



TUGAS AKHIR - EE 184801

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI *NON-INVERTING
CASCADED BIDIRECTIONAL BUCK-BOOST DC-DC
CONVERTER* DENGAN *AVERAGE CURRENT
MODE CONTROL* UNTUK *CHARGING BATERAI
LITHIUM-ION***

Indra Anugrah Pratama
NRP 07111640000032

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

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



TUGAS AKHIR - EE 184801

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI *NON-INVERTING
CASCADED BIDIRECTIONAL BUCK-BOOST DC-DC
CONVERTER DENGAN AVERAGE CURRENT
MODE CONTROL UNTUK CHARGING BATERAI
LITHIUM-ION***

Indra Anugrah Pratama
NRP 07111640000032

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

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TE 184801

**DESIGN AND IMPLEMENTATION OF NON-
INVERTING CASCADED BIDIRECTIONAL BUCK-
BOOST DC-DC CONVERTER WITH AVERAGE
CURRENT MODE CONTROL FOR LITHIUM-ION
BATTERY CHARGER**

Indra Anugrah Pratama
NRP 07111640000032

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

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Intelligent Electrical and Informatics Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas akhir saya dengan judul **“DESAIN DAN IMPLEMENTASI NON-INVERTING CASCADED BIDIRECTIONAL BUCK-BOOST DC-DC CONVERTER DENGAN AVERAGE CURRENT MODE CONTROL UNTUK CHARGING BATERAI LITHIUM-ION”** 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 2020



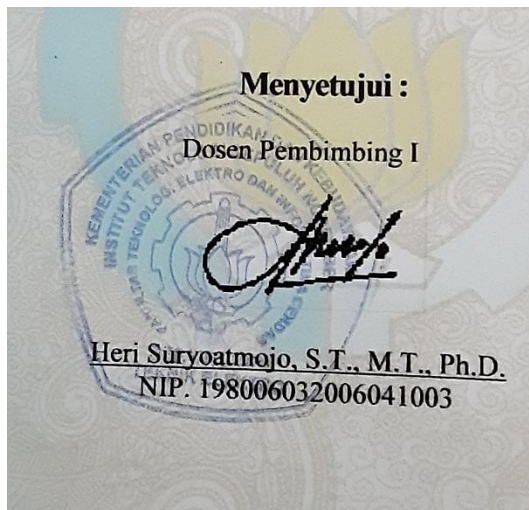
Indra Anugrah Pratama
07111640000032

Halaman ini sengaja dikosongkan

DESAIN DAN IMPLEMENTASI NON-INVERTING CASCADED BIDIRECTIONAL BUCK-BOOST DC- DC CONVERTER DENGAN AVERAGE CURRENT MODE CONTROL UNTUK CHARGING BATERAI LITHIUM-ION

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



**SURABAYA
JULI, 2020**

Halaman ini sengaja dikosongkan

DESAIN DAN IMPLEMENTASI NON-INVERTING CASCADED BIDIRECTIONAL BUCK-BOOST DC- DC CONVERTER DENGAN AVERAGE CURRENT MODE CONTROL UNTUK CHARGING BATERAI LITHIUM-ION

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 II



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

**SURABAYA
JULI, 2020**

Halaman ini sengaja dikosongkan

DESAIN DAN IMPLEMENTASI NON-INVERTING CASCADED BIDIRECTIONAL BUCK-BOOST DC-DC CONVERTER DENGAN AVERAGE CURRENT MODE CONTROL UNTUK CHARGING BATERAI LITHIUM-ION

Indra Anugrah Pratama
07111640000032

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

ABSTRAK

Proses pengembangan energi terbarukan juga berarti proses perkembangan di elemen – elemen pendukungnya, yaitu baterai *lithium-ion* dan sebagai komponen penyimpan energi. Baterai *lithium-ion* (Li-ion) telah banyak dipilih sebagai alat penyimpanan energi untuk peralatan portable, *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dan sistem penyimpanan grid. Namun terdapat permasalahan, yaitu proses pengisian energi dimana pada UAV yang menggunakan baterai akan lebih lama dibandingkan dengan UAV yang menggunakan gasoline. Ditambah lagi kelemahan pada *converter* biasa adalah kurangnya kapasitas, *gain* tegangan dan juga current stress yang tinggi sehingga mengakibatkan charging baterai tidak efisien. Maka dari itu dibutuhkan konverter yang memiliki kapasitas, kemampuan dan efisiensi yang baik. Untuk mengimplementasikan charging baterai dengan kapasitas dan efisiensi yang lebih baik, diusulkan *cascaded bidirectional buck-boost converter* yang dapat bekerja secara dua arah dan memiliki kemampuan dan kapasitas *gain* yang lebih baik, selain itu topologi ini memiliki polaritas yang sama pada outputnya. Dari hasil pengujian didapatkan konverter dapat mengalirkan daya secara bidirectional, bekerja dalam mode buck atau boost, dan memiliki efisiensi 83% untuk mode buck, dan 81% untuk mode boost. Dan proses pengisian dilakukan selama 93 menit untuk mencapai SOC kurang lebih 90 – 95% dari kondisi awal SoC 40%.

Kata kunci: *Cascaded Bidirectional Buck – Boost Converter, Charger Baterai, Li-Ion, Constant Current.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

**DESIGN AND IMPLEMENTATION OF NON-INVERTING
CASCADED BIDIRECTIONAL BUCK-BOOST DC-DC
CONVERTER WITH AVERAGE CURRENT
CONTROL MODE FOR LITHIUM-ION BATTERY CHARGER**

Indra Anugrah Pratama
0711164000032

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

ABSTRACT

The process of developing renewable energy also means the process of development in its supporting elements, namely lithium-ion batteries and as a component of energy storage. Lithium-ion batteries (Li-ion) have been chosen as energy storage devices for portable equipment, Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and grid storage systems. But there is a problem, namely the process of charging energy where the UAV that uses batteries will take longer than the UAV that uses gasoline. Plus the disadvantages of ordinary converters are lack of capacity, voltage gain and also high current stress, which results in inefficient battery charging. Therefore a converter that has a good capacity, capability and efficiency is needed. To implement battery charging with better capacity and efficiency, a cascaded bidirectional buck-boost converter is proposed that can work both ways and have better capacity and gain capacity, besides this topology has the same polarity at its output. From the test results obtained the converter can flow bidirectionally, work in buck or boost mode, and have an efficiency of 83% for buck mode, and 81% for boost mode. And the filling process is carried out for 83 minutes to reach an SOC of approximately 90 – 95% from the initial condition of the 40% SoC.

Key Word: *Cascaded Bidirectional Buck – Boost Converter, Battery Charger, Li-Ion, Constant Current.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah kita panjatkan atas kehadiran Allah Tuhan yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Tanpa berkat dan karunianya, maka penulis dapat menyelesaikan buku penelitian ini yang berjudul **“DESAIN DAN IMPLEMENTASI NON-INVERTING CASCADED BIDIRECTIONAL BUCK-BOOST DC-DC CONVERTER DENGAN AVERAGE CURRENT MODE CONTROL UNTUK CHARGING BATERAI LITHIUM-ION”**.

Buku ini penulis persembahkan untuk keluarga tercinta dan sebagai bahan referensi penelitian berikutnya yang terkait dengan topik penelitian ini di masa yang akan datang. Namun penulis menyadari bahwa buku penelitian ini jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca demi kepentingan menyempurnakan buku penelitian ini di masa mendatang

Selama pengerjaan penelitian ini banyak pihak – pihak yang membantu baik berupa doa, jasa, dan bimbingan dalam menyelesaikan penelitian. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak terkait yang membantu dan membimbing selama proses pengerjaan penelitian ini:

1. Kepada kedua orang tua yang tercinta Bapak Soepratomo dan Ibu Desy Arsianty yang senantiasa memberikan dukungan dan doa. Dan juga kepada adik perempuan Dwina Mada yang juga selalu memberikan doa dan dukungan.
2. Bapak Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Dr. Ir. Soedibyo, M.MT. selaku dosen pembimbing yang banyak memberikan arahan dan masukan sehingga buku penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik
3. Teman-teman asisten dan member Laboratorium Konversi Energi yang selalu ada dan memberi kritikan dalam proses pengerjaan penelitian.
4. Teman – teman angkatan e56 yang berjuang sejak pertama masuk perkuliahan hingga sekarang.
5. Dan semua pihak yang tak bisa disebutkan satu-persatu.

Penulis mengucapkan terimakasih atas segala dukungan dan doa yang telah diberikan selama proses pengerjaan.

Penulis memohon maaf atas segala kekurangan yang ada pada penelitian ini. Semoga penelitian ini dapat memberikan informasi dan manfaat bagi dunia penelitian dan masyarakat luas nantinya.

Surabaya, Juli 2020

A handwritten signature in black ink, featuring a large, stylized 'I' and 'A' followed by a horizontal line.

Indra Anugrah Pratama

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGESAHAN	
PERNYATAAN KEASLIAN	
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
1 BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Metodologi.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
1.7 Relevansi.....	5
2 BAB 2 BATERAI <i>LITHIUM-ION</i> DAN <i>DC – DC BIDIRECTONAL</i>	
 <i>CASCADED BUCK BOOST CONVERTER</i>.....	7
2.1 Baterai <i>Lithium-Ion</i>	7
2.2 <i>Cascaded Bidirectional Buck-Boost Dc-Dc Converter</i>	8
2.2.1 Analisis Sakelar Tertutup Mode Boost	9
2.2.2 Analisis Sakelar Terbuka Mode Boost.....	10
2.2.3 Analisis Sakelar Tertutup Mode Buck	12
2.2.4 Analisis Sakelar Terbuka Mode Buck	13
2.2.5 Penurunan Parameter Komponen.....	15
2.3 Pengisian Daya Baterai	16
2.4 Metode Kontrol Arus	18
2.4.1 PID Kontroller	18
2.4.2 Fungsi Iterasi dan Percabangan.....	19
3 BAB 3 DESAIN, SIMULASI, DAN IMPLEMENTASI.....	21
3.1 Diagram Blok Sistem	21
3.2 Pengisian Baterai <i>Li-Ion</i>	21
3.3 Desain Charger Baterai <i>Lithium-Ion</i>	22
3.4 Desain <i>Bidirectional</i> DC-DC Konverter	23
3.4.1 Penentuan Nilai Duty Cycle.....	24

3.4.2	Penentuan Nilai Beban	24
3.4.3	Penentuan Nilai Kapasitor	25
3.4.4	Penentuan Nilai Induktor	25
3.4.5	Penentuan MOSFET	28
3.5	Simulasi Konverter	29
3.5.1	Simulasi Konverter dalam Keadaan Steady State Mode Buck.....	29
3.5.2	Simulasi Konverter dalam Keadaan Steady State Mode Boost.....	34
3.5.3	Simulasi <i>Constant Current</i>	39
3.5.4	Simulasi <i>Charging</i> Baterai	42
3.6	Implementasi Baterai Charger	46
4	BAB 4 HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA	53
4.1	Peralatan Pengujian Konverter	53
4.2	Pengujian Sensor Arus dan Tegangan	53
4.3	Pengujian <i>Bidirectional DC – DC Buck – Boost Converter</i> ...	56
4.3.1	Pengujian Pensakelaran	56
4.3.2	Pengujian Arus Induktor.....	60
4.3.3	Pengujian Tegangan <i>Output</i> dan Tegangan <i>Input</i> Konverter	62
4.3.4	Pengujian Efisiensi Konverter	63
4.4	Pengujian <i>Constant Current</i>	66
4.5	Pengujian <i>Charging</i> Baterai	67
5	BAB 5 PENUTUP	69
5.1	Kesimpulan.....	69
5.2	Saran	69
	DAFTAR PUSTAKA.....	71
	LAMPIRAN	73
	BIODATA PENULIS	82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik Tegangan Terukur Sebagai Fungsi dari <i>State of Charge</i> dari Baterai <i>Lithium-Ion</i> [3].	7
Gambar 2.2 Rangkaian Cascaded Bidirectional Buck-Boost Dc-Dc Converter.....	8
Gambar 2.3.....	10
Gambar 2.4 Rangkaian Konverter Mode <i>Boost</i> dengan saklar S4 terbuka	11
Gambar 2.5 Gelombang keluaran Konverter dalam Mode Boost	12
Gambar 2.6 Rangkaian Konverter Mode <i>Buck</i> dengan saklar S1 tertutup	13
Gambar 2.7 Gelombang keluaran Konverter dalam Mode Buck	14
Gambar 2.8 Rangkaian Konverter Mode <i>Buck</i> dengan saklar S1 terbuka	14
Gambar 2.9 Proses pengisian baterai menggunakan metode <i>CC</i>	17
Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem Pengujian	21
Gambar 3.2 Flowchart Pengisian Baterai	22
Gambar 3.3 Simulasi Konverter dalam Mode Buck	30
Gambar 3.4 Gelombang V_{GS} (merah) dan V_{DS} (biru).	30
Gambar 3.5 Bentuk Gelombang tegangan V_{GS} dan Arus Induktor	31
Gambar 3.6 Bentuk Gelombang V_{GS1} dan V_{DS2}	32
Gambar 3.7 Bentuk Gelombang Tegangan <i>Input</i> , Tegangan Kapasitor dan Tegangan <i>Output</i>	33
Gambar 3.8 Simulasi Konverter dalam Mode Boost	34
Gambar 3.9 Gelombang V_{GS} (merah) dan V_{DS} (biru).	35
Gambar 3.10 Bentuk Gelombang tegangan V_{GS} dan Arus Induktor	36
Gambar 3.11 Bentuk Gelombang V_{GS4} dan V_{DS3}	37
Gambar 3.12 Bentuk Gelombang Tegangan <i>Input</i> , Tegangan Kapasitor dan Tegangan <i>Output</i>	38
Gambar 3.13 Simulasi rangkaian konverter saat mode <i>constant current</i>	39
Gambar 3.14 Hasil simulasi CC dengan beban R 12 Ω	40
Gambar 3.15 Hasil simulasi CC dengan beban R 14 Ω	41
Gambar 3.16 Simulasi (a) <i>cascaded bidirectional buck-boost dc-dc converter</i> (b) <i>kontroller constant current</i>	42

Gambar 3.17 Hasil simulasi <i>charging</i> baterai (a) Arus (b) Tegangan (c) SOC	44
Gambar 3.18 <i>Flowchart Simulasi Constant Current</i>	45
Gambar 3.19 <i>Flowchart Implementasi Constant Current</i>	47
Gambar 3.20 Implementasi Konverter (a) Rangkaian Driver dan Baterai (b) Rangkaian Konverter	49
Gambar 3.21 Implementasi Konverter (a) Rangkaian MOSFET Driver (b) Rangkaian Konverter (c) Induktor dan Tempat Pengisian Baterai	50
Gambar 4.1 Bentuk gelombang Vgs S1 dan Vds S2 mode buck.....	56
Gambar 4.2 Bentuk gelombang Vgs dan Vds S1 mode buck	57
Gambar 4.3 Bentuk gelombang Vgs dan Vds S4 mode boost	57
Gambar 4.4 Bentuk gelombang Vgs S4 dan Vds S3 mode boost	58
Gambar 4.5 Bentuk gelombang Vgs dan Vds S4 mode bidirectional boost	58
Gambar 4.6 Bentuk gelombang Vgs S4 dan Vds S3 mode bidirectional boost	59
Gambar 4.7 Bentuk Gelombang Arus Induktor (a) Konverter Mode Buck (b) Konverter Mode Boost (c) Konverter Mode <i>Bidirectional</i> Boost....	61
Gambar 4.8 Bentuk Gelombang Tegangan <i>Output</i> dan Tegangan <i>Input</i> (a) Konverter Mode Buck (b) Konverter Mode Boost (c) Konverter Mode <i>Bidirectional</i> Boost.....	63
Gambar 4.9 Grafik Efisiensi (a) Konverter mode buck (b) Konverter mode boost 2 (c) Konverter mode <i>bidirectional</i> boost	65
Gambar 4.10 Pengujian <i>Constant Current</i> forward power flow	66
Gambar 4.11 Pengujian <i>Constant Current</i> backward power flow	66
Gambar 4.12 Grafik <i>charging</i> 3 sel baterai <i>Li-Ion</i>	67

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1 Karakteristik <i>Kontroller</i> P, PI, dan PID.....	18
Tabel 3-1 Spesifikasi baterai <i>Li-Ion</i>	23
Tabel 3-2 Spesifikasi charger baterai.....	23
Tabel 3-3 Desain Spesifikasi Konverter.....	24
Tabel 3-4 Spesifikasi IRFP 9540	28
Tabel 3-5 Spesifikasi IRF 250N.....	28
Tabel 3-6 Parameter Komponen yang digunakan pada Konverter.....	29
Tabel 3-7 Parameter Komponen Konverter	48
Tabel 4-1 Pengujian sensor arus input	54
Tabel 4-2 Pengujian sensor arus output	54

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada beberapa tahun kebelakang, usaha untuk mengurangi efek dari perubahan iklim dan juga mengurangi polusi udara yang dihasilkan akibat energi, ditambah dengan ancaman menipisnya energi fosil yang ada, mendorong penelitian dan pengembangan pada energi terbarukan. Proses pengembangan energi terbarukan juga berarti proses perkembangan di elemen – elemen pendukungnya, yaitu baterai *lithium-ion* sebagai komponen penyimpan energi. Baterai *lithium-ion* (Li-ion) banyak digunakan karena performanya yang baik yaitu memiliki energi spesifik, kepadatan energi, efisiensi dan jangka hidup yang lama. Terutama pada aplikasi pesawat tanpa awak atau *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). Hal selanjutnya yang menjadi permasalahan secara umum terutama pada UAV adalah lamanya waktu pengisian daya bila dibandingkan dengan UAV yang menggunakan *gasoline*, hal ini juga terjadi pada peralatan portable lainnya, sehingga kemampuan *fast charging* atau penelitian dan pengembangan *converter* untuk *charging baterai* adalah fitur utama yang harus dicapai oleh para industri manufaktur. Namun kelemahan pada *converter* konvensional adalah kurangnya kapasitas, *gain* tegangan dan memiliki *current stress* yang tinggi, sehingga tidak efisien dan menurunnya kemampuan konverter dalam mengkonversi daya. Dan juga untuk dapat diterapkan pada UAV, maka dibutuhkan sistem penyimpanan energi yang memiliki sistem dua arah yaitu dapat melakukan *discharging* sebagai sumber daya pada UAV dan juga dapat melakukan proses *charging* ketika ada daya yang berlebih. Maka dari itu diperlukan topologi *converter* yang dapat bekerja secara dua arah dan memiliki kemampuan dan kapasitas *gain* yang lebih baik. *Buck-boost converter* dapat menghasilkan tegangan output yang lebih tinggi dan juga lebih rendah dari inputnya. Kemudian, untuk meningkatkan *gain* tegangan dan untuk mengurangi arus stres pada konverter, kita dapat menggunakan dua atau lebih konverter yang disusun dalam formasi *cascaded* yang nantinya akan digunakan untuk pengecasan baterai *lithium-ion* dimana baterai ini umum digunakan pada kendaraan listrik atau sistem penyimpanan energi lainnya. Sehingga *current ripple*, *current stress* dari induktor, *switching*, kapasitor dan dioda dapat dikurangi sehingga konverter dapat beroperasi pada rating daya yang lebih tinggi.

Pada penelitian ini diusulkan topologi yang dapat bekerja secara dua arah dan memiliki kemampuan dan kapasitas *gain* yang lebih baik. *Topologi converter* yang diusulkan memiliki keuntungan yaitu current stress dan losses yang ada pada switching yang lebih kecil daripada *converter* pada umumnya. Pada penelitian *converter* ini yang diterapkan akan diujikan untuk pada baterai Li-ion, baterai Li-ion dipilih karena performanya yang baik dan biasanya tipe baterai yang banyak dipakai pada UAV. Mode bidirectional juga diperlukan untuk UAV sendiri maka dari itu akan dilakukan uji coba pada saat charge dan discharge, karena *converter* yang didesain akan diterapkan pada UAV.

Maka dari itu diusulkanlah *cascaded bidirectional buck-boost converter* yang memiliki fleksibilitas *gain* yang tinggi dan current stress yang rendah untuk digunakan pada pengujian charge dan discharge pada baterai Li-ion.

1.2 Permasalahan

Seiring berkembangnya peralatan elektronik yang menggunakan baterai, terutama UAV. Maka diperlukan sebuah konverter yang dapat bekerja dalam dua arah, dan dapat digunakan dalam aplikasi *charging* baterai.

Namun, dikarenakan topologi yang ada memiliki beberapa kekurangan yaitu rumitnya rangkaian dan loss yang dimiliki relatif besar. Maka dari itu diusulkan topologi tipe baru yang memiliki komponen lebih sedikit dan memiliki efisiensi yang lebih baik, dapat bekerja secara dua arah dan memiliki dapat digunakan untuk aplikasi baterai *charging* dengan metode *constant current*.

1.3 Tujuan

Tujuan Penulisan tugas akhir ini adalah

1. Mendesain dan mengimplementasikan konverter dengan topologi baru yang dapat mengalirkan daya secara dua arah dan dapat diaplikasikan sebagai *charging* baterai *li-ion* dengan metode *average current mode control*.
2. Membandingkan dan menganalisis hasil implementasi dengan hasil desain dan simulasi Desain dan *Implementasi Non-Inverting Cascaded Bidirectional Buck-Boost Dc-Dc Converter* dengan *average current mode control* untuk *charging* baterai lithium-ion.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah:

1. Jenis baterai yang digunakan adalah *Lithium-Ion* yang tersusun secara seri dengan jumlah tiga sel.
2. Baterai *Li-Ion* yang diuji memiliki kapasitas 2600mAh
3. Topologi tipe baru yang digunakan adalah *non-inverting cascaded bidirectional buck-boost dc-dc converter*.
4. Pengujian hasil implementasi menggunakan sumber tegangan *Variable DC Supply*, serta beban *rheostat* yang terdapat pada laboratorium termasuk *charging* baterai dan implementasi *bidirectional*.
5. Implementasi alat disesuaikan dengan komponen yang tersedia dipasaran dan peralatan di laboratorium Konversi Energi.

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Studi Literatur

Pada tahap ini akan dilakukan studi pustaka tentang cara kerja *non-inverting cascaded bidirectional buck-boost dc-dc converter*, parameter dan karakteristik dari baterai li-ion, metode *charging* menggunakan *average current mode control* yang kemudian digunakan sebagai referensi untuk mengerjakan tugas akhir. Tinjauan pustaka bisa didapat dari jurnal, paper dan tugas akhir.

2. Perancangan Cascaded Bidirectional Buck-Boost Dc-Dc Converter

Pada tahap ini akan dilakukan perancangan konverter untuk menentukan nilai dari komponen dan parameter yang nantinya akan dijadikan acuan pada saat simulasi dan implementasi.

3. Simulasi

Setelah menentukan nilai parameter dari rangkaian, maka langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi dengan menggunakan software PSIM dan MATLAB. Pada tahap simulasi akan ada beberapa hal yang disimulasikan seperti metode *constant current*, *charging* baterai dan simulasi

bidirectional. Untuk metode CC maka dengan mengatur arus agar selalu tetap mengikuti set poin nya. *Bidirectional* maka disimulasikan apabila *input* dan *output* dibalik apakah konverter masih bisa bekerja. Lalu untuk *charging* baterai karena di PSIM tidak terdapat komponen baterai maka disimulasikan di PSIM dengan metode *constant current*.

4. Implementasi dan Pengujian

Pada tahap ini akan dilakukan implementasi dari simulasi. Langkah pertama adalah dengan membuat konverter dengan menggunakan software eagle. Lalu dengan menggunakan komponen yang sudah dipilih berdasarkan hasil perhitungan lalu menggunakan *mikrokontroler* Arduino sebagai kontrol untuk metode *constant current*. Kemudian dilakukan pengujian *bidirectional* dan *charging* baterai lithium ion tiga sel yang dipasang secara seri. Kemudian diambil data dari parameter yang ada seperti arus, tegangan, efisiensi, error sensor dan lama waktu *charging*.

5. Analisa Data

Pada tahap ini akan dilakukan analisa terhadap data yang didapat dari implementasi dengan hasil simulasi. Ketika data yang didapat tidak sesuai dengan hasil simulasi maka akan dilakukan perbaikan terhadap alat hingga hasil implementasi mendekati nilai dari simulasi.

6. Pembuatan Laporan

Pada tahap ini akan disusun laporan tugas akhir berdasarkan data yang didapat dilakukan pembuatan laporan tugas akhir dan sebuah kesimpulan akan ditarik dari hasil akhir pengerjaan tugas akhir.

1.6 Sistematika Penulisan

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

Bab 1 : Pendahuluan

Dalam bab ini dibahas mengenai latar belakang, permasalahan dan batasan masalah, tujuan, metode tugas akhir, sistematika pembahasan, dan relevansi dari penelitian yang dilakukan.

Bab 2 : Tinjauan Pustaka

Bab ini membahas teori penunjang terkait baterai *Lithium-Ion*, kerja *non-inverting cascaded bidirectional buck-boost dc-dc converter*, proses pengisian baterai dengan metode *constant current* dan implementasinya menggunakan *mikrokontroler*.

Bab 3 : Desain, Simulasi, dan Implementasi

Dalam bab ini dibahas tentang perancangan, cara kerja, simulasi dari *non-inverting cascaded bidirectional buck-boost dc-dc converter* dan juga proses pengisian baterai dengan metode *constant current* menggunakan perhitungan serta simulasi menggunakan perangkat lunak.

Bab 4 : Hasil Pengujian dan Analisis Data

Dalam bab ini dibahas tentang pengujian dan analisa performa dari topologi *konverter* yang digunakan berdasarkan data dari pengujian *bidirectional* dan proses pengisian baterai *Li-Ion* untuk secara *CC* dari hasil simulasi dan implementasi.

Bab 5 : Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari penelitian 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 topologi baru *bidirectional konverter* dan aplikasinya sebagai *charging* baterai.
2. Dapat digunakan sebagai referensi bagi mahasiswa lain dalam mengerjakan tugas akhir dengan topik yang serupa.

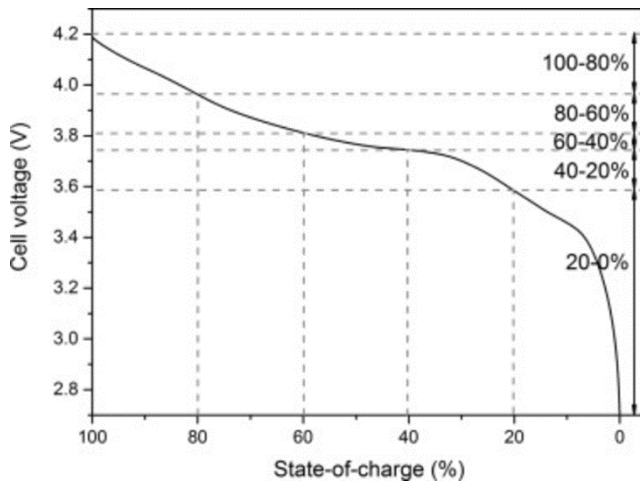
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

BATERAI LITHIUM-ION DAN DC – DC BIDIRECTONAL CASCADED BUCK BOOST CONVERTER

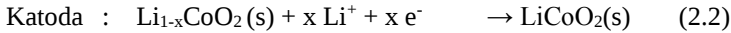
2.1 Baterai *Lithium-Ion*

Produksi dari baterai lithium ion meningkat secara signifikan sejak pertama kali dijual di pasaran pada tahun 1991 karena performanya yang baik, yang dikaitkan dengan tingginya energy spesifik, kepadatan energy, daya spesifik, efisiensi dan umur yang relatif panjang untuk baterai lithium ion. Baterai lithium ion pada awalnya digunakan untuk peralatan elektronik seperti telepon genggam, kamera, laptop, diikuti dengan penggunaan dengan skala lebih besar pada otomotif dan terakhir pada teknologi industri sebagai sarana penyimpanan energi[1]. Namun baterai Li-Ion juga memiliki beberapa kekurangan, yaitu lebih rentan daripada baterai lainnya, sehingga butuh system proteksi yang handal, menurunnya kapasitas seiring bertambahnya waktu pemakaian, biaya pembuatan yang cukup mahal dan tergolong teknologi yang masih baru sehingga masih butuh pengembangan lebih lanjut untuk mencapai potensi maksimal dari baterai Li-Ion[2].



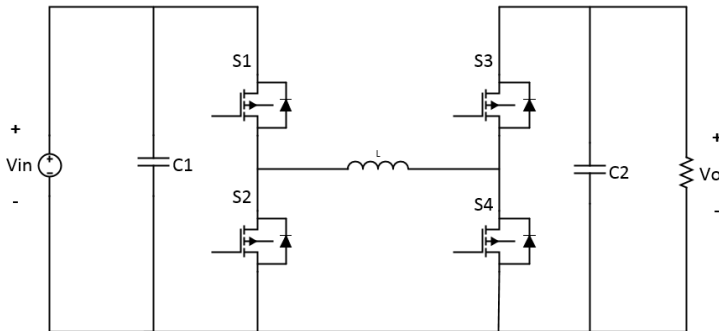
Gambar 2.1 Grafik Tegangan Terukur Sebagai Fungsi *State of Charge* dari Baterai *Lithium-Ion*[3].

Reaksi kimia yang terjadi ketika suatu baterai *Li-Ion terdischarge* dapat dilihat sebagai berikut:



Baterai lithium ion bekerja dengan mentransfer ion lithium dan elektron diantara anoda dan katoda. Dan karena ion lithium bekerja pada kedua kutub maka dari itu reaksi kimia baterai dapat dibalik.

2.2 Cascaded Bidirectional Buck-Boost Dc-Dc Converter



Gambar 2.2 Rangkaian Cascaded Bidirectional Buck-Boost Dc-Dc Converter

Cascaded Bidirectional Buck-Boost Dc-Dc Converter, adalah konverter yang dapat menghasilkan tegangan output kurang, sama dengan, atau lebih tinggi dari tegangan inputnya, dan dapat mengalirkan daya secara bolak-balik[4].

Alasan utama dalam pemilihan topologi konverter ini adalah topologi ini memiliki komponen yang sedikit dapat bekerja sebagai buck dan boost, dan dapat dioperasikan secara bidirectional. Tidak hanya itu, dikarenakan konverter ini menggunakan 4 switch maka dapat dioperasikan menggunakan synchronous switching sehingga konverter memiliki nilai efisiensi yang maksimal. Dikarenakan prinsip kerja dari mode forward dan backward memiliki metode yang sama persis, sehingga analisa hanya perlu dilakukan satu kali.

Analisa ini juga dilakukan dengan beberapa aturan yang diterapkan pada konverter.

1. Kapasitor yang digunakan memiliki nilai yang besar, sehingga ripple tegangan dapat diabaikan.
2. Parasitic element, atau elemen yang dapat menyebabkan rugi-rugi seperti, kapasitor, induktor, mosfet dan dioda diabaikan.
3. Rangkaian bekerja dalam kondisi steady state sehingga tegangan dan arus merupakan gelombang periodik.

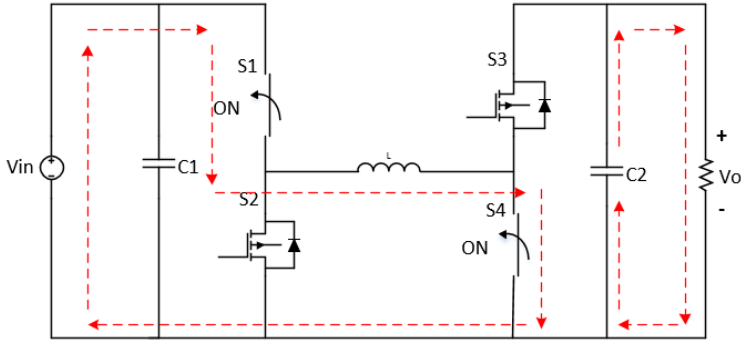
Konverter ini adalah, konverter tipe buck dan boost yang digabungkan dan dimodifikasi menggunakan 4 switch. Karena pada dasarnya konverter ini bekerja sebagai buck atau boost sesuai pengaturan dari 4 switch tersebut. Pada konverter ini terdapat dua metode arus yang mengalir pada konverter, berdasarkan arus yang mengalir pada induktor. *Continuous Current Mode (CCM)* dan mode arus diskontinu atau *Discontinuous Current Mode (DCM)*, dimana perbedaan dari dua mode ini adalah arus di induktor mengalir secara terus menerus atau hanya sesaat.

Pada pembahasan dibawah akan dilakukan analisa terhadap mode kerja konverter dengan arus pada induktor mengalir secara kontinu atau CCM. Dikarenakan desain yang kita pilih adalah tegangan input lebih rendah dari nilai tegangan output maka konverter ini akan bekerja dalam mode boost, dimana saklar S1 akan konduksi secara terus menerus dan S4 akan menjadi switch yang menyesuaikan nilai tegangan output dari konverter[5].

2.2.1 Analisis Sakelar Tertutup Mode Boost

Dikarenakan sakelar S1 secara kontinu menyala, maka konverter ini bekerja dalam mode boost dan kita akan berfokus kepada sakelar S4 dimana tugasnya adalah mengatur nilai *output* dari konverter[6]. Pada saat S4 konduksi, maka saklar S3 akan mengisolasi output dari konverter, dan Vin atau tegangan input akan menyuplai energi ke induktor. Gambar 2.3 di bawah adalah rangkaian ekuivalen konverter ketika sakelar S4 tertutup. Persamaan yang dapat diturunkan adalah sebagai berikut:

$$V_{in} = V_L = L \frac{dI}{dt} \quad (2.3)$$



Gambar 2.3 Rangkaian Konverter Mode *Boost* dengan saklar S4 tertutup

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{t_{on}} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_{in}}{L} \quad (2.4)$$

$$\Delta i_{L_{on}} = \frac{(V_{in})DT}{L} \quad (2.5)$$

2.2.2 Analisis Sakelar Terbuka Mode Boost

Ketika S4 terbuka, sisi output akan menerima energi dari supply dan juga dari induktor, sehingga dapat dihasilkan nilai tegangan output yang lebih besar dari input. Gambar 2.4 di bawah merupakan rangkaian ekuivalen konverter ketika sakelar Q terbuka. Persamaan yang dapat diturunkan dari rangkaian adalah:

$$V_{in} - V_o = V_L = L \frac{di}{dt} \quad (2.6)$$

$$\frac{di_L}{dt_{off}} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{V_{in}-V_o}{L} \quad (2.7)$$

$$\Delta i_{L_{off}} = \frac{(V_{in}-V_o)(1-D)T}{L} \quad (2.8)$$

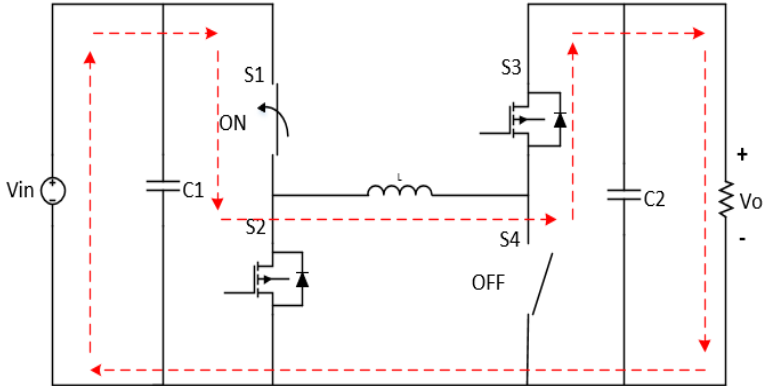
Hasil pada persamaan 2.5 dan 2.8 dapat disubstitusikan menjadi persamaan sebagai berikut:

$$\Delta i_{L_{on}} + \Delta i_{L_{off}} = 0 \quad (2.9)$$

$$\frac{(V_{in})DT}{L} + \frac{(V_{in}-V_o)(1-D)T}{L} = 0 \quad (2.10)$$

$$V_s(D + 1 - D) - V_o(1 - D) = 0 \quad (2.11)$$

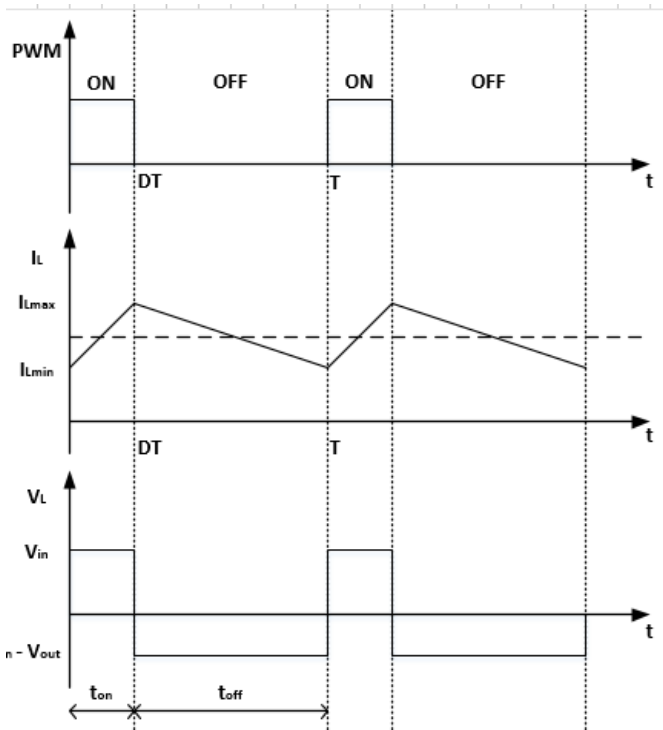
$$V_o = \frac{V_{in}}{1-D} \quad (2.12)$$



Gambar 2.4 Rangkaian Konverter Mode *Boost* dengan saklar S4 terbuka

Didapatkan persamaan tegangan output dari konverter dalam mode boost. Dari persamaan tersebut didapatkan tegangan output berbanding terbalik dengan duty cycle, dimana semakin besar nilai duty cycle semakin kecil nilai pembagi sehingga didapatkan nilai tegangan output lebih tinggi. Nilai duty cycle ini berkisar 0 sampai 100%.

Gambar 2.5 dibawah merupakan gelombang keluaran konverter dalam mode boost dalam kondisi CCM yang dapat dilihat dari nilai arus induktor yang tidak pernah mencapai nilai 0. Dengan lebar periode dari arus induktor tergantung dari frekuensi pensaklaran, dan lamanya waktu pensaklaran akan dipengaruhi oleh besarnya duty cycle. Nilai dari tegangan output konverter dalam mode boost selalu di atas atau sama dengan nilai dari tegangan output sesuai persamaan 2.12, dan pada mode ini konverter akan bekerja dalam mode boost atau nilai tegangan input akan selalu lebih kecil atau sama dengan nilai tegangan output dari konverter. Selanjutnya adalah analisa konverter dalam mode buck. Dimana, nilai tegangan input akan lebih besar dari tegangan output.

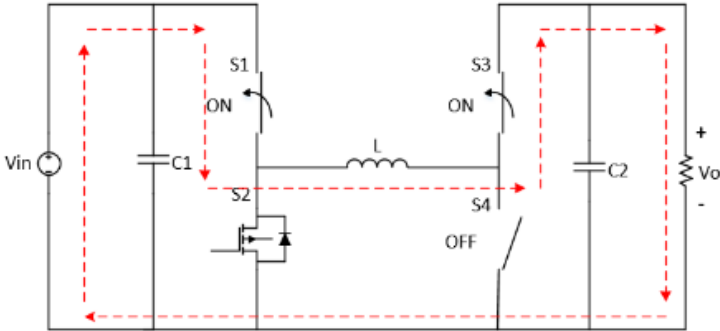


Gambar 2.5 Gelombang keluaran Konverter dalam Mode Boost

2.2.3 Analisis Sakelar Tertutup Mode Buck

Karena konverter ini merupakan dua konverter yang digabungkan secara cascade, dimana konverter buck diikuti dengan konverter boost. Dimana konverter ini dapat bertindak sebagai boost mode, ketika input tegangan lebih kecil dari output tegangannya, buck-boost ketika input dan output memiliki tegangan yang sama, dan buck mode ketika nilai input tegangan lebih besar daripada output tegangannya. Pada saat buck mode S1 akan bekerja sebagai switch dan S4 akan selalu off, sehingga didapatkan ekuivalen rangkaian buck konverter. Pada saat S1 konduksi maka didapatkan S2 akan bekerja sebagai dioda dan mengisolasi input sehingga arus akan mengalir ke induktor, beban dan kembali ke sumber tegangan[6]. Gambar merupakan rangkaian ekuivalen dari konverter dimana ketika S1 konduksi maka akan didapatkan persamaan berikut.

$$V_{in} = V_L + V_o \quad \text{dimana} \quad V_L = L \frac{dI}{dt} \quad (2.13)$$



Gambar 2.6 Rangkaian Konverter Mode Buck dengan saklar S1 tertutup

$$V_{in} = L \frac{dI}{dt} + V_o \quad (2.14)$$

$$V_{in} = L \frac{\Delta I}{t_{on}} + V_o \quad (2.15)$$

2.2.4 Analisis Saklar Terbuka Mode Buck

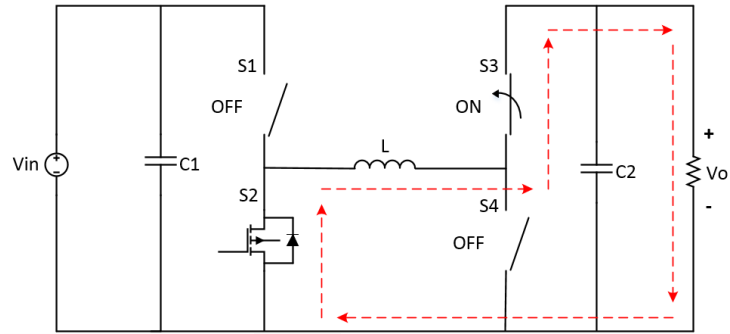
Ketika S1 terbuka, maka S2 yang bekerja sebagai dioda akan berada dalam forward biased sehingga induktor L akan menyalurkan energi yang tersimpan tadi ke beban. Persamaan yang dapat diturunkan dalam mode ini adalah:

$$V_o = V_L \quad \text{dimana} \quad V_L = L \frac{dI}{dt} \quad (2.16)$$

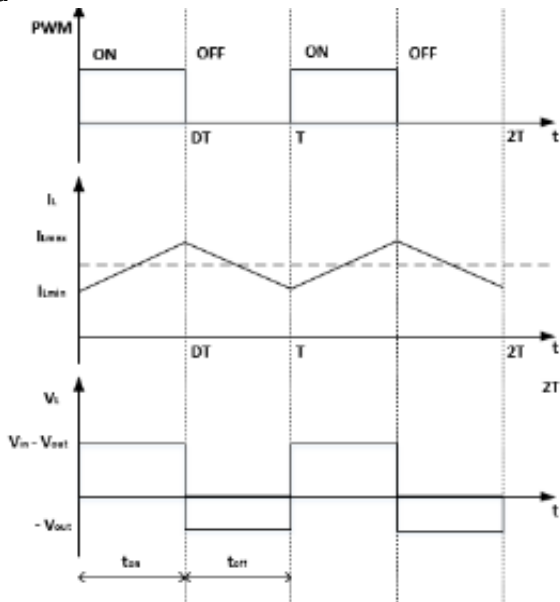
$$V_o = L \frac{dI}{dt} \quad (2.17)$$

$$V_o = L \frac{\Delta I}{t_{off}} \quad (2.18)$$

$$L\Delta I = (V_o)t_{off} \quad (2.19)$$



Gambar 2.8 Rangkaian Konverter Mode *Buck* dengan saklar S1 terbuka



Gambar 2.7 Gelombang keluaran Konverter dalam Mode Buck

Hasil pada persamaan 2.15 dan 2.19 dapat disubstitusikan menjadi persamaan sebagai berikut:

$$V_{in} = V_o \frac{t_{off}}{t_{on}} + V_o \quad (2.20)$$

$$V_{in} = V_o \left(1 + \frac{t_{off}}{t_{on}} \right) \quad (2.21)$$

$$V_{in} = V_o \left(1 + \frac{(1-D)}{D} \right) \quad (2.22)$$

$$V_o = V_{in} D \quad (2.23)$$

Pada persamaan 2.23, yang merupakan persamaan output tegangan konverter dalam mode buck dan konverter bekerja pada mode CCM atau arus pada induktor selalu bernilai lebih dari nol. Arus induktor akan naik pada saat S1 konduksi dimana sumber tegangan mensuplai beban dan bersamaan mengisi arus induktor. Lalu pada saat S1 terbuka, maka induktor akan mengalirkan energi yang tersimpan ke beban dan kembali kepada induktor melewati S2 yang bekerja sebagai dioda. Nilai tegangan keluaran konverter berbanding lurus dengan nilai duty cycle dimana semakin tinggi duty cycle maka nilai tegangan output akan mendekati nilai tegangan inputnya. Konverter dalam mode buck memiliki nilai tegangan keluaran yang sama dengan atau kurang dari nilai tegangan masukan.

2.2.5 Penurunan Parameter Komponen

Untuk dapat mengimplementasikan konverter ini menjadi alat kita perlu mendesain parameter komponen yang ada pada konverter. Komponen utamanya adalah induktor, kapasitor dan resistor[7].

Untuk nilai induktor maka perlu ditentukan beberapa parameter seperti riak arus induktor dan frekuensi. Perhitungan nilai induktor dapat dilakukan dengan menurunkan rumus dari persamaan konverter dalam mode boost dengan S4 saat konduksi. Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$V_{in} = V_L = L \frac{\Delta I}{t_{on}} \quad (2.24)$$

$$V_{in} = L \frac{\Delta I}{t_{on}} \quad (2.25)$$

Dengan menurunkan persamaan 2.25 maka didapatkan:

$$L = \frac{V_{in}}{\Delta I} t_{on} \quad \text{dimana } t_{on} = DT = D/f \quad (2.26)$$

$$L = \frac{V_{in} D}{\Delta I f} \quad (2.27)$$

Untuk menentukan nilai kapasitor kita dapat menurunkan persamaan pada saat S4 konduksi dan S3 bekerja sebagai dioda untuk mengisolasi output dengan sebagian rangkaian konverter. Persamaan yang dapat diturunkan adalah sebagai berikut[8].

$$I_c = C \frac{dV}{dt} = C \frac{\Delta V}{t_{on}} \quad \text{dimana } t_{on} = DT = D/f \quad (2.28)$$

$$C = I_c \frac{t_{on}}{\Delta V} = \frac{V_o DT}{R \Delta V} \quad (2.29)$$

$$C = \frac{V_o D}{R f \Delta V} \quad (2.30)$$

Untuk menentukan R yang berpengaruh kepada kapasitas konverter dapat digunakan persamaan sebagai berikut dimana V_o dan P_o merupakan tegangan dan daya output dari konverter:

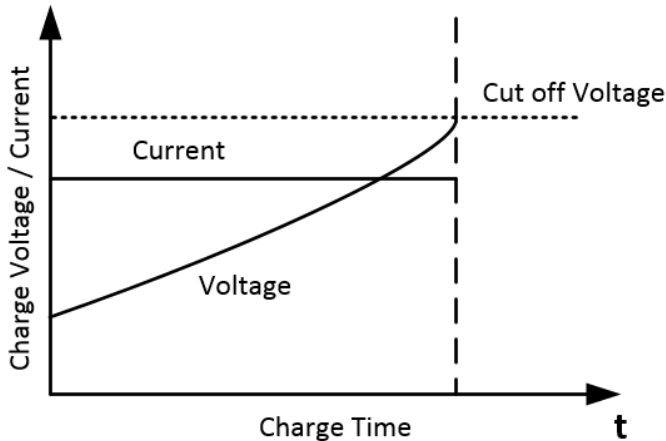
$$R = \frac{V_o^2}{P_o} \quad (2.31)$$

2.3 Pengisian Daya Baterai

Baterai perangkat yang terdiri dari satu atau lebih sel elektrokimia dengan koneksi eksternal yang dapat menyediakan daya pada peralatan elektronik. Pada baterai terjadi proses elektrokimia yang dapat merubah energi kimia menjadi energi listrik[9]. Baterai *Li-Ion* dapat terjadi perubahan energi kimia menjadi energi listrik dan juga dapat merubah energi listrik menjadi energi kimia.

Dua proses ini disebut proses pengisian dan proses pengosongan[10]. Proses pengisian terjadi dengan cara meregenerasi elektroda dan larutan yang ada di dalam baterai dengan cara mengaliri arus ke dalam baterai.

Baterai yang dapat digunakan kembali atau baterai dengan reaksi kimia yang dapat dibalik arahnya merupakan *secondary battery*. Sedangkan baterai yang tidak dapat digunakan kembali atau reaksi kimianya tidak dapat dibalik, sehingga tidak dapat dilakukan proses pengisiannya adalah *primary battery*. Baterai yang kita gunakan yaitu baterai *Lithium-Ion* merupakan *secondary battery* karena dapat digunakan kembali atau dapat dilakukan pengisian.



Gambar 2.9 Proses pengisian baterai menggunakan metode CC.

Dalam metode pengisian baterai terdapat beberapa metode yang berkaitan dengan metode untuk mengatur keluaran dari konverter yaitu berdasarkan tegangan dan arus. Metode ini disebut *Constant Current (CC)* dan *Constant Voltage (CV)*. Metode ini digunakan untuk pengisian baterai, atau dengan beberapa regulasi. Dimana untuk SOC kurang dari 80% baterai biasanya akan melakukan pengisian dengan metode *constant current*, karena apabila dilakukan pengisian baterai pada baterai yang memiliki nilai tegangan sesuai nominal nya maka arus yang dihasilkan akan sangat besar dan dapat memperpendek umur baterai. Sehingga perlu di regulasi arus pengisian agar tidak merusak baterai. Namun kelemahan dari metode *constant current* adalah baterai tidak dapat mencapai SOC

100%[11], walaupun tegangan sudah mencapai rating yang sesuai dengan tegangan maksimal atau tegangan *cut-off* nya. Baterai tidak dalam SOC maksimal adanya *overpotential* yang terjadi akibat interaksi dari tahanan internal baterai dengan arus yang mengalir.

Gambar 2.9 di atas menunjukkan proses pengisian baterai dengan metode *constant current*.

2.4 Metode Kontrol Arus

Untuk Menghasilkan arus yang konstan pada keluaran konverter sehingga sesuai dengan metode *constant current*. Pada bagian ini akan dibahas mengenai metode kontrol apa yang digunakan untuk menghasilkan nilai arus konstan pada keluaran konverter.

2.4.1 PID Kontroller

Pada dasarnya kontroller PID ini mengatur nilai keluaran arus konverter dengan merubah duty cycle sehingga nilai arus yang ada akan sesuai dengan nilai setpoint yang diatur.

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

Kontroller P digunakan untuk mengurangi error steady state dan mengurangi waktu rise time. Namun penggunaan nilai Kp yang terlalu besar akan mengakibatkan overshoot yang dapat membuat nilai keluaran ber osilasi.

Namun kontroller P tidak dapat menghasilkan nilai keluaran yang sesuai dengan setpoint yang ditentukan, karena kontroller P tidak dapat menghilangkan nilai error pada saat steady state. Oleh karena itu, diperlukan kontroller PI yang dapat menghilangkan error steady state. Kontroller PI ini dinilai dapat mengurangi rise time dan settling time,

namun pada kontroller ini memiliki nilai overshoot yang tinggi sehingga nilai keluaran dapat ber osilasi.

Untuk mendapatkan keluaran yang baik, maka kontroller PID digunakan. Selain dapat mengurangi overshoot, kontroller ini dapat mengurangi waktu rise time dan settling time dan juga memiliki nilai keluaran yang konstan.

2.4.2 Fungsi Iterasi dan Percabangan

Iterasi pada dasarnya adalah mengeksekusi suatu perintah secara berulang sebanyak mungkin dengan syarat selama suatu kondisi masih terpenuhi. Suatu program yang strukturnya menggunakan fungsi iterasi adalah loop. Fungsi yang digunakan adalah *while*. Fungsi percabangan adalah fungsi yang dapat menghasilkan perintah yang berbeda berdasarkan kondisi yang berbeda.

Fungsi *while* pada program adalah untuk mengeksekusi suatu perintah yang ada pada program dengan mempertimbangkan suatu kondisi terpenuhi atau tidak. Ketika suatu kondisi itu terpenuhi maka akan dijalankan secara berulang, dan ketika suatu fungsi sudah tidak terpenuhi maka program akan berakhir. If adalah fungsi percabangan yang digunakan untuk mengecek apakah suatu kondisi sebuah pernyataan dan mengeksekusi perintah sesuai dari kondisi pernyataan tersebut. Sehingga berdasarkan hasil yang ada dapat dipilih beberapa perintah yang sesuai dengan apa yang diinginkan

Halaman ini sengaja dikosongkan

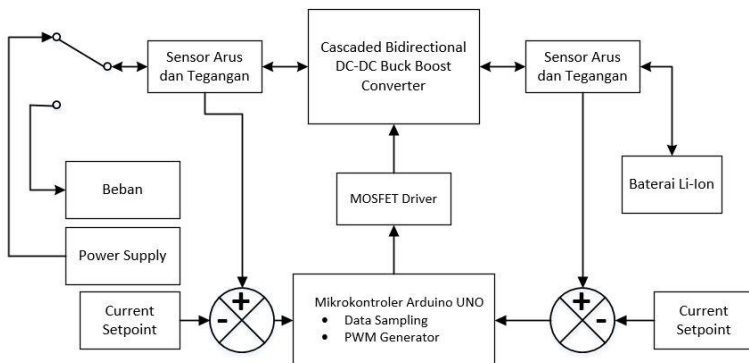
BAB 3

DESAIN, SIMULASI, DAN IMPLEMENTASI

Pada bab ini akan dibahas bagaimana kita merancang sistem mulai dari menghitung dan mendesain parameter, komponen dan implementasi perangkat keras sehingga sesuai dengan desain yang diinginkan. Sedangkan untuk gambaran awal kita menggunakan perangkat lunak PSIM dan MATLAB untuk mensimulasikan cara kerja konverter dan pengisian baterai.

3.1 Diagram Blok Sistem

Untuk dapat mengimplementasikan konverter yang dapat bekerja sebagai buck atau boost, dapat bekerja dalam dua arah, dan dapat digunakan untuk *charging* baterai maka didesain lah *charging* baterai menggunakan *cascaded bidirectional buck-boost dc-dc converter*. Selain konverter utama maka diperlukan pula rangkaian MOSFET Driver, untuk melakukan pensaklaran, sensor arus dan tegangan dan mikrokontroler sebagai alat yang mengatur kerja dari setiap peralatan tersebut dan juga sebagai modul untuk mengambil data dari peralatan yang ada. Skema peralatan dapat dilihat dibawah ini:

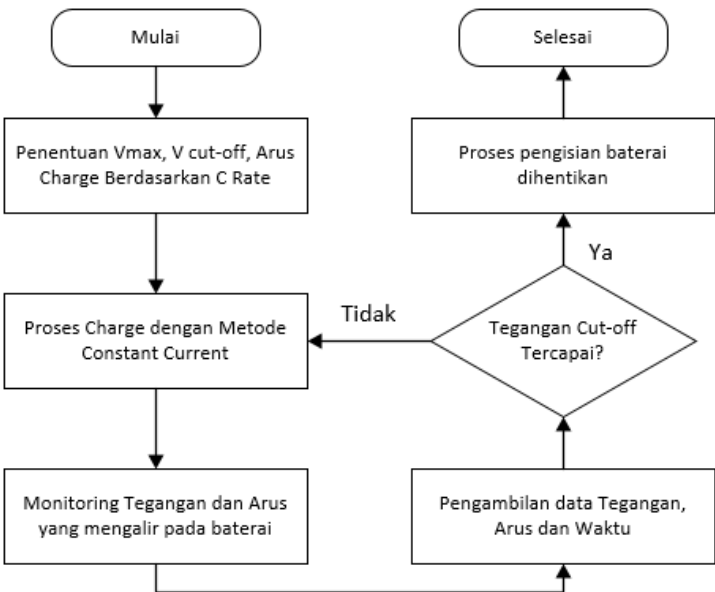


Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem Pengujian

3.2 Pengisian Baterai Li-Ion

Alur pengisian baterai yang dilakukan akan menggunakan supply DC sebagai sumber tegangan yang diatur tegangannya lebih kecil dari

tegangan cut-off baterai, sehingga konverter akan bekerja pada mode boost. Proses pengisian menggunakan metode CC dan kemudian data yang diambil yaitu tegangan, arus dan waktu akan diplot untuk kemudian didapatkan kurva *charge* nya. Diagram alir nya dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 3.2 Flowchart Pengisian Baterai

3.3 Desain Charger Baterai *Lithium-Ion*

Baterai *Lithium-Ion* (*Li-ion*) yang digunakan memiliki jumlah sel sebanyak tiga, dan dipasang seri agar tegangan mencapai 12.6 V. tegangan baterai pada kondisi awal sesuai dengan datasheet yaitu 3,7 V dengan kapasitas tiap selnya 2600 mAh. Maksimal arus discharge hingga 3C atau 7.8 A dan discharge cut-off voltage adalah 2.75.

Standar arus dan tegangan pada saat pengisian adalah 1.3 Ampere dan 4.2 Volt. Dengan menyusun baterai dalam rangkaian seri kita akan mendapatkan 12.6V tegangan dan 2600 mAh kapasitas baterai pada saat kondisi penuh atau SOC 100%. Keterangan lainnya dapat dilihat di tabel dibawah:

Tabel 3-1 Spesifikasi baterai *Li-Ion*

Parameter	Nilai
Model	DMEGC-18650 26E Auto
Kapasitas	2600 mAh
Tegangan Nominal	3.7 V
Standar Arus Discharge	2.6 A
Standar Arus Charge	1.3 A
Standar Tegangan Charge	4.2 V
Tegangan Discharge Cut-off	2.75 V
Internal Resistance	< 25 m Ω
Berat	47 g

Sedangkan untuk desain charger baterai *Li-ion* pada dapat dilihat pada tabel 3.2. Dimana dapat dilihat pada datasheet bahwa nominal *charging* untuk baterai *Li-ion* adalah 0.5 C atau 1.3 A, namun untuk kepentingan keamanan maka dipilih 1.1 A nominal arus pengisian, sehingga apabila terjadi kesalahan pembacaan sensor maka error yang didapatkan tidak berdampak besar ke baterai.

Tabel 3-2 Spesifikasi charger baterai

Parameter	Nilai
<i>Constant Current</i>	1,1 A
Jumlah Sel	3
Tegangan <i>cut-off</i>	12.6 V

3.4 Desain *Bidirectional* DC-DC Konverter

Kita akan menentukan nilai parameter dari konverter yang akan kita implementasi yaitu tegangan *input* (V_{in}), tegangan output (V_o), frekuensi *switching* (f_s), daya (P), *ripple* arus induktor, *ripple* tegangan kapasitor. Penentuan parameter juga harus mempertimbangkan ketersediaan komponen di pasaran dan ketersediaan peralatan yang ada di laboratorium.

Tujuan dari penentuan ini adalah agar suatu konverter dapat bekerja sesuai dengan hasil yang kita inginkan dan sesuai dengan analisa konverter pada kondisi CCM. Karena pada konverter memiliki tegangan input yang lebih kecil dari tegangan *output* maka dari itu maka konverter

ini bekerja dalam mode boost. Parameter tersebut dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 3-3 Desain Spesifikasi Konverter

Parameter	Nilai
Tegangan <i>Input</i> (V_{in})	10.8 V
Tegangan <i>Output</i> (V_o)	12.6 V
Daya <i>Output</i> (P_o)	25.2 W (boost) dan 10,8W (Buck)
Frekuensi <i>Switching</i> (f_s)	20 kHz
<i>Ripple</i> arus induktor	8%
<i>Ripple</i> tegangan kapasitor	1%

3.4.1 Penentuan Nilai Duty Cycle

Duty cycle adalah interval suatu switch bekerja pada konverter. Untuk menentukan nilai *duty cycle* dapat dengan menggunakan persamaan 2.12 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 :

$$D = \frac{V_{Out} - V_{in}}{V_{Out}} \quad (3.1)$$

$$D = \frac{12.6 - 10.8}{12.6}$$

$$D = 0.15$$

3.4.2 Penentuan Nilai Beban

Untuk menentukan nilai beban penuh pada pengujian ini, maka dapat dicari dengan persamaan dibawah ini menggunakan parameter tegangan dan daya *output*. Perhitungan dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.31, selain perhitungan itu dilakukan dua kali untuk mengetahui beban pada saat kondisi buck dan boost perhitungan ini akan mempengaruhi seberapa besar dimensi konverter.

$$R = \frac{V_o^2}{P} \quad (2.29)$$

$$R = \frac{(12,6)^2}{25,2}$$

$$R = 6,3 \, \Omega \quad (\text{Mode Boost})$$

$$R = \frac{(5,4)^2}{10,8}$$

$$R = 2,7 \, \Omega \quad (\text{Mode Buck})$$

3.4.3 Penentuan Nilai Kapasitor

Untuk menentukan p kapasitor kita dapat menggunakan persamaan 2.30, dimana parameter yang belum ditentukan disini adalah ripple tegangan. Ripple tegangan disini menandakan seberapa tetapnya nilai tegangan keluaran konverter sehingga kita desain agar nilai tegangan konverter memiliki ripple yang sangat kecil atau 1% atau sama dengan 0.126 V.

$$C = \frac{V_o D}{R f \Delta V} \quad (2.30)$$

Sehingga nilai kapasitor berdasarkan persamaan 2.28 adalah :

$$C = \frac{(12.6)(0.15)}{6.3(20000)(0.126)}$$

$$C = 120 \, \mu\text{F}$$

Dalam implementasi, kita mengambil nilai ini sebagai nilai minimal suatu kapasitor. Jadi dengan aturan tersebut untuk mendapatkan hasil yang diinginkan paling tidak kita tidak boleh memilih kapasitor yang nilainya dibawah dari hasil perhitungan. Sehingga dipilih lah kapasitor dengan C sebesar 1000 μF 50 V untuk mendapatkan hasil yang diinginkan.

3.4.4 Penentuan Nilai Induktor

Kita dapat menghitung nilai induktor dengan menggunakan persamaan 2.27 yaitu analisa konverter dalam mode CCM (*Current*

Continuous Mode) dimana arus yang mengalir pada induktor selalu lebih dari nol. Berdasarkan persamaan tersebut didapatkan nilai induktor:

$$L = \frac{V_{in}D}{\Delta I f} \quad (2.27)$$

$$L = \frac{10.8(0,15)}{(0,185) 20000}$$

$$L = 440 \mu H$$

Karena nilai induktor yang kita desain memiliki nilai yang sulit dicari, maka kita akan mendesain dan membuat sendiri komponen induktor untuk konverter. Hal yang perlu diperhatikan adalah kawat email yang digunakan untuk membuat induktor. Dua faktor yang mempengaruhi adalah frekuensi switching dan nilai arus maksimum yang melewati induktor. Nilai frekuensi pensaklaran dari konverter sendiri adalah 20 kHz, sedangkan untuk nilai arus maksimum sendiri dapat diturunkan dari persamaan 2.12 lalu mensubstitusikannya dengan persamaan $V_{in}I_{in} = V_{in}I_L$:

$$V_{in}I_L = \frac{V_o^2}{R} = \frac{\left(\frac{V_{in}}{1-D}\right)^2}{R} = \frac{V_{in}^2}{(1-D)^2} R \quad (3.2)$$

$$I_L = \frac{V_{in}}{(1-D)^2 R} = \frac{V_o^2}{V_{in}R} = \frac{V_o I_o}{V_{in}} \quad (3.3)$$

$$I_{max} = I_L + \frac{\Delta I_L}{2} = \frac{12.6 (2)}{10.8} + 0.185 \quad (3.4)$$

$$I_{max} = 2,52 \quad (3.5)$$

Dengan frekuensi switching 20 kHz dan arus maksimal adalah 2,52 A arus maksimal induktor, maka kita akan mendesain induktor berdasarkan aturan-aturan berikut. Berdasarkan *American Wire Gauge(AWG)* datasheet, maka dipilih kawat AWG 25 dengan frekuensi kerja 85 kHz, diameter 0,45 mm dan 0,45 A arus maksimal. Kabel ini

memiliki resistansi $0,106 \Omega/\text{m}$ dimana cukup besar apabila digunakan untuk belitan induktor.

Karena kapasitas arus tidak cukup besar maka dicari kawat AWG yang memiliki kawat lebih besar yaitu AWG 12 yang memiliki diameter $2,05 \text{ mm}$, resistansi per meter $0,0052 \Omega/\text{m}$, kapasitas maksimal arus $9,3 \text{ A}$ dengan frekuensi kerja $4,15 \text{ kHz}$. Namun karena nilai frekuensi kerjanya kecil dibawah 20 kHz , maka hal ini dapat mengakibatkan naiknya nilai resistansi kawat akibat *skin effect*. Sehingga untuk mendapatkan dua nilai yang memenuhi parameter kerja, maka kita akan memilih kawat untuk mendapatkan nilai kapasitas arus yang memenuhi kapasitas $2,52 \text{ A}$ dan memiliki kapasitas kerja 20 kHz atau lebih.

Untuk proses pemilihan, maka kita akan menentukan berapa banyak kawat yang akan dijadikan satu pilin dengan menghitung perbandingan diameter dari dua kawat tersebut. Perhitungan dilakukan dengan membandingkan diameter kabel yang lebih besar dengan diameter kabel yang lebih kecil.

$$n_L = \frac{d_{AWG\ 12}}{d_{AWG\ 25}} \quad (3.6)$$

$$n_L = \frac{2,05232}{0,4546}$$

$$n_L = 4,51456 \approx 5$$

Didapatkan hasil perhitungan jumlah pilinan untuk kawat AWG 25 adalah 5 buah. Selanjutnya karena kita mendesain induktor, selain jenis kawat dan jumlah pilinan maka selanjutnya adalah memilih inti induktor. Nilai fluks ini menggambarkan berapa besar jumlah fluks yang mampu ditampung oleh suatu induktor sebelum mencapai saturasinya. Atau semakin tinggi nilai A_L induktor maka semakin sedikit pula jumlah belitan yang dibutuhkan untuk mencapai suatu nilai induktansi tertentu. Inti *ferrite* yang dipilih adalah TDK ETD49 dengan nilai induktansi A_L 3700nH . Sehingga dapat dihitung berapa jumlah belitan yang dibutuhkan untuk mencapai nilai induktansi $440 \mu\text{H}$:

$$L = N^2 \times A_L \quad (3.7)$$

$$N = \sqrt{\frac{L}{A_L}} \quad (3.8)$$

$$N = \sqrt{\frac{440 \mu H}{3,7 \mu H}}$$

$$N = 10,9 \approx 11$$

Dari perhitungan tersebut didapat bahwa untuk mencapai nilai induktansi 440 μH maka diperlukan kurang lebih 11 belitan pada inti induktor.

3.4.5 Penentuan MOSFET

Tabel 3-4 Spesifikasi IRFP 9540

Parameter	Nilai
Model	IRFP 9540
V_{GS}	-20 V
V_{DS}	-100 V
I_{DS}	12 A
$R_{DS\ ON}$	< 0.3 Ω

Tabel 3-5 Spesifikasi IRF 250N

Parameter	Nilai
Model	IRF 250 N
V_{GS}	20 V
V_{DS}	200 V
I_{DS}	33 A
$R_{DS\ ON}$	< 0.085 Ω

Dalam menentukan jenis MOSFET terdapat beberapa parameter yang perlu diperhatikan diantaranya adalah V_{DS} , R_{DS} pada saat on, V_{GS} untuk menentukan driver apa yang digunakan untuk switching, dan kapasitas dari mosfet yang ingin digunakan.

Rangkaian konverter ini memiliki empat switch yang dipasang dengan konfigurasi seperti *H-bridge*. Karena konfigurasi H bridge memiliki high side dan low side driver switching, maka mosfet yang dipilih tidak hanya jenis N-Channel namun juga P-Channel untuk

memudahkan dalam memenuhi kriteria high side dan low side switching. High side switching ditandai dengan posisi MOSFET yang berada diantara V_{in} dan beban. Untuk dapat mengimplementasikan high side switching cara yang paling mudah adalah dengan menggunakan PNP channel MOSFET. Berdasarkan rangkaian konverter yang memiliki arus maksimal 2,52 A, tegangan $V_{DS} = V_o$ yaitu 12,6 V. Maka dari parameter ini dapat dicari di pasaran MOSFET yang memenuhi kriteria yaitu IRP 9540.

Low side switching ditandai dengan posisi MOSFET yang berada di antara beban dan *ground*. Untuk mengimplementasikan low side switching dapat menggunakan NPN Channel MOSFET, dan berdasarkan parameter yang sama dengan P channel MOSFET maka dipilih IRF 250N sebagai MOSFET untuk *low side switching*. Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan dan mempertimbangkan nilai komponen yang dijual di pasaran maka berikut adalah komponen yang akan digunakan:

Tabel 3-6 Parameter Komponen yang digunakan pada Konverter

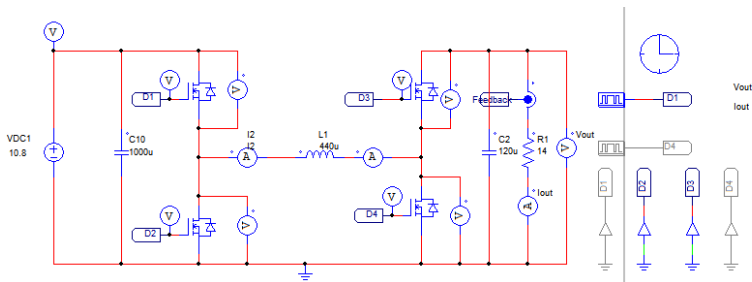
Komponen	Nilai
Resistansi Beban R	6.3 Ω
Induktor	440 μH
Kapasitor Filter C1 dan C2	1000 μF
MOSFET N-Channel	IRFP 250 N
MOSFET P-Channel	IRF 9540

3.5 Simulasi Konverter

3.5.1 Simulasi Konverter dalam Keadaan Steady State Mode Buck

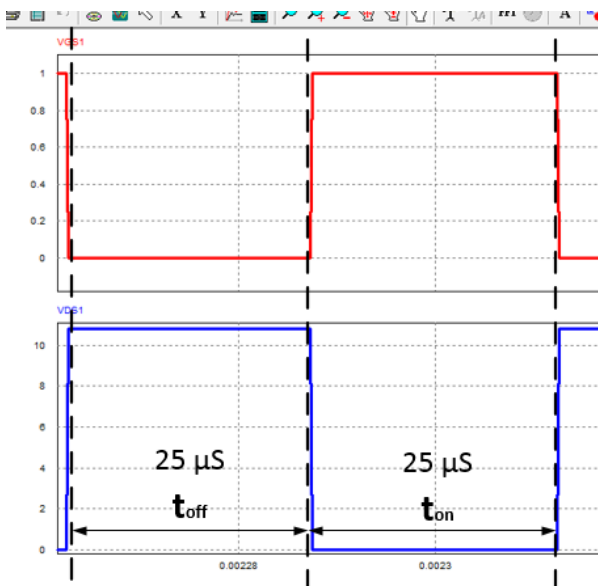
Simulasi rangkaian konverter dilakukan menggunakan *software* PSIM. Berikut akan disimulasikan konverter dalam mode buck untuk mengetahui apakah komponen sudah bekerja dalam sesuai dengan yang diinginkan. Saat simulasi diasumsikan semua komponen merupakan komponen ideal sehingga tidak dihitung efisiensi maupun loss nya.

Pada rangkaian disimulasikan dengan sumber 10.8 V sesuai dengan desain. Nilai duty cycle yang digunakan adalah 0,5 sehingga nilai tegangan output menjadi 5,4 Volt. Hal ini sudah sesuai dengan persamaan yang ada sebelumnya dimana nilai tegangan output sama dengan nilai tegangan input dikalikan dengan duty cycle.



Gambar 3.3 Simulasi Konverter dalam Mode Buck

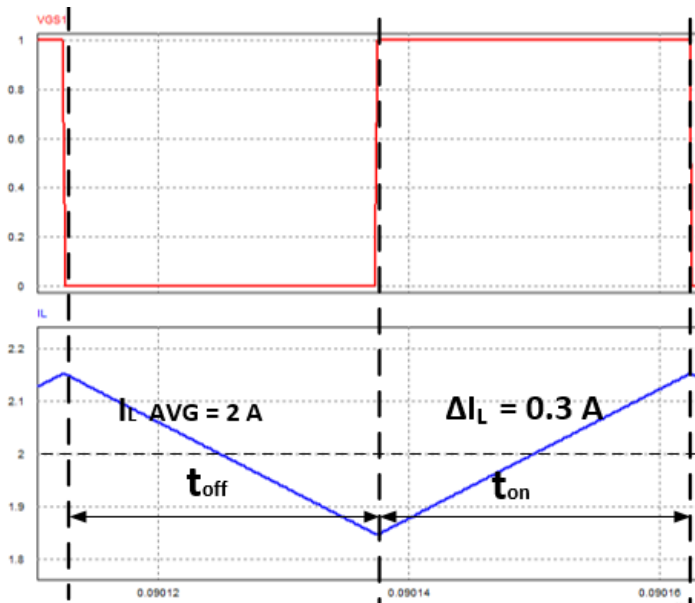
Pada proses simulasi ini akan diamati beberapa bagian yaitu adalah V_{GS} , V_{DS} , tiap MOSFET arus Induktor L dan tegangan kapasitor, tegangan input dan tegangan output.



Gambar 3.4 Gelombang V_{GS} (merah) dan V_{DS} (biru).

Gambar sebelumnya adalah gelombang tegangan gate source dan drain source. Dapat dilihat ketika GS bernilai high maka tegangan drain source akan menjadi nol. Ini menandakan bahwa MOSFET dalam

keadaan konduksi, sehingga arus dapat mengalir melewati drain source dan menuju induktor dan beban. Sedangkan ketika tegangan gate source nya dalam kondisi low, maka tegangan drain source sama dengan V_{in} nya karena tidak ada arus yang lewat sehingga jalur seperti terbuka, atau arus akan ditahan sehingga tidak dapat melewati drain source. Waktu t_{on} MOSFET nya adalah $25 \mu s$ sama dengan t_{off} nya yaitu $25 \mu s$ dengan duty cycle 50% dan dengan frekuensi pensaklaran 20 kHz. Didapatkan maksimum tegangan drain source adalah 10,8 V atau sama dengan tegangan inputnya.

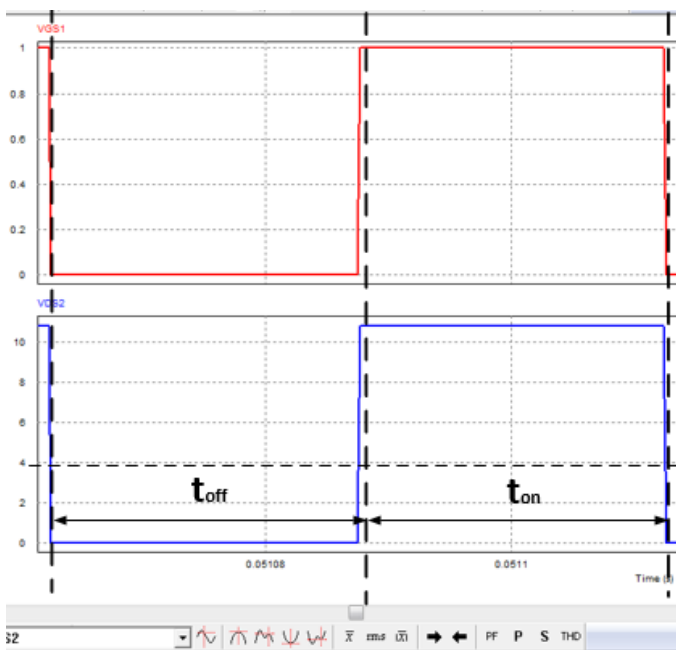


Gambar 3.5 Bentuk Gelombang tegangan V_{GS} dan Arus Induktor

Berikutnya merupakan gambar gelombang dari tegangan gate source dan arus induktor. Berdasarkan hasil simulasi yang didapatkan nilai rata – rata induktor L sama dengan 2 A atau nilainya sama dengan nilai keluaran karena konverter ini bekerja dalam mode buck.

Ripple nya memiliki nilai 0.3 A yaitu dan sudah sesuai perhitungan dari induktor yang dipakai. Ketika sakelar konduksi, arus akan melewati induktor dan melalui beban. Dalam hal ini induktor akan mengisi energi nya dalam bentuk medan magnet dan ditandai dengan arus

induktor yang naik atau dalam kondisi charge. Nilai energi yang dapat disimpan dapat dipengaruhi oleh berapa besar nilai induktor, dimana dalam hal ini kita dapat merubah inti induktor yang memiliki nilai A_L yang lebih baik atau menambah jumlah belitan sehingga didapat nilai induktansi. Lalu ketika sakelar tidak konduksi maka induktor akan menyalurkan energinya ke beban, sehingga nilai arus induktor akan turun menandakan energi yang tersimpan berkurang atau dalam kondisi discharge.

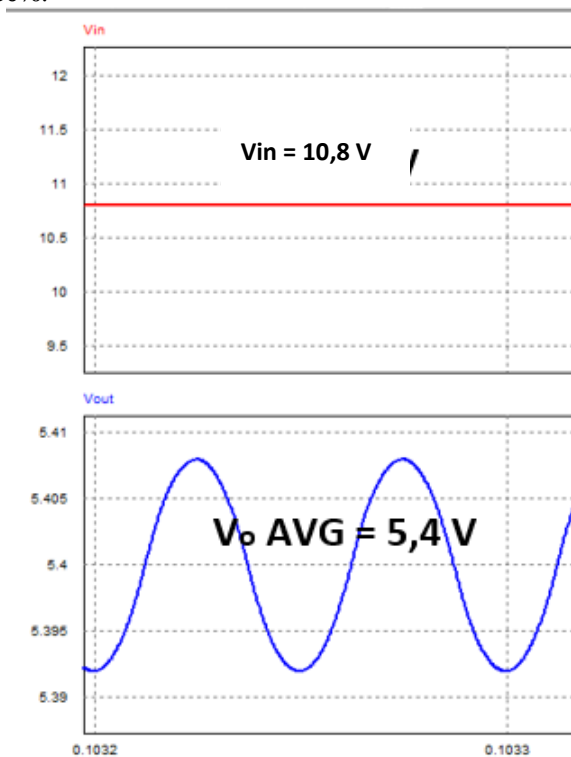


Gambar 3.6 Bentuk Gelombang VGS1 dan VDS2

Selanjutnya kita akan melihat bagaimana peran MOSFET S3 yang berperan sebagai dioda dengan menggunakan dioda yang tertanam dalam badan MOSFET.

Dalam implementasi nantinya juga akan digunakan MOSFET sebagai pengganti dioda tidak hanya sebagai pengganti tapi juga agar konverter dapat bekerja secara *bidirectional*. Berdasarkan gambar tersebut didapatkan bahwa saat sakelar konduksi maka S2 akan pada

kondisi *reversed bias* dan akan mengisolasi konverter dari ground sehingga tegangan MOSFET S2 akan bertegangan yang sama dengan tegangan inputnya yaitu 10,8 V. Dan sebaliknya saat saklar mati atau non konduksi maka saklar S2 akan bekerja dalam forward bias sehingga arus bisa mengalir dari induktor ke beban. Dan juga ini ditandai dengan tegangan yang drop hingga nol atau adanya arus yang lewat. Waktu keadaan forward dan reversed bias adalah 25 μ S karena duty cycle bernilai 50%.



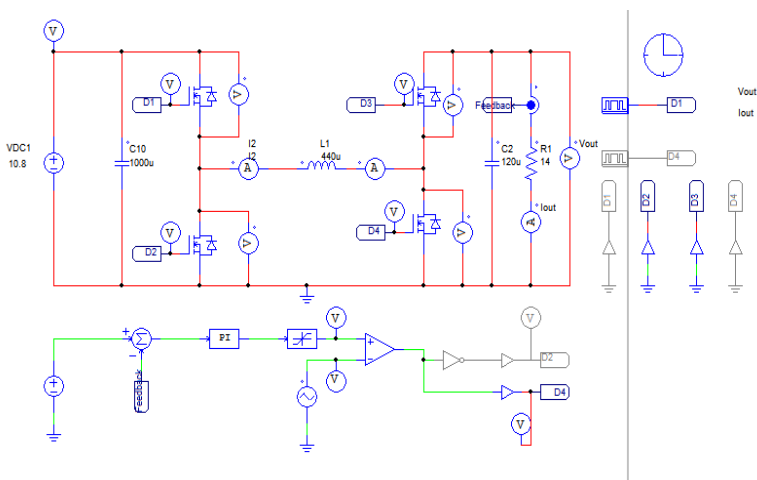
Gambar 3.7 Bentuk Gelombang Tegangan *Input*, Tegangan Kapasitor dan Tegangan *Output*

Gambar 3.7 di atas merupakan bentuk tegangan output dan tegangan kapasitor yang menjadi satu node dan juga tegangan inputnya. Tegangan input yang diberikan adalah 10,8 V karena nilai duty cycle nya

bernilai 50% sehingga dapat disimpulkan rumus yang didapat pada bab sebelumnya adalah benar. Disini dapat dihasilkan nilainya yaitu kurang dari 1%. Hal ini dipengaruhi oleh nilai capacitor nya yang diibaratkan sebagai baterai, kapasitor dapat menyimpan energi dalam bentuk medan listrik antara dua plat nya. Jadi, semakin besar nilai kapasitansi maka akan menghasilkan ripple yang lebih kecil pula. Tegangan keluaran memiliki ripple 0,016 A dengan rata – rata tegangan yaitu 5,4 V.

3.5.2 Simulasi Konverter dalam Keadaan Steady State Mode Boost

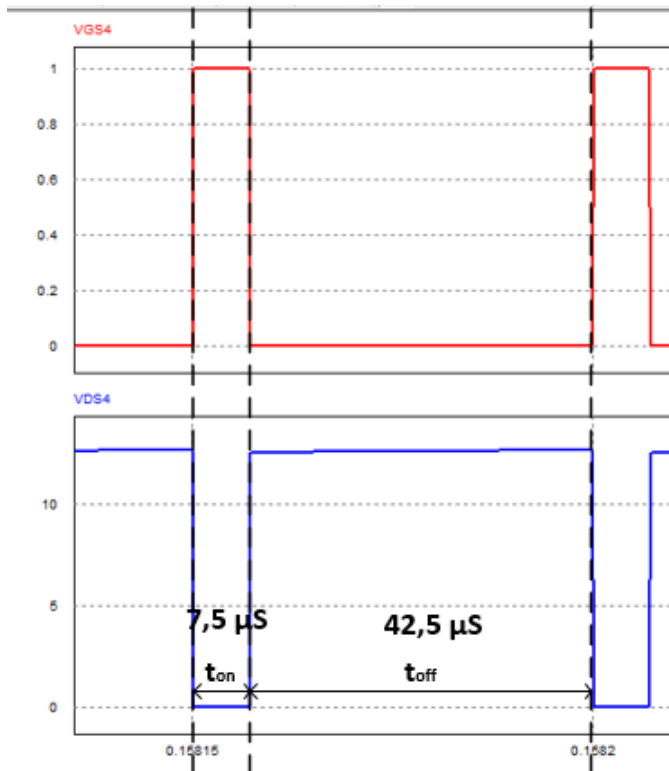
Selanjutnya adalah simulasi konverter dalam mode boost. Pada simulasi berikutnya kita akan mensimulasikan konverter menggunakan PSIM dalam mode boost, dengan cara merubah kontrol atau saklar yang digunakan. Dimana, pada mode boost saklar S1 dan S4 yang bekerja sedangkan pada mode buck hanya S1 saja yang bekerja. Saat simulasi juga diasumsikan bahwa komponen tidak memiliki loss atau ideal.



Gambar 3.8 Simulasi Konverter dalam Mode Boost

Pada rangkaian disimulasikan dengan sumber 10,8 V kita akan mendapatkan nilai tegangan output 12,6 V dimana nilai ini didapatkan dari duty cycle sebesar 15% atau 0,15. Hal ini sudah sesuai dengan perhitungan konverter pada bab sebelumnya dimana konverter bekerja dalam mode boost. Selain itu pada proses simulasi akan diamati bentuk gelombang tegangan dari beberapa komponen seperti V_{GS} , V_{DS} , tiap

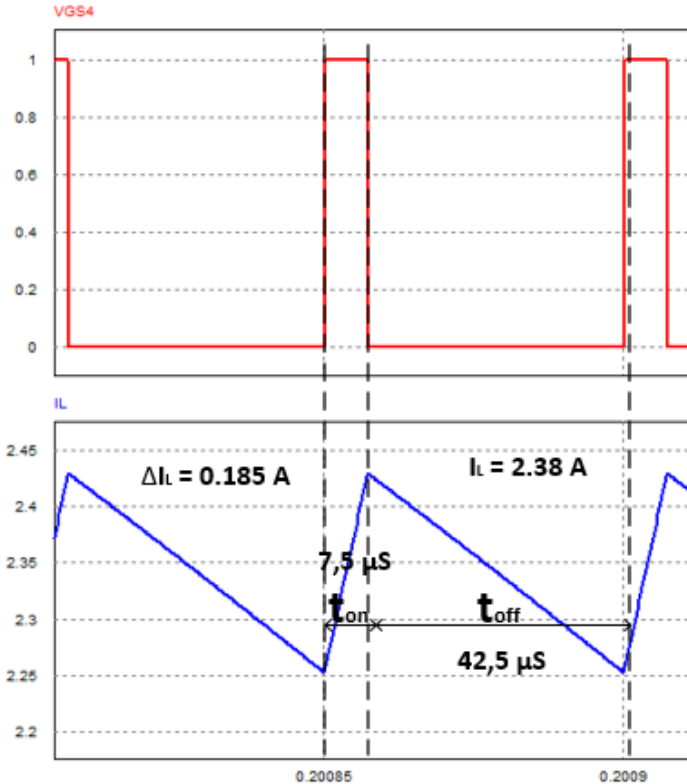
MOSFET arus Induktor L dan tegangan kapasitor, tegangan input dan tegangan output.



Gambar 3.9 Gelombang V_{GS} (merah) dan V_{DS} (biru).

Gambar 3.8 adalah gambar gelombang tegangan dari gate source dan tegangan drain source dari saklar S4 hasil simulasi konverter dalam mode boost. Dapat dilihat dari gambar bahwa pada saat tegangan gate source dalam keadaan konduksi, maka tegangan drain source akan turun ke nilai nol. Hal ini menandakan bahwa resistansi pada drain source ditarik turun sangat kecil sehingga arus dapat melewati drain source dengan mudah. Namun pada saat non konduksi atau saklar mati maka tegangan drain source akan naik setara dengan tegangan keluarannya yaitu 12,6 V. Hal ini menandakan resistansi kembali menjadi sangat

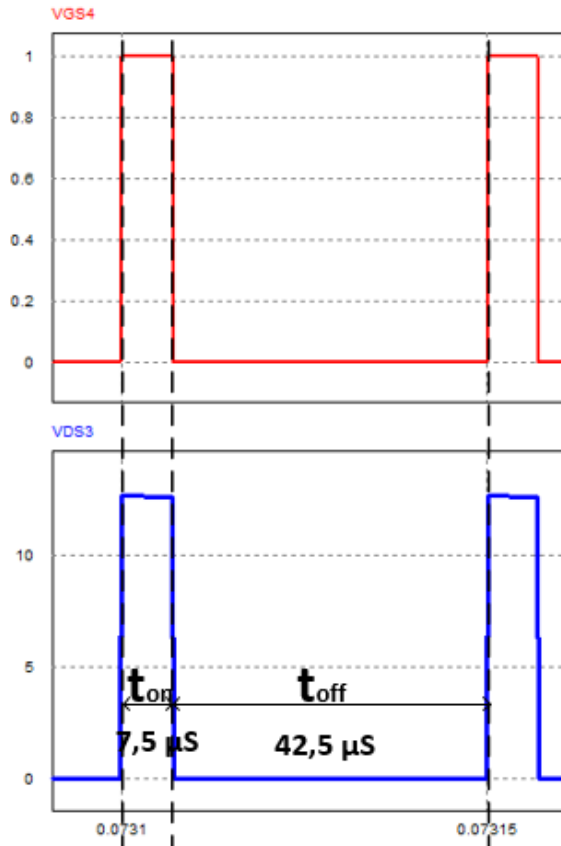
tinggi sehingga dapat dikatakan bahwa sakelar dalam kondisi off atau dalam keadaan terbuka. Hal ini diakibatkan turunnya tegangan gate source sehingga nilai resistansi drain source ikut berubah.



Gambar 3.10 Bentuk Gelombang tegangan V_{GS} dan Arus Induktor

Berikutnya merupakan perbandingan tegangan gate source dan arus yang mengalir di induktor L. Berdasarkan hasil simulasi didapatkan nilai arus rata – rata induktor adalah 2,38 dengan nilai ripple 0.185 Ampere. Nilai ini dipengaruhi dari nilai induktansi komponen yang sudah kita hitung pada bab sebelumnya, dan didapatkan nilai yang sama. Dan juga dengan duty cycle 15% didapatkan waktu charge induktor adalah $7,5 \mu\text{s}$ dan waktu discharge induktor $42,5 \mu\text{s}$. Hal ini terjadi saat saklar S4 konduksi maka supply akan mengalirkan arus ke induktor dan mengisi

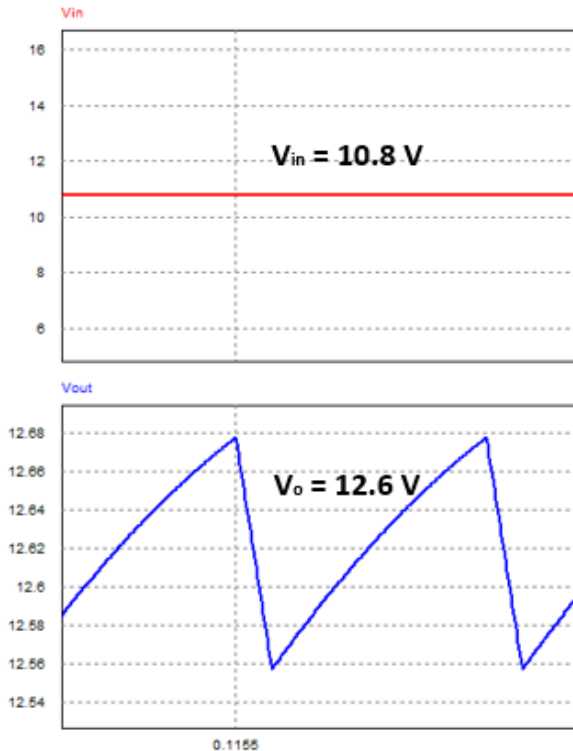
energi dalam bentuk medan magnet. Setelah itu ketika sakelar non konduksi, induktor akan mengalirkan energinya secara bersamaan dengan supply sehingga terbangkit tegangan yang lebih besar pada sisi output.



Gambar 3.11 Bentuk Gelombang VGS4 dan VDS3

Gambar 3.10 adalah bentuk gelombang tegangan dari gate source S4 dan drain source S3 yang bersifat sebagai dioda. Saat saklar konduksi maka dioda dalam keadaan reversed bias sehingga nilai tegangan S3 akan sama dengan nilai tegangan keluaran konverter. Saat saklar non konduksi maka dioda akan ada dalam keadaan forward biased sehingga arus dapat lewat melalui source ke drain melewati S3 yang

ditandai dengan nilai tegangan yang turun hingga nol atau short. Waktu dari konduksi dan non konduksi dipengaruhi oleh frekuensi pensaklaran dan nilai duty cycle saat konverter bekerja.



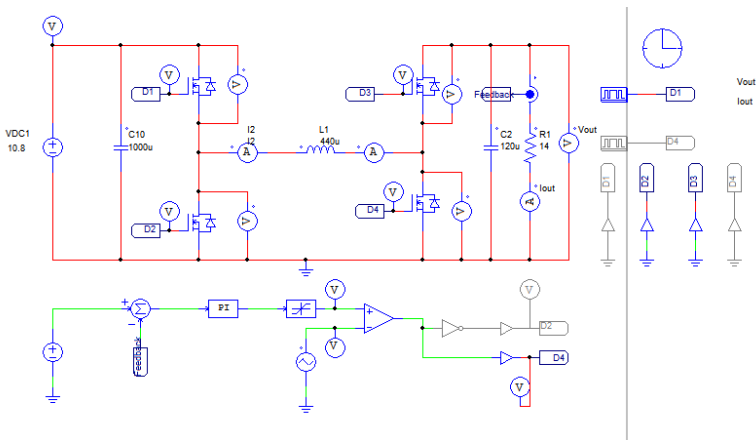
Gambar 3.12 Bentuk Gelombang Tegangan *Input*, Tegangan Kapasitor dan Tegangan *Output*

Gambar 3.11 adalah bentuk gelombang tegangan input dan tegangan output sekaligus kapasitor. Karena tegangan beban pada output dan kapasitor pada output dipasang secara paralel dalam satu node. Sehingga mereka memiliki nilai dan bentuk tegangan yang sama. Disini dengan menggunakan input 10,8 Volt kita mendapatkan nilai tegangan output 12,6 Volt, dengan mengatur duty cycle pada saklar S4 dengan nilai 15% sehingga konverter bekerja dalam mode boost. Selain itu nilai

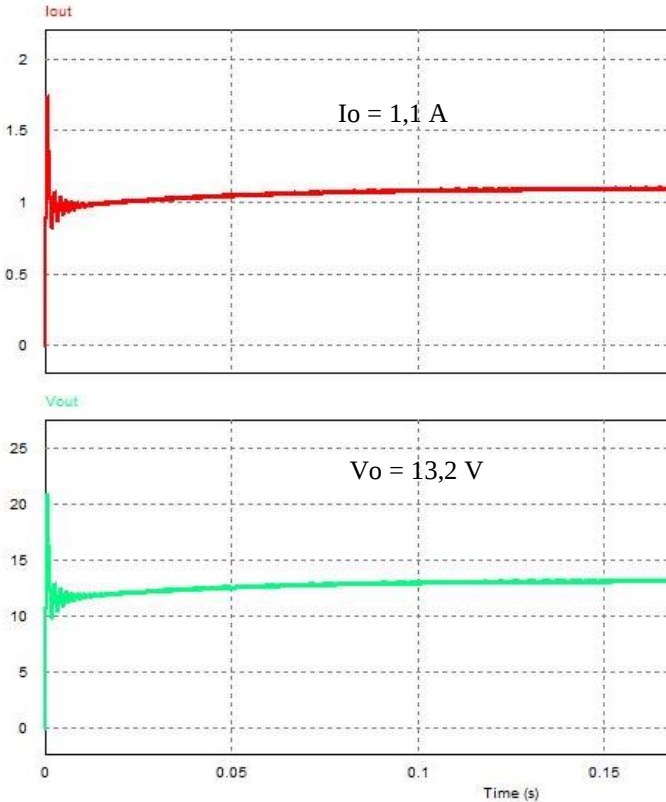
kapasitor yang digunakan adalah 120 μF dimana kurang lebih akan menghasilkan nilai ripple tegangan sebesar 1% atau 0,126 V dimana dapat dilihat pada hasil simulasi memiliki nilai ripple tegangan yang mendekati.

3.5.3 Simulasi *Constant Current*

Tujuan selanjutnya adalah dengan melakukan simulasi *constant current* yang nantinya digunakan untuk aplikasi *charging* baterai. Tujuan dari simulasi *constant current* adalah untuk mengetahui kemampuan konverter dalam merespon perubahan nilai beban yang apabila dalam metode *constant current*, maka dengan perubahan nilai beban nilai arus akan tetap dijaga sesuai *setpoint* yang ditentukan. Metode *constant current* disimulasikan dengan menggunakan metode PSIM, dengan merubah nilai beban, akan dilihat apakah arus dapat dijaga tetap konstan atau tidak. Untuk dapat menghasilkan arus konstan dalam rangkaian konverter dalam mode boost ini maka dibuat rangkaian closed loop nya dengan membandingkan nilai arus dengan nilai *setpoint*. Sehingga kita membutuhkan suatu sensor dan rangkaian feedback close loop. Selanjutnya hasil sensor arus tadi akan dibandingkan dengan suatu *setpoint* yang nantinya akan menjadi suatu nilai error untuk kemudian akan diolah oleh controller PI sehingga menjadi acuan untuk melakukan pensaklaran untuk mengatur nilai keluaran arus hingga tidak terjadi adanya error.



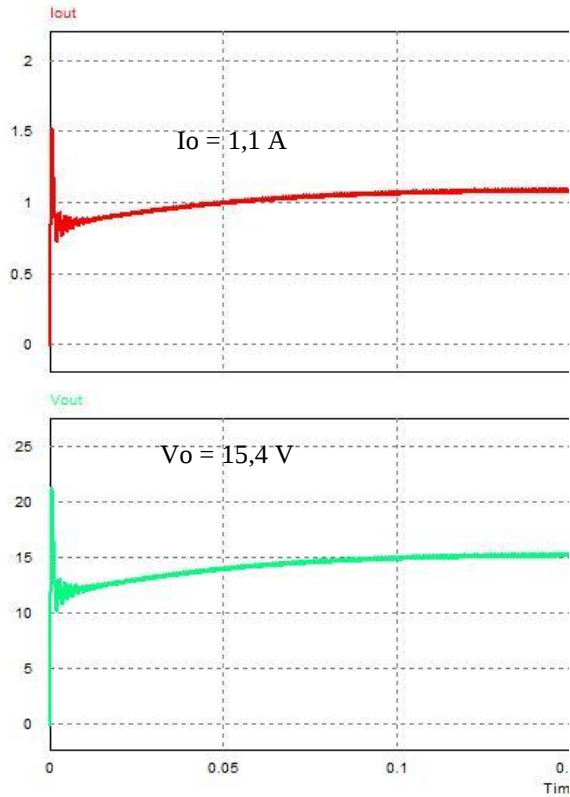
Gambar 3.13 Simulasi rangkaian konverter saat mode *constant current*.



Gambar 3.14 Hasil simulasi CC dengan beban $R \ 12 \ \Omega$

Gambar 3.13 di atas adalah hasil simulasi dari konverter dalam mode boost untuk metode *constant current*. Nilai beban R yang digunakan pada kondisi di atas adalah $12 \ \Omega$. Apabila digunakan diatur setpoint arus senilai $1,1 \text{ A}$ maka interaksi arus dan beban sebesar $12 \ \Omega$ akan menghasilkan nilai tegangan $13,2 \text{ Volt}$.

Hal ini sudah sesuai karena dilihat dari Gambar 3.14 di atas tegangan yang dihasilkan adalah sudah mencapai nilai yang benar. Berikutnya akan disimulasikan lagi dengan menggunakan beban yang berbeda apakah sudah dihasilkan sumber arus yang mempertahankan arusnya tetap konstan pada beban berapapun.

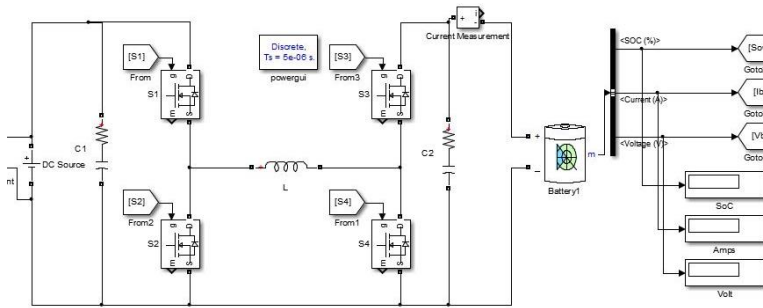


Gambar 3.15 Hasil simulasi CC dengan beban $R\ 14\ \Omega$

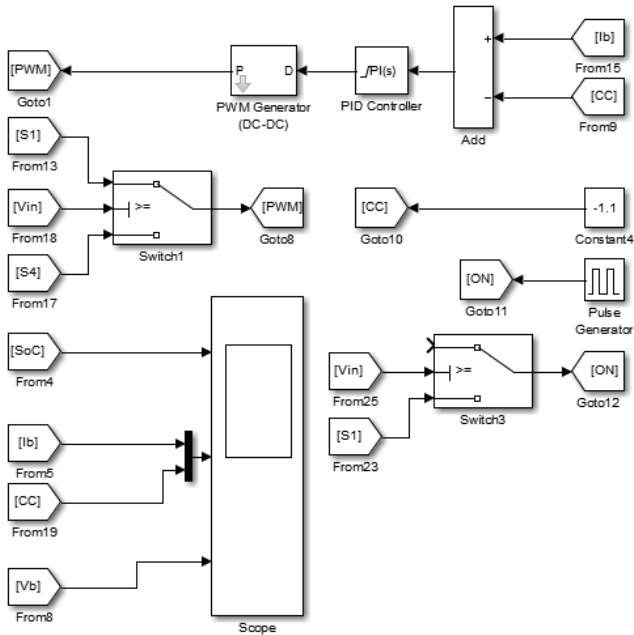
Selanjutnya dilakukan simulasi lagi, kali ini menggunakan beban $R\ 14\ \Omega$ dapat dilihat arus yang dihasilkan juga tetap bernilai 1,1 Ampere. Setelah dilihat hasil tegangan keluarannya yang bernilai 15,4 V dari hasil interaksi atau perkalian antara arus dengan beban. Maka dapat disimpulkan konverter bekerja dengan baik.

Berdasarkan kedua hasil simulasi di atas dengan dilakukan perubahan pada beban yaitu $12\ \Omega$ dan $14\ \Omega$, lalu didapatkan hasil konverter dapat menjaga arus sesuai dengan setpoint atau 1,1 Ampere. Sehingga, dapat diambil kesimpulan bahwa konverter bekerja dengan baik.

3.5.4 Simulasi *Charging Baterai*



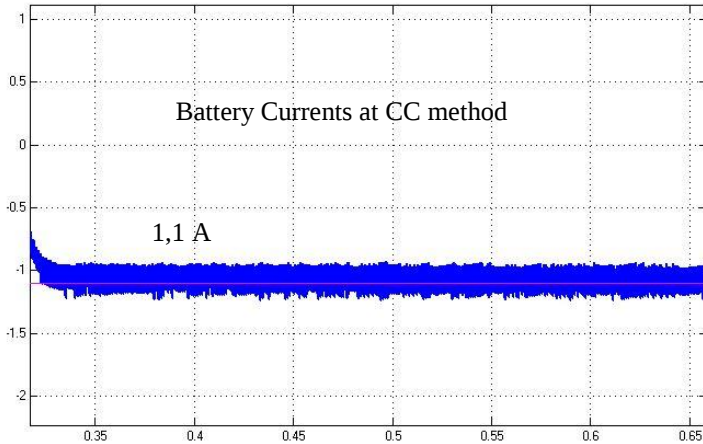
(a)



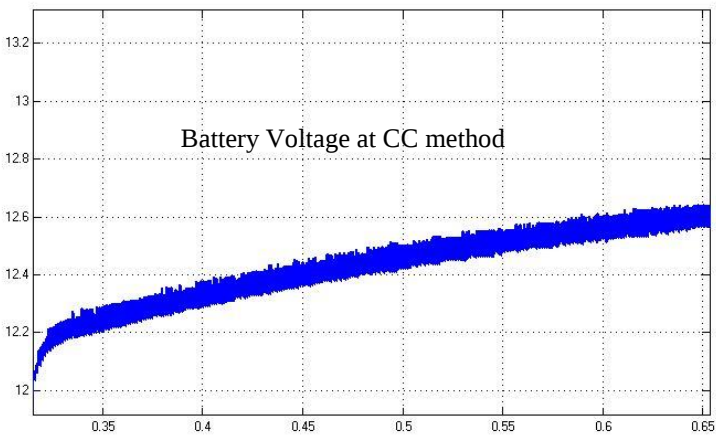
(b)

Gambar 3.16 Simulasi (a) *cascaded bidirectional buck-boost dc-dc converter* (b) *kontroller constant current*

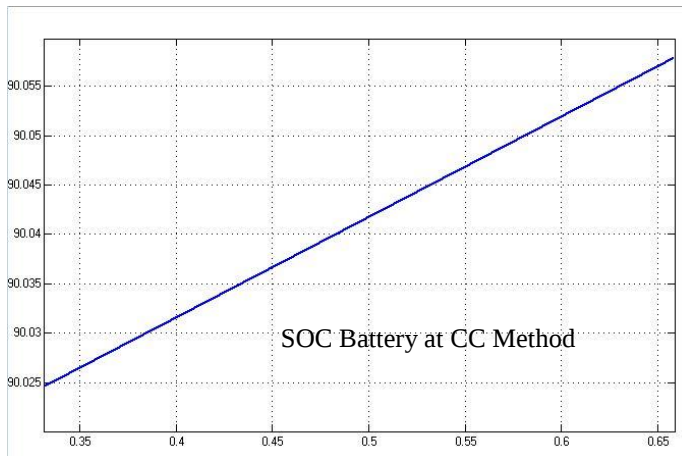
Simulasi *charging* baterai dilakukan menggunakan metode *constant current*. Mode *constant current* adalah metode *charging* dengan mengatur seberapa arus yang terisi secara konstan agar tidak menyebabkan panas berlebih pada saat *charging* sekaligus metode pengisian baterai yang cukup cepat.



(a)



(b)



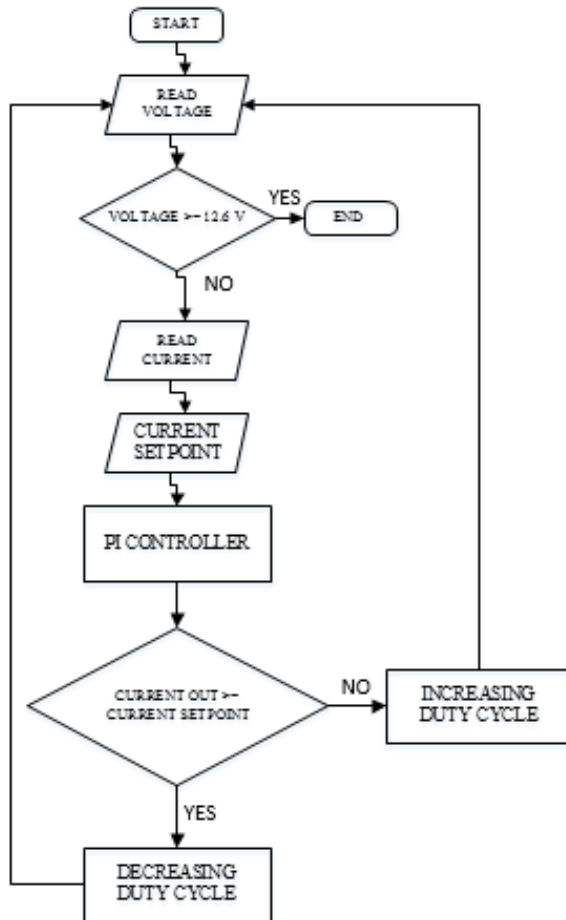
(c)

Gambar 3.17 Hasil simulasi *charging* baterai (a) Arus (b) Tegangan (c) SOC

Pada metode ini baterai akan diisi dengan arus yang sama setiap saat hingga tegangan cut-off nya tercapai. Dimana untuk baterai lithium-ion yang dipasang secara seri adalah 12,6 Volt. Gambar 3.17 di atas adalah hasil simulasi *charging* baterai lithium-ion menggunakan software MATLAB. Pada metode *constant current* setpoint arus diatur sebesar 1,1 A sesuai dengan desain dan nilai Kp 10 dan Ki 0,05. Switch yang ada pada simulasi digunakan untuk mendeteksi apabila nilai tegangan input beroperasi sebagai buck atau boost, apabila nilai tegangan input berada dibawah nilai tegangan keluaran maka konverter bekerja sebagai boost dan apabila nilai tegangan berada di atas nilai tegangan keluaran maka konverter bekerja sebagai buck. Baterai yang digunakan adalah baterai lithium ion dengan tegangan nominal 3,7x3 yaitu 11,1 Volt.

Berikutnya dari gambar 3.17 didapatkan hasil simulasi *charging* baterai menggunakan metode *constant current*. Pada gambar (a) didapatkan arus mendekati rata – rata nilai 1,1 A dimana dengan controller PI nilai yang didapatkan sudah cukup mendekati tetapi masih terdapat ripple arus. Namun karena nilainya sudah mendekati setpoint, maka dapat dikatakan konverter dapat bekerja dengan baik. Sehingga sudah memenuhi desain yang kita buat.

Lalu selanjutnya pada gambar (b) didapatkan nilai tegangan yang secara terus menerus naik, ini menandakan nilai SOC yang ada pada baterai meningkat, karena dilihat dari kurva OCV baterai maka nilai SOC pada baterai akan meningkat seiring meningkatnya level tegangan baterai. Hal ini dapat dibuktikan pada simulasi selanjutnya yang dilihat kondisi SOC pada baterai dimana terdapat kenaikan terhadap waktu yang ditandai bahwa baterai telah melakukan pengisian dengan baik.



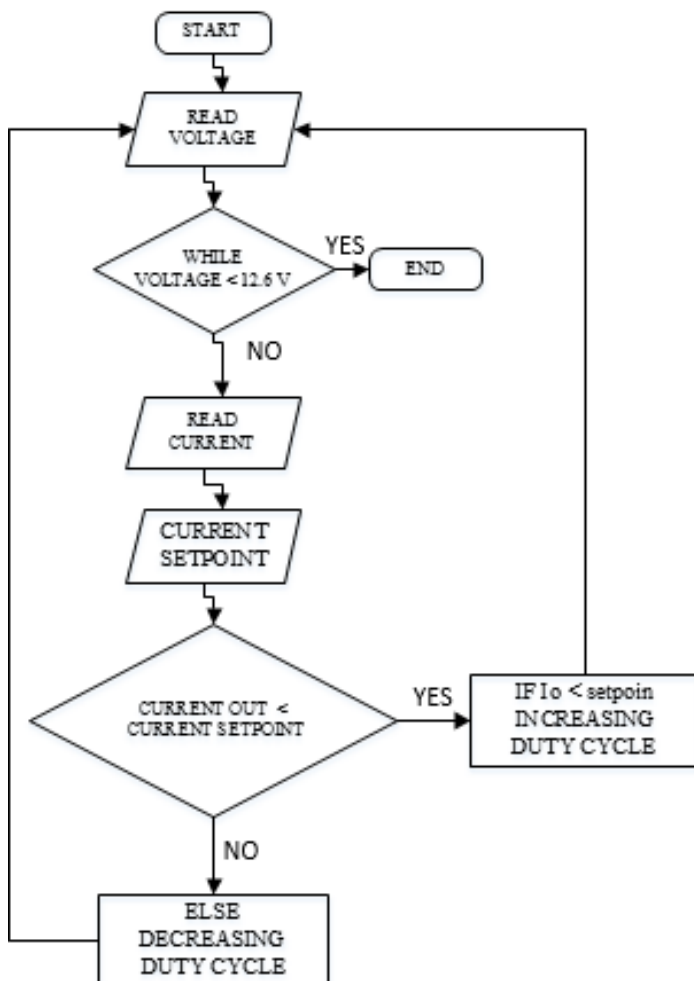
Gambar 3.18 Flowchart Simulasi Constant Current

Selanjutnya adalah membaca bagaimana flowchart pengisian baterai. Proses dimulai dari membaca tegangan baterai, apabila tegangan baterai kurang 12,6 V maka diasumsikan kalau baterai belum dalam kondisi full. Maka dari itu pengisian akan dilakukan. Konverter akan mengisi baterai dengan arus yang konstan. Arus konstan ini didapatkan dengan merubah nilai duty cycle pada S4 sedangkan S1 selalu dalam kondisi menyala. Setelah itu nilai yang dimiliki sebagai keluaran akan digunakan sebagai feedback untuk selanjutnya dibandingkan dengan nilai setpoint. Selama nilai setpoint belum mencapai nol, maka duty cycle akan terus berubah – ubah hingga mencapai nilai nol. Maka didapatkanlah proses pengisian baterai *constant current*. Selanjutnya adalah mendeteksi kembali tegangan baterai, apabila sudah mencapai 12,6 volt maka dikatakan baterai sudah dalam kondisi maksimal pengisian menggunakan metode *constant current*. Namun pada kenyataannya, metode *constant current* tidak dapat mengisi baterai dengan penuh, karena baterai dalam implementasi selalu memiliki resistansi internal, dimana apabila resistansi internal ini berinteraksi dengan arus maka akan menghasilkan tegangan sehingga dan menyebabkan over potensial pada baterai. Maka apabila dilakukan pengisian baterai dengan metode *constant current*, tidak akan bisa mencapai SOC 100%.

3.6 Implementasi Baterai Charger

Setelah mendesain parameter dan komponen yang akan kita gunakan, langkah selanjutnya adalah implementasi alat atau membuat rangkaian konverter menggunakan komponen yang ada di pasaran. Nilai parameter dari setiap komponen akan dicantumkan di tabel 3.6 di bawah. Selanjutnya adalah gambar dari alat yang sudah diimplementasikan. Gambar 3.20 adalah gambar dari keseluruhan alat yang terdiri dari rangkaian driver, konverter, dan rangkaian charging baterai *Lithium-Ion*.

Selain itu terdapat sedikit perbedaan pada simulasi dan implementasi dimana pada saat implementasi kontrol yang digunakan adalah menggunakan program berulang atau fungsi iterasi dimana pada Arduino akan diprogram mengikuti algoritma pada Gambar 3.19 di bawah. Pada flowchart dijelaskan bahwa fungsi *while* dan *if* digunakan untuk mengatur perubahan duty cycle pada konverter dengan membandingkan nilai arus konverter dengan setpoint. Ketika nilai arus konverter lebih dari set point maka duty cycle akan dikurangi, dan ketika nilai arus konverter kurang dari maka nilai duty cycle akan ditambah.

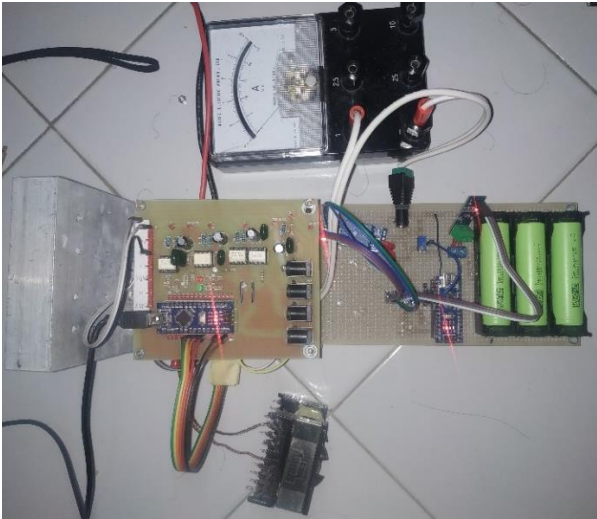


Gambar 3.19 Flowchart Implementasi Constant Current

Kemudian rangkaian driver digunakan untuk mengatur pensaklaran dari rangkaian konverter. Dengan menggunakan rangkaian driver kita dapat mengontrol rangkaian konverter tanpa langsung menggunakan Arduino.

Tabel 3-7 Parameter Komponen Konverter

Komponen	Nilai
Tegangan Sumber DC Supply	10,8 V
Mikrokontroler	Arduino NANO
MOSFET N Channel	IRF 250 N
MOSFET P Channel	IRFP 9540
Driver MOSFET	TLP 250
Power Supply Driver Mosfet	12 V
Induktor	440 μ H
Inti Induktor	ETD49
Kapasitor Tegangan <i>Input</i>	Elco 1000 μ F 50 V
Kapasitor Tegangan <i>Output</i>	Elco 1000 μ F 50 V
Beban Resistor	6,3 Ω dan 2,7 Ω
Baterai <i>Li-ion</i>	2600mAh, 3 sel
Frekuensi <i>Switching</i>	20 kHz
Tegangan <i>Output</i>	12,6 dan 5,4 V
Sensor Tegangan	Multiturn 100k Ω
Sensor Arus	ACS 712

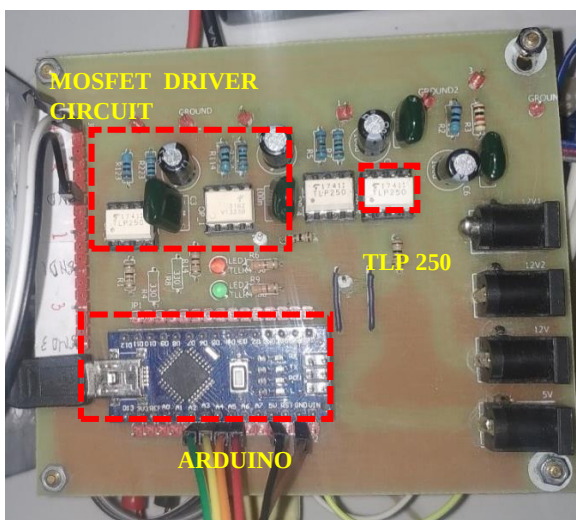


(a)

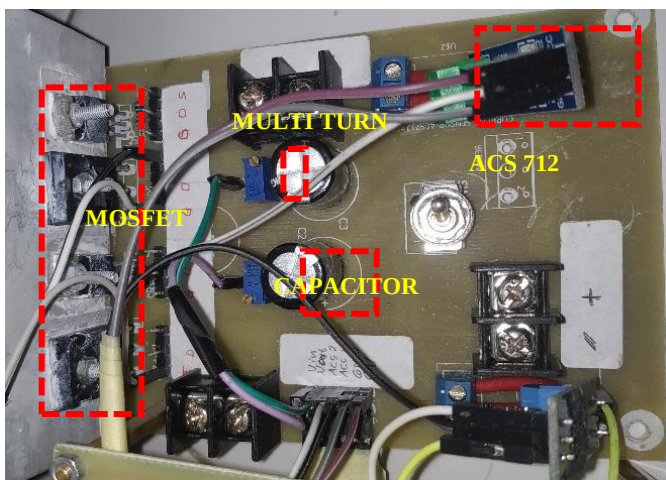


(b)

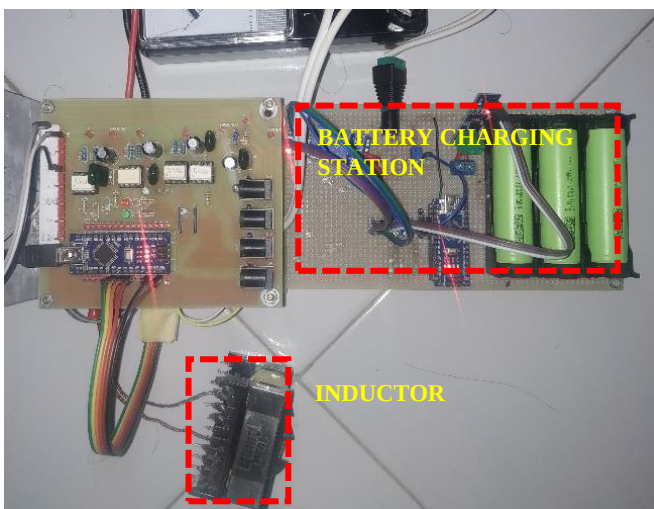
Gambar 3.20 Implementasi Konverter (a) Rangkaian Driver dan Baterai
(b) Rangkaian Konverter



(a)



(b)



(c)

Gambar 3.21 Implementasi Konverter (a) Rangkaian MOSFET Driver (b) Rangkaian Konverter (c) Induktor dan Tempat Pengisian Baterai

Karena apabila kita langsung menggunakan Arduino apabila rangkaian tidak terisolasi maka apabila terjadi short circuit dapat mempengaruhi kinerja Arduino. Setelah itu keluaran konverter disambung dengan rangkaian *charging* baterai, rangkaian tersebut digunakan untuk mengambil data arus dan tegangan dari baterai dan juga untuk melepas baterai ketika tegangan sudah mencapai 12,6 V.

Gambar 3.21 adalah komponen utama dari tiap konverter, misal dari rangkaian Mosfet driver terdapat arduino dan *optocoupler* yaitu TLP 250. Lalu pada rangkaian konverter terdapat komponen utama seperti sensor arus, sensor tegangan, kapasitor. Alat pada rangkaian battery station terdapat baterai Li-Ion, sensor dan arduino.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

Pada bab ini akan dibahas hasil dan analisis dari pengujian dari implementasi *cascaded bidirectional buck-boost dc-dc converter* yang digunakan untuk *charging* baterai Lithium-Ion menggunakan metode *constant current*. Tujuan dari pengujian yang akan dibahas selanjutnya adalah, apakah konverter sudah bekerja sesuai dengan desain, dapat melakukan pengisian baterai secara *constant current*, dan dapat mengalirkan daya secara bolak – balik. Pengujian yang dilakukan adalah, pengujian pensaklaran, pengujian tegangan MOSFET yang bekerja sebagai dioda, pengujian arus induktor, tegangan input output, pengujian *constant current*, pengujian efisiensi, pengujian sensor arus, pengujian sensor tegangan, dan pengujian *charging* baterai.

4.1 Peralatan Pengujian Konverter

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan peralatan yang ada di laboratorium konversi energi. Peralatannya antara lain, DC variabel supply, osiloskop, multimeter, clamp meter, variable resistor, dan baterai li-ion. Osiloskop yang digunakan bermerk GW Instek 2 channel. Resistor variabel yang digunakan sebesar 25 Ω karena rentang bebanyang digunakan adalah 2,7 Ω dan 5,3 Ω dengan rating arus sebesar 5 A untuk variable resistor yang digunakan. DC variabel supply yang digunakan adalah merk Protek PL-3005 D yang memiliki rating 150 W, 30V dan 5A dan karena kita daya yang mampu dikerjakan oleh konverter adalah 25,2W maka DC supply ini dapat digunakan. Selanjutnya baterai yang digunakan adalah baterai li-ion 2600 mAh dengan tegangan nominal 3,7V

4.2 Pengujian Sensor Arus dan Tegangan

Pengujian sensor digunakan untuk mengetahui tingkat keakuratan sensor dalam membaca suatu nilai. Sensor yang digunakan adalah sensor arus ACS 712 dan sensor tegangan multi turn 100 k Ω . Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai pembacaan sensor dengan hasil sebenarnya yang diukur menggunakan multimeter. Hasil keakuratan sensor didapatkan dengan cara merata – rata nilai error tiap sensornya. Hasil dari pengujian sensor dapat dilihat pada tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4-1 Pengujian sensor arus input

Arus Aktual (A)	Arus Sensor (A)	Error Sensor (%)
0.1	0.11	10.0
0.3	0.34	13.3
0.7	0.73	4.3
0.9	0.92	2.2
1	1.02	2.0
1.2	1.22	1.7
1.4	1.4	0.0
1.6	1.59	0.6
1.8	1.79	0.6
2	1.98	1.0

Tabel 4-2 Pengujian sensor arus output

Tegangan Aktual (V)	Tegangan Sensor (V)	Error Tegangan (%)
0.1	0.105	5.0
0.3	0.33	10.0
0.7	0.72	2.9
0.9	0.9	0.0
1	0.99	1.0
1.2	1.18	1.7
1.4	1.36	2.9
1.6	1.53	4.4
1.8	1.71	5.0
2	1.9	5.0

Tabel 4.3 Pengujian sensor tegangan output

Arus Aktual (A)	Arus Sensor (A)	Error Sensor (%)
4	3.95	1.25
5	4.97	0.60
6	5.97	0.50
7	6.93	1.00
8	7.92	1.00
9	8.91	1.00
10	9.96	0.40
11	11.04	0.36
12	12.01	0.08
13	13.05	0.38

Tabel 4.4 Pengujian sensor tegangan input

Tegangan Aktual (V)	Tegangan Sensor (V)	Error Tegangan (%)
2	1.92	4.00
3	2.94	2.00
4	3.98	0.50
5	4.95	1.00
6	6.01	0.17
7	7.03	0.43
8	8.2	2.50
9	9.02	0.22
10	9.92	0.80
11	11.02	0.18

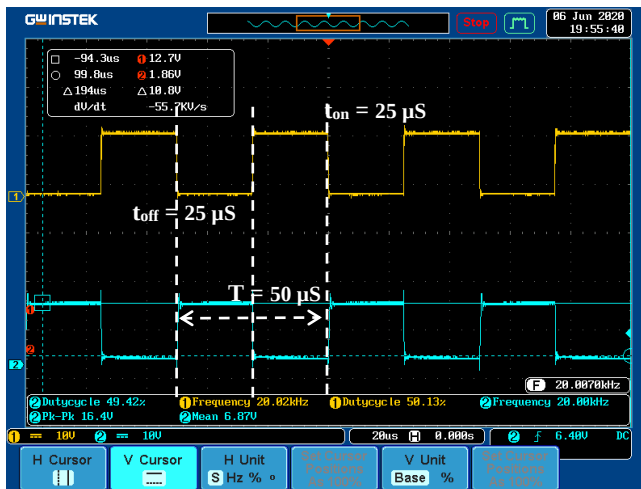
Berdasarkan data di atas, nilai error untuk sensor arus input adalah 3,57% sedangkan untuk sensor arus output adalah 3,78%. Sedangkan untuk sensor tegangan didapatkan nilai error rata – rata 1,18% untuk tegangan input dan 0,66% untuk sensor tegangan output.

4.3 Pengujian *Bidirectional DC – DC Buck – Boost Converter*

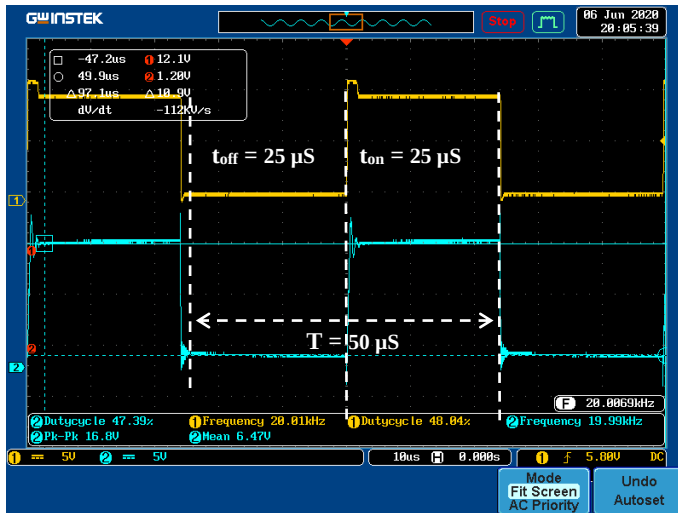
Pengujian konverter ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah konverter ini bekerja sesuai desain dan simulasi. Pengujian yang dilakukan pada konverter antara lain adalah, pengujian pensaklaran, pengujian Arus Induktor, Pengujian tegangan output, pengujian efisiensi konverter.

4.3.1 Pengujian Pensakelaran

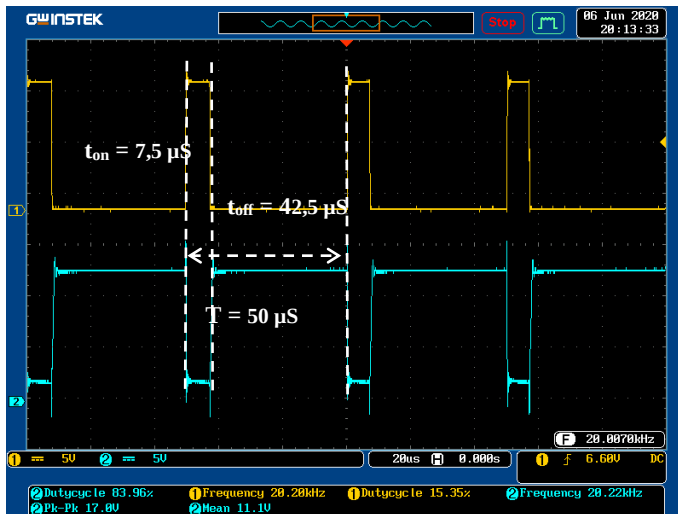
Pengujian pensaklaran dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah PWM yang dibangkitkan sudah benar dan dapat mengontrol kerja konverter. Pengujian dilakukan dengan mengamati bentuk gelombang tegangan Gate Source dan Drain Source tiap MOSFET. Pengujian Pensaklaran dilakukan sebanyak tiga kali dengan konverter bekerja pada mode buck, boost, dan *bidirectional* boost.



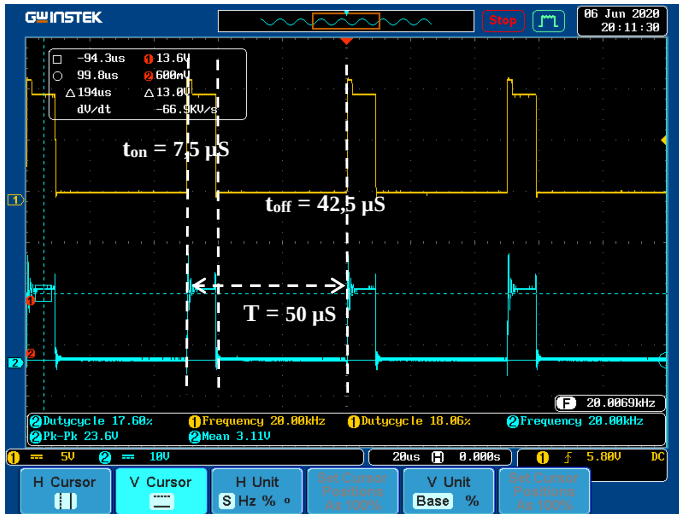
Gambar 4.1 Bentuk gelombang V_{gs} S1 dan V_{ds} S2 mode buck



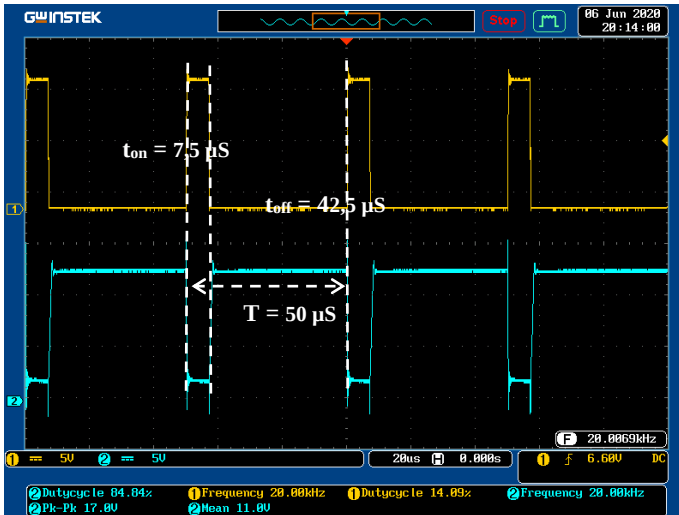
Gambar 4.2 Bentuk gelombang Vgs dan Vds S1 mode buck



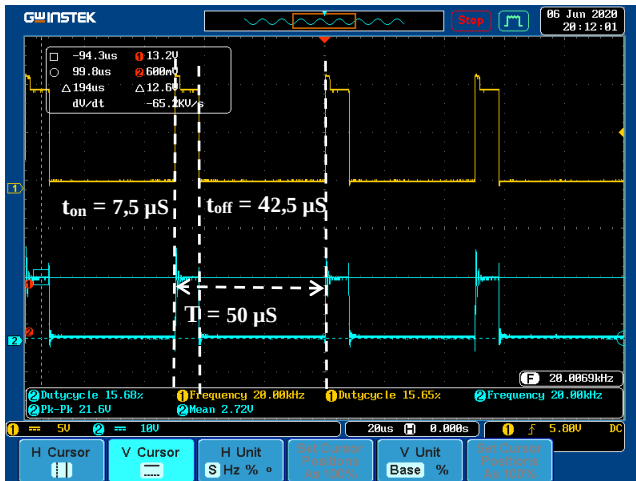
Gambar 4.3 Bentuk gelombang Vgs dan Vds S4 mode boost



Gambar 4.4 Bentuk gelombang Vgs S4 dan Vds S3 mode boost



Gambar 4.5 Bentuk gelombang Vgs dan Vds S4 mode bidirectional boost



Gambar 4.6 Bentuk gelombang Vgs S4 dan Vds S3 mode bidirectional boost

Pada Gambar 4.1 dan 4.2 adalah bentuk gelombang hasil pengujian konverter dalam mode buck. Dari data yang didapat, dapat disimpulkan ketika tegangan gate source bernilai low, karena MOSFET yang digunakan adalah P channel maka mosfet akan melakukan konduksi sehingga yang ditandai nilai tegangan pada kaki drain source turun hingga hampir bernilai nol. Selanjutnya pada tegangan drain source pada S2 karena pada tegangan gate bernilai low dan saklar S1 konduksi maka pada saklar S2 akan mengisolasi konverter dari ground. Lalu, ketika S1 dalam kondisi non konduksi maka dioda yang ada pada tubuh mosfet akan berada dalam kondisi forward biased ditandai dengan tegangan MOSFET S2 yang turun hingga ke nilai nol. Tegangan pada tiap mosfet sama dengan nilai inputnya.

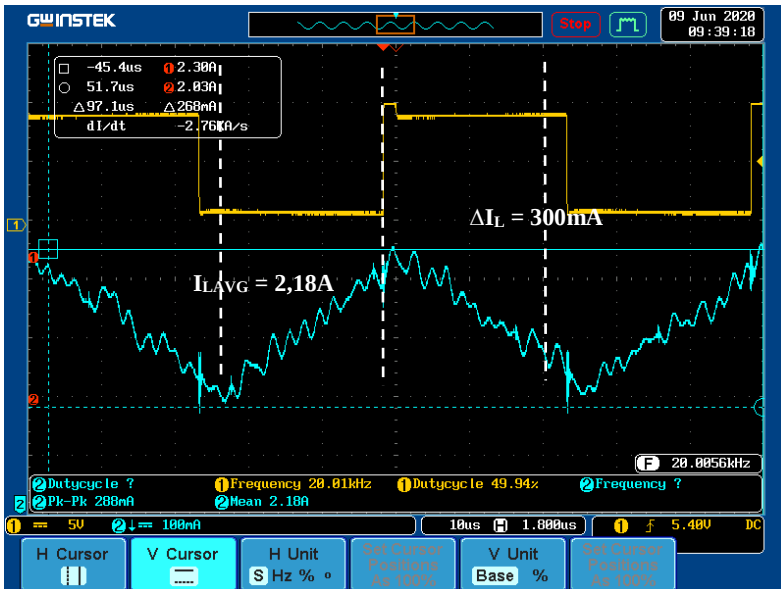
Selanjutnya pada mode boost, pada saat tegangan gate source bernilai tinggi maka saklar akan konduksi, ditandai dengan tegangan drain source yang bernilai nol. Lalu ketika tegangan gate source dalam kondisi low maka nilai tegangan drain source akan bernilai tinggi, hal ini menandakan saklar dalam kondisi non konduksi. Lalu tegangan pada drain source pada S3 pada saat saklar S4 konduksi akan bernilai sama dengan tegangan output. Hal ini menandakan dioda dalam badan saklar sedang mengisolasi sisi output dengan konverter. Dan ketika saklar S4

dalam kondisi non konduksi maka nilai tegangan S3 akan bernilai nol karena dioda yang ada berada dalam kondisi forward bias. Dan pada *bidirectional* boost memiliki cara kerja yang sama dengan mode boost biasa.

4.3.2 Pengujian Arus Induktor

Selanjutnya dilakukan pengujian gelombang arus induktor, apakah dalam kondisi CCM dan sudah sesuai desain yang diinginkan sehingga konverter dapat melakukan kerjanya.

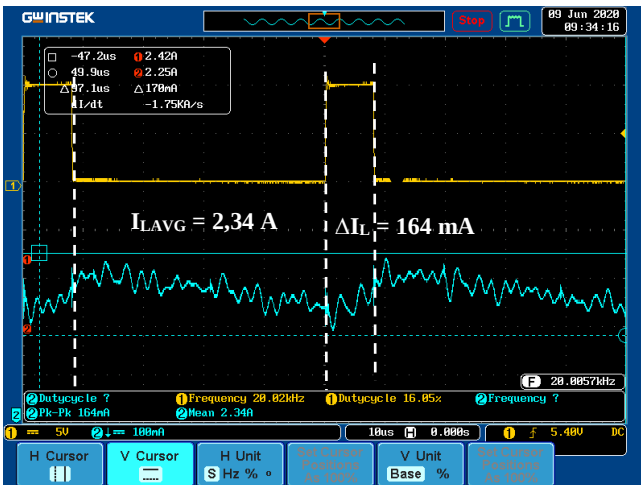
Gambar 4.7 menentukan arus induktor dari masing – masing mode kerja konverter. Pada mode buck yang memiliki duty cycle 50% maka dapat dilihat nilai arus rata – rata adalah 2,18 A maka konverter sudah dikatakan bekerja dengan baik dengan nilai ripple 0,3 A. Lalu untuk pada mode boost dengan duty cycle 15% memiliki nilai 2,33 A dengan ripple 170 mA yang seharusnya bernilai 185 mA. Nilai ini didapatkan karena komponen yang tidak ideal. Lalu untuk mode *bidirectional* boost memiliki nilai arus 2,34 A dengan ripple sama yaitu 164 mA. Nilai ripple yang lebih tinggi juga diakibatkan oleh tidak idealnya komponen.



(a)



(b)

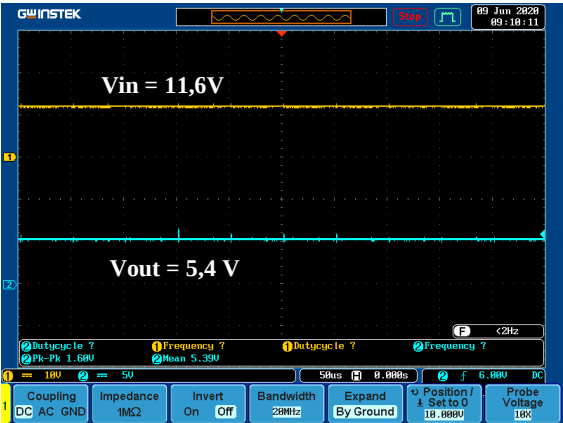


(c)

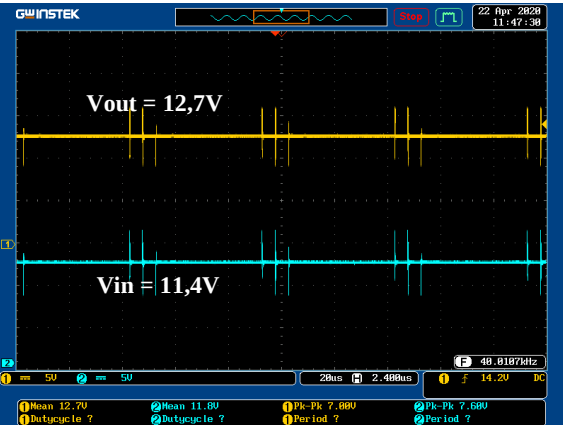
Gambar 4.7 Bentuk Gelombang Arus Induktor (a) Konverter Mode Buck (b) Konverter Mode Boost (c) Konverter Mode *Bidirectional* Boost

4.3.3 Pengujian Tegangan Output dan Tegangan Input Konverter

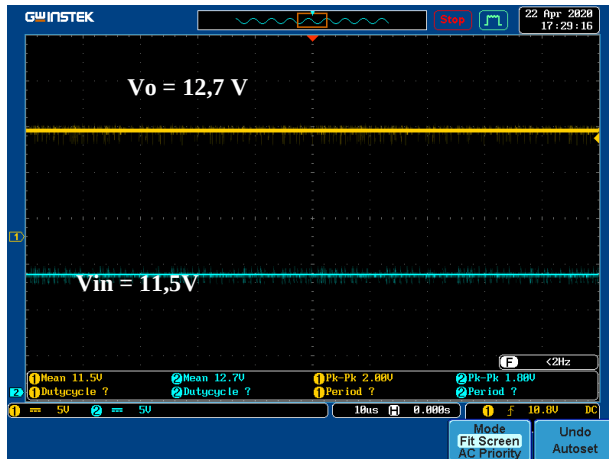
Pengujian tegangan output dan input konverter dilakukan dengan membandingkan nilai tegangan input dan nilai tegangan output untuk mengetahui perbedaan antara implementasi dengan simulasi pada kondisi open loop. Pengujian dilakukan sebanyak dua kali untuk mode forward dan backward power flow.



(a)



(b)



(c)

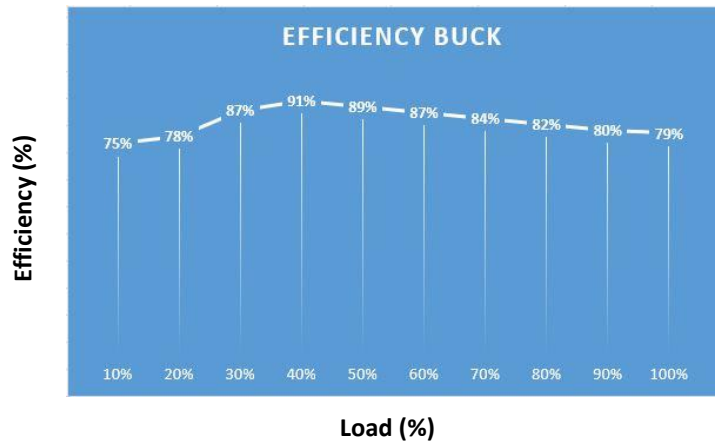
Gambar 4.8 Bentuk Gelombang Tegangan *Output* dan Tegangan *Input* (a) Konverter Mode Buck (b) Konverter Mode Boost (c) Konverter Mode *Bidirectional Boost*

Gambar 4.8 adalah bentuk perbandingan gelombang input dan output. Dari gambar tersebut didapatkan nilai tegangan input lebih besar dari yang seharusnya. Hal ini dikarenakan adanya nilai losses pada konverter sehingga untuk mencapai tegangan yang seharusnya membutuhkan nilai tegangan yang lebih tinggi dari seharusnya. Nilai ripple tegangan yang kurang dari 30 mV hal ini diakibatkan pada implementasi nilai kapasitor adalah 1000 μF sehingga memberikan nilai tegangan output dengan ripple sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Begitu juga pada mode boost *bidirectional* memiliki hasil yang sama.

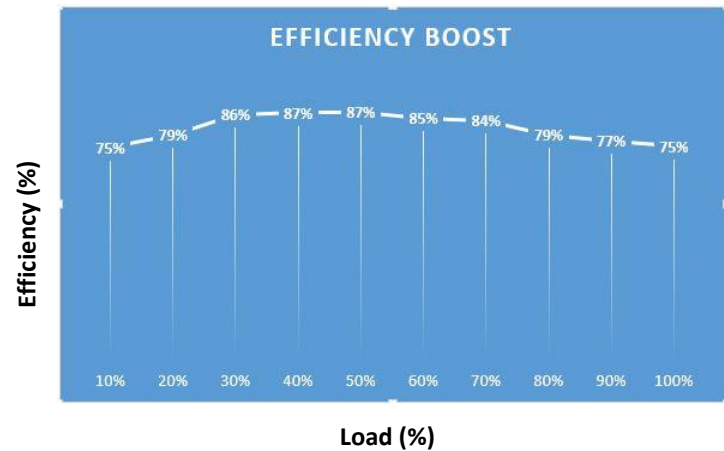
4.3.4 Pengujian Efisiensi Konverter

Pengujian efisiensi dari sebuah konverter bertujuan mengetahui seberapa baik performa konverter dalam melakukan kerjanya. Untuk melakukan pengujian efisiensi, maka nilai output dijaga konstan dan akan diberi daya masukan hingga konverter mencapai nilai output yang diinginkan. Pada tegangan input dijaga konstan 10,8 V lalu tegangan output dijaga agar tetap 12,6 V pada mode boost dan 5,4 V pada mode buck.

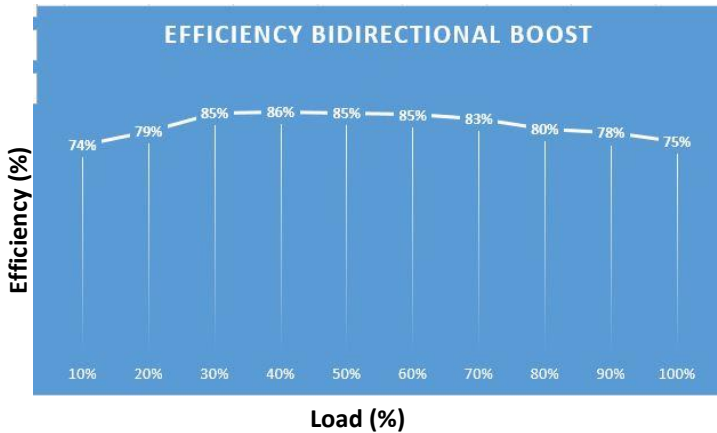
Selanjutnya pengujian dilakukan dengan merubah nilai R sehingga pembebanan berkisar dari 10% hingga 100%. Pengukuran dilakukan dengan membandingkan nilai daya output dengan daya input. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali menggunakan konverter dalam mode buck, boost dan *bidirectional* mode boost.



(a)



(b)

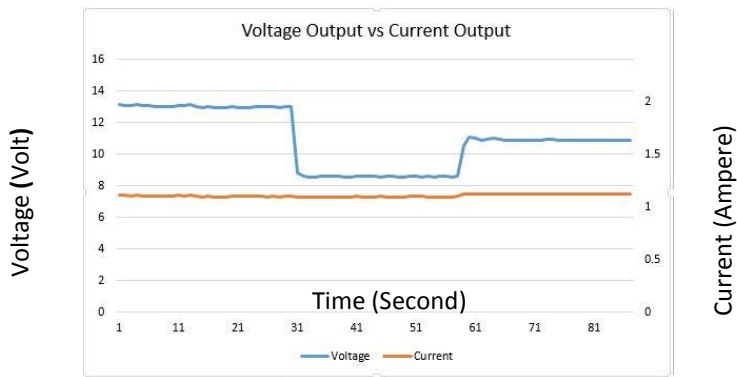


(c)

Gambar 4.9 Grafik Efisiensi (a) Konverter mode buck (b) Konverter mode boost 2 (c) Konverter mode *bidirectional* boost

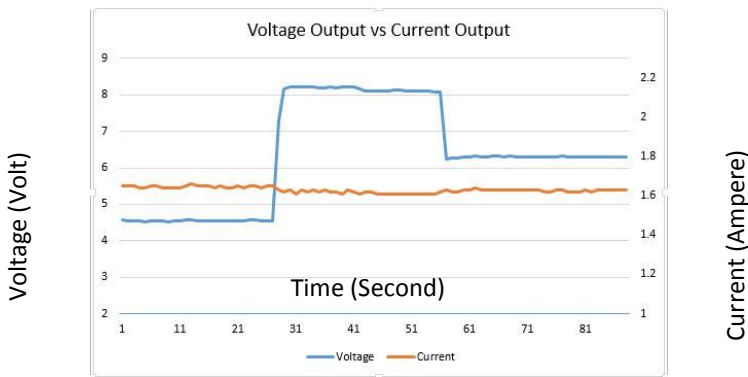
Gambar 4.9 adalah grafik efisiensi dari konverter dalam mode buck, boost dan *bidirectional* boost. Pada tiap mode konverter satu hal yang dapat diambil dari ke tiga percobaan adalah, konverter selalu kurang efisien pada beban kecil seperti 10% dan 20%. Hal ini dapat terjadi akibat energi yang ada pada konverter hanya terbuang menjadi loss pada, konduksi loss pada dioda, switching loss, core loss pada induktor dan biasa loss lain. Maka dari itu efisiensi pada saat beban kecil cenderung kecil juga. Pada beban tinggi konverter juga memiliki loss yang semakin banyak dikarenakan losses akibat resistansi penghantar dan konverter kan secara signifikan naik akibat arus yang naik. Maka dari itu pada saat beban penuh konverter memiliki efisiensi yang menurun. Dan juga perbedaan mode buck dan mode boost adalah mode buck memiliki efisiensi sedikit lebih baik daripada mode boost. Hal ini dikarenakan memiliki lebih sedikit komponen yang bekerja dan terdapat arus yang terbuang saat saklar konduksi ke ground. Rata – rata loss untuk tiap konverter adalah 81.49% untuk mode boost, 83.35% untuk mode buck dan untuk *bidirectional* mode boost 81.10%

4.4 Pengujian *Constant Current*



Gambar 4.10 Pengujian *Constant Current* forward power flow

Pengujian *constant current* dilakukan untuk menguji sistem closed loop yang ada pada konverter ini. Pada kondisi ini akan dilakukan pengetesan pada konverter apakah dengan perubahan beban arus yang ada pada konverter dapat menyesuaikan sehingga nilai arus output dari konverter selalu sama. Pengujian disini dilakukan menggunakan beban resistif yang diubah – ubah setiap 30 detik. Pengujian ini dilakukan sebanyak 2 kali dengan nilai arus pada forward power flow adalah 1,1 A dan pada backward power flow adalah 1,6 A.

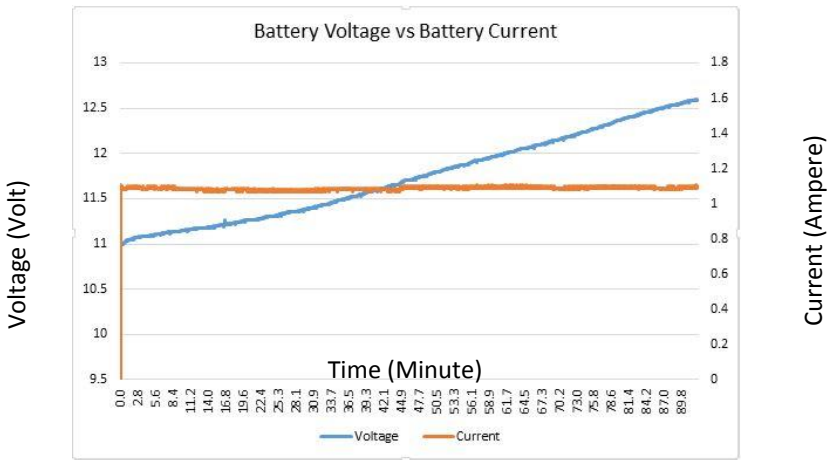


Gambar 4.11 Pengujian *Constant Current* backward power flow

Langkah yang dilakukan pertama kali adalah mengatur setpoint arus sebesar 1,1 A untuk forward power flow dan 1,65 A untuk backward power flow. Untuk mengetahui apakah konverter telah bekerja sesuai desain yang diinginkan, maka konverter diberi beban yang berubah – ubah setiap 30 detik untuk mengetahui apakah arus yang dihasilkan tetap sama. Untuk bagian (a) pada mode forward di set arus sebesar 1,1 A dengan beban $12\ \Omega$, $8\ \Omega$ dan $10\ \Omega$.

Dapat dilihat bahwa nilai arus selalu tetap 1,1 A dan memiliki nilai tegangan berubah – ubah akibat beban yang diubah. Untuk backward power flow, diset arus sebesar 1,65 A, lalu beban akan dirubah tiap 30 detik dengan nilai $4\ \Omega$, $5\ \Omega$ dan $3\ \Omega$. Lalu dapat dilihat nilai arus keluaran adalah tetap dan tegangan yang ada pada konverter berubah – ubah sesuai dengan beban yang berubah. Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa konverter bekerja sesuai dengan semestinya.

4.5 Pengujian *Charging* Baterai



Gambar 4.12 Grafik *charging* 3 sel baterai *Li-Ion*.

Pengujian *charging* baterai dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kemampuan konverter dalam aplikasi sebenarnya. Baterai yang digunakan adalah baterai *Li-Ion* tiga sel dengan total tegangan maksimal 12,6 V dengan kapasitas 2600 mAh.

Pengujian dilakukan pada baterai dengan kondisi kosong dengan tegangan nominal 3,7 V. Lalu selanjutnya akan kita lakukan pengisian

dengan tegangan cut-off yang disarankan oleh datasheet adalah 12,6 V. Gambar 4.12 di atas adalah grafik hasil pengisian baterai li-ion. *Charging* dilakukan selama kurang lebih 93 menit untuk mencapai nilai 12,6 Volt dengan arus secara konstan sebesar 1,1 A. Setelah baterai mencapai 12,6 volt, baterai dilepas dari konverter sehingga tidak mengalami overcharge.

Dari data pengujian didapatkan nilai tegangan awal yaitu 11,1 volt dan tegangan akhirnya adalah 12,35 volt. Sehingga, apabila dilihat grafik nilai SOC dari baterai lithium-ion didapatkan SOC awal yaitu 40% dan nilai SOC akhir yaitu 90 – 95%. Hal ini dapat terjadi karena metode *constant current* menyebabkan *overpotential* pada baterai akibat interaksi arus yang mengalir dengan resistansi internal pada baterai. Maka dari itu untuk mencegah *overpotential* dan agar baterai dapat discharge hingga SOC 100% maka diperlukan metode constant voltage.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan, simulasi dan implementasi dari *Cascaded Bidirectional Buck-Boost DC – DC Converter* untuk aplikasi charging baterai *lithium-ion* dapat ditarik kesimpulan:

1. Implementasi konverter dengan menggunakan closed loop feedback yang diatur menggunakan mikrokontroler dapat menghasilkan nilai arus konstan apabila program dibuat dengan baik.
2. Pada saat implementasi nilai ripple arus induktor bernilai 240 mA yang seharusnya adalah 180 mA. Hal ini diakibatkan komponen induktor memiliki rugi – rugi yang mengakibatkan nilai ripple berbeda dari hasil simulasi.
3. Implementasi *bidirectional cascaded buck – boost converter* memiliki efisiensi rata – rata 83% untuk mode buck dan 81% untuk mode boost.
4. Implementasi konverter yang digunakan untuk charging baterai *Li-Ion* dengan metode *constant current* dan parameter arus 1,1A dan tegangan *cut-off* 12,6 V sudah sesuai dengan desain
5. Setelah dilakukan proses charging baterai dengan kapasitas 2600 mAh selama 93 menit. SOC yang dimiliki baterai adalah 90 – 95% dari sebelumnya 40% apabila dilakukan metode pengukuran berdasarkan tegangan open circuit voltage pada baterai. Hal ini dikarenakan terjadinya *overpotensial* yang diakibatkan charging menggunakan metode *constant current*.

5.2 Saran

Saran yang diberikan untuk pengembangan tugas akhir selanjutnya adalah:

1. Pemilihan komponen harus dilakukan secara selektif dan sedapat mungkin menghindari pemilihan komponen yang menimbulkan banyak kerugian, sehingga peralatan menjadi efisien.
2. Penggunaan sensor harus dikalibrasi secara terus menerus karena apabila sensor pembacaan salah, maka konverter tidak dapat bekerja semestinya sehingga dapat merusak baterai atau komponen lainnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Tomaszewska *dkk.*, “Lithium-ion battery fast charging: A review,” *eTransportation*, vol. 1, hlm. 100011, Agu 2019, doi: 10.1016/j.etrans.2019.100011.
- [2] T. Horiba, “Lithium-Ion Battery Systems,” *Proc. IEEE*, vol. 102, no. 6, hlm. 939–950, Jun 2014, doi: 10.1109/JPROC.2014.2319832.
- [3] C. Patsios *dkk.*, “An integrated approach for the analysis and control of grid connected energy storage systems,” *Journal of Energy Storage*, vol. 5, hlm. 48–61, Feb 2016, doi: 10.1016/j.est.2015.11.011.
- [4] M. A. Khan, A. Ahmed, I. Husain, Y. Sozer, dan M. Badawy, “Performance Analysis of Bidirectional DC–DC Converters for Electric Vehicles,” *IEEE Trans. on Ind. Applicat.*, vol. 51, no. 4, hlm. 3442–3452, Jul 2015, doi: 10.1109/TIA.2015.2388862.
- [5] S. A. Gorji, A. Mostaan, H. Tran My, dan M. Ektesabi, “Non-isolated buck–boost dc–dc converter with quadratic voltage gain ratio,” *IET Power Electronics*, vol. 12, no. 6, hlm. 1425–1433, Mei 2019, doi: 10.1049/iet-pel.2018.5703.
- [6] H. Fan, “Design tips for an efficient non-inverting buck-boost converter,” hlm. 8, 2014.
- [7] S. A. Gorji, H. G. Sahebi, M. Ektesabi, dan A. B. Rad, “Topologies and Control Schemes of Bidirectional DC–DC Power Converters: An Overview,” *IEEE Access*, vol. 7, hlm. 117997–118019, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2937239.
- [8] X. Chen, A. A. Pise, J. Elmes, dan I. Batarseh, “Ultra-Highly Efficient Low-Power Bidirectional Cascaded Buck-Boost Converter for Portable PV-Battery-Devices Applications,” *IEEE Trans. on Ind. Applicat.*, vol. 55, no. 4, hlm. 3989–4000, Jul 2019, doi: 10.1109/TIA.2019.2911566.
- [9] Byungcho Choi, Wonseok Lim, Seungwon Choi, dan Jian Sun, “Comparative Performance Evaluation of Current-Mode Control Schemes Adapted to Asymmetrically Driven Bridge-Type Pulsewidth Modulated DC-to-DC Converters,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 55, no. 5, hlm. 2033–2042, Mei 2008, doi: 10.1109/TIE.2008.920582.
- [10] R. D. Pal dan A. K. R. Paul, “Charge-discharge studies of lithium-ion batteries,” hlm. 5, 2015.

- [11] I. U. Khalil, M. Ahsan, I. Ullah, A. Adnan, N. Khan, dan S. Nawaz, “SOC prediction of Lithium-Ion Battery using Extended Kalman Filter,” dalam *2018 International Symposium on Recent Advances in Electrical Engineering (RAEE)*, Islamabad, Pakistan, Okt 2018, hlm. 1–5, doi: 10.1109/RAEE.2018.8706898.

LAMPIRAN

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

float RawValueTegangan = 0;
float RawValueArus = 0;
float RawValue = 0;
float VacsOut = 0;
float Vout = 0;
float Iout = 0;
int pwm = 9;
int pwm1 = 10;
const int feedbackteganganoutput = A2;
const int feedbackarusioutput = A5;
const int feedbackteganganinput = A3;
const int feedbackarusinput = A4;
double pwmval;
double pwmval1;
int feedbackteganganval;
int feedbackarusval;
int mVperAmp = 185;
int ACSoffset = 2442;
double VoltageOut = 0;
float IsamplingOut = 0;
float VsamplingOut = 0;
float IavgOut = 0;
float VavgOut = 0;
float VoltageTresholdAwal = 0;
float AmpOut = 0;
```

```

void setup()
{
    Serial.begin (9600);

    pinMode(9, OUTPUT);
    pinMode(10, OUTPUT);
    pinMode (8, OUTPUT);
    pinMode (7, OUTPUT);
    pinMode (6, OUTPUT);
    TCCR1A = _BV(COM1A1) | _BV(COM1B1);
    TCCR1B = _BV(WGM13) | _BV(CS11);
    ICR1 = 50;
    pinMode(pwm, OUTPUT);
    pinMode(pwm1, OUTPUT);
    pinMode(feedbackarusoutput, INPUT);
    pinMode(feedbackteganganoutput, INPUT);
    pinMode(feedbackarusinput, INPUT);
    pinMode(feedbackteganganinput, INPUT);
    pwmval = 0;
    pwmval1 = 0;
    OCR1A = 0;
    OCR1B = 0;
}

void loop()
{

    BacaTegangan();

```

```

if (VoltageTresholdAwal < 12.6)
{
    ;
    ChargingBaterai ();
    BacaTegangan();
    digitalWrite (6, LOW);
    digitalWrite (8, HIGH);
}

else

{
    BateraiPenuh ();
    pwmval = 0;
    analogWrite (pwm,pwmval);
    digitalWrite (6, HIGH);
    digitalWrite (8, LOW);
}

}

void ChargingBaterai ()

{
    CC ();

    iterasi ();
}

```

```

void CC ()
{

feedbackarusval = analogRead(feedbackarus);

//Serial.println(feedbackarusval);
//Iterasi Penambahan Duty Cycle
while (feedbackarusval < 540)
{

    if (pwmval >= 1)
    {
        feedbackarusval = analogRead(feedbackarus);
        // Serial.println (feedbackarusval);

        while (feedbackarusval < 540)
        {
            if (pwmval1 >= 0,8)
            {
                feedbackarusval = analogRead(feedbackarus);
            }
            else
            {
                pwmval1 = pwmval1 + 0.001;
                OCR1B = pwmval1 * ICR1;
                // Serial.println(pwmval1);
                feedbackarusval = analogRead(feedbackarus);
            }
        }
    }
}

```

```

while (feedbackarusval > 540)
{
    if (pwmval1 == 0)
    {
        feedbackarusval = analogRead(feedbackarus);
    }
    else
    {
        pwmval1 = pwmval1 - 0.001;
        OCR1B = pwmval1 * ICR1;
        // Serial.println(pwmval1);
        feedbackarusval = analogRead(feedbackarus);
    }
}

}
else
{
    pwmval = pwmval + 0.001;
    OCR1A = pwmval * ICR1;
// Serial.println(pwmval);
    feedbackarusval = analogRead(feedbackarus);
}
}

//Iterasi Pengurangan Duty Cycle
while (feedbackarusval > 540)
{

```

```

    if (pwmval == 0)
    {
        feedbackarusval = analogRead(feedbackarus);
    }
else
    {
        pwmval = pwmval - 0.001;
        OCR1A = pwmval * ICR1;
        // Serial.println(pwmval);
        feedbackarusval = analogRead(feedbackarus);
    }
}
}

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

for(int x = 0; x <1000; x++)
{
    Vout = analogRead(A2);
    Iout = analogRead(A5);

    VsamplingOut = VsamplingOut + Vout;
    IsamplingOut = IsamplingOut + Iout;

    VavgOut = VsamplingOut/1000;
    IavgOut = IsamplingOut/1000;

    VoltageOut = (VavgOut*33.5/1023.0);
}
}

```

```

        //delayMicroseconds(1);

    }

    RawValue = analogRead(IavgOut)+2;
    VacsOut = (IavgOut/1023.0)*5000; //mendapatkan nilai mV
    AmpOut = ((VacsOut-ACSoffset) / mVperAmp);

    Serial.print("\t");
    Serial.print("TeganganOutput=");
    Serial.print(VoltageOut);
    Serial.print("\t");
    Serial.print("ArusOutput=");
    Serial.println(AmpOut);
}

void BacaTegangan ()
{
    VsamplingOut = 0;
    for (int x = 0; x < 1000; x++)
    {
        RawValueTegangan = analogRead (feedbacktegangan);
        VsamplingOut = VsamplingOut + RawValueTegangan;

    }
    VavgOut = VsamplingOut/1000;
    VoltageTresholdAwal = (VavgOut *33.5/1023.0);

```

```

        Serial.println (VoltageTresholdAwal);
    }

    void BateraiPenuh()
    {
        VsamplingOut = 0;
        for (int x = 0; x < 1000; x++)
        {
            RawValueTegangan = analogRead (feedbacktegangan);
            VsamplingOut = VsamplingOut + RawValueTegangan;
        }
        VavgOut = VsamplingOut/1000;
        VoltageTresholdAwal = (VavgOut *33.5/1023.0);
        Serial.println (VoltageTresholdAwal);
        pwmval = pwmval - 0.01;
        OCR1A = pwmval * ICR1;
    }

```

1. Tabel Datasheet Kabel 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

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis buku ini lahir di Kota Semarang pada 4 November 1998. Bernama Indra Anugrah Pratama ini dibesarkan di Kota Salatiga, menempuh pendidikan formal di SD Muhammadiyah, SMP Negeri 2 Salatiga dan SMA Negeri 1 Salatiga dan saat ini sedang menempuh pendidikan Strata 1 di Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama masa perkuliahan mahasiswa ini aktif di berbagai even kepanitiaan dan organisasi. Penulis juga aktif menjadi asisten di Laboratorium Konversi Energi Listrik Teknik Elektro ITS.

Halaman ini sengaja dikosongkan