

# PERANCANGAN KONVERTER ARUS SEARAH TIPE SYNCHRONOUS BUCK BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO UNTUK PENGISIAN BATERAI

Zakiy Hammami<sup>\*)</sup>, Hermawan dan Hadha Afrisal

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

<sup>\*)E-mail: zakiyhammami@students.undip.ac.id</sup>

## Abstrak

Listrik merupakan salah satu energi pokok pada rumah tangga. Pendistribusian listrik dilakukan oleh PLN, ada kalanya pendistribusian di suatu tempat di putuskan, bisa karena terjadi gangguan atau perbaikan. Penggunaan beban di setiap rumah berbeda beda, adakalanya beban di rumah harus terus dialiri listrik. Untuk menyuplai daya listrik ketika terjadi pemadaman maka di perlukan sumber daya listrik lain, dapat berupa genset atau dari daya baterai. Bila menggunakan baterai maka perlu sebuah alat untuk pengisian daya ketika baterai habis. Sistem pengisian menggunakan listrik PLN yang diturunkan kemudian disearahkan dan diturunkan lagi menggunakan buck converter agar tegangan dan arus dapat di atur. Konverter arus searah tipe synchronous buck dipilih karena memiliki efisiensi yang tinggi dibanding buck konverter konvensional. Pengujian dilakukan menggunakan beban resistif  $10\Omega$  hingga  $100\Omega$  dengan melihat dan menganalisa tegangan dan arus keluaran. Efisiensi daya dari synchronous buck converter mencapai hingga 99%. Dilakukan juga pengujian untuk melakukan pengisian daya baterai. Pengisian daya baterai berkapasitas 5Ah dilakukan selama 8 jam 30 menit.

*Kata kunci : Synchronous buck, Baterai, Backup*

## Abstract

*Electricity is one of the main energy in the household. The distribution of electricity is carried out by PLN, there are times when the distribution is decided somewhere, it could be due to disturbances or repairs. The use of the load in each house is different, sometimes the load at home must continue to be electrified. To supply electrical power when a blackout occurs, another power source is needed, either a generator or from battery power. When using a battery, you need a device for charging when the battery runs out. The charging system uses PLN electricity which is lowered then rectified and lowered again using a buck converter so that the voltage and current can be regulated. In this study, a synchronous buck converter was designed for charging the accumulator. The synchronous buck was chosen because it has high efficiency compared to conventional buck converters. The test is carried out using a resistive load of  $10\Omega$  to  $100\Omega$  by observing and analyzing the output voltage and current. The power efficiency of the synchronous buck converter is up to 99%. Tests were also carried out to charge the accumulator. Charging the 5 Ah accumulator takes 8 hours and 30 minutes.*

*Keywords : Synchronous buck, Accumulator, Backup*

## 1. Pendahuluan

Listrik yang didistribusikan dari sumber utama baik dari PLN ataupun dari Main Generator Set tidak selalu dapat menyalurkan tenaga listrik secara terus menerus. Hal ini disebabkan terdapat kemungkinan terjadinya kerusakan dalam suatu sistem distribusi tenaga listrik, sehingga pada saat pasokan listrik dari sumber utama mengalami gangguan maka komponen di pabrik, terutama di zona kiln memerlukan suatu suplai cadangan untuk menjamin berlangsungnya proses produksi[1]. UPS (*Uninterruptible Power Supply*) merupakan perangkat berkaitan dengan kelistrikan yang bisa melepaskan daya cadangan ke beban

kritis ketika sumber utama terputus maupun saat terjadi gangguan. Dalam sebuah sistem backup terdapat sumber daya lain baik itu generator set atau baterai[2].

Baterai secara umum dapat dibedakan menjadi dua jenis baterai, yakni baterai primer dan baterai sekunder. Baterai yang digunakan pada sebuah sistem *backup* daya listrik memerlukan pengisian daya ketika kapasitas baterai tersebut habis. Untuk itu diperlukan sebuah perangkat yang dapat mengisi daya baterai tersebut. Ketika pengisian baterai dilakukan berdasarkan cara konvensional pengisian masih membutuhkan waktu yang cukup lama. Nilai tegangan ataupun arus pengisian baterai masih belum

teratur. Lebih lanjut, saat pengisian baterai dilakukan dengan arus listrik yang tidak akurat dapat berdampak pada terjadinya panas dalam baterai, yang selanjutnya dapat mengakibatkan turunnya atau berkurangnya umur (*lifetime*) dari suatu baterai[3]. Maka dibutuhkan sebuah konverter arus searah untuk pengisian baterai tersebut secara optimal.

Pada tugas akhir ini membahas tentang konverter DC-DC dengan jenis *Synchronous Buck*. Dalam tugas akhir ini, rangkaian kontrol PWM memakai mikrokontroler Arduino Nano. Perancangan dilakukan dengan membuat beberapa modul. Pertama yaitu modul penyearah gelombang penuh, penyearah gelombang penuh memiliki beberapa keunggulan [4]. Komponen utamanya yaitu dioda *bridge*. Diberi nama dioda *bridge* disebabkan pada komponen tersebut ada empat buah dioda yang terhubung dan saling tersambung satu dengan yang lain (*bridge rectifier* atau penyearah jembatan)[5]. Kemudian modul *synchronous buck* Aplikasi dari *Synchronous buck* konverter sendiri seperti suplai daya untuk server dan peralatan telekomunikasi, penerangan, pengisian daya baterai dan lain-lain[6]. Jenis *buck* konverter ini sudah banyak digunakan, ketika arus pada beban meningkat, *losses* daya yang melewati dioda meningkat maka harus mengganti dioda dengan transistor[7]. *Synchronous buck* konverter telah banyak peminat dalam aplikasi konverter arus searah tegangan rendah[8]. Untuk mengontrol transistor pada rangkaian daya memerlukan PWM dengan mengatur nilai *duty cycle*. Nilai pada *Duty Cycle* merupakan suatu representasi dari keadaan ketika nilai pulsa *high* pada suatu periode sinyal yang selanjutnya di nyatakan dalam bentuk (%) dalam *range* 0% sampai 100%[9].

## 2. Metodologi

### 2.1. Penyearah Satu Fasa

Rangkaian penyearah satu fasa pada penelitian ini adalah penyearah satu fasa gelombang penuh[4]. Penyearah satu fasa gelombang penuh digunakan karena memiliki riak tegangan yang lebih kecil daripada riak tegangan pada penyearah setengah gelombang[5]. Rincian spesifikasi pada rangkaian penyearah gelombang penuh ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi penyearah gelombang penuh

Spesifikasi Rangkaian	Nilai
Arus AC ( <i>I<sub>dc</sub></i> )	500mA
Tegangan AC ( <i>V<sub>ac</sub></i> )	220V
Arus DC ( <i>I<sub>dc</sub></i> )	5A
Tegangan DC ( <i>V<sub>dc</sub></i> )	21,21V

### 2.2. Perancangan Rangkaian Daya

Pada penelitian ini rangkaian daya yang dirancang merupakan konverter arus searah tipe *synchronous buck*. *synchronous buck* konverter digunakan untuk menurunkan tegangan dari penyearah gelombang penuh agar tegangan

dan arus untuk pengisian dapat dikontrol[6]. Konverter ini juga memiliki efisiensi yang tinggi [8]. Pada Tabel 2 ditampilkan detail spesifikasi rangkaian *synchronous buck*.

Tabel 2. Spesifikasi pada rangkaian *synchronous buck*

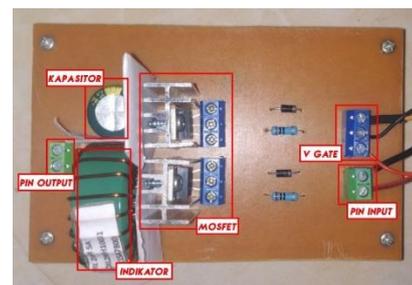
Spesifikasi Rangkaian	Nilai
Tegangan Masukan	5 V –21,21 V
Tegangan Keluaran	12 V
Frekuensi <i>Switching</i> ( <i>f<sub>s</sub></i> )	20 kHz
<i>Duty Cycle</i> ( <i>D</i> )	1% - 99%
Arus Maksimum	1,2 A

Terdapat 5 komponen unsur penyusun rangkaian *synchronous buck*, yakni kapasitor, induktor, 2 buah *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor* (MOSFET), dan resistor yang berperan sebagai beban[7]. MOSFET digunakan karena memiliki kelebihan dibandingkan transistor BJT yaitu disipasi daya yang dihasilkan rendah [11]. Komponen penyusun *synchronous buck* yang dipakai dalam penyusunan penelitian ini tersaji dalam Tabel 3.

Tabel 3. Komponen penyusun *synchronous buck*

Komponen	Tipe/Nilai
MOSFET	IRFZ44N
Induktor	2mH
Kapasitor	470µF/100V
Resistor	10 Ω hingga 100 Ω

Pemilihan jenis MOSFET mempertimbangkan nilai tegangan dan arus yang bekerja dalam rangkaian daya. Pada konverter arus searah *synchronous buck* MOSFET yang digunakan merupakan tipe MOSFET IRFZ44N, tipe ini dipilih karena pertimbangan rating yang dimiliki sudah sanggup untuk bekerja pada suplai tegangan dan arus pada keluaran rangkaian serta memiliki rating *R<sub>ds on</sub>* yang kecil[14]. Realisasi rangkaian daya disajikan pada gambar 1.



Gambar 1. Realisasi rangkaian *synchronous buck*

### 2.3. Perancangan Rangkaian Kontrol

Penelitian ini menggunakan rangkaian kontrol yang terbagi menjadi 3 elemen yaitu rangkaian pembangkit PWM dengan Arduino Nano, perancangan sensor tegangan dan arus. Lebih lanjut, berikut ini disajikan penjelasan mengenai perancangan rangkaian kontrol dalam penelitian ini. [10]

### 2.3.1. Sistem Minimum Arduino Nano

Pada Penelitian ini rangkaian kontrol yang digunakan adalah Arduino Nano. Arduino Nano bertujuan menerima data hasil pembacaan sensor dari *synchronous buck*, pembacaan data sensor tersebut selanjutnya diolah oleh mikrokontroller untuk melakukan algoritma pengisian. Arduino Nano diprogram agar dapat bekerja pada besaran frekuensi 20 kHz. Pada Arduino Nano, Pin 10 dan Pin 9 difungsikan menjadi pin keluaran PWM.

### 2.3.2. Sensor Arus

Sensor arus dipakai dalam perancangan ini merupakan ACS712-20A seperti pada Gambar 2. Sensor arus ini dipilih karena memiliki tingkat nilai arus maksimum yang bisa melintasi sensor sebesar 20A. Guna melakukan pengukuran arus keluaran *synchronous buck*, hal tersebut sudah cukup.



Gambar 2. Sensor Arus

### 2.3.3. Sensor Tegangan

Dalam perancangan ini sensor tegangan yang digunakan merupakan modul sensor dengan rangkaian pembagi tegangan didalamnya seperti pada Gambar 3. Sensor tegangan ini mampu membaca tegangan 5 hingga 25 Volt DC. Hal ini telah layak untuk melakukan pengukuran tegangan keluaran *synchronous buck*.



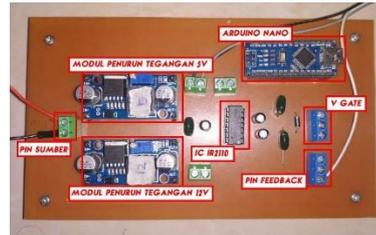
Gambar 3. Sensor Tegangan

## 2.4. Perancangan Rangkaian Driver

Rangkaian driver MOSFET memiliki dua fungsi. Pertama adalah untuk menguatkan sinyal PWM. Nilai amplitudo PWM dari mikrokontroller maksimal adalah 5 Volt sehingga tidak dapat untuk melakukan pemicuan pada MOSFET maka harus di naikan menggunakan rangkaian driver tersebut supaya mosfet dapat terpicu dengan PWM dari mikrokontroller[9]. Pada penelitian tugas akhir ini rangkaian driver menggunakan IC IR2110.

IR2110 adalah IC yang berfungsi sebagai driver IGBT atau MOSFET yang mempunyai dua inputan (*low side & high side input*) dan keluaran (*low side & high side output*)

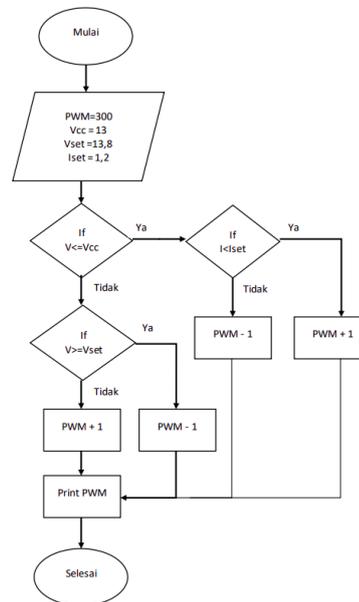
PWM. IR2110 mempunyai *channel* keluaran *high side* dan *low side*. Dengan menambahkan beberapa komponen, IC ini dapat digunakan dengan frekuensi tinggi dan disipasi daya yang rendah. IR2110 dapat digunakan juga untuk men-drive *channel-N* (MOSFET atau IGBT) di *high side* hingga 500 V[12]. IR2110 membutuhkan komponen eksternal untuk dapat bekerja sebagai IC *bootstrap*[12]. Komponen tambahan yg dibutuhkan berupa kapasitor dan dioda[15]. Gambar 4 merupakan realisasi dari rangkaian driver MOSFET.



Gambar 4. Realisasi rangkaian driver MOSFET

## 2.5. Perancangan Algoritma Charging

Arduino Nano adalah modul mikrokontroler berbasis ATmega328P[13]. Berikut algoritma *charging* pada Arduino Nano yang digunakan untuk mengatur nilai arus dan tegangan saat melakukan pengisian baterai. Pada awal pengisian arus yang masuk pada baterai di atur tidak lebih dari 1.2 A.



Gambar 5. Diagram alir mode charging

## 3. Hasil dan Analisis

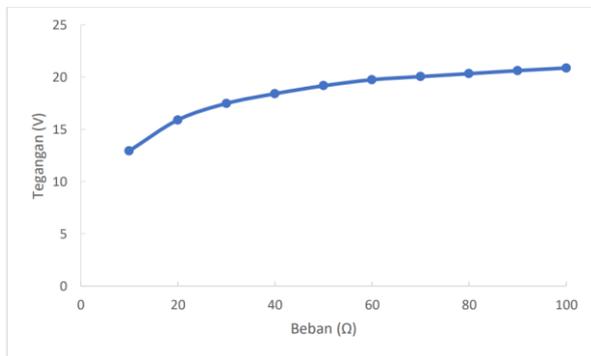
### 3.1. Pengujian Rangkaian Penyearah Satu Fasa

Untuk mengetahui kinerja penyearah satu fasa yang sudah dibuat maka dilakukan pengujian. Pengujian yang

dilakukan adalah pengukuran nilai tegangan sumber, arus sumber, tegangan keluaran, dan arus keluaran. Berikut merupakan tabel 4 data hasil pengujian rangkaian penyearah satu fasa dengan beban resistor.

Tabel 4. pengujian penyearah satu fasa

Beban ( $\Omega$ )	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (V)
10	15,9	2,01	12,94	1,36
20	16,78	1,4	15,9	0,89
30	17,27	1,1	17,48	0,69
40	17,53	0,93	18,41	0,53
50	17,72	0,8	19,17	0,48
60	17,85	0,7	19,75	0,43
70	17,87	0,62	20,05	0,41
80	17,9	0,57	20,33	0,37
90	18,07	0,52	20,62	0,34
100	18,3	0,48	20,87	0,3

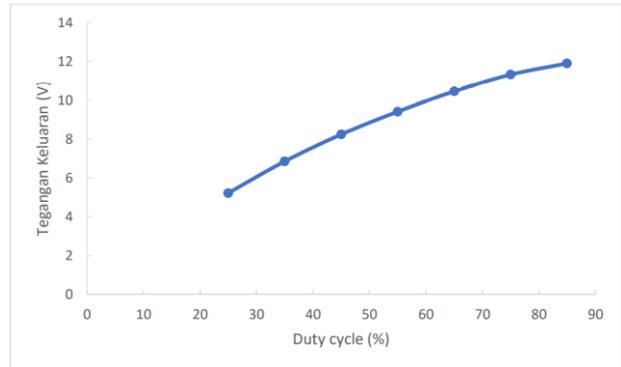


Gambar 6. Grafik hubungan beban terhadap tegangan keluaran

Pada Gambar 6 menunjukkan grafik hubungan antara beban terhadap tegangan keluaran penyearah satu fasa. Grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin kecil beban yang diberikan pada keluaran penyearah satu fasa maka tegangan keluaran mengalami drop tegangan yang diakibatkan dioda. Drop tegangan tertinggi terjadi pada variasi beban 10  $\Omega$  dengan tegangan keluaran sebesar 12,94 Volt dan terendah pada beban 100  $\Omega$  dengan tegangan keluaran sebesar 20,87 Volt.

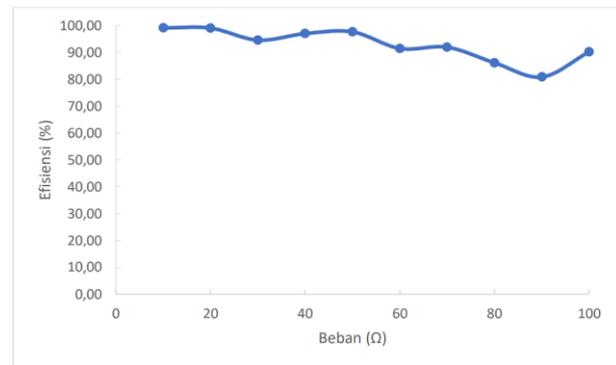
### 3.2. Pengujian Rangkaian Daya

Pengujian rangkaian daya dilakukan dengan tujuan agar mengetahui kinerja *synchronous buck converter* yang sudah dibuat. Pengujian dilakukan dengan mengukur nilai tegangan sumber, arus sumber, tegangan keluaran, dan arus keluaran.



Gambar 7. Grafik perbandingan duty cycle dengan tegangan keluaran

Dalam gambar 7 ditunjukkan apabila semakin tinggi nilai *duty cycle* yang di atur mengakibatkan tegangan keluaran juga akan mengalami kenaikan. Begitu juga sebaliknya semakin kecil nilai *duty cycle* yang di atur maka akan semakin kecil pula tegangan keluarannya.



Gambar 8. Grafik hubungan beban terhadap efisiensi

Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa efisiensi dari *synchronous buck converter* tertinggi berada pada saat beban rendah yaitu 10  $\Omega$  dengan efisiensi sebesar 99,09% dan terendah pada beban 90  $\Omega$  yaitu sebesar 80,82%.

### 3.3. Pengujian Rangkaian Kontrol

Pada pengujian rangkaian kontrol ini terdapat 2 bagian pengujian, yaitu pengujian sensor tegangan dan pengujian sensor arus yang berfungsi agar mengetahui kinerja sensor saat membaca nilai tegangan aktual dan arus aktual.

#### 3.3.1. Pengujian Sensor Tegangan

Pengujian sensor tegangan bertujuan untuk mengetahui tegangan keluaran dari *synchronous buck converter* yang sudah dibuat. Pengujian dengan cara mengukur nilai tegangan sumber, arus sumber, tegangan keluaran, dan arus keluaran

Tabel 5. Hasil pengujian sensor tegangan

Beban ( $\Omega$ )	Vin (V)	Iin(A)	Vout(V)	Iout(A)
10,00	13,81	1,14	12,00	1,30
20,00	18,41	0,53	12,08	0,80
30,00	20,06	0,37	12,10	0,58
40,00	20,60	0,29	12,07	0,48

Berdasarkan Tabel 5 ditunjukkan hasil dari pengujian sensor tegangan menghasilkan nilai tegangan yang sudah sesuai dengan tegangan *set point* yaitu 12 Volt.

### 3.3.2. Pengujian Sensor Arus

Pengujian sensor arus dilakukan dengan tujuan mengetahui arus keluaran dari *synchronous buck converter* yang sudah dibuat. Pengujian dilakukan melalui pengukuran nilai tegangan sumber, arus sumber, tegangan keluaran, dan arus keluaran

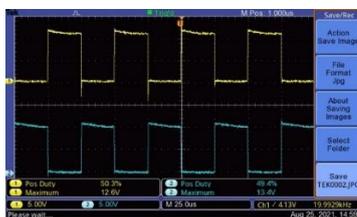
Tabel 6. Hasil pengujian sensor arus

Beban ( $\Omega$ )	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)
10	20,2	0,38	5,5	0,8
20	18,3	0,52	10,6	0,81
30	17,02	0,64	15,6	0,8
40	17,57	0,68	17,02	0,74

Pada tabel 6 dapat dilihat arus keluaran dari *synchronous buck converter* sudah sesuai dengan nilai yang telah diatur saat pengujian yaitu sebesar  $\pm 0,8$  Ampere. Nilai arus terendah berada pada variasi beban  $40\Omega$  yaitu sebesar  $0,74$  Ampere. Hal ini dikarenakan beban pada saat pengujian yang kecil atau alat ukur yang kurang presisi.

### 3.4. Pengujian Rangkaian Driver

Uji rangkaian driver dilakukan agar mengetahui gelombang PWM dari pin HO dan LO dari IR2110. Pengujian dilakukan dengan mengukur nilai frekuensi, *duty cycle* dan amplitudo sinyal PWM.



Gambar 9. Gelombang keluaran PWM IR2110 *duty cycle* 50%

Pada gambar 9 Menunjukkan keluaran rangkaian driver IR2110. Nilai *duty cycle* pada pin HO bernilai 50,3% dan pada LO 49,4%. Frekuensi PWM menunjukkan nilai 20kHz. Dan nilai tegangannya sudah sesuai yaitu sebesar 12 Volt.

### 3.5. Pengujian Pengisian Baterai

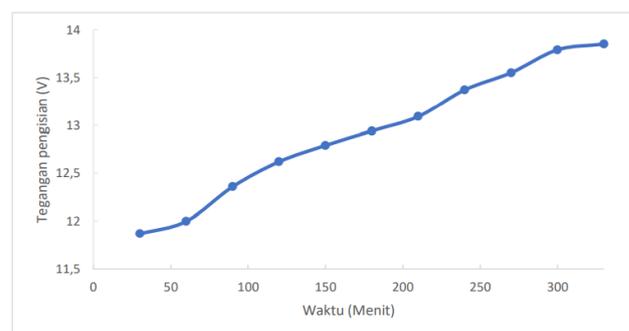
Pengujian rangkaian daya untuk pengisian baterai bertujuan untuk mengetahui tegangan keluaran, arus keluaran serta waktu yang diperlukan untuk pengisian baterai dari *synchronous buck converter* yang sudah dibuat. Pengujian dengan cara mengukur tegangan keluaran, arus keluaran dan waktu pengisian. Pengambilan data dilakukan setiap 30 menit sekali. Dibawah ini merupakan tabel 7 hasil pengujian *synchronous buck converter* untuk pengisian baterai.

Tabel 7. pengujian *synchronous buck converter* untuk pengisian baterai

Waktu (Menit)	Arus (A)	Tegangan pengisian (V)
30	1,29	11,87
60	1,21	12
90	1,14	12,36
120	1,2	12,62
150	1,1	12,79
180	1,09	12,94
210	0,99	13,09
240	0,96	13,37
270	0,89	13,55
300	0,84	13,79
330	0,71	13,85

Pada tabel 7 nilai tegangan dan arus keluaran *synchronous buck converter* diambil setiap 30 menit sekali. Pengisian dilakukan selama 330 menit atau 5 jam 30 menit, pengujian dimulai pukul 10.30 sampai 16.00 WIB.

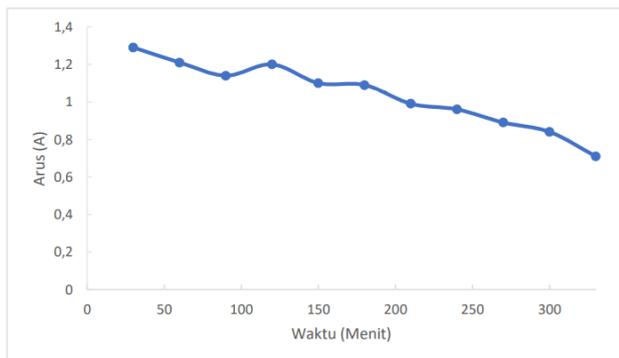
#### 3.5.1. Pengujian Tegangan Pengisian Baterai



Gambar 10. Grafik tegangan pengisian terhadap waktu

Dari gambar 10 dapat dilihat bahwa karakteristik tegangan pengisian baterai mengalami kenaikan yang cukup drastis dari menit 30 hingga menit ke 300 dengan besar tegangan 11,87 Volt hingga 13,85 Volt, karena pada fase ini pengisian dalam mode arus konstan dimana arus yang masuk lebih besar dari pada arus pada saat mode tegangan konstan. Kemudian mulai melandai pada pukul 300 hingga menit ke 330 pada fase ini pengisian dalam mode tegangan konstan yang mana diatur sebesar 13.85 volt.

### 3.5.2. Pengujian Tegangan Pengisian Baterai



Gambar 11. Grafik arus pengisian terhadap waktu

Dari gambar 11 dapat dilihat karakteristik arus pengisian dengan mengatur mode arus konstan sebesar 1,2 Ampere. Nilai arus tertinggi terjadi pada saat awal pengisian yaitu pada menit awal sebesar 1,29 Ampere. Kemudian turun tidak terlalu signifikan hingga menit ke 300 yaitu sebesar 0,84 Ampere. Pada waktu tersebut tegangan sudah mencapai tegangan yang sudah diatur untuk mengakhiri mode arus konstan yaitu sebesar 13,8 Volt dilanjut dengan mode tegangan konstan hingga mencapai 13,85 Volt yang mana arus keluaran *synchronous buck converter* mulai menurun perlahan hingga pada akhir pengisian yaitu pada menit ke 330 arus pengisian sebesar 0,71 Ampere. Pengisian diakhiri pada menit ke 330 dikarenakan target tegangan pengisian sudah tercapai yaitu sebesar 13,85 volt.

## 4. Kesimpulan

*Synchronous buck converter* telah berhasil direalisasikan dan dapat menghasilkan tegangan dan arus keluaran DC terkontrol. Pada pengujian *Synchronous buck converter* dengan umpan balik tegangan memiliki efisiensi tertinggi pada variasi beban  $10\Omega$  sebesar 99,09% dan efisiensi terkecil pada variasi beban  $90\Omega$  sebesar 80,82%. Pada pengujian *Synchronous buck converter* umpan balik arus dengan variasi beban resistif nilai arus yang keluar sudah sesuai dengan nilai arus set poin sebesar 0,8 A. Arus keluaran *Synchronous buck converter* untuk pengisian baterai sudah sesuai dengan nilai set poin sebesar 1,2 A. nilai arus tertinggi berada pada saat pengisian baterai dimenit awal sebesar 1,29 A dan sedikit melandai hingga menit ke 300 sebesar 0,84 A, pada fase ini pengisian baterai sedang berada pada fase arus konstan. Tegangan keluaran *Synchronous buck converter* untuk pengisian baterai sudah sesuai dengan nilai *set poin* sebesar 13,85 Volt. Nilai tegangan terendah berada pada menit awal sebesar 11,87 Volt dan terus naik hingga menit 300 sebesar 13,79 Volt, kemudian mulai melandai hingga tegangan mencapai 13,85 Volt pada menit 330, pada fase ini pengisian baterai sedang berada pada fase tegangan konstan. Waktu yang diperlukan untuk pengisian baterai yaitu 330 menit atau 5 jam 30 menit.

## Referensi

- [1]. R. Susana, K. Rosyidi, dan D. Nataliana. Penerapan Teknik MPPT pada Modul Surya menggunakan Konverter DC-DC Topologi Synchronous Buck. *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.* 2018; vol. 6: hal. 328.
- [2]. Narko, Fatahula, dan Sagi. Perancangan Suplai Tegangan Cadangan Untuk Mengantisipasi Supaya Baterai Ups Di Electric Room 5 Tidak Kehabisan Daya. *POLITEKNOLOGI.* 2015; vol. 14: hal 3.
- [3]. A. Pescetelli, E. Paolucci, dan A. Tinè. Lead/acid batteries. *Ind. Chem. Libr.* 2001; vol. 10: hal. 225–261.
- [4]. W. Hart Danial. *Power Electronics.* New York, USA: McGraw-Hill, 2011.
- [5]. Infineon. Synchronous buck converter with XMC™ Digital. *www.infineon.com.* 2016.
- [6]. J. Ejury. Buck Converter Design. *Infineon Technol. North Am.* 2013: hal. 1–17.
- [7]. A. Lindiya, S. Palani, dan M. Iyyappan. Performance comparison of various controllers for DC-DC synchronous buck converter. *Procedia Eng.* 2012; vol. 38: hal. 2679–2693.
- [8]. C. Zebua. Perancangan bidirectional dc-dc converter dengan metode kontrol self-tuning pi menggunakan logika fuzzy. Semarang. Universitas Diponegoro; 2020.
- [9]. H. A. Kiehne. *Battery Technology Handbook Second Edition.* Ohio USA, 2003.
- [10]. F. A. Fariz. Perancangan sistem pencarian titik daya maksimum panel surya dengan algoritma perturb and observe menggunakan konverter arus searah tipe boost. Semarang. Universitas Diponegoro; 2018.
- [11]. International Rectifier. IR2110(S)PbF/IR2113(S)PbF *Data Sheet.* 2007. California, USA; hal. 1–8.
- [12]. Atmel. ATmega328 / P AVR *Microcontrollers Data Sheet.* 2016. California, USA; hal. 442.
- [13]. D. Jauregui, B. Wang, dan R. Chen. Power Loss Calculation with Common Source Inductance consideration for Synchronous Buck Converters. *SLPA009-20011 Texas Instruments.* 2011. hal. 17.
- [14]. International Rectifier. IRFZ44NPbF *Data Sheet.* 2010. California USA. hal. 1–8.
- [15]. Radiospares. Arduino Nano 3.0 (ATmega328). vol. 328. 2011.
- [16]. J. Sreedhar. Converter for UPS Application. *GITAM University.* 2016.