

# KONVERTER ARUS SEARAH TIPE BUCK DENGAN UMPAN BALIK ARUS DAN TEGANGAN UNTUK PENGISI AKUMULATOR

Arif Muslih Jainudin<sup>\*)</sup>, Agung Warsito, and Trias Andromeda

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang  
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*)</sup>E-mail: arifmuslihj@gmail.com

## Abstrak

Penggunaan rangkaian konverter arus searah untuk pengisian akumulator sudah mulai berkembang. Proses pengisian akumulator perlu memperhatikan nilai arus dan tegangan yang mengalir ke akumulator. Arus dan tegangan yang tidak sesuai dapat merusak akumulator dan mengurangi umur akumulator. Masalah tersebut dapat diatasi dengan menggunakan metode umpan balik tegangan dan arus. Umpan balik arus dan tegangan mampu menjaga nilai arus dan tegangan pengisian akumulator pada nilai yang dikehendaki. Sehingga proses pengisian akumulator menggunakan konverter arus searah dapat bersifat loop tertutup. Berdasarkan hasil pengujian, rangkaian konverter arus searah tipe buck dapat menghasilkan tegangan dan arus keluaran yang dapat diumpan balikkan dengan beban pengujian berupa akumulator. Berdasarkan hasil pengukuran, rangkaian buck converter dengan umpan balik arus mampu menjaga arus keluaran buck converter pada 1 A. Sementara saat umpan balik tegangan, nilai tegangan keluaran dapat dijaga pada nilai 14,4 Volt dan 13,5 Volt dengan nilai efisiensi rata-rata buck converter tanpa umpan balik sebesar 87,39%.

*Kata kunci: Pengisian Akumulator, Umpan Balik, Buck Converter*

## Abstract

The use of DC-DC converter for accumulator charger application begun to develop. Accumulator charging process need to pay attention to the value of current and voltage that flows to accumulator. The inappropriate current and voltage can damage the accumulator and decrease the lifetime of the accumulator. This problem can be solved by using current and voltage feedback method. The current and voltage feedback can constrain the value of current and voltage to our setpoint. So the process of accumulator charging using DC-DC converter can be close loop. Based on the test result, Buck converter can produce output current and output voltage that can be feedback with accumulator as load. Based on the measurement results, buck converter with feedback can constrain the output current on 1 A. Meanwhile when the output voltage feedback working, the value of output voltage can be constrain on 14,4 Volt and 13,5 Volt with the average efficiency of buck converter without feedback was 87,39%.

*Keywords: Accumulator Charge, Feedback, Buck Converter*

## 1. Pendahuluan

Akumulator banyak digunakan dalam berbagai macam aplikasi, seperti aplikasi dalam bidang telekomunikasi, *Uninterruptible Power Supply* (UPS), sistem alarm kebakaran, *photovoltaic*, bahkan untuk aplikasi medis[1]. Peralatan-peralatan tersebut mengonsumsi energi listrik secara terus menerus, sehingga peralatan elektronik tersebut membutuhkan rangkaian pengisi akumulator yang dapat diisi ulang. Pengisian akumulator yang tepat dapat mempercepat waktu pengisian dan tidak mengurangi usia akumulator. Waktu pengisian dan usia akumulator sangat bergantung pada sifat rangkaian pengisi akumulator tersebut[2].

Pengisian akumulator dengan cara konvensional masih memerlukan waktu yang lama. Nilai tegangan maupun arus pengisian masih tidak diatur. Selain itu pengisian akumulator dengan nilai arus yang tidak tepat akan menyebabkan timbul panas pada baterai, yang menyebabkan berkurangnya umur (*lifetime*) dari akumulator[3]. Pada penelitian [4], dibahas konverter DC-DC tipe Buck dengan umpan balik tegangan sebagai pengisi akumulator. Pada penelitian tersebut, rangkaian kontrol PWM beserta umpan balik tegangan menggunakan IC TL494. Pada penelitian [5], dibahas tentang konverter DC-DC Tipe Buck dengan pemutus tegangan otomatis dengan berbasis IC TL494.

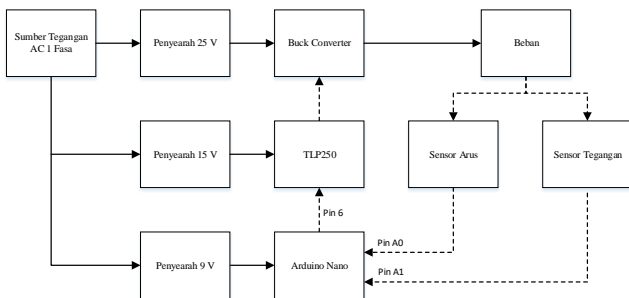
Oleh karena itu diperlukan perangkat pengisi akumulator yang bekerja secara efektif dan efisien. Konverter arus searah tipe buck berbasis mikrokontroler Arduino Nano yang dapat mengatasi permasalahan tersebut. Mikrokontroler Arduino Nano digunakan sebagai rangkaian kontrol sekaligus sebagai peralatan pengatur umpan balik yang akan mengatur nilai keluaran dari konverter arus searah tersebut. Perangkat sensor arus dapat membaca nilai keluaran secara *realtime* sehingga keluaran dari konverter arus searah tipe buck dapat diatur untuk menghasilkan nilai keluaran yang tidak merusak baterai dan mampu meningkatkan efisiensi peralatan. Sensor tegangan juga mampu membaca keluaran tegangan dari buck converter yang selanjutnya diumpan balik ke Arduino Nano.

Pada penelitian Penelitian ini akan dirancang modul perangkat keras konverter arus searah tipe buck dengan umpan balik arus dan tegangan untuk pengisian akumulator.

## 2. Metode

### 2.1. Perancangan Perangkat Keras

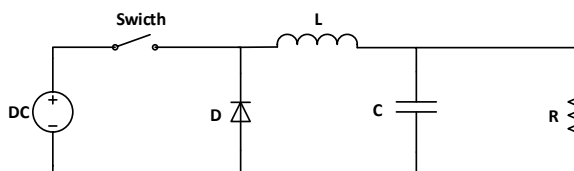
Perancangan Penelitian ini terdiri dari rangkaian penyearah, rangkaian konverter arus searah tipe buck, rangkaian kontrol pembangkit sinyal PWM dan beban.



Gambar 1. Blok Diagram Alat

### 2.2. Konverter DC-DC tipe Buck

Buck converter digunakan sebagai penyedia daya DC untuk rangkaian pengisi akumulator.



Gambar 2. Rangkaian Konverter Buck

Konverter arus searah tipe buck terdiri atas komponen-komponen penyusun yang terdiri dari:

1. Sumber tegangan arus searah (DC)  
Sumber DC untuk suplai rangkaian buck didapat dari rangkaian penyearah. Sumber tegangan tersebut memberikan tegangan sebesar 25 Volt.
2. Saklar  
Komponen pensaklaran yang digunakan pada rangkaian buck converter ini adalah MOSFET. MOSFET yang dipakai adalah tipe IRFZ44N yang mempunyai tegangan Drain-Source 55 Volt dan kemampuan arus Drain sebesar 49 A[6]. Nilai tersebut mencukupi untuk dipakai pada rangkaian buck converter dengan tegangan masukan 25,5 Volt
3. Dioda  
Dioda yang dipakai adalah dioda MUR460 yang memiliki spesifikasi tegangan 600 Volt dan arus 4 A serta waktu pemulihan 75ns[7].
4. Induktor  
Induktor yang digunakan pada rangkaian buck converter ini adalah induktor jenis solenoid yang dibuat dari kawat tembaga yang dililitkan pada inti ferit. Induktor yang digunakan memiliki nilai lebih besar dari  $L_{MIN}$  agar buck converter bekerja dalam kondisi *Continuous Conduction Mode(CCM)*[8].

$$L_{MIN} = \frac{(1-D).R}{2f} \quad (1)$$

$$= \frac{(1-0.56).100}{2.62500}$$

$$= 0.347 \text{ mH}$$

5. Kapasitor  
Kapasitor berfungsi sebagai filter tegangan untuk membatasi ripple tegangan yang disebabkan penambahan nilai beban. Kapasitor yang digunakan pada rangkaian buck converter ini adalah 470  $\mu\text{F}$  50 Volt.

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

$$= \frac{1 - 0.56}{8 \cdot 0,64 \times 10^{-3} \cdot \left(\frac{0.014}{14,4}\right)62500^2}$$

$$= 21,7 \mu\text{F}$$

Nilai kapasitor hasil perhitungan adalah 21,7  $\mu\text{F}$ , akan tetapi nilai kapasitor yang dipakai adalah 470  $\mu\text{F}$  karena nilai kapasitor hasil perhitungan tidak dapat ditemukan di pasaran.

### 2.3. Rangkaian Kontrol

Rangkaian kontrol berfungsi untuk menjaga nilai PWM tetap stabil sesuai dengan hasil pembacaan arus dan tegangan dari sensor arus dan tegangan.

#### 2.3.1. Arduino Nano

Arduino Nano merupakan rangkaian kontrol yang berfungsi mengolah data pembacaan arus dan tegangan dari keluaran buck converter sehingga dapat diatur nilai PWM sesuai hasil pembacaan .



Gambar 3. Arduino Nano

### 2.3.2. Rangkaian MOSFET Driver

MOSFET driver TLP250 digunakan untuk mengisolasi antara rangkaian kontrol dan rangkaian daya, TLP250 juga menguatkan level tegangan 5 Volt yang dibangkitkan Arduino Nano menjadi level tegangan yang lebih tinggi dengan sistem ground terpisah dan mampu memicu MOSFET.

### 2.3.3. Sensor Arus

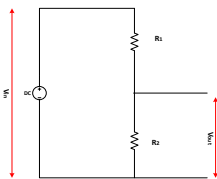
Sensor arus dibutuhkan untuk mealakukan pembacaan arus keluaran dari *buck converter*. Modul sensor arus yang digunakan pada Penelitian ini adalah tipe ACS712 yang bekerja berdasarkan prinsip *Hall effect*[9].



Gambar 4. Sensor ACS712

### 2.3.4. Sensor Tegangan

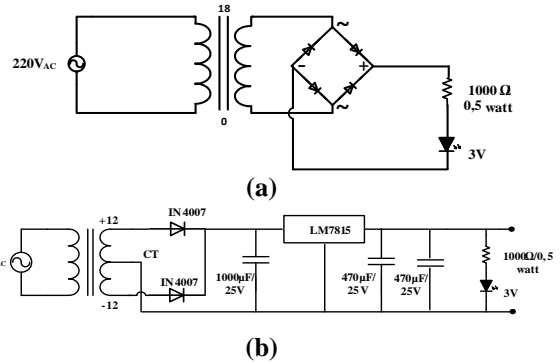
Sensor tegangan yang digunakan adalah rangkaian pembagi tegangan. *Output* dari *buck converter* maksimal adalah 25,5 Volt sehingga dibutuhkan nilai  $R_1$  sebesar 33 k $\Omega$  dan  $R_2$  sebesar 5,6 k $\Omega$ .



Gambar 5. Rangkaian sensor tegangan[10]

## 2.4. Penyearah

Penyearah berfungsi sebagai sumber tegangan arus bolak-balik 1 fasa 50 Hz menjadi tegangan arus searah. Rangkaian penyearah pada Penelitian ini digunakan sebagai suplai rangkaian daya konverter DC-DC tipe *Buck* (Gambar 6 a) dan suplai rangkaian Arduino Nano serta MOSFET driver TLP250 (Gambar 6 b).



Gambar 6. (a) Rangkaian Penyearah dengan diode bridge  
(b) Rangkaian Penyearah dengan diode bridge

## 2.5. Beban Pengujian

Pengujian rangkaian *buck converter* menggunakan dua macam beban, yaitu beban resistif murni (*rheostat*) dan akumulator. Akumulator yang digunakan adalah akumulator GS tipe GM5Z-3B dengan tegangan nominal sebesar 12 Volt dan kapasitas 5Ah/10Hr.



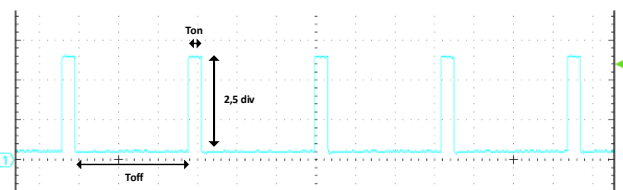
Gambar 7. Akumulator

## 3. Hasil dan Analisa

### 3.1. Pengujian Rangkaian Kontrol

#### 3.1.1. Pengujian PWM Arduino Nano

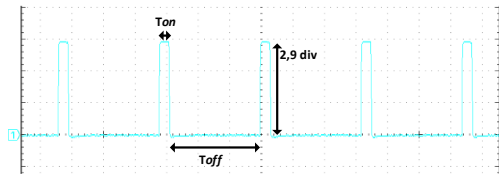
Gambar 7 menunjukkan *output* pin PWM pada nilai *duty cycle* 10% dengan  $t/div=5\mu s$  dan  $V/div=2V$ . Level tegangan yang dihasilkan Arduino Nano adalah 5 Volt.



Gambar 7. Gelombang PWM pin 6 Arduino Nano dengan *duty cycle* 10%

#### 3.1.2. Pengujian Rangkaian MOSFET Driver TLP250

Gambar 8 menunjukkan gelombang PWM *output* dari TLP250 pada *duty cycle* 10% dengan  $t/div=55\mu s$  dan  $V/div=5V$ . Level tegangan yang dihasilkan TLP250 adalah 15 Volt yang cukup untuk memicu MOSFET IRFZ44N.



Gambar 8. Gelombang PWM TLP250 dengan *duty cycle* 10%

### 3.1.3. Pengujian Sensor Tegangan

Pengujian sensor tegangan bertujuan untuk membandingkan hasil pembacaan rangkaian sensor tegangan hasil perancangan dengan hasil pembacaan tegangan menggunakan Multimeter PC5000a.

Tabel 1. Perbandingan tegangan hasil pengukuran dengan tegangan sensor

Data ke-	Tegangan pengukuran (V)	Tegangan sensor (V)	Deviasi (V)
1	3,34	3,22	0,12
2	4,23	4,17	0,06
3	5,11	5,25	0,14
4	5,24	5,25	0,01
5	6,45	6,6	0,15
6	6,54	6,68	0,14
7	12,1	12,32	0,22
8	14,11	14,02	0,09
9	14,41	14,39	0,02
10	15,43	15,14	0,29

Berdasarkan Tabel 1, nilai deviasi rata-rata pembacaan tegangan pengukuran dan tegangan hasil pembacaan sensor adalah 0,12 Volt.

### 3.1.4. Pengujian Sensor Arus

Pengujian sensor arus bertujuan untuk membandingkan hasil pembacaan rangkaian sensor arus dengan hasil pembacaan arus menggunakan Tangampere.

Tabel 2. Perbandingan arus hasil pengukuran dengan arus sensor

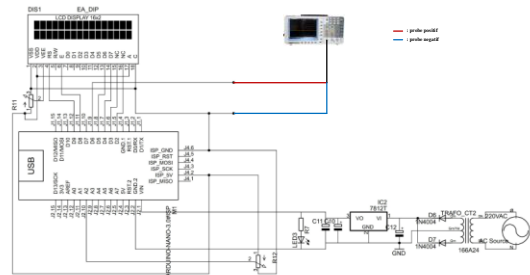
Duty cycle (%)	Beban ( $\Omega$ )	Arus tangampere (A)	Arus sensor (A)	Deviasi (A)
10	7	0.21	0.22	0,01
20	7	0.38	0.38	0
30	7	0.56	0.57	0,01
40	7	0.71	0.72	0,01
50	7	0.85	0.88	0,03
60	7	1.02	0.99	0,03
70	7	1.15	1.12	0,03
80	7	1.28	1.25	0,03
90	7	1.41	1.41	0

Berdasarkan Tabel 2, nilai deviasi rata-rata pembacaan arus pengukuran dan arus hasil pembacaan sensor adalah 0,02 A.

## 3.2. Pengujian Konverter DC-DC tipe Buck

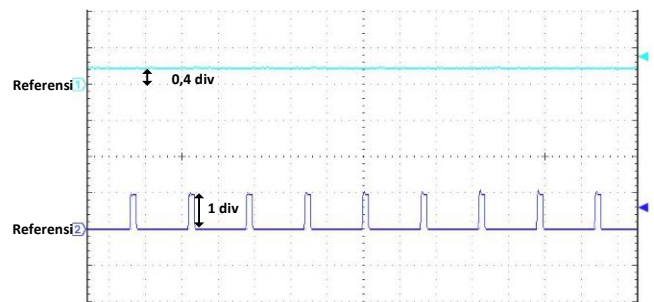
### 3.2.1. Pengujian Konverter DC-DC tipe Buck tanpa Umpan Balik

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja konverter Buck tanpa umpan balik terhadap perubahan nilai *duty cycle*. Pengaturan *duty cycle* dilakukan manual.



Gambar 9. Pengujian PWM keluaran Arduino Nano tanpa umpan balik

Gambar 10 merupakan tegangan keluaran dari buck converter dengan pengaturan nilai *duty cycle*.

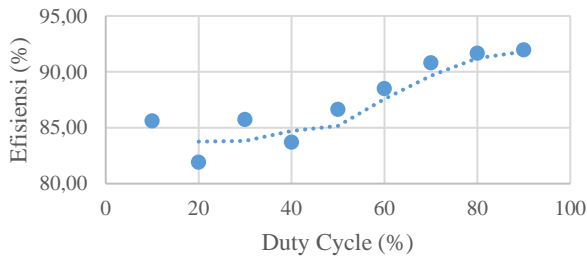


Gambar 10. Gelombang tegangan keluaran pengujian konverter tanpa umpan balik dengan  $D = 10\%$ .  $V/div = 5 V$ ,  $t/div = 5 \mu s$ .

Dengan cara yang sama untuk variasi nilai *duty cycle* maka didapatkan tabel pengujian buck converter tanpa umpan balik seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian buck converter tanpa umpan balik

Duty Cycle (%)	$I_{IN}$ (A)	$V_{IN}$ (V)	$I_{OUT}$ (A)	$V_{OUT}$ (V)	$P_{IN}$ (W)	$P_{OUT}$ (W)	$\eta$ (%)
10	0,03	23,6	0,29	2,09	0,71	0,61	85,61
20	0,13	23,05	0,59	4,16	3,00	2,45	81,91
30	0,28	22,4	0,88	6,11	6,27	5,38	85,73
40	0,5	21,57	1,15	7,85	10,79	9,03	83,70
50	0,78	20,69	1,44	9,71	16,14	13,98	86,64
60	1,03	19,97	1,64	11,1	20,57	18,20	88,50
70	1,36	19,08	1,87	12,6	25,95	23,56	90,80
80	1,64	18,27	1,99	13,8	29,96	27,46	91,65
90	2,04	17,44	2,19	14,94	35,58	32,72	91,96

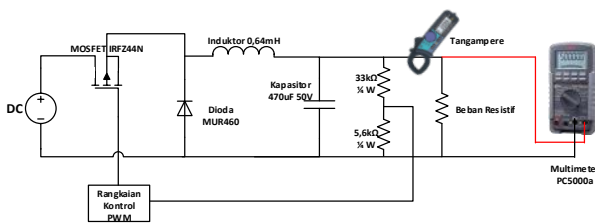


Gambar 11. Efisiensi buck converter tanpa umpan balik

Berdasarkan Tabel 3, buck converter sudah bekerja sesuai teori yang ada dengan nilai tegangan keluaran yang lebih rendah dari tegangan input. Nilai efisiensi rata-rata dari buck converter adalah 87,39%.

### 3.2.2. Pengujian Konverter DC-DC tipe Buck dengan Umpan Balik Tegangan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja buck converter dengan umpan balik tegangan terhadap perubahan beban. Perubahan duty cycle PWM berdasarkan respon umpan balik tegangan.



Gambar 12. Pengujian buck converter dengan umpan balik tegangan

Hasil pengujian buck converter dengan umpan balik tegangan setpoint sebesar 13,5 volt ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian buck converter dengan umpan balik tegangan

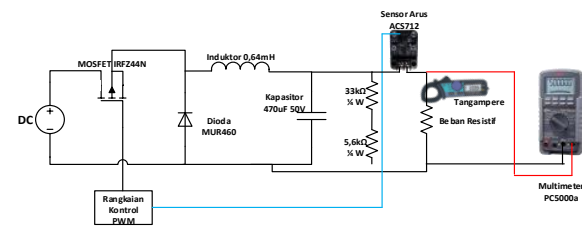
Beban (Ω)	V <sub>IN</sub> (V)	I <sub>IN</sub> (A)	V <sub>OUT</sub> (V)	I <sub>OUT</sub> (A)	Duty Cycle (%)
30	22,98	0,33	13,48	0,53	58
35	22,99	0,22	13,51	0,37	58
40	23,13	0,23	13,59	0,34	58
45	23,17	0,17	13,63	0,31	58
50	23,71	0,2	13,67	0,22	58
55	23,29	0,17	13,71	0,24	58
60	23,5	0,19	13,4	0,21	56
65	23,5	0,15	13,4	0,2	56
70	23,6	0,13	13,51	0,19	56
75	23,76	0,11	13,51	0,16	54

Dari Tabel 4, nilai tegangan keluaran mampu dijaga pada rentang nilai 13,5 V dengan nilai deviasi rata-rata sebesar

0,085 Volt. Nilai deviasi tersebut cukup kecil sehingga umpan balik tegangan dapat dicoba menggunakan beban akumulator.

### 3.2.3. Pengujian Konverter DC-DC tipe Buck dengan Umpan Balik Arus

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja buck converter dengan umpan balik arus terhadap perubahan beban. Perubahan duty cycle PWM berdasarkan respon umpan balik arus.



Gambar 13. Pengujian buck converter dengan umpan balik arus

Hasil pengujian buck converter dengan umpan balik arus setpoint sebesar 0,5 ampere ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil pengujian buck converter dengan umpan balik arus

Beban (Ω)	V <sub>IN</sub> (V)	I <sub>IN</sub> (A)	V <sub>OUT</sub> (V)	I <sub>OUT</sub> (A)	Duty Cycle (%)
10	25,01	0,1	3,58	0,49	17
15	23,66	0,2	7,04	0,49	31
20	24	0,25	9,67	0,49	43
25	23,06	0,24	11,14	0,46	49
30	22,55	0,3	13,57	0,46	60
35	22,32	0,33	15,81	0,46	70
40	22,15	0,39	17,57	0,46	79
45	22,17	0,46	20,8	0,49	96
50	22,2	0,44	21,2	0,46	96

Dari Tabel 5, nilai arus keluaran buck converter mampu dijaga pada nilai 0,5 A dengan nilai deviasi rata-rata sebesar 0,0267 A. Nilai deviasi tersebut cukup kecil sehingga umpan balik arus dapat dicoba menggunakan beban akumulator.

### 3.3. Pengujian Pengisian Akumulator

Pengujian pengisian akumulator dilakukan dengan menghubungkan terminal keluaran buck converter dengan terminal akumulator.

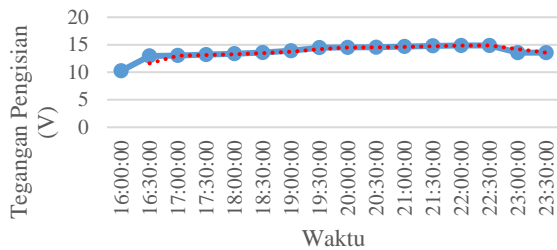
Tabel 6. Data pengujian pengisian akumulator

Waktu	Duty Cycle (%)	Arus (A)	Tegangan (V)
16:00:00	46,67	0,96	10,26
16:30:00	62,35	0,99	12,96
17:00:00	62,35	0,99	13,04
17:30:00	63,53	0,99	13,2

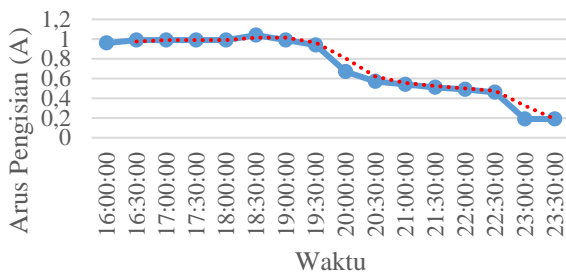
Tabel 6. (lanjutan)

Waktu	Duty Cycle (%)	Arus (A)	Tegangan (V)
18:00:00	65,49	0,99	13,36
18:30:00	67,06	1,04	13,59
19:00:00	69,41	0,99	13,91
19:30:00	71,37	0,94	14,47
20:00:00	67,06	0,67	14,51
20:30:00	67,06	0,57	14,55
21:00:00	67,06	0,54	14,67
21:30:00	67,06	0,51	14,79
22:00:00	67,06	0,49	14,87
22:30:00	67,06	0,46	14,87
23:00:00	52,94	0,19	13,55
23:30:00	52,94	0,19	13,55

Grafik arus pengisian dan tegangan pengisian akumulator dapat dilihat pada Gambar 14. Dan Gambar 15.



Gambar 14. Tegangan pengisian akumulator



Gambar 15. Arus pengisian akumulator

Berdasarkan grafik tegangan dan arus pengisian akumulator, nilai arus pengisian dapat dijaga pada nilai 1 A pada fase *bulk charge* dengan waktu pengisian antara jam 16.00 sampai 19.30, kemudian pada pukul 20.00 sampai 22.30 nilai tegangan pengisian dapat dijaga pada nilai 14,4 Volt pada fase *absorption charge*, selanjutnya pada pukul 23.00 sampai 23.30 nilai tegangan dapat dijaga pada fase *float charge* yaitu pada nilai tegangan pengisian 13,5 Volt.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, pengujian dan analisa yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa nilai efisiensi rata-rata rangkaian *buck converter* tanpa umpan balik adalah 87,39%. Nilai efisiensi tertinggi pada *duty cycle* 90% yaitu sebesar 91,96%, sedangkan nilai efisiensi terendah didapat pada variasi *duty cycle* 20% yaitu sebesar

81,91%. Berdasarkan pengujian *buck converter* dengan umpan balik arus, nilai arus keluaran dapat dijaga konstan sebesar 0,5 A dengan deviasi rata-rata 0,0267 A. Nilai arus sebesar 0,46 A untuk beban resistansi murni 25 Ω, 30 Ω, 35 Ω, dan 40 Ω. Nilai arus 0,49 A didapat saat nilai resistansi murni sebesar 10 Ω, 15 Ω, 20 Ω, dan 45 Ω. Berdasarkan pengujian *buck converter* dengan umpan balik tegangan, nilai tegangan keluaran dapat dijaga konstan sebesar 13,5 Volt dengan deviasi rata-rata 0,085 Volt. Nilai tegangan keluaran dijaga konstan untuk beban berupa resistansi murni dengan nilai 30 Ω, 35 Ω, 40 Ω, 45 Ω, 50 Ω, 55 Ω, 60 Ω, 65 Ω, 70, dan 75 Ω. Pada pengujian pengisian akumulator, nilai arus dapat dijaga konstan pada fase *bulk charge* sebesar 1 A, sedangkan pada fase *absorption charge* nilai tegangan dapat dijaga konstan 14,4 Volt dan saat *float charge* nilai tegangan dapat dijaga konstan sebesar 13,5 Volt.

#### Referensi

- [1] P. Basics and O. Modes, *Handbook for Stationary Lead-Acid Batteries*, no. February, pp. 1–98, 2012.
- [2] *Hawker Batteries Handbook*, Hawker Group, Chippenham, 1999.
- [3] *Technical Handbook Valve-Regulated-Lead-Acid-batteries*, FIAMM-GS, Vicenza.
- [4] L. W. Cahyadi, T. Andromeda, M. Facta, "Kinerja Konverter Arus Searah Tipe Buck Converter dengan Umpan Balik Tegangan Berbasis IC TL494."
- [5] E. Setiawan, M. Facta, A. Nugroho, "Penggunaan Konverter Jenis Buck dengan Pemutus Tegangan Otomatis untuk Pengisi Akumulator."
- [6] A. P. Adityawan, D. C. H, and L. Sulistijono, "SISTEM PENGISIAN BATTERY LEAD ACID."
- [7] J. A. Byrne, "The Proper Charging of Stationary Lead-Acid Batteries", pp. 1–6. Interstate Power Case.
- [8] D. Linden and T. B. Reddy, *HANDBOOK OF BATTERIES*, McGraw-Hill, 2001.
- [9] *Battery Basics*, Gears educational System, Massachusetts, 2009.
- [10] J. López, S. I. S. Jr, P. F. Donoso, L. M. F. Morais, P. C. Cortizo, and M. A. Severo, "Digital control strategy for a buck converter operating as a battery charger for stand-alone photovoltaic systems q," vol. 140, pp. 171–187, 2016.
- [11] W. H. Daniel, *Power Electronics Handbook*, The McGraw-Hill Companies, Indiana, Valparasio University, 2011.
- [12] Rashid, M. H, *Power Electronics : Circuit, Devices, and Application*, New Jersey : Pentice-Hall International Inc, 1993.
- [13] Maulana, *Teori Dasar MOSFET*, pp. 1–34.
- [14] Arduino nano specification, Radiospares.
- [15] *ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P*, Atmel, 2015.
- [16] <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/PWMAtmel>, diakses pada tanggal 12 September 2017
- [17] [https://learn.sparkfun.com/tutorials/analog-to-digital-conversion?diakses pada 25 Agustus 2017](https://learn.sparkfun.com/tutorials/analog-to-digital-conversion?diakses%20pada%2025%20Agustus%202017)
- [18] <https://learn.sparkfun.com/tutorials/voltage-dividers?.html> diakses pada 16 Agustus 2017.
- [19] ACS712, Allegro.

- [20] *DT-Sense Current Sensor*, Innovative Electronics.
- [21] Sen, P.C. *Power Electronics*. Tata McGraw – Hill Education, 1987.
- [22] *CURRENT RATINGS*, AEI CABLES Inc, 2008.
- [23] *TLP250*, Toshiba, 2004.
- [24] *Power MOSFET IRFZ44N*, International Rectifier.
- [25] *Switch Mode Power Rectifiers*, ON Semiconductor, Colorado.

