



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - EE 184801

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI BATERAI CHARGER
LI-PO MENGGUNAKAN KONVERTER *BUCK* DENGAN
METODE *CONSTANT CURRENT CONSTANT
VOLTAGE***

Dwi Sigit Sutrisno
NRP 07111540000006

Dosen Pembimbing
Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.
Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - EE 184801

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI BATERAI CHARGER
LI-PO MENGGUNAKAN KONVERTER *BUCK* DENGAN
METODE *CONSTANT CURRENT CONSTANT
VOLTAGE***

Dwi Sigit Sutrisno
NRP 0711154000006

Dosen Pembimbing
Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.
Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 184801

**DESIGN AND IMPLEMENTATION BATTERY
CHARGER *LI-PO* USE *BUCK* CONVERTER WITH
CONSTANT CURRENT CONSTANT VOLTAGE
METHOD**

Dwi Sigit Sutrisno
NRP 07111540000006

Supervisors
Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.
Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas akhir saya dengan judul "**DESAIN DAN IMPLEMENTASI BATERAI CHARGER LI-PO MENGGUNAKAN KONVERTER BUCK DENGAN METODE CONSTANT CURRENT CONSTANT VOLTAGE**" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2019


Dwi Sigit Sutrisno
0711154000006

Halaman ini sengaja dikosongkan

**DĒSAIN DAN IMPLEMENTASI BATERAI
CHARGER LI-PO MENGGUNAKAN KONVERTER
BUCK DENGAN METODE CONSTANT CURRENT
CONSTANT VOLTAGE**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Heri Suryatmojo, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 198006032006041003

Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.
NIP. 195512071980031004



Halaman ini sengaja dikosongkan

DESAIN DAN IMPLEMENTASI BATERAI CHARGER *LI-PO* MENGUNAKAN KONVERTER *BUCK* DENGAN METODE *CONSTANT CURRENT CONSTANT VOLTAGE*

Dwi Sigit Sutrisno
0711154000006

Pembimbing I: Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.
Pembimbing II: Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

ABSTRAK

Baterai adalah perangkat yang dapat menyimpan energi listrik. Setelah digunakan sebagai sumber energi, baterai akan berkurang kapasitas energinya, supaya dapat kembali ke kapasitas maksimumnya kembali maka baterai tersebut perlu discharge. Metode yang umum digunakan untuk mencharge baterai *li-po* adalah *constant current constant voltage* yaitu dengan memberikan arus konstan terlebih dahulu dan dilanjutkan tegangan konstan pada kondisi tertentu. Untuk mendapatkan tegangan yang diinginkan, maka baterai *li-po* dapat disusun secara seri. Penyusunan baterai secara seri ini mengakibatkan waktu untuk mencharge setiap sel baterai menjadi tidak sama karena setelah digunakan maka setiap sel akan memiliki tegangan yang berbeda. Pada tugas akhir ini akan diusulkan charger baterai *li-po* yang dapat mencharge setiap sel pada baterai tersebut secara sendiri-sendiri sehingga tidak menyebabkan overcharging pada sel baterai. Charger *li-po* ini menggunakan konverter *buck* dengan metode *constant current constant voltage*. Pada implementasinya, controller PI pada konverter *buck* ini dapat menghasilkan arus konstan dan tegangan konstan pada beban resistor, jika pada baterai memiliki ripple arus 10% saat *constant current*. Pengujian charging baterai hingga penuh menunjukkan waktu yang berbeda pada setiap sel yaitu sel 1 selama 84 menit, sel 2 selama 92 menit dan sel 3 selama 76 menit. Rata-rata efisiensi sebesar 88,3% untuk konverter 1, konverter 2 sebesar 89,4% dan konverter 3 sebesar 89,3%.

Kata kunci: *Charger* Baterai, *Li-Po*, *CC-CV*, Konverter *buck*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DESIGN AND IMPLEMENTATION BATTERY CHARGER *LI-PO* USE BUCK CONVERTER WITH *CONSTANT CURRENT CONSTANT VOLTAGE* METHOD

Dwi Sigit Sutrisno
0711154000006

Supervisor I: Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.
Supervisor II: Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

ABSTRACT

Battery is a device that can store electrical energy. After being used as an energy source, energy capacity of the battery would be reduced, so that it can return to its maximum capacity, the battery needs to be charged. The method that is commonly used to charge li-po batteries is a constant current constant voltage, which is to keep a constant current first and to continue a constant voltage under certain conditions. To get the desired voltage, the li-po battery can be arranged in series. Arranged of batteries in series can make time to charge each cell of the battery to be not the same because after being used then each cell will have a different voltage. In this final project, a li-po battery charger will be proposed which can charge each cell on the battery individually so that it does not cause overcharging on the battery cell. This li-po charger uses a buck converter with constant current constant voltage method. On the implementation of buck converter, PI controller can make a constant current constant voltage in resistor as load, if in battery it will produce ripple of current 10% in *constant current* mode. The charging test for the battery until full shows different times for each cell, cell 1 for 84 minutes, cell 2 for 92 minutes and cell 3 for 76 minutes. They have average efficiency of 88.3% for converter 1, converter 2 is 89, 4% and converter 3 is 89.3%.

Key Word: Battery Charger, *Li-Po*, *CC-CV*, *Buck Converter*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena atas limpahan berkah, rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan buku tugas akhir ini dengan judul **“DESAIN DAN IMPLEMENTASI BATERAI CHARGER LI-PO MENGGUNAKAN KONVERTER BUCK DENGAN METODE CONSTANT CURRENT CONSTANT VOLTAGE”**.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ayah dan Ibu penulis yang selalu memberikan doa serta motivasi kepada penulis.
2. Bapak Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D. dan Dr. Ir. Soediby, M.MT selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan masukan dan bimbingan selama proses penyelesaian tugas akhir ini.
3. Teman-teman asisten Laboratorium Konversi Energi B101 yang selalu memberikan support dan motivasinya.
4. Teman-teman e55 dan semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis mengucapkan terima kasih atas segala doa dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis selama ini. Penulis juga memohon maaf atas segala kekurangan pada tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi mahasiswa Teknik Elektro ITS pada khususnya dan seluruh pembaca pada umumnya.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGESAHAN	
PERNYATAAN KEASLIAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
1.7 Relevansi.....	4
BAB 2 BATERAI CHARGER <i>LI-PO</i> MENGGUNAKAN KONVERTER <i>BUCK</i> DENGAN METODE <i>CONSTANT CURRENT CONSTANT VOLTAGE</i>	5
2.1 Baterai <i>Lithium-Polymer</i>	5
2.2 Konverter <i>Buck</i>	5
2.2.1 Analisis Sakelar Tertutup.....	6
2.2.2 Analisis Sakelar Terbuka	7
2.2.3 Penurunan Parameter Komponen.....	9
2.3 Pengisian Daya Baterai	11
2.4 <i>Kontroller</i> PID	13
BAB 3 DESAIN, SIMULASI, DAN IMPLEMENTASI	17
3.1 Diagram Blok Sistem	17
3.2 Desain Charger Baterai <i>Lithium-Polymer</i>	18
3.3 Desain Konverter Buck	18
3.3.1 Penentuan Nilai Duty Cycle.....	19
3.3.2 Penentuan Nilai Beban.....	19
3.3.3 Penentuan Nilai Kapasitor	20
3.3.4 Penentuan Nilai Induktor	21
3.3.5 Penentuan MOSFET	23

3.3.6	Penentuan Dioda.....	24
3.4	Simulasi Desain Charger Baterai menggunakan Konverter Buck	25
3.4.1	Simulasi Konverter dalam Keadaan Steady State.....	25
3.4.2	Simulasi <i>Constant Current</i>	30
3.4.3	Simulasi <i>Constant Voltage</i>	33
3.4.4	Simulasi Charging Baterai.....	35
3.5	Implementasi Baterai Charger dengan Konverter <i>Buck</i>	40
BAB 4 HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA		43
4.1	Peralatan Pengujian Konverter	43
4.2	Pengujian Sensor Arus dan Tegangan	43
4.3	Pengujian Sinyal Komponen	45
4.3.1	Pengujian Pensakelaran	45
4.3.2	Pengujian Arus Induktor.....	47
4.3.3	Pengujian Tegangan Dioda.....	49
4.3.4	Pengujian Tegangan <i>Output</i> dan Tegangan <i>Input</i> Konverter.....	51
4.4	Pengujian Efisiensi Konverter	53
4.5	Pengujian <i>Constant Current Constant Voltage</i>	55
4.6	Pengujian Charging Baterai	62
BAB 5 KESIMPULAN.....		65
5.1	Kesimpulan	65
5.2	Saran	65
DAFTAR PUSTAKA.....		67
LAMPIRAN		69
BIODATA PENULIS		77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rangkaian Konverter Buck.....	6
Gambar 2.2 Rangkaian Konverter <i>Buck</i> ketika Q tertutup	6
Gambar 2.3 Rangkaian Konverter <i>Buck</i> ketika Q terbuka.....	7
Gambar 2.4 Gelombang keluaran Buck Konverter[4]	9
Gambar 2.5 Proses pengisian <i>CC CV</i> [8].....	13
Gambar 2.6 Diagram Blok Kontroler PID.....	14
Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem Baterai Charger	17
Gambar 3.2 Simulasi Rangkaian Buck Konverter.....	25
Gambar 3.3 Bentuk Gelombang Tegangan <i>Gate-Source</i> , Tegangan <i>Drain-Source</i>	26
Gambar 3.4 Bentuk Gelombang Tegangan <i>Gate-Source</i> , Arus Induktor	27
Gambar 3.5 Bentuk Gelombang Tegangan <i>Gate-Source</i> , Tegangan Dioda.....	28
Gambar 3.6 Bentuk Gelombang Tegangan <i>Input</i> , Tegangan Kapasitor dan Tegangan <i>Output</i>	29
Gambar 3.7 Simulasi rangkaian <i>buck</i> konverter saat mode <i>constant</i> <i>current</i>	30
Gambar 3.8 Hasil simulasi <i>CC</i> dengan beban $R\ 2,5\Omega$	31
Gambar 3.9 Hasil simulasi <i>CC</i> dengan beban $R\ 5\Omega$	32
Gambar 3.10 Simulasi <i>CV</i> dengan beban $R\ 10\Omega$	33
Gambar 3.11 Simulasi <i>CV</i> dengan beban $R\ 15\Omega$	34
Gambar 3.12 Simulasi charging baterai dengan menggunakan <i>Constant</i> <i>Current Constant Voltage</i>	35
Gambar 3.13 Simulasi Baterai Charging (a) Kontroler <i>CC-CV</i> (b) Buck Konverter.....	36
Gambar 3.14 Hasil simulasi charging baterai (a) Arus (b) Tegangan (c) SOC.....	38
Gambar 3.15 <i>Flowchart Constant Current Constant Voltage</i>	39
Gambar 3.16 Implementasi Konverter <i>Buck</i>	41
Gambar 3.17 Implementasi Konverter <i>Buck</i> (a) Komponen Konverter (b) Sensor Tegangan.....	42
Gambar 4.1 Bentuk Gelombang <i>VGS</i> dan <i>VDS</i> (a) Konverter 1 (b) Konverter 2 (c) Konverter 3	46

Gambar 4.2 Bentuk Gelombang Arus Induktor (a) Konverter 1 (b) Konverter 2 (c) Konverter 3.....	48
Gambar 4.3 Bentuk Gelombang Tegangan <i>Gate-Source</i> dan Tegangan Dioda (a) Konverter 1 (b) Konverter 2 (c) Konverter 3	50
Gambar 4.4 Bentuk Gelombang Tegangan <i>Output</i> dan Tegangan <i>Input</i> (a) Konverter 1 (b) Konverter 2 (c) Konverter 3.....	52
Gambar 4.5 Grafik Efisiensi (a) Konverter 1 (b) Konverter 2 (c) Konverter 3	54
Gambar 4.6 Pengujian <i>Constant Current Constant Voltage</i> Konverter 1	57
Gambar 4.7 Pengujian <i>Constant Current Constant Voltage</i> Konverter 2	59
Gambar 4.8 Pengujian <i>Constant Current Constant Voltage</i> Konverter 3	61
Gambar 4.9 Grafik charging baterai <i>Li-Po</i> (a) Sel 1 (b) Sel 2 (c) Sel 3.	63

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik <i>Kontroller</i> P, PI, dan PID	14
Tabel 3.1 Spesifikasi baterai <i>Li-Po</i>	18
Tabel 3.2 Spesifikasi charger baterai.....	18
Tabel 3.3 Desain Spesifikasi Konverter	19
Tabel 3.4 Parameter Komponen yang digunakan pada Konverter	25
Tabel 3.5 Parameter Komponen Konverter	40
Tabel 4.1 Pengujian sensor arus	44
Tabel 4.2 Pengujian sensor tegangan	44

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era globalisasi ini, banyak perangkat listrik yang menggunakan baterai sebagai sumber energinya. Perangkat listrik yang dimaksud adalah seperti laptop, pesawat tanpa awak (UAV), bahkan kendaraan listrikpun menggunakan baterai sebagai sumber energinya. Baterai merupakan perangkat yang dapat menyimpan energi listrik. Adapun jenis baterai yang beredar di masyarakat adalah seperti berikut *Lead Acid, Ni-CD, Li-On, dan Li-Po*. Dari sekian baterai yang telah disebutkan diatas maka baterai *Li-Po* adalah salah satu yang paling banyak digunakan, karena baterai *Li-Po* mempunyai banyak kelebihan seperti kapasitas besar dengan ukuran fisik kecil, tidak ada efek memori dan dapat mensuplai arus yang tinggi hingga mencapai 20 kali kapasitasnya[1]. Setelah baterai digunakan maka akan menyebabkan baterai tersebut berkurang kapasitasnya, untuk dapat kembali ke kapasitas maksimumnya maka baterai harus dicharge terlebih dahulu. Ada beberapa metode untuk mencharge baterai, salah satu metodenya adalah *Constant Current Constant Voltage (CC-CV)*, metode ini sesuai untuk baterai *Li-Po* karena usia baterai *Li-Po* sangat dipengaruhi oleh kondisi overcharging sehingga dengan menggunakan metode ini dapat memperpanjang usia baterai[2].

Untuk mencapai tegangan yang ingin ditentukan maka baterai *Li-Po* dapat disusun secara seri. Akan tetapi penyusunan baterai secara seri ini harus memperhatikan kondisi tegangan tiap sel, karena setelah digunakan setiap sel akan mempunyai tegangan yang berbeda. Ketika kondisi setiap sel berbeda, maka saat baterai di charging, maka setiap sel akan mempunyai waktu yang berbeda untuk mencapai kapasitas penuh sehingga sel baterai tersebut tidak akan penuh dalam waktu bersamaan. Sehingga ketika hal tersebut dibiarkan, akan menimbulkan overcharging pada baterai yang mengakibatkan kerusakan pada baterai bahkan bisa meledakkan baterai tersebut[1]. Untuk dapat mencharge baterai tersebut dengan kondisi tegangan sel yang berbeda maka ada beberapa metode, salah satu metodenya adalah dengan melakukan charging secara terpisah kepada setiap sel atau dengan kata lain setiap sel pada baterai akan dicharge sendiri sehingga proses charging baterai *Li-Po* aman dan tidak terjadi overcharging. Untuk dapat melakukan proses *charging* baterai secara *Constant Current Constant Voltage* dapat menggunakan *buck*

konverter, pemilihan *buck konverter* ini dikarenakan *buck konverter* memiliki output tegangan dan arus dengan *ripple* kecil[3] sehingga sesuai untuk digunakan dalam proses charging baterai.

Maka dari itu, pada tugas akhir ini dirancang dan diimplementasikan sebuah charger baterai dengan topologi *buck konverter* menggunakan metode *Constant Current Constant Voltage* sehingga baterai *Li-Po* dapat digunakan sesuai kebutuhan dan aman dalam proses chargingnya.

1.2 Permasalahan

Penyusunan baterai *Lithium-Polymer* secara seri untuk mendapatkan tegangan yang diinginkan menyebabkan kondisi tegangan tiap sel menjadi tidak sama setelah baterai tersebut digunakan. Oleh karena itu diperlukan suatu charger yang bisa mengisi ulang baterai yang disusun secara seri tersebut tanpa menyebabkan salah satu sel mengalami overcharging.

1.3 Tujuan

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Mendesain dan mengimplementasikan *buck konverter* sehingga dapat melakukan proses pengisian baterai secara *Constant Current Constant Voltage*.
2. Mendapatkan nilai parameter dari *buck konverter* sehingga didapatkan nilai tegangan dan arus yang diinginkan.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah:

1. Jenis baterai yang digunakan pada tugas akhir ini adalah *Lithium-Polymer* yang tersusun secara seri dengan jumlah maksimal tiga sel.
2. Baterai *Li-Po* yang diuji memiliki kapasitas 1800mAh
3. Konverter yang digunakan adalah *buck konverter*.
4. Proses pengisian baterai akan dilakukan secara sendiri-sendiri atau setiap sel.
5. Implementasi alat disesuaikan dengan komponen yang tersedia dipasaran dan peralatan di laboratorium Konversi Energi.

1.5 Metodologi

1. Studi Literatur

Pada tahap ini akan dilakukan tinjauan pustaka tentang baterai charger, *buck konverter*, metode *CC-CV*, yang kemudian dijadikan referensi untuk mengerjakan tugas akhir. Tinjauan pustaka bisa didapat dari jurnal, paper, tugas akhir..

2. Perancangan Konverter Buck

Pada tahap ini akan dilakukan perancangan konverter buck untuk menentukan nilai parameternya(komponennya) sehingga didapatkan arus dan tegangan diinginkan.

3. Simulasi

Setelah menentukan nilai parameter dari rangkaian, maka langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi dengan menggunakan software Matlab. Simulasi konverter buck terdiri dari dua tahap, yaitu constant current dan constant voltage. Untuk constant current dilakukan dengan mengatur nilai set poin di kontroler dan diamati apakah nilai outputnya sudah sesuai dengan set poin. Sedangkan untuk constant voltage juga sama dengan constant current, yaitu dilakukan dengan mengatur nilai set poin nya dan dibandingkan dengan outputnya.

4. Implementasi dan Pengujian

Pada tahap ini akan dilakukan implementasi dari simulasi yang telah dilakukan dengan membuat hardwarenya. Langkah pertama membuat PCB untuk buck konverter dengan menggunakan software Eagle. Selanjutnya memasang komponen yang telah ditentukan. Selain itu juga membuat program pada *mikrokontroler* arduino untuk kontrol switching pada konverter. Kemudian dilakukan pengujian untuk melakukan charging baterai dan selanjutnya melakukan pengambilan data. Untuk parameter yang diamati adalah nilai arus dan tegangan dari buck konverter.

5. Analisis Data

Pada tahap ini akan dilakukan analisis data dengan cara membandingkan data dari hasil simulasi dengan data dari implementasi hardware. Jika data dari implementasi hardware belum sesuai dengan simulasi maka akan dilakukan perbaikan pada hardwarenya sampai sesuai dengan hasil simulasi.

6. Pembuatan Laporan

Pada tahap ini akan dilakukan pembuatan laporan tugas akhir berdasarkan data yang diperoleh dan proses-proses yang telah dilakukan. Pembuatan laporan ini beriringan dengan pengerjaan tugas akhir.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

Bab 1 : Pendahuluan

Bab ini membahas tentang penjelasan mengenai latar belakang, permasalahan dan batasan masalah, tujuan, metode tugas akhir, sistematika pembahasan, dan relevansi.

Bab 2 : Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi teori penunjang yang membahas tentang baterai *Lithium-Polymer*, *konverter buck*, proses pengisian baterai dengan metode *Constant Current Constant Voltage*.

Bab 3 : Desain, Simulasi, dan Implementasi

Bab ini membahas mengenai perancangan *buck konverter* secara matematis, simulasi menggunakan perangkat lunak, dan implementasi *konverter buck* untuk dapat melakukan proses pengisian baterai secara *Constant Current Constant Voltage*.

Bab 4 : Pengujian dan Analisis Data

Bab ini membahas pengujian dan analisis data *buck konverter* untuk mencharging baterai *Li-Po* secara *CC-CV* dari hasil simulasi dan implementasi.

Bab 5 : Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah dilakukan.

1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari pelaksanaan tugas akhir diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain:

1. Dapat digunakan sebagai referensi dalam pengembangan charger baterai dengan menggunakan *konverter buck*.
2. Dapat digunakan sebagai referensi bagi mahasiswa lain dalam mengerjakan tugas akhir dengan topik yang serupa.

BAB 2

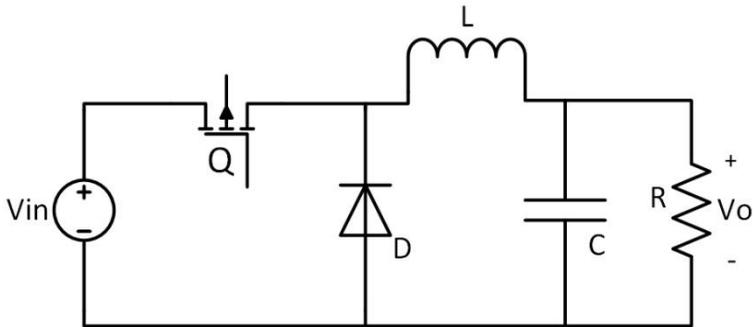
BATERAI CHARGER *LI-PO* MENGGUNAKAN KONVERTER *BUCK* DENGAN METODE *CONSTANT CURRENT CONSTANT VOLTAGE*

2.1 Baterai *Lithium-Polymer*

Baterai *Lithium Polymer* adalah salah satu jenis baterai yang paling populer untuk peralatan elektronik portabel, karena memiliki kapasitas yang besar untuk ukuran yang kecil, memiliki kepadatan energi terbaik dan tidak memiliki efek memori[1]. Baterai *Li-Po* tersusun dari elektrolit polimer kering yang berbentuk seperti lapisan plastik film tipis. Lapisan film ini dibuat secara berlapis-lapis diantara anoda dan katoda sehingga dapat menyebabkan pertukaran ion. Dengan dibuat berlapis-lapis maka baterai *Li-Po* dapat dibuat dalam berbagai bentuk dan ukuran. Selain itu baterai *Li-Po* juga memiliki kelebihan yaitu laju discharge yang tinggi[1]. Akan tetapi baterai *Li-Po* juga memiliki beberapa kekurangan yaitu memiliki siklus *lifetime* yang pendek dibanding jenis baterai lainnya, baterai *Li-Po* juga memiliki sifat kimia yang menyebabkan baterai tersebut mudah terbakar, dan baterai *Li-Po* membutuhkan perawatan khusus ketika baterai tersebut dibebani, disipan, discharge ataupun dibuang[1].

2.2 Konverter *Buck*

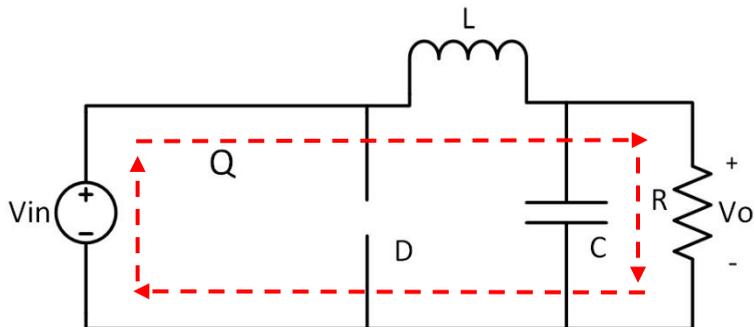
Konverter *buck* merupakan jenis konverter dc dc yang menghasilkan tegangan output yang lebih kecil daripada tegangan input. Konverter ini terdiri dari tegangan masukan, sakelar semikonduktor, induktor, dioda, kapasitor, dan beban[4]. Dalam konverter *Buck* terdapat dua mode arus yang mengalir yaitu mode arus kontinu atau *Continuous Current Mode (CCM)* dan mode arus diskontinu atau *Discontinuous Current Mode (DCM)*[5]. Mode arus kontinu(*CCM*) ditandai dengan arus induktor saat *charge* dan *discharge* mengalir secara terus menerus atau tidak pernah bernilai nol. Sedangkan mode arus diskontinu (*DCM*) ditandai dengan adanya interval arus induktor yang bernilai nol untuk beberapa saat pada saat proses *charge* dan *discharge*. Pada pembahasan dibawah ini diterapkan saat konverter pada mode arus kontinu(*CCM*). Rangkaian konverter *buck* ditunjukkan pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Rangkaian Konverter Buck

2.2.1 Analisis Sakelar Tertutup

Pada saat sakelar Q konduksi, dioda dalam keadaan dalam keadaan *reverse bias*. Arus dari tegangan masukan akan mengalir melalui sakelar, induktor, beban R lalu kembali menuju ke sumber tegangan dc.



Gambar 2.2 Rangkaian Konverter *Buck* ketika Q tertutup

Gambar 2.2 diatas merupakan rangkaian ekuivalen konverter ketika sakelar Q tertutup. Persamaan yang dapat diturunkan dari rangkaian diatas adalah:

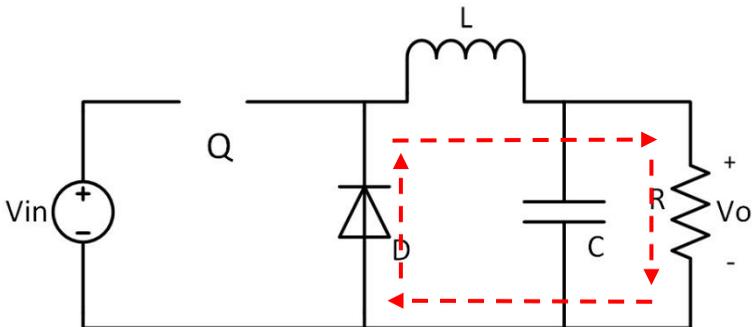
$$V_{in} = V_L + V_O \quad \text{dimana } V_L = L \frac{dI}{dt} \quad (2.1)$$

$$V_{in} = L \frac{dI}{dt} + V_O \quad (2.2)$$

$$V_{in} = L \frac{\Delta I}{t_{on}} + V_O \quad (2.3)$$

2.2.2 Analisis Sakelar Terbuka

Analisis ketika Q terbuka, dioda dalam keadaan *forward biased*. Induktor L mengalami mode *discharge* dan arus menuju beban lalu dioda dan kembali lagi menuju induktor.



Gambar 2.3 Rangkaian Konverter *Buck* ketika Q terbuka

Gambar 2.3. diatas merupakan rangkaian ekuivalen konverter ketika sakelar Q terbuka. Persamaan yang dapat diturunkan dari rangkaian diatas adalah:

$$V_O = V_L \quad \text{dimana } V_L = L \frac{dI}{dt} \quad (2.4)$$

$$V_O = L \frac{dI}{dt} \quad (2.5)$$

$$V_O = L \frac{\Delta I}{t_{off}} \quad (2.6)$$

$$L \Delta I = V_O t_{off} \quad (2.7)$$

Hasil pada persamaan 2.3 dan 2.7 dapat disubstitusikan menjadi persamaan sebagai berikut:

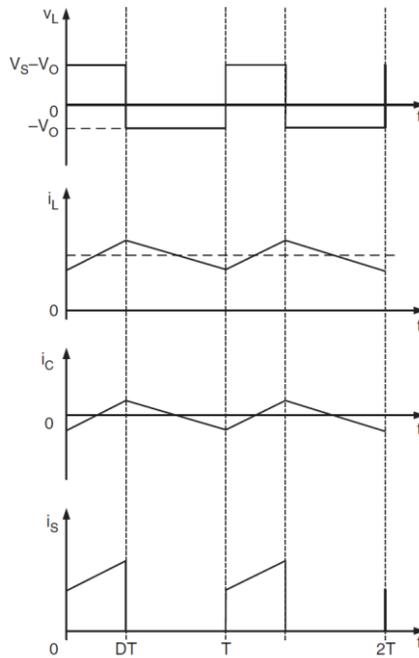
$$V_{in} = V_O \frac{t_{off}}{t_{on}} + V_O \quad (2.8)$$

$$V_{in} = V_O \left(1 + \frac{t_{off}}{t_{on}} \right) \quad (2.9)$$

$$V_O = D V_{in} \quad (2.10)$$

Didapatkan persamaan 2.10 yang merupakan persamaan nilai tegangan *output* dari konverter *buck*. Dari persamaan tersebut dapat disimpulkan bahwa tegangan output konverter *buck* adalah berbanding lurus dengan tegangan masukan dan *duty cycle*. Nilai dari *duty cycle* adalah 0 sampai 100%. *Duty cycle* bernilai 0 jika sakelar Q tidak pernah konduksi sama sekali, dan bernilai 100% jika sakelar Q konduksi secara terus menerus.

Gambar 2.4 merupakan gelombang keluaran konverter *Buck* dimana pada gambar dibawah dapat dilihat bahwa arus pada induktor (I_L) merupakan arus DC yang nilainya tidak bernilai nol (*CCM*). Lebar periode dari arus induktor bergantung pada frekuensi yang diberikan oleh rangkaian kontrol. Saat sakelar konduksi maka akan terjadi pengisian arus induktor ditandai dengan arus induktor yang mulai naik. Selanjutnya saat sakelar terbuka maka akan terjadi pengosongan arus induktor yaitu ditandai dengan arus induktor yang bergerak turun. Lama waktu sakelar konduksi atau terbuka ditentukan oleh besarnya *duty cycle*. Semakin besar nilai *duty cycle*, maka semakin besar pula tegangan output yang dihasilkan oleh konverter *Buck* dan sebaliknya. Akan tetapi nilai tegangan output dari konverter *Buck* selalu lebih kecil atau sama dengan tegangan masukannya sesuai dengan persamaan 2.10.



Gambar 2.4 Gelombang keluaran Buck Konverter[4]

2.2.3 Penurunan Parameter Komponen

Konverter *Buck* mempunyai parameter-parameter komponen yang perlu ditentukan nilainya. Parameter komponen yang perlu ditentukan nilainya adalah induktor L , kapasitor C dan resistor R .

Untuk mendapatkan nilai induktor maka perlu ditentukan terlebih dahulu parameter lainnya seperti nilai riak arus ΔI dan frekuensi switching sakelar. Penentuan nilai induktor dapat dihitung saat sakelar dalam kondisi konduksi ataupun terbuka. Perhitungan nilai induktor saat kondisi konduksi dapat menggunakan persamaan :

$$V_{in} = L \frac{\Delta I}{t_{on}} + V_O \quad (2.11)$$

$$L = \frac{V_{in} - V_O}{\Delta I} t_{on} \quad (2.12)$$

Substitusi dengan persamaan 2.10 maka persamaan diatas akan menjadi :

$$L = \frac{V_{in}(1-D)}{\Delta I} t_{on} \quad \text{dimana } t_{on} = k/T = k f \quad (2.13)$$

$$L = \frac{V_{in}(1-D)D}{\Delta I f} \quad (2.14)$$

Selanjutnya untuk menentukan nilai kapasitor dari konverter *buck* dapat dengan menggunakan persamaan tegangan saat kondisi kapasitor discharge. Discharge kapasitor atau pengosongan kapasitor terjadi saat sakelar Q tertutup. Dalam menentukan nilai kapasitor maka perlu ditentukan dahulu nilai riak tegangannya ΔV . Riak tegangan adalah selisih antara tegangan maksimal dengan tegangan minimal atau $\Delta V = V_{max} - V_{min}$. Tegangan maksimal didapatkan dengan cara tegangan output V_O ditambah dengan setengah riak tegangan ($\Delta V/2$), sebaliknya untuk mendapatkan tegangan minimal adalah dengan tegangan output V_O dikurangi dengan setengah riak tegangannya.

$$V_{max} = V_O + \frac{\Delta V}{2} \quad (2.15)$$

$$V_{min} = V_O - \frac{\Delta V}{2} \quad (2.16)$$

Persamaan tegangan kapasitor saat kapasitor *discharge* adalah :

$$V_{min} = V_{max} \left(e^{-\frac{1}{RC} t_{off}} \right) \quad (2.17)$$

Sehingga persamaan riak tegangan dapat diubah menjadi :

$$\Delta V = V_{max} - V_{min} \quad (2.18)$$

$$\Delta V = V_{max} - V_{max} \left(e^{-\frac{1}{RC} t_{off}} \right) \quad (2.19)$$

$$\Delta V = V_{\max} \left(1 - e^{-\frac{1}{RC} t_{off}} \right) \quad (2.20)$$

Dengan menggunakan deret Taylor maka persamaan diatas dapat disederhanakan lagi menjadi :

$$\Delta V = V_{\max} \left(\frac{t_{off}}{RC} \right) \quad (2.21)$$

Dengan mensubstitusi persamaan $t_{off} = (1 - D) T$ kedalam persamaan diatas maka akan menjadi :

$$\Delta V = V_{\max} \left(\frac{1-D}{RC} \right) \quad (2.22)$$

$$C = V_{\max} \left(\frac{1-D}{f R \Delta V} \right) \quad (2.23)$$

Untuk menentukan nilai R, dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$R_O = \frac{V_O^2}{P_O} \quad (2.24)$$

Dimana V_O adalah tegangan *output* dari konverter sedangkan P_O adalah daya output dari konverter yang dianggap ideal sehingga daya *output* P_O sama dengan daya input P_I .

2.3 Pengisian Daya Baterai

Baterai adalah sel listrik yang didalamnya berlangsung proses elektrokimia yang dapat berkebalikan sehingga didalam baterai terjadi dua proses yaitu proses pengosongan dan proses pengisian[1]. Proses pengosongan terjadi saat pengubahan energi kimia menjadi energi listrik sedangkan proses pengisian terjadi saat pengubahan energi listrik menjadi energi kimia. Proses pengisian dapat terjadi dengan cara regenerasi dari

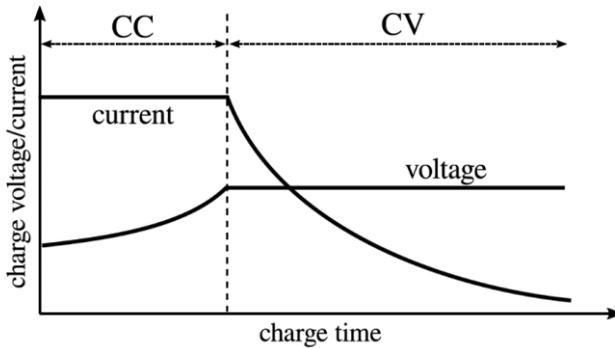
elektroda-elektroda yang ada didalamnya dengan memberikan arus listrik dalam arah yang berlawanan didalam sel. Berdasarkan proses terjadinya baterai dibedakan menjadi 2 jenis yaitu *primary battery* dan *secondary battery*. *Primary battery* adalah jenis baterai yang hanya bisa digunakan sekali, hal ini disebabkan oleh material elektroda dari baterai yang tidak dapat berkebalikan arah saat dilepaskan. Sedangkan *secondary battery* adalah baterai yang bisa digunakan secara berulang kali, material elektrodanya dapat berkebalikan arah[1]. Baterai yang telah digunakan sebagai sumber tenaga perangkat elektronik akan berkurang kapasitasnya. Supaya baterai tersebut dapat kembali ke kapasitas penuhnya maka perlu dilakukan pengisian daya pada baterai tersebut.

Terdapat beberapa metode untuk pengisian baterai seperti *Constant Trickle (CTC)*, *Constant Current (CC)*, *Constant Voltage (CV)*, dan *Constant Current Constant Voltage (CC CV)*[6]. *Constant Trickle* yaitu mengisi baterai pada rating discharge nya, sehingga akan mempertahankan baterai dalam kondisi penuh. *Constant Current* yaitu mengisi baterai dengan arus yang konstan sampai pada tegangan pada baterai mencapai tegangan maksimalnya. Walaupun telah mencapai tegangan maksimalnya namun sebenarnya *Electro Motive Force(EMF)* pada baterai belum mencapai tegangan terminalnya, hal ini disebabkan oleh *overpotensial* karena resistansi internal pada baterai[7].

Constant Voltage yaitu mengisi baterai dengan tegangan konstan sampai arus yang mengalir menurun sampai arus *cut off*nya. Proses pengisian ini tidak akan menyebabkan baterai *overcharging* karena tegangan dijaga konstan sesuai dengan tegangan maksimalnya namun proses pengisian akan berlangsung lebih lama dari *Constant Current*[7].

Dan yang terakhir adalah *Constant Current Constant Voltage* yaitu mengisi baterai dengan *Constant Current* terlebih dahulu, setelah tegangan baterai mencapai tegangan maksimalnya maka dilanjutkan dengan *Constant Voltage* sampai arus yang mengalir menurun sesuai dengan arus *cut off*nya. Dengan menggunakan metode ini maka pengisian baterai akan sesuai dengan kapasitas penuhnya[7].

Gambar 2.5 dibawah ini menunjukkan proses pengisian baterai dengan metode *Constant Current Constant Voltage*. Pengisian dimulai dengan *Constant Current* dan diteruskan dengan *Constant Voltage* sampai kapasitas baterai terisi penuh.



Gambar 2.5 Proses pengisian CC CV[8]

2.4 *Kontroller* PID

Untuk menghasilkan arus dan tegangan yang konstan sesuai dengan proses *CC-CV* bisa dengan menggunakan *Kontroller PID*. *Kontroller PID* ini akan mengatur sinyal eror antara sinyal set poin arus atau tegangan yang diinginkan dengan sinyal feedback dari arus atau tegangan yang keluar dari *buck* konverter. Sehingga arus dan tegangan yang masuk ke baterai akan sesuai dengan set poin yang diatur. *Kontroller P* digunakan untuk mengurangi error steady state dan mengurangi *rise time* namun peningkatan nilai K_p pada nilai tertentu justru akan menambah nilai *overshoot*[9].

Akan tetapi penggunaan *kontroller P* saja tidak bisa untuk menghilangkan *error steady state*, oleh karena itu dibutuhkan *kontroller PI* untuk menghilangkan *error steady state*. Penggunaan *kontroller PI* ini juga dapat mengurangi *rise time* dan *settling time*. Sama seperti *kontroller P*, peningkatan nilai K_i pada nilai tertentu juga akan menambah nilai *overshoot*[9].

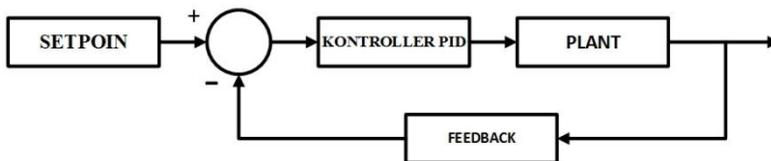
Untuk mengurangi nilai *overshoot* dari *kontroller P* dan *kontroller PI* maka dibutuhkan *kontroller PID*. Selain untuk mengurangi nilai *overshoot*, penggunaan *kontroller PID* juga dapat untuk mengurangi *rise time* dan *settling time* walaupun sangat kecil pengaruhnya[9]. Untuk lebih jelas mengenai penggunaan *kontroller P*, *PI*, dan *PID* dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Karakteristik *Kontroller P, PI, dan PID*

Fungsi	<i>Rise Time</i>	<i>Settling Time</i>	<i>Error Steady State</i>	<i>Overshoot</i>
Kp	Mengurangi	Mengurangi	Mengurangi	Meningkatkan
Ki	Mengurangi	Mengurangi	Menghilangkan	Meningkatkan
Kd	Perubahan Kecil	Perubahan Kecil	Perubahan Kecil	Mengurangi

Rise Time adalah waktu yang dibutuhkan oleh respon sistem untuk naik dari 5% sampai 95% dari respon *steady state*. *Settling Time* adalah waktu yang dibutuhkan oleh respon sistem hingga mencapai 2% dari keadaan *steady state*. Sedangkan *Error Steady State* adalah selisih antara respon sistem dengan setpoint pada keadaan *steady state*. Dan yang terakhir *Overshoot* adalah nilai simpangan maksimum dari respon sistem[9].

Terdapat beberapa metode untuk menentukan nilai *Kp*, *Ki*, *Kd* yaitu *trial and error*, *Ziegler-Nichols* metode, dan yang terakhir *Cohen-Coon* metode[9]. Untuk menentukan nilai *Kp*, *Ki*, *Kd* secara *trial and error* dilakukan dengan cara mengubah-ubah nilai parameter tersebut secara manual sampai mendapatkan respon sistem yang diinginkan. Kekurangan dari metode ini tentunya memakan banyak waktu untuk mendapatkan nilai parameter yang sesuai dengan yang diinginkan.



Gambar 2.6 Diagram Blok *Kontroller PID*

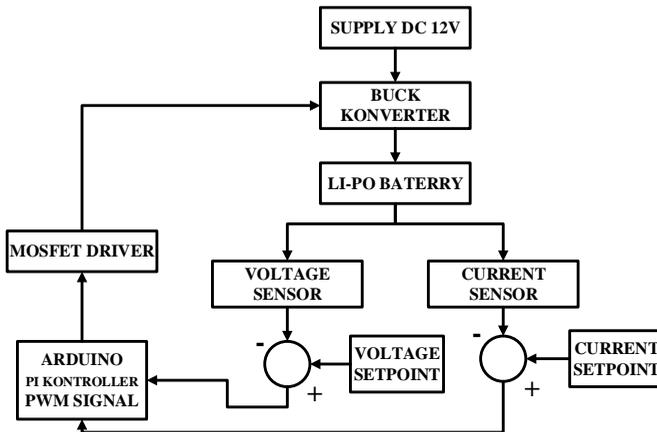
Gambar 2.6 diatas adalah diagram blok dari *kontroller* PID, diagram blok tersebut terdiri dari setpoint, *kontroller*, *plant* dan *feedback*. Sinyal output dari *plant* akan menjadi *feedback* atau umpan balik yang kemudian akan dibandingkan dengan nilai setpoint yang diatur. Dari sinyal *feedback* dan setpoint tersebut akan dihasilkan sinyal error. Kemudian sinyal error tersebut akan diproses oleh *kontroller* yang kemudian akan dihasilkan sinyal kontrol untuk diterapkan pada *plant* yang diinginkan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3 DESAIN, SIMULASI, DAN IMPLEMENTASI

Pada bab 3 ini akan dibahas mengenai proses desain, simulasi, dan implementasi baterai charger *Li-Po* menggunakan *Buck Konverter* dengan metode *Constant Current Constant Voltage*. Proses desain dilakukan dengan cara menghitung serta menentukan komponen-komponen yang akan digunakan pada implementasi sesuai dengan persamaan yang telah diturunkan pada bab 2. Simulasi dilakukan untuk memastikan bahwa konverter dapat bekerja sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan. Hasil dari desain dan simulasi digunakan sebagai dasar implementasi baterai charger menggunakan *buck* konverter.

3.1 Diagram Blok Sistem



Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem Baterai Charger

Pada gambar 3.1 dapat dilihat bahwa baterai charger menggunakan tegangan DC 12V yang akan menjadi input dari *buck* konverter. Sensor tegangan dan sensor arus digunakan untuk membaca tegangan dan arus dari baterai yang kemudian akan dibandingkan dengan nilai setpoint. Hasilnya akan menjadi sinyal error yang selanjutnya akan diproses oleh arduino dan menghasilkan sinyal kontrol yang berbentuk *PWM*. Selanjutnya sinyal *PWM* akan dikuatkan nilainya pada *driver* mosfet supaya mosfet dapat melakukan *switching*.

3.2 Desain Charger Baterai *Lithium-Polymer*

Baterai *Lithium-Polymer* yang digunakan pada tugas akhir ini memiliki jumlah sel sebanyak tiga, dimana proses charging baterai akan dilakukan secara sendiri-sendiri atau tiap sel. Kapasitas dari baterai *Li-Po* yang digunakan adalah 1800mAh. Spesifikasi lengkap baterai *Li-Po* yang digunakan pada tugas akhir dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Spesifikasi baterai *Li-Po*

Parameter	Nilai
Kapasitas	1800mAh
Tegangan Nominal	3.7V
Tegangan Charging	4.2V
Jumlah Sel	3

Sedangkan untuk desain charger baterai *Li-Po* pada dapat dilihat pada tabel 3.2. Dimana untuk constant current diatur pada arus 0,8A dan untuk constant voltage diatur pada tegangan 4,2V.

Tabel 3.2 Spesifikasi charger baterai

Parameter	Nilai
Constant Current	0,8 A
Constant Voltage	4,2 V
Jumlah Sel	3

3.3 Desain Konverter Buck

Dalam mendesain sebuah konverter maka hal yang perlu dilakukan adalah menentukan nilai parameter listrik yang akan digunakan seperti nilai tegangan *input* (V_{in}), tegangan output (V_o), frekuensi *switching* (f_s), daya (P), *ripple* arus induktor, *ripple* tegangan kapasitor. Penentuan parameter tersebut juga harus memperhatikan ketersediaan komponen di pasaran dan ketersediaan alat penunjang di laboratorium. Tujuan dari penentuan nilai parameter tersebut adalah untuk menjadi acuan dalam menentukan komponen yang akan digunakan. Untuk parameter lengkap dari desain *buck* konverter ini dapat dilihat pada tabel 3.3 berikut:

Tabel 3.3 Desain Spesifikasi Konverter

Parameter	Nilai
Tegangan <i>Input</i> (V_{in})	12 V
Tegangan <i>Output</i> (V_o)	6 V
Daya <i>Output</i> (P_o)	18 Watt
Frekuensi <i>Switching</i> (f_s)	20 kHz
<i>Ripple</i> arus induktor	0.1 A
<i>Ripple</i> tegangan kapasitor	0.1 V

3.3.1 Penentuan Nilai Duty Cycle

Duty Cycle adalah rasio antara interval waktu konduksi sakelar dan lama waktu periode sistem. Untuk menentukan nilai *duty cycle* dapat dengan menggunakan persamaan 2.10 saat konverter dalam keadaan *CCM*(*Continuous Conduction Mode*), dimana arus yang mengalir pada induktor tidak pernah bernilai nol. Berdasarkan persamaan tersebut maka nilai *duty cycle* adalah :

$$D = \frac{V_o}{V_{in}} \times 100\% \quad (3.1)$$

$$D = \frac{6}{12} \times 100\%$$

$$D = 50\%$$

3.3.2 Penentuan Nilai Beban

Untuk menentukan nilai beban maksimum dapat ditentukan berdasarkan nilai tegangan *output* dan daya *output*. Penentuan nilai beban dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.24. Berdasarkan persamaan tersebut maka nilai beban maksimum adalah

$$R = \frac{V_o^2}{P} \quad (3.2)$$

$$R = \frac{6^2}{18}$$

$$R = 2 \Omega$$

3.3.3 Penentuan Nilai Kapasitor

Untuk menentukan nilai kapasitor filter tegangan output dapat dengan menggunakan persamaan 2.23 saat konverter dalam keadaan *CCM*(*Continuous Conduction Mode*). Dalam menentukan nilai kapasitor terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu tegangan kapasitor dan *ripple* tegangan. Berdasarkan persamaan 2.23 dan dengan memperhitungkan parameter yang telah ditentukan pada tabel 3.3 maka nilai kapasitor adalah :

$$C = V_{\max} \left(\frac{1-D}{f R \Delta V} \right) \quad (3.3)$$

Berdasarkan persamaan diatas maka sebelum menentukan nilai kapasitansi kapasitor, harus dihitung dahulu nilai tegangan maksimal (V_{\max}) dengan menggunakan persamaan 2.15. Berdasarkan persamaan tersebut maka nilai tegangan maksimal adalah :

$$V_{\max} = V_O + \frac{\Delta V}{2} \quad (3.4)$$

$$V_{\max} = 6 + \frac{0,1}{2}$$

$$V_{\max} = 6,05 \text{ V}$$

Sehingga nilai kapasitor berdasarkan persamaan 2.23 adalah :

$$C = 6,05 \left(\frac{1-0,5}{20000 \cdot 2 \cdot 0,1} \right)$$

$$C = 756,25 \text{ uF}$$

Dalam implementasi, digunakan kapasitor jenis elco (*electrolytic condenser*) pada kapasitor filter tegangan *output* dengan nilai 1000uF 50 V. Dipilih kapasitor dengan nilai 1000 uF dikarenakan kapasitor yang mendekati nilai 756,25 uF adalah kapasitor tersebut. Pemilihan tegangan 50 V didasarkan atas nilai tegangan output sebesar 6 V namun untuk alasan keamanan digunakanlah kapasitor yang memiliki tegangan *rating* sebesar 50 V.

3.3.4 Penentuan Nilai Induktor

Untuk menghitung nilai induktor dapat menggunakan persamaan 2.14 dimana konverter bekerja pada mode *CCM* (*Current Continuous Mode*) dimana arus yang mengalir pada induktor tidak pernah bernilai nol. Berdasarkan persamaan tersebut maka nilai induktor adalah :

$$L = \frac{V_{in}(1-D)D}{\Delta I f} \quad (3.5)$$

$$L = \frac{12(1-0,5)0,5}{0,1 \ 20000}$$

$$L = 1,5 \text{ mH}$$

Dalam desain serta implementasi sebuah induktor , hal yang harus diperhatikan adalah penentuan kawat email yang digunakan sebagai belitan induktor. Terdapat dua parameter yang digunakan untuk menentukan jenis kawat konduktor yaitu frekuensi *switching* dari konverter dan arus maksimum yang melewati induktor. Nilai frekuensi *switching* yang digunakan konverter adalah sebesar 20 kHz, sedangkan untuk nilai arus maksimum yang melewati induktor sama dengan arus *output*, sehingga arus maksimum yang melewati induktor adalah:

$$I_L = I_O = \frac{P_O}{V_O} \quad (3.6)$$

$$I_L = I_O = \frac{18}{6}$$

$$I_L = I_O = 3 \text{ A}$$

Berdasarkan parameter frekuensi *switching* yang digunakan sebesar 20 kHz, maka kawat email yang digunakan untuk induktor harus mampu bekerja pada frekuensi 20 kHz. Berdasarkan parameter tersebut maka dipilih kawat AWG 25 yang memiliki diameter 0,45 mm dengan nilai resistansi 0,106 Ω /m, dengan daya hantar arus 0,457 A dan frekuensi kerja maksimal 85 kHz.

Berdasarkan parameter arus, kawat email induktor harus mampu menahan arus 3,05 A. Nilai tersebut adalah nilai arus rata – rata yang melewati induktor ditambah desain *ripple* arus pada induktor. Supaya aman, maka dipilih kawat induktor yang memiliki kapasitas arus lebih besar yaitu kawat AWG 12 yang memiliki diameter 2,05 mm dengan nilai resistansi 0,0052 Ω /m, dengan daya hantar arus 9,3 A dan frekuensi kerja maksimal 4,15 kHz.

Setelah mendapatkan dua jenis kawat email tersebut, hal yang harus dilakukan selanjutnya adalah proses pemilinan. Tujuan dari pemilinan dari dua jenis kawat ini adalah untuk menambah kapasitas kawat email sehingga mampu bekerja pada frekuensi maksimal 85kHz dan arus maksimal 9,3 A. Perhitungan jumlah pilinan didapatkan dari pembagian kawat dengan diameter lebih besar dengan kawat dengan diameter yang lebih kecil

$$\begin{aligned}
 n_L &= \frac{d_{AWG\ 12}}{d_{AWG\ 25}} & (3.7) \\
 &= \frac{2,05232}{0,4546} \\
 n_L &= 4,52 \approx 5
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitunganan tersebut maka jumlah pilinan untuk induktor yang digunakan adalah 5 kawat email jenis AWG 25.

Setelah mendapatkan jenis kawat email yang digunakan dan jumlah pilinannya, maka selanjutnya adalah menentukan inti induktor yang digunakan. Pemilihan inti induktor berdasarkan jumlah fluks yang mampu ditampung oleh inti sehingga inti induktor tidak mengalami saturasi. Sehingga dipilih inti *ferrite* dengan merk TDK ETD49. Inti induktor ini memiliki nilai faktor induktansi (A_L) sebesar 3700nH. Berdasarkan nilai faktor induktansi tersebut maka jumlah belitan yang diperlukan adalah :

$$L = A_L \times N^2 \quad (3.8)$$

$$N = \sqrt{\frac{L}{A_L}} \quad (3.9)$$

Dengan persamaan 3.9, didapatkan jumlah belitan yang digunakan adalah :

$$\begin{aligned} N &= \sqrt{\frac{L}{A_L}} \\ &= \sqrt{\frac{1500 \mu H}{3,7 \mu H}} \\ N &= 20,1 \approx 20 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas didapatkan bahwa untuk mendapatkan nilai induktansi sebesar 1,5 mH pada induktor maka diperlukan sekitar 20 belitan.

3.3.5 Penentuan MOSFET

Rangkaian konverter *buck* menggunakan satu buah MOSFET yang berfungsi sebagai sakelar atau *switching*. Dalam menentukan jenis MOSFET yang digunakan terdapat beberapa parameter yaitu tegangan yang mampu diterima MOSFET saat keadaan non konduksi dan arus yang melewati MOSFET saat konduksi. Berdasarkan rangkaian dari *buck* konverter maka tegangan yang diterima MOSFET saat nonkonduksi sama dengan tegangan input $V_{DS} = V_{in} = 12 \text{ V}$, sedangkan arus yang melewati MOSFET saat konduksi bernilai sama dengan arus maksimal yang melewati induktor $I_{DS} = I_o = 3 \text{ A}$. Selain itu untuk menentukan MOSFET yang digunakan juga memperhatikan besar frekuensi yang digunakan, sehingga MOSFET yang dipilih harus bisa bekerja pada frekuensi 20 kHz.

Berdasarkan perhitungan diatas maka jenis MOSFET yang digunakan pada konverter ini adalah MOSFET dengan tipe IRFP4332. MOSFET ini memiliki kemampuan untuk menahan beda tegangan antara *drain* dan *source* atau V_{DS} sebesar 250 V, dengan arus maksimum sebesar 40 A pada saat suhu MOSFET 100 °C. Tegangan yang diberikan *gate* dan *source* atau V_{GS} maksimum adalah sebesar $\pm 30 \text{ V}$. MOSFET ini juga memiliki *reverse recovery time* sebesar 290ns dengan frekuensi maksimal mencapai 3,45 MHz. Berdasarkan nilai tegangan dan arus yang melewati

MOSFET masih dibawah spesifikasi MOSFET IRFP4332 sehingga MOSFET ini dapat digunakan pada konverter.

3.3.6 Penentuan Dioda

Dalam menentukan jenis dioda yang digunakan pada konverter berdasarkan dari dua keadaan yaitu sakelar konduksi dan non konduksi. Saat sakelar konduksi, dioda dalam keadaan *reversed bias* sehingga berfungsi menahan tegangan sehingga arus akan mengalir melewati induktor. Sehingga dioda harus mampu menahan tegangan yang lebih besar dari tegangan *input*. Saat sakelar non konduksi, dioda berfungsi mengalirkan arus yang tersimpan di induktor, sedangkan untuk menghitung arus yang melewati induktor adalah :

$$I_d = I_{\text{omax}} \cdot (1 - D) \quad (3.10)$$

$$I_d = 3 \cdot (1 - 0,5)$$

$$I_d = 1,5 \text{ A}$$

Berdasarkan perhitungan diatas yaitu dengan nilai tegangan lebih dari 12 V dan arus yang melewati dioda sebesar 1,5 A, dan frekuensi *switching* 20 kHz, maka dipilihlah dioda MUR1560. Dioda ini memiliki kapasitas arus maksimum sebesar 15 A dan tegangan *blocking* sebesar 600 V. Dioda ini merupakan dioda *ultrafast switching* karena memiliki waktu *recovery time* yang cepat yaitu 60ns, *recovery time* 60ns tersebut setara dengan frekuensi *switching* sebesar 16,7 MHz.

Berdasarkan perhitungan desain yang telah dilakukan serta memperhatikan ketersediaan komponen yang digunakan di pasaran maka komponen yang dibutuhkan dalam implementasi konverter *buck* dapat dilihat pada tabel 3.4 dibawah :

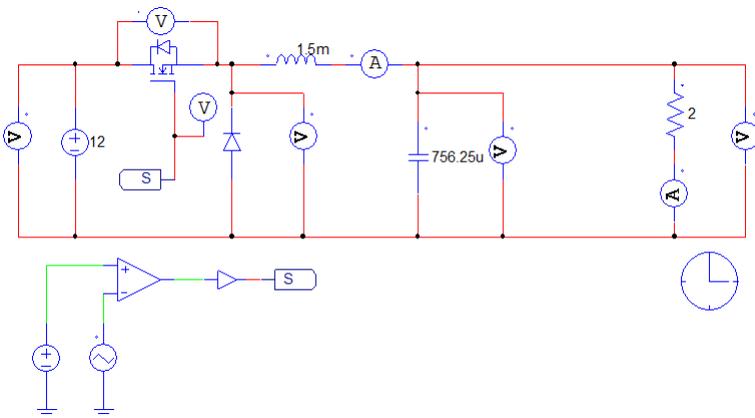
Tabel 3.4 Parameter Komponen yang digunakan pada Konverter

Komponen	Nilai
Resistansi Beban R	2 Ω
Induktor	1,5 mH
Kapasitor Filter	1000 μ F
MOSFET	IRFP4332
Dioda	MUR1560

3.4 Simulasi Desain Charger Baterai menggunakan Konverter Buck

3.4.1 Simulasi Konverter dalam Keadaan Steady State

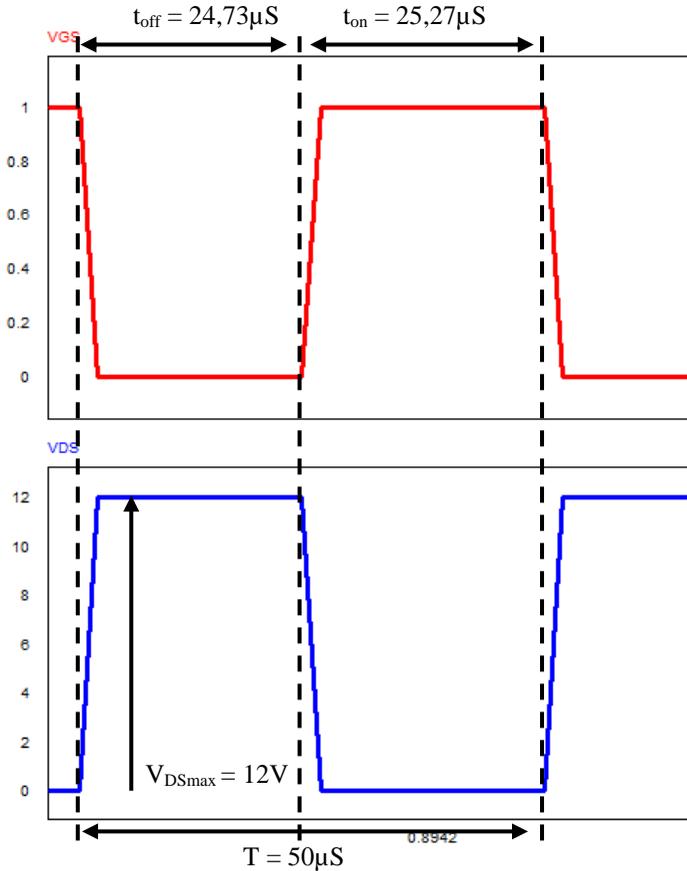
Simulasi rangkaian konverter *buck* dilakukan dengan menggunakan *software* PSIM. Simulasi ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah konverter sudah dapat bekerja sesuai dengan desain. Pada simulasi ini juga digunakan komponen yang bersifat ideal. Selain itu simulasi juga di cek saat keadaan *steady state*.



Gambar 3.2 Simulasi Rangkaian Buck Konverter

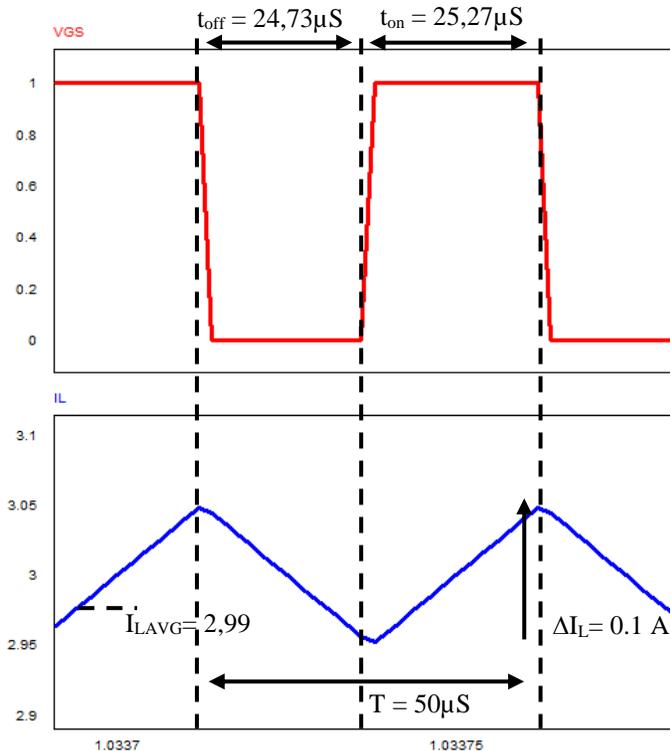
Pada rangkaian simulasi diatas tegangan sumber diatur 12V sumber DC sesuai dengan desain. Nilai duty cycle yang digunakan adalah 0,5 sehingga nilai tegangan ouput bernilai 6V. Simulasi rangkaian

konverter *buck* akan digunakan untuk mengamati beberapa gelombang parameter yang digunakan. Untuk gelombang yang diamati adalah gelombang tegangan *gate-source* (V_{GS}) pada MOSFET, tegangan *drain-source* (V_{DS}) pada MOSFET, arus induktor L, tegangan dioda D, tegangan kapasitor C, tegangan *input* (V_{in}) dan tegangan *output* (V_o).



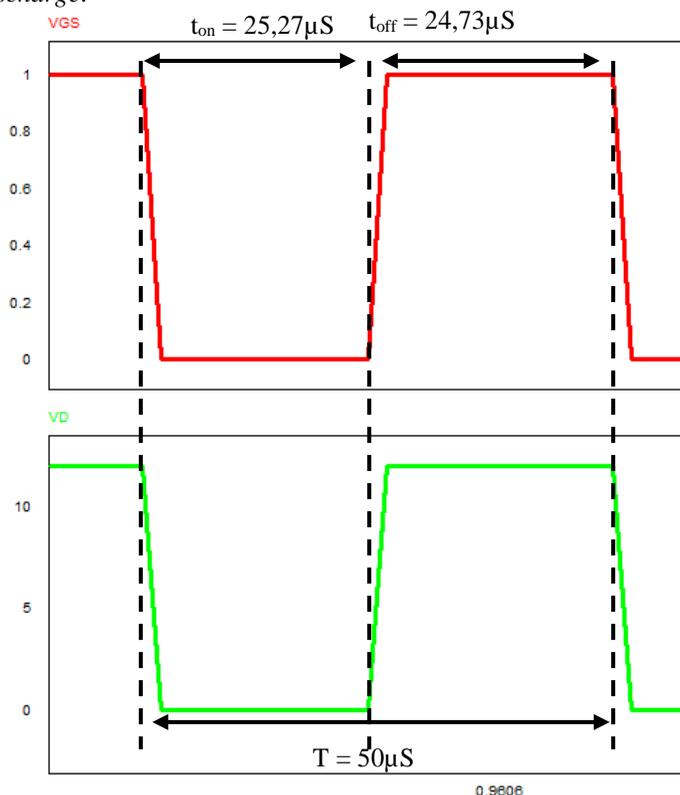
Gambar 3.3 Bentuk Gelombang Tegangan *Gate-Source*, Tegangan *Drain-Source*.

Gambar 3.3 diatas merupakan bentuk gelombang tegangan *gate-source* dan tegangan *drain-source*. Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat saat kondisi *gate* MOSFET dalam keadaan *high* atau satu (sakelar tertutup), maka tegangan *drain-source* (V_{DS}) dalam keadaan *low* atau nol sehingga arus mengalir pada bagian *drain-source*. Sedangkan saat kondisi *gate* MOSFET dalam keadaan *low* atau nol (sakelar terbuka), maka tegangan *drain-source* (V_{DS}) dalam keadaan *high* atau satu sehingga tidak ada arus yang mengalir. Waktu t_{on} MOSFET adalah selama $25,27\mu\text{s}$ dan waktu t_{off} MOSFET adalah selama $24,73\mu\text{s}$. Nilai tersebut sudah sesuai dengan desain dengan nilai *duty cycle* 0,5 dan frekuensi *switching* 20kHz. Berdasarkan hasil simulasi tersebut juga didapatkan nilai tegangan maksimum pada *drain-source* (V_{DSmax}) sebesar 12V.



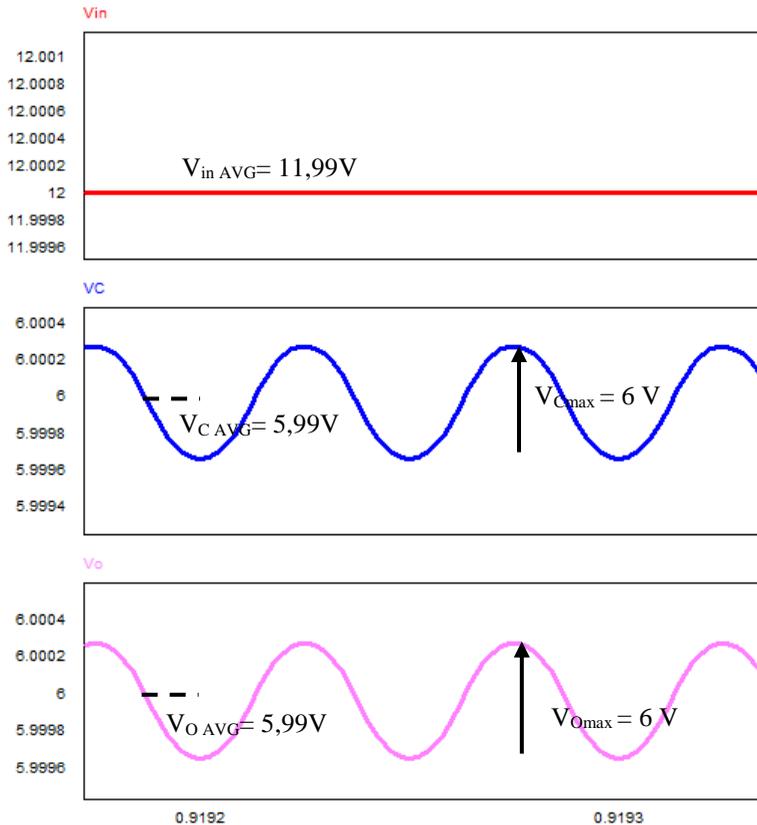
Gambar 3.4 Bentuk Gelombang Tegangan *Gate-Source*, Arus Induktor

Gambar 3.4 diatas merupakan bentuk gelombang dari tegangan *Gate-Source* dan arus induktor L. Berdasarkan hasil simulasi didapatkan nilai arus rata – rata induktor L adalah sebesar 2,99 dengan nilai ripple arus 0,1A. Dari hasil simulasi dapat didapatkan waktu *charge* induktor adalah sesuai dengan waktu sakelar saat konduksi yaitu 25,27uS, sedangkan waktu *discharge* induktor juga sesuai dengan waktu sakelar saat nonkonduksi yaitu 24,73uS. Ketika sakelar konduksi, arus akan melewati induktor sehingga induktor akan termagnetisasi (menyimpan energi dalam bentuk medan magnet atau *charge*). Kemudian ketika sakelar nonkonduksi, induktor L akan dalam keadaan demagnetisasi atau *discharge*.



Gambar 3.5 Bentuk Gelombang Tegangan *Gate-Source*, Tegangan Dioda

Gambar 3.5 diatas merupakan bentuk gelombang dari tegangan *Gate-Source* dan tegangan dioda. Berdasarkan gambar tersebut didapatkan bahwa saat saat sakelar konduksi maka dioda dalam keadaan *reversed bias* sehingga muncul tegangan pada dioda sebesar 11,99 V. Dan sebaliknya saat sakelar nonkonduksi maka dioda dalam keadaan *forward bias* sehingga arus akan mengalir melalui dioda dan tegangan dioda bernilai nol. Waktu dioda dalam keadaan *reversed bias* adalah 25,27uS sedangkan waktu dioda dalam keadaan *forward bias* adalah 24,73uS.

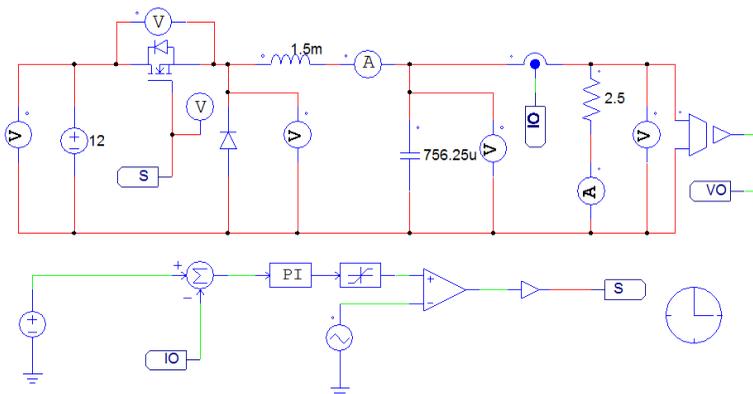


Gambar 3.6 Bentuk Gelombang Tegangan *Input*, Tegangan Kapasitor dan Tegangan *Output*

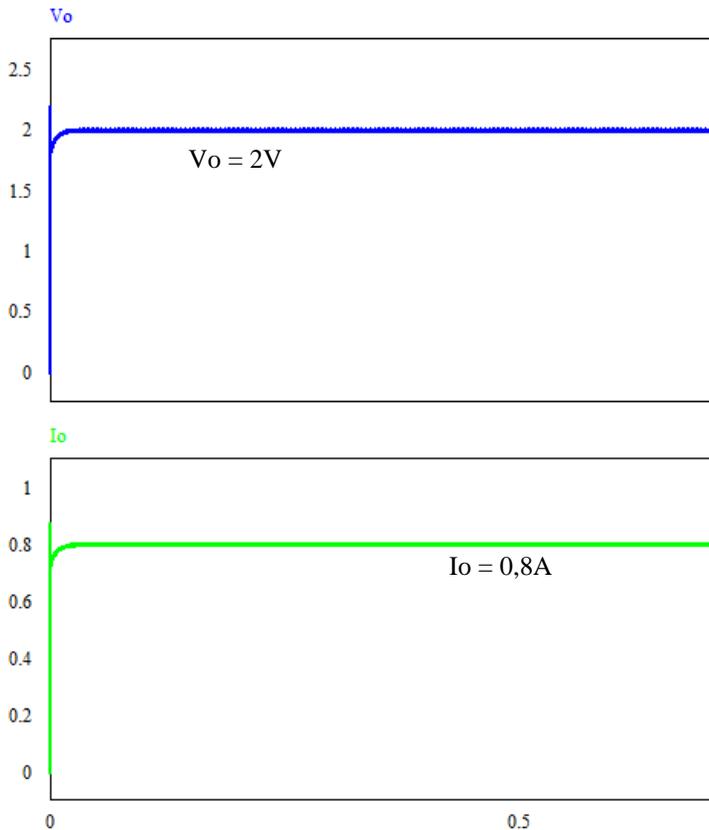
Gambar 3.6 merupakan bentuk gelombang tegangan *input*, tegangan kapasitor dan tegangan *output*. Tegangan *input* yang diberikan adalah sesuai desain yaitu 12V. Berdasarkan simulasi bentuk dari tegangan kapasitor filter sama dengan tegangan *output*. Hal ini dikarenakan kapasitor filter dipasang satu *node* dengan beban R. Hasil dari simulasi sudah sesuai dengan desain yaitu dengan nilai tegangan *input* 12V dapat dihasilkan tegangan *output* 6 V. Tegangan kapasitor dan tegangan *output* yang dihasilkan memiliki nilai rata – rata sebesar 5,99V dengan *ripple* tegangan 0,819 mV.

3.4.2 Simulasi *Constant Current*

Tujuan dari simulasi *constant current* adalah untuk mengetahui kemampuan konverter dalam menjaga arus konstan yang diatur sesuai dengan nilai *setpoint*. Simulasi *constant current* dilakukan dengan menggunakan software PSIM. Untuk dapat menghasilkan arus konstan maka rangkaian konverter *buck* dibuat *closed loop* sehingga dalam rangkaian terdapat sebuah sensor arus yang berfungsi sebagai *sensing* arus yang kemudian akan menjadi *feedback* dari rangkaian. Selanjutnya hasil *sensing* dari sensor arus akan dibandingkan dengan nilai *setpoint* dan akan menghasilkan sinyal *error* yang kemudian akan diproses oleh controller PI.



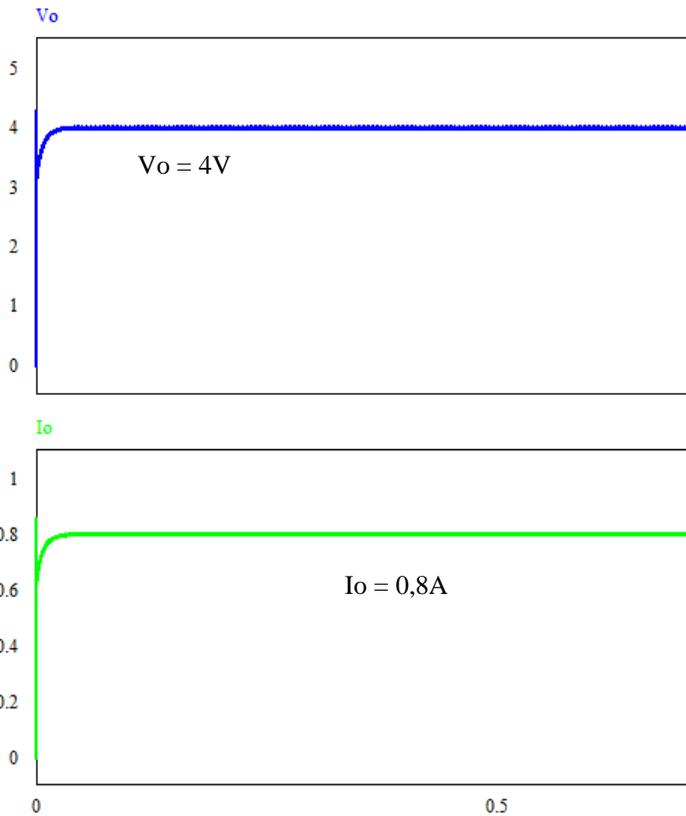
Gambar 3.7 Simulasi rangkaian *buck* konverter saat mode *constant current*.



Gambar 3.8 Hasil simulasi CC dengan beban $R\ 2,5\Omega$

Gambar 3.7 adalah rangkaian buck konverter saat mode *constant current*. Nilai beban R yang digunakan adalah $2,5\Omega$ dan 5Ω sehingga dengan nilai arus sebesar $0,8A$ maka tegangan yang dihasilkan pada beban R adalah $2V$ dan $4V$, dimana kedua tegangan ini masih dibawah nilai tegangan maksimal baterai yang bernilai $4,2V$.

Dari hasil simulasi diatas yaitu dengan beban $R\ 2,5\Omega$ dapat dilihat bahwa arus yang dihasilkan konstan sebesar $0,8A$. Tegangan yang dihasilkan sebesar $2V$, nilai tegangan yang dihasilkan didapatkan dari perkalian antara arus dan beban R .



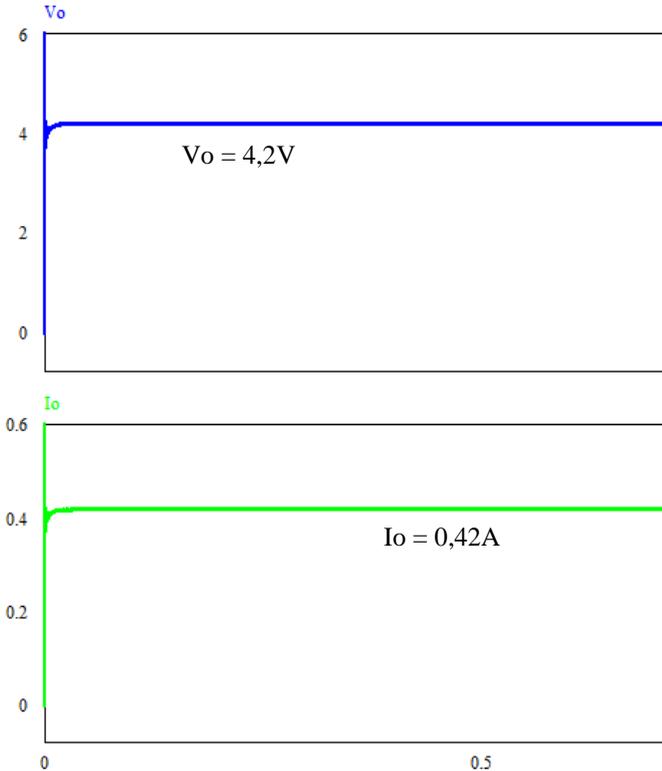
Gambar 3.9 Hasil simulasi CC dengan beban $R\ 5\Omega$

Dari hasil simulasi diatas yaitu dengan beban $R\ 5\Omega$ dapat dilihat bahwa arus yang dihasilkan konstan sebesar 0,8A. Tegangan yang dihasilkan sebesar 4V, nilai tegangan yang dihasilkan didapatkan dari perkalian antara arus dan beban R.

Berdasarkan kedua hasil simulasi diatas yaitu saat nilai beban $R\ 2,5\Omega$ dan 5Ω , konverter dapat menjaga arus konstan sesuai dengan nilai setpoint yaitu 0,8A. Sehingga dapat disimpulkan konverter tetap bisa menghasilkan nilai arus yang konstan walaupun nilai beban R nya berubah-ubah.

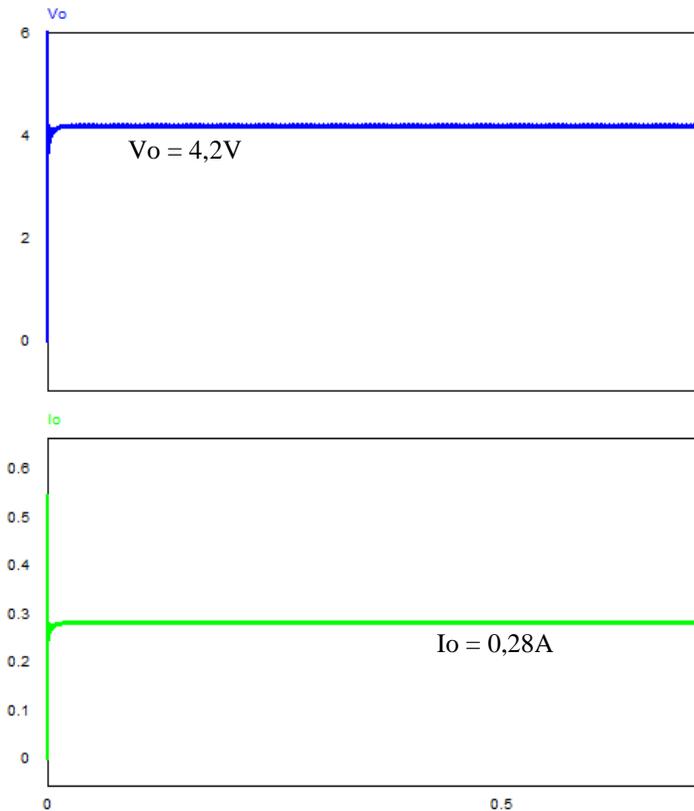
3.4.3 Simulasi *Constant Voltage*

Sama halnya seperti *constant current*, simulasi *constant voltage* bertujuan untuk mengetahui kemampuan konverter dalam menjaga tegangan konstan sesuai dengan nilai setpoint yang diatur. Untuk dapat menghasilkan tegangan konstan maka rangkaian konverter *buck* dibuat dalam keadaan *closed loop* sehingga dalam rangkaian terdapat sebuah sensor tegangan yang berfungsi sebagai *sensing* tegangan yang kemudian akan menjadi *feedback* dari rangkaian. Selanjutnya hasil *sensing* dari sensor tegangan akan dibandingkan dengan nilai setpoint dan akan menghasilkan sinyal *error* yang kemudian akan diproses oleh controller PI. Untuk mengetahui konverter sudah bisa bekerja pada mode *constant voltage* maka pada simulasi digunakan dua nilai beban R yang berbeda.



Gambar 3.10 Simulasi CV dengan beban R 10 Ω

Berdasarkan hasil simulasi diatas, tegangan yang dihasilkan konverter konstan pada nilai 4,2V. Sedangkan arus yang dihasilkan adalah 0,42A. Nilai arus yang dihasilkan ini merupakan hasil pembagian antara tegangan dan beban R.



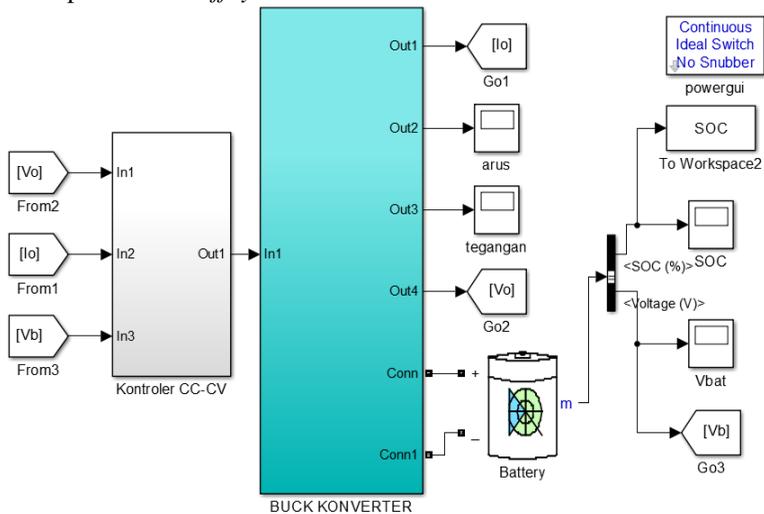
Gambar 3.11 Simulasi CV dengan beban R 15 Ω

Berdasarkan hasil simulasi diatas, tegangan yang dihasilkan konverter konstan pada nilai 4,2V. Sedangkan arus yang dihasilkan adalah 0,28A. Nilai arus yang dihasilkan ini merupakan hasil pembagian antara tegangan dan beban R. Berdasarkan kedua hasil simulasi diatas

yaitu saat nilai beban R 10Ω dan 15Ω , konverter dapat menjaga tegangan konstan sesuai dengan nilai setpoint yaitu $4,2V$. Sehingga dapat disimpulkan konverter tetap bisa menghasilkan nilai tegangan yang konstan walaupun nilai beban R nya berubah-ubah.

3.4.4 Simulasi Charging Baterai

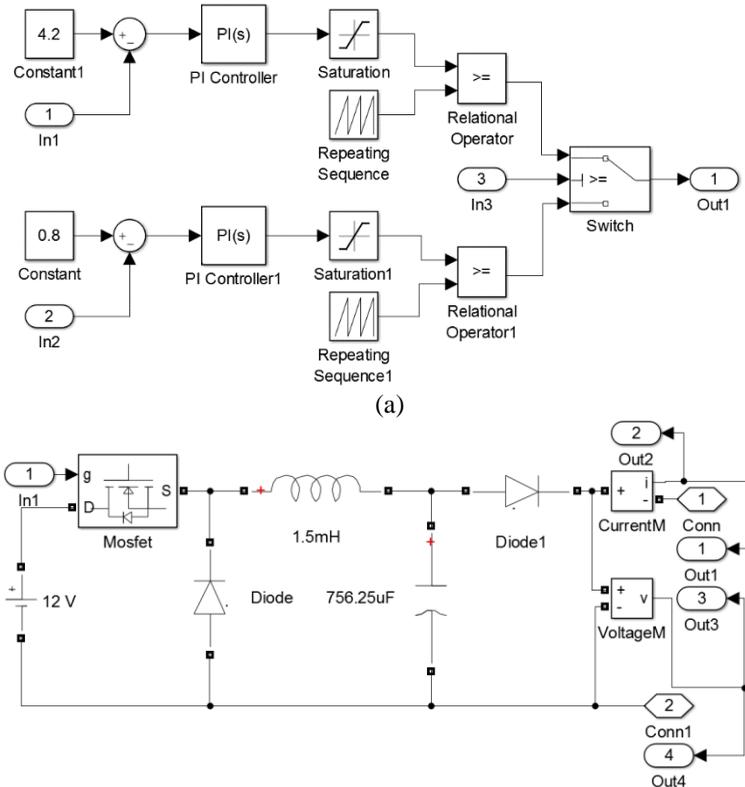
Simulasi charging baterai dilakukan dengan menggunakan dua mode yaitu mode *constant current* dan *constant voltage*. Mode *constant current* bekerja terlebih dahulu yaitu dengan memberikan arus konstan sampai tegangan pada baterai sampai pada nilai maksimalnya (untuk baterai *Li-Po* bernilai $4,2V$). Setelah tegangan mencapai nilai maksimalnya dilanjutkan dengan mode *constant voltage* yaitu dengan memberikan tegangan konstan sampai arus yang mengalir pada baterai mencapai nilai *cut offnya*.



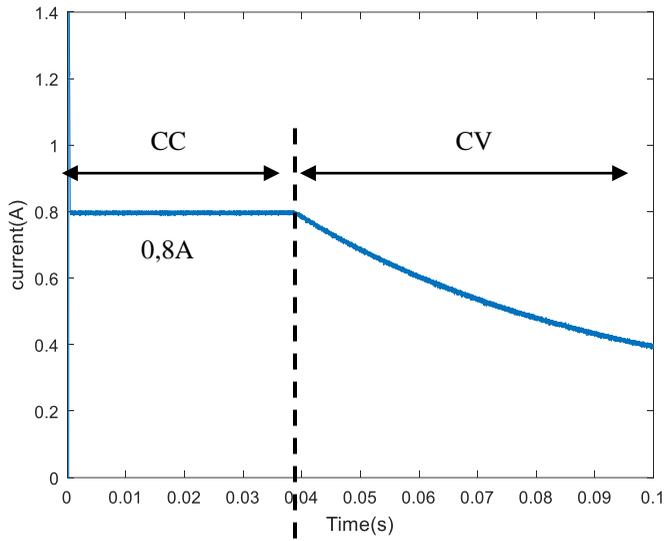
Gambar 3.12 Simulasi charging baterai dengan menggunakan *Constant Current Constant Voltage*.

Gambar 3.12 adalah simulasi charging baterai dengan menggunakan software MATLAB. Pada mode *constant current*, setpoint arus diatur sebesar $0.8A$ sesuai dengan desain dengan nilai K_p 400 dan K_i 1 . Sedangkan pada mode *constant voltage*, setpoint tegangan diatur sebesar $4.2V$ dengan nilai K_p 400 dan K_i 300 . *Switch* pada simulasi

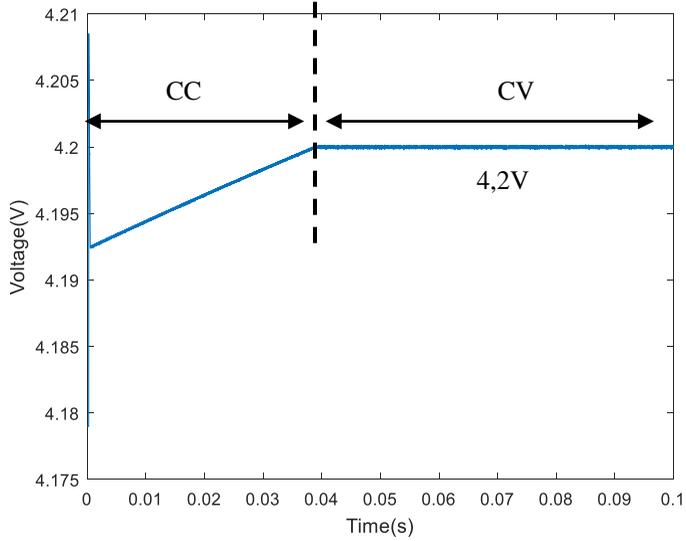
digunakan untuk pergantian antara mode CC dan CV. Switch disini akan bekerja sesuai dengan nilai *threshold* yang diatur. *Input* dari *switch* berasal dari tegangan yang terbaca pada baterai. Sehingga ketika nilai yang masuk pada *switch* kurang dari nilai *threshold*nya yaitu 4,2V maka *switch* berpindah ke mode *Constant Current* sedangkan saat nilai yang masuk pada *switch* lebih dari nilai *threshold*nya yaitu 4.2V maka *switch* akan berpindah ke mode *Constant Voltage*. Beban yang digunakan adalah baterai dengan kapasitas 2.2Ah dengan tegangan maksimum charging adalah 4,2V. Simulasi dilakukan ketika nilai tegangan pada baterai hampir mendekati tegangan maksimalnya yaitu mendekati 4.2V.



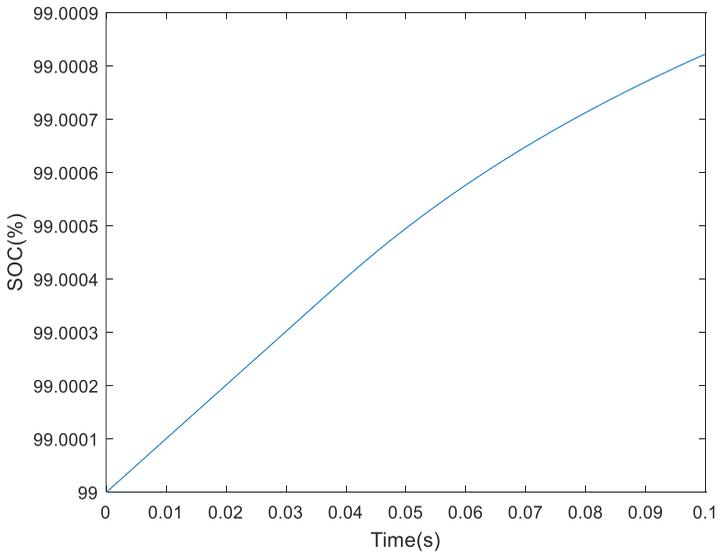
Gambar 3.13 Simulasi Baterai Charging (a) Kontroler CC-CV (b) Buck Konverter



(a)



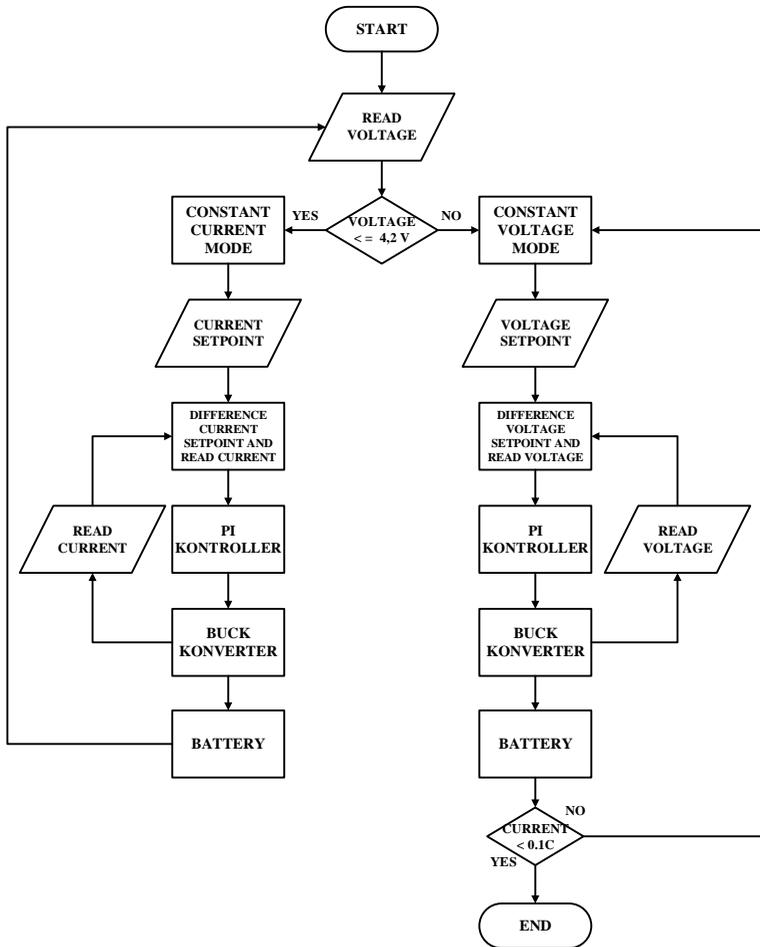
(b)



(c)

Gambar 3.14 Hasil simulasi charging baterai (a) Arus (b) Tegangan (c) SOC

Gambar 3.14 adalah hasil simulasi dari *charging* baterai dengan menggunakan mode *constant current constant voltage*. Gambar 3.13a menunjukkan respon arus saat *constant current* dan *constant voltage*, dimana saat *constant current* arus yang mengalir konstan 0,8A sesuai dengan setpoint, sedangkan saat *constant voltage*, arus yang mengalir perlahan turun. Gambar 3.14b adalah respon tegangan saat *constant current constant voltage*, dimana saat *constant current* tegangan mulai naik, sedangkan saat *constant voltage* tegangan dijaga konstan 4,2V. Gambar 3.13c adalah respon *State Of Charge (SOC)* dari baterai, berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat bahwa *SOC* baterai juga meningkat. Gambar 3.14 adalah *flowchart* dari *constant current constant voltage*.



Gambar 3.15 Flowchart Constant Current Constant Voltage

Proses dimulai dengan membaca tegangan dari baterai, jika tegangan yang dibaca kurang dari 4,2V maka akan memasuki mode *constant current*, jika lebih dari atau sama dengan 4,2V maka akan memasuki mode *constant voltage*. Ketika di mode *constant current*, maka langkah pertama mengatur nilai setpointnya, setelah itu akan nilai setpoint akan dibandingkan dengan arus *feedback* dari konverter *buck* untuk dicari

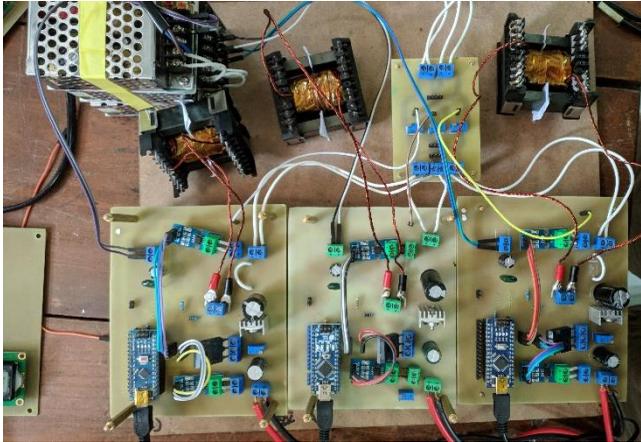
nilai *error*nya. Sinyal *error* selanjutnya akan diproses oleh controller PI hingga *error*nya berkurang atau sampai hilang. Selanjutnya sinyal yang keluar dari controller adalah sinyal kontrol yang berbentuk PWM dengan nilai *duty cycle* tertentu yang kemudian masuk ke *konverter buck*, yang selanjutnya diteruskan ke beban baterai. Proses *constant current* ini akan terus berlangsung hingga tegangan pada baterai kurang dari sama dengan 4,2V. Jika tegangan baterai sudah mencapai 4,2V maka akan memasuki mode *constant voltage*. Proses kerjanya sama dengan *constant current*, tapi yang membedakan adalah proses *constant voltage* akan berhenti jika arus yang mengalir kurang dari nilai *cutoff*nya.

3.5 Implementasi Baterai Charger dengan Konverter *Buck*

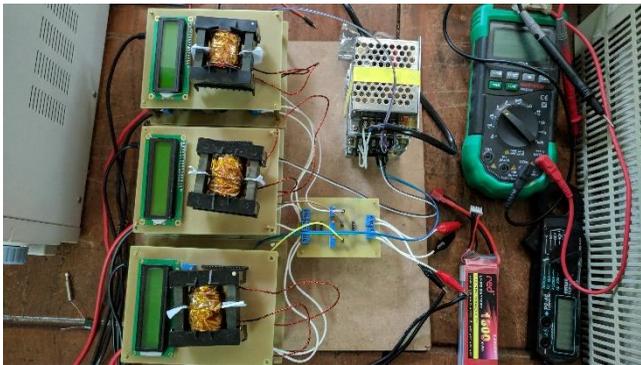
Setelah menentukan desain dan nilai parameter dari setiap masing komponen, langkah selanjutnya adalah implementasi atau pembuatan alatnya. Nilai parameter dari setiap komponen untuk pembuatan alat disesuaikan dengan ketersediaan yang ada pada pasar. Tabel 3.5 dibawah merupakan komponen yang akan digunakan dalam implementasi konverter:

Tabel 3.5 Parameter Komponen Konverter

Komponen	Nilai
Tegangan Sumber DC Supply	12 V
Mikrokontroler	Arduino NANO
MOSFET	IRFP4332
Driver MOSFET	FOD3182
Power Supply Driver Mosfet	12 V
Dioda	MUR1560
Induktor	1,5mH
Inti Induktor	ETD49
Kapasitor Tegangan <i>Input</i>	Elco 470 μ F 50 V
Kapasitor Tegangan <i>Output</i>	Elco 1000 μ F 50 V
Beban Resistor	2 Ω
Baterai <i>Li-Po</i>	1800mAh, 3 sel
Frekuensi <i>Switching</i>	20 kHz
Tegangan <i>Output</i>	6 V
Sensor Tegangan	Multiturn 100k Ω
Sensor Arus	ACS 712



(a)

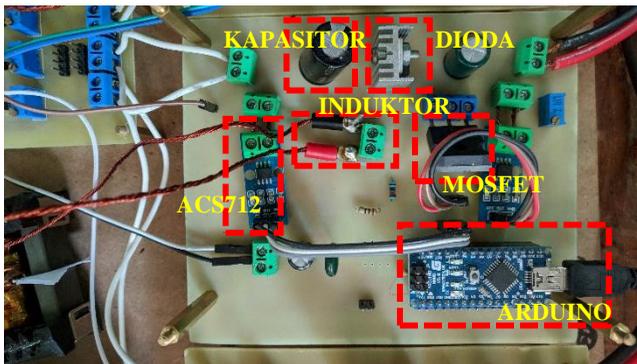


(b)

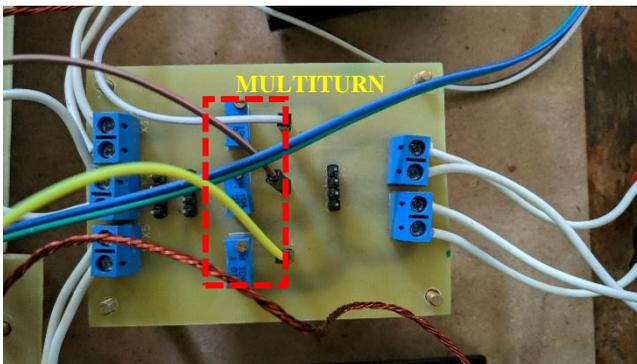
Gambar 3.16 Implementasi Konverter *Buck*

Gambar 3.16 adalah gambar dari baterai charger secara keseluruhan. Charger baterai tersebut disusun dari tiga rangkaian konverter *buck* yang digunakan untuk mencharge masing-masing dari sel baterai *Lithium Polymer*. *Output* dari masing-masing konverter *buck* dihubungkan ke sebuah rangkaian sensor tegangan yang digunakan untuk

menyambungkan baterai dengan konverter. Didalam rangkaian tersebut juga terdapat multiturn yang berfungsi sebagai sensor tegangan.



(a)



(b)

Gambar 3.17 Implementasi Konverter *Buck* (a) Komponen Konverter (b) Sensor Tegangan

Gambar 3.17 adalah komponen dari konverter *buck* dimana terdiri dari arduino sebagai mikrokontroler, MOSFET sebagai komponen pensakelaran, dioda, induktor, kapasitor filter, multiturn yang digunakan sebagai sensor tegangan dan ACS 712 yang digunakan sebagai sensor arus.

BAB 4

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

Pada bab 4 ini dibahas mengenai hasil pengujian dan analisis dari implementasi baterai charger *Li-Po* menggunakan *Buck Konverter* dengan metode *Constant Current Constant Voltage* . Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah konverter sudah bekerja sesuai desain dan dapat menjalankan proses *charging* baterai secara *constant current constant voltage*. Pengujian yang dilakukan antara lain adalah pengujian pensakelaran, pengujian dioda, pengujian induktor, pengujian tegangan *output* dan *input*, pengujian *constant current*, pengujian *constant voltage*, pengujian efisiensi, pengujian sensor arus dan sensor tegangan dan pengujian charging baterai.

4.1 Peralatan Pengujian Konverter

Pengujian konverter dilakukan dengan menggunakan peralatan yang tersedia di laboratorium konversi energi. Peralatan yang digunakan antara lain adalah sumber DC variabel, osiloskop, multimeter, clamp meter, beban R, dan baterai *Li-Po*. Sumber DC variabel yang digunakan adalah merk Protek PL-3005D yang memiliki rating tegangan maksimal hingga 30V dengan arus maksimal 5A. Karena tegangan masukan konverter adalah 12V maka sumber DC tersebut dapat digunakan untuk pengujian. Osiloskop yang digunakan adalah merk Tektronik TPS-2014B. Resistor variabel yang digunakan memiliki resistansi sebesar 25Ω dengan *rating* arus sebesar 5A. Sedangkan untuk baterai yang digunakan adalah Red Li-Po Battery dengan kapasitas 1800mAh dengan jumlah sel tiga.

4.2 Pengujian Sensor Arus dan Tegangan

Pengujian sensor arus dan tegangan bertujuan untuk mengetahui seberapa akurat sensor arus dan tegangan yang digunakan. Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai yang terbaca di serial monitor dengan dengan alat ukur konvensional. Untuk sensor arus yang digunakan ACS 712, sedangkan sensor tegangan yang digunakan adalah multiturn $100k\Omega$. Tabel 4.1 dibawah ini adalah hasil pengujian dari sensor arus dan tegangan.

Tabel 4.1 Pengujian sensor arus

Arus Aktual (A)	Arus Sensor (A)	Error Sensor (%)
0,24	0,23	4,16
0,51	0,52	1,96
0,74	0,73	1,35
0,99	0,98	1,01
1,24	1,22	1,61
1,46	1,44	1,36
1,77	1,73	2,25
1,99	1,94	2,51
2,27	2,2	3,08
2,52	2,44	3,17
2,73	2,65	2,93
2,98	2,89	3,02

Tabel 4.2 Pengujian sensor tegangan

Tegangan Aktual (V)	Tegangan Sensor (V)	Error Tegangan (%)
0,99	0,93	6,06
1,98	1,9	4,04
2,94	2,88	2,04
3,89	3,91	0,51
4,91	4,95	0,81
5,95	6,1	2,52
6,94	6,93	0,14
7,95	7,9	0,62
8,92	8,85	0,78
9,93	9,86	0,71
10,9	10,85	0,45
11,9	11,82	0,67

Berdasarkan tabel diatas sensor arus ACS712 memiliki rata-rata error sebesar 1,58% dengan nilai error terbesar 4,16%, sedangkan untuk

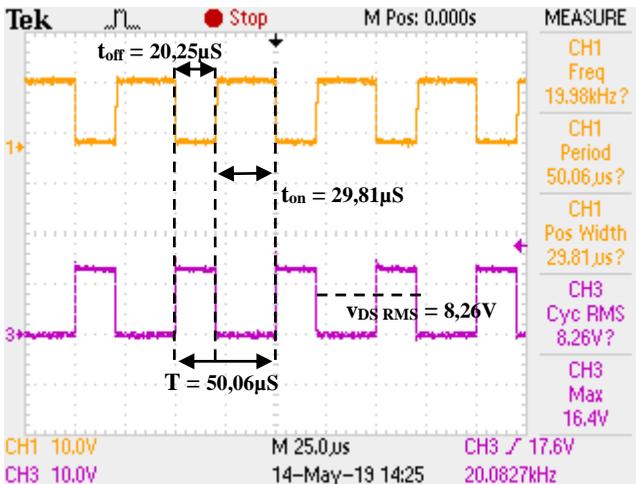
sensor tegangan multiturun $100\text{k}\Omega$ memiliki rata-rata error sebesar 1,61% dengan nilai error terbesar yaitu 6,06%.

4.3 Pengujian Sinyal Komponen

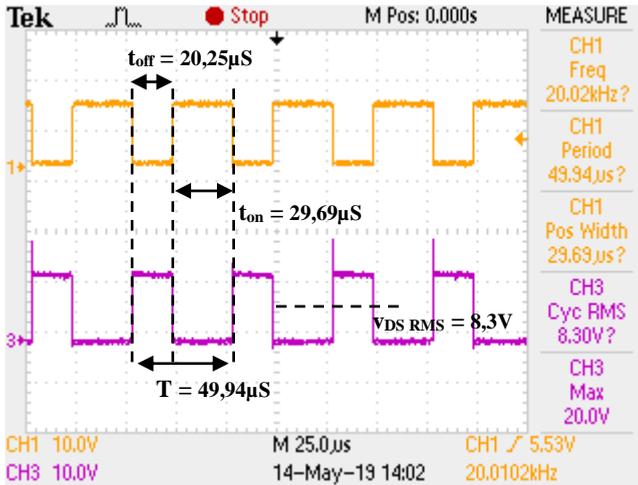
Pengujian sinyal komponen dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah sinyal yang dihasilkan pada saat implementasi sudah sesuai dengan sinyal ketika desain dan simulasi. Pengujian yang dilakukan pada konverter antara lain pengujian pensakelaran, pengujian dioda, pengujian induktor, pengujian kapasitor, serta pengujian tegangan *input* dan *output*.

4.3.1 Pengujian Pensakelaran

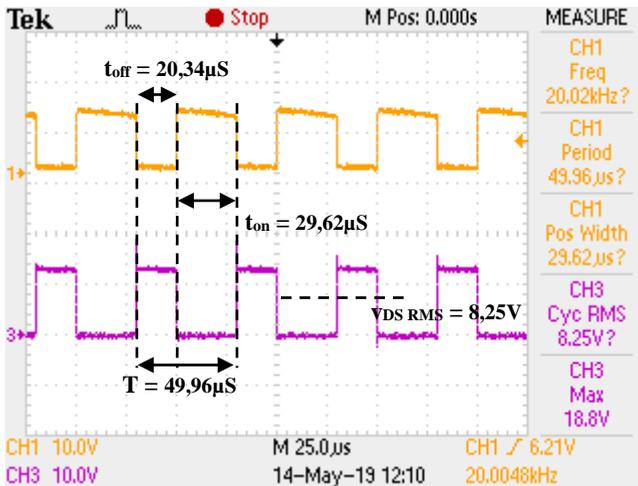
Pengujian pensakelaran dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah sinyal PWM yang dibangkitkan sudah sesuai dengan simulasi. Pengujian ini dilakukan dengan mengamati bentuk gelombang Tegangan Gate Source dan Tegangan Drain Source yang terbangkitkan. Pengujian pensakelaran dilakukan sebanyak tiga kali dengan konverter yang berbeda.



(a)



(b)



(c)

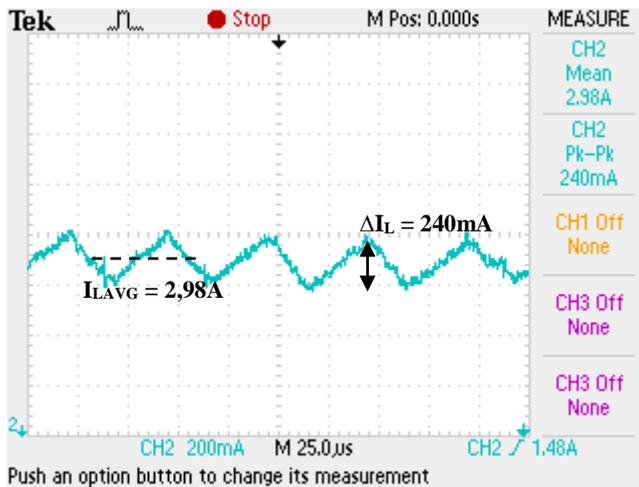
Gambar 4.1 Bentuk Gelombang VGS dan VDS (a) Konverter 1 (b) Konverter 2 (c) Konverter 3

Gambar 4.1 adalah bentuk gelombang dari VGS dan VDS dari masing-masing konverter. Dimana ketika gate dari dari MOSFET dalam keadaan *high* atau satu (sakelar tertutup) maka tegangan *drain-source* dalam keadaan *low* atau nol sehingga arus akan mengalir pada *drain-source*. Sebaliknya ketika *gate* dari MOSFET dalam keadaan *low* atau nol(sakelar terbuka) maka tegangan *drain-source* dalam keadaan *high* atau satu sehingga tidak ada arus yang mengalir. Tegagan *drain source* saat sakelar terbuka adalah sebesar 12V sesuai dengan tegangan masukan.

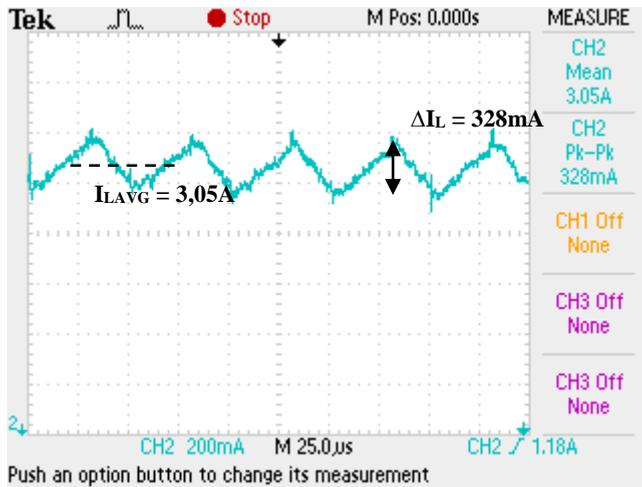
Penggunaan komponen yang tidak ideal saat implementasi menyebabkan *spike* tegangan pada *drain-source*. Selain menyebabkan *spike*, komponen yang tidak ideal juga menyebabkan rugi-rugi atau losses yang berakibat drop tegangan pada sisi *output* sehingga berdasarkan gambar 4.1, didapatkan nilai *duty cycle* yang lebih besar dari desain dan simulasi, nilai *duty cyle* yang lebih besar ini supaya tegangan *output* terjaga pada nilai tegangan 6 V.

4.3.2 Pengujian Arus Induktor

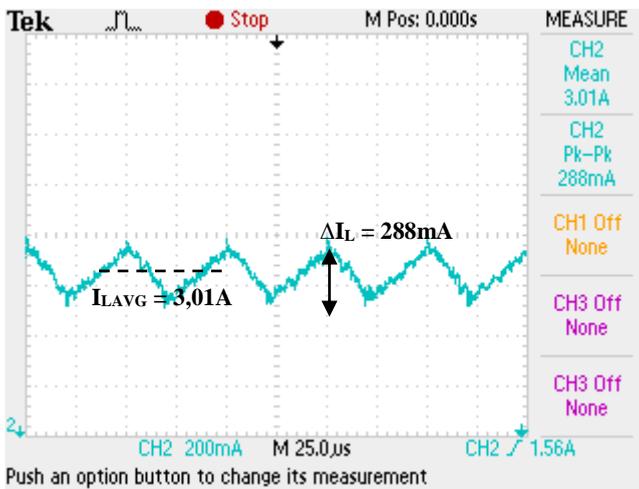
Pengujian arus induktor dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah arus induktor yang dihasilkan saat implementasi sudah sesuai dengan desain dan simulasi.



(a)



(b)



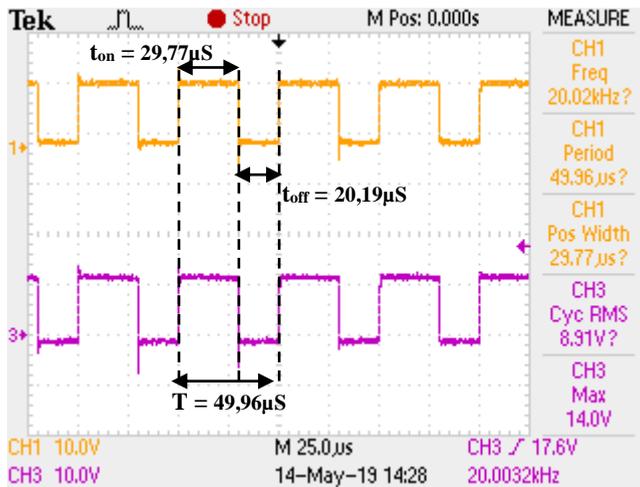
(c)

Gambar 4.2 Bentuk Gelombang Arus Induktor (a) Konverter 1 (b) Konverter 2 (c) Konverter 3

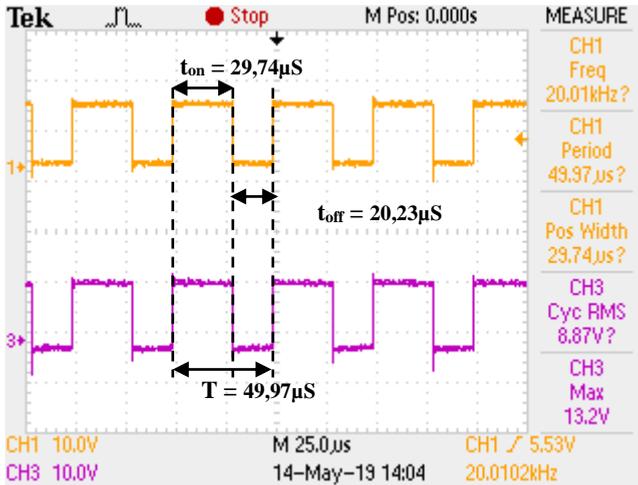
Gambar 4.2 adalah bentuk gelombang arus induktor dari masing-masing konverter. Dari ketiga gambar tersebut menunjukkan bahwa bentuk gelombang arus induktor dari masing-masing konverter sudah sesuai dengan bentuk gelombang pada simulasi. Nilai arus rata-rata dari masing-masing induktor adalah 2,98A, 3,05A, 3,01A. Nilai *ripple* arus dari masing-masing induktor antara lain 240mA, 328mA, 288mA dimana nilai tersebut lebih tinggi dari nilai pada desain dan simulasi. Nilai ripple yang lebih tinggi ini dikarenakan penggunaan komponen yang tidak ideal.

4.3.3 Pengujian Tegangan Dioda

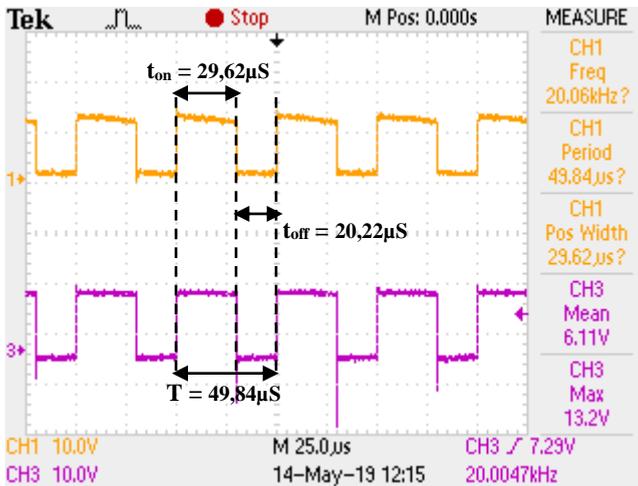
Pengujian tegangan dioda dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui bentuk gelombang dioda saat implementasi apakah sudah sesuai dengan desain dan simulasi. Pengujian dilakukan dengan mengamati bentuk gelombang tegangan *drain source* dan tegangan dioda.



(a)



(b)



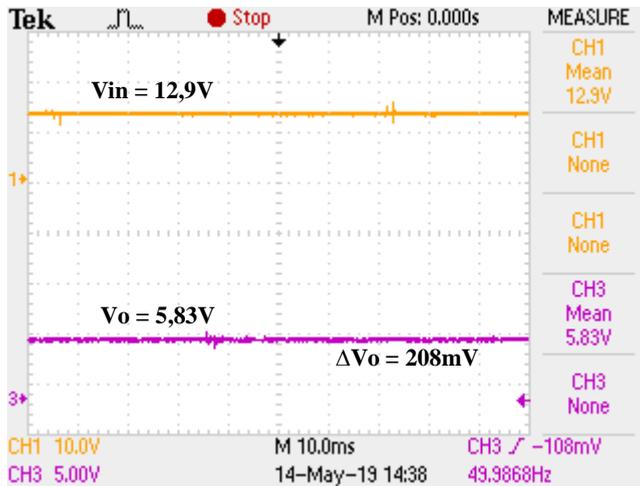
(c)

Gambar 4.3 Bentuk Gelombang Tegangan *Gate-Source* dan Tegangan Dioda (a) Konverter 1 (b) Konverter 2 (c) Konverter 3

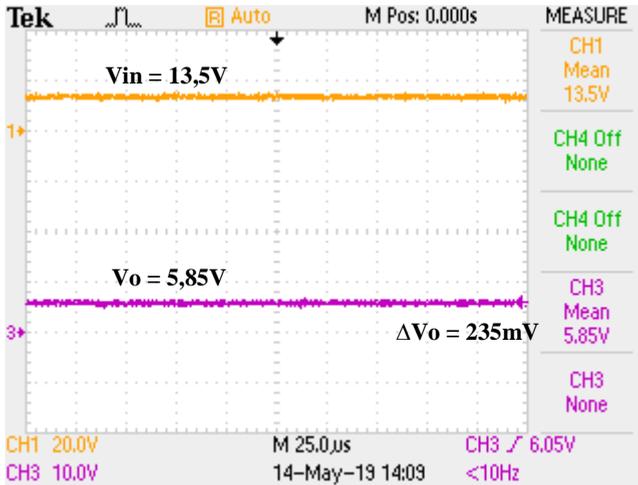
Gambar 4.3 adalah bentuk gelombang dioda dari masing-masing konverter. Berdasarkan gambar diatas bentuk gelombang hasil implementasi sudah sesuai dengan desain dan simulasi. Saat tegangan *gate-source* kondisi *high* (sakelar tertutup) maka dioda dalam keadaan *reversed bias* sehingga tegangan dioda sama dengan tegangan masukan. Sedangkan saat tegangan *gate-source* kondisi *low* (sakelar terbuka) maka dioda dalam keadaan *forward bias* sehingga tegangan dioda nol dan arus akan mengalir dari induktor melewati dioda.

4.3.4 Pengujian Tegangan *Output* dan Tegangan *Input* Konverter

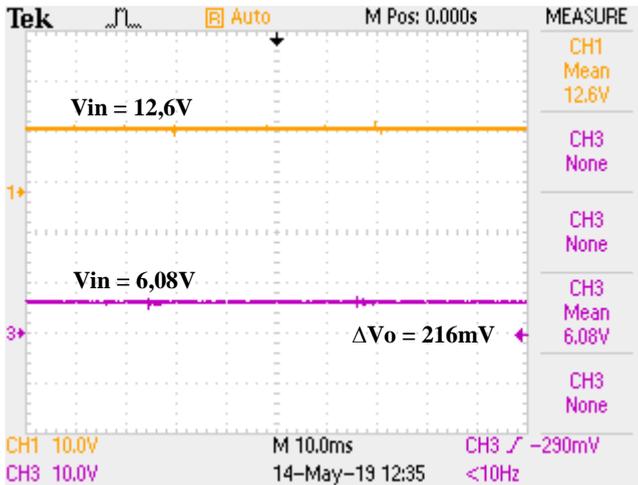
Pengujian tegangan *output* dan tegangan *input* dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui bentuk gelombang dan nilai dari tegangan *output* dibandingkan dengan hasil desain dan simulasi. Karena kapasitor dipasang satu node dengan beban R, maka tegangan kapasitor sama dengan tegangan *output*. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali dengan konverter yang berbeda.



(a)



(b)



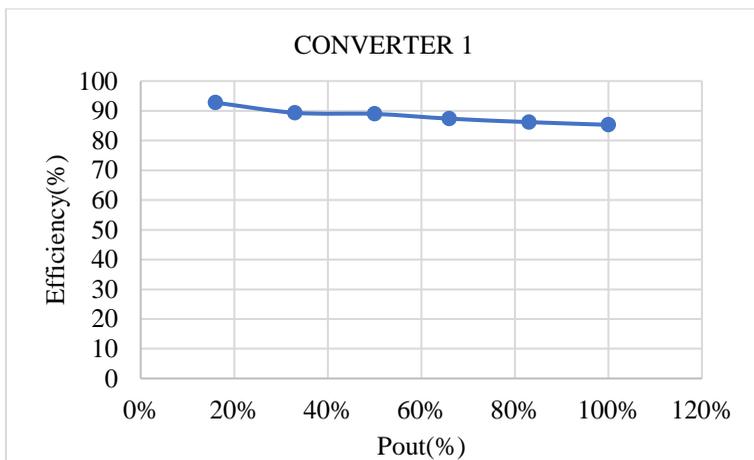
(c)

Gambar 4.4 Bentuk Gelombang Tegangan *Output* dan Tegangan *Input*
 (a) Konverter 1 (b) Konverter 2 (c) Konverter 3

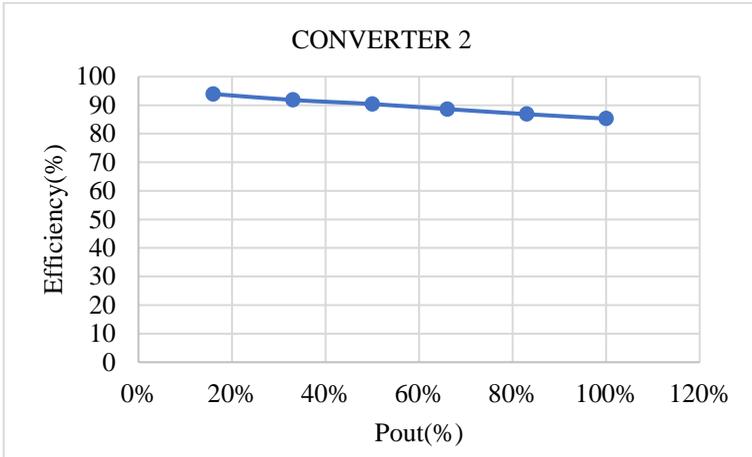
Gambar 4.4 adalah bentuk dari gelombang *input* dan *output* dari masing-masing konverter. Dari pengujian didapatkan nilai-nilai tegangan *output* rata-rata antara lain 5,83V , 5,85V, 6,08V. Sedangkan untuk nilai *ripple* tegangan *output* antara lain 208mV, 235mV, dan 216mV yang mana nilai tersebut lebih besar dari desain dan simulasi. Nilai *ripple* tegangan *output* pada implementasi lebih besar dari *ripple* tegangan *output* pada desain dan simulasi dikarenakan penggunaan komponen yang tidak ideal sehingga memiliki nilai *ripple* lebih besar.

4.4 Pengujian Efisiensi Konverter

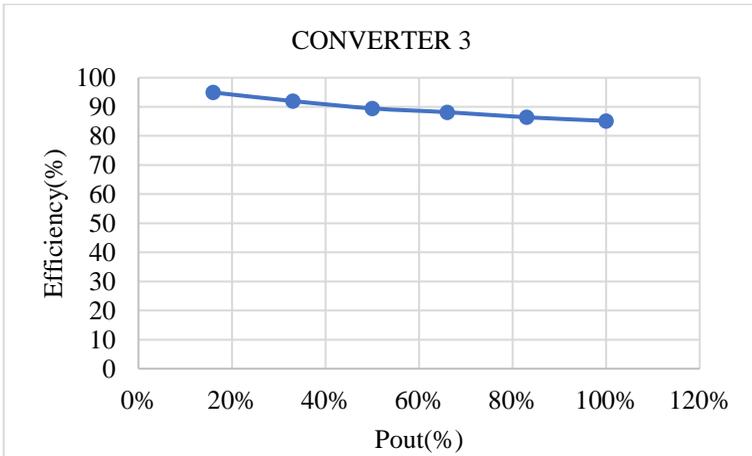
Pengujian efisiensi dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui efisiensi dari sebuah konverter pada nilai daya *output* yang berbeda-beda. Untuk melakukan pengujian efisiensi maka tegangan *input* dan *output* dijaga konstan pada nilai tertentu. Pada pengujian ini tegangan *input* dijaga konstan pada nilai 12V dan tegangan *output* dijaga konstan pada nilai 6V. Selanjutnya pengujian dilakukan dengan cara mengubah-ubah nilai beban R dan *duty cycle* dari daya *output* 100% sampai 16% dengan tegangan *output* tetap pada nilai 6V. Pengukuran efisiensi dilakukan dengan membandingkan nilai daya *output* dengan daya *input* dengan menggunakan alat ukur yang sama. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali dengan konverter yang berbeda



(a)



(b)



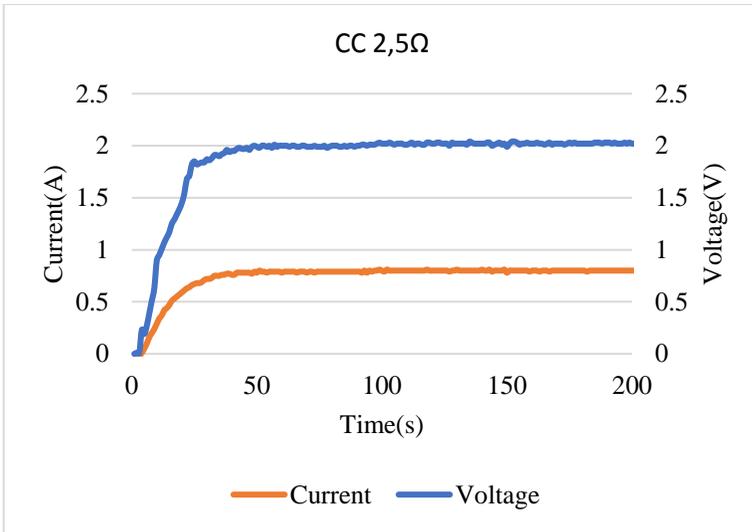
(c)

Gambar 4.5 Grafik Efisiensi (a) Konverter 1 (b) Konverter 2 (c) Konverter 3

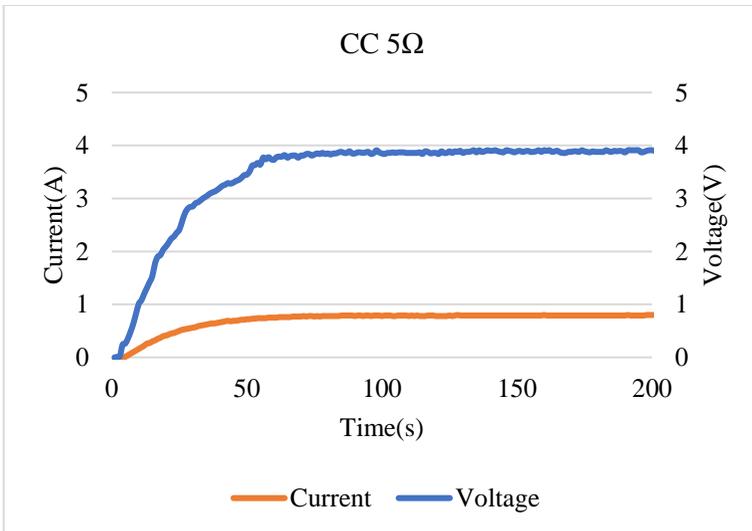
Gambar 4.5 adalah grafik efisiensi dari masing-masing konverter. Untuk konverter 1, efisiensi maksimum didapatkan saat daya *output* 16% dengan nilai 92,7% sedangkan efisiensi terendah didapatkan saat daya *output* 100% dengan nilai 85,3%. Sedangkan konverter 2, efisiensi maksimum didapatkan saat daya *output* 16% dengan nilai 93,9% dan efisiensi terendah didapatkan saat daya *output* 100% dengan nilai 85,2%. Sedangkan konverter 3, efisiensi maksimum didapatkan saat daya *output* 16% dengan nilai 94,9% dan efisiensi terendah didapatkan saat daya *output* 100% dengan nilai 85,1%. Berdasarkan ketiga grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin besar daya *output* maka efisiensinya akan semakin turun. Hal ini disebabkan karena semakin besar daya yang dikeluarkan oleh konverter maka arus yang dihasilkan akan semakin besar, sehingga sesuai dengan rumus rugi-rugi yaitu rugi-rugi sama dengan kuadrat arus dikalikan R, maka dengan semakin besar arus yang dihasilkan menyebabkan rugi-ruginya akan semakin besar juga. Selain itu penentuan komponen dengan nilai resistansi yang besar juga akan berdampak pada nilai efisiensi sebuah konverter. Dari hasil pengujian didapatkan rata-rata efisiensi konverter 1 sebesar 88,3%, konverter 2 sebesar 89,4% dan konverter 3 sebesar 89,3%.

4.5 Pengujian *Constant Current Constant Voltage*

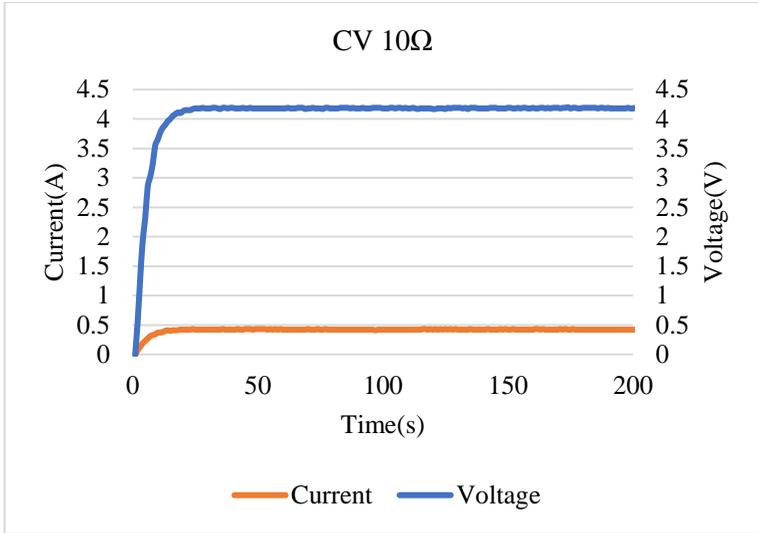
Pengujian *constant current constant voltage* dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah konverter dapat menjaga arus dan tegangan konstan sesuai dengan desain dan simulasi. Pengujian dilakukan dengan menggunakan beban Resistif. Supaya dapat menghasilkan arus dan tegangan yang konstan maka konverter *buck* harus dalam keadaan *closed loop* dengan menggunakan controller PI. Nilai K_p dan K_i yang digunakan saat pengujian *constant current* adalah $K_p=1$ dan $K_i=10$, penentuan nilai tersebut didapatkan dengan metode *trial and error*. Sedangkan saat pengujian *constant voltage* menggunakan nilai $K_p=1$ dan $K_i=5$, sama seperti saat *constant current*, penentuan nilai ini didapatkan dengan metode *trial and error*. Pengujian *constant current constant voltage* dilakukan sebanyak tiga kali dengan konverter yang berbeda.



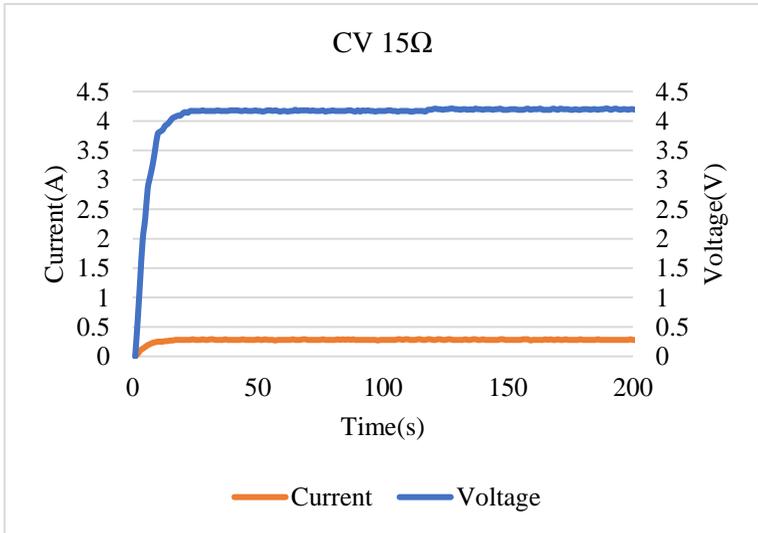
(a)



(b)



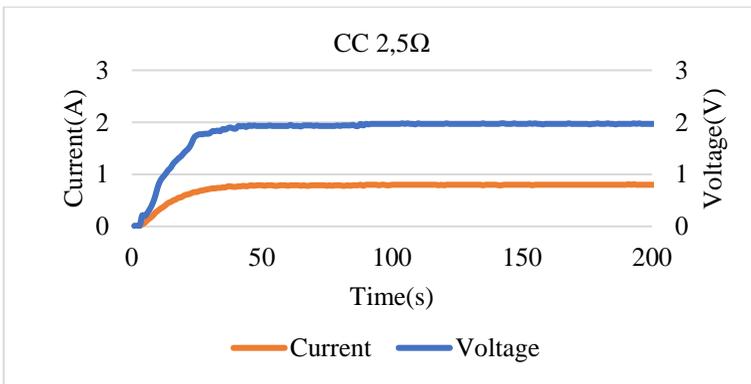
(c)



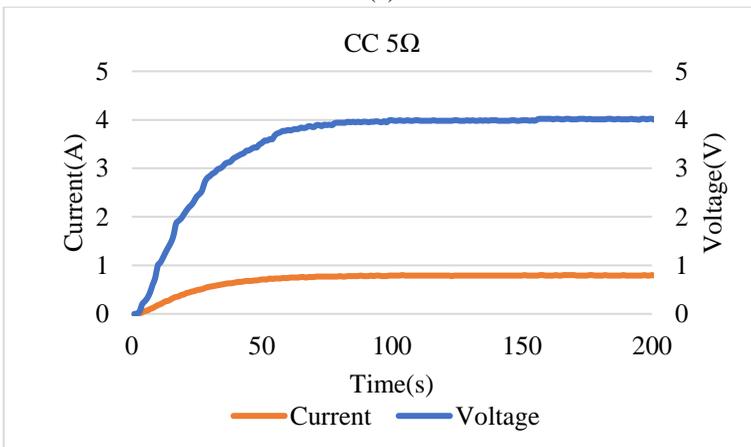
(d)

Gambar 4.6 Pengujian *Constant Current Constant Voltage* Konverter 1

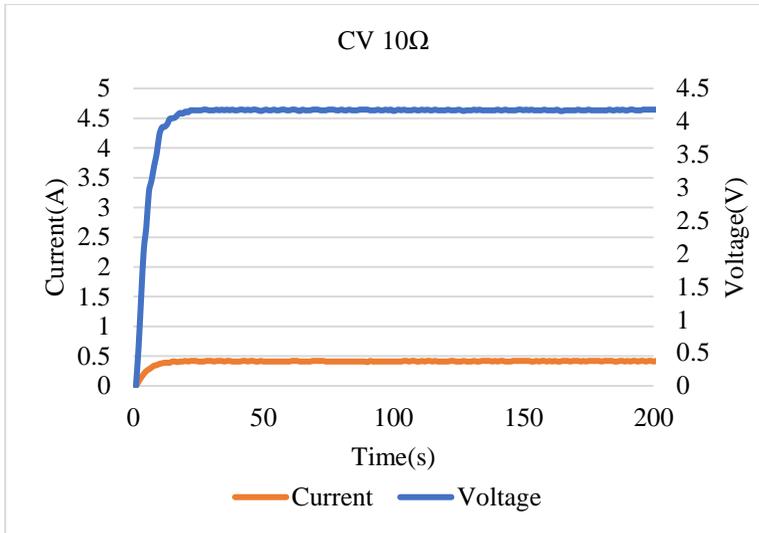
Pengujian *constant current* dan *constant voltage* dilakukan dengan mengatur nilai setpoint arus sebesar 0,8A dan tegangan sebesar 4,2V. Untuk mengetahui konverter sudah bekerja sesuai simulasi maka pengujian dilakukan dua kali dengan nilai beban R yang berbeda yaitu 2,5 Ω dan 5 Ω untuk pengujian *constant current* sedangkan untuk pengujian *constant voltage* digunakan beban R dengan nilai 10 Ω dan 15 Ω . Gambar 4.6 (a) dan (b) adalah pengujian *constant current* sedangkan gambar 4.6 (c) dan (d) adalah pengujian *constant voltage*. Berdasarkan gambar diatas maka konverter I sudah bekerja sesuai dengan simulasi.



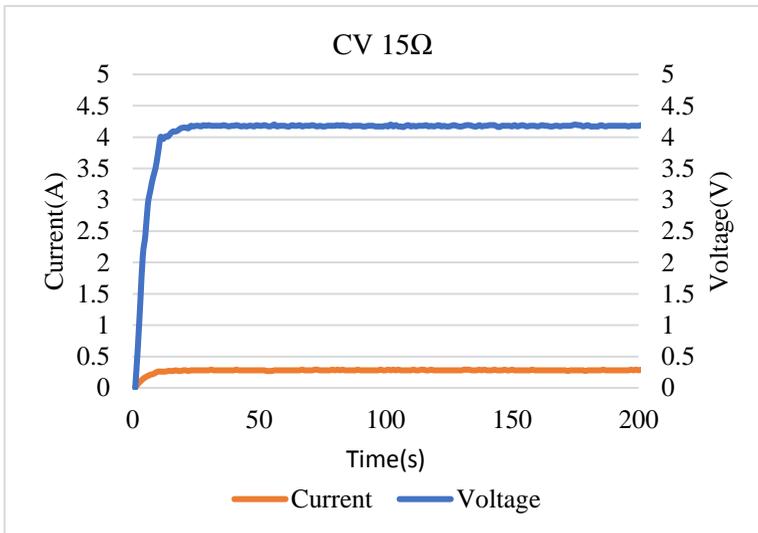
(a)



(b)



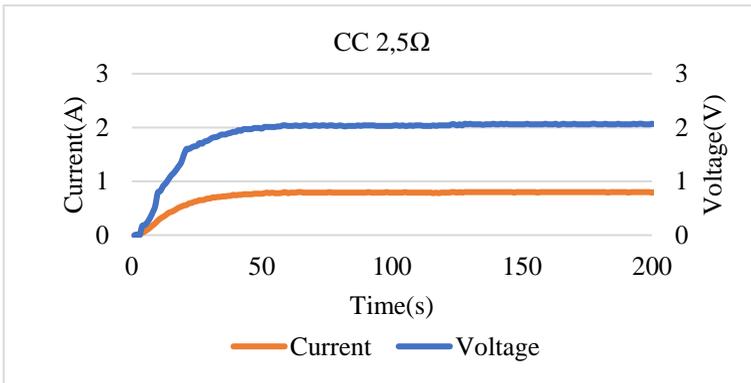
(c)



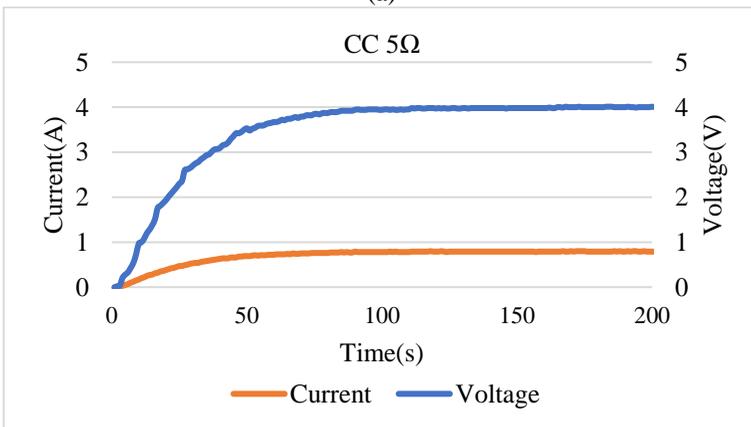
(d)

Gambar 4.7 Pengujian *Constant Current Constant Voltage* Konverter 2

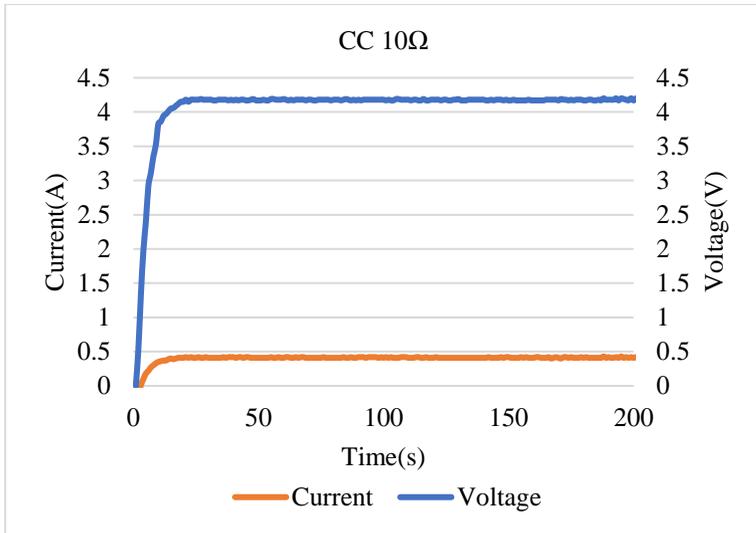
Pengujian *constant current* dan *constant voltage* dilakukan dengan mengatur nilai setpoint arus sebesar 0,8A dan tegangan sebesar 4,2V. Untuk mengetahui konverter sudah bekerja sesuai simulasi maka pengujian dilakukan dua kali dengan nilai beban R yang berbeda yaitu 2,5 Ω dan 5 Ω untuk pengujian *constant current* sedangkan untuk pengujian *constant voltage* digunakan beban R dengan nilai 10 Ω dan 15 Ω . Gambar 4.7 (a) dan (b) adalah pengujian *constant current* sedangkan gambar 4.7 (c) dan (d) adalah pengujian *constant voltage*. Berdasarkan gambar diatas maka konverter 2 sudah bekerja sesuai dengan simulasi.



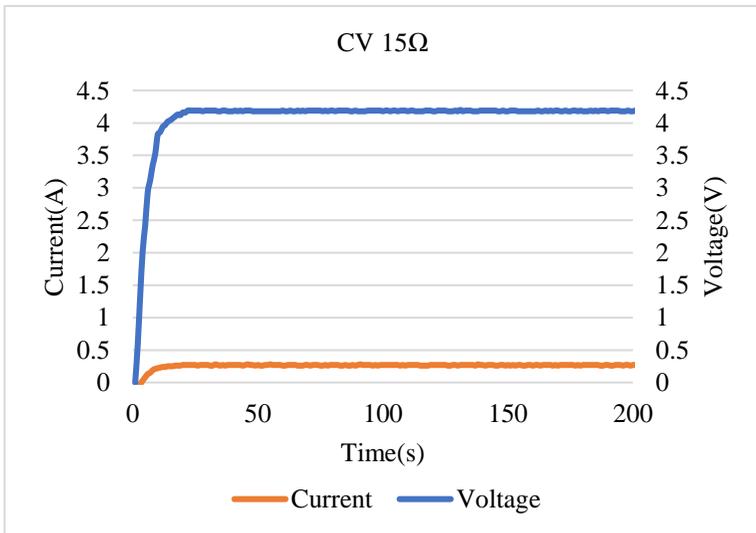
(a)



(b)



(c)



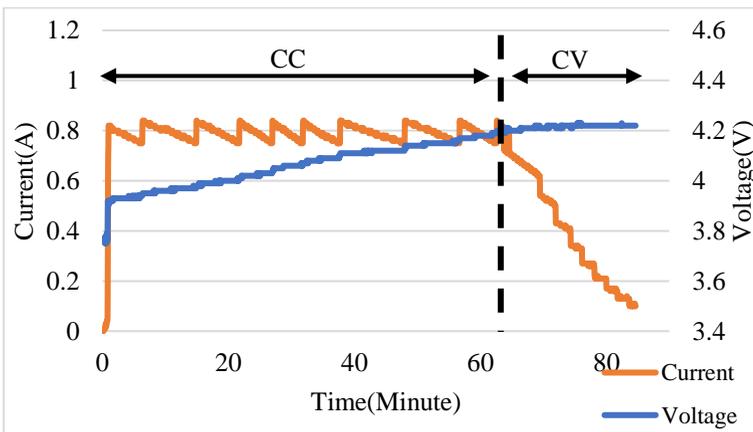
(d)

Gambar 4.8 Pengujian *Constant Current Constant Voltage* Konverter 3

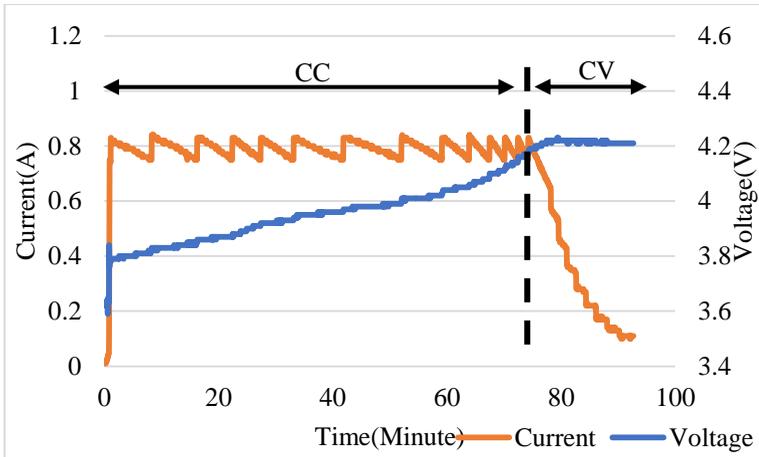
Pengujian *constant current* dan *constant voltage* dilakukan dengan mengatur nilai setpoint arus sebesar 0,8A dan tegangan sebesar 4,2V. Untuk mengetahui konverter sudah bekerja sesuai simulasi maka pengujian dilakukan dua kali dengan nilai beban R yang berbeda yaitu 2,5Ω dan 5Ω untuk pengujian *constant current* sedangkan untuk pengujian *constant voltage* digunakan beban R dengan nilai 10 Ω dan 15 Ω. Gambar 4.8 (a) dan (b) adalah pengujian *constant current* sedangkan gambar 4.8 (c) dan (d) adalah pengujian *constant voltage*. Berdasarkan gambar diatas maka konverter 3 sudah bekerja sesuai dengan simulasi.

4.6 Pengujian Charging Baterai

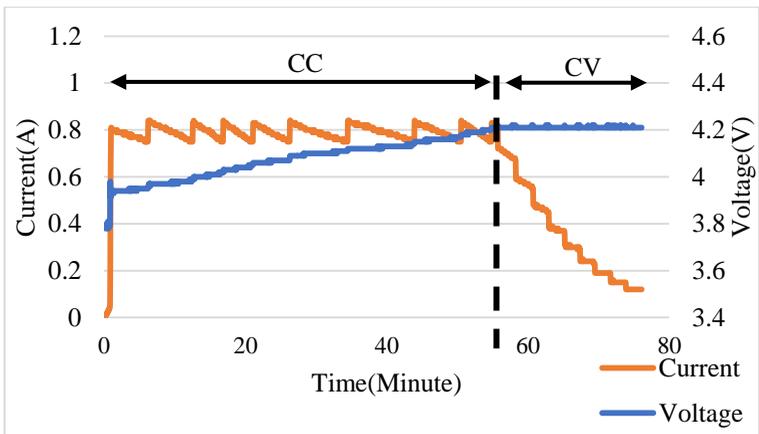
Pengujian charging baterai dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kemampuan konverter melakukan proses *constant current* dan *constant voltage* ketika menggunakan beban baterai. Baterai yang digunakan adalah *Lithium-Polymer* tiga sel dengan kapasitas 1800mAh. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan baterai ke *output* konverter. Pada saat *constant current*, setpoint arus diatur pada nilai 0,8A dengan nilai $K_p = 1$ dan $K_i = 0,1$. Sedangkan saat *constant voltage*, setpoint tegangan diatur pada nilai 4,2V dengan nilai $K_p = 1$ dan $K_i = 5$. Penentuan nilai K_p dan K_i ini didapatkan dengan metode trial and error.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.9 Grafik charging baterai *Li-Po* (a) Sel 1 (b) Sel 2 (c) Sel 3.

Gambar 4.9 adalah grafik hasil dari proses charging baterai *Li-Po* tiga sel. Setiap sel memiliki tegangan awal yang berbeda, dimana sel 1 memiliki tegangan awal sebesar 3,76V, sel 2 memiliki tegangan awal 3,63V sedangkan sel 3 memiliki tegangan awal 3,8V. Dengan adanya perbedaan tegangan awal ini lamanya waktu proses charging berbeda,

dimana untuk sel 1 memiliki waktu charging selama 84 menit dengan waktu saat *constant current* 62 menit dan saat *constant voltage* 22 menit. Karena sel 2 memiliki tegangan awal yang lebih rendah dibandingkan sel lainnya maka membutuhkan waktu charging yang lebih lama yaitu 92 menit dengan waktu saat *constant current* 75 menit dan saat *constant voltage* 17 menit. Sedangkan sel 3 membutuhkan waktu charging selama 76 menit dengan waktu saat *constant current* 54 menit dan waktu saat *constant voltage* 22 menit. Proses charging baterai berhenti saat arus yang mengalir kurang dari 0,1A untuk menghindari *overcharging*.

Berdasarkan ketiga grafik diatas saat *constant current* memiliki nilai *ripple* arus sebesar 10%. Ripple arus ini terjadi karena perubahan sedikit saja pada nilai *duty cycle* maka menyebabkan perubahan nilai tegangan yang cukup besar pada output *konverter*. Arus yang dihasilkan adalah selisih antara tegangan *output* konverter dengan tegangan open circuit baterai dibagi dengan nilai resistansi baterai. Sehingga ketika tegangan *output* konverter berubah cukup besar akibat bertambahnya nilai *duty cycle* maka selisih antara tegangan *ouput* konverter dan tegangan open circuit baterai akan semakin besar yang menyebabkan arus yang mengalir akan besar bahkan bisa melebihi nilai setpoinya. Oleh karena itu untuk mengatasi hal tersebut dibutuhkan kontroller dengan range PWM yang lebih besar sehingga ketika nilai *duty cycle* berubah sedikit saja maka tegangan output konverter tidak berubah secara signifikan.

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi, implementasi dan pengujian *buck* konverter untuk charger baterai dengan metode *CC-CV* dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Implementasi konverter *buck* dengan menggunakan controller PI dapat menghasilkan arus konstan dan tegangan konstan pada beban resistor, jika pada beban baterai memiliki ripple arus 10% pada saat *constant current*.
2. Dalam pengujian konverter *buck* terdapat perbedaan nilai ripple arus induktor antara hasil simulasi dan hasil implementasi, dimana pada simulasi bernilai 0,1A dan pada saat implementasi bernilai 0,28A hal ini dikarenakan penggunaan komponen yang tidak ideal pada proses implementasi
3. Implementasi konverter *Buck* memiliki efisiensi rata-rata sebesar 88,3% untuk konverter 1, konverter 2 sebesar 89,4% dan konverter 3 sebesar 89,3%.
4. Implementasi 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 0,8A dan parameter tegangan 4,2V.
5. Setiap sel pada baterai *li-po* memiliki waktu charging yang tidak sama. Sel 1 memiliki waktu charging 84 menit, 92 menit untuk sel 2 dan 76 menit untuk sel 3. Hal ini terjadi karena tegangan awal setiap sel yang berbeda-beda. Sel dengan tegangan awal paling rendah mempunyai waktu charging paling lama.

5.2 Saran

Saran yang diberikan untuk pengembangan tugas akhir selanjutnya adalah:

1. Pemilihan komponen dengan nilai resistansi yang rendah sehingga dapat mengurangi rugi-rugi.
2. Penggunaan sensor tegangan dan arus yang lebih akurat untuk menghindari overcharging karena pembacaan sensor yang kurang akurat.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Thowil Afif dan I. Ayu Putri Pratiwi, “Analisis Perbandingan Baterai Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid dan Nickel-Metal Hydride pada Penggunaan Mobil Listrik - Review,” *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 6, no. 2, hlm. 95–99, Agu 2015.
- [2] V.-B. Vu, D.-H. Tran, dan 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, hlm. 7398–7410, Sep 2018.
- [3] P. P. Surya, D. Irawan, dan M. Zuhri, “Review and comparison Of DC-DC converters for maximum power point tracking system in standalone photovoltaic (PV) module,” dalam *2017 International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture, and Industrial Automation (ICAMIMIA)*, Surabaya, 2017, hlm. 242–247.
- [4] M. H. Rashid, Ed., *Power electronics handbook: devices, circuits, and applications*, 3. ed. Amsterdam: Elsevier/BH, Butterworth-Heinemann, 2011.
- [5] M. Ashari, *desain konverter elektronika daya*. INFORMATIKA Bandung, 2017.
- [6] S.-Y. Tseng, T.-C. Shih, S.-Y. Fan, dan G.-K. Chang, “Design and implementation of lithium-ion/lithium-polymer battery charger with impedance compensation,” dalam *2009 International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS)*, Taipei, 2009, hlm. 866–870.
- [7] A. B. Khan dan W. Choi, “Optimal Charge Pattern for the High-Performance Multistage Constant Current Charge Method for the Li-Ion Batteries,” *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 33, no. 3, hlm. 1132–1140, Sep 2018.
- [8] W. Maranda, “Capacity degradation of lead-acid batteries under variable-depth cycling operation in photovoltaic system,” dalam *2015 22nd International Conference Mixed Design of Integrated Circuits & Systems (MIXDES)*, Torun, Poland, 2015, hlm. 552–555.
- [9] S. Temel, S. Yağlı, dan S. Gören, “P, PD, PI, PID CONTROLLERS,” hlm. 64.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

1. Program PID Charging Baterai

```
#include <PID_v1.h>
#include <LiquidCrystal.h>

LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);
int ACSoffset = 2515;
int mVperAmp = 100;
float pwm;
float volt_out = A0;
float amp_out = A3;
float VsamplingOut = 0;
float IsamplingOut = 0;
float VavgOut = 0;
float IavgOut = 0;
float Vout = 0;
float Iout = 0;
double VoltageOut = 0;
double VacsOut = 0;
double AmpOut = 0;
double mode;
double gap;
unsigned long time;
unsigned long interval = 450;
unsigned long previousmillis = 0;

double Setpoint, Input, Output;
//double aggKp=10, aggKi=50, aggKd=0;
//double consKp=5, consKi=10, consKd=0;
//PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, consKp, consKi,
consKd, DIRECT);

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  lcd.begin(16,2);
  Serial.begin(9600);
  pinMode(9, OUTPUT);
  pinMode(A0, INPUT);
```

```

pinMode(A1, INPUT);
pinMode(A2, INPUT);
pinMode(A3, INPUT);

TCCR1A = _BV(COM1A1);
TCCR1B = _BV(WGM13) | _BV(CS10);

ICR1 = 400;

//Input = analogRead(volt_out);
//Setpoint = 4.2;

//myPID.SetMode(AUTOMATIC);
//myPID.SetOutputLimits(0,90);

}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  VsamplingOut = 0;
  IsamplingOut = 0;

  for(int x = 0; x < 1000; x++)
  {
    Vout = analogRead(volt_out);
    Iout = analogRead(amp_out);

    VsamplingOut = VsamplingOut + Vout;
    IsamplingOut = IsamplingOut + Iout;
    delay(2);
  }
  VavgOut = VsamplingOut/1000;
  IavgOut = IsamplingOut/1000;

  VoltageOut = VavgOut*50/1023.0;

  VacsOut = (IavgOut/1023.0)*5000; //mendapatkan nilai mV
  AmpOut = ((VacsOut-ACSoffset) / mVperAmp);

```

```

if(VoltageOut < 4.2) {
    mode = 1;
}
else{
    lcd.setCursor(0, 0); lcd.print("baterai penuh");
    lcd.setCursor(0, 1); lcd.print("siap digunakan");
    Serial.println("baterai full");
}

while (mode == 1){
    double aggKp=5, aggKi=50, aggKd=0;
    double consKp=1, consKi=0.1, consKd=0;
    double aKp=0.1, aKi=5, aKd=0;
    PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, consKp, consKi,
consKd, DIRECT);

    VsamplingOut = 0;
    IsamplingOut = 0;

    for(int x = 0; x < 1000; x++)
    {
        Vout = analogRead(volt_out);
        Iout = analogRead(amp_out);

        VsamplingOut = VsamplingOut + Vout;
        IsamplingOut = IsamplingOut + Iout;
        delay(2);
    }
    VavgOut = VsamplingOut/1000;
    IavgOut = IsamplingOut/1000;

    VoltageOut = VavgOut*50/1023.0;

    VacsOut = (IavgOut/1023.0)*5000; //mendapatkannilai mV
    AmpOut = ((VacsOut-ACSoffset) / mVperAmp);

    Input = AmpOut;
    Setpoint = 0.8;

```

```

myPID.SetMode(AUTOMATIC);

if(VoltageOut < 4.2){
  double gap = abs(Setpoint-Input);
  if(gap<0.05){
    myPID.SetTunings(consKp, consKi, consKd);
  }
  else{
    myPID.SetTunings(aggKp, aggKi, aggKd);

    myPID.Compute();
  }
}
else{
  mode = 2;
}
if(Output > 255){
  Output = 255;
}else if(Output < 0){
  Output = 0;
}

```

```

pwm = Output;
OCR1A = pwm;
delay(200);

```

```

lcd.setCursor(0, 0); lcd.print("teg : ");
lcd.setCursor(6, 0); lcd.print(VoltageOut);
lcd.setCursor(0, 1); lcd.print("ars : ");
lcd.setCursor(6, 1); lcd.print(Input);

```

```

unsigned long currentmillis = millis();
if (currentmillis - previousmillis >= interval) {
  Serial.print(VoltageOut);
  Serial.print("\t");
  Serial.print(AmpOut);
  Serial.print("\t");
  time = millis();
}

```

```

        //prints time since program started
        Serial.print(time);
        Serial.print("\t");
        Serial.print(VacsOut);
        Serial.print("\t");
        Serial.print("CC");
        Serial.print("\t");
        Serial.print(Output);
        Serial.print("\t");
        Serial.println(VoltageOut*AmpOut);

        previousmillis = currentmillis;
    }
}

while(mode == 2){
    double aggKp=1, aggKi=5, aggKd=0;
    double consKp=1, consKi=5, consKd=0;
    PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, consKp, consKi,
consKd, DIRECT);

    VsamplingOut = 0;
    IsamplingOut = 0;

    for(int x1 = 0; x1 < 1000; x1++)
    {
        Vout = analogRead(volt_out);
        Iout = analogRead(amp_out);

        VsamplingOut = VsamplingOut + Vout;
        IsamplingOut = IsamplingOut + Iout;
        delay(2);
    }
    VavgOut = VsamplingOut/1000;
    IavgOut = IsamplingOut/1000;

    VoltageOut = VavgOut*50/1023.0;

```

```
VacsOut = (IavgOut/1023.0)*5000; //mendapatkannilai mV  
AmpOut = ((VacsOut-ACSoffset) / mVperAmp);
```

```
Input = VoltageOut;  
Setpoint = 4.2;
```

```
myPID.SetMode(AUTOMATIC);
```

```
double gap = abs(Setpoint-Input);  
if(gap < 1)  
{  
    myPID.SetTunings(consKp, consKi, consKd);  
}else{  
    myPID.SetTunings(aggKp, aggKi, aggKd);  
}  
myPID.Compute();  
while(AmpOut < 0.1){  
    lcd.setCursor(0, 0); lcd.print("baterai penuh");  
    lcd.setCursor(0, 1); lcd.print("siap digunakan");  
    OCR1A = 0;  
}
```

```
if(Output > 255){  
    Output = 255;  
}else if(Output < 0){  
    Output = 0;  
}
```

```
pwm = Output;  
OCR1A = pwm;  
delay(200);
```

```
lcd.setCursor(0, 0); lcd.print("teg : ");  
lcd.setCursor(6, 0); lcd.print(Input);  
lcd.setCursor(0, 1); lcd.print("ars : ");  
lcd.setCursor(6, 1); lcd.print(AmpOut);
```

```
unsigned long currentmillis = millis();
```

```
    if (currentmillis - previousmillis >= interval) {  
      Serial.print(VoltageOut);  
      Serial.print("\t");  
      Serial.print(AmpOut);  
      Serial.print("\t");  
      time = millis();  
      Serial.print(time); //prints time since program started  
      Serial.print("\t");  
      Serial.print("CV");  
      Serial.print("\t");  
      Serial.println(Output);  
      previousmillis = currentmillis;  
    }  
  }  
}
```

Tabel kawat tembaga AWG

AWG	Diameter (mm)	Luas Area(mm ²)	Arus (A)
1	7,350	42,4000	119
2	6,540	33,6000	94
3	5,190	21,2000	75
4	5,190	21,2000	60
5	4,620	16,8000	47
6	4,110	13,3000	37
7	3,670	10,6000	30
8	3,260	8,3500	24
9	2,910	6,6200	19
10	2,590	5,2700	15
11	2,300	4,1500	12
12	2,050	3,3100	9,3
13	1,830	2,6300	7,4
14	1,630	2,6300	5,9
15	1,450	1,650	4,7
16	1,290	1,3100	3,7
17	1,150	1,0400	2,9
18	1,024	0,8230	2,3
19	0,912	0,6530	1,8
20	0,812	0,5190	1,5
21	0,723	0,4120	1,2
22	0,644	0,3250	0,92
23	0,573	0,2590	0,729
24	0,511	0,4120	0,577
25	0,455	0,1630	0,457
26	0,405	0,1280	0,361
27	0,361	0,1020	0,288
28	0,321	0,0804	0,226
29	0,286	0,0646	0,182
30	0,255	0,0503	0,142

BIODATA PENULIS



Terlahir di kota kecil paling barat Jawa Timur, kota yang indah yaitu Magetan pada 24 Juli 1996. Penulis yang bernama lengkap Dwi Sigit Sutrisno, biasa dipanggil Sigit. Penulis yang dibesarkan di Magetan menempuh pendidikan formal dimulai dari tingkat dasar di SDN Cepoko 2, dilanjutkan dengan pendidikan tingkat menengah pertama di SMPN 1 Magetan, pendidikan tingkat lanjut di SMAN 1 Magetan, dan saat ini sedang menempuh pendidikan Strata 1 di Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama masa perkuliahan, penulis aktif di kegiatan *event* jurusan, seperti pada kegiatan Electra 2015, Electra 2016, Electra 2017 . Penulis juga aktif menjadi asisten di Laboratorium Konversi Energi Listrik Teknik Elektro ITS.