



TUGAS AKHIR - EE 184801

DESAIN DAN IMPLEMENTASI *REAL TIME MONITORING CHARGER* BATERAI LITHIUM ION MENGGUNAKAN METODE *CONSTANT CURRENT CONSTANT VOLTAGE*

Andhika Bagus Alvian
NRP 0711164000031

Dosen Pembimbing
Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.
Ir. Sjamsjul Anam, M.T.

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



TUGAS AKHIR - EE 184801

DESAIN DAN IMPLEMENTASI *REAL TIME MONITORING CHARGER* BATERAI LITHIUM ION MENGGUNAKAN METODE *CONSTANT CURRENT CONSTANT VOLTAGE*

Andhika Bagus Alvian
NRP 07111640000031

Dosen Pembimbing
Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.
Ir. Sjamsjul Anam, M.T.

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



FINAL PROJECT - TE 184801

**DESIGN AND IMPLEMENTATION OF REAL TIME
MONITORING LITHIUM ION BATTERY CHARGER
USING THE CONSTANT CURRENT CONSTANT
VOLTAGE METHOD**

Andhika Bagus Alvian
NRP 07111640000031

Supervisors
Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.
Ir. Sjamsjul Anam, M.T.

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

PERNYATAAN KEASLIAN

TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tugas akhir saya dengan judul “**DESAIN DAN IMPLEMENTASI *REAL TIME MONITORING CHARGER* BATERAI LITHIUM ION MENGGUNAKAN METODE *CONSTANT CURRENT CONSTANT VOLTAGE***” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

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

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

Surabaya, Juli 2020



Andhika Bagus Alvian

0711164000031

Halaman ini sengaja dikosongkan

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI *REAL TIME*
MONITORING CHARGER BATERAI LITHIUM ION
MENGUNAKAN METODE *CONSTANT CURRENT*
*CONSTANT VOLTAGE***

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Halaman ini sengaja dikosongkan

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 1980 06 03 2006 04 1003

**SURABAYA
JULI, 2020**

Halaman ini sengaja dikosongkan

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI *REAL TIME*
MONITORING CHARGER BATERAI LITHIUM ION
MENGUNAKAN METODE *CONSTANT CURRENT*
*CONSTANT VOLTAGE***

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing II



Ir. Sjamsjul Anam, M.T.
NIP. 1963 07 25 1990 03 1002

**SURABAYA
JULI, 2020**

Halaman ini sengaja dikosongkan

DESAIN DAN IMPLEMENTASI *REAL TIME MONITORING CHARGER* BATERAI LITHIUM ION MENGGUNAKAN METODE *CONSTANT CURRENT CONSTANT VOLTAGE*

Andhika Bagus Alvian
0711164000031

Pembimbing I : Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.
Pembimbing II : Ir. Sjamsjul Anam, M.T.

ABSTRAK

Baterai Li - Ion menjadi sumber daya utama perangkat portabel dan kendaraan listrik karena karakteristiknya yang sangat baik. Setelah digunakan untuk menyuplai energi, baterai Li - Ion akan berkurang kapasitas energinya dan perlu dilakukan charging agar baterai kembali ke kapasitas maksimumnya. Ada beberapa metode untuk mengisi daya baterai, salah satu metodenya adalah *Constant Current Constant Voltage (CC-CV)* yaitu dengan memberikan arus konstan terlebih dahulu dan dilanjutkan tegangan konstan pada kondisi tertentu. Metode ini sesuai untuk baterai Li-Ion karena usia baterai Li-Ion sangat dipengaruhi oleh kondisi *overcharging* sehingga dengan menggunakan metode ini dapat memperpanjang usia baterai. Pada penelitian ini akan dirancang *charger* baterai Li - Ion menggunakan topologi konverter *Buck Boost* dengan metode *CC-CV*. Akan diusulkan juga sistem *real time monitoring* saat proses *charging* baterai. Pada Implementasinya, konverter *Buck Boost* memiliki efisiensi rata-rata 88,2% pada pembebanan 10% sampai 100%. Metode *CC-CV* memiliki reliabilitas tinggi dalam menjaga tegangan dan arus *charging* secara konstan dan dapat menghasilkan arus konstan 1,3 Ampere dan tegangan konstan 12,6 Volt. Pada pengujian *charging* baterai Li – Ion, didapatkan bahwa keseluruhan proses *charging* membutuhkan waktu selama 89 menit dengan rician 56 menit pada mode *Constant Current* dan 33 menit pada mode *Constant Voltage* dengan arus *cut – off* sebesar 180 mA. Parameter dari baterai Li - Ion seperti tegangan dan arus *charging*, tegangan antar sel dan *State of Charge* akan ter - *update* setiap detik sehingga terpantau secara *real time*.

Kata kunci : *Buck Boost, Lithium Ion, CC-CV, Real Time Monitoring*

Halaman ini sengaja dikosongkan

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF REAL TIME MONITORING LITHIUM ION BATTERY CHARGER USING THE CONSTANT CURRENT CONSTANT VOLTAGE METHOD

Andhika Bagus Alvian
0711164000031

Supervisor I : Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.

Supervisor II : Ir. Sjamsjul Anam, M.T.

ABSTRACT

Li-Ion batteries are the main power source for portable devices and electric vehicles because of their excellent characteristics. After being used to supply energy, Li-Ion batteries will reduce their energy capacity and need to be charged so that the batteries return to their maximum capacity. There are several methods for charging a battery, one of the methods is Constant Current Constant Voltage (CC-CV), namely by providing a constant current first and continuing with constant voltage under certain conditions. This method is suitable for Li-Ion batteries because the age of Li-Ion batteries is greatly affected by overcharging conditions so that using this method can extend battery life. In this research, Li-Ion battery charger will be designed using the Buck Boost converter topology with the CC-CV method. Real time monitoring system during the battery charging process will also be proposed. In its implementation, the Buck Boost converter has an average efficiency of 88.2% at 10% to 100% load. The CC-CV method has high reliability in maintaining constant charging voltage and current and can produce a constant current of 1.3 Amperes and a constant voltage of 12.6 Volts. In testing the Li-Ion battery charging, it was found that the entire charging process took 89 minutes with a 56 minute in Constant Current mode and 33 minutes in the Constant Voltage mode with a cut-off current of 180 mA. The parameters of the Li-Ion battery such as charging voltage and current, the voltage between cells and the State of Charge will be updated every second so that it is monitored in real time.

Key Word : *Buck Boost, Lithium Ion, CC-CV, Real Time Monitoring*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah senantiasa penulis panjatkan kehadiran Allah, Tuhan yang Mahatinggi dan Maha Suci. karena atas limpahan berkah, rahmat, dan hidayah-Nya, maka penulis dapat menyelesaikan buku penelitian ini dengan judul **“Desain dan Implementasi Real Time Monitoring Charger Baterai Lithium – Ion Menggunakan Metode Constant Current Constant Voltage”**.

Buku ini penulis persembahkan khususnya untuk keluarga penulis dan umumnya untuk bahan referensi penelitian selanjutnya. Penulisan buku penelitian ini dilakukan dengan penuh kesungguhan agar penelitian ini dapat bermanfaat di masa mendatang. Namun penulis menyadari bahwa buku penelitian ini jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca demi menyempurnakan buku penelitian ini di masa mendatang.

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

1. Kepada kedua orang tua yang tercinta Bapak Abdul Azis dan Ibu Eka Setyawati yang senantiasa memberikan do'a dan dukungan yang sangat berarti.
2. Bapak Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Ir. Sjamsjul Anam, M.T. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan masukan serta arahan sehingga buku penelitian ini dapat diselesaikan dengan sebaik mungkin.
3. Bapak Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D. selaku kepala Laboratorium Konversi Energi yang telah memberi masukan serta arahan dan mengizinkan untuk memanfaatkan fasilitas yang ada pada Laboratorium Konversi Energi untuk mendukung kelancaran penelitian.
4. Teman-teman asisten dan member Laboratorium Konversi Energi 2016 yang saling mendukung dan berjuang bersama dalam mengerjakan penelitian.
5. Teman-teman e56 yang telah berjuang bersama semenjak awal masuk perkuliahan.

6. Mas Mada, Mas Irham, Mas Rachman, Mas Sigit, dan Mbak Nina yang telah memberikan ilmu dan bantuan selama pengerjaan penelitian ini.
7. Dan semua pihak yang tak bisa disebutkan satu-persatu.

yang telah diberikan selama ini. Penulis pun memohon maaf atas segala kekurangan pada penelitian ini. Semoga penelitian ini dapat memberikan informasi dan manfaat bagi mahasiswa Teknik Elektro ITS pada khususnya dan seluruh pembaca pada umumnya.

Surabaya, Juli 2020

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Andhika Bagus Alvian', with a stylized flourish at the end.

Andhika Bagus Alvian

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	i
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Metodologi.....	4
1.6 Sistematika Penulisan	6
1.7 Relevansi.....	7
BAB 2 REAL TIME MONITORING CHARGER BATERAI LITHIUM ION MENGGUNAKAN METODE CONSTANT CURRENT CONSTANT VOLTAGE	9
2.1 Baterai Lithium Ion.....	9
2.2 Konverter Buck Boost.....	10
2.2.1 Analisa Sakelar Tertutup.....	12
2.2.2 Analisa Sakelar Terbuka	13
2.2.3 Penurunan Parameter Komponen.....	15
2.3 Constant Current Constant Voltage	16
2.4 Radio Telemetry 915 MHz	18
BAB 3 DESAIN, SIMULASI, DAN IMPLEMENTASI	21
3.1 Diagram Blok Sistem	21
3.1.1 Sistem <i>Charger</i> Baterai.....	21
3.1.2 Sistem <i>Real Time Monitoring</i>	22
3.2 Spesifikasi Baterai <i>Lithium – Ion</i>	23
3.3 Desain <i>Charger</i> Baterai <i>Lithium – Ion</i>	24
3.4 Desain Konverter <i>Buck Boost</i>	25
3.4.1 Penentuan Nilai Rasio Konversi dan Duty Cycle ..	26
3.4.2 Penentuan Nilai Beban.....	27
3.4.3 Penentuan Nilai Kapasitor	28
3.4.4 Penentuan Nilai Induktor	29
3.4.5 Penentuan Komponen MOSFET	32

3.4.6	Penentuan Dioda	33
3.5	Simulasi Konverter <i>Buck Boost</i> dalam Keadaan <i>Steady State</i>	34
3.5.1	Rangkaian Konverter <i>Buck Boost</i>	34
3.5.2	Simulasi Pensaklaran	35
3.5.3	Simulasi Arus Induktor	36
3.5.4	Simulasi Tegangan Dioda	38
3.5.5	Simulasi Arus MOSFET dan Dioda	39
3.5.6	Simulasi Tegangan Kapasitor	40
3.5.7	Simulasi Tegangan Output	41
3.5.8	Simulasi Daya Output	42
3.5.9	Simulasi Efisiensi Konverter	42
3.6	Simulasi Konverter pada Kondisi Dinamis	43
3.6.1	Simulasi <i>Constant Current</i>	44
3.6.2	Simulasi <i>Constant Voltage</i>	46
3.7	Simulasi <i>Charging</i> Baterai	49
3.7.1	Flowchart <i>Charging</i> Baterai Lithium – Ion	50
3.7.2	Rangkaian Simulasi <i>Charger</i> Baterai Lithium – Ion	51
3.7.3	Simulasi <i>Charging</i> Baterai Lithium – Ion	53
3.8	Implementasi Baterai <i>Charger</i> dengan Konverter <i>Buck</i>	55
BAB 4 HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA		61
4.1	Peralatan Pengujian Konverter	61
4.2	Pengujian Sensor Arus dan Tegangan	62
4.3	Pengujian Konverter <i>Buck Boost</i>	63
4.3.1	Pengujian Sinyal <i>Pulse Width Modulation (PWM)</i>	64
4.3.2	Pengujian Pensaklaran	65
4.3.3	Pengujian Tegangan Dioda	66
4.3.4	Pengujian Arus Induktor	67
4.3.5	Pengujian Tegangan Kapasitor	68
4.3.6	Pengujian Tegangan <i>Input</i> dan <i>Output</i>	69
4.3.7	Pengujian Tegangan dan Arus <i>Output</i> Beban Penuh	70
4.3.8	Pengujian Efisiensi Konverter	71
4.4	Pengujian <i>Constant Current Constant Voltage</i>	72
4.4.1	Pengujian <i>Constant Current</i> Beban R	73
4.4.2	Pengujian <i>Constant Voltage</i> Beban R	74
4.4.3	Pengujian <i>Constant Current Constant Voltage</i> Beban R	75

4.5	Pengujian <i>Charging</i> Baterai Lithium Ion.....	77
4.6	Pengujian Sistem <i>Real Time Monitoring</i>	78
BAB 5 KESIMPULAN		83
5.1	Kesimpulan	83
5.2	Saran	83
DAFTAR PUSTAKA		85
LAMPIRAN.....		87
BIODATA PENULIS.....		101

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tahap Pengisian Baterai Li - Ion.....	9
Gambar 2.2 Rangkaian Konverter <i>Buck Boost</i>	11
Gambar 2.3 Bentuk Gelombang Tegangan dan Arus pada Komponen.....	11
Gambar 2.4 Rangkaian Konverter <i>Buck Boost</i> Ketika Sakelar S Tertutup.....	12
Gambar 2.5 Rangkaian Konverter <i>Buck Boost</i> Ketika Sakelar S Terbuka	14
Gambar 2.6 Proses Pengisian dan Pengosongan Baterai Li-Ion	17
Gambar 2.7 Proses pengisian <i>CC - CV</i>	18
Gambar 2.8 Pemodelan Sistem Telemetri Radio Frekuensi	19
Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem <i>Charger</i> Baterai	22
Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem <i>Real Time Monitoring</i>	23
Gambar 3.3 Grafik Rasio Konversi Berdasarkan Nilai <i>Duty Cycle</i> ...	26
Gambar 3.4 Simulasi Rangkaian Konverter <i>Buck Boost Steady State</i>	35
Gambar 3.5 Bentuk Gelombang Tegangan <i>Gate-Source</i> dan Tegangan <i>Drain-Source</i>	36
Gambar 3.6 Bentuk Gelombang Tegangan <i>Gate-Source</i> dan Arus Induktor.....	37
Gambar 3.7 Bentuk Gelombang Tegangan <i>Gate-Source</i> dan Tegangan Dioda.....	38
Gambar 3.8 Bentuk Gelombang Arus <i>Drain-Source</i> dan Arus Dioda.....	39
Gambar 3.9 Bentuk Gelombang Tegangan <i>Gate-Source</i> dan Tegangan Kapasitor	40
Gambar 3.10 Bentuk Gelombang Tegangan <i>Input</i> , Tegangan Kapasitor dan Tegangan Output.....	41
Gambar 3.11 Bentuk Gelombang Tegangan <i>Output</i> dan Arus Output	42
Gambar 3.12 Bentuk Gelombang Daya Input dan Daya Output.....	43
Gambar 3.13 Simulasi rangkaian konverter <i>buck boost</i> saat mode <i>constant current</i>	44
Gambar 3.14 Simulasi <i>Constant Current</i> dengan Beban R 3 Ω	45
Gambar 3.15 Simulasi <i>Constant Current</i> dengan Beban R 6 Ω	46

Gambar 3.16 Simulasi rangkaian konverter <i>buck boost</i> saat mode <i>constant voltage</i>	47
Gambar 3.17 Simulasi <i>Constant Voltage</i> dengan Beban R 10 Ω	48
Gambar 3.18 Simulasi <i>Constant Voltage</i> dengan Beban R 20 Ω	49
Gambar 3.19 <i>Flowchart Constant Current Constant Voltage</i>	50
Gambar 3.20 Simulasi Charging Baterai Menggunakan <i>Constant Current Constant Voltage</i>	51
Gambar 3.21 Rangkaian Daya (a) dan Rangkaian Kontrol (b) Simulasi <i>Charging</i> Baterai	52
Gambar 3.22 Respon Arus pada Simulasi <i>Charging</i> Baterai	53
Gambar 3.23 Respon Tegangan pada Simulasi <i>Charging</i> Baterai	54
Gambar 3.24 <i>State of Charge</i> Simulasi <i>Charging</i> Baterai	55
Gambar 3.25 Implementasi <i>Charger</i> Baterai Lithium Ion Tampak Samping (a) Tampak Atas (b)	57
Gambar 3.26 Rangkaian <i>Buck Boost Converter</i>	58
Gambar 3.27 Rangkaian Telemetri.....	58
Gambar 3.28 Rangkaian Kontrol.....	59
Gambar 3.29 Setup Pengujian <i>Charging</i> Baterai	60
Gambar 4.1 Bentuk Gelombang PWM Arduino dan TLP250.....	64
Gambar 4.2 Bentuk Gelombang Tegangan <i>Gate – Source</i> dan <i>Drain – Source</i> pada MOSFET	65
Gambar 4.3 Bentuk Gelombang Tegangan <i>Gate – Source</i> MOSFET dan Tegangan Dioda	67
Gambar 4.4 Bentuk Gelombang Tegangan <i>Gate – Source</i> MOSFET dan Arus Induktor	68
Gambar 4.5 Bentuk Gelombang Tegangan <i>Gate – Source</i> MOSFET dan Tegangan Kapasitor	69
Gambar 4.6 Bentuk Gelombang Tegangan <i>Input</i> dan <i>Output</i>	70
Gambar 4.7 Bentuk Gelombang Tegangan dan Arus <i>Output</i>	71
Gambar 4.8 Grafik Efisiensi Konverter.....	72
Gambar 4.9 Kurva Pengujian <i>Constant Current</i> Beban 3 Ω (a) dan Beban 6 Ω (b).....	73
Gambar 4.10 Kurva Pengujian <i>Constant Voltage</i> Beban 10 Ω (a) dan Beban 20 Ω (b)	75
Gambar 4.11 Kurva Pengujian <i>Constant Current Constant Voltage</i> ..	76
Gambar 4.12 Kurva Pengujian Charging Baterai Lithium Ion	77

Gambar 4.13 Tampilan Sistem Real Time Monitoring	79
Gambar 4.14 Kurva Tegangan Sel Baterai Pertama (a), Kedua (b) dan Ketiga (c).....	80
Gambar 4.15 Kurva <i>Charging</i> Baterai Lithium Ion	81
Gambar 4.16 <i>State of Charge</i> Baterai saat Proses <i>Charging</i>	81

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi Baterai <i>Lithium – Ion</i>	23
Tabel 3.2 Parameter Pengisian Daya Baterai	24
Tabel 3.3 Parameter baterai <i>Li – Ion</i>	25
Tabel 3.4 Spesifikasi <i>charger</i> baterai <i>Li – Ion</i>	25
Tabel 3.5 Desain Spesifikasi Konverter Buck Boost	26
Tabel 3.6 Spesifikasi Kabel AWG 12 dan AWG 25	31
Tabel 3.7 Parameter Komponen yang digunakan pada Konverter.....	34
Tabel 3.8 Parameter Komponen Konverter.....	56
Tabel 4.1 Pengujian Sensor Arus ACS712	62
Tabel 4.2 Pengujian Sensor Tegangan Multiturn 100 k Ω	63

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era modern ini, perkembangan teknologi terutama pada bidang elektronik menuju ke arah yang serba *portable*. Banyak perangkat elektronik yang membutuhkan baterai sebagai sumber energi utama untuk perangkat elektronik *portable* tersebut. Jenis baterai yang dipilih untuk aplikasi elektronik tersebut merupakan baterai yang memiliki sifat *rechargeable*. *Rechargeable* yang dimaksud disini adalah baterai yang diapat diisi kembali. Salah satu jenis baterai yang dapat diisi kembali dayanya adalah baterai *Lithium – Ion* (Li – Ion). Baterai ini terdiri dari beberapa sel yang disesuaikan dengan kebutuhan beban yang disuplai oleh baterai tersebut. Baterai lithium-ion menjadi sumber daya utama perangkat portabel dan kendaraan listrik karena karakteristiknya yang sangat baik, seperti kepadatan daya spesifik yang tinggi, tegangan sel tinggi, laju pemakaian sendiri yang rendah, masa pakai siklus yang panjang, dan tidak ada efek memori [1].

Baterai yang dapat diisi ulang memiliki kemampuan untuk menyimpan dan mengembalikan energi mereka secara teratur jika dirawat dengan baik. Salah satu parameter utama untuk memperpanjang masa pakai baterai adalah untuk mengisi dan mengosongkannya dengan benar [2]. Dalam sistem bertenaga baterai, waktu singkat untuk mengisi daya baterai secara efektif selalu merupakan fitur yang diinginkan oleh pengguna. Dengan demikian, waktu pengisian baterai merupakan faktor penting untuk pengisi daya yang cepat. Selain itu, fitur lain yang diinginkan oleh pengguna adalah pada saat dilakukan pengisian daya baterai dibutuhkan *monitoring* parameter pada baterai secara *real time*.

Ada beberapa metode untuk mengisi daya baterai, salah satu metodenya adalah *Constant Current Constant Voltage* (CC-CV), metode ini sesuai untuk baterai Li-Ion karena usia baterai Li-Ion sangat dipengaruhi oleh kondisi *overcharging* sehingga dengan menggunakan metode ini dapat memperpanjang usia baterai [3]. Untuk baterai Li-ion, metode pengisian *constant current – constant voltage* (CC-CV) sebagian besar digunakan dalam pengisi daya cepat komersial saat ini [4]. Pada Mode CC, baterai akan diisi dengan arus konstan terlebih dahulu hingga tegangan baterai naik ke batas tegangan konstan. Setelah mode pengisian

CC, proses pengisian masuk ke mode CV untuk mencegah pengisian yang berlebihan. Dalam mode CV, arus pengisian berkurang secara bertahap berdasarkan kondisi baterai, seperti kenaikan impedansi atau kenaikan gaya gerak listrik (EMF) [5].

Untuk dapat melakukan proses charging baterai secara *Constant Current Constant Voltage* dapat menggunakan *buck boost converter*, pemilihan topologi konverter ini dikarenakan *buck boost converter* memiliki output tegangan dan arus dengan *ripple* kecil sehingga sesuai untuk digunakan dalam proses *charging* baterai [6]. Disamping itu *buck boost converter* mampu untuk mempertahankan output konstan walaupun tegangan inputnya berada dibawah atau diatas level tegangan output. Maka dari itu, pada penelitian ini dirancang dan diimplementasikan sebuah *charger* baterai dengan topologi *buck boost converter* menggunakan metode *Constant Current Constant Voltage* sehingga baterai Li - Ion dapat digunakan sesuai kebutuhan dan aman dalam proses chargingnya. Untuk mengetahui parameter pada baterai Lihium – Ion saat proses *charging*, maka diperlukan adanya *monitoring* pengisian daya pada baterai secara *real time* untuk menunjukkan kondisi tegangan tiap sel, tegangan dan arus charging dan energi yang tersimpan dengan menggunakan radio telemetri.

1.2 Perumusan Masalah

Saat ini, baterai adalah sumber energi listrik yang penting untuk peralatan elektronik yang *portable*. Baterai diproduksi dalam dua bentuk, yaitu dapat diisi ulang (*rechargeable*) dan tidak dapat diisi ulang (*non-rechargeable*). Salah satu jenis baterai yang dapat diisi ulang adalah baterai Lithium Ion. Baterai yang dapat diisi ulang memiliki kemampuan untuk menyimpan dan mengembalikan energi mereka secara teratur jika dirawat dengan baik. Salah satu parameter utama untuk memperpanjang masa pakai baterai adalah untuk mengisi dan mengosongkannya dengan benar. Dengan cara ini memilih atau mendesain pengisi daya yang cocok adalah titik kunci. Waktu pengisian daya merupakan perhatian penting dalam mendesain pengisi daya, tetapi hal ini memiliki beberapa batasan sesuai dengan jenis baterai dan kapasitasnya.

Secara umum, kurva karakteristik pengisian daya untuk semua jenis baterai Lithium Ion hampir serupa. Pengisian baterai memiliki dua mode operasi vital, yaitu : *Constant Current* (CC) dan *Constant Voltage* (CV) . Ketika baterai habis, ia memiliki resistansi internal yang rendah,

oleh karena itu dibutuhkan arus yang besar dari sumbernya. Menurut jenis baterai dan kapasitasnya saat ini, penting untuk membatasi arus pengisian melalui pembatas arus. Langkah ini disebut mode CC. Ketika baterai sedang diisi, resistansi internal meningkat sehingga dibutuhkan lebih sedikit saat ini. Pada langkah ini, tegangan baterai naik ke tingkat nominal sehingga pengisi daya harus membatasi tegangan ke nilai nominalnya. Bagian ini disebut mode CV.

1.3 Tujuan

Penelitian ini memiliki tujuan seperti berikut:

1. Membuat desain dan implementasi *DC-DC Buck Boost Converter* dengan *Constant Current Constant Voltage* untuk aplikasi *charger* baterai Lithium Ion.
2. Membandingkan dan menganalisis hasil implementasi dengan hasil desain dan simulasi *DC-DC Buck Boost Converter* menggunakan *Constant Current Constant Voltage* untuk aplikasi *charger* baterai Lithium Ion.
3. Melakukan analisa hasil pengujian charging baterai Lithium Ion untuk mendapatkan karakteristik saat kontrol tegangan konstan dan arus konstan.
4. Membuat sistem *real time monitoring charging* baterai yang dapat menampilkan grafik karakteristik baterai berupa tegangan antar sel, tegangan dan arus *charging* serta energi yang tersimpan di baterai.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Jenis baterai yang digunakan pada penelitian ini adalah *Lithium-Ion* berkapasitas 2600 mAh yang tersusun secara seri dengan jumlah maksimal tiga sel.
2. Topologi konverter yang digunakan adalah *Buck Boost Converter* dengan proses pengisian baterai yang dilakukan tanpa menggunakan *balancer* atau *equalizer*.
3. Implementasi alat disesuaikan dengan komponen-komponen yang terdapat di pasaran dan peralatan uji di Laboratorium Konversi Energi Listrik.
4. Pengujian hasil implementasi menggunakan sumber tegangan *Variable DC Supply*, serta beban *rheostat* yang terdapat pada laboratorium.

5. Semua analisis dan perhitungan dilakukan dalam mode tunak (*steady state*).

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam penyusunan ini adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Pada tahap ini akan dilakukan tinjauan pustaka tentang baterai Lithium Ion, *charger* baterai Lithium - Ion, prinsip kerja *buck boost konverter*, metode *Constant Current – Constant Voltage*, dan prinsip kerja *real time monitoring* menggunakan radio telemetri, yang kemudian dijadikan referensi untuk mengerjakan penelitian. Tinjauan pustaka bisa didapat dari jurnal ilmiah, paper ilmiah, thesis, dan lain sebagainya.

2. Desain dan Simulasi

Pada proses ini akan dilakukan perhitungan parameter komponen yang selanjutnya akan menghasilkan desain *Buck Boost Converter* berdasarkan literatur yang dipelajari. Selanjutnya menyimulasikan dengan program PSIM 9.1.1 dan membandingkan hasil dari simulasi dengan desain yang telah dibuat. Kemudian mensimulasikan sistem *close-loop* menggunakan metode *Constant Current Constant Voltage* untuk mendapatkan nilai arus konstan dan tegangan konstan pada konverter untuk charging baterai Li – Ion yang dimodelkan dalam software simulink MATLAB R2015b.

3. Implementasi

Pada tahap ini akan dilakukan implementasi dari simulasi yang telah dilakukan dengan membuat hardwarenya. Langkah pertama membuat PCB untuk rangkaian power (*Buck Boost Converter*), rangkaian kontrol (*Driver MOSFET* dan mikrokontroler), serta rangkaian *real time monitoring* (radio telemetri) menggunakan software Eagle. Selanjutnya memasang komponen yang telah ditentukan dengan cara menyolder komponen tersebut pada PCB yang telah dibuat. Selain itu juga membuat program pada mikrokontroler arduino untuk kontrol switching pada konverter, sistem *close loop Constant Current Constant Voltage* dan *real time monitoring*. Dilanjutkan dengan membuat hardware dari sistem monitoring berbasis telemetri dilengkapi dengan data logger.

4. Pengujian Alat

Pada tahap ini dilakukan pengujian *charger* baterai *Li - Ion* yang telah diimplementasikan menggunakan topologi *Buck Boost Converter*. Pengujian dilakukan secara bertahap, yaitu pertama dilakukan pengujian konverter berupa pengujian sinyal pensakelaran, pengujian tegangan output, pengujian karakteristik arus dan tegangan komponen, pengujian efisiensi konverter. Selanjutnya dilakukan pengujian kontrol *close loop* berupa pengujian *Constant Voltage*, *Constant Current*, dan *Constant Current Constant Voltage*. Kemudian dilakukan pengujian untuk melakukan charging 3 baterai *Li - Ion* 2600 mAh yang disusun secara seri untuk mendapatkan kurva charging dari baterai yang didapat dari data logger yang telah terpasang. Selama pengujian charging baterai, sistem *real time monitoring* juga dipantau apakah telah sesuai atau tidak.

5. Pengolahan data

Proses pengolahan data yang telah didapatkan selama pengujian alat kemudian diolah pada software microsoft excel. Tahap ini dilakukan untuk mendapatkan tabel data dan visualisasi data yang lebih baik berupa grafik efisiensi konverter, charging baterai dan tegangan tiap sel baterai.

6. Analisa Data

Setelah proses pengujian alat dan pengolahan data selesai dilakukan, pada tahap ini akan dilakukan analisis data dengan cara membandingkan data dari hasil simulasi dengan data dari implementasi hardware. Jika data dari implementasi hardware belum sesuai dengan simulasi maka akan dilakukan perbaikan pada hardwarenya sampai sesuai dengan hasil simulasi. Analisa yang dilakukan merupakan analisa untuk hasil uji Konverter *Buck Boost*, analisa algoritma kontrol *close loop Constant Current Constant Voltage*, analisa karakteristik kurva *charging* baterai Lithium Ion 2600 mAh

7. Kesimpulan dan Pembuatan Laporan Penelitian

Tahap terakhir adalah penarikan kesimpulan berdasarkan hasil analisa data yang diperoleh dari simulasi, perhitungan dan pengujian implementasi *charger* baterai *Li - Ion* dengan *Buck Boost Converter* menggunakan metode CC-CV. Dilanjutkan dengan pembuatan

laporan penelitian berdasarkan data yang diperoleh dan proses-proses yang telah dilakukan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan penelitian tugas ini terbagi atas lima bagian dengan uraian sebagai berikut :

BAB 1 Pendahuluan

Bab ini berisi penjelasan tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi penelitian ini.

BAB 2 *Real Time Monitoring Charger Baterai Lithium – Ion Menggunakan Metode Constant Current Constant Voltage*

Bab ini membahas teori tentang Baterai Lihium Ion beserta karakteristik *charging*-nya, teori *DC-DC Buck Boost Converter*, teori tentang kontrol *switching converter* dengan metode *Constant Current Constant Voltage*, serta teori penggunaan radio telemetri untuk sistem *real time monitoring*.

BAB 3 Desain, Simulasi, dan Implementasi

Bab ini berisi mengenai skema pengujian *charging* baterai Lithium Ion yang akan dilakukan, spesifikasi baterai Lithium Ion yang akan digunakan, perancangan rangkain *Buck Boost Converter* menggunakan perhitungan matematis dari penurunan rumus untuk menentukan nilai-nilai komponen, simulasi dengan menggunakan program PSIM 9.1.1 pada mode *steady state* menggunakan kontrol *open loop* dan pada mode dinamis menggunakan kontrol *close loop* CC-CV. Kemudian dilanjutkan dengan simulasi *charging* baterai Lithium Ion pada *software* MATLAB R2015b. Dilanjutkan dengan implementasi *charger* baterai Lithium Ion dengan topologi *DC-DC Buck Boost Converter*, Pembuatan algoritma kontrol *Constant Current Constant Voltage*, serta sistem *real time monitoring* berbasis telemetri.

BAB 4 Pengujian dan Analisis Data

Bab ini berisi mengenai pengujian *rangkaian DC-DC Buck Boost Converter* menggunakan peralatan yang terdapat di laboratorium Konversi Energi, dilanjutkan dengan pengujian

algoritma kontrol *close loop Constant Current Constant Voltage*, kemudian dilakukan pengujian karakteristik charging 3 baterai Lithium Ion 2600 mAh yang disusun secara seri, dan pengujian sistem *real time monitoring*. Data yang didapatkan dari pengujian dibandingkan dengan teori dan hasil simulasi.

BAB 5 Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi kesimpulan dari analisa data yang dilakukan dan berisi tentang saran untuk penelitian selanjutnya.

1.7 Relevansi

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

1. Dapat digunakan sebagai referensi dalam pengembangan *charger* baterai Li – Ion dengan menggunakan konverter *buck boost*.
2. Dapat digunakan sebagai referensi dalam penelitian yang menggunakan metode *constant current constant voltage*.
3. Dapat digunakan sebagai referensi yang dapat menunjang perkembangan teknologi *real time monitoring charger* baterai.
4. Dapat digunakan sebagai referensi bagi mahasiswa lain dalam mengerjakan penelitian di bidang energi terbarukan

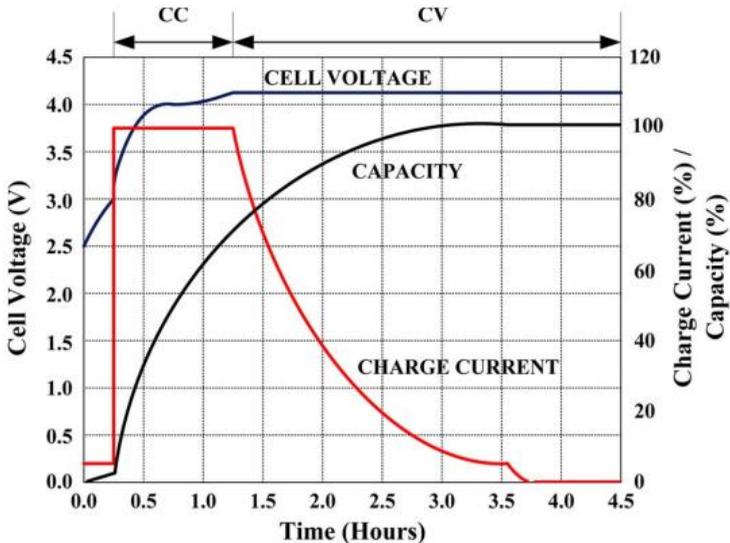
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

REAL TIME MONITORING CHARGER BATERAI LITHIUM ION MENGGUNAKAN METODE CONSTANT CURRENT CONSTANT VOLTAGE

2.1 Baterai Lithium Ion

Li-Ion menggunakan dua elektroda sebagai katoda (elektroda positif) dan anoda (elektroda negatif) dan elektrolit sebagai konduktor. Elektroda positif adalah oksida logam dan elektroda negatif mengandung karbon berpori. Selama fase *discharge*, ion mengalir dari elektroda positif ke negatif melalui elektrolit. Selama fase *charging*, operasi yang disebutkan terbalik. Baterai lithium ion memiliki beberapa keunggulan yaitu : Energi tinggi dan kemampuan beban tinggi, Siklus panjang dan bebas perawatan, Kapasitas tinggi dan resistansi internal rendah, Pengisian daya sederhana dan cepat, Debit diri rendah dibandingkan dengan baterai NiMH dan NiCd. Sebagai kontras, baterai lithium – ion juga memiliki beberapa kelemahan seperti contohnya : Membutuhkan perlindungan termal, Tidak ada pengisian cepat dalam suhu yang sangat rendah ($<0^{\circ}\text{C}$) [7].



Gambar 2.1 Tahap Pengisian Baterai Li - Ion

Sel Li - Ion standar memiliki tegangan nominal 3,7V yang harus diisi ke 4,2V dalam muatan penuh. Tidak seperti baterai Lead-Acid yang mengisi 0,1 hingga 0,3 dari kapasitas saat ini, baterai Li-Ion dapat diisi dengan 0,3 hingga 0,8 dari kapasitas saat ini. Spesifikasi ini cocok untuk pengisian cepat. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1, pada tahap 1, tegangan baterai meningkat sementara arus pengisian terbatas. Karena tegangan baterai mencapai nilai pengisian nominal (4.2V), arus berkurang dan tegangannya harus konstan. Kurva karakteristik pengisian ini harus dipertimbangkan untuk merancang loop kontrol pengisi daya baterai [8].

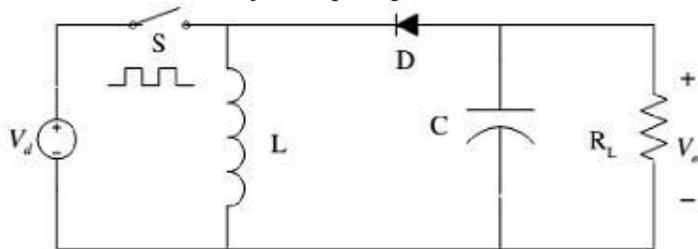
Batas pengisian dan pengosongan untuk sel baterai ion lithium harus dikontrol secara ketat atau jika tidak, akan terjadi kematian sel dini. *Overcharge* menyebabkan oksidasi dan dekomposisi elektrolit, sementara pelepasan yang berlebihan menghasilkan perubahan struktural katoda. Masalah kontrol sel diperparah ketika beberapa sel ditempatkan ke dalam konfigurasi seri dan paralel untuk meningkatkan tegangan / arus suplai untuk aplikasi yang diinginkan. Dalam keadaan ini kontrol sel individu menjadi tantangan desain, baik dengan kontrol tegangan, dan keseimbangan sel [9].

2.2 Konverter Buck Boost

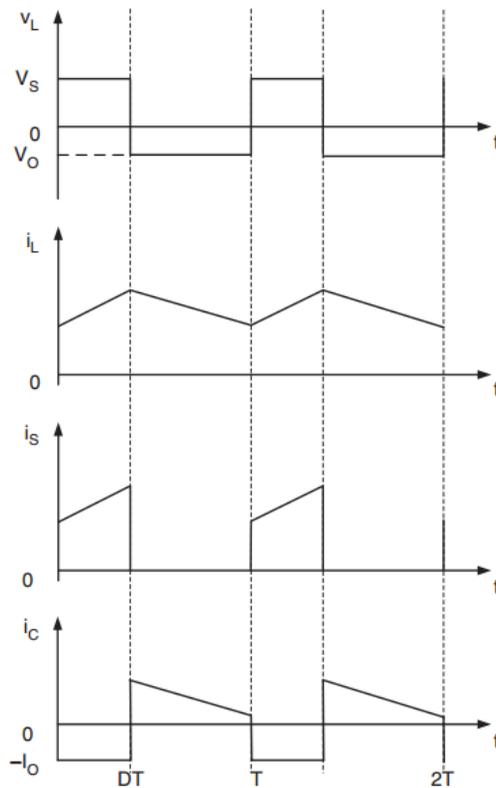
Konverter *Buck Boost* merupakan suatu rangkaian DC-DC konverter yang dapat menghasilkan tegangan keluaran yang lebih rendah atau lebih tinggi dari pada sumbernya. Tegangan keluaran pada *Buck Boost Converter* selalu bernilai negatif atau berkebalikan dengan sumber tegangan masukan. Konverter ini terdiri dari tegangan masukan, sakelar semikonduktor, induktor, dioda, kapasitor, dan beban [10]. Topologi ini memiliki keuntungan yaitu *ripple* tegangan yang rendah pada sisi *input* maupun *output*, sehingga *Buck Boost Converter* merupakan topologi yang tepat untuk digunakan dalam aplikasi yang berhubungan dengan baterai. Dalam konverter *Buck Boost* terdapat dua mode arus yang mengalir yaitu mode arus kontinu atau *Continuous Current Mode (CCM)* dan mode arus diskontinu atau *Discontinuous Current Mode (DCM)* [11].

Mode arus kontinu (*CCM*) ditandai dengan arus induktor saat *charge* dan *discharge* mengalir secara terus menerus atau tidak pernah bernilai nol. Sedangkan mode arus diskontinu (*DCM*) ditandai dengan adanya interval arus induktor yang bernilai nol untuk beberapa saat pada saat proses *charge* dan *discharge*. Pada pembahasan dibawah ini

diterapkan saat konverter pada mode arus kontinu (CCM). Rangkaian konverter *buck boost* ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Rangkaian Konverter *Buck Boost*



Gambar 2.3 Bentuk Gelombang Tegangan dan Arus pada Komponen

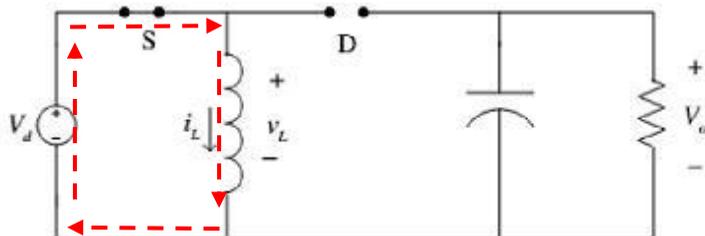
Analisis rangkaian *Buck Boost Converter* konvensional didasarkan berdasarkan pada beberapa asumsi.

1. Semua kapasitor pada rangkaian mempunyai nilai kapasitansi yang besar, sehingga *ripple* tegangan pada kondisi steady-state dapat diabaikan.
2. *Switch* pada rangkaian merupakan komponen ideal dan nilai kapasitansinya diabaikan.
3. Rangkaian bekerja pada kondisi steady-state sehingga tegangan dan arus merupakan gelombang periodik.

Analisis rangkaian pada kondisi *steady state* akan dibahas dalam mode CCM (*Continuous Conduction Mode*). Pada kondisi CCM terdapat dua buah mode, mode I saat keadaan *switch on* sedangkan mode II pada keadaan *switch off*. Bentuk gelombang tegangan dan arus pada masing-masing mode dari konverter *buck boost* pada saat dioperasikan ditunjukkan pada Gambar 2.3. Lebar periode dari arus induktor bergantung pada frekuensi yang diberikan oleh rangkaian kontrol. Saat sakelar konduksi maka akan terjadi pengisian arus induktor ditandai dengan arus induktor yang mulai naik. Selanjutnya saat sakelar terbuka maka akan terjadi pengosongan arus induktor yaitu ditandai dengan arus induktor yang bergerak turun. Lama waktu sakelar konduksi atau terbuka ditentukan oleh besarnya *duty cycle*.

2.2.1 Analisa Sakelar Tertutup

Pada saat sakelar S tertutup, Hal ini menyebabkan diode bekerja *reverse bias* sehingga arus akan mengalir ke induktor L. Dengan adanya arus yang mengalir ke induktor maka terjadi pengisian arus pada induktor sehingga arus induktor (I_L) naik.



Gambar 2.4 Rangkaian Konverter *Buck Boost* Ketika Sakelar S Tertutup

Gambar 2.4. diatas merupakan rangkaian ekuivalen konverter ketika sakelar S tertutup. Saat sakelar S konduksi, maka :

$$di = \Delta I = I_2 - I_1 \quad (2.1)$$

$$dt = t_{on} = t_2 - t_1 \quad (2.2)$$

Dengan menggunakan analisa hukum *Kirchoff Voltage Law*, persamaan yang dapat diturunkan dari rangkaian diatas adalah :

$$\begin{aligned} V_L &= V_d \\ V_d &= L \frac{diL}{dt} \\ V_d &= L \frac{\Delta I_L}{t_{on}} \end{aligned} \quad (2.3)$$

Jika *Duty Cycle* (D) adalah rasio antara interval waktu menyala saklar S dan lama waktu periode sistem, maka :

$$\begin{aligned} D &= \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T} \\ t_{on} &= D T \end{aligned} \quad (2.4)$$

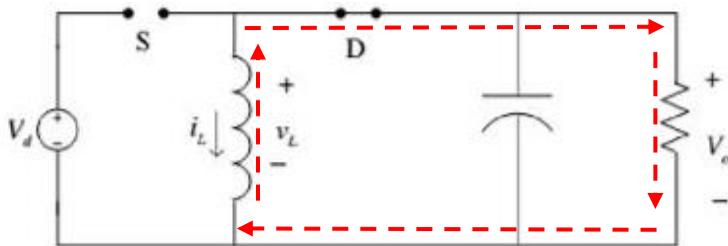
$$t_{off} = (1 - D)T \quad (2.5)$$

Maka dengan mensubstitusi persamaan (2.3) dan (2.4), persamaan Vd berubah menjadi sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_d &= L \frac{\Delta I_L}{DT} \\ V_d D &= L \frac{\Delta I_L}{T} \end{aligned} \quad (2.6)$$

2.2.2 Analisa Sakelar Terbuka

Pada saat sakelar S dalam kondisi terbuka, dioda bekerja *forward bias* dan arus yang tersimpan dalam induktor akan dikosongkan dan mengalir menuju beban, arus yang mengalir searah dengan arus pengisiannya. Energi yang tersimpan di induktor mengalami *discharging*. Konverter *buck boost* menghasilkan tegangan keluaran yang terbalik tanpa memerlukan trafo dan menghasilkan tegangan keluaran yang lebih rendah maupun lebih tinggi dari tegangan masukan.



Gambar 2.5 Rangkaian Konverter *Buck Boost* Ketika Sakelar S Terbuka

Gambar 2.5 merupakan rangkaian ekuivalen konverter ketika sakelar S terbuka. Saat sakelar S padam berdasarkan gambar 2.5, maka :

$$di = \Delta I = - I_1 - I_2 \quad (2.7)$$

$$dt = t_{off} = t_2 - t_1 \quad (2.8)$$

Dengan menggunakan analisa hukum *Kirchoff Voltage Law*, persamaan yang dapat diturunkan dari rangkaian diatas adalah :

$$V_L = - V_o$$

$$L \frac{di_L}{dt} = - V_o$$

$$L \frac{\Delta I_L}{t_{off}} = - V_o$$

$$L \frac{\Delta I_L}{(1-D)T} = - V_o$$

$$L \frac{\Delta I_L}{T} = -(1-D) V_o \quad (2.9)$$

Dengan menggunakan *voltage second balance* pada L pada persamaan (2.6) dan (2.9), maka didapatkan persamaan :

$$V_d D = -(1-D) V_o$$

$$V_o = - V_d \frac{D}{(1-D)} \quad (2.10)$$

Didapatkan persamaan 2.10 yang merupakan persamaan nilai tegangan *output* dari konverter *buck boost*. Dari persamaan tersebut dapat

disimpulkan bahwa tegangan output konverter *buck boost* adalah dapat diatur sedemikian rupa menggunakan parameter *duty cycle*. Nilai dari *duty cycle* adalah 0 sampai 100%. *Duty cycle* bernilai 0 jika sakelar S tidak pernah konduksi sama sekali, dan bernilai 100% jika sakelar S konduksi secara terus menerus. Dengan catatan, bila *duty cycle* PWM sebagai penyulut *switch* lebih dari 50%, maka tegangan keluaran akan lebih tinggi dari tegangan masukan. Dan bila *duty cycle* PWM kurang dari 50%, maka tegangan keluaran akan lebih rendah dari tegangan masukan [12].

2.2.3 Penurunan Parameter Komponen

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

Untuk mendapatkan nilai induktor maka perlu ditentukan terlebih dahulu parameter lainnya seperti nilai riak arus ΔI_L dan frekuensi switching sakelar. Penentuan nilai induktor dapat dihitung saat sakelar dalam kondisi konduksi ataupun terbuka. Perhitungan nilai induktor saat kondisi konduksi dapat menggunakan persamaan 2.6 :

$$V_d D = L \frac{\Delta I_L}{T}$$

$$L = \frac{V_d D}{\Delta I_L f} \quad (2.11)$$

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

$$V_{max} = V_o + \frac{\Delta V}{2} \quad (2.12)$$

$$V_{min} = V_o - \frac{\Delta V}{2} \quad (2.13)$$

Persamaan yang didapatkan ketika kapasitor mengalami *discharge* adalah :

$$V_{min} = V_{max} \left(e^{-\frac{1}{RC}t_{off}} \right) \quad (2.14)$$

Sehingga persamaan riak tegangannya (ΔV) dapat dirubah menjadi :

$$\begin{aligned} \Delta V &= V_{max} - V_{min} \\ \Delta V &= V_{max} - V_{max} \left(e^{-\frac{1}{RC}t_{off}} \right) \\ \Delta V &= V_{max} \left(1 - e^{-\frac{1}{RC}t_{off}} \right) \end{aligned} \quad (2.15)$$

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

$$\Delta V = V_{max} \left(\frac{t_{off}}{RC} \right) \quad (2.16)$$

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

$$\begin{aligned} \Delta V &= V_{max} \left(\frac{1 - D}{RC} \right) \\ C &= V_{max} \left(\frac{1 - D}{f R \Delta V} \right) \end{aligned} \quad (2.17)$$

Untuk menentukan nilai R, dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

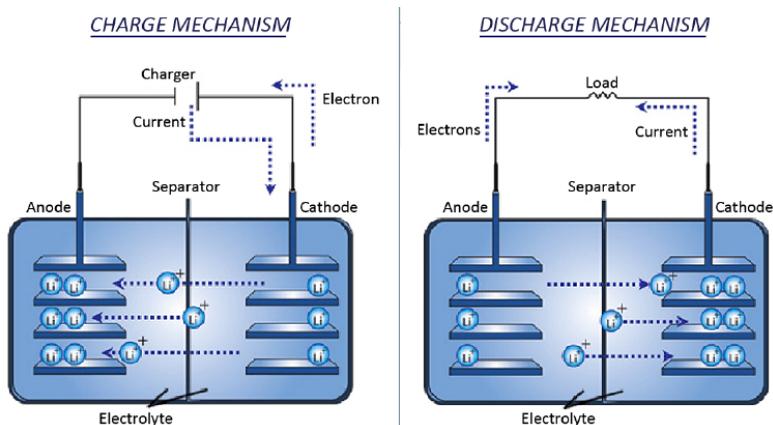
$$R = \frac{V_o^2}{P_o} \quad (2.18)$$

Dimana V_o adalah tegangan *output* dari konverter sedangkan P_o adalah daya *output* dari konverter yang dianggap ideal sehingga daya *output* P_o sama dengan daya *input* P_o .

2.3 Constant Current Constant Voltage

Masa pakai baterai menjadi perhatian utama dalam banyak aplikasi yang menggunakan baterai sebagai sumber energi primer atau sekunder. Baterai seringkali mengalami degradasi sebelum waktunya dan akan menyebabkan peningkatan biaya penggantian baterai. Salah satu

cara untuk meningkatkan masa pakai baterai adalah dengan mengoptimalkan proses pengisian. Proses pengisian harus bekerja dengan proses elektrokimia untuk mengoptimalkan reaksi kimia dengan meminimalkan panas internal yang dihasilkan. Banyak teknik pengisian yang banyak digunakan untuk mengisi baterai Li-ion [13]. Di antara teknik-teknik ini, yang digunakan dalam penelitian ini adalah adalah tegangan arus konstan konstan (CCCV).



Gambar 2.6 Proses Pengisian dan Pengosongan Baterai Li-Ion [14]

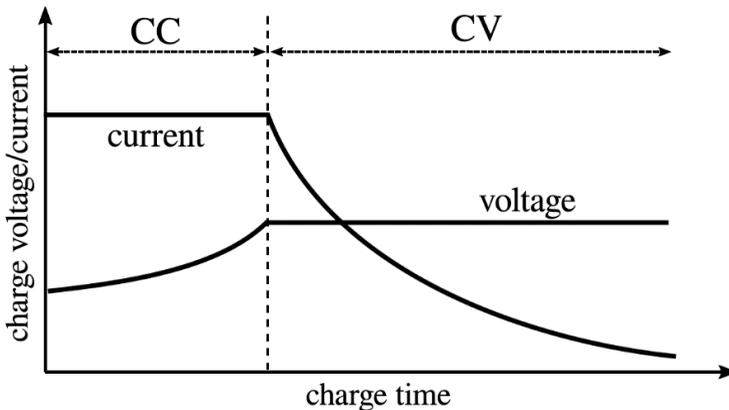
Terdapat beberapa metode untuk pengisian baterai seperti *Constant Trickle (CTC)*, *Constant Current (CC)*, *Constant Voltage (CV)*, dan *Constant Current Constant Voltage (CC CV)*. *Constant Trickle* yaitu mengisi baterai pada rating discharge nya, sehingga akan mempertahankan baterai dalam kondisi penuh.

Constant Current yaitu mengisi baterai dengan arus yang konstan sampai pada tegangan pada baterai mencapai tegangan maksimalnya. Walaupun telah mencapai tegangan maksimalnya namun sebenarnya *Electro Motive Force(EMF)* pada baterai belum mencapai tegangan terminalnya, hal ini disebabkan oleh *overpotensial* karena resistansi internal pada baterai.

Constant Voltage yaitu mengisi baterai dengan tegangan konstan sampai arus yang mengalir menurun sampai arus *cut off*nya. Proses pengisian ini tidak akan menyebabkan baterai *overcharging* karena

tegangan dijaga konstan sesuai dengan tegangan maksimalnya namun proses pengisian akan berlangsung lebih lama dari *Constant Current*.

Constant Current Constant Voltage yaitu mengisi baterai dengan *Constant Current* terlebih dahulu, setelah tegangan baterai mencapai tegangan maksimalnya maka dilanjutkan dengan *Constant Voltage* sampai arus yang mengalir menurun sesuai dengan arus cut offnya. Dengan menggunakan metode ini maka pengisian baterai akan sesuai dengan kapasitas penuhnya [15]. Gambar 2.7 dibawah ini menunjukkan proses pengisian baterai dengan metode *Constant Current Constant Voltage*. Pengisian dimulai dengan *Constant Current* dan diteruskan dengan *Constant Voltage* sampai kapasitas baterai terisi penuh.

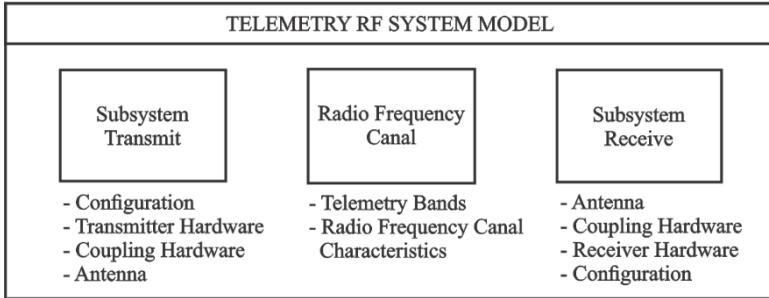


Gambar 2.7 Proses pengisian CC - CV

2.4 Radio Telemetri 915 MHz

Telemetri adalah sebuah teknologi telekomunikasi nirkabel yang dilakukan dari jarak jauh dan melaporkan informasi dari *air station* kepada *ground station* atau operator sistem. Telemetri sering digunakan untuk aplikasi *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) sebagai perangkat telekomunikasi antara *remote control* dan UAV. Telemetri yang bergerak sangat rentan terhadap noise. Noise yang sering terjadi adalah noise dari getaran, suhu, tekanan atmosfer, dan benda yang menjadi penghalang. Perangkat radio telemetri yang digunakan untuk penelitian ini berbasis 3DR Radio System. Telemetry ini dapat berkomunikasi jarak jauh, yaitu sekitar satu mil. Sistem telemetri ini menggunakan komunikasi full-

duplex dengan firmware open source. Interface perangkat ini menggunakan TTL serial standar 5V atau USB FTDI serial. Konfigurasi juga dapat dilakukan dengan 3DR Radio Configurator ataupun AT Command [16].



Gambar 2.8 Pemodelan Sistem Telemetri Radio Frekuensi

Gambar 2.8 merupakan pemodelan sistem telemetri radio frekuensi. Sistem komunikasi telemetri 915 MHz menggunakan basis komunikasi serial antar perangkat dengan *baud rate* 57600. Komunikasi serial adalah salah satu metode komunikasi data di mana hanya satu bit data yang dikirimkan melalui satu kanal frekuensi pada suatu waktu tertentu. Pada dasarnya komunikasi serial adalah kasus khusus komunikasi paralel dengan nilai $n = 1$, atau dengan kata lain adalah suatu bentuk komunikasi paralel dengan jumlah kanal frekuensi hanya satu dan hanya mengirimkan satu bit data secara simultan. Pada dasarnya telemetri *transmitter* akan mengirimkan satu per satu bit data yang telah diolah mikrokontroler. Telemetri *receiver* akan menerima data - data tersebut dan akan ditampilkan pada komputer pengguna menggunakan *software*. Proses pengiriman data berjalan begitu cepat sehingga sistem ini dapat dikatakan *real time*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

DESAIN, SIMULASI, DAN IMPLEMENTASI

Pada bab 3 ini akan membahas tentang langkah – langkah / proses desain, simulasi, dan implementasi dari *real time monitoring charger* baterai *Lithium – Ion* menggunakan metode *Constant Current Constant Voltage*. Baterai *charger* ini menggunakan rangkaian dasar konverter DC – DC dengan topologi *Buck Boost*. Proses desain dilakukan dengan cara merencanakan dan menentukan nilai dan jenis komponen yang akan digunakan pada proses implementasi berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan. Formula yang digunakan dalam proses perhitungan didapatkan dari penurunan persamaan pada bab 2. Proses simulasi menggunakan software PSIM 9.1.1 untuk bagian konverter dan MATLAB R2015b untuk bagian *charger* baterai. Simulasi dilakukan untuk memastikan bahwa rangkaian konverter dapat bekerja sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan. Pada simulasi juga diterapkan sistem *open-loop* dan *close-loop* untuk menguji kontrol arus dan tegangan. Hasil dari desain dan simulasi digunakan sebagai acuan implementasi *charger* baterai *Lithium – Ion*. Secara umum, diagram blok sistem *charger* baterai *Li - Ion* adalah sebagai berikut.

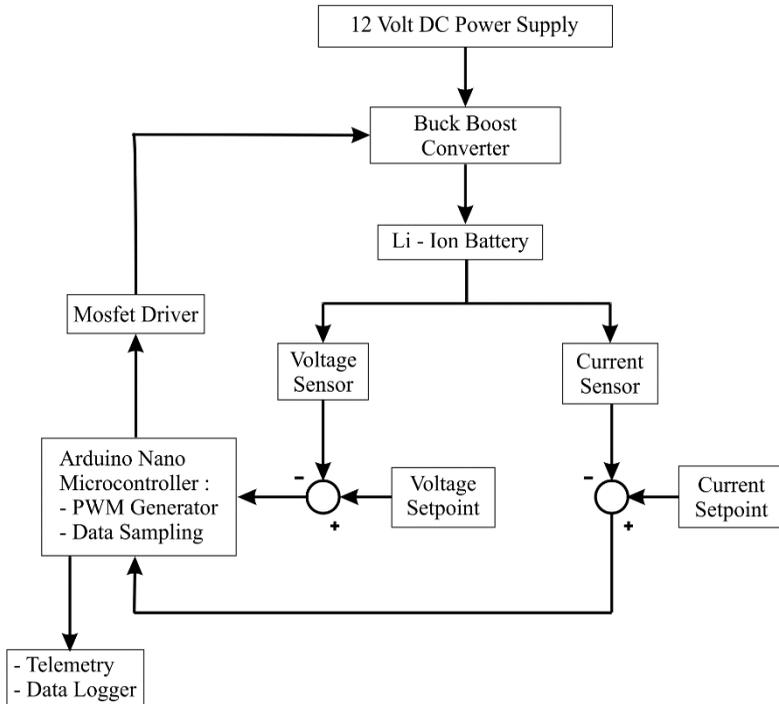
3.1 Diagram Blok Sistem

Pada penelitian ini terdapat 2 bagian sistem yang bekerja yaitu sistem *charger* baterai dan sistem *real time monitoring*. Sistem *charger* baterai merupakan rangkaian konverter *buck boost* beserta kontrolnya untuk menghasilkan arus dan tegangan konstan sebagai pengisi daya baterai. Sedangkan sistem *real time monitoring* berfungsi untuk mengirimkan informasi tentang tegangan dan arus pengisian, tegangan antar sel secara *real time* menggunakan telemetri 915 MHz.

3.1.1 Sistem Charger Baterai

Pada gambar 3.1 dapat dilihat bahwa rangkaian sistem *charger* baterai menggunakan sistem kontrol *close loop*. Tegangan DC sebesar 12 volt yang akan menjadi input dari konverter *buck boost*. Output dari konverter *buck boost* akan digunakan untuk mengisi daya dari baterai. Parameter dari baterai *Li - Ion* yaitu tegangan dan arus akan dibaca oleh sensor tegangan dan sensor arus yang kemudian akan dibandingkan dengan nilai setpoint. Hasilnya akan menjadi sinyal *error* yang selanjutnya

akan diproses oleh arduino dan menghasilkan sinyal kontrol yang berbentuk *PWM*. Selanjutnya sinyal *PWM* akan dikuatkan nilainya pada *driver* mosfet supaya mosfet dapat melakukan *switching*. Dengan adanya kontrol *close loop* seperti ini maka arus dan tegangan pengisian daya baterai *Li- Ion* dapat dijaga konstan.

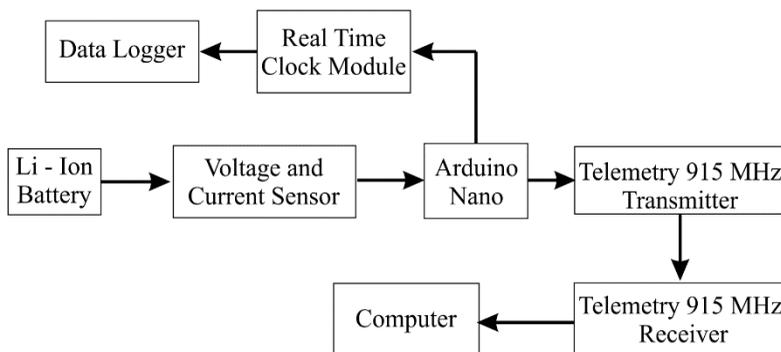


Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem *Charger* Baterai

3.1.2 Sistem *Real Time Monitoring*

Sistem *real time monitoring* berfungsi untuk mengirimkan data – data parameter baterai *Li – Ion* ke komputer secara *real time*. Arus dan tegangan pengisian begitu pula dengan tegangan antar sel akan dibaca oleh sensor arus maupun sensor tegangan. Data yang didapat dari kedua sensor tersebut akan diproses pada mikrokontroler yaitu dalam penelitian ini adalah arduino nano. Data yang telah diolah pada mikrokontroler akan dikirimkan melalui telemetri *transmitter*. Telemetri *receiver* akan

menerima data dari *transmitter*. Data tersebut akan ditampilkan pada komputer secara *real time*. Disisi lain, komponen *data logger* akan mencatat dan menyimpan data – data yang telah dikirimkan untuk selanjutnya dapat diproses lebih lanjut.



Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem *Real Time Monitoring*

3.2 Spesifikasi Baterai *Lithium – Ion*

Kebutuhan desain *charger* baterai *Lithium – Ion* sangat ditentukan oleh karakteristik tiap – tiap jenis baterai *Li – Ion*. Agar pendesainan dapat sesuai, maka harus melihat parameter yang tercantum pada baterai. Sesuai dengan *datasheet* baterai *Lithium – Ion* jenis SAMSUNG ICR18650-26F, maka dapat ditentukan parameter yang dibutuhkan dalam pendesainan pada penelitian ini. Spesifikasi baterai *Lithium – Ion* yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Spesifikasi Baterai *Lithium – Ion*

No.	Parameter		Value
1.	Type		<i>Lithium – Ion</i>
2.	Model		SAMSUNG ICR18650-26F
3.	Rating Capacity		2600 mAh
4.	Nominal Voltage		3,7 Volt
5.	<i>Charging</i>	Standard Charge	CCCV : 1,3 A; 4,20 ± 0,05 V

		Rapid Charge	CCCV : 2,6 A; 4,20 ± 0,05 V
6.	Waktu	Standard Charge	180 Minutes
	Pengisian	Rapid Charge	150 Minutes
7.	Cell Weight		47 Grams
8.	Cell	Height	64,85 ± 0,15mm
	Dimension	Diameter	18,33 ± 0,07mm

Untuk dapat menentukan waktu berhentinya proses pengisian daya dari baterai, maka ditentukan arus *cut – off* pengisian daya. Berdasarkan datasheet SAMSUNG ICR18650-26F, maka nilai arus *cut – off* pengisian daya dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Parameter Pengisian Daya Baterai

Parameter	Charging Condition		
Current	0.2 C (520 mA)	0.5 C (1300 mA)	1.0 C (2600 mA)
Cut – Off	7 jam / 0.05 C	3 jam / 0.05 C	2.5 jam / 0.05 C
Relative Capacity	100 %	95 %	90 %

3.3 Desain Charger Baterai Lithium – Ion

Berdasarkan spesifikasi baterai *Lithium – Ion* pada sub bab 3.2, maka baterai yang digunakan pada penelitian ini adalah SAMSUNG ICR18650-26F dengan topologi seri sejumlah tiga sel. Kapasitas dari baterai *Li – Ion* yang digunakan adalah 2600 mAh. Dengan adanya data – data spesifikasi yang didapatkan, maka desain konverter *buck boost* akan disesuaikan dengan spesifikasi baterai SAMSUNG ICR18650-26F. Spesifikasi baterai *Li – Ion* yang berkaitan dengan desain konverter yang digunakan pada penelitian dapat dilihat pada tabel 3.3.

Sedangkan untuk desain *charger* baterai *Li – Ion* pada dapat dilihat pada tabel 3.4. Dimana untuk parameter *constant current* diatur pada arus dengan nilai 1,3 Ampere dan untuk *constant voltage* diatur pada tegangan dengan nilai 12,6 Volt.

Tabel 3.3 Parameter baterai *Li – Ion*

No.	Parameter	Value
1.	Capacity	2600 mAh
2.	Nominal Voltage	3,7 Volt
3.	Number of Cell	3 Cell
4.	Nominal Voltage of 3 Cell	11,1 Volt

Tabel 3.4 Spesifikasi *charger* baterai *Li – Ion*

No.	Parameter	Value
1.	Constant Voltage of 1 Cell	4.2 Volt
2.	Constant Voltage of 3 Cell	12.6 Volt
3.	Constant Current Value	1.3 Ampere
4.	Cut-off Current	130 mA

3.4 Desain Konverter *Buck Boost*

Dalam mendesain sebuah konverter *buck boost* terdapat beberapa hal yang harus ditentukan. Proses awal dalam mendesain konverter adalah menentukan parameter-parameter awal dengan berdasarkan spesifikasi beban dan sumber yang akan digunakan. Parameter listrik dari konverter yang akan ditentukan seperti nilai tegangan input (V_{in}), tegangan output (V_o), frekuensi *switching* (f_s), daya output (P), *ripple* arus induktor (ΔI_L), *ripple* tegangan kapasitor (ΔV_c). Penentuan parameter-parameter juga disesuaikan dengan peralatan yang ada di laboratorium Konversi Energi dan komponen yang terdapat di pasaran. Penentuan nilai-nilai tersebut akan dijadikan acuan dalam menentukan dan mendesain komponen yang akan digunakan. Parameter awal dari rangkaian konverter *buck boost* dapat dilihat pada tabel 3.5.

Nilai tegangan keluaran ditentukan berdasarkan tegangan *charging* pada baterai Lithium – Ion dimana mempunyai nilai 4.2 Volt. sehingga diambil nilai 12.6 Volt yaitu nilai tegangan 3 baterai Li – Ion yang disusun secara seri. Daya output sebesar 24 Watt berdasarkan nilai arus *charging* yang tertera pada *datasheet* baterai Li – Ion. Nilai *ripple*

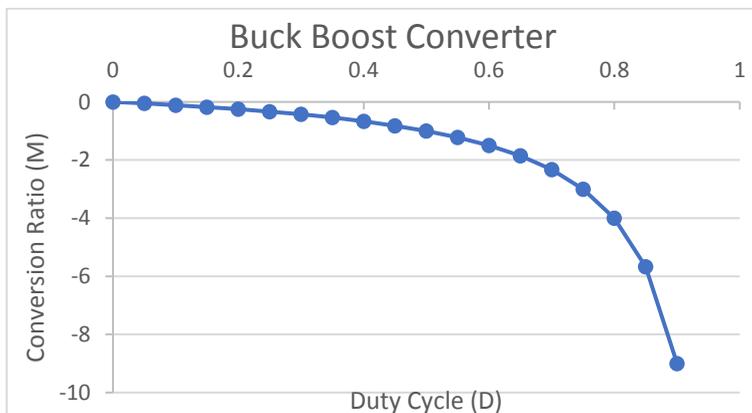
induktor dibuat besar yaitu 12,7 % agar nilai induktansi dari induktor kecil dan tidak mengakibatkan inti mengalami saturasi. Hal tersebut juga akan menyebabkan tegangan *output* konverter mendekati stabil untuk menjaga kondisi baterai. Nilai tegangan *ripple* kapasitor adalah 0,8 % disesuaikan dengan toleransi tegangan *charging* baterai dan komponen yang ada di pasar.

Tabel 3.5 Desain Spesifikasi Konverter Buck Boost

No.	Parameter	Value
1.	Output Power (P)	24 Watt
2.	Switching Frequency (f_s),	20.000 KHz
3.	Inductor Current Ripple (ΔI_L)	12,7 %
4.	Capacitor Voltage Ripple (ΔV_C)	0,8 %
5.	Input Voltage (V_{in})	12 Volt
6.	Output Voltage (V_o)	12,6 Volt

3.4.1 Penentuan Nilai Rasio Konversi dan Duty Cycle

Rasio konversi konverter *buck boost* dipengaruhi oleh nilai *duty cycle*. Nilai keluaran konverter berdasarkan *duty cycle*-nya dapat dilihat dari kurva pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Grafik Rasio Konversi Berdasarkan Nilai *Duty Cycle*

Pada penelitian ini ditentukan nilai tegangan masukan adalah 12 Volt dan keluaran konverter adalah 12.6 Volt. berdasarkan nilai rata-rata tegangan baterai Li – Ion 2600 mAh yang akan diuji, Maka besarnya rasio nilai konversi adalah :

$$M = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{12,6}{12} = 1,05$$

Duty Cycle adalah rasio antara interval waktu konduksi sakelar dan lama waktu periode sistem. Untuk menentukan nilai *duty cycle* dapat dengan menggunakan persamaan 2.10. Perhitungan dilakukan dengan kondisi 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 :

$$\begin{aligned} V_o &= -V_{in} \frac{D}{(1-D)} \\ -12,6 \text{ Volt} &= -12 \text{ Volt} \frac{D}{(1-D)} \\ \frac{D}{(1-D)} &= \frac{-12,6 \text{ Volt}}{-12 \text{ Volt}} \\ \frac{D}{(1-D)} &= 1,05 \\ D &= 1,05 - 1,05 D \\ D &= 0.512 \end{aligned}$$

Nilai *duty cycle* yang diperlukan untuk mendapatkan nilai konversi yang diinginkan adalah 0.512 atau 51,2% dengan frekuensi 20 kHz. Kedua nilai tersebut akan digunakan untuk membangkitkan sinyal *PWM* dari mikrokontroler. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Nano. Sinyal *PWM* ini akan mengatur saklar semikonduktor yaitu MOSFET.

3.4.2 Penentuan Nilai Beban

Nilai beban yang akan digunakan pada simulasi akan ditentukan berdasarkan nilai tegangan *output* dan daya *output*. Besarnya nilai tegangan *output* berdasarkan desain awal adalah 12,6 Volt dan 24 Watt. Penentuan nilai beban dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

2.18. Berdasarkan persamaan tersebut maka nilai beban maksimum adalah

$$R = \frac{V_o^2}{P}$$

$$R = \frac{12,6^2}{24}$$

$$R = 6,615 \Omega$$

3.4.3 Penentuan Nilai Kapasitor

Kapasitor yang terdapat pada rangkaian konverter *buck boost* di penelitian ini adalah kapasitor filter tegangan pada sisi output konverter. Penentuan nilai kapasitor harus memperhatikan beberapa hal yaitu tegangan kapasitor dan *ripple* tegangan kapasitor yang sesuai dengan desain awal yaitu 0,8%. Untuk menentukan nilai kapasitor filter tegangan output dapat menggunakan persamaan 2.17 ketika konverter dalam keadaan *CCM* (*Continuous Conduction Mode*).

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

Berdasarkan persamaan diatas maka sebelum menentukan nilai kapasitansi kapasitor, maka harus dihitung terlebih dahulu nilai tegangan maksimal (V_{max}) dengan menggunakan persamaan 2.12. Berdasarkan persamaan tersebut maka nilai tegangan maksimal adalah :

$$V_{max} = V_o + \left(\frac{\Delta V_C}{2} \right)$$

$$V_{max} = 12,6 + \left(\frac{(0,008)(12,6)}{2} \right)$$

$$V_{max} = 12,6 + (0,05)$$

$$V_{max} = 12,65$$

Sehingga nilai kapasitor berdasarkan adalah :

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

$$C = 12,65 \left(\frac{1 - 0,512}{(20.000) (6,615) (0,1)} \right)$$

$$C = 466,6 \mu F$$

Dalam implementasi, digunakan kapasitor jenis elco (*electrolytic condenser*) pada kapasitor filter tegangan *output* dengan nilai 1000 μF 50 Volt. Dipilih kapasitor dengan nilai 1000 μF dikarenakan pertimbangan berbagai *losses* pada saat fase implementasi sehingga dipilih nilai komponen yang lebih besar. Pemilihan tegangan 50 Volt didasarkan atas nilai tegangan output sebesar 12,6 Volt namun untuk alasan keamanan digunakanlah kapasitor yang memiliki tegangan *rating* sebesar 50 Volt.

3.4.4 Penentuan Nilai Induktor

Untuk menghitung nilai induktor dapat menggunakan persamaan 2.11 dimana konverter bekerja pada mode *CCM* (*Current Continuous Mode*) dimana arus yang mengalir pada induktor tidak pernah bernilai nol. Sebelum menentukan nilai induktor terlebih dahulu ditentukan arus yang mengalir pada induktor. Berdasarkan desain awal, arus yang mengalir pada induktor adalah :

$$I_L = \left(\frac{1}{1 - D} \right) I_o$$

$$I_L = \left(\frac{1}{1 - 0,512} \right) 1,905$$

$$I_L = 3,9 \text{ Ampere}$$

Maka *ripple* arus yang mengalir pada induktor berdasarkan desain adalah

$$\Delta I_L = I_L \times \% \Delta I_L$$

$$\Delta I_L = 3,9 \times 12,7\%$$

$$\Delta I_L = 0,495 \text{ Ampere}$$

Dengan menggunakan persamaan 2.6 dapat ditentukan nilai induktor yang dibutuhkan sebagai berikut.

$$L \frac{\Delta I_L}{T} = V_{in} (D)$$

$$L = \frac{V_{in} D}{\Delta I_L f}$$

$$L = \frac{12 (0,512)}{(0,495) (20.000)}$$

$$L = 620 \mu H$$

Karena induktor dengan nilai 620 μH sulit untuk didapatkan di pasaran, maka akan dibuat induktor secara manual menggunakan inti induktor. Pemilihan inti induktor berdasarkan pada jumlah fluks yang mampu ditampung oleh inti sehingga inti induktor tidak mengalami saturasi. Sehingga dipilih inti besi *ferrite cores* jenis toroid dengan nilai *inductance factor* A_L sebesar 169 nH/T^2 . Persamaan yang digunakan untuk mencari jumlah belitan induktor adalah :

$$L = A_L X N^2$$

Dimana N adalah jumlah belitan kawat, L nilai induktansi induktor dalam nH, dan A_L adalah *inductance factor* dari inti besi (dalam nH/T^2), maka jumlah bilitan yang diperlukan dalam pembuatan induktor adalah :

$$N = \sqrt{\frac{L}{A_L}}$$

$$N = \sqrt{\frac{620.000 \text{ nH}}{169 \text{ nH}}}$$

$$N = 60,56 \approx 61 \text{ Lilitan}$$

Dari hasil perhitungan diatas didapatkan bahwa untuk mendapatkan nilai induktansi sebesar 620 μH pada induktor maka diperlukan sekitar 61 belitan.

Dalam desain serta implementasi sebuah induktor, tahap selanjutnya adalah pemilihan kawat email induktor yang digunakan sebagai belitan induktor. Penentuan nilai kawat email berdasarkan dengan frekuensi *switching* yang digunakan konverter serta besarnya arus yang melewatinya. Nilai frekuensi *switching* yang digunakan konverter adalah sebesar 20 kHz, sedangkan untuk nilai arus maksimum yang melewati induktor adalah 4,4 Ampere berdasarkan perhitungan sebelumnya. Kawat

yang digunakan untuk pembuatan induktor adalah jenis AWG (*American Wire Gauge*).

Berdasarkan parameter frekuensi *switching* yang digunakan sebesar 20 kHz, maka kawat email yang digunakan untuk induktor harus mampu bekerja pada frekuensi 20 kHz. Berdasarkan parameter tersebut maka dipilih kawat AWG 25 yang mampu bekerja pada frekuensi hingga 85 kHz. Berdasarkan parameter arus, kawat email induktor harus mampu menahan arus 4,4 Ampere. Nilai tersebut adalah nilai arus rata – rata yang melewati induktor ditambah desain *ripple* arus pada induktor. Supaya aman, maka dipilih kawat induktor yang memiliki kapasitas arus lebih besar yaitu kawat AWG 12 yang mampu bekerja pada arus hingga 9,3 Ampere. Berikut adalah spesifikasi dari kabel AWG 12 dan AWG 25 dapat dilihat pada tabel 3.6.

Tabel 3.6 Spesifikasi Kabel AWG 12 dan AWG 25

No.	Parameter	AWG 12	AWG 25
1.	Diameter	2,05 mm	0,45 mm
2.	Resistance	0,0052 Ω/m	0,106 Ω/m
3.	Current Conductivity	9,3 A	0,457 A
4.	Maximum Working Freq.	4,15 kHz	85 kHz

Setelah mendapatkan dua jenis kawat email tersebut, hal yang harus dilakukan selanjutnya adalah proses pemilinan. Tujuan dari pemilinan dari dua jenis kawat ini adalah untuk menambah kapasitas kawat email sehingga mampu bekerja pada frekuensi maksimal 85 kHz dan arus maksimal 9,3 A. Perhitungan jumlah pilinan didapatkan dari pembagian kawat dengan diameter lebih besar dengan kawat dengan diameter yang lebih kecil. Berdasarkan perhitunganan dibawah, maka jumlah pilinan untuk induktor yang digunakan adalah 5 kawat email jenis AWG 25.

$$n_L = \frac{d_{AWG\ 12}}{d_{AWG\ 25}}$$

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

$$n_L = 4,52 \approx 5 \text{ Pilinan}$$

3.4.5 Penentuan Komponen MOSFET

Rangkaian konverter *buck boost* menggunakan satu buah MOSFET yang berfungsi sebagai saklar atau *switching*. Dalam menentukan jenis MOSFET yang digunakan terdapat beberapa parameter yaitu tegangan yang mampu diterima MOSFET saat keadaan non konduksi atau tegangan *drain* ke *source* (V_{DS}) dan arus yang melewati MOSFET saat konduksi atau kapasitas arus yang mengalir pada *drain* ke *source* (I_{DS}), serta frekuensi *switching* MOSFET.

Berdasarkan rangkaian dari konverter *buck boost* maka tegangan maksimum yang diterima MOSFET saat nonkonduksi dapat dicari menggunakan persamaan :

$$V_{DS} = \left(\frac{1}{1 - D} \right) V_{in}$$

$$V_{DS} = \left(\frac{1}{1 - 0,512} \right) 12$$

$$V_{DS} = 24,6 \text{ Volt}$$

Untuk nilai arus I_{DS} yang melewati MOSFET setara dengan arus induktor pada mode *charging* sehingga dapat ditentukan dengan persamaan :

$$I_{DS} = I_{Lmax} \times D$$

$$I_{DS} = (I_L + (I_L \times \% \Delta I_L)) \times D$$

$$I_{DS} = (3,9 + (3,9 \times 12,7\%)) \times 0,512$$

$$I_{DS} = 4,4 \times 0,512$$

$$I_{DS} = 2,25 \text{ Ampere}$$

Setelah mendapatkan parameter V_{DS} dan I_{DS} , untuk menentukan MOSFET yang digunakan juga memperhatikan besar frekuensi yang digunakan, sehingga MOSFET yang dipilih harus bisa bekerja pada frekuensi 20 kHz.

Berdasarkan perhitungan diatas maka jenis MOSFET yang digunakan pada konverter ini adalah MOSFET dengan tipe IRFP4227.

MOSFET ini memiliki kemampuan untuk menahan beda tegangan antara *drain* dan *source* atau V_{DS} sebesar 200 V, dengan arus maksimum sebesar 65 A pada saat suhu MOSFET 175 °C. Tegangan yang diberikan *gate* dan *source* atau V_{GS} maksimum adalah sebesar ± 30 V. MOSFET ini juga memiliki *reverse recovery time* sebesar 100 ns dengan frekuensi maksimal mencapai 1 MHz. Berdasarkan nilai tegangan dan arus yang melewati MOSFET masih dibawah spesifikasi MOSFET IRFP4227 sehingga MOSFET ini dapat digunakan pada konverter.

3.4.6 Penentuan Dioda

Dalam menentukan jenis dioda yang digunakan pada konverter berdasarkan dari dua keadaan yaitu saklar konduksi dan non konduksi. Saat saklar konduksi, dioda dalam keadaan *reversed bias* sehingga berfungsi menahan tegangan sehingga arus akan mengalir melewati induktor. Sehingga dioda harus mampu menahan tegangan yang lebih besar dari tegangan *input*. Berdasarkan rangkaian dari konverter *buck boost* maka tegangan maksimum yang diterima dioda saat saklar konduksi dapat dicari menggunakan persamaan :

$$V_D = \left(\frac{1}{1-D} \right) V_{in}$$

$$V_D = \left(\frac{1}{1-0,512} \right) 12$$

$$V_D = 24,6 \text{ Volt}$$

Saat saklar non konduksi, dioda berfungsi mengalirkan arus yang tersimpan di induktor, sedangkan untuk menghitung arus yang melewati induktor adalah :

$$I_D = I_{Lmax} X (1 - D)$$

$$I_D = (I_L + (I_L X \% \Delta I_L)) X (1 - D)$$

$$I_D = (3,9 + (3,9 X 12,7\%)) X 0,488$$

$$I_D = 4,4 X 0,488$$

$$I_D = 2,14 \text{ Ampere}$$

Berdasarkan perhitungan diatas yaitu dengan nilai tegangan lebih dari 24,6 V dan arus yang melewati dioda sebesar 2,14 A, dan frekuensi *switching* 20 kHz, maka dipilihlah dioda MUR1560. Dioda ini memiliki

kapasitas arus maksimum sebesar 15 A dan tegangan *blocking* sebesar 600 V. Dioda ini merupakan dioda *ultrafast switching* karena memiliki waktu *recovery time* yang cepat yaitu 60 ns, *recovery time* 60 ns tersebut setara dengan frekuensi *switching* sebesar 16,7 MHz.

Berdasarkan perhitungan desain yang telah dilakukan serta memperhatikan ketersediaan komponen yang digunakan di pasaran maka komponen yang dibutuhkan dalam implementasi konverter *buck boost* dapat dilihat pada tabel 3.7 dibawah :

Tabel 3.7 Parameter Komponen yang digunakan pada Konverter

No.	Component	Value
1.	Load Resistance (R)	6,615 Ω
2.	Inductor	620 μ H
3.	Filter Capacitor	1000 μ F
4.	MOSFET	IRFP4227
5.	Diode	MUR1560

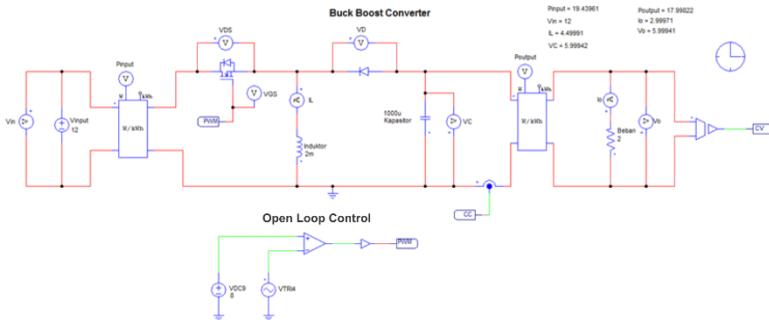
3.5 Simulasi Konverter *Buck Boost* dalam Keadaan *Steady State*

Simulasi rangkaian konverter *buck boost* dilakukan dengan *software* PSIM 9.1.1. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui dan memastikan bahwa konverter telah dapat bekerja sesuai desain yang telah dilakukan pada sub bab sebelumnya. Pada simulasi ini menggunakan komponen dengan sifat ideal yang berarti semua *losses* dapat diabaikan. Pada simulasi ini konverter *buck boost* dalam keadaan *steady state*.

3.5.1 Rangkaian Konverter Buck Boost

Rangkaian konverter *buck boost* pada simulasi memiliki sumber tegangan yang diatur dengan nilai 12 Volt sesuai dengan desain. Nilai *duty cycle* yang digunakan adalah 0,512 dengan cara mengatur tegangan *threshold* dan tegangan *peak to peak* sinyal segitiga, sehingga nilai tegangan *output* bernilai 12,6 Volt. Simulasi rangkaian konverter *buck boost* akan digunakan untuk mengamati beberapa gelombang parameter yang digunakan. Untuk gelombang yang diamati adalah gelombang

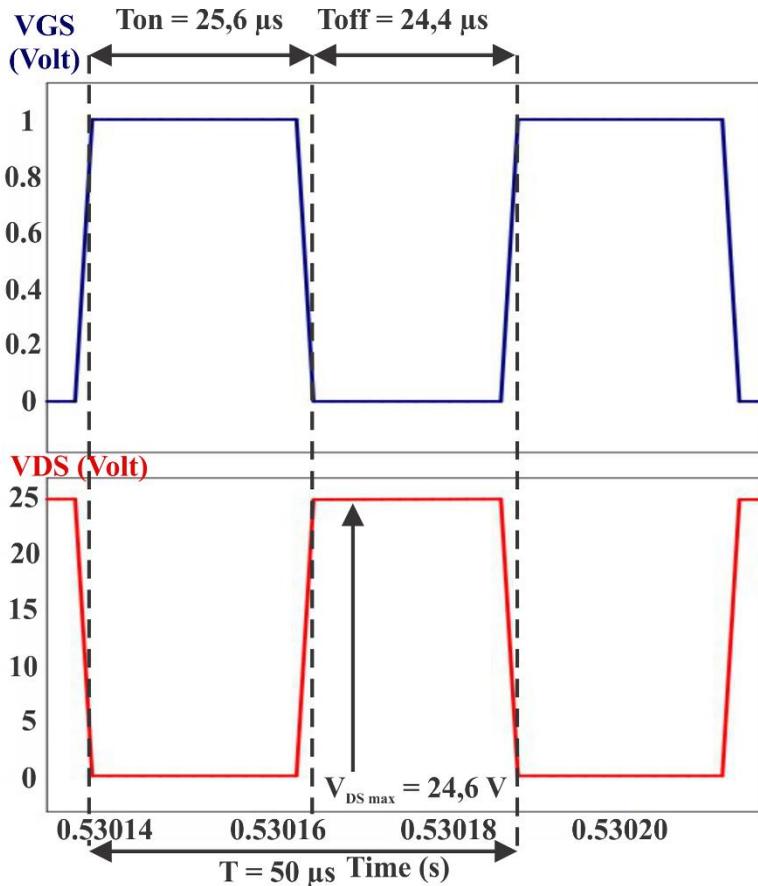
tegangan *gate-source* (V_{GS}) pada MOSFET, tegangan *drain-source* (V_{DS}) pada MOSFET, arus induktor (I_L), tegangan dioda (V_D), tegangan kapasitor (V_C), tegangan *input* (V_{in}), tegangan *output* (V_o), arus *output* (I_o), arus dioda (I_D), arus mosfet (I_{DS}), daya *input* (P_{in}) dan daya *output* (P_o). Berikut merupakan rangkaian konverter *buck boost* dengan kontrol *open loop* dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Simulasi Rangkaian Konverter *Buck Boost Steady State*

3.5.2 Simulasi Pensaklaran

Gambar 3.5 dibawah merupakan bentuk gelombang tegangan *gate-source* dan tegangan *drain-source* pada saat konverter *buck boost* bekerja. Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat saat sinyal *PWM* yang diberikan ke *gate-source* MOSFET dalam keadaan *high*, maka tegangan *drain-source* (V_{DS}) dalam keadaan *low* atau nol sehingga arus mengalir pada bagian *drain-source*. Sedangkan saat sinyal *PWM* yang diberikan ke gate MOSFET dalam keadaan *low*, maka tegangan *drain-source* (V_{DS}) dalam keadaan *high* sehingga tidak ada arus yang mengalir. Ketika mode konduksi, MOSFET akan membuka selama 25,6 μ s sedangkan saat mode non konduksi, MOSFET akan menutup selama 24,4 μ s. Nilai tersebut sudah sesuai dengan desain dengan nilai *duty cycle* 0,512 dan frekuensi *switching* 20kHz. Berdasarkan hasil simulasi tersebut juga didapatkan nilai tegangan maksimum pada *drain-source* (V_{DSmax}) sebesar 24,6 Volt pada saat keadaan non konduksi.

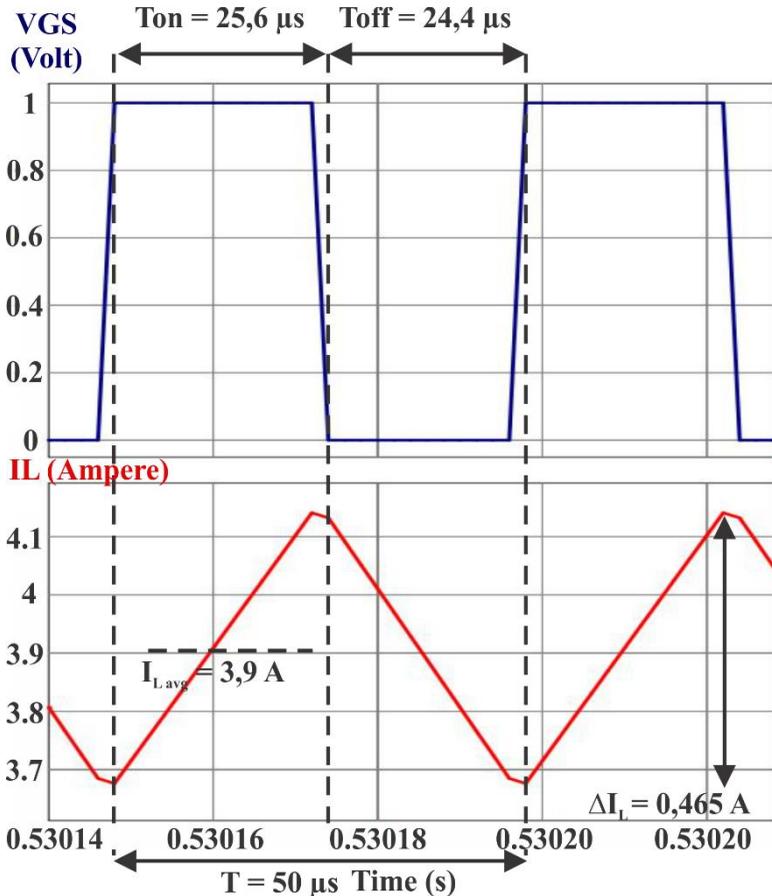


Gambar 3.5 Bentuk Gelombang Tegangan *Gate-Source* dan Tegangan *Drain-Source*.

3.5.3 Simulasi Arus Induktor

Gambar 3.6 dibawah merupakan bentuk gelombang dari tegangan *gate-source* dan arus induktor L. Dapat dilihat bahwa nilai *ripple* arus pada induktor sedikit berbeda dari desain yang telah ditetapkan, akan tetapi nilai *error* tersebut masih dapat di toleransi. Berdasarkan hasil simulasi didapatkan nilai arus rata – rata induktor L adalah sebesar 3,9 A dengan nilai *ripple* arus 0,465A. Dari hasil simulasi didapatkan waktu

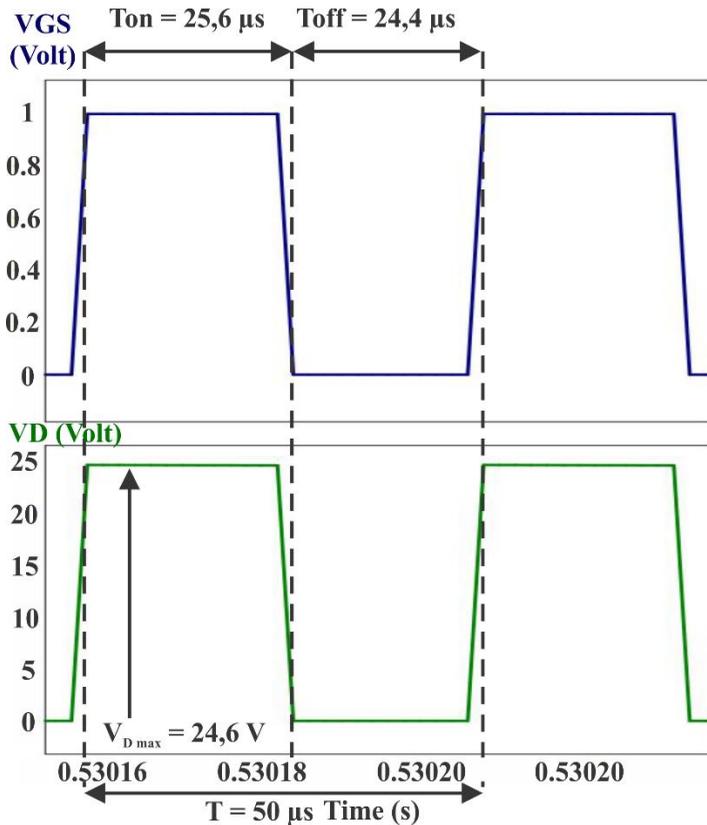
charge induktor adalah sesuai dengan waktu sakelar saat konduksi yaitu $25,6 \mu\text{s}$, sedangkan waktu discharge induktor juga sesuai dengan waktu sakelar saat nonkonduksi yaitu $24,4 \mu\text{s}$. Ketika MOSFET dalam keadaan konduksi, maka arus akan melewati induktor sehingga induktor akan termagnetisasi (menyimpan energi dalam bentuk medan magnet). Kemudian ketika MOSFET dalam keadaan nonkonduksi, induktor L akan dalam keadaan demagnetisasi atau discharge.



Gambar 3.6 Bentuk Gelombang Tegangan *Gate-Source* dan Arus Induktor

3.5.4 Simulasi Tegangan Dioda

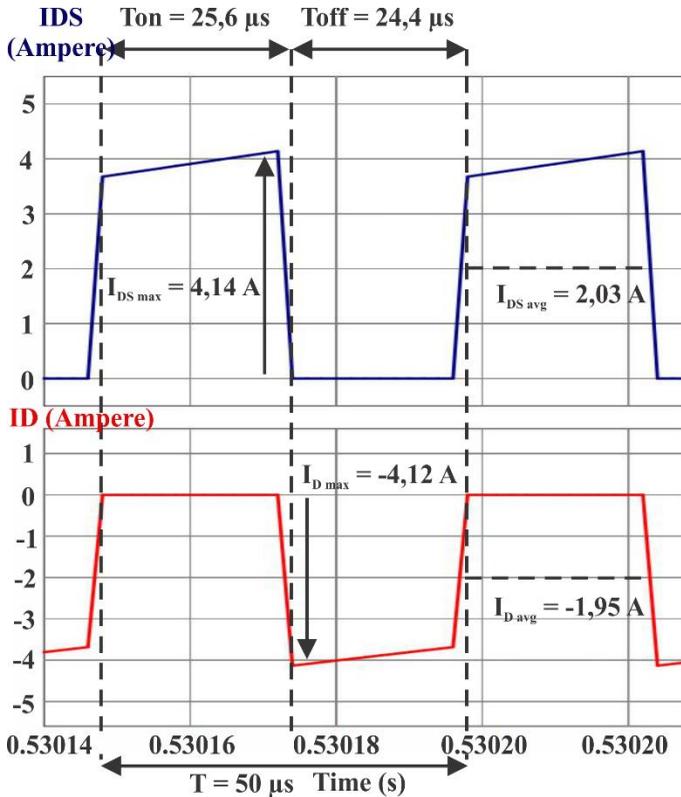
Gambar 3.7 dibawah merupakan bentuk gelombang dari tegangan *Gate-Source* dan tegangan dioda. Berdasarkan gambar tersebut didapatkan bahwa saat saat sakelar konduksi maka dioda dalam keadaan *reversed bias* sehingga muncul tegangan pada dioda sebesar 24,6 V. Dan sebaliknya saat sakelar nonkonduksi maka dioda dalam keadaan *forward bias* sehingga arus akan mengalir melalui dioda dan tegangan dioda bernilai nol. Waktu dioda dalam keadaan *reversed bias* adalah 25,6 μs sedangkan waktu dioda dalam keadaan *forward bias* adalah 24,4 μs .



Gambar 3.7 Bentuk Gelombang Tegangan *Gate-Source* dan Tegangan Dioda

3.5.5 Simulasi Arus MOSFET dan Dioda

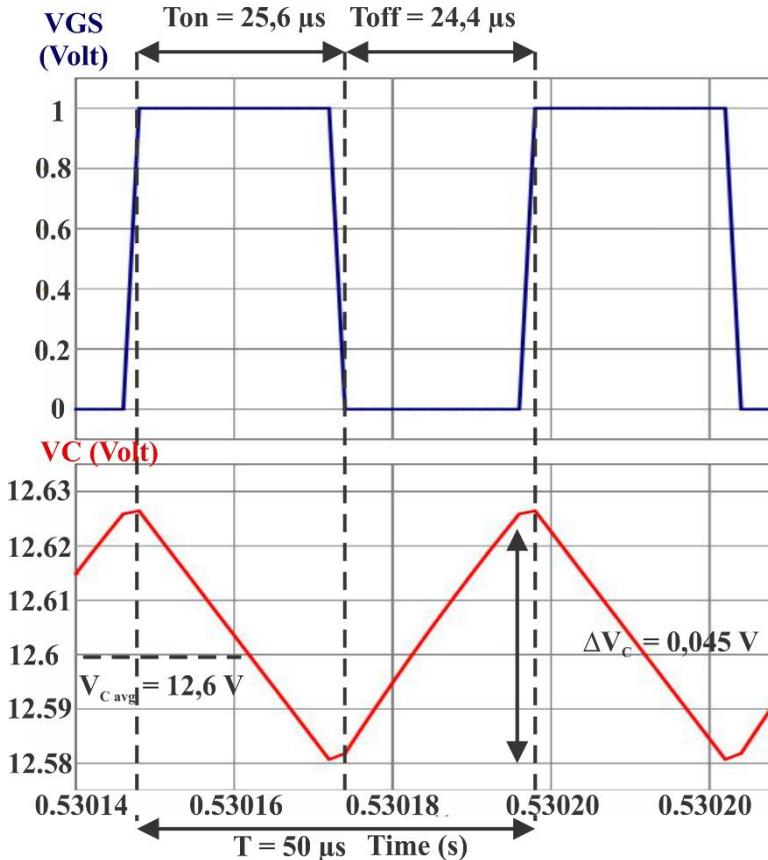
Gambar 3.8 dibawah menunjukkan bentuk gelombang dari arus *drain-source* dari MOSFET dan arus dioda. Dapat terlihat bahwa *ripple* arus dan arus maksimum dari kedua komponen sedikit berbeda dari perhitungan yang telah dilakukan, tetapi nilai error memiliki nilai yang kecil sehingga masih dalam batas toleransi. Pada simulasi nilai arus *average* pada pada MOSFET bernilai 2,03 A dan pada dioda bernilai - 1,95 A. Nilai arus dari kedua komponen dapat berkebalikan karena konverter *buck boost* yang digunakan memiliki tipe *inverting*. Sedangkan nilai arus maksimum dari MOSFET adalah 4,14 A dan dioda adalah - 4,12 A.



Gambar 3.8 Bentuk Gelombang Arus *Drain-Source* dan Arus Dioda

3.5.6 Simulasi Tegangan Kapasitor

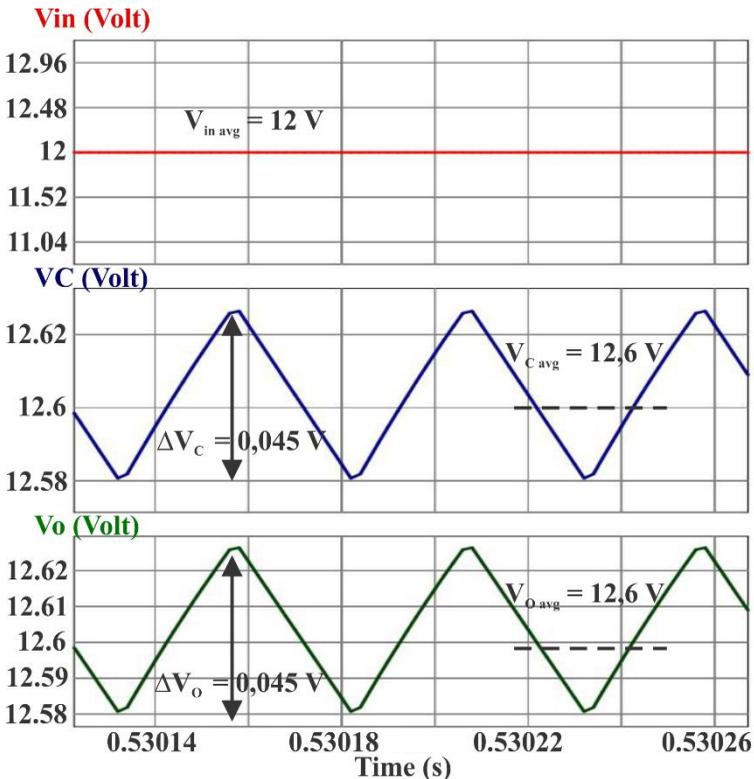
Gambar 3.9 menunjukkan bentuk gelombang dari tegangan kapasitor. Tegangan pada kapasitor memiliki nilai tegangan rata-rata 12,6 V dan *ripple* tegangan 0,045 V mendekati dari nilai perhitungan yang sudah dibuat. Dapat dilihat kapasitor mengalami *charging* ketika MOSFET non konduksi dan *discharge* ketika MOSFET konduksi.



Gambar 3.9 Bentuk Gelombang Tegangan *Gate-Source* dan Tegangan Kapasitor

3.5.7 Simulasi Tegangan Output

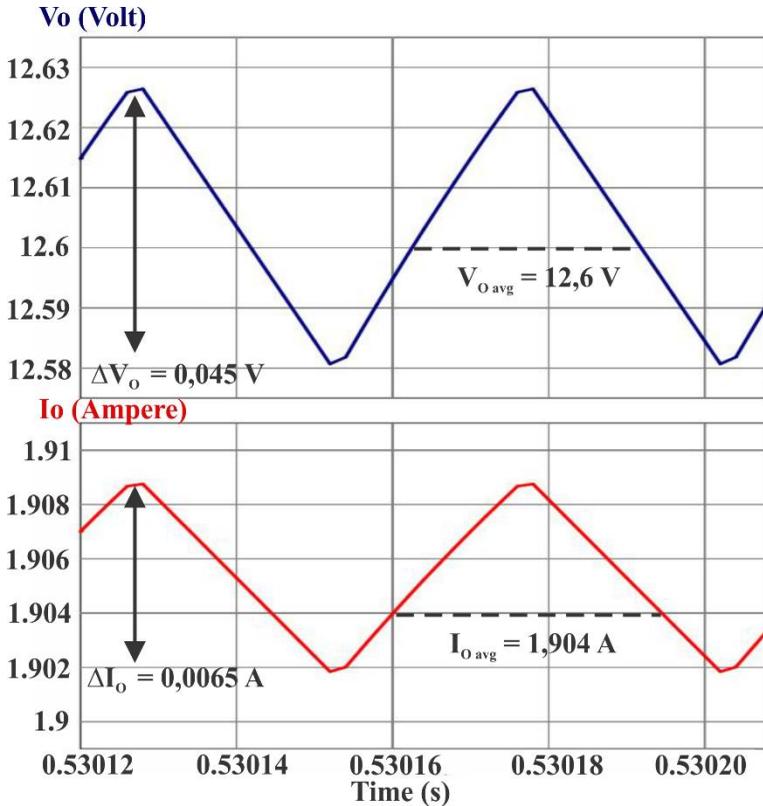
Gambar 3.10 merupakan bentuk gelombang tegangan *input*, tegangan kapasitor dan tegangan *output*. Tegangan *input* yang diberikan adalah sesuai desain yaitu 12V. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, terlihat bahwa tegangan kapasitor dengan tegangan output bernilai sama karena dipasang satu node dengan beban. Hasil ini telah sesuai dengan desain yang dilakukan yaitu tegangan input 12 volt akan menghasilkan tegangan output dengan nilai tegangan rata – rata 12,6 volt dan ripple tegangan 0,045 volt.



Gambar 3.10 Bentuk Gelombang Tegangan *Input*, Tegangan Kapasitor dan Tegangan Output

3.5.8 Simulasi Daya Output

Dari gambar 3.11 dapat dilihat bahwa rangkaian konverter buck boost telah bekerja sesuai dengan desain yang telah dibuat. Dengan nilai tegangan output 12,6 volt dan nilai arus output 1,904 ampere, maka dapat dihitung daya output dari konverter yaitu didapatkan 23,99 watt.



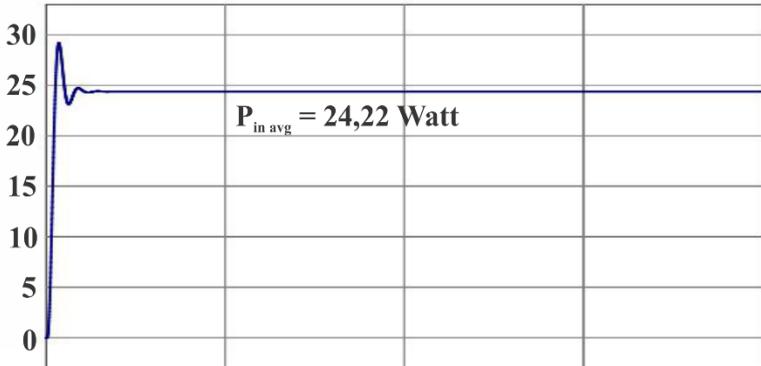
Gambar 3.11 Bentuk Gelombang Tegangan *Output* dan Arus Output

3.5.9 Simulasi Efisiensi Konverter

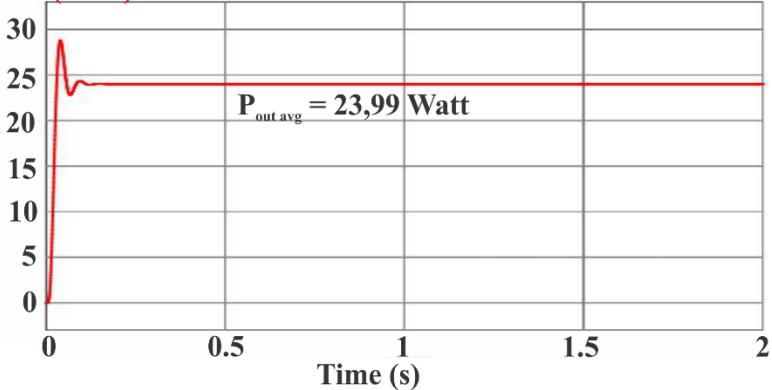
Berdasarkan hasil simulasi yang direpresentasikan dengan gambar 3.12 dibawah, dapat terlihat konverter buck boost ini dapat mengeluarkan daya rata – rata sebesar 23,99 watt dan membutuhkan input daya sebesar

24,22 watt. Sehingga efisiensi konverter buck boost pada simulasi ini adalah 99,05 %.

Pin (Watt)



Po (Watt)



Gambar 3.12 Bentuk Gelombang Daya Input dan Daya Output

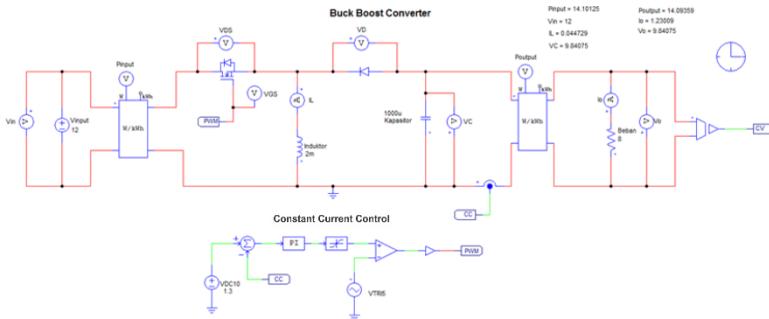
3.6 Simulasi Konverter pada Kondisi Dinamis

Pada saat kondisi dinamis, konverter *buck boost* harus mampu mempertahankan nilai tegangan dan arus *charging* sesuai dengan setpoint yang ditentukan. Pada kondisi nyata, faktor penurunan tegangan akibat adanya pembebanan tidak dapat dihindarkan. Penurunan tegangan ini disebabkan oleh kondisi komponen yang tidak ideal dan memiliki resistansi seperti pada MOSFET, dioda, induktor, kapasitor dan lintasan sirkuit. Hal ini akan menyebabkan kondisi output tidak sesuai dengan

desain perhitungan yang telah dibuat. Oleh karena itu konverter harus mampu mempertahankan arus dan tegangan konstan dalam keadaan resistansi output berubah – ubah sesuai dengan keadaan SOC baterai.

3.6.1 Simulasi Constant Current

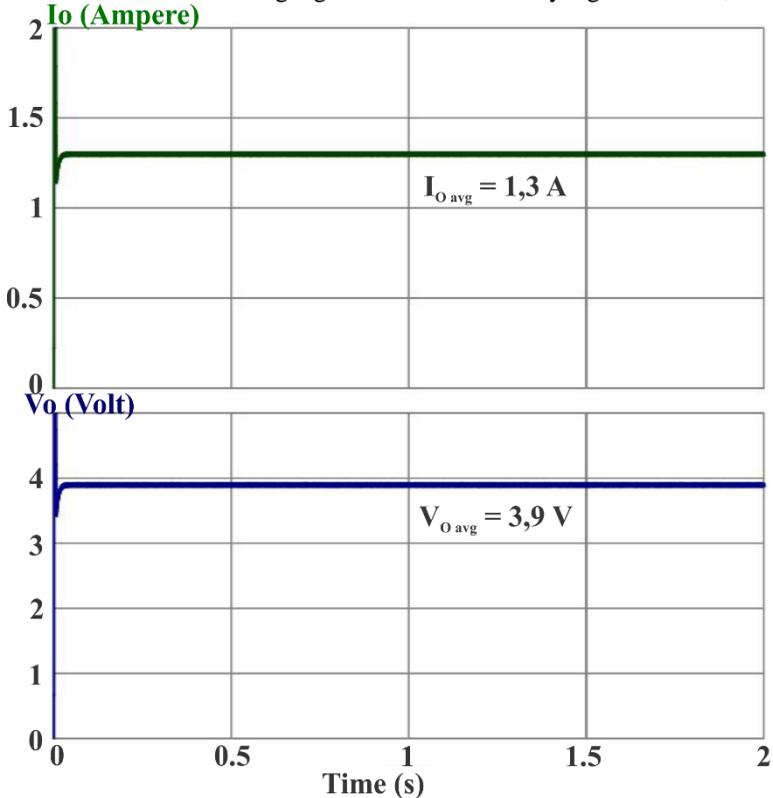
Tujuan dari simulasi *constant current* adalah untuk mengetahui kemampuan konverter dalam mempertahankan arus konstan yang diatur sesuai dengan setpoint dengan kondisi beban yang berubah - ubah pada sisi *output*. Simulasi *constant current* dilakukan dengan menggunakan software PSIM 9.1.1. Untuk mendapatkan arus konstan saat pengujian maka dilakukan pengontrolan *close loop* untuk mengontrol *duty cycle* konverter. Sehingga dalam rangkaian terdapat sebuah sensor arus yang berfungsi untuk *sensing* arus yang kemudian akan menjadi *feedback* dari rangkaian. Selanjutnya hasil *sensing* dari sensor arus akan dibandingkan dengan nilai setpoint dan akan menghasilkan sinyal *error* yang kemudian akan diproses oleh controller. Keluaran dari controller berupa sinyal kontrol yaitu sinyal *PWM* sehingga *duty cycle* dari sistem dapat disesuaikan dengan kondisi pembebanan. Pada gambar 3.13 dibawah ini ditunjukkan rangkaian dari konverter *buck boost* beserta kontrol *constant current*.



Gambar 3.13 Simulasi rangkaian konverter *buck boost* saat mode *constant current*

Simulasi konverter pada kondisi dinamis (*constant current*) dilakukan dengan mengubah resistansi dari beban yang terpasang. Nilai resistansi dari beban menggunakan 3Ω dan 6Ω . Arus setpoint diatur dengan nilai 1,3 ampere. Sehingga menurut perhitungan, tegangan yang

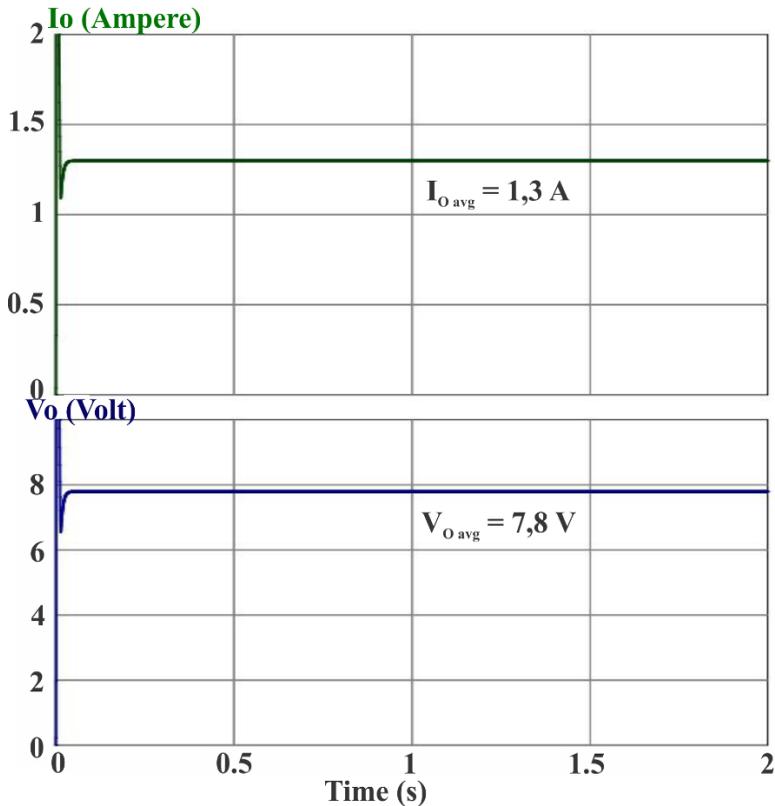
seharusnya dihasilkan pada sisi output adalah 3,9 Volt pada saat kondisi beban 3Ω dan 7,8 Volt pada saat kondisi beban 6Ω . Kedua nilai tegangan ini masih dibawah nilai tegangan maksimal baterai yang bernilai 12,6V.



Gambar 3.14 Simulasi *Constant Current* dengan Beban R 3Ω

Berdasarkan hasil simulasi pada gambar 3.14 diatas, didapatkan hasil bahwa saat kondisi beban 3Ω , tegangan yang dihasilkan oleh konverter dijaga konstan pada nilai 3,9 volt sehingga dihasilkan arus *output* yang konstan dengan nilai 1,3 ampere.

Sedangkan menurut hasil simulasi pada gambar 3.15, didapatkan hasil bahwa saat kondisi beban 6Ω , tegangan yang dihasilkan oleh konverter dijaga konstan pada nilai 7,8 volt sehingga dihasilkan arus *output* yang konstan dengan nilai 1,3 ampere.



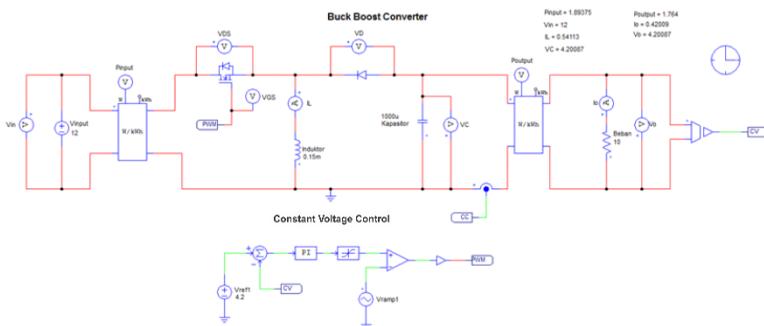
Gambar 3.15 Simulasi *Constant Current* dengan Beban R 6Ω

Berdasarkan kedua hasil simulasi diatas yaitu saat nilai beban R 3Ω dan 6Ω, konverter dapat menjaga arus konstan sesuai dengan nilai setpoint yaitu 1,3 A. Sehingga dapat disimpulkan konverter tetap bisa menghasilkan nilai arus yang konstan walaupun nilai beban R nya berubah-ubah.

3.6.2 Simulasi *Constant Voltage*

Sama halnya seperti *constant current*, simulasi *constant voltage* bertujuan untuk mengetahui kemampuan konverter dalam menjaga tegangan konstan sesuai dengan nilai setpoint yang diatur. Untuk mendapatkan tegangan konstan saat pengujian maka dilakukan

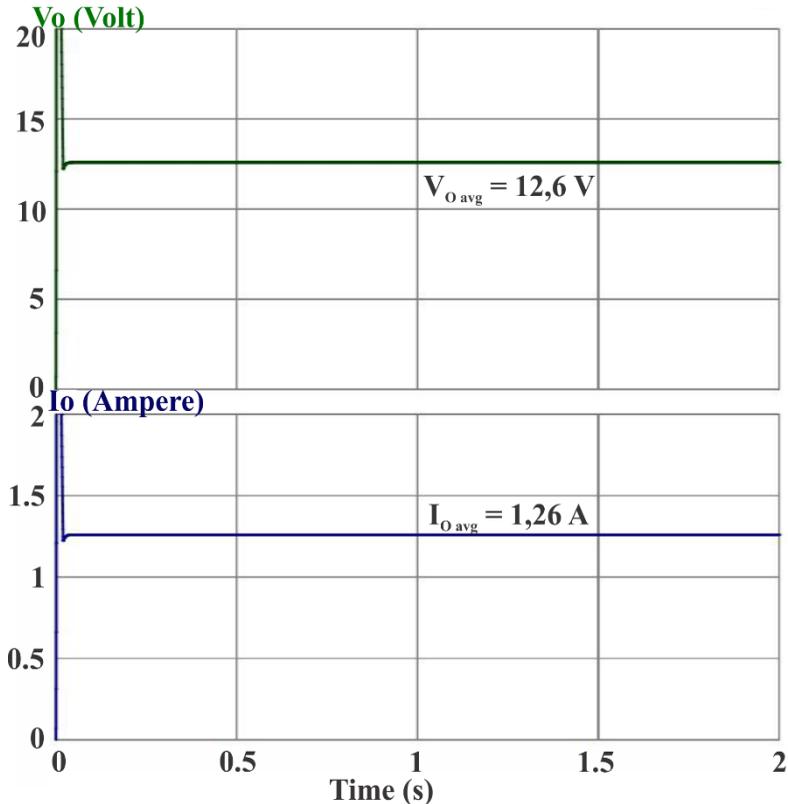
pengontrolan *close loop* untuk mengontrol *duty cycle* konverter. Sehingga dalam rangkaian terdapat sebuah sensor tegangan yang berfungsi untuk *sensing* tegangan yang kemudian akan menjadi *feedback* dari rangkaian. Selanjutnya hasil *sensing* dari sensor tegangan akan dibandingkan dengan nilai setpoint dan akan menghasilkan sinyal *error* yang kemudian akan diproses oleh controller. Keluaran dari controller berupa sinyal kontrol yaitu sinyal *PWM* sehingga *duty cycle* dari sistem dapat disesuaikan dengan kondisi pembebanan. Pada gambar 3.16 dibawah ini ditunjukkan rangkaian dari konverter *buck boost* beserta kontrol *constant voltage*.



Gambar 3.16 Simulasi rangkaian konverter *buck boost* saat mode *constant voltage*

Simulasi konverter pada kondisi dinamis (*constant voltage*) dilakukan dengan mengubah resistansi dari beban yang terpasang. Nilai resistansi dari beban menggunakan 10Ω dan 20Ω . Tegangan setpoint diatur dengan nilai 12,6 volt. Sehingga menurut perhitungan, arus yang seharusnya dihasilkan pada sisi output adalah 1,26 ampere pada saat kondisi beban 10Ω dan 0,63 ampere pada saat kondisi beban 20Ω .

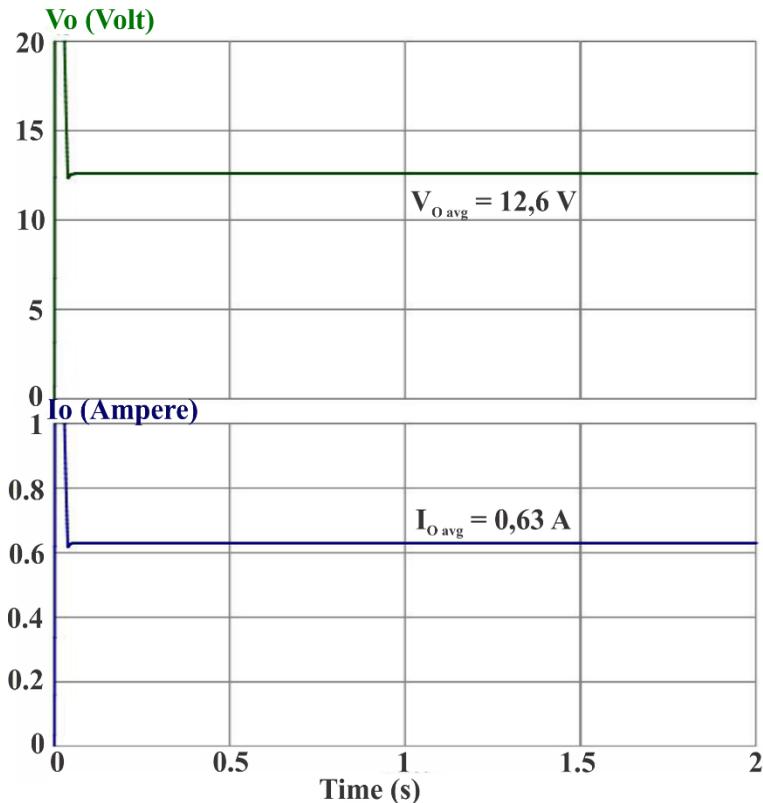
Berdasarkan hasil simulasi pada gambar 3.17 dibawah, didapatkan hasil bahwa saat kondisi beban 10Ω , tegangan yang dihasilkan oleh konverter dijaga konstan pada nilai 12,6 volt sehingga dihasilkan arus output dengan nilai 1,26 ampere.



Gambar 3.17 Simulasi *Constant Voltage* dengan Beban R 10Ω

Sedangkan menurut hasil simulasi pada gambar 3.18, didapatkan hasil bahwa saat kondisi beban 20Ω , tegangan yang dihasilkan oleh konverter dijaga konstan pada nilai 12,6 volt sehingga dihasilkan arus output yang konstan dengan nilai 0,63 amper.

Berdasarkan kedua hasil simulasi diatas yaitu saat nilai beban R 10Ω dan 20Ω , konverter dapat menjaga tegangan konstan sesuai dengan nilai setpoint yaitu 12,6 V. Sehingga dapat disimpulkan konverter tetap bisa menghasilkan nilai tegangan yang konstan walaupun nilai beban R nya berubah-ubah.



Gambar 3.18 Simulasi *Constant Voltage* dengan Beban $R \ 20\Omega$

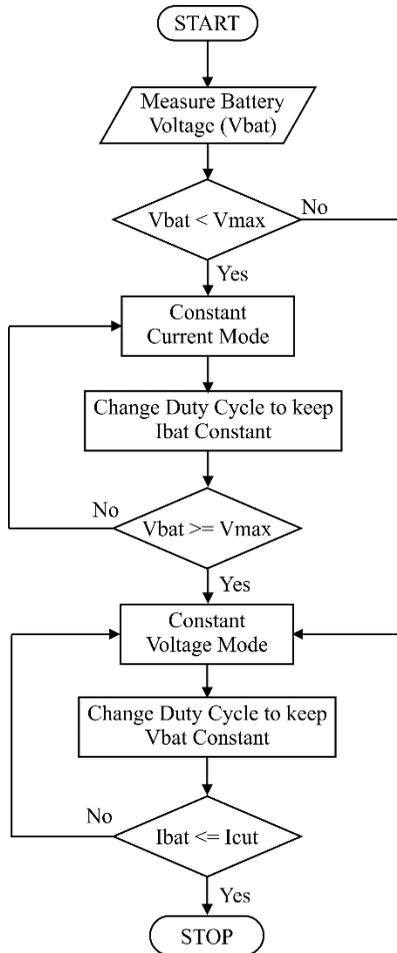
3.7 Simulasi *Charging* Baterai

Simulasi *charging* baterai dilakukan menggunakan *software* MATLAB R2015b. Pada simulasi *charging* baterai ini menggunakan dua mode yaitu mode *constant current* dan *constant voltage*. Mode *constant current* bekerja terlebih dahulu yaitu dengan memberikan arus konstan untuk mengisi daya pada baterai. Respon dari baterai saat mode *constant current* yaitu tegangannya naik perlahan sampai pada nilai maksimalnya (untuk baterai *Li-Ion* bernilai 4,2V). Setelah tegangan mencapai nilai maksimalnya, mode pengisian daya berganti ke *constant voltage* yaitu dengan memberikan tegangan konstan. Respon dari baterai saat mode *constant voltage* yaitu arus yang mengalir pada baterai akan turun hingga

mencapai nilai *cut offnya* (Pada SAMSUNG ICR18650 – 26F adalah 130 mA).

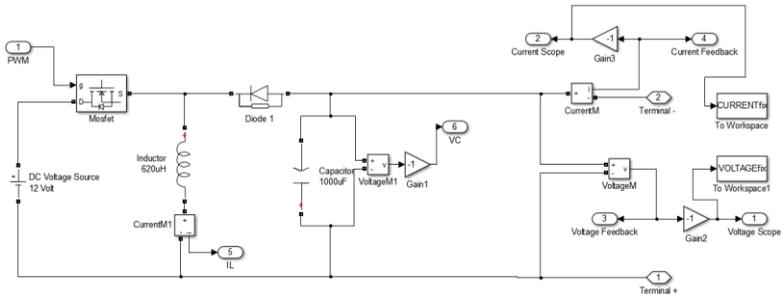
3.7.1 Flowchart Charging Baterai Lithium – Ion

Berikut merupakan *flowchart* pengisian daya baterai *Lithium – Ion* dapat dilihat pada gambar 3.19.

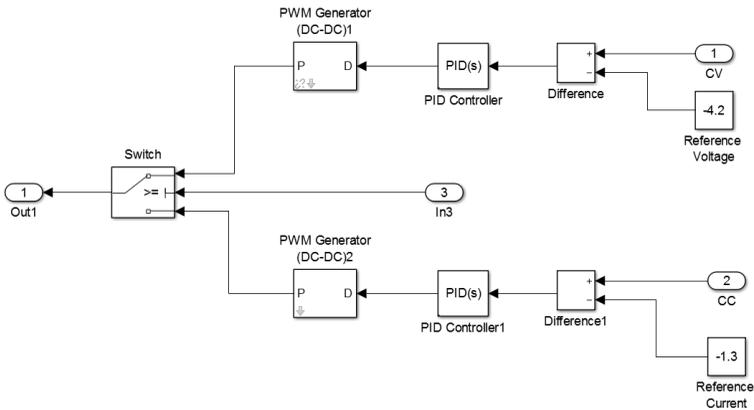


Gambar 3.19 Flowchart Constant Current Constant Voltage

dapat dilihat pada gambar 3.21(a) dan blok rangkaian kontrol dapat dilihat pada gambar 3.21(b). Beban yang digunakan adalah baterai dengan kapasitas 2600 mAh dengan tegangan maksimum *charging* adalah 4,2V. Simulasi dilakukan ketika nilai tegangan pada baterai hampir mendekati tegangan maksimalnya yaitu 4.2V untuk mengetahui kinerja kontrol *constant current constant voltage* dari rangkaian.



(a)



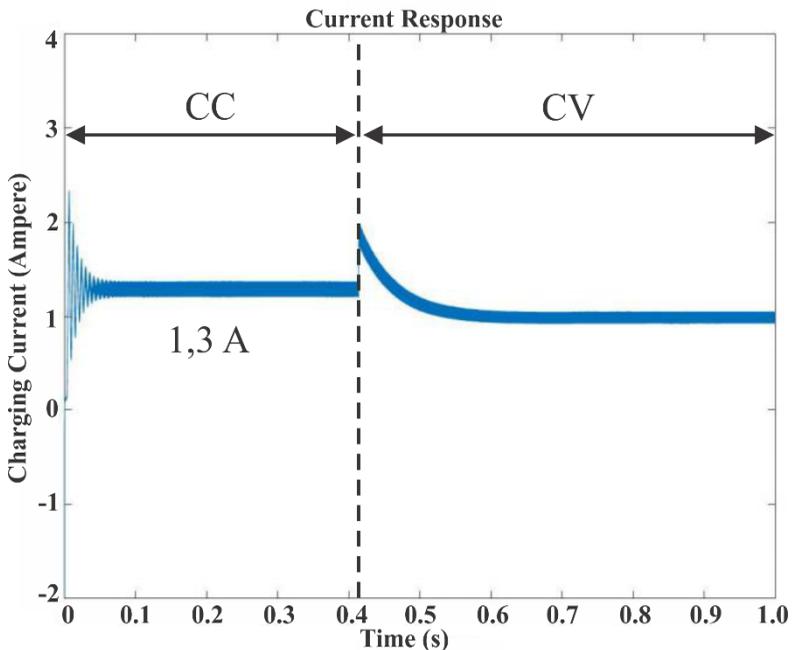
(b)

Gambar 3.21 Rangkaian Daya (a) dan Rangkaian Kontrol (b) Simulasi Charging Baterai

Pada mode *constant current*, setpoint arus diatur sebesar 1,3 A sesuai dengan desain dengan menetapkan nilai K_i 20. Sedangkan pada mode *constant voltage*, setpoint tegangan diatur sebesar 4.2V dengan nilai K_p 2 dan K_i 100. Besarnya parameter controller PID ditentukan dengan metode *trial and error*. *Switch* pada simulasi digunakan untuk pergantian

antara mode CC dan CV. *Switch* disini akan bekerja sesuai dengan nilai *threshold* yang diatur. *Input* dari *switch* berasal dari tegangan yang terbaca pada baterai. Sehingga ketika nilai yang masuk pada *switch* kurang dari nilai *threshold*nya yaitu 4,2V maka *switch* berpindah ke mode *Constant Current* sedangkan saat nilai yang masuk pada *switch* lebih dari nilai *threshold*nya yaitu 4.2V maka *switch* akan berpindah ke mode *Constant Voltage*.

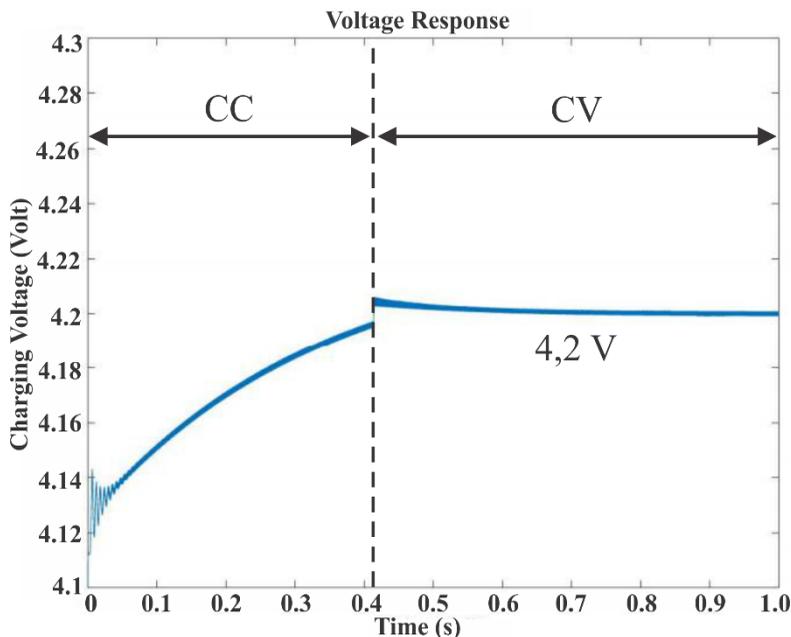
3.7.3 Simulasi Charging Baterai Lithium – Ion



Gambar 3.22 Respon Arus pada Simulasi *Charging* Baterai

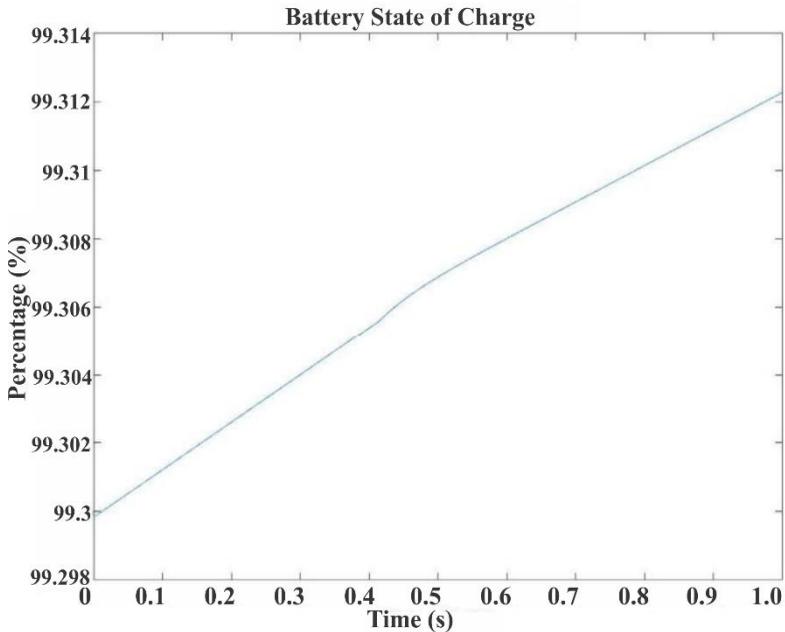
Gambar 3.22 menunjukkan respon arus saat mode *constant current* dan *constant voltage* berlangsung, dimana saat *constant current* arus yang mengalir konstan 1,3 A sesuai dengan setpoint, sedangkan saat beralih ke *constant voltage*, arus yang mengalir perlahan turun. Gambar 3.23 adalah respon tegangan saat *constant current constant voltage*, dimana saat *constant current* tegangan mulai naik menuju tegangan yang ditentukan

yaitu 4,2 volt, sedangkan saat *constant voltage* tegangan dijaga konstan 4,2V.



Gambar 3.23 Respon Tegangan pada Simulasi *Charging* Baterai

Gambar 3.24 adalah respon *State Of Charge (SOC)* dari baterai, berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat bahwa *SOC* baterai terus meningkat. Dengan adanya peningkatan *state of charge* ini, berarti baterai terus melakukan pengisian daya hingga respon arus pada baterai mencapai batas *cut – off* yaitu 130 mA dan proses pengisian daya berhenti.



Gambar 3.24 *State of Charge* Simulasi Charging Baterai

3.8 Implementasi Baterai *Charger* dengan Konverter *Buck*

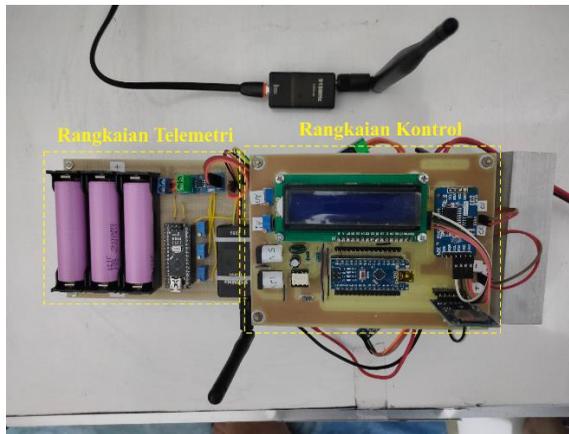
Setelah melakukan perhitungan desain dan nilai parameter dari setiap komponen yang dibutuhkan, langkah selanjutnya adalah implementasi atau pembuatan *real time monitoring charger* baterai *lithium – ion*. Nilai parameter dari setiap komponen untuk pembuatan alat disesuaikan dengan ketersediaan yang ada pada pasar. Nilai komponen pada implementasi merupakan nilai yang lebih besar dari pada nilai komponen yang telah didesain. Hal tersebut bertujuan untuk mengantisipasi konverter dalam keadaan DCM. Tabel 3.8 dibawah merupakan komponen yang akan digunakan dalam implementasi *real time monitoring charger* baterai *lithium – ion*:

Tabel 3.8 Parameter Komponen Konverter

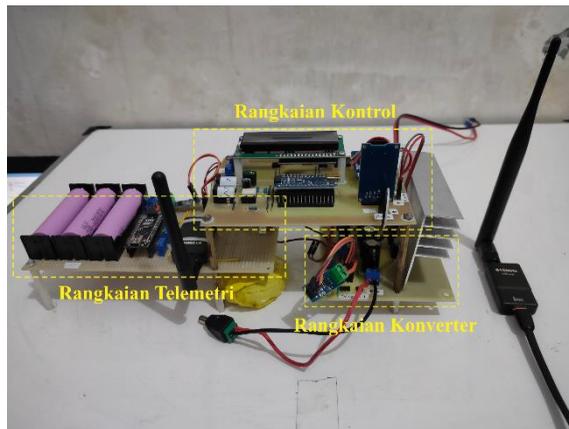
No.	Parameter	Value
1.	DC Power Supply Voltage	12 V
2.	Microcontroller	Arduino NANO
3.	MOSFET	IRFP4227
4.	MOSFET Driver	TLP250
5.	Mosfet Driver Power Supply	12 V
6.	Diode	MUR1560
7.	Inductor	620 μ H
8.	Inductor Core	Toroid Ferrite Core
9.	Input Voltage Capacitor	Elco 1000 μ F 50 V
10.	Output Voltage Capacitor	Elco 1000 μ F 50 V
11.	Resistive load	6,615 Ω
12.	Li – Ion Battery	2600mAh, 3 sel
13.	Switching Frequency	20 kHz
14.	Output Voltage	12,6 V
15.	Voltage Sensor	Multiturn 100k Ω
16.	Current Sensor	ACS 712, 10 A
17.	Data Logger	SD Card Module
18.	Real Time Clock	DS3231 RTC
19.	Liquid Crystal Display	LCD 1602
20.	Radio Telemetry	Telemetri 915 MHz

Gambar 3.25 merupakan implementasi dari *Real Time Monitoring charger* baterai Lithium Ion. Pada implementasinya, *charger* baterai Lithium Ion terdiri dari beberapa bagian. Bagian pertama yaitu rangkaian *controller* yang berupa Arduino NANO dengan sumber *supply* 5 V dan

12 V. Pada bagian *controller* inilah nantinya akan ditanam program kontrol *CC-CV*. Bagian kedua adalah rangkaian telemetri yang berfungsi untuk mengirimkan data parameter baterai dan menampilkannya secara *real time* pada komputer. Dan bagian terakhir adalah konverter *buck boost* dengan parameter yang telah didesain pada sub bab sebelumnya.

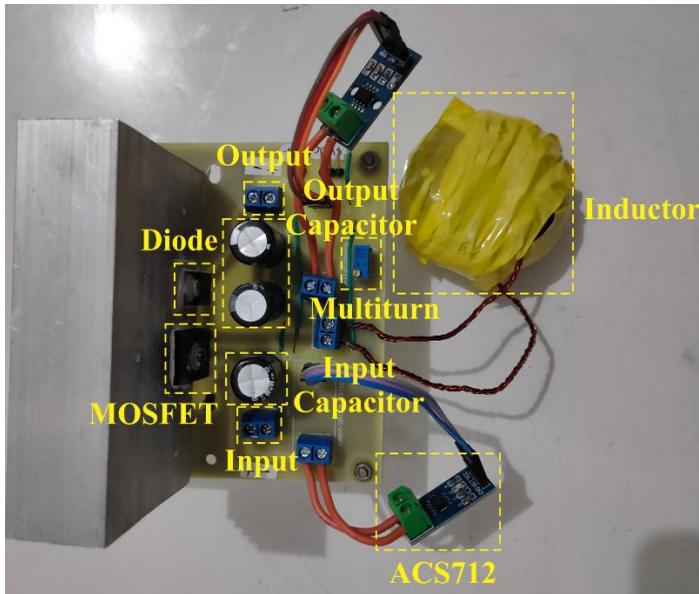


(a)



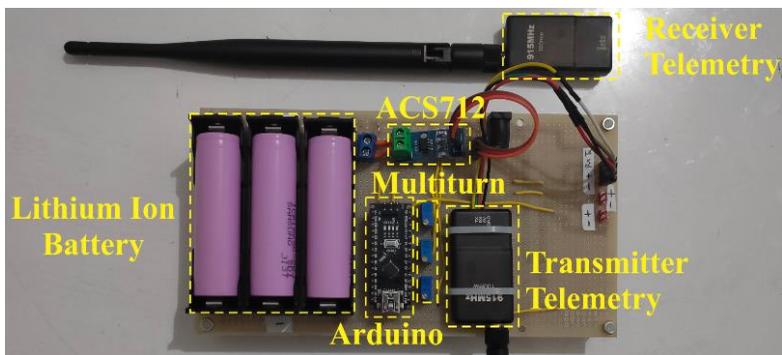
(b)

Gambar 3.25 Implementasi *Charger* Baterai Lithium Ion Tampak Samping (a) Tampak Atas (b)



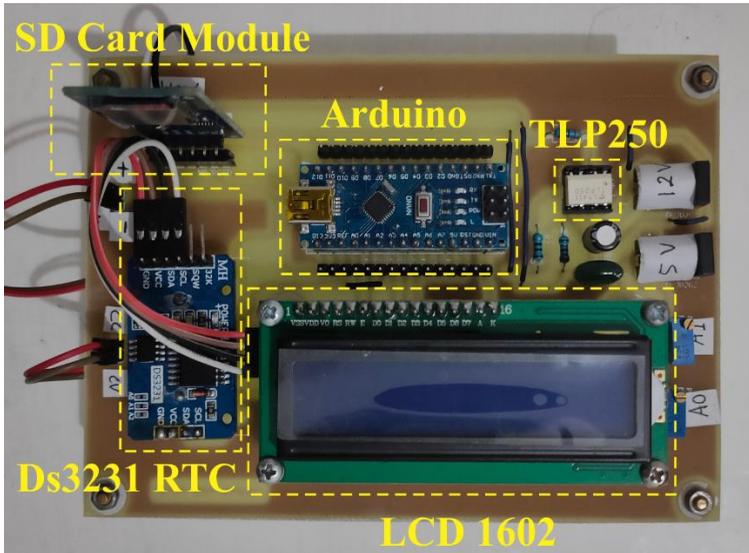
Gambar 3.26 Rangkaian *Buck Boost Converter*

Pada Gambar 3.26 merupakan rangkaian Konverter *Buck Boost* yang terdiri dari MOSFET sebagai komponen pensakelaran, dioda, induktor, kapasitor filter, multiturn yang digunakan sebagai sensor tegangan dan ACS 712 yang digunakan sebagai sensor arus.



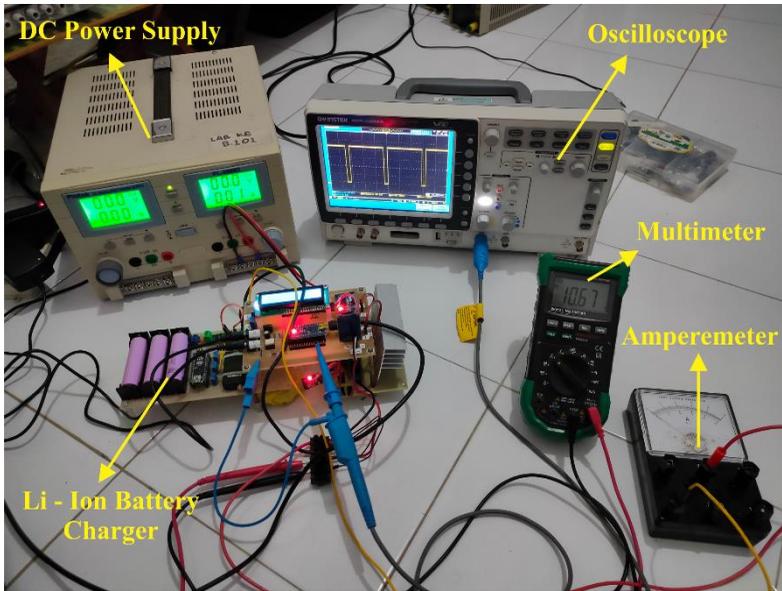
Gambar 3.27 Rangkaian Telemetri

Gambar 3.27 menunjukkan rangkaian telemetri yang digunakan untuk mengolah, mengirimkan dan menampilkan data parameter dari baterai Lithium Ion. Rangkaian ini terdiri dari *socket* baterai Lithium Ion, Arduino yang berfungsi untuk mengolah data, 3 multiturun untuk sensor tegangan antar sel baterai, ACS712 untuk sensor arus, telemetri *transmitter* untuk mengirimkan data dan telemetri *receiver* untuk menerima data.



Gambar 3.28 Rangkaian Kontrol

Pada gambar 3.28 ditunjukkan rangkaian kontrol yang berfungsi untuk mengatur PWM, menampilkan data pada LCD dan menyimpan data parameter baterai. Rangkaian ini terdiri dari Arduino sebagai mikrokontroler yang mengatur jalannya program, TLP250 sebagai penghubung antara sistem controller dengan sakelar MOSFET, LCD 1602 untuk menampilkan data, SD Card Module dan DS3231 RTC yang bekerja secara sinkron sebagai *data logger*.



Gambar 3.29 Setup Pengujian *Charging* Baterai

BAB 4

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

Pada bab 4 ini akan dibahas mengenai pengujian *rangkaian DC-DC Buck Boost Converter* menggunakan peralatan yang terdapat di laboratorium Konversi Energi, dilanjutkan dengan pengujian algoritma kontrol *close loop Constant Current Constant Voltage*, kemudian dilakukan pengujian karakteristik charging 3 baterai Lithium Ion 2600 mAh yang disusun secara seri, dan pengujian sistem *real time monitoring*. Pengujian dilakukan secara bertahap, yaitu pertama dilakukan pengujian konverter berupa pengujian sinyal pensakelaran, pengujian tegangan output, pengujian karakteristik arus dan tegangan komponen, pengujian efisiensi konverter. Selanjutnya dilakukan pengujian kontrol *close loop* berupa pengujian *Constant Voltage, Constant Current, dan Constant Current Constant Voltage*. Kemudian dilakukan pengujian untuk melakukan charging 3 baterai Li – Ion 2600 mAh yang disusun secara seri untuk mendapatkan kurva charging dari baterai yang didapat dari data logger yang telah terpasang. Selama pengujian charging baterai, sistem *real time monitoring* juga dipantau apakah telah sesuai atau tidak. Data yang didapatkan dari pengujian dibandingkan dengan teori dan hasil simulasi.

4.1 Peralatan Pengujian Konverter

Pengujian konverter *DC-DC Buck Boost* dilakukan dengan menggunakan peralatan yang telah tersedia di Laboratorium Konversi Energi Listrik Elektro ITS. Peralatan yang digunakan terdapat berbagai macam seperti contohnya: *Power Supply DC Variable, Oscilloscope, Multimeter, Amperemeter*, Rheostat beban resistif. *Power Supply DC Variable* yang digunakan adalah merk Protek PL-3005D yang memiliki 2 *channel output* dengan rating tegangan maksimal hingga 30V dengan arus maksimal 5A. Kedua *channel output* ini bisa dirangkai secara seri maupun paralel bergantung pada kebutuhan. Karena tegangan masukan konverter adalah 12V maka sumber DC tersebut dapat digunakan untuk pengujian. *Oscilloscope* yang digunakan adalah merk GW INSTEK GDS 2202A yang memiliki 2 channel dengan frekuensi maksimal 200 MHz, bisa memakai voltage maupun current probe sehingga memudahkan pengujian sinyal komponen. Rheostat beban resistif yang digunakan memiliki kapasitas sebesar 25 Ω 5 Ampere, 10 Ω 5,7 Ampere dan 1000 Ω 1 Ampere.

4.2 Pengujian Sensor Arus dan Tegangan

Pengujian sensor digunakan untuk mengetahui tingkat akurasi dari sensor yang digunakan dalam penelitian. Untuk sensor arus yang digunakan ACS 712, sedangkan sensor tegangan yang digunakan adalah multiturm 100 k Ω . Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai yang terbaca di *serial monitor* pada Arduino IDE dengan dengan alat ukur konvensional berupa *Multimeter* dan *Amperemeter*. Hasil pengujian sensor dapat dilihat pada tabel 4.1 dan 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.1 Pengujian Sensor Arus ACS712

No	Actual Current (A)	Sensing Current (A)	Sensor Error (%)
1	0.25	0.25	2.16
2	0.51	0.48	4
3	0.76	0.73	3.60
4	1.01	0.97	3.41
5	1.25	1.18	5.27
6	1.51	1.46	3.06
7	1.76	1.69	3.64
8	2.01	1.89	5.48
9	2.23	2.13	4.38
10	2.49	2.40	3.35
11	2.75	2.62	4.55
12	3	2.87	4.31
Rata - Rata			3.93

Berdasarkan tabel 4.1 diatas dapat dilihat untuk sensor arus memiliki kemampuan yang baik dalam membaca nilai aktual dengan akurasi yang baik. Sensor arus memiliki *error* rata-rata 3,93 % dan error paling tinggi adalah 5.48 %. Namun terdapat permasalahan dimana nilai tegangan input ACS712 (tegangan pada pin 5V arduino nano) sangat berpengaruh terhadap pembacaan arus yang dilakukan. Sehingga harus

digunakan power supply yang sama untuk menyuplai arduino nano dan apabila digunakan power supply yang berbeda, maka harus dilakukan recalibrasi terhadap ACS712.

Tabel 4.2 Pengujian Sensor Tegangan Multiturn 100 k Ω

No	Actual Voltage (V)	Sensing Voltage (V)	Voltage Error (%)
1	1.00	0.91	9.00
2	2.00	1.91	4.10
3	3.00	3.07	2.33
4	4.00	3.81	4.75
5	5.00	5.15	3.00
6	6.00	5.83	2.83
7	7.00	7.27	3.85
8	8.00	7.78	2.75
9	9.00	8.69	3.44
10	10.00	10.3	3.00
11	11.00	11.37	3.36
12	12.00	12.21	1.75
Rata - Rata			3.68

Berdasarkan tabel 4.2 diatas dapat dilihat untuk sensor tegangan memiliki kemampuan yang baik dalam membaca nilai aktual dengan akurasi yang baik. Sensor arus memiliki *error* rata-rata 3,68 % dan error paling tinggi adalah 9.00 %. Pada sensor tegangan tidak ditemukan permasalahan yang serupa dengan sensor arus. Sehingga dari hasil ini dapat ditarik kesimpulan sensor tegangan memiliki akurasi yang tinggi sehingga tidak diperlukan recalibrasi setiap penggunaan.

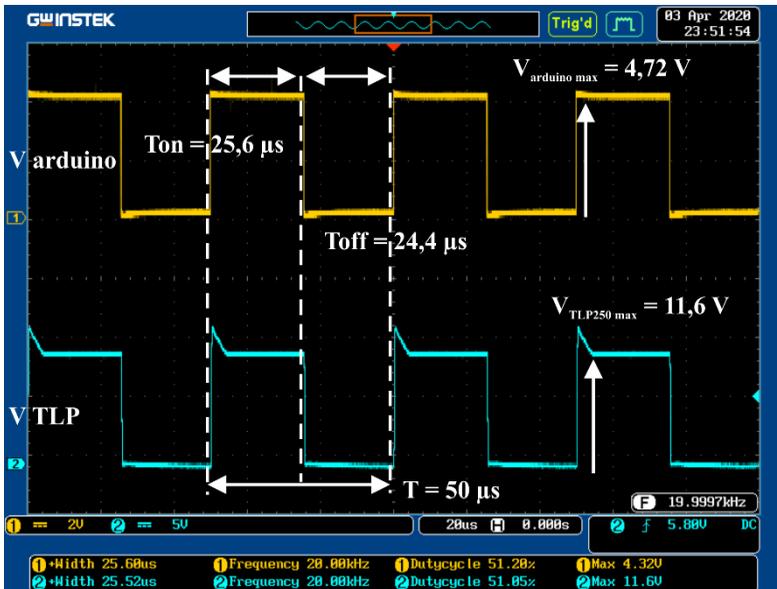
4.3 Pengujian Konverter *Buck Boost*

Berbagai pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah konverter yang telah diimplementasikan sudah bekerja sesuai desain atau tidak. Pengujian yang dilakukan pada konverter antara lain pengujian

pensakelaran, pengujian dioda, pengujian induktor, pengujian kapasitor, pengujian tegangan *input* dan *output*, dan pengujian efisiensi. Pengujian-pengujian yang dilakukan pada konverter beserta analisisnya akan dibahas pada sub bab berikut.

4.3.1 Pengujian Sinyal *Pulse Width Modulation (PWM)*

Pengujian sinyal PWM dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah sinyal PWM yang dibangkitkan oleh mikrokontroler sudah sesuai dengan simulasi. Pengujian ini dilakukan dengan mengamati dan membandingkan bentuk gelombang keluaran pin D9 dan D10 (PWM) pada arduino nano dan bentuk gelombang keluaran *Driver* MOSFET TLP250.



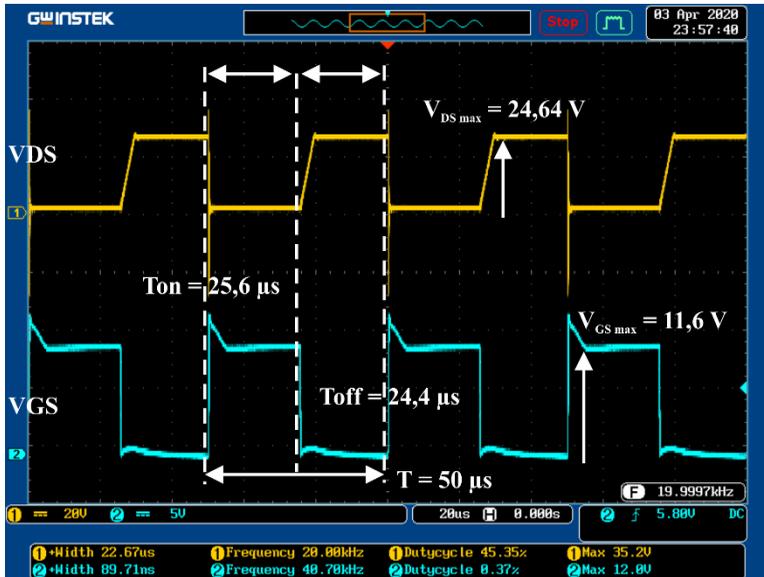
Gambar 4.1 Bentuk Gelombang PWM Arduino dan TLP250

Gambar 4.1 adalah bentuk bentuk gelombang keluaran pin D9 dan D10 (PWM) pada arduino nano dan bentuk gelombang keluaran *Driver* MOSFET TLP250. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, konverter sudah bekerja sesuai dengan desain yang telah direncanakan dengan frekuensi *switching* 20 kHz dan *duty cycle* 51,2 %. Periode dari

sinyal PWM yang didapatkan pada instrumen pengukuran di *oscilloscope* bernilai $50 \mu\text{s}$, saat kondisi PWM *high* bernilai $25,6 \mu\text{s}$ dan saat kondisi *low* bernilai $24,4 \mu\text{s}$. Dapat dilihat bahwa bentuk dari gelombang PWM arduino dan TLP250 adalah sama, yang membedakan adalah tegangan puncak dari PWM arduino adalah $4,72 \text{ Volt}$ sementara tegangan puncak dari PWM TLP250 adalah $11,6 \text{ Volt}$. Berdasarkan datasheet MOSFET IRFP4227, tegangan *gate – source* yang diperlukan untuk membuat kanal *drain – source* terbuka secara penuh adalah minimal 10 Volt dan maksimal 30 Volt . Dengan digunakannya tegangan 12 Volt pada sisi TLP250 untuk men-*drive* MOSFET, maka kanal *drain – source* pada MOSFET akan terbuka sepenuhnya. Hal ini menyebabkan MOSFET dapat bekerja secara maksimal dan lebih efisien.

4.3.2 Pengujian Pensakelaran

Pengujian pensakelaran dilakukan untuk mengetahui apakah pembangkitan sinyal PWM sudah sesuai dengan frekuensi dan nilai tegangan yang diinginkan. Pengujian ini dilakukan dengan mengamati gelombang tegangan *gate - source* dan *drain – source* MOSFET.



Gambar 4.2 Bentuk Gelombang Tegangan *Gate – Source* dan *Drain – Source* pada MOSFET

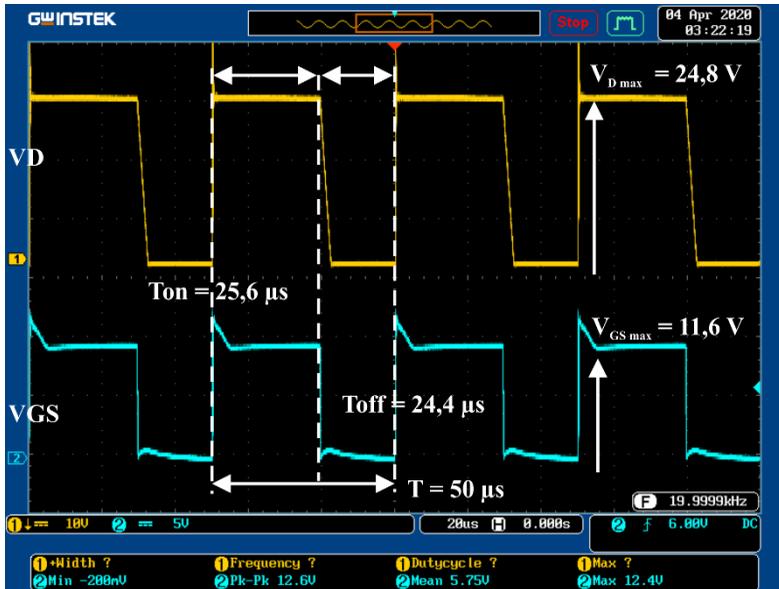
Bentuk gelombang V_{GS} dan V_{DS} dari konverter *Buck Boost* dapat dilihat pada gambar 4.2. Ketika gate dari MOSFET dalam keadaan *high*, maka sakelar atau kanal *drain – source* akan mengalami konduksi sehingga arus akan mengalir pada *drain-source* dan menyebabkan tegangan *drain - source* dalam keadaan *low*. Sebaliknya ketika *gate* dari MOSFET dalam keadaan *low*, maka sakelar akan terbuka sehingga tidak ada arus yang mengalir dan menyebabkan tegangan *drain-source* dalam keadaan *high*. Dapat dilihat dari gambar 4.2, konverter sudah bekerja sesuai dengan desain yang telah direncanakan dengan frekuensi *switching* 20 kHz dan *duty cycle* 0,512. Tegangan *drain - source* saat sakelar terbuka adalah sebesar 24,64 Volt sesuai dengan perhitungan dan simulasi yang telah dilakukan pada bab sebelumnya.

Namun karena penggunaan komponen yang tidak ideal saat implementasi, dapat menyebabkan *spike* tegangan pada *drain-source*. *Spike* tegangan ini terjadi pada saat transisi saklar dari keadaan tidak konduksi ke keadaan konduksi. Hal ini disebabkan karena energi yang tersisa dari induktor saat transisi pensakelaran mengalir ke MOSFET secara sesaat dan menyebabkan *spike* tegangan pada *drain - source*. Selain menyebabkan *spike*, komponen yang tidak ideal juga menyebabkan rugi-rugi - rugi atau *losses* yang berakibat drop tegangan pada sisi *output*.

4.3.3 Pengujian Tegangan Dioda

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

Gambar 4.3 adalah bentuk gelombang bentuk gelombang tegangan *gate - source* dan tegangan dioda. Berdasarkan gambar 4.3, bentuk gelombang hasil implementasi sudah sesuai dengan desain dan simulasi. Saat tegangan *gate - source* kondisi *high* (sakelar tertutup) maka dioda dalam keadaan *reversed bias* sehingga akan timbul tegangan pada dioda dengan nilai 24,8 Volt. Sedangkan saat tegangan *gate-source* kondisi *low* (sakelar terbuka) maka dioda dalam keadaan *forward bias* sehingga tegangan dioda nol dan arus akan mengalir dari induktor melewati dioda. Bentuk tegangan dioda akan berkebalikan dengan tegangan *drain – source* pada MOSFET.



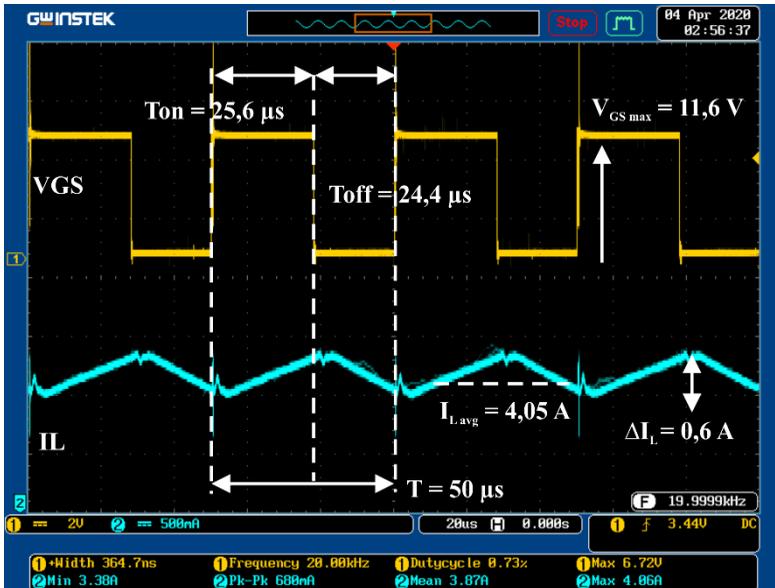
Gambar 4.3 Bentuk Gelombang Tegangan Gate – Source MOSFET dan Tegangan Dioda

4.3.4 Pengujian Arus Induktor

Pengujian arus induktor bertujuan untuk mengetahui mode *charging-discharging* induktor berdasarkan waktu pensakelaran, yang hasilnya dibandingkan dengan hasil simulasi. Pada pengujian ini dilihat apakah induktor telah bekerja dalam mode CCM (*Continuous Conduction Mode*) atau DCM (*Discontinuous Conduction Mode*).

Pada gambar 4.3 dapat dilihat arus induktor berada pada mode CCM (*Continuous Conduction Mode*) yang ditandai dengan bentuk arus pada induktor yang tidak pernah menyentuh angka nol. Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa bentuk gelombang arus induktor dari konverter *Buck Boost* sudah sesuai dengan bentuk gelombang pada simulasi. Nilai arus rata-rata arus induktor adalah 4,05 Ampere yang mana nilai ini lebih tinggi dari simulasi dan desain yang telah dilakukan. Hal ini dikarenakan karena komponen induktor tidak ideal sehingga memiliki nilai resistif yang mengakibatkan rugi-rugi. Sementara Nilai

ripple arus dari induktor adalah 600 mA dimana nilai tersebut juga lebih tinggi dari nilai pada desain dan simulasi. Hal ini dikarenakan karena faktor ketidakidealan komponen seperti rugi-rugi tembaga, inti besi dan fluks bocor sehingga *ripple* arus mengalami kenaikan, namun nilai tersebut masih bisa ditoleransi dan konverter masih bekerja sesuai yang diinginkan.



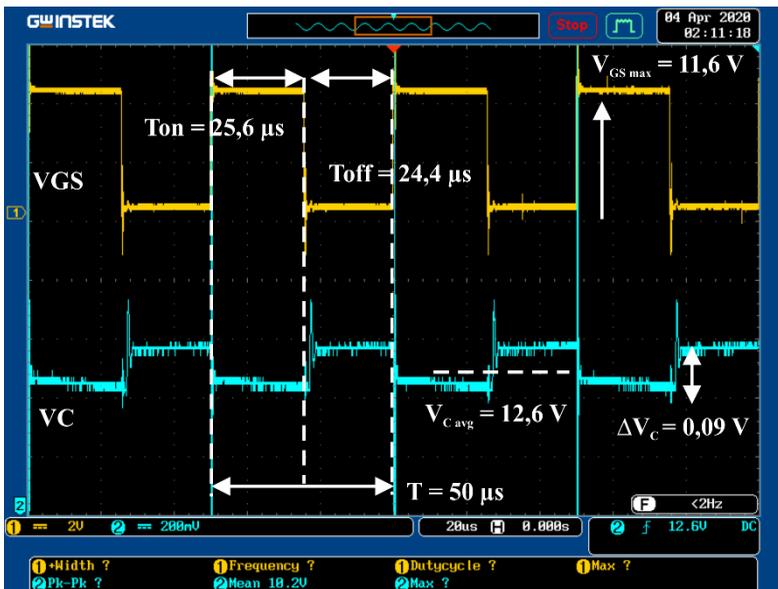
Gambar 4.4 Bentuk Gelombang Tegangan *Gate – Source* MOSFET dan Arus Induktor

4.3.5 Pengujian Tegangan Kapasitor

Pengujian tegangan kapasitor bertujuan untuk mengetahui karakteristik *charging* dan *discharging* kapasitor bersesuaian dengan mode sakelar yang sedang bekerja. Pengujian dilakukan pada tegangan masukan 12 V dan *duty cycle* 51,2 %. Pada konverter ini kapasitor yang bekerja sebagai kapasitor *filter* pada sisi *output*. Hasil pengujian tegangan kapasitor dapat dilihat pada gambar 4.5 berikut.

Dapat dilihat dari hasil pengujian sinyal *charge* dan *discharge*, Bentuk sinyal tegangan kapasitor *filter output* sudah sesuai desain dan

simulasi yang telah dilakukan. Rata-rata tegangan pada kapasitor adalah 12,6 Volt. Tegangan pada komponen kapasitor yang diuji berada dibawah nilai desain, hal ini dikarenakan ketidakidealan komponen pada konverter sehingga terdapat rugi-rugi berupa resistansi dan induktansi. *Ripple* tegangan kapasitor juga berada diatas desain yaitu 0.09 V atau 0.07 %. Hal ini dikarenakan komponen yang digunakan tidak ideal. Untuk dapat mencapai tegangan yang diinginkan, duty cycle konverter yang awalnya 51,2% harus dinaikkan sampai 58.38% pada beban penuh. Namun berdasarkan gelombang sinyalnya dapat disimpulkan konverter dapat bekerja sesuai yang diharapkan.

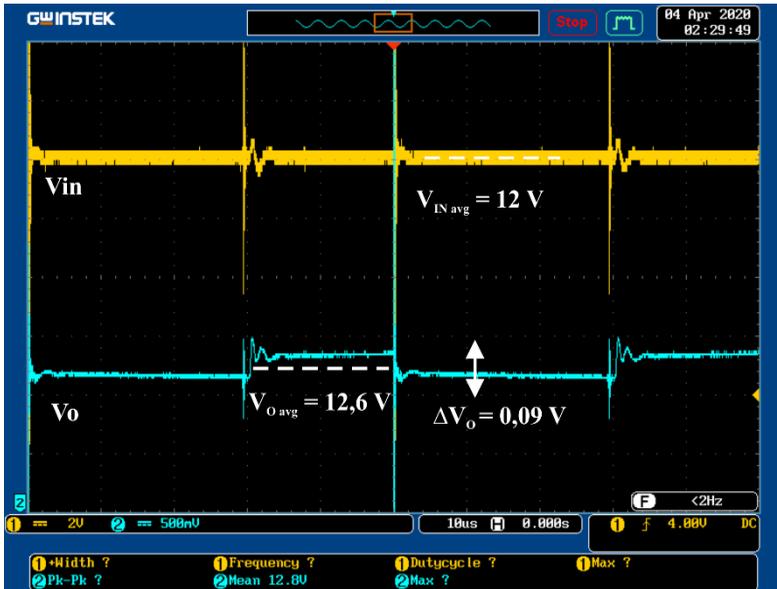


Gambar 4.5 Bentuk Gelombang Tegangan *Gate – Source* MOSFET dan Tegangan Kapasitor

4.3.6 Pengujian Tegangan *Input* dan *Output*

Pengujian tegangan *output* dan tegangan *input* dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui bentuk gelombang dan nilai dari tegangan *output* dibandingkan dengan hasil desain dan simulasi. Gambar 4.6 adalah bentuk dari gelombang *input* dan *output* dari konverter *Buck Boost*. Dari pengujian didapatkan nilai-nilai tegangan *output* rata-rata yaitu 12,6 Volt.

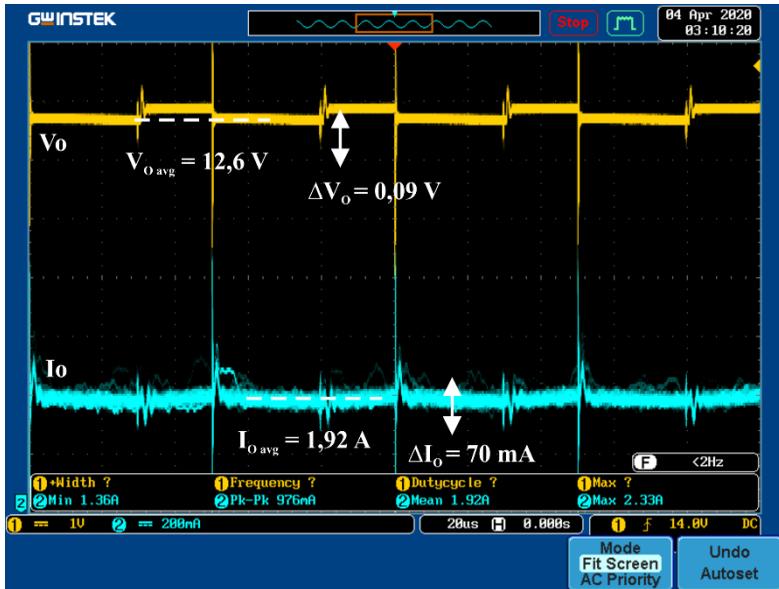
Sedangkan untuk nilai *ripple* tegangan *output* adalah 0,09 Volt. Dari hasil pengujian sinyal tegangan input dan output dapat disimpulkan bahwa konverter dapat bekerja dengan baik walaupun terdapat sedikit perbedaan dari desain akibat komponen yang tidak ideal.



Gambar 4.6 Bentuk Gelombang Tegangan *Input* dan *Output*

4.3.7 Pengujian Tegangan dan Arus *Output* Beban Penuh

Dapat dilihat dari hasil pengujian sinyal tegangan dan arus *output* saat beban penuh, Bentuk sinyal tegangan dan arus *output* sudah sesuai desain dan simulasi yang telah dilakukan. Rata-rata tegangan output berada dibawah nilai desain yaitu 12,6 Volt. *Ripple* tegangan output juga berada diatas desain yaitu 0.09 V atau 0.07 %. Hal ini dikarenakan ketidakidealan komponen pada konverter sehingga terdapat rugi-rugi berupa resistansi dan induktansi. Sementara nilai rata-rata arus output adalah 1,92 Ampere dan *ripple* arus output adalah 70 mA. Konverter Buck Boost bisa dikatakan telah bekerja dengan baik karena mampu memangku beban penuh sebesar 24 Watt tanpa adanya drop tegangan maupun panas pada komponen pensakelaran yang berarti.



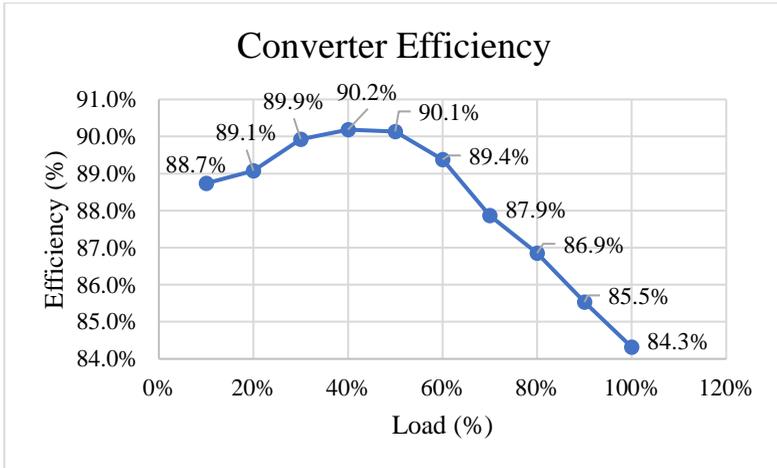
Gambar 4.7 Bentuk Gelombang Tegangan dan Arus *Output*

4.3.8 Pengujian Efisiensi Konverter

Pengujian efisiensi konverter digunakan untuk mengetahui seberapa efisien sebuah konverter dapat memikul beban yang bervariasi dari rendah ke *full-load* desainnya. Pada pengujian efisiensi tegangan masukan dijaga tetap konstan 12 V, dan tegangan keluaran juga dijaga konstan 12,6 V dengan mengubah nilai *duty cycle* dimana beban akan ditambahkan sampai nilai *full-load* konverter. Selanjutnya pengujian dilakukan dengan cara mengubah-ubah nilai beban resistif dengan tegangan *output* tetap pada nilai 12,6V. Pengukuran efisiensi dilakukan dengan membandingkan nilai daya *output* dengan daya *input* dengan menggunakan alat ukur yang sama. Gambar 4.8 berikut merupakan grafik efisiensi dari *DC-DC Buck Boost Converter* dengan nilai pembebanan dari 10 % hingga 100 %.

Dari grafik tersebut dapat dilihat konverter dapat mencapai efisiensi maksimum 90,2 % pada pembebanan 40% dan efisiensi minimum pada pembebanan 84,3 % pada pembebanan *full-load*. Dari pengujian efisiensi konverter memiliki rata-rata efisiensi 88,2%. Dapat

dilihat efisiensi konverter mengalami penurunan semakin besar pembebanannya, hal ini dikarenakan terdapat rugi-rugi pada pensaklaran MOSFET dan losses I^2R pada induktor, dioda, maupun jalur pada PCB.



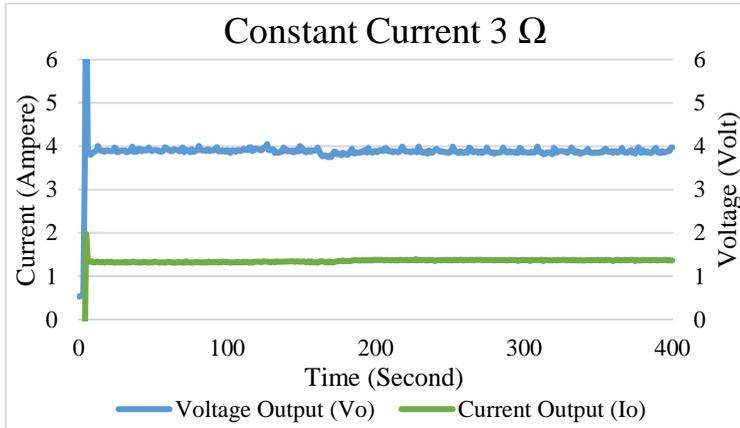
Gambar 4.8 Grafik Efisiensi Konverter

4.4 Pengujian *Constant Current Constant Voltage*

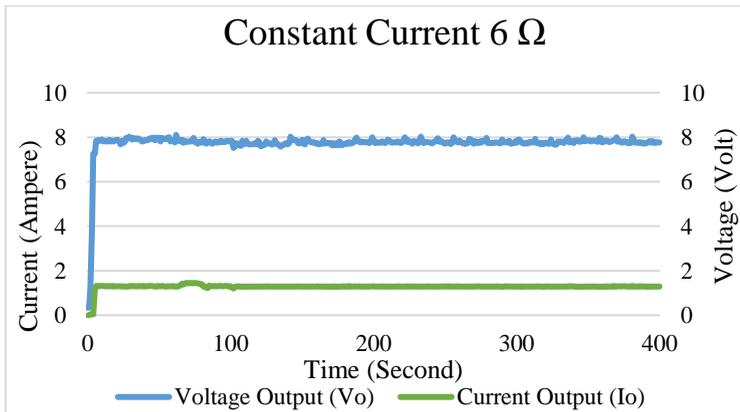
Setelah melakukan pengujian konverter dan didapatkan bahwa *DC-DC Buck Boost Converter* dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan, maka dilakukan tahap selanjutnya yaitu pengujian kontrol *Constant Current Constant Voltage*. Pengujian kontrol *constant current constant voltage* dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah konverter *Buck Boost* dapat menjaga arus dan tegangan konstan sesuai dengan desain dan simulasi. Pengujian ini juga dilakukan untuk mengetahui apakah algoritma peralihan dari kontrol *Constant Current* menuju ke kontrol *Constant Voltage* telah bekerja dengan baik atau tidak. Pengujian dilakukan dengan menggunakan beban Resistif variabel atau biasa disebut rheostat dengan nilai 25Ω 5 Ampere. Supaya dapat menghasilkan arus dan tegangan yang konstan, maka konverter *Buck Boost* harus dalam keadaan *closed loop* dengan menggunakan mikrokontroler. Pengujian-pengujian kontrol *Constant Current Constant Voltage* pada konverter beserta analisisnya akan dibahas pada sub bab berikut.

4.4.1 Pengujian Constant Current Beban R

Pengujian *Constant Current* dilakukan dengan mengatur nilai setpoint arus sebesar 1,3 Ampere. Untuk mengetahui kontrol *Constant Current* pada konverter sudah bekerja sesuai simulasi, maka pengujian dilakukan dua kali dengan nilai beban R yang berbeda yaitu 3 Ω dan 6 Ω .



(a)



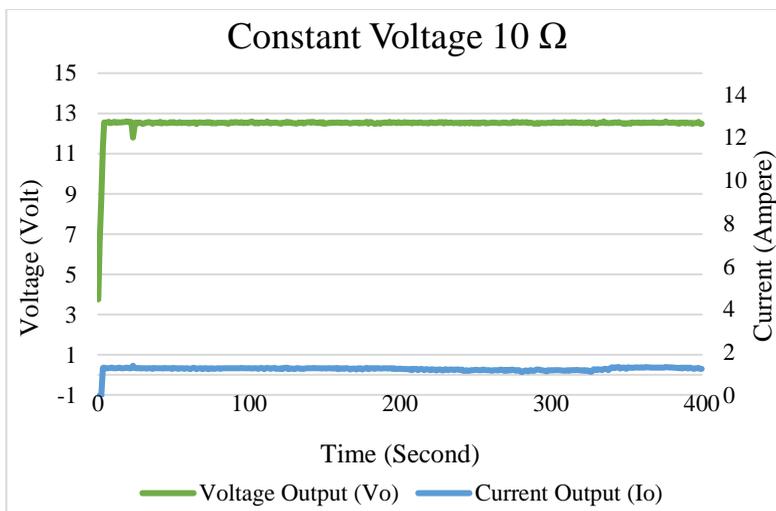
(b)

Gambar 4.9 Kurva Pengujian *Constant Current* Beban 3 Ω (a) dan Beban 6 Ω (b)

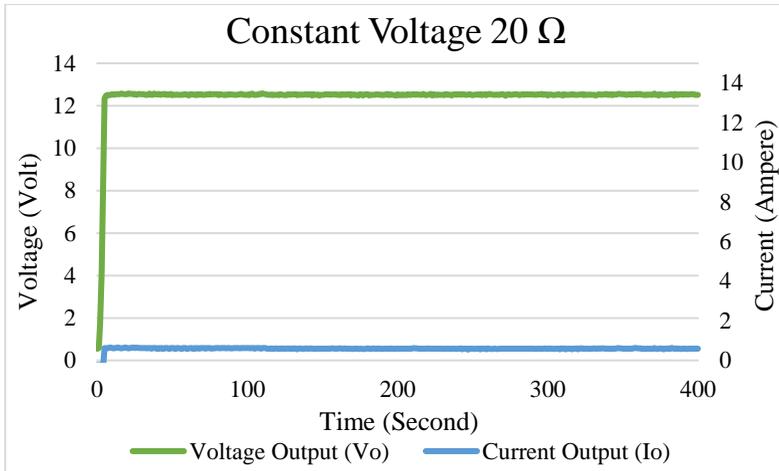
Gambar 4.9 merupakan kurva hasil pengujian kontrol *Constant Current* pada konverter *Buck Boost* dengan beban 3Ω dan 6Ω . Berdasarkan data pengujian yang telah didapat, dapat dilihat pada gambar 4.9 kontrol *Constant Current* telah bekerja sesuai dengan simulasi yang telah dilakukan. Pada kontrol *Constant Current* terlihat bahwa konverter mampu mempertahankan arus *output* sebesar 1,3 Ampere sesuai dengan setpoint yang telah ditetapkan. Respon tegangan output yang timbul pada beban 3Ω adalah 3,9 Volt, sementara respon tegangan output yang timbul pada beban 6Ω adalah 7,8 Volt. Terlihat bahwa arus *output* mengalami osilasi pada nilai yang telah ditentukan. Ini membuktikan bahwa kontrol *Constant Current* telah bekerja dengan cara memvariasikan *duty cycle* dengan melihat *feedback* yang diterima dari sensor arus. Algoritma ini juga diterapkan pada kontrol *Constant Voltage*.

4.4.2 Pengujian Constant Voltage Beban R

Pengujian *Constant Voltage* hampir sama dengan pengujian *Constant Current* yaitu dilakukan dengan mengatur nilai setpoint tegangan sebesar 12,6 Volt. Untuk mengetahui kontrol *Constant Voltage* pada konverter sudah bekerja sesuai simulasi, maka pengujian dilakukan dua kali dengan nilai beban R yang berbeda yaitu 10Ω dan 20Ω .



(a)



(b)

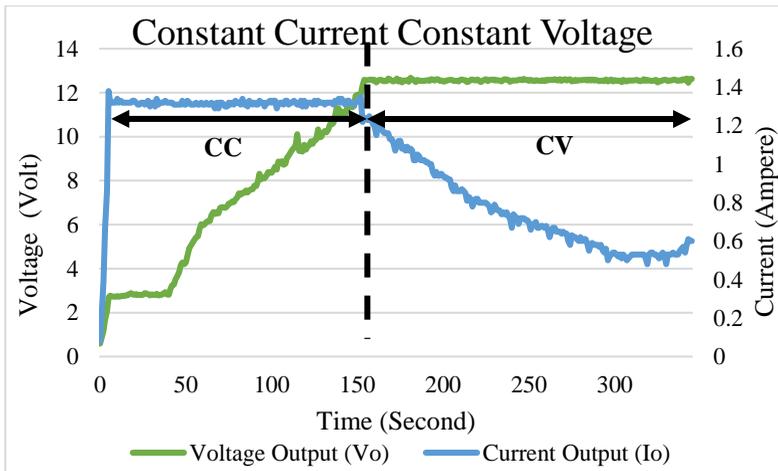
Gambar 4.10 Kurva Pengujian *Constant Voltage* Beban 10 Ω (a) dan Beban 20 Ω (b)

Gambar 4.10 merupakan kurva hasil pengujian kontrol *Constant Voltage* pada konverter *Buck Boost* dengan beban 10 Ω dan 20 Ω . Berdasarkan data pengujian yang telah didapat, dapat dilihat pada gambar 4.10 kontrol *Constant Voltage* telah bekerja sesuai dengan simulasi yang telah dilakukan. Pada kontrol *Constant Voltage* terlihat bahwa konverter mampu mempertahankan tegangan *output* sebesar 12,6 Volt sesuai dengan setpoint yang telah ditetapkan. Respon arus output yang timbul pada beban 10 Ω adalah 1,26 Ampere, sementara respon tegangan output yang timbul pada beban 20 Ω adalah 0,63 Ampere. Terlihat bahwa tegangan *output* mengalami osilasi pada nilai yang telah ditentukan. Ini membuktikan bahwa kontrol *Constant Voltage* telah bekerja dengan cara memvariasikan *duty cycle* dengan melihat *feedback* yang diterima dari sensor tegangan.

4.4.3 Pengujian *Constant Current Constant Voltage* Beban R

Pengujian *Constant Current Constant Voltage* merupakan penggabungan dari 2 pengujian pada sub bab sebelumnya yaitu dilakukan dengan mengatur nilai setpoint tegangan sebesar 12,6 Volt dan nilai setpoint arus sebesar 1,3 Ampere. Pengujian ini juga dilakukan untuk

mengetahui apakah algoritma peralihan dari kontrol *Constant Current* menuju ke kontrol *Constant Voltage* telah bekerja dengan baik atau tidak. Untuk mengetahui kontrol *Constant Current Constant Voltage* pada konverter sudah bekerja sesuai simulasi, maka pengujian dilakukan dengan mengatur agar konverter bekerja pada kontrol *Constant Current* untuk pertama. Lalu secara perlahan rheostat digeser untuk menaikkan resistansinya agar respon tegangan output dapat naik. Setelah itu akan diamati apakah pada tegangan setpoint, kontrol dapat beralih ke *Constant Voltage*.



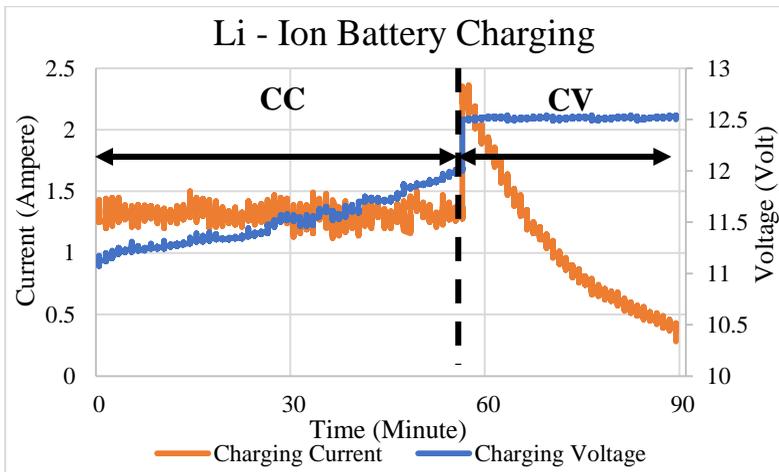
Gambar 4.11 Kurva Pengujian *Constant Current Constant Voltage*

Gambar 4.11 merupakan kurva hasil pengujian kontrol *Constant Current Constant Voltage* pada konverter *Buck Boost*. Berdasarkan data pengujian yang telah didapat, dapat dilihat pada gambar 4.11 kontrol *Constant Current Constant Voltage* telah bekerja sesuai dengan simulasi yang telah dilakukan. Pada kontrol *Constant Current Constant Voltage* terlihat bahwa konverter berada pada kontrol *Constant Current* dan mampu mempertahankan arus *output* sebesar 1,3 Ampere sesuai dengan setpoint yang telah ditetapkan pada kondisi awal. Seiring dengan dinaikkannya resistansi dari beban, maka terlihat bahwa respon tegangan yang timbul adalah secara perlahan naik. Ketika tegangan telah mencapai batas tegangan yang ditentukan yaitu 12,6 Volt, maka kontrol akan beralih ke *Constant Voltage* dan akan mempertahankan tegangan *output* sebesar

12,6 Volt. Ketika beban terus dinaikkan resistansinya, maka respon arus akan terus menerus menurun secara perlahan.

4.5 Pengujian Charging Baterai Lithium Ion

Pengujian charging baterai lithium ion dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kemampuan konverter dalam melakukan proses pengisian daya baterai dengan menggunakan kontrol *close loop Constant Current Constant Voltage*. Baterai yang digunakan adalah *Lithium-Ion* sejumlah tiga sel dengan kapasitas 2600 mAh yang dirangkai secara seri. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan baterai ke *output* konverter. Pada saat *Constant Current* setpoint arus diatur pada nilai 1,3 Ampere, sedangkan saat *Constant Voltage* setpoint tegangan diatur pada nilai 12,6 Volt. Konverter akan bekerja pada kontrol *Constant Current* terlebih dahulu. Respon tegangan baterai akan naik seiring dengan berjalannya waktu pada saat mode ini. Setelah itu akan konverter akan berpindah ke kontrol *Constant Voltage* pada saat tegangan baterai telah mencapai *threshold voltage* yang diinginkan. Proses ini akan berjalan hingga konverter mencapai arus cut – off baterai yang diatur sesuai dengan datasheet pada baterai yaitu 130 mA.



Gambar 4.12 Kurva Pengujian Charging Baterai Lithium Ion

Gambar 4.12 adalah grafik hasil dari proses charging baterai Lithium Ion. Pada saat awal pengujian, tegangan antar sel baterai diukur

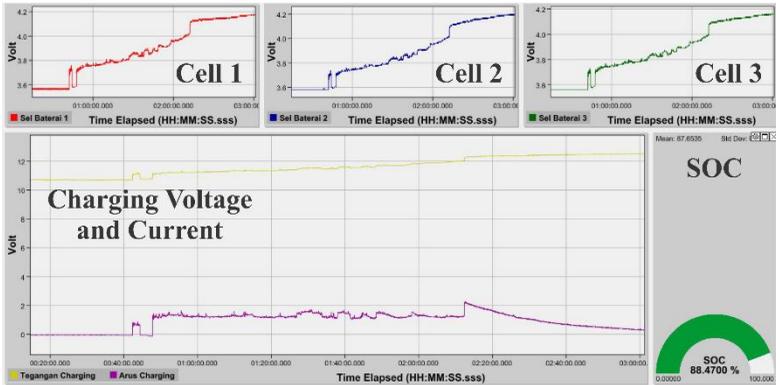
sebelum dilakukan proses charging dan diapatkan semua sel dalam keadaan seimbang dengan tegangan 3.6 Volt. Lalu baterai Lithium – Ion dihubungkan pada output konverter *Buck Boost*. Pada saat awal proses *charging*, tegangan pada *output* konverter melonjak menjadi 11,07 Volt. Hal ini merupakan respon awal dari baterai karena untuk dapat mengalirkan arus ke baterai, harus terdapat perbedaan tegangan antara konverter dan baterai. Setelah arus berhasil mengalir menuju baterai, maka arus dijaga kontan pada level 1,3 Ampere dengan kontrol *Constant Current*. Tegangan baterai Lithium Ion berangsur meningkat hingga tercapai tegangan *threshold* untuk beralih ke kontrol *Constant Voltage*. Mode *charging Constant Current* berlangsung selama 56 menit. Setelah itu beralih ke mode *Constant Voltage* dan tegangan dijaga kontan pada level 12,6 Volt. Respon arus charging saat peralihan menuju mode *Constant Voltage* adalah terjadi lonjakan dengan nilai 2,17 Ampere. Nilai arus akan berangsur turun hingga tercapai batas arus cut – off baterai yaitu 180 mA pada menit ke 89. Sehingga mode *Constant Voltage* berlangsung selama 33 menit.

Berdasarkan grafik diatas, mode *Constant Current* memiliki nilai *ripple* arus yang cukup besar. Ripple ini terjadi karena komponen ACS712 atau sensor arus dari konverter ini tidak stabil apabila digunakan pada waktu yang lama. Dapat terlihat pada kurva pada saat kondisi *Constant Current*, banyak terdapat spike arus yang diakibatkan oleh tidak stabilnya ACS712. Nilai pembacaan arus menjadi tergeser dengan sendirinya walaupun kalibrasi yang telah dilakukan diawal pemakaian. Hal ini menyebabkan terjadinya kesalahan pembacaan feedback arus yang dilakukan oleh mikrokontroller dan menyebabkan banyak lonjakan arus pada saat proses *Constant Current*. Hal ini tidak ditemukan pada saat mode *Constant Voltage* terbukti dengan kurva yang memiliki ripple yang baik.

4.6 Pengujian Sistem *Real Time Monitoring*

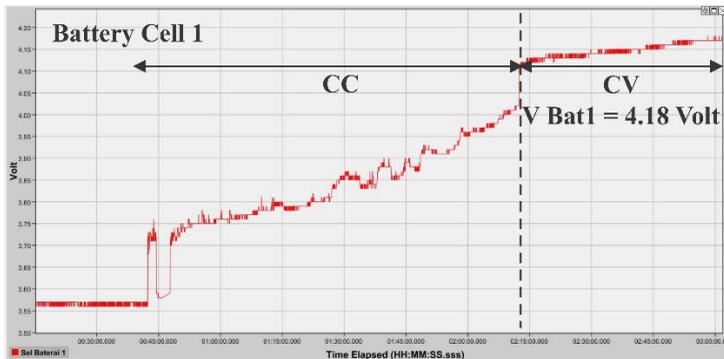
Disaat melakukan pengujian charging baterai Lithium Ion dan didapatkan bahwa *DC-DC Buck Boost Converter* dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan, maka secara bersamaan juga dilakukan tahap pengujian sistem *Real Time Monitoring*. Pengujian sistem *Real Time Monitoring* dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah sistem ini dapat menampilkan parameter dari baterai Lithium Ion saat sedang menjalani proses pengisian daya. Gambar 4.13 merupakan tampilan

keseluruhan dari Sistem *Real Time Monitoring*. Pengujian-pengujian *sistem Real Time Monitoring* beserta analisisnya akan dibahas pada sub bab berikut.

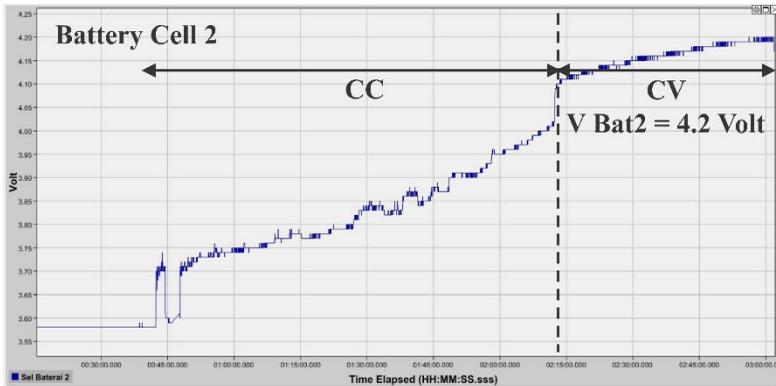


Gambar 4.13 Tampilan Sistem Real Time Monitoring

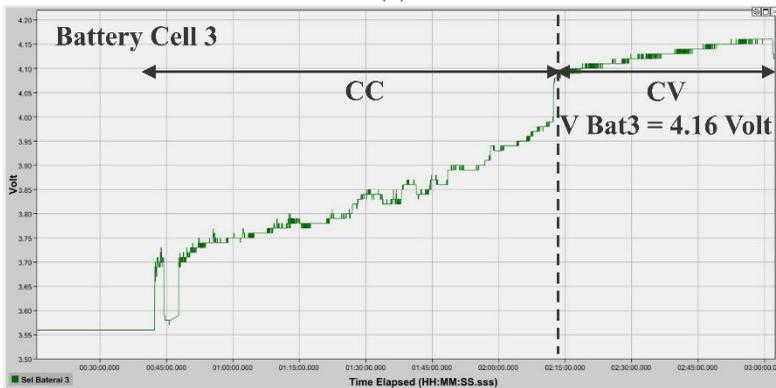
Gambar 4.14 merupakan tampilan kurva tegangan antar sel baterai Lithium Ion saat proses *charging* berlangsung. Dapat dilihat bahwa ketiga baterai tegangannya berawal dari 3,6 Volt dan berangsur naik ke tegangan 4,2. Ketiga baterai mengalami proses yang serupa yaitu pertama dengan *Constant Current* lalu dilanjutkan dengan *Constant Voltage* saat telah mencapai tegangan *threshold*. Kurva tegangan antar sel baterai ini akan ter-*update* setiap detik dan dapat di monitor secara *real time*. Kurva dibawah ini merupakan kurva keseluruhan setelah proses *charging* selesai.



(a)



(b)



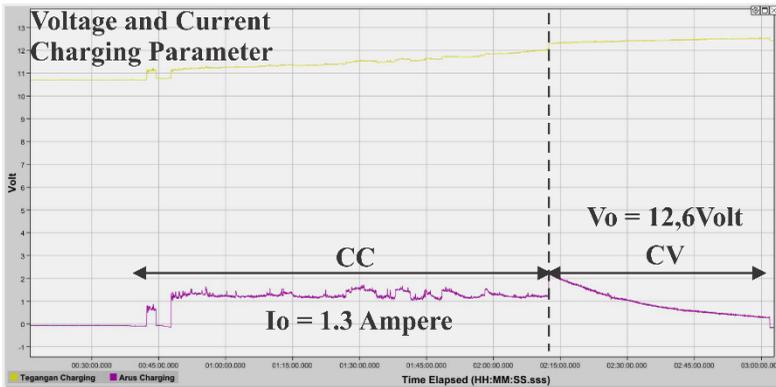
(c)

Gambar 4.14 Kurva Tegangan Sel Baterai Pertama (a), Kedua (b) dan Ketiga (c)

Gambar 4.15 merupakan tampilan kurva charging baterai lithium ion. Tampilan kurva ini berisikan parameter tegangan dan arus saat proses charging baterai Lithium Ion. Kurva ini akan ter - *update* setiap detik sehingga pengguna dapat memonitor secara *real time*. Kurva dibawah ini merupakan kurva keseluruhan setelah proses *charging* selesai.

State of Charge dari baterai Lithium Ion dapat dilihat pada gambar 4.16. *State of Charge* adalah tingkat energi yang tersimpan dalam baterai relatif terhadap kapasitasnya. Unit dari *State of Charge* adalah poin presentase (0% = kosong; 100% = penuh). *State of Charge* dari baterai

akan terus meningkat seiring dengan semakin lama proses charging dari baterai.



Gambar 4.15 Kurva Charging Baterai Lithium Ion



Gambar 4.16 State of Charge Baterai saat Proses Charging

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi, implementasi dan pengujian dari *Real Time Monitoring charger* baterai Lithium Ion menggunakan metode *Constant Current Constant Voltage* dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dalam pengujian konverter *Buck Boost* terdapat perbedaan nilai pada parameter sinyal komponen antara hasil simulasi dan hasil implementasi dengan rata-rata error sebesar 4,67 %, hal ini dikarenakan penggunaan komponen yang tidak ideal pada proses implementasi.
2. Implementasi DC - DC *Buck Boost Converter* pada penelitian ini dapat bekerja sesuai desain dengan efisiensi rata-rata pada pembebanan 10% sampai 100% adalah 88,2%.
3. Implementasi kontrol *Constant Current Constant Voltage* untuk mengatur *duty cycle* dapat menghasilkan arus dan tegangan *charging* yang konstan yaitu untuk parameter arus adalah 1,3 Ampere dan untuk parameter tegangan adalah 12,6 Volt.
4. Pada pengujian *charging* baterai Lithium Ion didapatkan bahwa keseluruhan proses *charging* membutuhkan waktu selama 89 menit dengan rician 56 menit pada mode *Constant Current* dan 33 menit pada mode *Constant Voltage* dengan arus cut – off sebesar 180 mA.
5. Sistem *Real Time Monitoring* dapat menampilkan parameter dari baterai Lithium Ion seperti tegangan dan arus *charging*, tegangan antar sel dan State of Charge saat sedang menjalani proses pengisian daya dan akan ter - *update* setiap detik sehingga pengguna dapat memonitor secara *real time*.
6. Metode *Constant Current Constant Voltage* cocok untuk digunakan dalam proses pengisian daya baterai Lithium Ion karena memiliki reabilitas tinggi dalam menjaga tegangan dan arus *charging* baterai secara konstan.

5.2 Saran

Saran yang diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah :

1. Dalam implementasi induktor untuk konverter diperlukan pemilihan kawat induktor yang memiliki resistansi yang rendah, perhitungan dan pemilihan inti induktor dengan batas saturasi yang tinggi karena sebagian besar rugi pada konverter DC-DC ada pada induktor.
2. Menggunakan sensor arus yang memiliki tingkat akurasi dan kestabilan yang lebih baik dari ACS712 seperti contohnya menggunakan *current shunt*. Karena tingkat keakurasian sensor arus berpengaruh besar pada proses charging Lithium Ion terutama saat mode *Constant Current*.
3. Selalu memperhatikan *common grounding* yang ada baik dalam rangkaian maupun saat pengujian. Menggunakan *isolated grounded* akan sangat membantu untuk menghindari *short circuit* pada rangkaian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L.-R. Dung, C.-E. Chen, dan H.-F. Yuan, "A robust, intelligent CC-CV fast charger for aging lithium batteries," dalam *2016 IEEE 25th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, Santa Clara, CA, USA, Jun 2016, hlm. 268–273, doi: 10.1109/ISIE.2016.7744901.
- [2] N. K. Raghavendra dan K. Padmavathi, "Solar Charge Controller for Lithium-Ion Battery," dalam *2018 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)*, Chennai, India, Des 2018, hlm. 1–5, doi: 10.1109/PEDES.2018.8707743.
- [3] A. L. Eshkevari dan M. Zare, "Quasi-resonant switch-mode isolated lithium-ion battery charger with CC-CV modes of operations using secondary side controller," dalam *2017 Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE)*, Tehran, Iran, Mei 2017, hlm. 1101–1106, doi: 10.1109/IranianCEE.2017.7985205.
- [4] Chia-Hsiang Lin, Chun-Yu Hsieh, dan Ke-Horng Chen, "A Li-Ion Battery Charger With Smooth Control Circuit and Built-In Resistance Compensator for Achieving Stable and Fast Charging," *IEEE Trans. Circuits Syst. I*, vol. 57, no. 2, hlm. 506–517, Feb 2010, doi: 10.1109/TCSI.2009.2023830.
- [5] S.-Y. Tseng, T.-C. Shih, S.-Y. Fan, dan G.-K. Chang, "Design and implementation of lithium-ion/lithium-polymer battery charger with impedance compensation," dalam *2009 International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS)*, Taipei, Nov 2009, hlm. 866–870, doi: 10.1109/PEDS.2009.5385827.
- [6] P. P. Surya, D. Irawan, dan M. Zuhri, "Review and comparison Of DC-DC converters for maximum power point tracking system in standalone photovoltaic (PV) module," dalam *2017 International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture, and Industrial Automation (ICAMIMIA)*, Surabaya, Okt 2017, hlm. 242–247, doi: 10.1109/ICAMIMIA.2017.8387595.
- [7] M. Thowil Afif dan I. Ayu Putri Pratiwi, "Analisis Perbandingan Baterai Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid dan Nickel-Metal Hydride pada Penggunaan Mobil Listrik - Review," *JRM*, vol. 6, no. 2, hlm. 95–99, Agu 2015, doi: 10.21776/ub.jrm.2015.006.02.1.
- [8] Junjun Deng, Siqi Li, Sideng Hu, C. C. Mi, dan Ruiqing Ma, "Design Methodology of LLC Resonant Converters for Electric Vehicle

- Battery Chargers,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 63, no. 4, hlm. 1581–1592, Mei 2014, doi: 10.1109/TVT.2013.2287379.
- [9] V. L. Teofilo, L. V. Merritt, dan P. Hollandsworth, “ADVANCED LITHIUM ION BAITERY CHARGER,” hlm. 5.
- [10] M. H. Rashid, Ed., *Power electronics handbook: devices, circuits, and applications*, 3 ed. Amsterdam: Elsevier/BH, Butterworth-Heinemann, 2011.
- [11] M. Ashari, *Desain Rangkaian Elektronika Daya*. Bandung: INFORMATIKA, 2017.
- [12] A. Komarudin, “DESAIN DAN ANALISIS PROPORSIONAL KONTROL BUCK-BOOST CONVERTER PADA SISTEM PHOTOVOLTAIK,” vol. 12, no. 02, hlm. 12, 2014.
- [13] A. A. Hussein, A. A. Fardoun, dan S. S. Stephen, “An on-line tracking algorithm for Li-ion batteries’ optimal charging frequency,” dalam *2015 IEEE Power & Energy Society General Meeting*, Denver, CO, USA, Jul 2015, hlm. 1–5, doi: 10.1109/PESGM.2015.7285692.
- [14] N. Omar *dkk.*, “Rechargeable Energy Storage Systems for Plug-in Hybrid Electric Vehicles—Assessment of Electrical Characteristics,” *Energies*, vol. 5, no. 8, hlm. 2952–2988, Agu 2012, doi: 10.3390/en5082952.
- [15] A. B. Khan dan W. Choi, “Optimal Charge Pattern for the High-Performance Multistage Constant Current Charge Method for the Li-Ion Batteries,” *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 33, no. 3, hlm. 1132–1140, Sep 2018, doi: 10.1109/TEC.2018.2801381.
- [16] M. Mustar, “Implementasi Sistem Monitoring Deteksi Hujan dan Suhu Berbasis Sensor Secara Real Time,” *JURNAL ILMIAH SEMESTA TEKNIKA*, vol. 20, no. 1, hlm. 20–28, Mei 2017.

LAMPIRAN

1. Tabel Kawat Tembaga AWG

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

2. Program *Charger* Baterai Lithium Ion

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
int pwm = 9;
int potinputtegangan = A0 ;
int potinputarus = A1;
const int feedbacktegangan = A3;
const int feedbackarus = A2;
int pwmval;
int feedbackteganganval;
int feedbackarusval;
int potinputteganganval;
int potinputarusval;
float VoltageSet = 0;
float ArusSet = 0;
int RawValueArus= 0;
int RawValueTegangan = 0;
int mVperAmp = 66;
int ACSoffset = 2500;
double VoltageACS = 0;
double CurrentOut = 0;
double VoltageOut = 0;
float IsamplingOut = 0;
float VsamplingOut = 0;
float IavgOut = 0;
float VavgOut = 0;
float VoltageTresholdAwal = 0;
float VoltageTresholdAkhir = 0;
float CurrentTreshold = 0;
float VoltageOutCC = 0;
float CurrentOutCC = 0;
float VoltageOutCV = 0;
float CurrentOutCV = 0;
long durasiLCD;
long jedaLCD = 500;
bool flag;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
```

```

void setup()
{
  Serial.begin (9600);
  lcd.begin();
  lcd.backlight();
  TCCR1B = TCCR1B & B11111000 | B00000001;
  pinMode(pwm, OUTPUT);
  pinMode(potinputtegangan, INPUT);
  pinMode(feedbacktegangan, INPUT);
  pinMode(feedbackarus, INPUT);
  digitalWrite(pwm, LOW);
  pwmval = 0;
}
void loop()
{
  BacaTeganganAwal ();
  while (VoltageTresholdAwal < 4.2)
  {
    ModeCC ();
    BacaTeganganAwal ();
  }
  BacaArus ();
  while (CurrentTreshold > 0.2)
  {
    ModeCV ();
    BacaArus ();
  }
  BacaArus();
  while (CurrentTreshold < 0.2)
  {
    ModeBateraiPenuh ();
    pwmval = 0;
    analogWrite (pwm,pwmval);
  }
}
void ConstantVoltage()
{
  potinputteganganval = analogRead(potinputtegangan);
  potinputteganganval = map(potinputteganganval, 1023, 0, 255, 0);
}

```

```

feedbackteganganval = analogRead(feedbacktegangan);
feedbackteganganval = map(feedbackteganganval, 1023, 0, 255, 0);
//Iterasi Penambahan Duty Cycle
while (potinputteganganval > feedbackteganganval)
{
  if (pwmval == 230)
  {
    potinputteganganval = analogRead(potinputtegangan);
    potinputteganganval = map(potinputteganganval, 1023, 0, 255, 0);
    feedbackteganganval = analogRead(feedbacktegangan);
    feedbackteganganval = map(feedbackteganganval, 1023, 0, 255, 0);
  }
  else
  {
    pwmval = pwmval + 1;
    analogWrite(pwm, pwmval);
    potinputteganganval = analogRead(potinputtegangan);
    potinputteganganval = map(potinputteganganval, 1023, 0, 255, 0);
    feedbackteganganval = analogRead(feedbacktegangan);
    feedbackteganganval = map(feedbackteganganval, 1023, 0, 255, 0);
  }
}
//Iterasi Pengurangan Duty Cycle
while (potinputteganganval < feedbackteganganval)
{
  if (pwmval == 0)
  {
    potinputteganganval = analogRead(potinputtegangan);
    potinputteganganval = map(potinputteganganval, 1023, 0, 255, 0);
    feedbackteganganval = analogRead(feedbacktegangan);
    feedbackteganganval = map(feedbackteganganval, 1023, 0, 255, 0);
  }
  else
  {
    pwmval = pwmval - 1;
    analogWrite(pwm, pwmval);
    potinputteganganval = analogRead(potinputtegangan);
    potinputteganganval = map(potinputteganganval, 1023, 0, 255, 0);
    feedbackteganganval = analogRead(feedbacktegangan);
  }
}

```

```

    feedbackteganganval = map(feedbackteganganval, 1023, 0, 255, 0);
  }
}
}
void ConstantCurrent()
{
  potinputarusval = analogRead(potinputarus);
  potinputarusval = map(potinputarusval, 1023, 0, 255, 0);
  feedbackarusval = analogRead(feedbackarus)-73;
  feedbackarusval = map(feedbackarusval, 1023, 511, 255, 0);
  while (potinputarusval > feedbackarusval)
  {
    if (pwmval == 230)
    {
      LCDCC ();
      potinputarusval = analogRead(potinputarus);
      potinputarusval = map(potinputarusval, 1023, 0, 255, 0);
      feedbackarusval = analogRead(feedbackarus)-73;
      feedbackarusval = map(feedbackarusval, 1023, 511, 255, 0);
    }
    else
    {
      pwmval = pwmval + 1;
      analogWrite(pwm, pwmval);
      potinputarusval = analogRead(potinputarus);
      potinputarusval = map(potinputarusval, 1023, 0, 255, 0);
      feedbackarusval = analogRead(feedbackarus)-73;
      feedbackarusval = map(feedbackarusval, 1023, 511, 255, 0);
    }
  }
  while (potinputarusval < feedbackarusval)
  {
    if (pwmval == 0)
    {
      potinputarusval = analogRead(potinputarus);
      potinputarusval = map(potinputarusval, 1023, 0, 255, 0);
      feedbackarusval = analogRead(feedbackarus)-73;
      feedbackarusval = map(feedbackarusval, 1023, 511, 255, 0);
    }
  }
}

```

```

else
{
    pwmval = pwmval - 1;
    analogWrite(pwm, pwmval);
    potinputarusval = analogRead(potinputarus);
    potinputarusval = map(potinputarusval, 1023, 0, 255, 0);
    feedbackarusval = analogRead(feedbackarus)-73;
    feedbackarusval = map(feedbackarusval, 1023, 511, 255, 0);
}
}
}
void LCDCV ()
{
    IsamplingOut = 0;
    VsamplingOut = 0;
    for(int x = 0; x < 1000; x++)
    {
        RawValueArus = analogRead (feedbackarus)-74;
        RawValueTegangan = analogRead (feedbacktegangang);
        IsamplingOut = IsamplingOut + RawValueArus;
        VsamplingOut = VsamplingOut + RawValueTegangan;
    }
    IavgOut = IsamplingOut/1000;
    VavgOut = VsamplingOut/1000;
    VoltageSet = (potinputtegangangval*46.5/255.0);
    VoltageOutCV = (VavgOut*46.5/1023.0);
    VoltageACS = (IavgOut / 1023.0) * 5000; // Gets you mV
    CurrentOutCV = ((VoltageACS - ACSoffset) / mVperAmp);
    Serial.print ( "Tegangan Setpoin = ");
    Serial.println (VoltageSet);
    Serial.print ( "Arus Output = ");
    Serial.println (CurrentOutCV);
    Serial.print ( "Tegangan Output = ");
    Serial.println (VoltageOutCV);
    lcd.clear();
    lcd.print("Voltage = ");
    lcd.print(VoltageOutCV);
    lcd.setCursor (0,1);
    lcd.print("Current = ");

```

```

    lcd.print(CurrentOutCV);
}
void LCDCC ()
{
    IsamplingOut = 0;
    VsamplingOut = 0;
    for(int x = 0; x < 1000; x++)
    {
        RawValueArus = analogRead (feedbackarus)-73;
        RawValueTegangan = analogRead (feedbacktegangan);
        IsamplingOut = IsamplingOut + RawValueArus;
        VsamplingOut = VsamplingOut + RawValueTegangan;
    }
    IavgOut = IsamplingOut/1000;
    VavgOut = VsamplingOut/1000;
    ArusSet = (potinputarusval*30/255.0);
    VoltageOutCC = (VavgOut*46.5/1023.0);
    VoltageACS = (IavgOut / 1023.0) * 5000; // Gets you mV
    CurrentOutCC = ((VoltageACS - ACSoffset) / mVperAmp);
    Serial.print ( "Arus Setpoin = ");
    Serial.println (ArusSet);
    Serial.print ( "Arus Output = ");
    Serial.println (CurrentOutCC);
    Serial.print ( "Tegangan Output = ");
    Serial.println (VoltageOutCC);
    lcd.clear();
    lcd.print("Voltage = ");
    lcd.print(VoltageOutCC);
    lcd.setCursor (0,1);
    lcd.print("Current = ");
    lcd.print(CurrentOutCC);
}
void ModeCC ()
{
    ConstantCurrent ();
    if ( millis() - durasiLCD > jedaLCD)
    {
        LCDCC ();
        durasiLCD = millis();
    }
}

```

```

    }
}
void ModeCV ()
{
    ConstantVoltage ();
    if ( millis() - durasiLCD >= jedaLCD)
    {
        LCDCV ();
        durasiLCD = millis();
    }
}
void BacaTeganganAwal ()
{
    VsamplingOut = 0;
    for(int x = 0; x < 1000; x++)
    {
        RawValueTegangan = analogRead (feedbacktegangan);
        VsamplingOut = VsamplingOut + RawValueTegangan;
    }
    VavgOut = VsamplingOut/1000;
    VoltageTresholdAwal = (VavgOut*46.5/1023.0);
}
void BacaTeganganAkhir ()
{
    VsamplingOut = 0;
    for(int x = 0; x < 1000; x++)
    {
        RawValueTegangan = analogRead (feedbacktegangan);
        VsamplingOut = VsamplingOut + RawValueTegangan;
    }
    VavgOut = VsamplingOut/1000;
    VoltageTresholdAkhir = (VavgOut*46.5/1023.0);
}
void BacaArus ()
{
    IsamplingOut = 0;

    for(int x = 0; x < 1000; x++)
    {

```

```

    RawValueArus = analogRead (feedbackarus)-73;
    IsamplingOut = IsamplingOut + RawValueArus;
}
IavgOut = IsamplingOut/1000;
VoltageACS = (IavgOut / 1023.0) * 5000; // Gets you mV
CurrentTreshold = ((VoltageACS - ACSoffset) / mVperAmp);
}
void ModeBateraiPenuh ()
{
    lcd.clear();
    lcd.print("Baterai Penuh!");
    lcd.setCursor (0,1);
    lcd.print("Dipakai Kooy!");
    delay (2000);
}

```

3. Program Telemetry Real Time Monitoring

```
int Baterai1 = A0 ;
int Baterai2 = A1;
int Baterai3 = A2;
int ArusCharge = A3;
int RawValueArus= 0;
int RawValueTegangan1 = 0;
int RawValueTegangan2 = 0;
int RawValueTegangan3 = 0;
int mVperAmp = 100;
int ACSoffset = 2500;
double VoltageACS = 0;
float VsamplingBat1 = 0;
float VsamplingBat2 = 0;
float VsamplingBat3 = 0;
float IsamplingArus = 0;
float IavgArus = 0;
float VavgBat1 = 0;
float VavgBat2 = 0;
float VavgBat3 = 0;
float VoltageBat1;
float VoltageBat2;
float VoltageBat3;
float NilaiBat1;
float NilaiBat2;
float NilaiBat3;
float Arus;
float NilaiArus;
int NilaiBat1Bin;
int NilaiBat2Bin;
int NilaiBat3Bin;
float SOC;
float NilaiTegangan;
void setup()
{
  Serial.begin (57600);
  pinMode(Baterai1, INPUT);
  pinMode(Baterai2, INPUT);
```

```

pinMode(Baterai3, INPUT);
pinMode(ArusCharge, INPUT);
}
void loop()
{
BacaParameter();
while (VoltageBat1 < 12.6)
{
NilaiBat1 = VoltageBat1 - VoltageBat2;
NilaiBat2 = VoltageBat2 - VoltageBat3;
NilaiBat3 = VoltageBat3;
SOC = ((VoltageBat1 - 8.25) / 4.35) * 90;
Serial.print (NilaiBat1);
Serial.print (" ");
Serial.print (NilaiBat2);
Serial.print (" ");
Serial.print (NilaiBat3);
Serial.print (" ");
Serial.print (VoltageBat1);
Serial.print (" ");
Serial.print (Arus);
Serial.print (" ");
Serial.println (SOC);
delay (1000);
BacaParameter();
}
BacaParameter();
while (Arus > 0.13)
{
NilaiBat1 = VoltageBat1 - VoltageBat2;
NilaiBat2 = VoltageBat2 - VoltageBat3;
NilaiBat3 = VoltageBat3;
SOC = 90 + (((1.3 - Arus) / 1.17) * 10);
Serial.print (NilaiBat1);
Serial.print (" ");
Serial.print (NilaiBat2);
Serial.print (" ");
Serial.print (NilaiBat3);
Serial.print (" ");
}
}

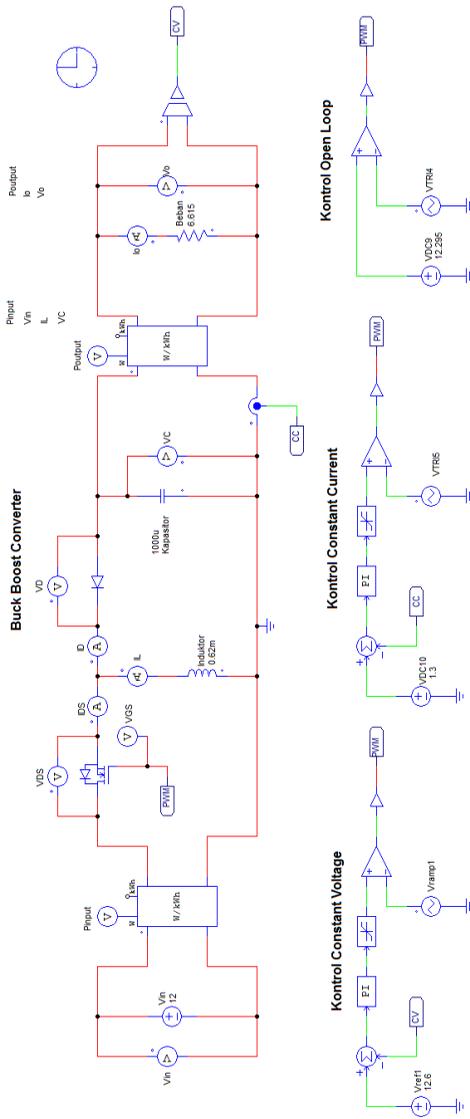
```

```

Serial.print (VoltageBat1);
Serial.print (" ");
Serial.print (Arus);
Serial.print (" ");
Serial.println (SOC);
delay (1000);
BacaParameter();
}
NilaiBat1Bin = RawValueTegangan1 - RawValueTegangan2;
NilaiBat2Bin = RawValueTegangan2 - RawValueTegangan3;
NilaiBat3Bin = RawValueTegangan3;
}
void BacaParameter ()
{
  VsamplingBat1 = 0;
  VsamplingBat2 = 0;
  VsamplingBat3 = 0;
  IsamplingArus = 0;
  for(int x = 0; x < 1000; x++)
  {
    RawValueTegangan1 = analogRead (Baterai1);
    RawValueTegangan2 = analogRead (Baterai2);
    RawValueTegangan3 = analogRead (Baterai3);
    RawValueArus = analogRead (ArusCharge)+82;
    VsamplingBat1 = VsamplingBat1 + RawValueTegangan1;
    VsamplingBat2 = VsamplingBat2 + RawValueTegangan2;
    VsamplingBat3 = VsamplingBat3 + RawValueTegangan3;
    IsamplingArus = IsamplingArus + RawValueArus;
  }
  VavgBat1 = VsamplingBat1/1000;
  VavgBat2 = VsamplingBat2/1000;
  VavgBat3 = VsamplingBat3/1000;
  IavgArus = IsamplingArus/1000;
  VoltageBat1 = (VavgBat1*22.75/1023.0);
  VoltageBat2 = (VavgBat2*23.17/1023.0);
  VoltageBat3 = (VavgBat3*22.6/1023.0);
  VoltageACS = (IavgArus / 1023.0) * 5000; // Gets you mV
  Arus = ((VoltageACS - ACSoffset) / mVperAmp);
}

```

4. Rangkaian Simulasi Konverter Buck Boost pada Software PSIM



Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis buku penelitian dengan judul “**Desain dan Implementasi *Real Time Monitoring Charger Baterai Lithium Ion Menggunakan Metode Constant Current Constant Voltage***” ini mempunyai nama lengkap Andhika Bagus Alvian dan biasa dipanggil Andhika atau Mayor. Penulis lahir di kota bandeng Sidoarjo pada tanggal 04 November 1997. Penulis hidup dan besar di Sidoarjo dan bertempat tinggal di Griya Kebonagung 1 Blok C3 nomor 17. Riwayat pendidikan penulis ialah SDN Anggaswangi 2, SMPN 1 Sidoarjo, SMAN 1 Sidoarjo. Saat ini penulis sedang menempuh pendidikan S1 di Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis memiliki pengalaman organisasi dan kepanitiaan yang cukup banyak diantaranya Kepala Departemen Riset dan Teknologi HIMATEKTRO ITS, Trainer Keilmiah ITS dan Asisten Laboratorium Konversi Energi Listrik.

Halaman ini sengaja dikosongkan