluruhan. Pengujian integrasi dilakukan untuk menguji keseluruhan sistem yang telah dibuat. Pengujian Integrasi untuk baterai pengisian dilakukan 2 kali, yaitu Integrasi Sistem Tanpa Kontrol (*Open Loop*) dan Integrasi Sistem dengan Kontrol (*Close Loop*). Gambar 5 merupakan tampilan pengujian integrasi keseluruhan sistem.



Gambar 5. Pengujian integrasi sistem

**3.1. Pengujian Integrasi Tanpa Kontrol (*Open Loop*)**

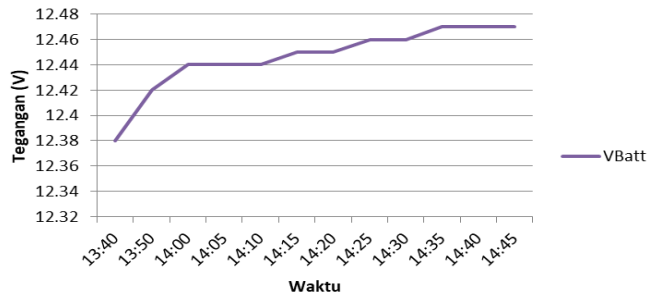
Pada pengujian sistem *buck converter* tanpa kontrol didapatkan bentuk grafik yang ditunjukkan pada Gambar 6 berikut:



Gambar 6. Grafik tegangan PV dan tegangan *output* dibanding waktu kondisi *open loop*

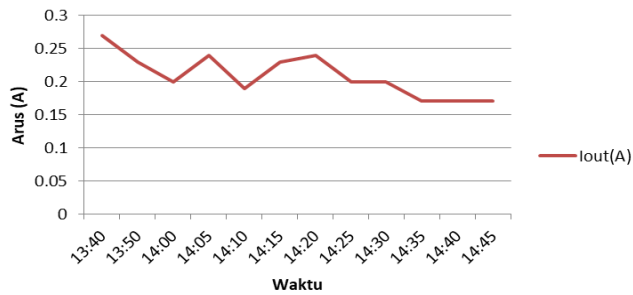


Pengujian dilakukan selama 1 jam 5 menit dimulai pukul 13:40 WIB sampai dengan pukul 14:45 WIB. Pada awal pengujian nilai tegangan baterai = 12.36 V (SOC = ± 35%). Dan setelah dilakukan pengujian sistem *open Loop* untuk *buck converter* diketahui nilai tegangan baterai = 12.44 V (SOC = ± 39%). Namun diketahui bahwa *buck converter* sudah bekerja dan dapat menurunkan tegangan. Ketika pengujian sistem tanpa kontrol, diketahui bahwa perubahan tegangan pada panel surya sangat memengaruhi tegangan keluaran dari *buck converter*.



Gambar 7. Grafik tegangan baterai dibanding waktu kondisi *open loop*

Gambar 7 menunjukkan bahwa tegangan baterai saat dilakukan pengujian integrasi sistem *buck converter* tanpa kontrol adalah naik dari 12.38 V menjadi 12.47 V. Yang menandakan bahwa sistem *buck converter* telah dapat digunakan untuk mengisi baterai.

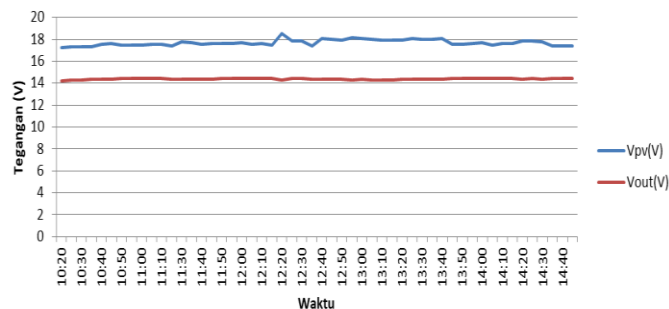


Gambar 8. Grafik arus *output* dibanding waktu kondisi *open loop*

Gambar 8 yang menunjukkan arus keluaran *buck converter* diatas terlihat bahwa arus naik-turun. Hal ini dikarenakan tegangan panel surya sebagai sumber tegangan memengaruhi tegangan keluaran *buck converter*, dan tegangan keluaran *buck converter*, memengaruhi nilai arus keluaran dari *buck converter* itu sendiri. Namun pada kesimpulannya dapat diketahui bahwa arus keluaran akan turun yaitu pada awal pengisian  $I_{out} = 0.27$  A menjadi 0.17 A.

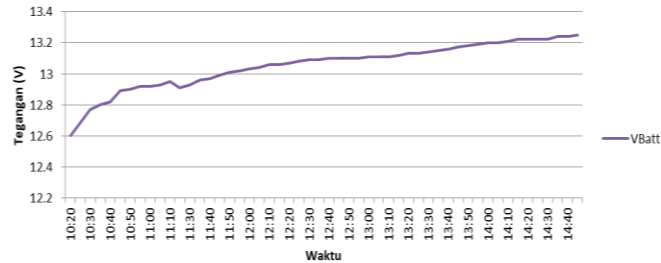
### 3.2. Pengujian Integrasi dengan Kontrol (*Close Loop*)

Pada pengujian sistem *buck converter* dengan kontrol didapatkan bentuk grafik yang ditunjukkan pada Gambar 9 dibawah:



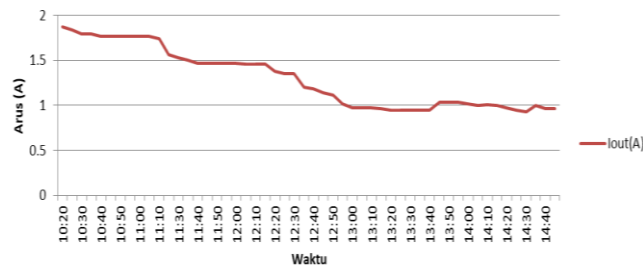
Gambar 9. Grafik tegangan PV dan tegangan *output* dibanding waktu (*close loop*)

Pengujian dilakukan selama 4 jam 25 menit mulai pukul 10:20 WIB sampai dengan 14:45 WIB. Gambar 9 memperlihatkan bahwa nilai tegangan panel surya naik turun sedangkan tegangan keluaran *buck converter* yang telah diintegrasikan dengan kontrol PI metode *constant voltage* mendekati/sama dengan nilai set point yaitu 14.4 V.



Gambar 10. Grafik tegangan baterai dibanding waktu kondisi *close loop*

Dari Gambar 10 terlihat bahwa nilai tegangan baterai saat kondisi pengisian dengan sistem kontrol adalah naik dari 12.6 V menjadi 13.25 V. Yang menandakan bahwa sistem *buck converter* dengan kontrol telah dapat digunakan untuk mengisi baterai.



Gambar 11. Grafik arus output dibanding waktu kondisi *close loop*

Dari Gambar 11 arus keluaran *buck converter* di atas terlihat bahwa arus turun seiring dengan bertambahnya waktu pengisian baterai. Hal ini sesuai dengan metode *constant voltage* yang digunakan pada sistem. Ketika tegangan *charge* dijaga konstan, maka nilai arus *charge* akan mengalami penurunan mulai dari 1.87 A sampai menjadi 0.96 A yang berlangsung selama 4 jam 25 menit.

### 3.3. Pengujian Proteksi Relay Arus Lebih Kondisi dengan Beban

Pada pengujian proteksi arus lebih akibat hubung singkat dengan kondisi berbeban ini dilakukan dengan menggunakan sumber panel surya 100 WP sebanyak 1 buah, sistem *buck converter* yang telah diintegrasikan dengan sistem kontrol, dan baterai *lead-acid* 12V/20Ah sebagai beban. Data hasil pengujian relay proteksi arus lebih kondisi berbeban dapat dilihat seperti pada Tabel 6 berikut ini.

Tabel 6. Data pengujian hubung singkat dengan beban

Pengukuran					Relay
V <sub>pv</sub> (V)	V <sub>o</sub> (V)	I <sub>o</sub> (A)	V <sub>bat</sub> (V)	I <sub>osc</sub> (A)	
17.76	14.37	1.28	13.03	>20	Open
17.64	14.4	1.47	13.01	>20	Open
17.23	14.41	1.54	13.01	>20	Open
17.73	14.42	1.44	13.06	>20	Open
17.75	14.42	1.39	13.08	>20	Open

Dari Tabel 5 diketahui bahwa pada saat terjadi hubung singkat dengan kondisi sistem terhubung dengan baterai 12V/20Ah, arus hubung singkat sangat besar hingga melebihi 20 A. Asumsi lebih dari 20 A didapatkan dari nilai pembacaan multimeter yang digunakan dengan range maksimum 20 A yang tidak terbaca, serta sensor arus ACS712 20 A yang juga tidak dapat merekam arus hubung singkat yang terjadi. Namun dapat disimpulkan bahwa proteksi arus lebih akibat hubung singkat saat kondisi berbeban berhasil dilakukan dengan kondisi relay *open* setelah terjadi hubung singkat, yang menandakan bahwa terjadi arus lebih yaitu arus melebihi 4.2 A. Untuk menutup kembali relay maka dilakukan dengan cara menekan reset push button.



### 3.4. Pengujian Proteksi Relay Arus Lebih Kondisi Tidak Berbeban

Pada pengujian proteksi arus lebih akibat hubung singkat dengan kondisi tidak berbeban ini dilakukan dengan menggunakan sumber panel surya 100 WP sebanyak 1 buah, sistem *buck converter* yang telah diintegrasikan dengan sistem kontrol dengan tanpa baterai. Data hasil pengujian relay proteksi arus lebih kondisi tanpa beban dapat dilihat seperti pada Tabel 7 berikut ini.

Tabel 7. Data pengujian hubung singkat tanpa beban

Pengukuran					Relay
V <sub>pv</sub> (V)	V <sub>o</sub> (V)	I <sub>o</sub> (A)	V <sub>bat</sub> (V)	I <sub>osc</sub> (A)	
19.78	19.72	0	4.28	19.78	Open
19.83	19.78	0	5.8	19.83	Open
19.81	19.73	0	4.63	19.81	Open
19.73	19.67	0	4.3	19.73	Open
19.75	19.7	0	4.23	19.75	Open

Dari Tabel 6 diketahui bahwa pada saat terjadi hubung singkat dengan kondisi sistem *buck converter* tanpa beban, arus yang terdeteksi pada multimeter adalah antara 4.28 sampai 5.8 A sedangkan pada LCD adalah antara 4.3 A sampai 6 A. Dari data ini dapat diketahui bahwa relay dapat melakukan proteksi saat terjadi hubung singkat rangkaian kondisi tanpa beban yang menyebabkan terjadinya arus lebih melebihi 4.2 A yang ditandai dengan relay pada kondisi *open*. Untuk menutup kembali relay maka dilakukan dengan cara menekan reset push button.

## 4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa, kontrol PI *constant voltage* berfungsi untuk mengatur tegangan keluaran *buck converter* agar konstan sesuai dengan nilai set point yang diberikan yaitu 14.4 V. Nilai K<sub>p</sub> dan K<sub>i</sub> sangat memengaruhi tegangan keluaran *buck converter* agar mencapai nilai set point tegangan dan dapat menstabilkan tegangan. Pada pengujian integrasi sistem *buck converter* tanpa kontrol tegangan baterai naik dari 12,36 V (SOC = 35%) menjadi 12,44 V (SOC = 39%) dengan waktu pengisian baterai *lead-acid* 12V/20Ah selama 1 jam 5 menit. Sedangkan pada pengujian integrasi sistem *buck converter* dengan kontrol tegangan baterai naik dari 12,41 V (SOC = 38%) menjadi 13,02 V (SOC = 80%) dengan waktu pengisian baterai *lead-acid* 12V/20Ah selama 4 jam 25 menit. Proteksi arus lebih pada sistem bekerja dengan baik pada kondisi berbeban baterai *lead-acid* 12V/20Ah ataupun kondisi tidak berbeban. Relay dapat memutuskan rangkaian saat terjadi arus lebih, dimana arus hubung singkat yang terjadi saat keadaan berbeban adalah >20 A dan arus hubung singkat dalam keadaan tidak berbeban mulai dari 4,23 A pada sistem. Pengujian arus lebih ini dilakukan dengan cara menghubungkan singkat terminal keluaran *buck converter*. Setelah melakukan proteksi arus lebih pada sistem *buck converter* relay dapat menutup kembali saat *reset push button* ditekan dan rangkaian terhubung kembali.

## REFERENSI

- [1] D. Almanda and H. Yusuf, "Perancangan Prototype Proteksi Arus Beban Lebih Pada Beban DC Menggunakan Mikrokontroler," *Elektum J. Tek. Elektro*, vol. 14, no. 2, pp. 25–34, 2017, doi: <https://doi.org/10.24853/elektum.14.2.25-34>.
- [2] A. Rahmadani, N. A. Windarko, and L. P. S. Raharja, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Suhu dan Kelembapan serta Kendali Dua Heater pada Kubikel 20 kV Berbasis Sistem Informasi Geografis," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 21, no. 2, p. 219, Dec. 2022, doi: [10.24843/MITE.2022.v21i02.P09](https://doi.org/10.24843/MITE.2022.v21i02.P09).
- [3] A. Rahmadani and A. A. Prastiyo, "Sistem Pendeteksi Arc Flash Pada Sambungan Jaringan Tegangan Rendah Dengan Sensor LDR Berbasis Telegram," *J. Teknol. Elektro*, vol. 14, no. 1, p. 18, Feb. 2023, doi: [10.22441/jte.2023.v14i1.004](https://doi.org/10.22441/jte.2023.v14i1.004).
- [4] M. Syahwil and N. Kadir, "Rancang Bangun Modul Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sistem Off-grid Sebagai Alat Penunjang Praktikum Di Laboratorium," *J. Pengelolaan Lab. Pendidik.*, vol. 3, no. 1, pp. 26–35, 2021, doi: [10.14710/jplp.3.1.26-35](https://doi.org/10.14710/jplp.3.1.26-35).
- [5] A. T. N. Angga *et al.*, "Use Of ACS 712ELC-5A Current Sensor on Overloaded Load Installation Safety System," *Appl. Technol. Comput. Sci. J.*, vol. 4, no. 1, pp. 47–55, Jul. 2021, doi: [10.33086/atcsj.v4i1.2088](https://doi.org/10.33086/atcsj.v4i1.2088).
- [6] A. I. Yustikasari, E. Sunarno, and P. A. Mahadi Putra, "Desain dan Simulasi Buck Konverter Dengan Kontrol Logika Fuzzy untuk Pengisian Baterai," *J. Ecotipe (Electronic, Control. Telecommun. Information, Power Eng.)*, vol. 8, no. 2, pp. 59–64, Jul. 2021, doi: [10.33019/jurnalecotipe.v8i2.2389](https://doi.org/10.33019/jurnalecotipe.v8i2.2389).

- [7] D. Dane, S. Sutedjo, and O. A. Qudsi, "Desain Buck Converter untuk Pengaturan Kecepatan Motor DC dengan Kontrol PI," *PoliGrid*, vol. 2, no. 2, p. 52, 2021, doi: 10.46964/poligrd.v2i2.774.
- [8] S. D. Nugraha, N. C. Ersha, E. Sunarno, O. A. Qudsi, I. Ferdiansyah, and G. Prabowo, "Desain Baterai Charger Kendaraan Listrik dengan Metode Constan Current dan Constan Voltage," *JTT (Jurnal Teknol. Terpadu)*, vol. 9, no. 2, pp. 159–166, Nov. 2021, doi: 10.32487/jtt.v9i2.1198.
- [9] F. D. Murdianto, A. R. Nansur, A. S. L. Hermawan, E. Purwanto, A. Jaya, and M. M. Rifadil, "Modeling and Simulation of MPPT SEPIC - BUCK Converter Series Using Flower Pollination Algorithm (FPA) - PI Controller in DC Microgrid Isolated System," in *2018 International Electrical Engineering Congress (iEECON)*, Mar. 2018, pp. 1–4. doi: 10.1109/IEECON.2018.8712290.
- [10] Mahmudatul Ula and Arief Rahmadani, "Rancang Bangun Maximum Power Point Tracking pada Panel Surya dengan Metode Incremental Conductance Menggunakan Zeta Konverter," *Techné J. Ilm. Elektrotek.*, vol. 22, no. 1, pp. 1–20, Apr. 2023, doi: 10.31358/techne.v22i1.334.
- [11] P. Ningrum, N. A. Windarko, and S. Suhariningsih, "Estimation of State of Charge (SoC) Using Modified Coulomb Counting Method With Open Circuit Compensation For Battery Management System (BMS)," *JAREE (Journal Adv. Res. Electr. Eng.)*, vol. 5, no. 1, Apr. 2021, doi: 10.12962/jaree.v5i1.150.
- [12] S. Purwanto, H. Satya Dini, and S. Rahayu, "Rancang Bangun Mobile Battery Terproteksi Menggunakan Kapasitor Dan Sensor Suhu Berbasis Mikrokontroler," *Pros. Semin. Nas. Energi*, vol. 4, p. 2022, 2022.
- [13] H. Suyanto, Erlina, R. A. Diantari, and H. Al Rasyid, "Study on Optimization of System Management Battery for Lithium Batteries and Lead Acid Batteries at the New and Renewable Energy Research Center IT PLN," in *2021 IEEE 5th International Conference on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE)*, Nov. 2021, pp. 213–218. doi: 10.1109/ICITISEE53823.2021.9655905.
- [14] M. W. Alim, N. A. Windarko, and R. Rakhmawati, "Fuzzy Logic Control Design On Buck Converter For Thermo Electric Air Cooler Power Supply," *JAREE (Journal Adv. Res. Electr. Eng.)*, vol. 4, no. 2, Oct. 2020, doi: 10.12962/j25796216.v4.i2.137.
- [15] A. T. Nugraha and R. P. Eviningsih, *Konsep Dasar Elektronika Daya*. Yogyakarta: Deepublish, 2022.
- [16] H. N. Shoumi, I. Sudiharto, and E. Sunarno, "Design of the CUK Converter with PI Controller for Battery Charging," in *2020 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (iSemantic)*, Sep. 2020, pp. 403–407. doi: 10.1109/iSemantic50169.2020.9234294.
- [17] I. Irianto, S. Suhariningsih, and V. R. Dewanti, "Rancang Bangun Alat Pengereng Pelepah Pisang (Menggunakan Metode Controller Chien Regulator I dan Chien Servo I Sebagai Tuning Kontrol PI)," *JEEE-U (Journal Electr. Electron. Eng.)*, vol. 2, no. 1, pp. 1–7, Apr. 2018, doi: 10.21070/jeee-u.v2i1.1091.
- [18] J. Aliyya, "Performance Comparison of PI Control and Fuzzy Logic for Speed Control of DC Shunt Motor Using Matlab / Simulink," *JAREE (Journal Adv. Res. Electr. Eng.)*, vol. 4, no. 2, Oct. 2020, doi: 10.12962/j25796216.v4.i2.151.