

PERANCANGAN DC-DC CONVERTER BERBASIS BUCK CONVERTER DENGAN MIKROKONTROLLER ARDUINO PADA PENGAPLIKASIAN BATTERY CHARGER

Noviardi Sudrajat¹, Kiki Kananda², Denny Hidayar Tri Nugroho³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro Institut Teknologi Sumatera, Indonesia

Email: noviardi.13116145@student.itera.ac.id, kiki.kananda@el.itera.ac.id, denny.nugroho@el.itera.ac.id

Abstrak— Di era modern saat ini, perkembangan kendaraan berbasis tenaga listrik mulai berkembang pesat di berbagai sektor sebagai sarana *alternatif*. Salah satunya kendaraan berbasis tenaga listrik yang dimiliki Institut Teknologi Sumatera yang memanfaatkan beberapa baterai sebagai sumber utamanya. Namun hambatan dalam pengisian baterai ini masih menjadi masalah utama dalam penggunaannya. Solusi untuk permasalahan ini ialah merancang sebuah sistem pengisian baterai yang mampu mengisi baterai keseluruhan secara sekaligus dengan menggunakan DC-DC Converter type buck converter sebagai penstabil tegangan dan arus keluaran ke masing-masing baterai. Sehingga sistem pengisian yang dirancang memanfaatkan sensor arus ACS712 dan sensor tegangan berupa *voltage divider* sebagai *feedback* untuk sinyal pwm arduino yang dihubungkan pada sisi input dan output dari DC-DC converter yang digunakan untuk sistem pengakuisisian data sensing ketika proses *charging*. Sistem yang dirancang dapat menghasilkan output tegangan 15 V pada *duty cycle* 40 % dengan beban resistif 7.5 Ω dan berhasil melakukan *charging* dengan sistem *limit current* untuk ke lima baterai menyesuaikan setpoint arus yang diinginkan.

Keywords— *Battery Charger, Buck Converter, ACS 712, Voltage Divider, Pulse Width Modulation, Duty Cycle.*

I. PENDAHULUAN

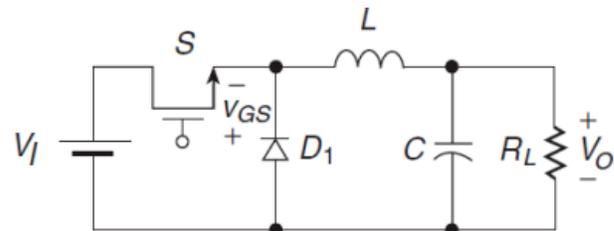
Pengembangan teknologi converter terutama pada type DC-DC converter mengalami pengembangan yang cukup signifikan dikarenakan aplikasinya yang sangat luas diantaranya pada bidang *renewable energy, electric vehicle, microgrid* dan lain lain.

Ada tiga tipe DC to DC converter yaitu, *boost converter (step up)*, *buck converter (step down)*, dan *buck-boost (step up dan step down)*. Untuk mendapatkan keluaran nilai tegangan yang lebih besar dari tegangan *supply* dapat menggunakan DC to DC converter tipe *boost converter*. Sedangkan *Buck converter* merupakan salah satu dari DC to DC converter yang mengkonversi tegangan DC ke tegangan DC yang lebih rendah. Untuk DC to DC converter tipe *buck-boost converter* dapat menaikkan maupun menurunkan tegangan sumber. Pada penelitian ini akan digunakan rangkaian DC to DC converter tipe *buck converter*.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Buck Converter

Buck converter adalah dc-dc converter jenis penurun tegangan atau *step down*. *Buck converter* mampu menghasilkan nilai tegangan output sama atau lebih rendah dari tegangan input-nya. *Buck converter* ini tersusun dari mosfet (*saklar aktif*) dan dioda (*saklar pasif*). *Saklar pasif* dapat diganti dengan aktif pada saat tegangan kerja yang rendah, sehingga dapat mengurangi susut daya yang terjadi ^[2].



Gambar 2.1 Rangkaian Buck Converter

Pada dasarnya prinsip kerja *buck converter* menggunakan *switch* yang bekerja dengan dua mode yaitu *switch ON* dan *switch OFF*. Adapun dikenal dengan istilah *Pulse Width Modulation* atau disingkat PWM. Pada PWM terdapat *duty cycle* yang bekerja mengendalikan kecepatan (*frekuensi*) kerja *switch* ^[2].

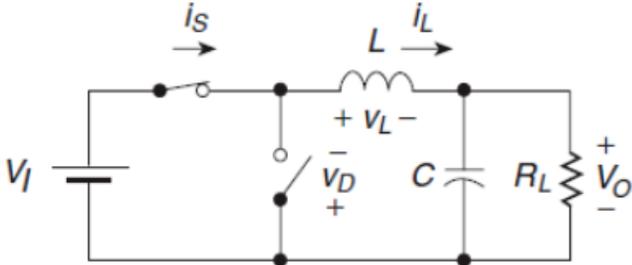
PWM merupakan suatu proses membangkitkan sinyal keluaran pada periode berulang antara *high* dan *low*, dimana pengaturan durasi dapat diatur sesuai yang dibutuhkan. Sedangkan *duty cycle* adalah representasi ketika kondisi *high* dalam periode sinyal yang dinyatakan dalam persen (%) dengan range 0-100% ^[2].

Kontrol *switching mosfet* dengan prinsip PWM untuk mode on dan off dengan frekuensi *switching* $f_s = 1/T$ dengan *duty cycle* sebagai berikut:

$$D = \frac{T_{ON}}{T} = \frac{T_{ON}}{T_{ON} + T_{OFF}} = f_s T_{ON}$$

- *Mode switch on*

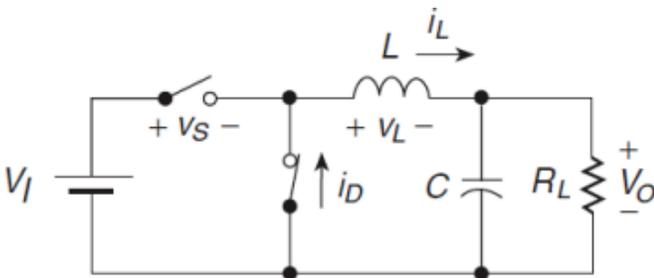
Ketika MOSFET on (tertutup) dan dioda off, arus mengalir dari sumber menuju ke induktor (pengisian induktor), disaring dengan kapasitor, lalu ke beban, kembali lagi ke sumber.



Gambar 2.2. Rangkaian Ekuivalen Buck dengan Mosfet ON diode off

- *Mode switch off*

Ketika mosfet off (terbuka) dan diode on arus akan mengalir melalui L, C, beban, dan diode maksimum. Arus induktor akan turun sampai transistor di on-kan kembali pada siklus berikutnya. Energi yang tersimpan pada induktor L dipindahkan ke beban^[2].

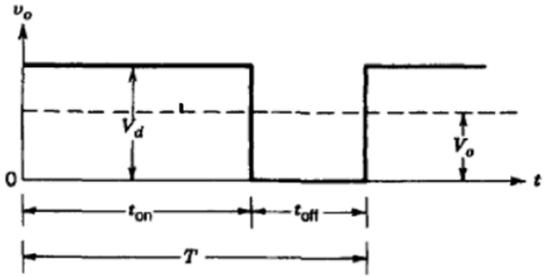


Gambar 2.3. Rangkaian Ekuivalen Buck dengan Mosfet OFF diode ON

2.2 Pulse Width Modulation (PWM)

Pulse Width Modulation (PWM) merupakan teknik memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan lebar pulsa (*duty cycle*) dalam satu periode yang digunakan pada proses *switching* pada *converter* untuk menghasilkan output tegangan yang bervariasi. (Mohan, 2003)^[2].

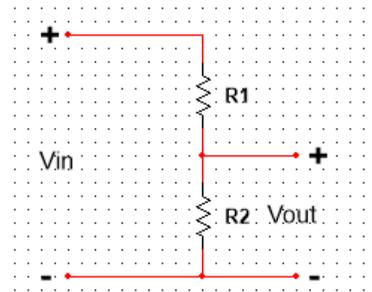
Satu siklus pulsa merupakan kondisi high kemudian berada di zona transisi ke kondisi low. Lebar pulsa PWM berbanding lurus dengan amplitude sinyal asli yang belum termodulasi. *Duty cycle* merupakan representasi dari kondisi logika high dalam suatu periode sinyal dan di nyatakan dalam bentuk (%) dengan range 0% sampai 100%, sebagai contoh jika sinyal berada dalam kondisi *high* terus menerus artinya memiliki *duty cycle* sebesar 100%. Jika waktu sinyal keadaan *high* sama dengan kondisi *low* maka sinyal mempunyai *duty cycle* sebesar 50%^[2].



Gambar 2.4. Sinyal PWM

2.3 Sensor Tegangan

Sensor tegangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebuah rangkaian pembagian tegangan. Rangkaian ini dapat mengurangi tegangan input hingga 5 kali dari tegangan asli. Tegangan analog input maksimum mikrokontroler yaitu 5 volt, sehingga sensor tegangan dapat diberikan masukan tidak melebihi 25 volt^[5]. Sensor tegangan dipasang secara parallel terhadap input maupun output dari *DC-DC Converter type buck converter* yang dirancang sehingga diperlukan sebanyak enam buah rangkaian pembagi tegangan secara keseluruhan. Sensor tegangan inipun dapat dijadikan landasan untuk menginisiasi kondisi baterai saat proses pengisian berlangsung dan dapat dijadikan parameter untuk sistem *cut-off* baterai. Gambar rangkaian pembagian tegangan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 2.5. Rangkaian pembagi tegangan

Pada dasarnya pembacaan sensor hanya dirubah dalam bentuk bilangan dari 0 sampai 1023. Karena chip Arduino memiliki 10 bit ADC. Untuk pembacaan luaran generator dapat dirumuskan seperti persamaan berikut:

$$Volt = \left(V_{out} \times \frac{5}{1023} \right) \times 5$$

V_{out} merupakan pembacaan pada analog read Arduino. Sensor tegangan ini dapat dimodifikasi sesuai kebutuhan pembacaan tegangan yang diinginkan. Dengan menggunakan persamaan berikut:

$$v_2 = R_2 i = R_2 \frac{v_1}{R_1 + R_2}$$

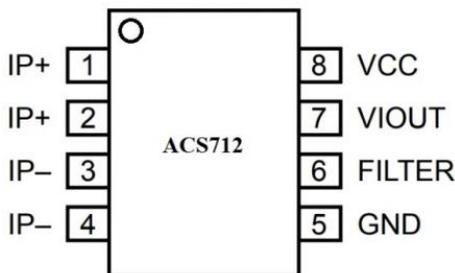
2.4 Sensor Arus

Sensor arus yang digunakan merupakan modul ACS712 untuk mendeteksi besar arus yang mengalir lewat blok terminal. Sensor ini dapat mengukur arus positif dan negatif dengan kisaran -5A sampai 5A. Sensor ini memerlukan suplai tegangan sebesar 5V. Untuk membaca nilai tengah (nol Ampere) tegangan sensor diset pada 2.5V yaitu setengah kali tegangan sumber tegangan VCC = 5V. Pada polaritas negatif pembacaan arus -5A terjadi pada tegangan 0,5V. Tingkat perubahan tegangan berkorelasi linear terhadap besar arus sebesar 400 mV/Ampere^[5]. Sensor ACS712 dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Sensor ACS712

Gambar 2.6. menunjukkan pin out sensor arus ACS712. Hasil pembacaan dari modul sensor arus perlu disesuaikan kembali dengan pembacaan nilai arus sebenarnya yang dihasilkan oleh sumber DC. Modul ACS712 memiliki sensitifitas tegangan sebesar 66-185 mV.



Gambar 2.7. Pinout sensor ACS712-5A

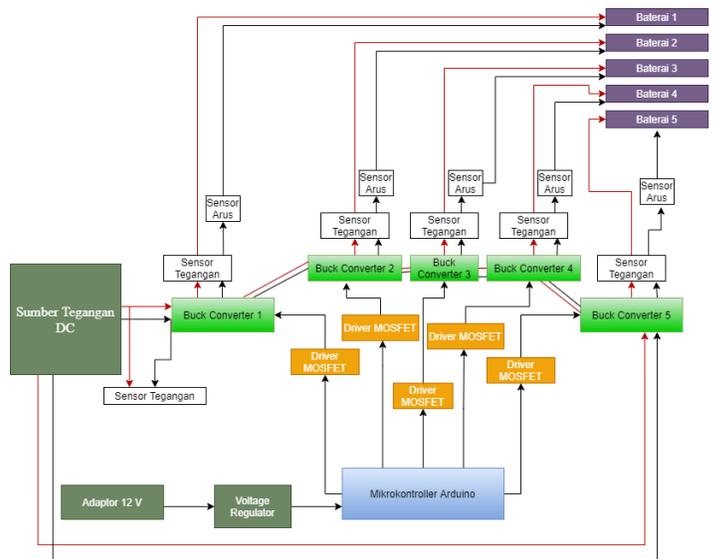
Sama halnya dengan sensor tegangan, sensor arus memiliki jangkauan pembacaan mulai dari 0 (pada input 0V input) sampai 1023 (pada input 5V) dengan resolusi sebesar 0,0049V. Pembacaan sensor arus, I pada analogread dirumuskan sebagai berikut:

$$I = \frac{5}{1023} \times \frac{V_{out} - 2.5}{0.185}$$

Modul sensor arus ini disusun secara seri terhadap beban yang terkoneksi ke baterai.

III. METODOLOGI

Perancangan dilakukan dengan membuat blok diagram, sebagaimana gambar berikut ini;



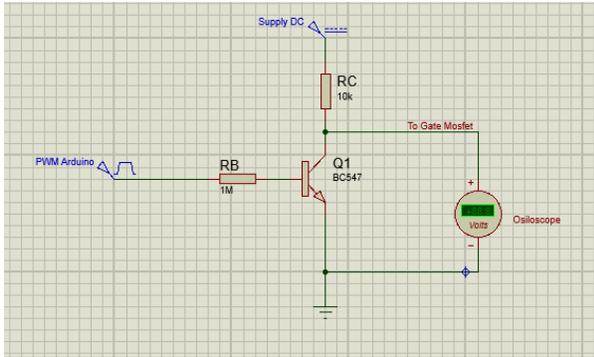
Gambar 3.1. Blok Diagram Sistem

Tegangan DC akan digunakan untuk masukan pada rangkaian *buck converter*. Nilai tegangan akan dideteksi sensor yang akan dikontrol dengan luaran berupa *dutycycle* sebagai pengatur pensaklaran mosfet pada rangkaian *buck converter*. Keluaran dari *buck converter* akan disensor menggunakan sensor tegangan sebagai *feedback* yang digunakan untuk pengisian baterai. Rancangan *converter* terlebih dahulu dilakukan perhitungan nilai komponen-komponen secara benar, seperti nilai induktor dan kapasitor. Karena nilai komponen yang tidak tepat, dapat menyebabkan hasil keluaran yang kurang baik, seperti adanya ripple tegangan dan arus yang terlalu besar^[3].

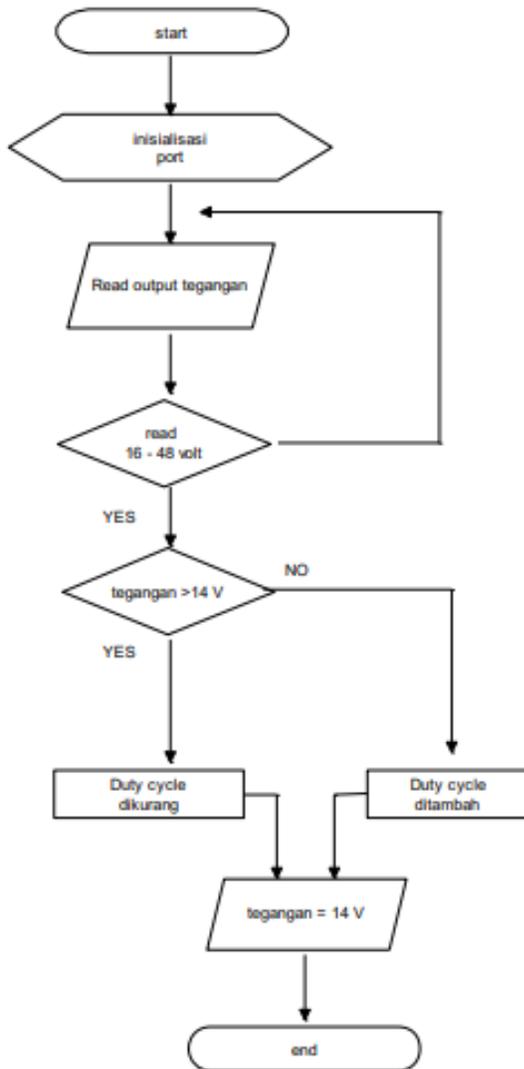
Pada rangkaian ini digunakan mosfet IRF9640 yang memiliki keunggulan yaitu *fast switching* dengan tegangan maksimal 200V. IRF9640 juga mempunyai karakteristik kestabilan yang bagus juga resistansi suhu rendah. Untuk mengaktifkan mosfet diperlukan rangkaian driver mosfet.

Pada penelitian ini magnitude dari sinyal PWM yang dihasilkan board Arduino bernilai maksimum 5 VDC, dimana tegangan ini tidak mampu menggerakkan switch pada MOSFET, untuk itu dibutuhkan rangkaian driver MOSFET. Dengan driver MOSFET magnitude dari tegangan PWM akan mendekati nilai VCC yang digunakan pada rangkaian driver tersebut.

Rangkaian driver MOSFET pada tugas akhir ini akan terdiri dari transistor tipe KBC547 dan beberapa resistor.



Gambar 3.2. Rangkaian driver MOSFET



Gambar 3.3. Flowchart Program

Pada perancangan *buck converter* pula perlu dilakukan perhitungan besar variable komponen yang digunakan terlebih dahulu untuk mengetahui spesifikasi komponen yang cocok

untuk pengaplikasian sistem yang dirancang, berikut perhitungan beberapa parameter :

- Tegangan masukan ($V_{in_{min}}$) = 24 Vdc
- Tegangan masukan ($V_{in_{max}}$) = 30 Vdc
- Arus output (I_{out}) = 2 A
- Tegangan keluaran (V_{out}) *buck converter* = 15 Vdc
- Frekuensi switching (f_s) = 31372.55 Hz
- Ripple Tegangan (ΔV) = 1%

Dari data yang telah ditetapkan di atas, maka dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai dari setiap komponen yang digunakan.

a. Duty Cycle

Untuk menentukan nilai dari *duty cycle* pada *buck converter* digunakan persamaan sebagai berikut.

$$D_{max} = \frac{V_{out}}{V_{out} - V_{in(max)}} = \frac{-15}{-15 - 30} = 0.30$$

$$\text{Atau } V_{out} = -V_{in} \left[\frac{D_{max}}{1 - D_{max}} \right]$$

$$-15 = -30 \left[\frac{D_{max}}{1 - D_{max}} \right]$$

$$0.5 = 1.5 D_{max}$$

$$D_{max} = 0.30$$

Dan untuk *duty cycle minimum* sebagai berikut.

$$D_{min} = \frac{V_{out}}{V_{out} - V_{in(min)}} = \frac{-15}{-15 - 24} = 0.38$$

$$\text{Atau } V_{out} = -V_{in} \left[\frac{D_{min}}{1 - D_{min}} \right]$$

$$-15 = -24 \left[\frac{D_{min}}{1 - D_{min}} \right]$$

$$0.625 = 1.625 D_{min}$$

$$D_{min} = 0.38$$

b. Menentukan Nilai Induktor

Untuk mendapatkan nilai induktor yang sesuai pada alat yang direncanakan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$L_{min} = \frac{(1 - D_{min})R}{2f_s} = \frac{(1 - 0.38) \times 10}{2 \times 31372.55} = 9.88 \times 10^{-5} \text{ H} = 98 \text{ uH}$$

$$L_{max} = \frac{(1 - D_{max})R}{2f_s} = \frac{(1 - 0.30) \times 10}{2 \times 31372.55} = 1.11 \times 10^{-4} \text{ H} = 111 \text{ uH}$$

Sehingga pada perancangan ini digunakan nilai induktor tetap untuk keseluruhan sebesar 100 uH.

c. Menentukan Nilai Kapasitor

Untuk menentukan nilai kapasitor pada rancangan *buck converter* digunakan persamaan berikut.

$$C = \frac{V_o(1-D)}{8L\Delta V_o f_s^2}, \text{ dengan } \Delta V = 1\% \text{ dari } V_{out} = 1\% \text{ of } 15 \\ = 0.15$$

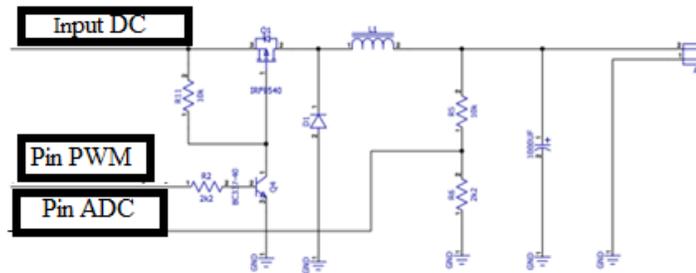
Sehingga,

$$C_{min} = \frac{V_o(1-D_{min})}{8L\Delta V_o f_s^2} = \frac{15(1-0.38)}{8 \times 100 \mu\text{H} \times 0.15 \times (31372.55 \times 31372.55)} = 7.87 \times 10^{-5} \text{ F} = 78 \mu\text{F}$$

$$\text{Dan } C_{max} = \frac{V_o(1-D_{max})}{8L\Delta V_o f_s^2} = \frac{15(1-0.3)}{8 \times 100 \mu\text{H} \times 0.15 \times (31372.55 \times 31372.55)} = 8.89 \times 10^{-5} \text{ F} = 88 \mu\text{F}$$

Berdasarkan perhitungan diatas nilai kapasitor tersebut tidak ada dipasaran sehingga digunakan kapasitor dengan nilai sebesar 100 uF, angka lebih besar ini agar mendapatkan bentuk tegangan gelombang tegangan yang lebih baik, karena kapasitor mampu menekan *ripple* tegangan yang terjadi.

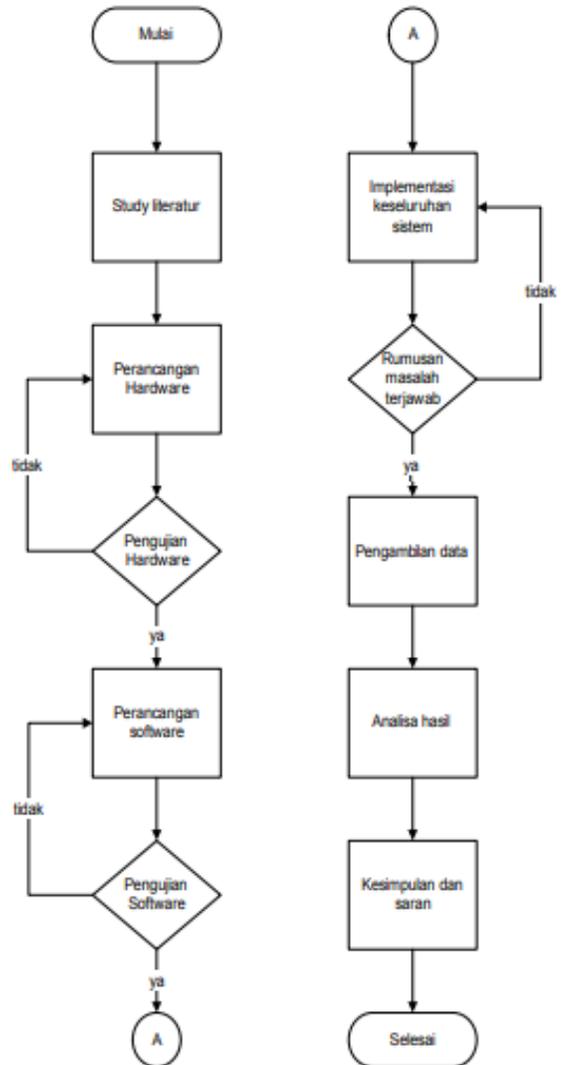
Pengaturan tegangan pada rangkaian *buck converter* ini terletak pada pengaturan *duty cycle* sinyal PWM MOSFET yang diberikan. Berikut pada Gambar 3.3 merupakan rangkaian *buck converter* yang dirancang.



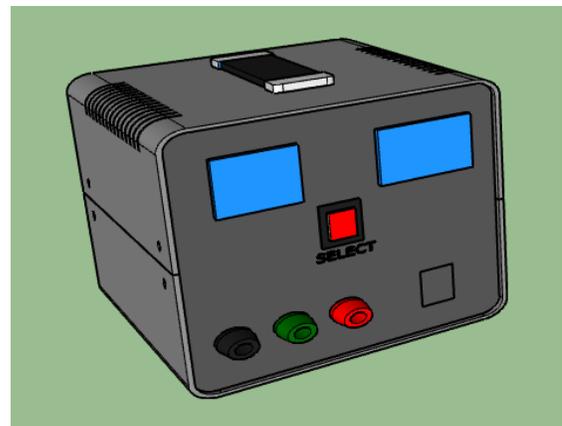
Gambar 3.4. Skematik rangkaian *buck converter*

Dari penentuan variable dan perhitungan diatas, digunakan beberapa komponen aktif maupun pasif untuk menunjang skematik yang telah dirancang diantaranya ialah :

- MOSFET Tipe P-Channel 9640
- Dioda MIC 6 A
- Transistor NPN BC547
- Kapasitor 100uF
- Induktor 100uH
- Resistor 1 MΩ dan Resistor 10 kΩ



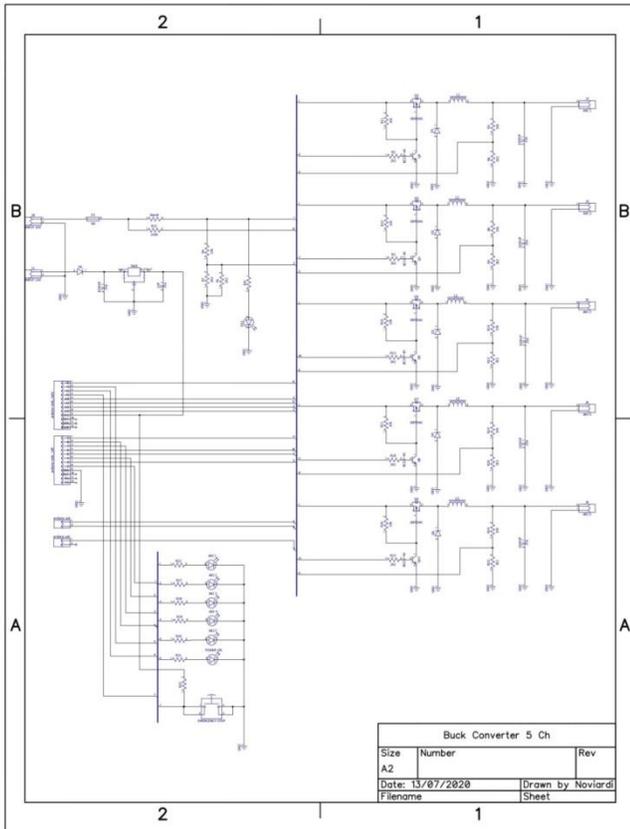
Gambar 3.5. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.6. Perancangan Mekanik *Power Supply Battery Charger*

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

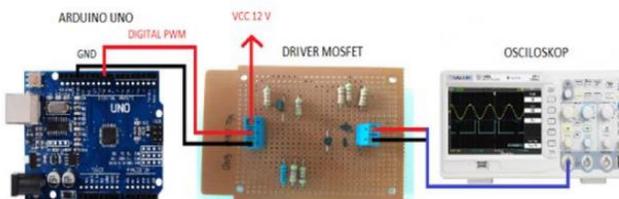
Sebelum sistem perancangan *buck converter* diaplikasikan secara keseluruhan untuk sistem *charging* lima baterai, terlebih dahulu dilakukan pengujian terhadap bagian-bagian yang terlibat pada sistem. Hal ini bertujuan mempermudah analisa kesalahan serta memperbaiki agar sistem sehingga mampu berjalan dengan baik. Adapun beberapa pengujian yang sudah dilakukan yaitu pengujian rangkaian driver MOSFET dan pengujian *buck converter* untuk beban resistif serta pengaplikasian untuk *charging* baterai.



Gambar 4.1 Skematik rangkaian keseluruhan *buck converter* 5 channel

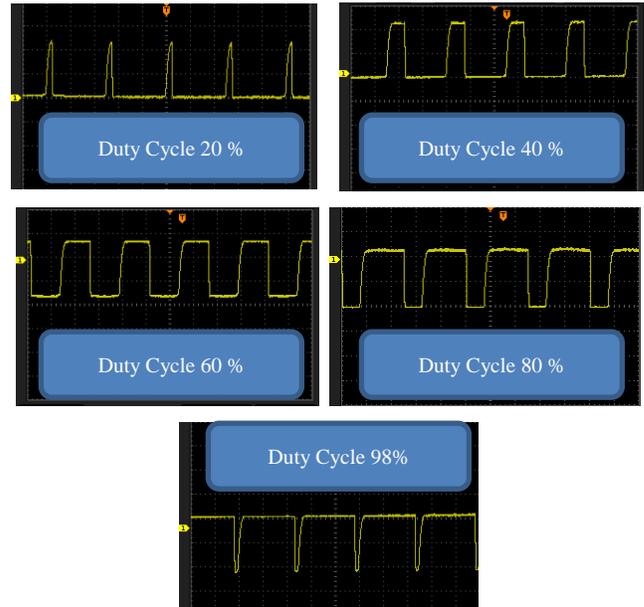
A. Pengujian Rangkaian Driver MOSFET

Pengujian ini terdiri dari terminal V_{cc} 12 V, terminal untuk masukan PWM, terminal *ground*, transistor NPN tipe BC547 dan beberapa resistor.



Gambar 4.2 Rangkaian pengujian PWM driver MOSFET

Susunan rangkaian pengamatan hasil dari rangkaian *driver* MOSFET dapat dilihat pada Gambar 4.2 Gelombang PWM Arduino Uno dihubungkan menuju terminal PWM pada rangkaian driver MOSFET. V_{cc} driver MOSFET didapat dari keluaran regulator yang telah dirancang. Untuk mengamati bentuk gelombang keluaran rangkaian *driver* MOSFET, maka terminal keluaran rangkaian driver MOSFET dihubungkan menuju *oscilloscope*.

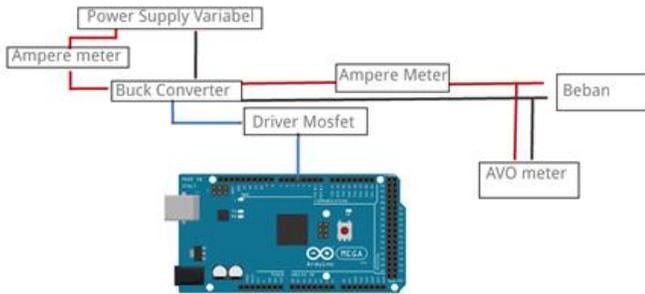


Gambar 4.3 Bentuk gelombang PWM keluaran *driver* MOSFET

Gambar 4.3 menunjukkan bentuk gelombang PWM setelah melewati rangkaian driver MOSFET dimana puncak gelombang mencapai 11,2 V (mendekati V_{cc} 12V) tentunya dengan puncak gelombang ini sudah mampu menyalakan MOSFET yang terpasang pada rangkaian *buck converter*.

B. Pengujian Output Tegangan DC-DC Converter dengan beban Resistor Load

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan keluaran dari *buck converter* sudah berfungsi sesuai dengan yang direncanakan dan sinkron dengan sistem *charger* yang dibuat. Adapun pengujian ini menggunakan alat dan bahan diantaranya berupa *power supply variable*, software arduino IDE & arduino mega 2560, *buck converter*, ampere meter, AVO meter, *osilloscope*, beban *resistor load*.

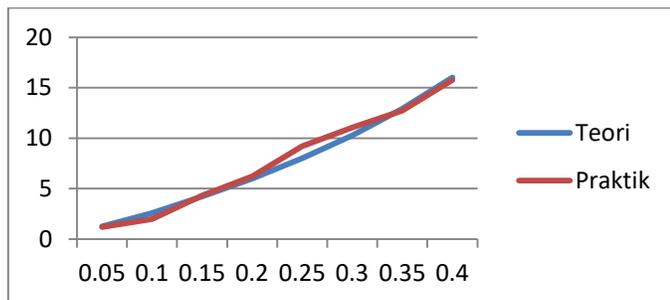


Gambar 4.4 Skema Pengujian Buck Converter

Pengujian yang dilakukan menggunakan R_{load} 15 Ω sebanyak 2 buah yang telah diparalelkan sehingga nilai resistansi totalnya sebesar 7.5 Ω , berikut hasil pengujian yang telah di peroleh :

Tabel 4.1. Pengujian DC-DC Buck Converter Rload 7.5 Ω

Tegangan Input	Duty Cycle	PWM	Tegangan Output (Teori)	Tegangan Output (Praktik)
24	0.05	12.75	1.26	1.20
24	0.10	25.5	2.6	1.98
24	0.15	38.25	4.23	4.31
24	0.20	51	6	6.2
24	0.25	63.75	8	9.2
24	0.30	76.5	10.28	11.06
24	0.35	89.25	12.92	12.73
24	0.40	102	16	15.76



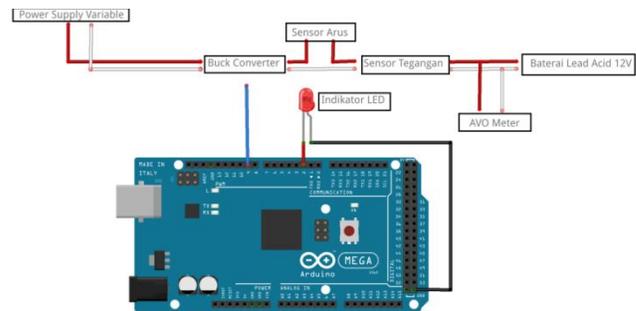
Gambar 4.5. Tegangan Output Buck Converter Rload 7.5 Ω

Dari pengujian yang telah dilakukan diperoleh *output* sinyal yang di keluarkan masih ada sedikit *ripple* dan tegangan output yang diperoleh masih sedikit kurang akurat dengan berdasarkan perhitungan namun masih dalam batas toleransi dan sistem *buck converter* yang dirancang sudah bekerja sebagai mana mestinya.

C. Pengujian Charging Baterai dengan DC-DC Buck Converter

Pengujian ini bertujuan untuk menguji kelayakan dan fungsional dari sistem yang dirancang dan memastikan

converter DC – DC yang dirancang dapat digunakan untuk menstabilkan tegangan keluaran untuk mengisi baterai sehingga baterai dapat terisi dengan baik. Peralatan yang digunakan sama dengan pengujian sebelumnya hanya penambahan beberapa baterai untuk pengujiannya.



Gambar 4.6. Skema Pengujian Charging Baterai dengan Buck Converter

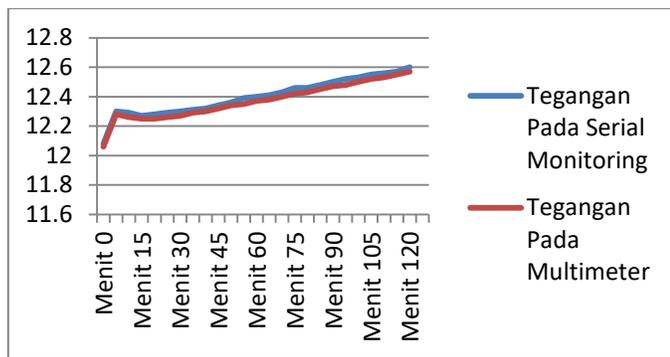
Pengujian yang dilakukan ini menggunakan dua buah parameter, dimana parameter tersebut ialah pengisian pada satu buah baterai selama kurang lebih 120 menit dan pengisian dengan lima buah baterai selama 30 menit dengan sistem *current limiter* sebagai pembatas arus, berikut hasil pengujian yang telah dilakukan :

Tabel 4.2. Pengujian Monitoring Charging Baterai

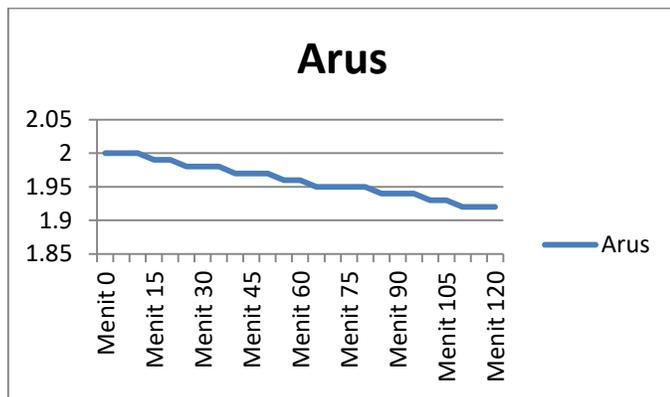
Waktu	Tegangan Pada Serial Monitor (V)	Tegangan Pada Serial Multimeter (V)	Arus Pengisian Pada Serial Monitor (A)
Menit 0	12.08	12.06	2
Menit 5	12.30	12.28	2
Menit 10	12.29	12.26	2
Menit 15	12.27	12.25	1.99
Menit 20	12.28	12.25	1.99
Menit 25	12.29	12.26	1.98
Menit 30	12.30	12.27	1.98
Menit 35	12.31	12.29	1.98
Menit 40	12.32	12.30	1.97
Menit 45	12.34	12.32	1.97
Menit 50	12.36	12.34	1.97
Menit 55	12.39	12.35	1.96
Menit 60	12.40	12.37	1.96
Menit 65	12.41	12.38	1.95
Menit 70	12.43	12.40	1.95
Menit 75	12.46	12.42	1.95
Menit 80	12.46	12.43	1.95
Menit 85	12.48	12.45	1.94
Menit 90	12.50	12.47	1.94
Menit 95	12.52	12.48	1.94
Menit	12.53	12.50	1.93

100			
Menit 105	12.55	12.52	1.93
Menit 110	12.56	12.53	1.92
Menit 115	12.57	12.55	1.92
Menit 120	12.60	12.57	1.92

Sehingga dari data yang telah di peroleh diatas dapat buat grafik untuk *monitoring* data tegangan dan arus selama proses pengisian berlangsung.



Gambar 4.7. Grafik monitoring tegangan baterai saat proses pengisian terhadap waktu

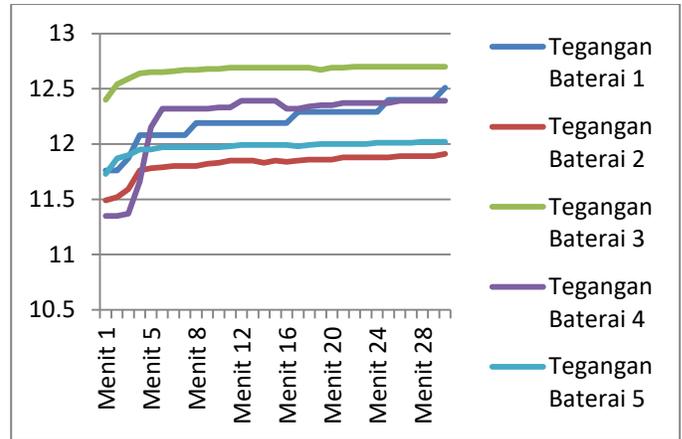


Gambar 4.8. Grafik monitoring arus pengisian baterai terhadap waktu

Setelah pengujian usai dilakukan selama 2 jam diperoleh kenaikan tegangan ± 0.8 V dari tegangan 11.43 V hingga menjadi 12.23 V.

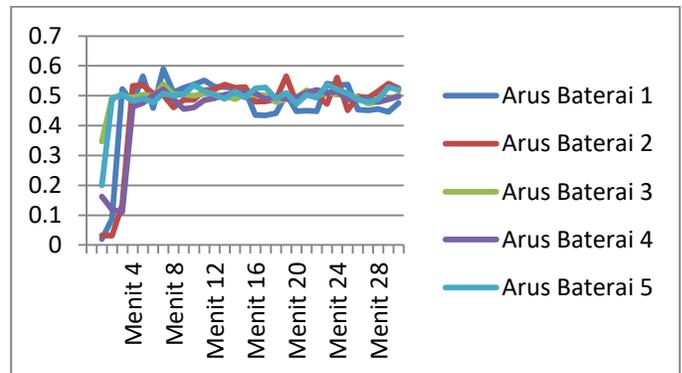
Selain dilakukan *charging* terhadap satu buah baterai, juga dilakukan sistem *charging* terhadap lima buah baterai dengan tegangan 20 V / 3 A dan dibatasi sesuai dengan *setpoint* 0.5 A ke setiap baterai, sehingga keluaran yang diharapkan proses *charging* dapat berjalan dengan arus sesuai dengan yang diharapkan.

Dibawah ini hasil pengujian *charging* lima buah baterai dengan arus *setpoint* 0.5 A



Gambar 4.9. Grafik monitoring tegangan pengisian baterai terhadap waktu

Kurva monitoring data diatas monoton naik menyesuaikan tegangan baterai ketika *charging* selama 30 menit dan berikut juga data monitoring arus yang dikontrol dengan *setpoint* 0.5 A dan dilakukan proses *charging* selama 30 menit sehingga data yang diperoleh sebagai berikut.



Gambar 4.10. Grafik monitoring kestabilan arus pengisian baterai terhadap waktu

Dari hasil yang diperoleh di atas didapatkan bahwa nilai arus yang masuk ke baterai tidak tepat dan ideal di 0.5 A karena masih kurang akuratnya sistem control yang digunakan untuk melimit arus yang masuk yang hanya menggunakan sistem proporsional saja. Sehingga nilai *overshoot* nya sangat tinggi dan mempengaruhi kestabilan nilai PWM yang merupakan *feedback* dari pembacaan ACS712 namun masih dalam batas toleransi.

Tabel 4.3. Hasil Pengujian Monitoring *Charging* Baterai

Jenis Baterai	Sebelum Pengisian	Sesudah Pengisian
Baterai 1	11.80 V	11.94 V
Baterai 2	11.49 V	11.65 V
Baterai 3	12.12 V	12.30 V
Baterai 4	10.32 V	10.55 V

Baterai 5	11.52 V	11.76
-----------	---------	-------

Dari hasil pengujian *charging* yang telah dilakukan maka dapat diperoleh data *charging* untuk baterai 1 bertambah sebesar 0.14 V dari tegangan awal, baterai 2 bertambah sebesar 0.16 V dari tegangan awal, baterai 3 bertambah 0.18 V dari tegangan awal, baterai 4 bertambah sebesar 0.23 V dari tegangan awal, dan baterai 5 bertambah sebesar 0.24 V dari tegangan awal. Setelah sistem berjalan secara keseluruhan dilakukan tahap *packaging* untuk menyempurnakan sistem *DC-DC converter* secara keseluruhan.



Gambar 4.11. Box alat *control & monitoring charge* dengan *DC-DC buck converter*

V. KESIMPULAN

Setelah dilakukan pengujian dan analisis terhadap data yang diperoleh maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

- Pengujian *buck converter* dengan sumber variable DC (24V) dapat menurunkan tegangan ke 15 V dengan $R_{load} 7.5 \Omega$ diperoleh pada *duty cycle* 40 % sedikit mendekati dengan teori yang digunakan.
- Pengujian *buck converter* saat penggunaan *charging* baterai mampu melakukan *charging* terhadap satu sampai lima buah baterai dengan setpoint pengisian arus yang diinginkan.
- Sistem *current limiter* dilakukan berdasarkan *feedback* pembacaan sensor arus ACS712 sehingga arus yang delimit akan menentukan konstannya PWM pada titik tertentu.
- Sistem *cut-off* baterai dilakukan berdasarkan *monitoring* serial tegangan pengisian sehingga ketika tegangan sudah sesuai *setpoint* maka arus yang masuk ke baterai sama dengan nol (PWM = 0).
- Pemberian *duty cycle* yang rendah dapat mengakibatkan nilai efisiensi yang rendah, hal ini

dikarenakan nilai tegangan dan arus keluaran yang kecil, serta adanya rugi-rugi pada komponen.

REFERENSI

- [1] Lander, Cyril W, "*Power Electronics*" *third edition*. London, McGRAW HILL International Edition, 1993.
- [2] Taufik¹ , M. Starman¹ , M. Anwari² , "*Digitally Controlled Synchronous Buck Converter*", 1Cal Poly State University, San Luis Obispo, CA 93407, USA, 2Universiti Teknologi Malaysia, 81310 UTM Skudai, Johor, Malaysia.
- [3] Suryadi, Arief S dan Teguh Praludi, "*Studi Efisiensi Non-isolated DC-DC Converter*", Peneliti pada Puslit Elektronika & Telekomunikasi LIPI, Bandung, 2008.
- [4] Deny Faturrahman. 2016. "*Perancangan dan Implementasi Sistem Pengereman Regeneratif Pada Mobil Listrik Dengan Penggerak BLDC*". Tugas Akhir: Universitas Telkom Bandung.
- [5] Asnil. (2015). "*Kendali Tegangan Keluaran Buck Converter Menggunakan Controller LQR/LTR*". Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional, Vol. 1, No. 1, April 2015