



TUGAS AKHIR - TF 181801

**RANCANG BANGUN PURWARUPA *BUCK*
CONVERTER UNTUK *BATTERY CHARGER*
PADA BATTERY TRAM DI PT INKA MADIUN**

Yogi Pratama
NRP. 0231 15 4000 0 051

Dosen Pembimbing :
Dr. Bambang Lelono Widjiantoro S.T., M.T
Febry Pandu Wijaya, S.T., M.Eng., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020



FINAL PROJECT - TF 181801

***DESIGN PROTOTYPE BUCK CONVERTER
FOR BATTERY CHARGER IN BATTERY TRAM
PT INKA MADIUN***

Yogi Pratama

NRP. 0231 15 4000 0 051

Supervisors :

Dr. Bambang Lelono Widjiantoro S.T., M.T

Febry Pandu Wijaya, S.T., M.Eng., Ph.D

ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT

Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2020

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Yogi Pratama
NRP : 0231154000051
Jurusan/ Prodi : Teknik Fisika/ S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa
Sistem
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “**Rancang Bangun Purwarupa Buck Converter untuk Battery Charger pada Battery TRAM di PT INKA Madiun**” adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 20 Januari 2020
Yang membuat pernyataan,



Yogi Pratama
NRP. 0231154000051

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**RANCANG BANGUN PURWARUPA *BUCK*
CONVERTER UNTUK *BATTERY CHARGER* PADA
BATTERY TRAM DI PT INKA MADIUN**

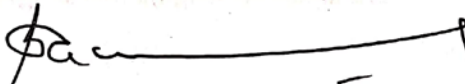
Oleh:

Yogi Pratama

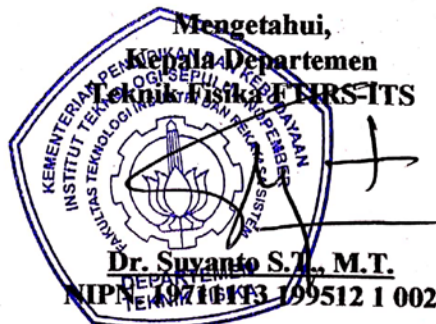
NRP. 0231 15 4000 0 051

Surabaya, 20 Januari 2020

Menyetujui,
Dosen Pembimbing



Dr. Bambang Lelono Widjiantoro S.T., M.T
NIPN. 19690507 199512 1 001



Halaman ini sengaja dikosongkan

**RANCANG BANGUN PURWARUPA BUCK
CONVERTER UNTUK BATTERY CHARGER PADA
BATTERY TRAM DI PT INKA MADIUN**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

YOGI PRATAMA
NRP. 0231 15 4000 0 051

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Bambang L. Widjiantoro S.T., M.T. (Pembimbing I)
2. Febry Pandu Wijaya S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing II)
3. Katherin Indriawati S.T, M.T. (Ketua Penguji)
4. Purwadi Agus Darwito M.Sc. (Penguji I)
5. Lizda Johar Mawarani S.T., M.T. (Penguji II)
6. Moh. Kamalul Wafi MSc.DIC. (Penguji III)

SURABAYA
2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

RANCANG BANGUN PURWARUPA *BUCK* CONVERTER UNTUK *BATTERY CHARGER* PADA BATTERY TRAM DI PT INKA MADIUN

Nama : Yogi Pratama
NRP : 0231 15 4000 0 051
Departemen : Teknik Fisika FTIRS-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Bambang L. Widjiantoro
S.T.,M.T

ABSTRAK

Battery charger merupakan alat yang digunakan untuk *charging* baterai. *Battery charger* dalam penelitian ini menggunakan model *buck converter*. Perancangan *battery charger* ini menggunakan sistem daur-tertutup dengan pengendali PI untuk mengatur arus yang masuk ke baterai. Pengendali daur-tertutup digunakan untuk mengatur tegangan dan arus sesuai metode *charging* baterai CCCV dengan memanipulasi sinyal PWM. Nilai rata-rata tegangan keluaran sebanding dengan rasio antara waktu penutupan saklar dengan periodenya (*duty cycle*). *Battery charger* menggunakan tegangan input 24V sebagai sumber catu daya untuk *charging* baterai 12V dengan mengatur arus yang masuk ke baterai sebesar 1A. Hasil simulasi dengan perangkat lunak Power Simulator (PSIM) menunjukkan bahwa dengan menggunakan pengendali PI, *battery charger* mampu memberikan suplai arus konstan sesuai *set point* untuk *charging* baterai. Nilai konstanta PI diperoleh dengan metode *trial and error* dengan nilai $K_p = 0.025$ dan $K_i = 0.3$. melalui uji coba rangkaian, diperoleh hasil bahwa nilai *ripple* arus sebesar 0.18 A dimana nilai tersebut tidak melebihi nilai *ripple* yang diperbolehkan dan *error steady state* sebesar 1%.

Kata Kunci : *Buck Converter, pengendali PI, charging baterai CCCV, PWM*

Halaman ini sengaja dikosongkan

DESIGN PROTOTYPE BUCK CONVERTER FOR BATTERY CHARGER IN BATTERY TRAM PT INKA MADIUN

Name : Yogi Pratama
NRP : 0231 15 4000 0 051
Department : Teknik Fisika FTIRS-ITS
Supervisor : Dr. Bambang L. Widjiantoro
S.T.,M.T

ABSTRACT

Battery charger is a tool used for battery charging. Battery charger In this study uses the buck converter model. The design of the battery charger uses a feedback system with an PI controller to regulate the current into the battery. The feedback controllers are used to regulate the voltage and current according to the CCCV battery charging method by manipulating PWM signals. The average output voltage value is comparable to the ratio between the switch on and period usually known as duty cycle. The battery charger uses a 24V input voltage as a power supply source for the 12V battery charging by regulating the current that goes into the battery of 1A. Simulated results with the Power Simulator software (PSIM) indicates that using the PI controller, the battery charger is able to provide a constant current supply of a set of points for battery charging. Values of PI constants are obtained by trial and error method with gain $K_p = 0.025$ and $K_i = 0.3$. Through circuit trials, obtained the result that the current ripple value of 0.18 A where the value does not exceed the allowed ripple value and a steady state error of 1%.

Keywords : Buck Converter, PID Controller, battery charging
CCCV, PWM

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena ridho-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhrit yang berjudul “**RANCANG BANGUN PURWARUPA *BUCK CONVERTER* UNTUK *BATTERY CHARGER* PADA *BATTERY TRAM* DI *PT INKA MADIUN*” sebagai salah satu persyaratan akademis dalam menyelesaikan Program Sarjana Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.**

Tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik berkat kerja sama , bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ayah, Ibu dan saudara serta keluarga besar atas segala doa serta dukungan baik moril maupun materil yang telah diberikan.
2. Bapak Dr. Suyanto S.T., M.T. selaku kepala Departemen Teknik Fisika ITS
3. Bapak Dr. Bambang Lelono Widjiantoro S.T., M.T. selaku dosen wali sekaligus dosen pembimbing penulis atas segala bimbingan yang diberikan selama ini.
4. Ibu Dr. Katherin Indriawati, S.T., M.T. selaku kepala Laboratorium Fisika Rekayasa.
5. Bapak Febry Pandu selaku pembimbing ke 2 atas segala arahan dan izinnya untuk melakukan riset di Laboratorium PT INKA Madiun.
6. Bapak dan ibu dosen Departemen Teknik Fisika ITS atas segala bimbingan, arahan dan motivasi yang telah diberikan selama ini.
7. Mas Anang, Achmad Sugandhi, Ahmad Zazuli, Aulia, Anisa dan segenap karyawan PT INKA Madiun yang banyak membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

8. Mas dan mbak alumni serta teman-teman yang telah membantu, memberikan saran, arahan dan motivasi untuk penulis selama pengerjaan tugas akhir ini.
9. Teman-teman Teknik Fisika ITS angkatan 2015 yang senantiasa memberikan motivasi.
10. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu , terima kasih atas segala masukan, saran, dukungan, motivasi dan bantuan yang diberikan sampai detik ini, semoga Allah membalas kebaikan anda semua.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna, oleh sebab itu penulis mengharap kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini. Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, 20 Januari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	ix
<i>ABSTRACT</i>	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Sistematika Laporan.....	3
BAB II TNJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 DC – DC Konverter.....	5
2.2 Buck Konverter.....	7
2.3 Baterai Lead Acid.....	11
2.4 Charging Algorithms.....	14
2.5 Pengendali PID.....	17
2.6 Arduino Nano.....	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1 Perumusan Masalah.....	24
3.2 Studi Literatur.....	24
3.3 Pemodelan <i>Battery Charger</i>	25

3.4	Sensor Tegangan	29
3.5	Sensor Arus	31
3.6	Gate Driver.....	32
3.7	Sinyal PWM.....	33
3.8	Perancangan dan Implementasi Battery Charger	35
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN		39
4.1	Permodelan Battery Charger pada PSIM.....	39
4.2	Pengujian Sensor Arus	41
4.3	Pengujian Sensor Tegangan	43
4.4	Pengujian pembangkit pulsa PWM	45
4.5	Pengujian algoritma kontrol	46
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		49
5.1	Kesimpulan	49
5.2	Saran	49
Daftar Pustaka		51

Daftar Gambar

Gambar 2. 1 Rangkain Buck Converter	7
Gambar 2. 2 Saklar dalam keadaan ON	8
Gambar 2. 3 Saklar dalam keadaan OFF	8
Gambar 2. 4 Baterai VRLA 3.5Ah	12
Gambar 2. 5 Profil <i>constant curent</i> dan <i>constant voltage</i> <i>charging</i>	15
Gambar 2. 6 Diagram blok <i>double-loop control charger</i>	16
Gambar 2. 7 Profil <i>charging</i> BC-CCCV	16
Gambar 2. 8 Profil <i>charging</i> FL-CCCV/GP-CCCV	17
Gambar 2. 9 Diagram blok kontrol PID	19
Gambar 2. 10 <i>Minimum System</i> Arduino Nano	20
Gambar 3. 1 Diagram alur penelitian.....	23
Gambar 3. 2 Diagram alir <i>charging</i> baterai CCCV	26
Gambar 3. 3 Diagram blok sistem <i>Battery Charger</i> dengan algoritma CCCV	27
Gambar 3. 4 Pemodelan sistem <i>battery charger</i> dengan PSIM ..	28
Gambar 3. 5 Rangkaian modul sensor tegangan AMC1200B	30
Gambar 3. 6 Rangkaian modul sensor arus CKSR-15 NP	31
Gambar 3. 7 Rangkaian modu <i>gate-driver</i>	32
Gambar 3. 8 Pembangkitan gelombang PWM.....	34
Gambar 3. 9 Modul kontroler <i>battery charger</i>	36
Gambar 3. 10 Diagram blok <i>battery charger</i>	37
Gambar 3. 11 Rangkaian <i>battery charger</i>	38
Gambar 4. 1 Hasil simulasi perangkat lunak PSIM	39
Gambar 4. 2 Grafik arus pada frekuensi <i>switching</i> 1khz	40
Gambar 4. 3 Grafik arus pada frekuensi <i>switching</i> 4Khz	41
Gambar 4. 4 Grafik arus terhadap tegangan output sensor	42
Gambar 4. 5 Grafik tegangan input terhadap tegangan output....	44
Gambar 4. 6 Hasil uji sinyal PWM pada osiloskop	45
Gambar 4. 7 Grafik arus referensi dan arus output	46

Gambar 4. 8 Grafik tegangan terhadap waktu charging baterai ..47

Daftar Tabel

Tabel 2. 1 Spesifikasi Arduino Nano.....	21
Tabel 3. 1 Desain <i>buck converter Continuous Conduction Mode</i> .	28
Tabel 3. 2 Spesifikasi pemodelan battery charger	36
Tabel 4. 1 Parameter simulasi PSIM	39
Tabel 4. 2 Data pengujian sensor arus	41
Tabel 4. 3 Data pengujian sensor tegangan	43

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT Industri Kereta Api atau PT INKA (Persero) merupakan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang bergerak dibidang manufaktur kereta api. PT INKA berdiri pada tanggal 29 Agustus 1981 dan berlokasi di Jalan Yos Sudarso, Madiun, Jawa Timur. Sejak berdirinya PT INKA, sudah banyak produk kereta yang dibuat oleh perusahaan ini diantaranya yaitu kereta Lokomotif berpenggerak diesel hingga kereta listrik. Salah satu kereta listrik yang sedang dikembangkan di PT INKA ini adalah kereta listrik Battery TRAM.

Battery TRAM merupakan kereta dengan jarak tempuh pendek sekitar 20 km yang terdiri dari 2 gerbong dimana salah satu gerbong berfungsi sebagai *Motor Cabin* dan gerbong lainnya sebagai *Trailer Cabin*. Gerbong *Motor Cabin* berisi sistem penggerak kereta. Adapun sistem kelistrikan pada Battery TRAM disuplai dari baterai berkapasitas besar.

Baterai merupakan salah satu *Energy Storage System* (ESS) yang mampu mengkonversi energi kimia menjadi energi listrik melalui reaksi elektrokimia reduksi dan oksidasi [1]. Terdapat dua klasifikasi baterai yaitu, baterai primer dan baterai sekunder. Baterai primer adalah baterai yang tidak dapat diisi ulang dan hanya dapat digunakan sekali pakai, sedangkan baterai sekunder adalah baterai yang dapat digunakan berkali-kali karena dapat diisi ulang (*rechargeable*). Berdasarkan tingkat pertumbuhan tahunan majemuk atau *Compound Annual Growth Rate* (CAGR) diperkirakan pada tahun 2010 – 2025 pertumbuhan baterai didominasi oleh baterai Li-ion (*Lithium-Ion*) dan Lead acid (Aki) sebesar 150% dimana penggunaannya untuk kendaraan listrik, tidak terkecuali Battery TRAM yang dikembangkan oleh PT INKA [2].

Namun pada umumnya baterai masih memiliki kekurangan dalam hal toleransi *overcharge* dan *overheat* yang rendah ketika

proses *charging*. Kondisi *overcharge* dan *overheat* ketika baterai diisi ulang sangat berbahaya bagi baterai karena dapat mengurangi kemampuan *discharge* baterai, mengurangi *lifetime* baterai terlebih lagi bisa menyebabkan baterai meledak [3]. Oleh karena itu diperlukan mode kontrol *Battery charger* yang sederhana dan murah yang memiliki efisiensi tinggi. Melalui Tugas Akhir ini diharapkan penulis mampu merancang “*Prototipe Battery Charger untuk Battery TRAM di PT INKA Madiun*” yang mampu menyelesaikan permasalahan *charging* pada Baterai.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disebutkan, permasalahan yang diangkat dalam tugas akhir ini adalah bagaimana merancang *Battery Charger* dengan Mode *Constant Current* dan *Constant Voltage* pada Battery TRAM di PT INKA Madiun

1.3 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah merancang *battery charger* dengan dc-dc konverter tipe buck menggunakan mode *constant current* dan *constant voltage* di PT INKA Madiun.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan untuk tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Parameter baterai yang digunakan adalah baterai Aki 12V 7Ah yang ada di Laboratorium Fisika Rekayasa.
- b. Ruang lingkup penelitian ini pada merancang, membangun dan menguji *battery charger* untuk *charging battery*.
- c. Variabel yang dikontrol adalah arus dan tegangan yang masuk ke baterai.

- d. variabel yang dimanipulasi adalah besarnya *duty cycle* sebagai input dari *battery charger*.
- e. Model *battery charger* yang digunakan adalah dc-dc konverter tipe *switching buck konverter* dengan mode *constant current* dan *constant voltage*.

1.5 Sistematika Laporan

Laporan tugas akhir ini terdiri dari lima bab dan dilengkapi dengan daftar pustaka. Secara garis besar, sistematika dari penulisan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. BAB I PENDAHULUAN

Pada bab I ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika laporan.

- b. BAB II DASAR TEORI

Pada bab II ini dibahas mengenai teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan, seperti dc-dc konverter, buck converter, *baterai*, dan kontrol PID.

- c. BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab III ini berisi mengenai rancangan dari penelitian yang dilakukan, metode, dan langkah-langkah dalam penelitian.

- d. BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab IV ini berisi tentang analisa hasil perancangan dan pengujian sistem kontrol pada *battery charger*.

e. **BAB V PENUTUP**

Pada bab V ini diberikan kesimpulan tentang tugas akhir yang telah dilakukan berdasarkan hasil yang diperoleh, serta diberikan saran sebagai penunjang dalam pengembangan tugas akhir selanjutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 DC – DC Konverter

Dc - dc konverter adalah suatu alat yang digunakan untuk mengubah suatu masukan tegangan dc menjadi tegangan dc keluaran dengan meningkatkan (*Boost*) ataupun menurunkan (*Buck*) tegangan masukannya. Dc konverter terdiri dari 6 generasi dengan banyak topologi rangkaian dan teori [4], diantaranya:

- a. Klasik konverter, yaitu *Buck Converter*, *Boost Converter*, *Buck Boost Converter*.
- b. Multi kuadran konverter, yaitu konverter kelas A, B, C, D, dan E.
- c. *Switched* komponen konverter, yaitu *switched capacitor converter* dan *switch inductor converter*.
- d. *Soft switched converter*, yaitu *Resonant-switch converters*, *load-resonant converters*, *resonant dc link converters*, *high frequency link* dan *integral half cycle converters*.
- e. *Synchronous rectifier converter*, digunakan untuk pengembangan teknologi *computing*.
- f. *Multiple energy storage elements resonant converter*.

Dc – dc konverter memiliki 2 tipe pengolahan daya yaitu linier dan peralihan (*switching*). Tipe linier dapat memberikan tegangan dengan tingkat *ripple* dan *noise* output yang rendah, dan sangat cocok untuk rangkaian berdaya rendah dan rangkaian frekuensi radio. Tipe linier sangatlah tidak efisien ketika digunakan untuk daya yang besar karena saat drop tegangan besar dan arus tinggi maka akan mengeluarkan panas yang sebanding arus yang keluar dan penurunan tegangannya. Sedangkan, tipe peralihan (*switching*) mengkonversi tegangan dc dengan menyimpan energi input sementara, kemudian melepaskan energi ke output pada tegangan yang berbeda. Penyimpanan energi tersebut bisa berada

dalam komponen penyimpanan medan magnet seperti inductor dan transformator atau komponen penyimpan medan listrik seperti kapasitor. Metode konversi daya peralihan (*switching*) memiliki efisiensi antara 75% sampai 98% dimana metode ini lebih efisien dibandingkan dengan metode linier yang mengkonversi daya hilang menjadi panas. Efisiensi ini bermanfaat untuk meningkatkan waktu pengopersian baterai.

Dalam rangka meningkatkan efisiensi dc konverter, maka pada penelitian ini akan menggunakan *switched-mode* dc konverter atau biasa disebut dengan *switching mode power supply*. Dasar *switching mode power supply* terdiri dari tiga topologi diantaranya buck (*step down*), boost (*step up*), dan buck boost (*step down/up*). Adapun cara untuk meregulasi tegangan pada *switching mode power supply* adalah dengan *pulse width modulation* (PWM) [5].

Pulse width Modulation (PWM) merupakan suatu cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam suatu periode untuk mendapatkan tegangan rata-ratanya. Nilai rata-rata tegangan keluaran sebanding dengan rasio antara waktu penutupan saklar dengan periodenya (*duty cycle*). Ketika saklar dalam kondisi *on* maka arus akan mengalir menuju beban dan dioda dalam kondisi *off*. Sedangkan apabila saklar dalam kondisi *off* maka arus akan mengalir melalui dioda menuju ke beban sehingga menyebabkan *continous conduction mode* (CCM). Untuk menentukan besarnya nilai *duty cycle* digunakan persamaan sebagai berikut [6] :

$$duty\ cycle\ (D) = \frac{T_{on}}{T_{on}+T_{off}} \quad (2.1)$$

$$duty\ cycle\ (D) = \frac{T_{on}}{T} = T_{on} \cdot F \quad (2.2)$$

Dimana :

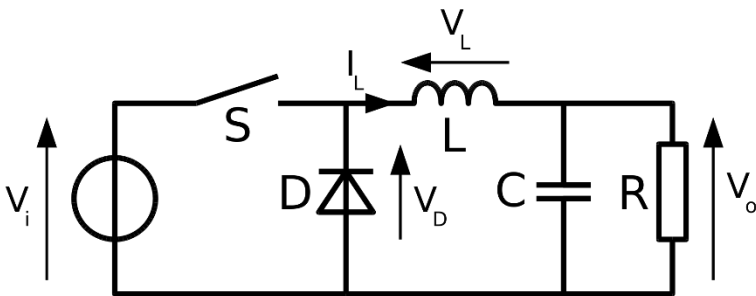
D = *duty cycle*

t_{on} = waktu saklar menyala (*on*)

t_{off} = waktu saklar padam (*off*)

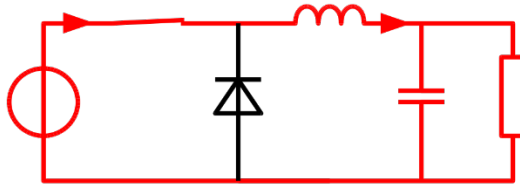
2.2 Buck Konverter

Dc – dc buck konverter merupakan alat yang digunakan untuk menurunkan tegangan masukan agar sesuai dengan tegangan keluaran yang diinginkan.

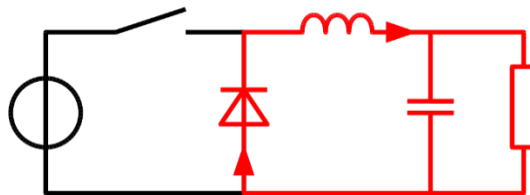


Gambar 2. 1 Rangkain Buck Converter [6]

Untuk mendapatkan tegangan yang lebih rendah daripada masukannya, tipe *buck* ini menggunakan komponen *switching* untuk mengatur *duty cycle*-nya. Komponen *switching* tersebut dapat berupa thyristor, MOSFET dan IGBT. DC - dc *buck converter* menggunakan komponen penyimpan energi seperti induktor dan kapasitor untuk mengontrol aliran energi dari generator menuju beban dengan menggunakan saklar *on-off* secara kontinyu.



Gambar 2. 2 Saklar dalam keadaan ON [6]



Gambar 2. 3 Saklar dalam keadaan OFF [6]

Gambar 2.2 dan 2.3 menjelaskan bagaimana arus mengalir ketika *switch* dalam kondisi *on* dan *off*. Tidak ada peningkatan ataupun pengurangan daya masukan selama pengkonversian bentuk energi listriknya, sehingga secara ideal persamaan daya dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$P_{in} = P_{out} + P_{loss} \quad (2.3)$$

Dimana

P_{in} = daya input (Watt)

P_{out} = daya output (Watt)

P_{loss} = daya yang hilang (Watt)

Nilai rata-rata tegangan keluaran *buck converter* sebanding dengan rasio antara waktu penutupan saklar terhadap periode penyaklarannya (*duty-cycle*). Ketika saklar dalam kondisi *on* maka arus akan mengalir menuju beban dan dioda dalam kondisi *off*. Sedangkan apabila saklar dalam kondisi *off* maka arus akan

mengalir melalui dioda menuju ke beban sehingga menyebabkan *continous conduction mode*. Relasi dari Tegangan masukan (V_{in}), Tegangan keluaran (V_{out}) dan *duty-cycle* (D) sebagai berikut [6] :

$$V_{out} = V_{in} \times D \quad (2.4)$$

Secara umum *buck converter* memiliki 2 mode operasi, yaitu operasi *duty-cycle* ketika saklar dalam keadaan *on* dan arus menuju ke beban dan operasi *free wheeling diode* ketika saklar dalam kondisi *off* dan arus mengalir melalui dioda menuju ke beban. Dalam mengimplementasikannya digunakan hukum-hukum Kirchoff dimana *Kirchoff Voltage Law's* (KVL) digunakan untuk perhitungan pada induktor dan *Kirchoff Current Law's* (KCL) digunakan untuk perhitungan pada kapasitor.

Nilai *duty-cycle* berkisar antara 0 – 1 sehingga tegangan output yang dihasilkan selalu dibawah atau sama dengan tegangan input. Tegangan output dari *buck converter* tiddak selalu linear melainkan terdapat *ripple* tegangan. *Ripple* tegangan output tersebut dapat diminimalisir dengan melakukan pemilihan komponen Induktor dan Kapasitor yang tepat. Perhitungan didasarkan pada kondisi ketika *switch off* agar nilai tegangan dan arus keluaran dapat terjaga. Berikut perhitungan nilai induktor minimal [6].

$$V_{out} = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.5)$$

$$V_{out} = L \frac{\Delta I_L}{(1-D)T} \quad (2.6)$$

$$L = \frac{V_{out} (1-D)}{f_{sw} \times \Delta I_L} \quad (2.7)$$

$$L = \frac{V_{out} (1-D)}{f_{sw} \times \Delta I_L} \quad (2.8)$$

Kapasitor berfungsi untuk mem filter arus *ripple* dari induktor dan untuk menstabilkan tegangan keluaran. Berikut perhitungan nilai minimal untuk kapasitor [6].

$$\Delta I_{Cout} = \frac{V_{out} (1-D)}{\eta \times f_{sw} \times L} \quad (2.9)$$

$$\Delta Q_{Cout} = \frac{\Delta I_{Cout}}{8 \times n \times f_{sw}} \quad (2.10)$$

$$\Delta V_{Cout} = \frac{\Delta Q_{Cout}}{C_{out}} \quad (2.11)$$

$$\Delta V_{Cout} = \frac{V_{out} (1-D)}{8 \times C_{out} \times L \times (n \cdot f_{sw})^2} \quad (2.12)$$

$$C_{out} = \frac{1-D}{\frac{\Delta V_{Cout}}{V_{out}} \times 8 \times L \times (n \cdot f_{sw})^2} \quad (2.13)$$

Dimana :

V_{out} = Tegangan output (V)

f_{sw} = Frekuensi switching (Hz)

ΔI_L = ripple arus (A)

ΔV = ripple tegangan (V)

C_{out} = Kapasitansi output (μ F)

ΔI_L merupakan *ripple* arus induktor yang bernilai 30% dari maksimum arus output. Sedangkan ΔV merupakan *ripple* tegangan output dimana biasanya bernilai 1% dari tegangan output. ESR adalah *effective series resistance* dari kapasitor dan secara umum bernilai (0,03 Ω). Semakin kecil nilai ESR maka semakin kecil juga *ripple* tegangan output[4] [6].

2.3 Baterai Lead Acid

Baterai merupakan salah satu bagian penting dalam penyimpanan energi yang penggunaannya saat ini semakin meningkat karena menghasilkan polusi yang kecil serta dapat digunakan untuk berbagai keperluan sehari-hari [7] [8]. Baterai lead acid merupakan baterai sekunder yang paling umum digunakan. Baterai *lead acid* tersusun dari beberapa sel yang masing-masing terdiri dari lempeng timah yang direndam dalam elektrolit asam sulfat encer. Tegangan per sel berkisar antara 2 V sampai 2,2 V. Masing-masing lempeng terdiri dari beberapa katoda dan anoda yang tersusun secara paralel dengan separator berupa karet berpori yang terletak diantaranya. Katoda baterai *lead acid* terbuat dari timbal peroksida (PbO_2), anoda baterai terbuat dari timbal murni (Pb) dengan cairan elektrolit yaitu asam sulfat (H_2SO_4).

Baterai lead acid memiliki beberapa jenis, salah satunya yaitu baterai VRLA. VRLA sering disebut dengan aki kering di Indonesia. VRLA tersusun seri dari beberapa cell lead acid. Baterai VRLA menggunakan valve untuk meregulasi gas hydrogen yang akan tercampur dengan oksigen saat proses charging yang melibatkan sulfuric-oxide terbawa pada air yang ada di dalam tiap cell dan mengatur penguapan yang terjadi saat proses pencampuran hidrogen serta oksigen [9].

VRLA memiliki beberapa teknologi yang berbeda dalam implementasinya. Absorbant Glass Mat (AGM) adalah salah satu teknologi yang memanfaatkan bahan fiber glass sebagai celah tiap cell membuat tidak dapat mengabsorpsi cairan pencampuran sulfuric-oxide dengan air antar cell. AGM mempunyai struktur yang dapat menahan getaran dan mencegah kebocoran cairan cell [10].



Gambar 2. 4 Baterai VRLA 3.5Ah [11]

Baterai VRLA mempunyai karakteristik dalam pemakaian dan pengisian. Pengisian akan menambahkan arus ke baterai dan pemakaian mengurangi arus serta tegangan nominal dari baterai. Baterai VRLA 3.5Ah dapat menggunakan rata rata kapasitas arus dengan perhitungan $C/10$ sebagai kapasitas arus baterai per variabel koefisien. $C/10$ berkapasitas rata rata yaitu 0.35A dengan perhitungan $3.5/10$ dan maksimal pengisian sebesar 3A. Adapun parameter baterai yang penting untuk diketahui yaitu :

a. *Nominal Voltage (V)*

Merupakan tegangan nominal baterai (V_{nom}) dalam (Volt). Tegangan nominal baterai adalah besar tegangan *open circuit* saat baterai dalam keadaan *full charge*. Tegangan baterai bergantung pada jumlah sel dan tegangan per selnya. Tegangan baterai akan berkurang ketika baterai mulai *discharge*.

b. *Rate Capacity (Ah)*

Rate Capacity (Q_{rated}) pada baterai biasanya dalam Ampere-Hour (Ah). *Rate capacity* merupakan kapasitas efektif minimum dari baterai. Kapasitas baterai menunjukkan berapa banyak energi yang dapat disimpan di dalam baterai.

c. *State of Charge dan Depth of Discharge (%)*

State of Charge (SOC) merupakan sisa kapasitas baterai yang dinyatakan dalam bentuk persentase. Nilai SOC 100% menyatakan bahwa baterai dalam keadaan terisi penuh, sedangkan nilai SOC 0% menyatakan bahwa baterai dalam keadaan kosong. *Depth of Discharge* (DOD) menyatakan nilai tegangan yang telah digunakan oleh baterai. Baik SOC maupun DOD dinyatakan dalam bentuk (%)

d. *Maximum Capacity (Ah)*

Kapasitas maksimum baterai merupakan jumlah energi maksimum yang dapat diambil dari baterai. Nilai kapasitas maksimum dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$Q = \frac{105}{100} \times Q_{\text{rate}} \quad (2.14)$$

Dimana :

$$Q = \text{Maximum capacity (Ah)}$$

$$Q_{\text{rate}} = \text{Rated capacity (Ah)}$$

e. *Nominal Discharge Current (A)*

Nominal Discharge Current menyatakan besarnya arus yang digunakan saat proses *discharge*.

f. *Energy Density*

Energy density adalah ukuran berapa banyak energi yang dapat disalurkan oleh baterai per unit berat atau volume baterai.

g. *Power Density*

Power density merupakan ukuran berapa banyak daya yang dapat disalurkan oleh baterai per unit berat atau volume baterai.

h. *Internal Resistance*

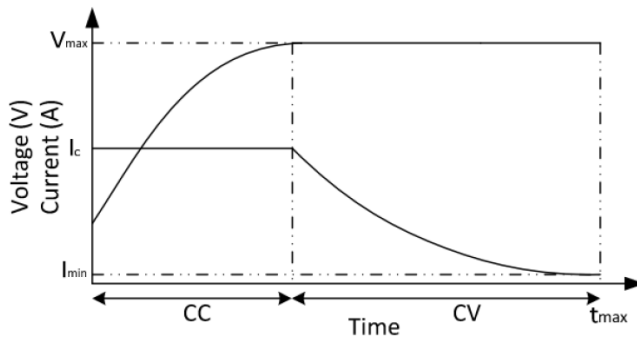
Menyatakan resistansi dalam baterai. Biasanya dalam satuan ohm. Resistansi ini seharusnya bernilai konstan saat proses charge maupun discharge dan tidak bervariasi dengan amplitudo arus.

i. *Durability*

Sistem penyimpanan energi dirancang untuk melepaskan energi yang tersimpan setelah baterai diisi ulang dalam waktu tertentu. Beberapa kali sistem penyimpanan energi dapat melepas energi setelah baterai diisi ulang disebut sebagai daya tahan atau kapasitas siklus.

2.4 Charging Algorithms

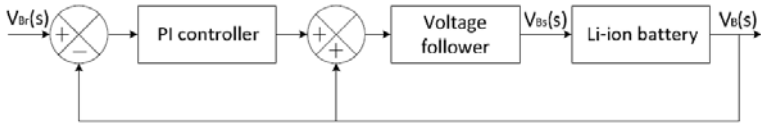
Metode *charging* baterai CCCV merupakan metode yang sering digunakan dikarenakan sederhana dan mudah untuk diimplementasikan [12]. Metode CCCV merupakan kombinasi dari *constant current charging* dan *constant voltage charging*. Mode *constant current* terjadi diawal proses *charging* ketika tegangan baterai lebih rendah dari tegangan maksimumnya dan akan berubah menjadi mode *constant voltage* ketika tegangan baterai sudah mencapai tegangan maksimumnya. Ketika baterai mencapai tegangan maksimumnya maka, secara perlahan arus yang masuk ke dalam baterai akan mengalami penurunan hingga arus yang masuk ke baterai sangat kecil atau bisa dianggap tidak ada arus yang masuk ke baterai [13]. Berikut gambar untuk mode CCCV dalam proses *charging* baterai [14] :



Gambar 2. 5 Profil *constant curent* dan *constant voltage charging*

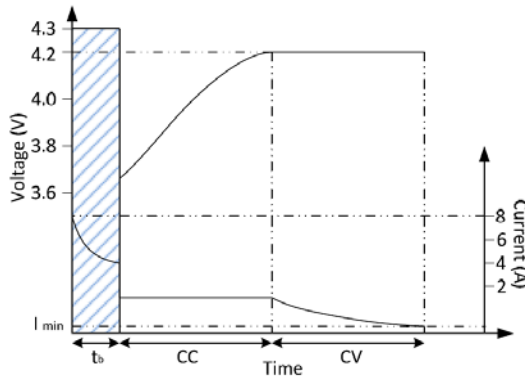
Ketika tegangan baterai lebih rendah dari tegangan *cutoff*, maka baterai akan di *charge* dalam mode *trickel charging* dimana arus yang mengalir sangat kecil yakni kurang lebih $0,1C$ sampai tegangan baterai mencapai tegangan *cutoff* dimana Nilai C merupakan *nominal capacity* dari baterai. Proses *charging* akan selesai ketika mencapai waktu yang sudah ditentukan atau arus yang mengalir ke baterai mendekati nol. Secara umum, proses *charging* dengan arus kecil akan membuat waktu pengisian baterai semakin lama namun dapat menjaga efisiensi baterai dan *life cycle* baterai sehingga baterai semakin tahan lama [15].

Ada beberapa variasi dari algoritma CCCV untuk *charging* baterai diantaranya yaitu *double-loop control charger* (DL-CCCV), *boost charger* (BC-CCCV) dan *fuzzy-logic grey-predicted* (FL-CCCV/GP-CCCV). DL-CCCV memiliki prinsip hampir sama dengan standar CCCV namun tanpa sensor arus [14]. Meskipun penggunaan sensor arus diminimalisir, namun performa algoritma ini hampir sama dengan algoritma CCCV pada umumnya dengan desain yang lebih sederhana dan harga yang lebih murah. Berikut diagram blok *double-loop control charger*



Gambar 2. 6 Diagram blok *double-loop control charger*

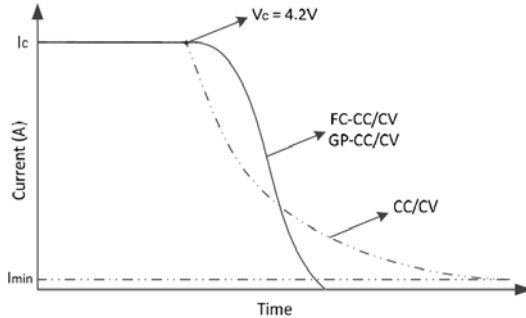
Metode lainnya yaitu BC-CCCV dimana dapat mengisi baterai lebih cepat daripada CCCV, namun memerlukan kondisi khusus dimana baterai harus dikondisikan *fully discharge*. Hal ini menjadikan metode BC-CCCV kurang efisien karena pemberian arus yang tinggi pada fase awal *charging* dapat menurunkan *life cycle* baterai. Berikut profil *charging* menggunakan algoritma BC-CCCV.



Gambar 2. 7 Profil *charging* BC-CCCV

Algoritma lain adalah kontrol *fuzzy-logic* (FL-CCCV) dan kontrol *grey-predicted* (GP-CCCV) untuk mengoptimasi besaran arus yang masuk ke baterai. Prinsip kerja algoritma ini yaitu dengan mengubah kondisi *constant current* dan *constant voltage* untuk mendapatkan nominal arus keluaran maksimal

dibandingkan dengan algoritma CCCV pada umumnya. Berikut profil charging menggunakan algoritma FL-CCCV dan GP-CCCV



Gambar 2. 8 Profil *charging* FL-CCCV/GP-CCCV

2.5 Pengendali PID

Pengendali PID merupakan salah satu pengendali tradisional yang sering digunakan untuk mengurangi sinyal *error*. Sinyal *error* merupakan perbedaan antara nilai *set point* dengan nilai *output*. *Set point* merupakan nilai yang diinginkan sedangkan nilai *output* merupakan nilai aktual yang terukur pada plant. Prinsip kerja dari pengendali ini yaitu dengan membandingkan nilai *output* dengan nilai *set point* kemudian menentukan besarnya nilai *error* untuk menghasilkan sinyal kendali yang digunakan untuk meminimalkan kesalahan [16].

PID merupakan pengendali untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik (*feedback*) pada sistem tersebut. Komponen pengendali PID terdiri dari gabungan antara pengendali proporsional, integral dan derivatif. Ketiganya dapat dipakai bersamaan maupun sendiri-sendiri tergantung dari respon yang kita inginkan terhadap suatu plant.

Pertama, komponen *proportional* digunakan untuk menambah tingkat sensitifitas terhadap sinyal *error*. Pemberian konstanta *proportional* yang terlalu kecil dapat memperlambat respon dan menambah *error* tunak. Sedangkan pemberian konstanta *proportional* yang terlalu besar dapat membuat sistem semakin tidak stabil. Persamaan untuk komponen ini sebagai berikut [17] :

$$C_p(t) = K_p e(t) \quad (2.14)$$

Kedua, komponen integral digunakan untuk mengurangi sinyal *error*. Komponen integral akan mengakumulasi perubahan sinyal *error* sehingga mampu mengeliminasi sinyal *error* sekecil apapun. Pemberian konstanta integral yang terlalu rendah dapat memperlambat waktu tunak (*settling time*) namun memperkecil overshoot. Sedangkan pemberian konstanta integral yang terlalu besar dapat memperbesar overshoot namun mempercepat waktu tunak. Persamaan untuk komponen integral sebagai berikut [17] :

$$C_i(t) = K_i \int e(t) dt \quad (2.15)$$

Ketiga, komponen derivative digunakan untuk mempercepat respon. Pemberian konstanta *derivative* yang terlalu kecil dapat memperlambat respon sistem namun mengurangi *error* tunak. Sedangkan pemberian konstanta derivative yang terlalu besar dapat mempercepat respon sistem namun menambah *error* tunak. Persamaan untuk komponen derivative sebagai berikut [17] :

$$C_d(t) = K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.15)$$

Sehingga apabila ketiga komponen digunakan, maka dalam waktu kontinyu, sinyal keluaran pengendali PID dirumuskan sebagai berikut [17] :

$$u(t) = K_p[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{d}{dt} e(t)] \quad (2.14)$$

Dimana :

$u(t)$ = Variabel output kontroler

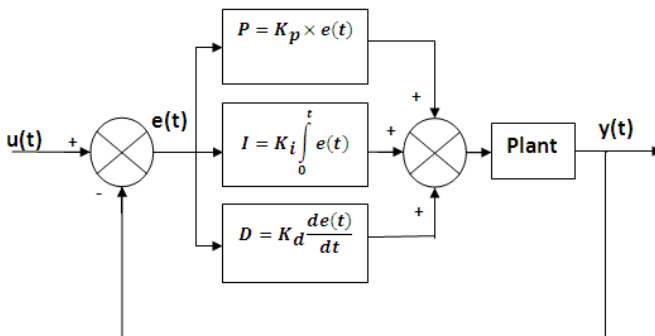
e = Variabel kesalahan kontroler

K_p = Konstanta proporsional

K_i = Konstanta integral

K_d = Konstanta derivativ

Besarnya sinyal kontrol sebanding dengan perubahan error. Semakin cepat *error* berubah maka semakin besar aksi kontrol yang ditimbulkan. Berikut gambar diagram blok untuk pengendali PID



Gambar 2. 9 Diagram blok kontrol PID [18]

Untuk mendapatkan hasil respon sistem yang stabil, perlu dilakukan proses *tuning* atau penyetelan pada alat. Ada beberapa metode tuning yang telah ditemukan seperti metode *ziegler nichole* tipe I dan II, metode *trial and error*, dan metode *adaptive* PID. Masing-masing metode tuning memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, dan untuk mendukung proses tuning agar sistem cepat mencapai kondisi stabil maka perlu diketahui parameter dalam algoritma PID sebagai berikut.

- a. *Maximum overshoot* (%) merupakan nilai puncak tertinggi respon sistem terhadap set point yang diberikan.
- b. *Settling time* adalah waktu yang dibutuhkan respon sistem untuk mencapai 95% dari kondisi *steady state*.
- c. *Error steady state* adalah nilai *error* yang dihasilkan dari keadaan *steady* ketika belum mencapai *set point* yang diinginkan

2.6 Arduino Nano

Arduino Nano merupakan salah satu produk mikrokontroler yang berbasis Atmega328 (untuk versi 3.x) atau Atmega168 (untuk versi 2.x). Platform ini bersifat *open source* sehingga mudah untuk digunakan dalam berbagai keperluan seperti pembacaan sensor, pengendalian, sistem *monitoring* dan masih banyak kegunaan lainnya. Untuk memprogram Arduino Nano dapat dilakukan dengan *perangkat lunak* Arduino IDE yang sudah disediakan khusus untuk mempermudah penggunaan platform ini. Untuk melakukan proses *upload* program, Arduino Nano sudah dilengkapi dengan *internal bootloader* sehingga tidak memerlukan rangkaian *downloader eksternal*. Arduino Nano dapat diaktifkan melalui koneksi USB Mini-B atau melalui catu daya eksternal dengan tegangan teregulasi antara 6 - 20 Volt yang dihubungkan melalui pin 30 (pin Vin) serta melalui catu daya eksternal dengan tegangan teregulasi 5 Volt melalui pin 27 (pin 5V).



Gambar 2. 10 *Minimum System* Arduino Nano [19]

Gambar 2.10 merupakan bentuk fisik dari *minimum system* Arduino Nano yang memiliki 14 pin digital I/O (6 pin dapat digunakan untuk PWM) beroperasi pada tegangan 5V dan setiap pin dapat memberikan arus maksimum 40 mA dengan resistor pull-up internal sebesar 20 – 50 K Ω . Arduino Nano juga memiliki 8 pin Analog input yang masing-masing menyediakan 10bit, pin komunikasi serial (Tx/Rx), pin SPI, pin I2C, pin Aref sebagai referensi untuk analog input arduino serta *reset button*. Berikut spesifikasi Arduino Nano untuk lebih lengkapnya [19].

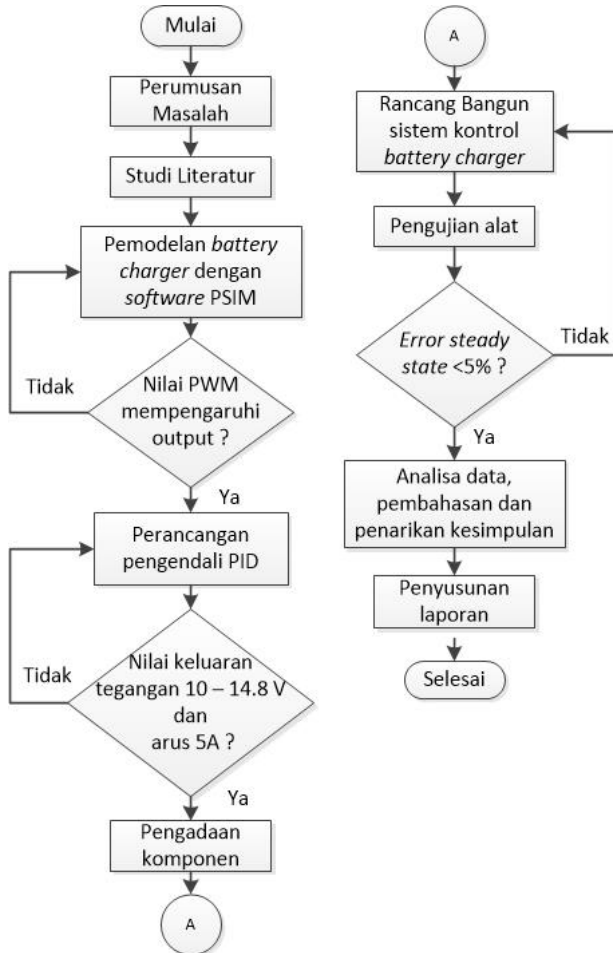
Tabel 2. 1 Spesifikasi Arduino Nano

No	<i>Microcontroller</i>	Teensy 3.2
2	<i>Operating Voltage</i>	5 V
3	<i>Input Voltage (Recommended)</i>	7 – 12 V
4	<i>Input Voltage (Limit)</i>	6 – 20 V
	<i>Digital I/O</i>	14 pin (6 pins PWM)
5	<i>Analog Inputs</i>	8 Pins
6	<i>DC current per I/O pins</i>	40 mA
8	<i>Flash Memory</i>	32KB (Atmega 328)
9	SRAM	1 KB
10	EEPROM	1 KB (Atmega 328)
11	<i>Clock Speed</i>	16 MHz
12	<i>Size</i>	1.85cm x 4.3cm

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini diuraikan langkah-langkah alur penelitian perancangan *battery charger* untuk *battery* TRAM menggunakan metode kontrol PID. Berikut diagram alir penelitian :



Gambar 3. 1 Diagram alur penelitian

Berikut Rincian metodologi penelitian yang akan dilaksanakan pada tugas akhir kali ini :

- a. Perumusan masalah dan batasan penelitian
- b. Studi literatur mengenai *battery charger* dan pemodelannya dengan *perangkat lunak* PSIM
- c. Studi literatur terhadap materi terkait dengan penelitian tugas akhir yang akan dilakukan, diantaranya mengenai pemahaman tentang *buck converter*, *battery charger* dengan metode *constant current – constant voltage*, pemahaman mengenai pengendali PID dan pemahaman mengenai pemilihan komponen
- d. Merancang simulasi dengan menggunakan *perangkat lunak* PSIM
- e. Merancang algoritma PID untuk mengendalikan *battery charger* dengan modul *arduino nano* sebagai unit pengendali
- f. Melakukan pengujian terhadap komponen – komponen yang digunakan sebagai *battery charger*
- g. Melakukan pengujian algoritma dan pengambilan data
- h. Analisis data, kesimpulan serta penyusunan laporan

3.1 Perumusan Masalah

Sebelum melakukan penelitian, maka dibuat perumusan masalah yang menentukan cakupan pembahasan. Dalam penelitian ini mencakup beberapa masalah yaitu, bagaimana merancang prototipe *battery charger* untuk *battery* TRAM dengan metode CCCV (*constant current – constant voltage*) menggunakan pengendali PID dan efisiensi *battery charger* tersebut.

3.2 Studi Literatur

Studi literatur diperlukan pada penyusunan tugas akhir untuk dijadikan referensi dalam melakukan pengerjaan dan penyusunan tugas akhir. Dalam penelitian ini, literatur yang digunakan adalah

dari jurnal, artikel, buku referensi dan makalah seminar yang telah dipublikasikan sebelumnya serta *datasheet* untuk komponen-komponen yang akan digunakan. Hal yang dibahas dalam referensi meliputi *buck konverter*, pengendali PID, metode CCCV (*constant current – constant voltage*) serta komponen penunjang penelitian.

3.3 Pemodelan *Battery Charger*

Pemodelan proses *charge* pada baterai dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak PSIM. Dalam melakukan pemodelan pada perangkat lunak PSIM, baterai dapat diganti dengan beban kapasitif dikarenakan baterai dan beban kapasitif memiliki karakteristik yang sama yaitu mampu menyimpan energi listrik.

Pemodelan *charge* baterai ini menggunakan instruksi pilihan untuk memilih suatu proses dari beberapa kemungkinan proses ketika memenuhi persyaratan tertentu. Pada pemodelan proses *charging* baterai ini digunakan instruksi pilihan *if.....then* sebagai berikut :

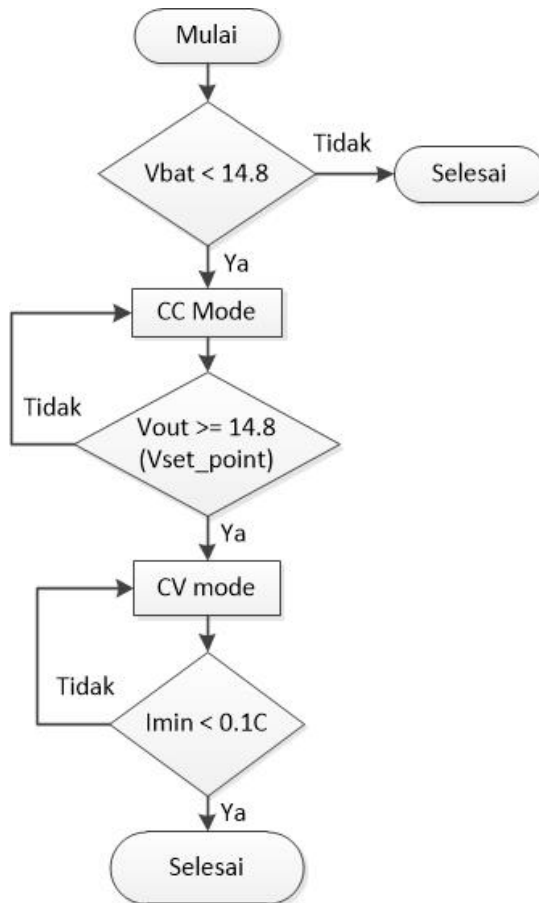
If (tegangan input lebih besar daripada tegangan baterai)

Then baterai akan di *charge* dengan menggunakan metode *constant current*

If (tegangan input lebih besar atau sama dengan tegangan baterai)

Then arus yang menuju ke baterai akan dikurangi hingga mendekati nol atau bisa iartikan tidak ada arus lagi yang mengalir

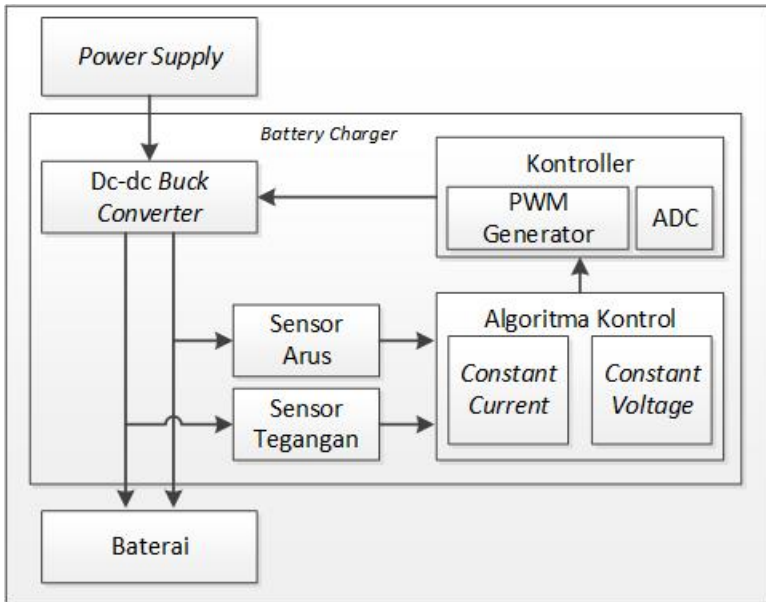
Untuk lebih jelasnya, pemodelan *charging* baterai dapat dilihat pada gambar 3.2 berikut.



Gambar 3. 2 Diagram alir *charging* baterai CCCV

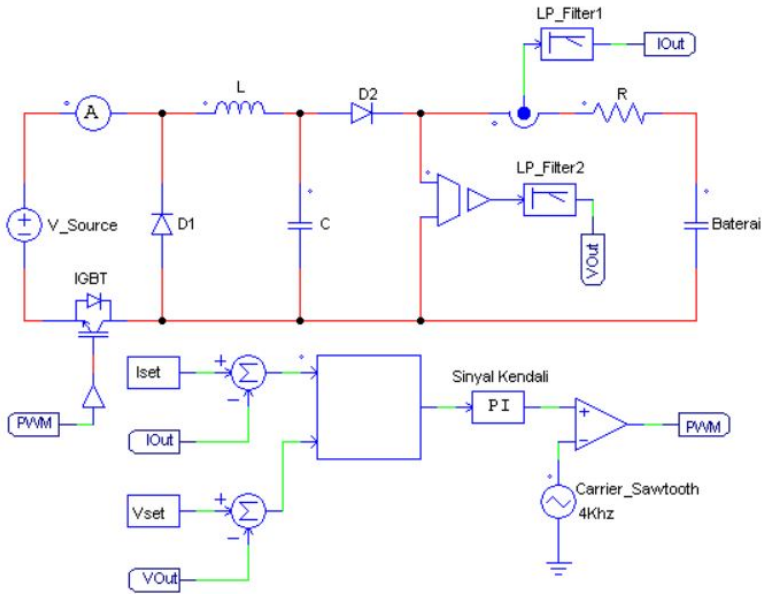
Dc-dc converter tipe buck converter digunakan untuk menurunkan level tegangan keluaran agar lebih kecil dari tegangan masukannya. Untuk memanipulasi tegangan keluaran, perlu dilakukan pengaturan duty cycle pada dc converter. Pengaturan *duty cycle* converter dilakukan dengan memberikan sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) yang berasal dari digital I/O pin Arduino Nano. Besar sinyal PWM yang diberikan oleh Arduino Nano berubah sesuai dengan algoritma CCCV yang dipakai.

Gambar berikut merupakan diagram blok sistem secara keseluruhan.



Gambar 3. 3 Diagram blok sistem *Battery Charger* dengan algoritma CCCV

Pada Gambar 3.3 menunjukkan sistem *battery charger* dengan algoritma *constant current constant voltage*. Keluaran dari converter berupa daya yang akan *charging* baterai 12V 7Ah. Adapaun rancangan sistem *battery charger* ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak PSIM. Berikut gambar rancangan sistem dengan PSIM.



Gambar 3. 4 Pemodelan sistem *battery charger* dengan PSIM

Battery charger yang dibuat menggunakan tipe *buck converter* dengan *Continous Conduction Mode* atau CCM. Dengan kondisi CCM ini maka *buck converter* dapat bekerja dengan nilai output yang stabil. Berikut tabel desain *buck converter* dengan *Continous Conduction Mode*.

Tabel 3. 1 Desain *buck converter* *Continous Conduction Mode*

Input Voltage	22 – 30 V
Output Voltage	10 – 16 V
Maximum Power	145 W
Switching Frequency	4 KHz
Inductor Current ripple	30%
Output Voltage ripple	10 mV

Dengan desain buck converter seperti tabel 3.1 diatas, maka dapat dicari nilai induktor dan kapasitor minimum dengan persamaan (2.8) dan 2.13.

$$L = \frac{16 (1 - 16/30)}{4kHz \times 145/16 \times 0.3}$$

$$L = 0,69 \text{ mH}$$

$$C = \frac{1 - 16/30}{10mV/16V \times 8 \times 0,69 \text{ mH} \times (2 \times 4kHz)^2}$$

$$C = 2128 \mu F$$

Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan hasil nilai induktor minimum sebesar 0,69 mH dan nilai kapasitor minimum sebesar 2128 μF . Nilai tersebut menjadi acuan minimum agar terjadi *continues conduction mode*, namun dalam kondisi sesungguhnya nilai tersebut tidak ada dipasaran sehingga dalam penelitian ini menggunakan nilai induktor sebesar 1mH dan nilai kapasitor sebesar 2200 μF .

3.4 Sensor Tegangan

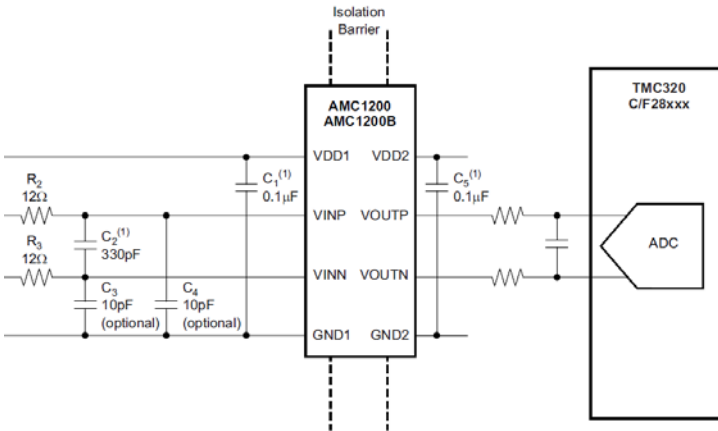
Untuk mendapatkan besaran tegangan listrik input maupun output, digunakan sebuah rangkaian *voltage divider* atau pembagi tegangan dan sebuah IC AMC1200B. Rangkaian ini terdiri dari beberapa unit resistor dengan perbandingan tertentu sebagai masukan untuk IC AMC1200B, kemudian *output* dari IC AMC1200B akan dibaca oleh mikrokontroller arduino nano sebagai besaran tegangan terukur dengan menggunakan fitur ADC (*Analog to Digital Converter*). Perumusan data hasil konversi ADC dapat dilihat pada persamaan (3.1) [20].

$$ADC = \frac{V_{in} \times 1024}{V_{ref}} \quad (3.1)$$

Adapun resolusi 10 bit yang dihasilkan dengan $V_{ref}=5$ volt dapat dilihat pada persamaan (3.2) [20].

$$Resolusi_{ADC} = \frac{1 \times V_{reff}}{2^{nbit}} \quad (3.2)$$

Berikut merupakan gambar rangkaian sensor tegangan AMC1200B :



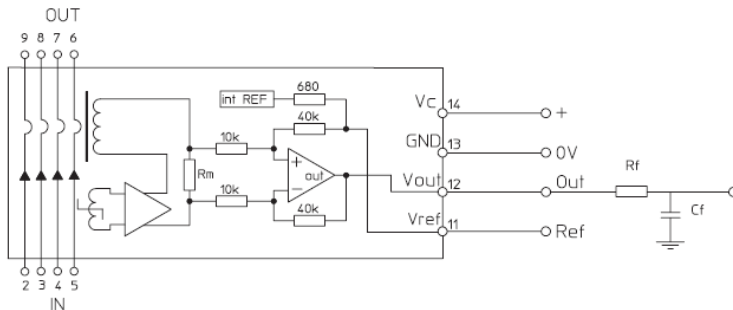
Gambar 3. 5 Rangkaian modul sensor tegangan AMC1200B

AMC1200B merupakan amplifier yang mampu membaca pada tegangan kerja $1200 V_{peak}$, memiliki isolasi tegangan input dan output yang besar yaitu $4000 V_{peak}$ dan memiliki *offset error* yang kecil yaitu 1.5 mV. *Voltage divider* digunakan untuk menurunkan tegangan input hingga maksimal 250 mV yang akan digunakan sebagai masukan pada pin VINP AMC1200B. Kemudian sensor tegangan AMC1200B di suplai 5V pada VDD1 dan VDD2 sehingga akan membuat sensor terisolasi antara tegangan input primer dan output sekundernya. Dalam mendesain *voltage divider* perlu diperhatikan juga power disipasi resistornya dimana diusahakan arus yang melewati *voltage divider* sangat kecil

agar tidak membuat komponen resistor panas. Perhitungan nilai *voltage divider* dapat dilihat pada lampiran.

3.5 Sensor Arus

Seperti halnya mikrokontroler pada umumnya, arduino dan sejenisnya hanya mampu membaca tegangan dengan resolusi 10 maupun 16 bit dan tidak bisa membaca besaran arus. Oleh karena itu dibutuhkan sensor arus yang mampu mengubah besaran arus dan mengkondisikannya menjadi tegangan secara proporsional. Arus listrik yang melewati rangkaian dibaca dengan sensor LEM CKSR-15 NP dimana sensor ini mampu membaca arus dengan range -51 A sampai 51 A dengan tipikal arus *rms* yang mampu dibaca adalah 15A. Prinsip kerja sensor arus pada umumnya yaitu berdasarkan prinsip efek *hall*.

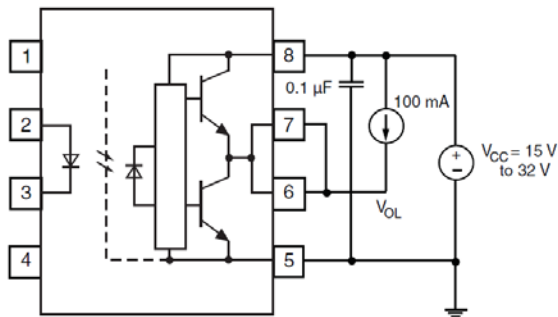


Gambar 3. 6 Rangkaian modul sensor arus CKSR-15 NP

Sensor ini membutuhkan catu daya sebesar 5 volt untuk dapat bekerja serta sensor ini memiliki *eksternal reference voltage* yang dapat digunakan untuk menggeser *measuring range* arus melalui pin Vref.

3.6 Gate Driver

Gate driver merupakan rangkaian elektronika yang berfungsi sebagai jembatan antara sumber pulsa PWM dengan komponen *switching*. Pada umumnya, *gate driver* digunakan untuk komponen *switching* yang memiliki pin *gate* seperti MOSFET dan IGBT. Mikrokontroler memiliki keterbatasan dalam tegangan outputnya dimana tegangan maksimum yang mampu dibangkitkan oleh mikrokontroler sebesar 5V sehingga untuk memperkuat sinyal *output* PWM dari mikrokontroler perlu menggunakan sebuah rangkaian *gate-driver* untuk menggerakkan IGBT^[10] dengan treshold lebih dari 5V. IC (*integrated circuit*) *driver* yang digunakan adalah V03120 dimana memiliki rating frekuensi *switching* yang cukup tinggi serta kemampuan untuk memproteksi gangguan akibat dari proses *switching* dan arus balik pada saat *switching* karena suplai terisolasi dari sistem. Berikut gambar rangkaian *gate-driver*.



Gambar 3. 7 Rangkaian modu *gate-driver*

IC V03120 bekerja berdasarkan prinsip optoelektrik dimana masing-masing bagian *optocoupler* tidak memiliki hubungan konduktif rangkaian secara langsung tetapi dibuat sedemikian rupa dalam kemasan satu komponen. Sesuai pada gambar 3.6 dapat dilihat bahwa sinyal PWM diinputkan pada pin 2 sedangkan pin 3

menuju port ground pada mikrokontroler arduino nano. Ketika sinyal PWM dalam kondisi HIGH maka cahaya inframerah akan dipancarkan menuju ke *phototransistor* sehingga akan menyebabkan switch ON pada phototransistor. Prinsip kerja phototransistor hampir sama dengan transistor bipolar pada umumnya.

IGBT merupakan komponen utama dalam sistem switching ini. IGBT memiliki tegangan *threshold* sebesar 5,45 V sehingga diperlukan suplai yang melebihi tegangan *threshold* IGBT untuk dapat membuat IGBT berubah kondisi dari *off* ke *on*. Oleh karena itu nilai tegangan V_{cc} pada *gate-driver* dibuat 15 V agar mampu membuat IGBT berubah kondisi secara sempurna.

3.7 Sinyal PWM

Untuk membangkitkan pulsa PWM pada arduino nano dapat dilakukan dengan mengakses file register TCCR pada arduino nano. Sinyal PWM dibangkitkan dengan menggunakan *timer 1* dengan resolusi 16bit. Terdapat banyak mode yang disediakan oleh arduino nano untuk menghasilkan sinyal PWM, salah satunya yaitu *fast PWM mode*. Metode *fast PWM* akan membuat gelombang *carrier* berupa gelombang *sawtooth* kemudian akan dibandingkan dengan sinyal *compare* pada register OCR sehingga sinyal PWM terbentuk. Berikut persamaan untuk menghasilkan sinyal PWM [17].

$$F_{pwm} = \frac{F_{crystal}}{Prescaler \times ICR1} \quad (3.3)$$

$$ICR1 = \frac{F_{crystal}}{Prescaler \times F_{pwm}} \quad (3.4)$$

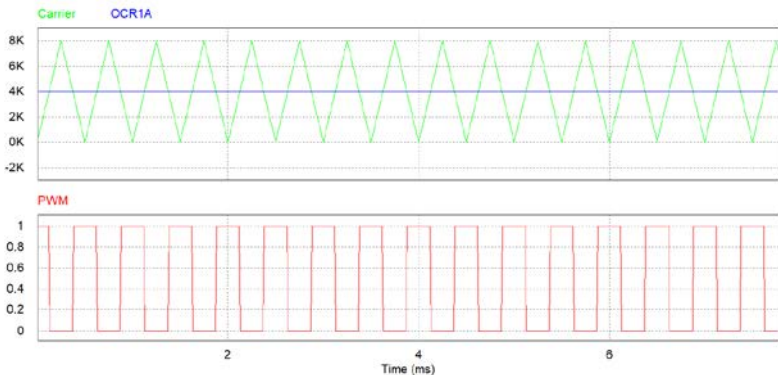
Dimana :

F_{pwm} = Frekuensi pulsa PWM (Hz)

$F_{crystal}$ = Frekuensi kristal mikrokontroler (Hz)

ICR = Register *input capture*

Output compare 1A (OCR1A) diatur sebagai *non-inverted* pwm. Untuk mendapatkan frekuensi 4Khz maka nilai *ICR1* sebesar 8000 dan untuk mendapatkan nilai *duty cycle* 50% maka nilai *OCR1A* sebesar 4000 atau $0.5 \cdot ICR1$. Berikut gambar pemebtukan gelombang PWM.



Gambar 3. 8 Pembangkitan gelombang PWM

Berdasarkan gambar 3.6, dapat dilihat bahwa periode timer 1 sudah sesuai yaitu sebesar 50uS. Untuk source code pembangkit pulsa PWM 2Khz dengan *duty cycle* 50% dapat dilihat di bawah ini.

```
TCCR1A=(1<<COM1A1) | (0<<COM1A0) | (1<<COM1B1) |
(0<<COM1B0) | (1<<WGM11) | (0<<WGM10);
```

```
TCCR1B=(0<<ICNC1) | (0<<ICES1) | (1<<WGM13) |
(1<<WGM12) | (0<<CS12) | (0<<CS11) | (1<<CS10);
```

```
TCNT1H=0x00; TCNT1L=0x00;
```

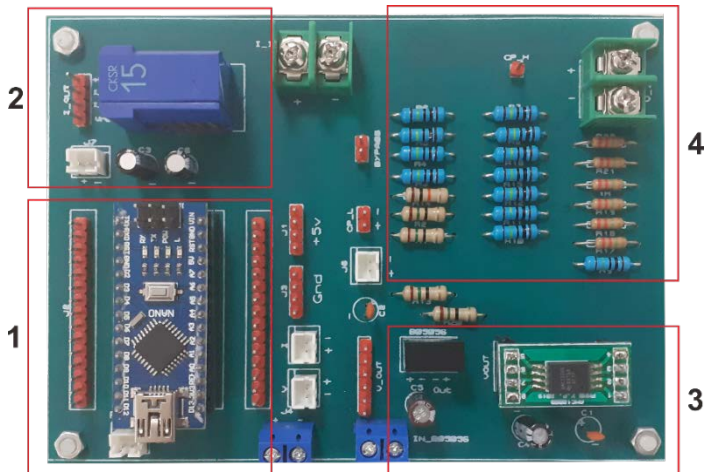
```
ICR1 = 4000 - 1; OCR1A = 2000; OCR1B = 0;
```


3.8 Perancangan dan Implementasi Battery Charger

Battery charger ini menggunakan skema rangkaian seperti halnya *buck konverter* pada umumnya. Terdapat komponen utama penyusun *battery charger* diantaranya IGBT, Induktor, kapasitor dan dioda *freewheeling* serta pembangkit pulsa PWM. Pada mulanya perlu dilakukan perhitungan desain daya input dan daya output yang ingin dibuat. Setelah itu menentukan nilai minimal induktor dan kapasitor yang harus digunakan agar daya output tercapai. Setelah melakukan perhitungan maka selanjutnya melakukan *sourcing* komponen dan mempelajari pengkondisian sinyal untuk setiap komponen melalui datasheet. Setelah selesai melakukan *sourcing* komponen dan pengkondisiannya, selanjutnya menguji setiap komponen dan membuat desain pcb untuk merangkai komponen sehingga menjadi satu paket *battery charger*. Setelah semua komponen dirangkai, *upload* algoritma *battery charger* ke dalam mikrokontroler arduino nano dan melakukan tes *running* alat untuk mengetahui performansi alat.

Perancangan sistem *charging battery* ini dilakukan dengan membuat *isolated converter* yang mampu mensuplai arus konstan ketika pada mode *constant current*, dan dapat menurunkan arus sampai bernilai mendekati nol ketika dalam mode *constant voltage*. Pada Bab 2 telah dijelaskan mengenai penentuan nilai induktansi pada induktor dan nilai kapasitansi pada kapasitor sehingga melalui persamaan (3.4) dan (3.5) dapat dicari nilai induktansi dan kapasitansinya. Beberapa parameter yang digunakan dalam menentukan nilai induktansi dan kapasitansi sebagai berikut :

- a. Frekuensi *switching* yang digunakan adalah 4 KHz
- b. Tegangan input sebesar 24V
- c. Arus *rms* sebesar 1A
- d. Nilai *ripple* arus 30% dari nilai arus rata-rata
- e. Nilai *ripple* tegangan 1% dari tegangan maksimal yang dapat dikeluarkan



Keterangan

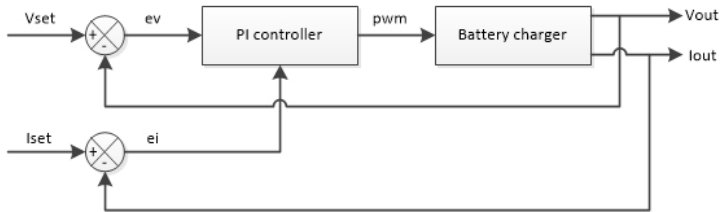
1. Mikrokontroler Arduino Nano
2. Sensor Arus CKSR-15 NP
3. AMC1200B
4. Voltage divider

Gambar 3. 9 Modul kontroler *battery charger*

Tabel 3. 2 Spesifikasi pemodelan *battery charger*

No	Paramater Spesifikasi	Nilai
1	Masukan Tegangan	22 – 30 Volt
2	Keluaran Tegangan	10 – 16 Volt
3	Masukan Arus	10 A (<i>Max</i>)
4	Keluaran Arus	5 A (<i>Max</i>)
5	<i>Switching Freq</i>	4 kHz
6	<i>Max ripple current</i>	0.3 A
7	<i>Max ripple vltage</i>	0.16 V
8	Nilai Induktansi	1 mH
9	Nilai Kapasitansi	2200 uF

Setelah merancang komponen *battery charger*, perancangan sistem kontrol pada *battery charger* secara keseluruhan ditunjukkan seperti pada diagram blok berikut :



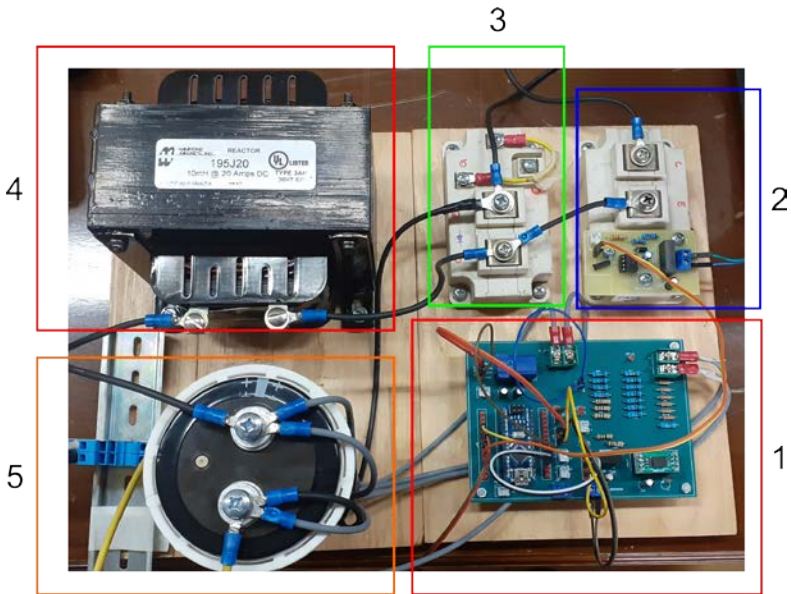
Gambar 3. 10 Diagram blok *battery charger*

Berdasarkan gambar 3.8 dapat diketahui bahwa perancangan sistem kontrol dilakukan untuk memperkecil sinyal *error* arus dan *error* tegangan yang terukur dengan arus dan tegangan referensi. Perancangan kontroler yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah kontrol PI. Nilai keluaran akan dibandingkan untuk menentukan nilai *error* dimana yang akan dijadikan input untuk pengendali PI sehingga mampu mengendalikan arus dan tegangan yang akan mensuplai baterai. Sesuai dengan kondisi operasional yang direkomendasikan, maka arus maksimal masukan ke baterai dibatasi sebesar 1A. Dengan menggunakan metode trial and error, maka nilai parameter PI yang digunakan adalah sebagai berikut

$$K_p = 0,0025$$

$$K_i = 0,3$$

Untuk keseluruhan sistem battery charger dapat dilihat pada gambar 3.9 berikut.



Keterangan

1. Kontroller
2. IGBT Switching
3. Dioda *Freewheeling*
4. Induktor 1mH
5. Kapasitor 2200 uF

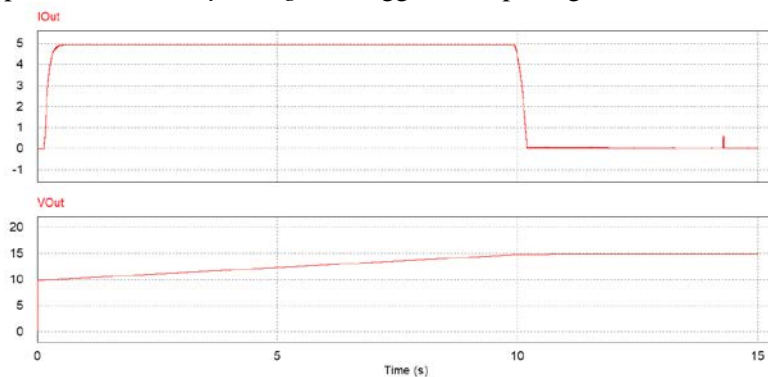
Gambar 3. 11 Rangkaian *battery charger*

Rangkaian *battery charger* ini mengadaptasi dari rangkaian buck converter klasik. Kontroler akan mengatur nilai pwm berdasarkan tegangan dan arus yang terbaca. Seperti yang sudah dijelaskan pada bab 2 mengenai cara kerja buck konverter, dan sesuai perhitungan nilai minimal induktor dan kapasitor maka dirangkailah *battery charger* dengan menggunakan IGBT, dioda, induktor 10mH dan kapasitor 5000 uF serta kontroler arduino nano seperti gambar 3.9 diatas.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Permodelan Battery Charger pada PSIM

Berdasarkan diagram alir pada gambar 3.2 maka simulasi dilakukan pada perangkat lunak PSIM dengan kondisi seperti gambar 3.2 dimana baterai akan di *charge* menggunakan arus konstan 5A ketika tegangan baterai kurang dari 14.8 V, kemudian baterai akan di *charge* dengan mode tegangan konstan ketika tegangan baterai sama dengan 14.8 V. Berikut hasil simulasi pemodelan *battery charger* menggunakan perangkat lunak PSIM.



Gambar 4. 1 Hasil simulasi perangkat lunak PSIM

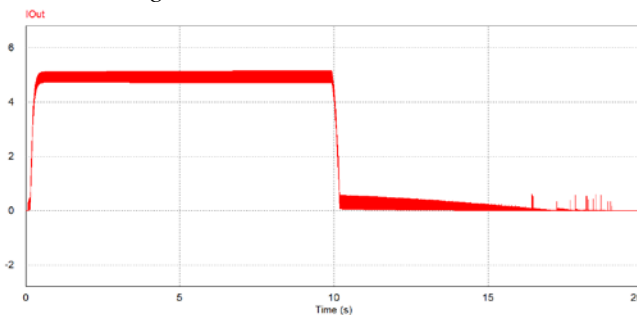
Simulasi dilakukan dengan parameter sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Parameter simulasi PSIM

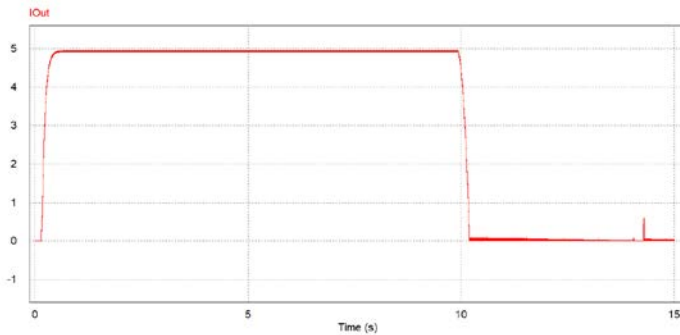
No	Paramater	Nilai
1	<i>Total time</i>	15 sekon
2	<i>Time step</i>	$2 \times e^{-5}$ sekkon
3	Tegangan input	30 Volt
5	Induktor	1 mH
6	Kapasitor	2200 uF
7	<i>Switching Freq</i>	4kHz

Grafik Iout menunjukkan nilai arus keluaran dari *battery charger* sedangkan grafik Vout menunjukkan tegangan keluaran dari *battery charger*. Berdasarkan parameter tersebut, didapatkan pengendali PI dengan nilai $K_p = 0.0025$ dan $K_i = 0.3$. Dari hasil simulasi perangkat lunak PSIM tidak terjadi *overshoot* arus dan kondisi arus cenderung stabil tidak mengalami *noise*. Kondisi *charging constant current* terjadi antara detik ke 0.143 sekon sampai detik 9.947 sekon dan kondisi *charging constant voltage* setelah detik 9.947 dengan menurunkan nilai arus perlahan sampai mendekati nilai nol.

Pemilihan frekuensi *switching* sebesar 4Khz didasarkan pada spesifikasi perangkat dan hasil simulasi pada perangkat lunak PSIM dimana ketika nilai frekuensi dipilih kurang dari 4Khz maka nilai output arusnya akan menghasilkan *ripple* yang tinggi. Hal ini terjadi karena komponen induktor dan kapasitor yang berfungsi sebagai filter kurang mampu melemahkan sinyal *ripple* sehingga ketika *switch* berubah kondisi dari *on* menuju *off* maka perubahan medan elektromagnet pada induktor akan semakin besar sehingga akan memproduksi arus *ripple* pada rangkaian. Sedangkan penggunaan frekuensi *switching* yang terlalu tinggi, yaitu melebihi 4Khz mampu membuat nilai arus output menjadi halus tanpa ada *ripple*, namun pemilihan frekuensi yang tinggi harus didasarkan pada spesifikasi perangkat. Berikut hasil simulasi pemilihan frekuensi *switching*.



Gambar 4. 2 Grafik arus pada frekuensi *switching* 1khz



Gambar 4. 3 Grafik arus pada frekuensi *switching* 4Khz

Dari gambar 4.2 dan 4.3 diatas dapat dilihat perbedaan nilai keluaran arus terhadap *frekuensi switching* pada rangkaian.

4.2 Pengujian Sensor Arus

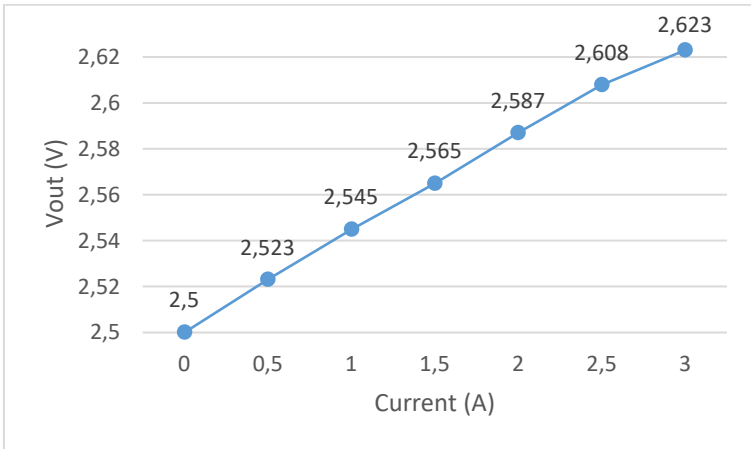
Sensor arus digunakan untuk membaca arus keluaran dengan melihat tegangan keluaran sensor yang proporsional dengan arus yang dibaca. Pengujian dilakukan dengan menggunakan DC suplai yang memiliki variasi arus 3A. Data hasil pengujian sensor arus ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4. 2 Data pengujian sensor arus

No	Arus (A)	Vout (V)
1	0	2.5
2	0.5	2.523
3	1	2.545
4	1.5	2.565
5	2	2.587
6	2.5	2.608
7	3	2.623

*untuk tabel lengkapnya dapat dilihat pada lampiran

Berdasarkan data hasil percobaan, sensor arus yang digunakan dapat bekerja sesuai dengan prinsip kerja sensor dimana tegangan keluaran pembacaan sensor sebanding dengan tegangan keluaran sensor sehingga nilai arus dapat dibaca dengan fitur ADC pada mikrokontroler arduino nano. Berikut grafik linearitas dari sensor arus.



Gambar 4. 4 Grafik arus terhadap tegangan output sensor

Berdasarkan data yang diperoleh, nilai arus 3A terukur sebesar 2.623 V dengan nilai ADC sebesar 564, sedangkan nilai arus 0A terukur sebesar 2,5V dengan nilai ADC sebesar 590 sehingga untuk mendapatkan nilai pembacaan sensor yang sesuai dengan nilai terukur menggunakan rumus berikut.

$$I_{aktual} = \frac{AnalogRead(ADC) - 564}{10}$$

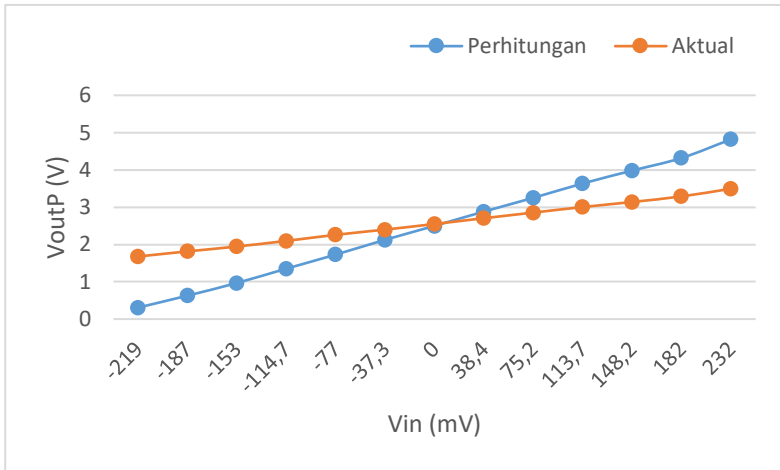
4.3 Pengujian Sensor Tegangan

Sensor tegangan digunakan untuk membaca tegangan output dari battery charger menggunakan voltage divider dan IC AMC1200B. Pengujian dilakukan dengan menggunakan DC suplai dengan variasi tegangan 0 - 30V. Data pengujian sensor tegangan ditunjukkan pada tabel 4.2. dari tabel tersebut bisa diketahui hubungan dari V_{in} yang merupakan hasil dari *voltage divider* yang menurunkan tegangan input menjadi maksimal 250mV terhadap tegangan output dari IC AMC1200B sebagai *sensing* tegangan yang masuk ke mikrokontroler arduino nano.

Tabel 4. 3 Data pengujian sensor tegangan

No	V_p	V_{in} (mV)	Perhitungan		Aktual	
			V_{outP} (V)	V_{outN} (V)	V_{outP} (V)	V_{outN} (V)
1	-30	-219	0,31	4,69	1,679	3,412
2	-25	-187	0,63	4,37	1,816	3,287
3	-20	-153	0,97	4,03	1,946	3,15
4	-15	-114,7	1,353	3,647	2,097	2,996
5	-10	-77	1,73	3,27	2,26	2,843
6	-5	-37,3	2,127	2,873	2,4	2,69
7	0	0	2,5	2,5	2,55	2,54
8	5	38,4	2,884	2,116	2,705	2,395
9	10	75,2	3,252	1,748	2,856	2,244
10	15	113,7	3,637	1,363	3,005	2,088
11	20	148,2	3,982	1,018	3,14	1,954
12	25	182	4,32	0,68	3,29	1,798
13	30	232	4,82	0,18	3,495	1,6

Dari hasil pengujian sensor diatas, maka dapat dilihat grafik tegangan input terhadap tegangan output sebagai berikut



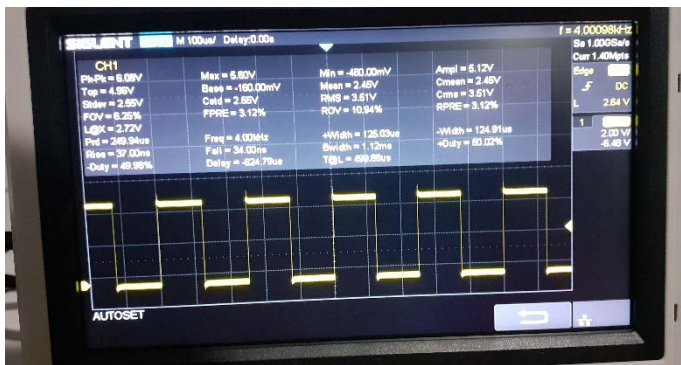
Gambar 4. 5 Grafik tegangan input terhadap tegangan output

Berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh, tegangan aktual dapat diukur dengan menggunakan data keluaran dari VoutP dan VoutN dimana untuk tegangan source 30 V diperoleh nilai VoutP sebesar 4,82 V dengan nilai ADC 790 dan nilai VoutN sebesar 0,18 V dengan nilai ADC sebesar 574. Sedangkan untuk tegangan 0V diperoleh nilai VoutP sebesar 2,5 V dengan nilai ADC 570 dan nilai VoutN sebesar 2,5 V dengan nilai ADC 570. Dengan mengurangi pembacaan pada VoutP dan VoutN maka dapat diperoleh nilai aktual tegangan terukur. Berikut perhitungan nilai tegangan aktual.

$$V_{\text{aktual}} = \frac{\text{AnalogRead}(ADC)V_{\text{outP}} - V_{\text{outN}}}{14.091}$$

4.4 Pengujian pembangkit pulsa PWM

Seperi yang sudah dijelaskan pada bab 2, pwm digunakan sebagai salah satu metode *switching* IGBT pada rangkaian *battery charger* ini. Pengujian dilakukan dengan cara memberikan nilai frekuensi dan *duty cycle* yang bervariasi kemudian hasilnya dilihat melalui osiloskop. Pengujian menggunakan osiloskop didapatkan sinyal gelombang pwm seperti gambar 4.6 berikut.

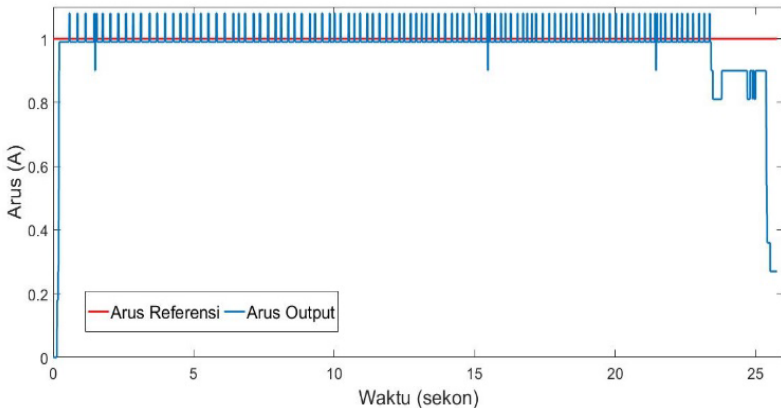


Gambar 4. 6 Hasil uji sinyal PWM pada osiloskop

Gambar 4.6 diatas merupakan output sinyal pwm dengan frekuensi 4Khz dan lebar pulsa (*duty cycle*) 50% yang diatur menggunakan mikrokontroler arduino nano. Kemudian pengujian dilanjutkan dengan merubah frekuensi menjadi 8Khz, 10Khz dan 20Khz dengan lebar pulsa bervariasi antara 10 % sampai 90%. Pengujian ini digunakan untuk membuktikan bahwa mikrokontroler dan IGBT mampu bekerja dengan baik dengan rentang frekuensi antara 1Khz sampai 20Khz serta dengan *duty cycle* antara 10% sampai dengan 90%. Berdasarkan hasil pengujian, frekuensi optimal untuk *switching* IGBT sebesar 4Khz dengan periode 500 uS, *rise time* sebesar 6.046 uS dan *fall time* 1.167 uS. Nilai ini sudah dirasa cukup untuk *switching system*.

4.5 Pengujian algoritma kontrol

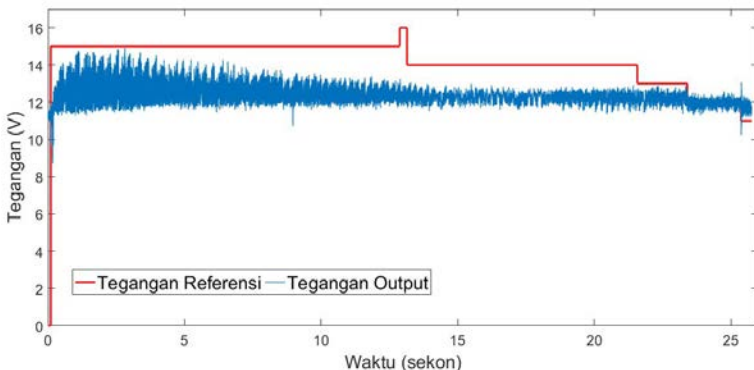
Battery charger yang telah dibuat diuji dengan memberikan beban baterai aki 12V dengan kapasitas baterai 7Ah. Mula – mula baterai di cek tegangan awal dimana apabila tegangan awal baterai kurang dari tegangan maksimal dan tidak mencapai kondisi *cut off* maka baterai siap untuk di *charge*. Dengan nilai tegangan terukur sebesar 10V maka baterai akan di *charge*. Untuk kondisi *constant current*, *error* yang digunakan yaitu *error* pembacaan arus antara arus *set point* dengan arus terukur. Seiring berjalannya waktu, maka tegangan baterai akan meningkat karena arus mulai mengisi ulang baterai. Ketika tegangan baterai meningkat, maka secara perlahan arus akan turun karena perbedaan tegangan antara *charger* dengan baterai semakin kecil sehingga perlu aksi dari pengendali PI untuk meningkatkan sinyal PWM agar perbandingan tegangan keluaran *battery charger* dengan baterai tetap untuk bisa mempertahankan keluaran arus sebesar 1A. Berikut grafik tegangan yang diperoleh dari tegangan nominal baterai hingga tegangan maksimumnya.



Gambar 4. 7 Grafik arus referensi dan arus output

Dari gambar 4.10 menunjukkan bahwa pengendali PI sudah mampu mengendalikan nilai keluaran arus (I_{out}) sebesar 1A

dengan nilai ripple 0,18 A dimana masih dalam batas toleransi *ripple* yaitu 0,3A. Nilai *error steady state* sebesar 1% ditunjukkan dengan nilai arus output (I_{out}) sebesar 0,99A dengan *set point* (I_{ref}) 1A. Nilai yang terbaca sangat dipengaruhi oleh resolusi sensor dan kontroler ketika membaca keluaran arus battery charger. Seperti kita ketahui bahwa resolusi ADC mikrokontroler arduino nano adalah 1023, sehingga mikrokontroler memiliki sensitifitas 4,8mV/bit. Dengan hasil pengujian sensor arus yang diperoleh, selisih 0,1A hampir tidak terjadi perubahan keluaran sensor sehingga konversi dari ADC ke nilai arus pun tidak mengalami perubahan. Dan ketika terjadi *noise* baik dari rangkaian maupun dari faktor eksternal, maka mikrokontroler pun membaca kenaikan nilai keluaran arus sehingga mengakibatkan pembacaan berubah.



Gambar 4. 8 Grafik tegangan terhadap waktu charging baterai

Dari gambar 4.11 menunjukkan bahwa ketika tegangan mencapai set point, maka arus akan mengalami penurunan hingga tidak ada lagi arus yang mengalir ke baterai diakibatkan tegangan baterai sama dengan tegangan yang dikeluarkan oleh *battery charger*. Untuk mempertahankan arus keluaran, maka variabel yang diubah adalah tegangan dimana arus merupakan efek dari adanya tegangan. Dalam penelitian ini masih terjadi *ripple* baik tegangan maupun arus keluaran karena memang untuk mode switching dengan beban baterai pada umumnya akan menghasilkan *ripple*.

Selama nilai *ripple* arus dan tegangan masih dalam toleransi maka kondisi tersebut diperbolehkan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa data yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan dari tugas akhir perancangan *battery charger* bahwa *battery charger* berbasis *buck converter* sebagai berikut:

- Perancangan *battery charger* dengan metode *buck converter constant current* dan *constant voltage* mampu melakukan kontrol arus *charging* ke baterai dengan nilai induktor 1 mH dan kapasitor 2200 μ F.
- Sensor arus menggunakan LEM CKSR-15NP dengan resolusi sebesar 2,73 mA/bit dan sensor tegangan menggunakan *voltage drop* dan modul AMC1200B dengan resolusi modul sebesar 29,4 mV/bit.
- Pengendali PI telah mampu melakukan kontrol arus untuk *charging* baterai aki 12V 7Ah dengan nilai $K_p=0.025$ dan $K_i=0.3$. Arus output sebesar 1A dengan ripple sebesar 0.18 A. *Ripple* arus tidak melebihi batas maksimalnya yaitu 0.3A sehingga masih diperbolehkan. Nilai *error steady state* sebesar 1%.

5.2 Saran

Penelitian ini masih jauh dari sempurna, masih butuh pengembangan-pengembangan ke depan agar mendapatkan hasil yang lebih baik. Saran untuk pengembangan penelitian ini antara lain :

- Perlu penambahan filter pada nilai output agar mendapatkan hasil keluaran yang lebih halus lagi.
- Perlu mengatur resolusi sensor, salah satunya dengan menggunakan rangkaian amplifier.

- Perlu penambahan komponen proteksi untuk mengamankan sistem dari gangguan eksternal yang dapat merusak sistem
- Perlu mengembangkan algoritma *constant current* dan *constant voltage* lainnya, meninjau *feedback* arus dan tegangan yang masih menghasilkan *ripple*.

Daftar Pustaka

- [1] D. B. R. Linden, "Handbook of Batteries 3 Edition," *The McGraw-Hills Companies, Inc*, 2002.
- [2] P. C., "Materials Requirements & Trends In Proceedings of the Batteries," *C. Battery Market Development for Consumer Electronics, Automotive, and Industrial*, 2014.
- [3] J. D. P. P. H. L. H. a. J. I. R. Gules, "A maximum power point tracking system with parallel connection for PV stand-alone applications," *IEEE Trans. Ind. Electron*, vol. 55, p. 2674–2683, 2008.
- [4] H. Y. M. H. R. Fang Lin Luo, "Digital Power Electronics and Applications," dalam *Digital Power Electronics and Applications*, USA, Elsevier, 2005, p. 136.
- [5] T. T. V. A. K. Weixiang Shen, "Charging Algorithms of Lithium-Ion Batteries," *Faculty of engineering and industrial sciences*, 2012.
- [6] J. Ejury, "Buck Converter Design," Infineon Technologies North America, Durham, 2013.
- [7] Z. N. S. B. B. a. A. E. A. Nasiri, "An on-line UPS system with power factor correction and electric isolation using BIFRED converter," *IEEE Trans. Ind. Electron*, vol. 55, p. 722–730, 2008.
- [8] J. D. P. P. H. L. H. a. J. I. R. Gules, "A maximum power point tracking system with parallel connection for PV stand-alone applications," *IEEE Trans. Ind. Electron*, vol. 55, p. 2674–2683, 2008.

- [9] S. S. Indonesia, 20 November 2012. [Online]. Available: <http://solarsuryaindonesia.com/info/vrla-baterai>. [Diakses 20 Mei 2016].
- [10] I. Buchman, Battery University, 17 Mei 2016. [Online]. Available: http://batteryuniversity.com/learn/article/charging_the_lead_acid_battery. [Diakses 20 Mei 2016].
- [11] G. ASTRA, "Astra Otoparts," GS Astra, Kelapa Gading, Jakarta, 1972.
- [12] W. wu, "Charging time estimation and study of charging behavior for automotive Li-ion battery cells using a Matlab/Simulink model," *KTH Royal Institute of Technology*, 2016.
- [13] T. V. A. K. W. Shen, "Charging Algorithms of Lithium-Ion Batteries: an Overview," *IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, vol. 7, 2012.
- [14] T. T. V. A. K. Weixiang Shen, "Charging Algorithms of lithium-ion batteries," Faculty of Engineering and Industrial Sciences, Hawthorn, Victoria, 3122, Australia, 2017.
- [15] C. Z. J. Jiang, "Fundamentals and applications of Lithium-ion batteries in electric vehicles," *ohn Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd*, 2015.
- [16] A. Bredley, "Solid State Relay Application Guide," Rockwell Automation, 2002.
- [17] A. Sugandi, "Rancang bangun Dc-dc Switch Mode Power Supply topologi Push Pull untuk konversi tegangan pada grid DC," Universitas Indonesia, Jakarta, 2018.

- [18] S. T.D., “Teknik Kendali PID,” 20 December 2018.
[Online]. Available: <http://www.robotics-university.com/2015/02/teknik-kendali-pid.html>. [Diakses 2019].
- [19] Arduino, “Arduino Nano,” Arduino, [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano>. [Diakses 12 December 2019].
- [20] A. Corporation, “8-bit AVR Microcontroller with 8K Bytes In-System Programmable Flash ATmega8535/8535L (Analog to Digital Converter),” 2006.
- [21] Z. Q. a. H. W. Yanfeng Shen, “Modeling and controll of DC-DC Converters,” *Aalborg University, Denmark*.

LAMPIRAN A

Tabel 4.2 Pengujian Sensor Arus

No	Arus (A)	Output (V)
1	0	2,52
2	0,1	2,53
3	0,2	2,53
4	0,3	2,53
5	0,4	2,53
6	0,5	2,54
7	0,6	2,54
8	0,7	2,55
9	0,8	2,55
10	0,9	2,56
11	1	2,56
12	1,1	2,56
13	1,2	2,57
14	1,3	2,57
15	1,4	2,58
16	1,5	2,58
17	1,6	2,59
18	1,7	2,59
19	1,8	2,6
20	1,9	2,6
21	2	2,6
22	2,1	2,61
23	2,2	2,61
24	2,3	2,62
25	2,4	2,62

No	Arus (A)	Output (V)
26	2,5	2,62
27	2,6	2,63
28	2,7	2,63
29	2,8	2,64

Tabel Pengujian nilai *threshold* IGBT

No	V _{GE} (mV)	V _{CE} (mV)	
		Cek 1	Cek 2
1	1	-54,2	-52,5
2	2	-54,2	-39
3	3	-54,2	-37,1
4	4	-31,5	-34,3
5	5	6,8	0
6	6	7,1	0
7	7	7	0
8	8	7	0

LAMPIRAN B

Script *battery charger* pada PSIM

```
g_nStepCount++;
```

```
// In case of error, uncomment next two lines. Set *pnError to 1  
and copy Error message to szErrorMsg
```

```
//*pnError=1;
```

```
//strcpy(szErrorMsg, "Place Error description here.");
```

```
ISet = in[0], IOut = in[1], VSet=in[2], VOut=in[3], KP = in[4], KI  
= in[5], KD = in[6]; EN = in[7];
```

```
if( VOut <= VSet || IOut >= ISet )
```

```
{
```

```
error=ISet - IOut;
```

```
derivative = (error-
```

```
error_prv)/delt;integral=integral_prv+error*delt;
```

```
SK= KP*error+KI*integral+KD*derivative;
```

```
error_prv=error;
```

```
integral_prv=integral;
```

```
if(SK>=1) { SK=1, integral = integral_prv;}
```

```
else if(SK<=0){ SK = 0, integral = integral_prv;}
```

```
}
```

```
else if( VOut >= VSet || IOut <= ISet )
```

```
{
```

```
error=VSet - VOut;
```

```
derivative = (error- error_prv)/delt;
```

```
integral=integral_prv+error*delt;
```

```
SK= KP*error+KI*integral+KD*derivative;
```

```
error_prv=error;
```

```
integral_prv=integral;
```

```
if(SK>=1) { SK=1, integral = integral_prv;}  
else if(SK<=0)  
{ SK = 0, integral = integral_prv;}  
}
```

```
out[0]= SK;
```


LAMPIRAN C

Script battery charger pada Arduino Nano

```
#define PWM 9
#define VOUT A1
#define VOUTN A0
#define IOUT A3
//#define Vref 14.8
//#define Iref 5
#define delt 0.002 // periode 500Hz sampling
#define BASE_PWM 4000

//Low-pass filter
const float Ff = 50; //Frekuensi filter
const float Fs = 500; //Frekuensi Sampling
const float Tf = 1/Ff; //Periode filter
const float h = 1/Fs; //Periode sampling
const float EMA_a = h/(Tf + h);
int EMA_V = 0,EMA_VP=0,EMA_VN = 0, EMA_I = 0;

//Variabel PID
volatile float error=0, error_prv=0, integral=0, integral_prv=0,
derivative=0, sk=0, Vref=0, Iref=0, Vout=0,VoutP=0, VoutN=0 ,
Iout=0, dt=delt,val_I=0, EN_PID=0;
float Kp = 0.1*4000;
float Ki = 0.3*4000;
float Kd = 0;
int baca=0;

void charge_control(){
    if(Serial.available()){
        baca = Serial.parseFloat();
```

```

    baca = constrain(baca,-3,30);
    if(baca>0){
        dt=delt, Vref=(float)baca, EN_PID = 1;
    }
    else if(baca===-1 || baca===-2 || baca===-3){
        if(baca===-1){
            Vref = -1;
            dt = delt;
            while(sk>0){
                Serial.print(Vref), Serial.print("\t");
                Serial.print(EMA_VP), Serial.print("\t");
                Serial.print(EMA_VN), Serial.print("\t");
                Serial.print(EMA_V), Serial.print("\t");
                Serial.print(Vout), Serial.print("\t");
                Serial.print(Iref), Serial.print("\t");
                Serial.print(EMA_I), Serial.print("\t");
                Serial.print(Iout), Serial.print("\t");
                Serial.print(OCR1A), Serial.print("\t");
                Serial.println(ICR1);
            }
            EN_PID=0, error=0, error_prv=0, integral=0, integral_prv=0,
            derivative=0, sk=0, Vref=0, Iref=0, Vout=0, Iout=0, dt=delt;
        }

        if(baca===-2){
            Serial.println("Masukkan Iref :");
            while(!Serial.available()){ }
            if(Serial.available()){
                Iref=Serial.parseFloat();
            }
        }
    }
    else if(baca===-3){

```

```

Serial.println("Masukkan periode :");
while(!Serial.available()){
if(Serial.available()){
    ICR1=Serial.parseInt();
    }
}
else{};
}

```

```

Serial.print(Vref), Serial.print("\t");
Serial.print(EMA_VP), Serial.print("\t");
Serial.print(EMA_VN), Serial.print("\t");
Serial.print(EMA_V), Serial.print("\t");
Serial.print(Vout), Serial.print("\t");
Serial.print(Iref), Serial.print("\t");
Serial.print(EMA_I), Serial.print("\t");
Serial.print(Iout), Serial.print("\t");
Serial.print(OCR1A), Serial.print("\t");
Serial.println(ICR1);
}

```

```

void setup() {
// put your setup code here, to run once:
pinMode(PWM, OUTPUT);
pinMode(VOUT,INPUT);
pinMode(VOUTN,INPUT);
pinMode(IOUT,INPUT);
Serial.begin(9600);

```

```

cli();//stop all-interrupt
//Inisialisasi Timer1 sinyal PWM

```

```
//menggunakan clock 16Mhz, generate frekuensi 4Khz sehingga  
nilai ICR1=4000
```

```
//Set nilai compare awal 0%
```

```
TCCR1A=(1<<COM1A1) | (0<<COM1A0) | (1<<COM1B1) |  
(0<<COM1B0) | (1<<WGM11) | (0<<WGM10);
```

```
TCCR1B=(0<<ICNC1) | (0<<ICES1) | (1<<WGM13) |  
(1<<WGM12) | (0<<CS12) | (0<<CS11) | (1<<CS10);
```

```
TCNT1H=0x00;
```

```
TCNT1L=0x00;
```

```
ICR1=4000;// set input capture pada 4Khz
```

```
OCR1A=0x0000; // set compare untuk duty cycle awal
```

```
//Inisialisasi Timer2 interrupt at 500Hz
```

```
TCCR2A = 0;// set entire TCCR2A register to 0
```

```
TCCR2B = 0;// same for TCCR2B
```

```
TCNT2 = 0;//initialize counter value to 0
```

```
// set compare match register for 500Hz increments
```

```
OCR2A = 255;
```

```
// turn on CTC mode
```

```
TCCR2A=(0<<COM2A1) | (0<<COM2A0) | (0<<COM2B1) |  
(0<<COM2B0) | (1<<WGM21) | (0<<WGM20);
```

```
// Set CS22 and CS20 bit for 128 prescaler
```

```
TCCR2B=(0<<WGM22) | (1<<CS22) | (0<<CS21) |  
(1<<CS20);
```

```
// enable timer compare interrupt
```

```
TIMSK2 |= (1 << OCIE2A);
```

```
sei();//start interrupt
```

```
}
```

```

//Interrupt Service Routine
ISR(TIMER2_COMPA_vect)
{
    VoutP = (int)analogRead(VOUT);
    VoutN = (int)analogRead(VOUTN);
    EMA_VP = ((EMA_a*VoutP)+((1-EMA_a)*EMA_VP));
    EMA_VN = ((EMA_a*VoutN)+((1-EMA_a)*EMA_VN));
    EMA_V = ((EMA_a*(EMA_VP-EMA_VN))+((1-
    EMA_a)*EMA_V));
    Vout = EMA_V/12.4;
//nilai ADC 30V sebesar 372 sehingga koefisien pembagi 12.4
    val_I = analogRead(IOUT);
    EMA_I = ((EMA_a*val_I)+((1-EMA_a)*EMA_I));
//Ketika Arus 0A, nilai ADC terbaca 564
    Iout = (EMA_I-572)*0.09;

if(EN_PID){
    //Constant Current
    if(Vout < Vref){
        error = Iref - Iout;
        integral = integral_prv + error*dt;
        derivative = (error - error_prv)/dt;
        sk = Kp*error + Ki*integral + Kd*derivative;
        if(sk > ICR1)sk = OCR1A, integral = integral_prv;
        else if(sk <=0)sk = 0, integral = integral_prv;
        integral_prv = integral;
        error_prv = error;
        OCR1A = (int)sk;
    }
}

```

```
//Constant Voltage
else if(Vout > (Vref+0.3)){
    error = Vref - Vout;
    integral = integral_prv + error*dt;
    derivative = (error - error_prv)/dt;
    sk = Kp*error + Ki*integral + Kd*derivative;
    if(sk > ICR1)sk = OCR1A, integral = integral_prv;
    else if(sk <=0)sk = 0, integral = integral_prv;
    integral_prv = integral;
    error_prv = error;
    OCR1A = (int)sk;
}
}

void loop() {
    charge_control();
}
```

LAMPIRAN D



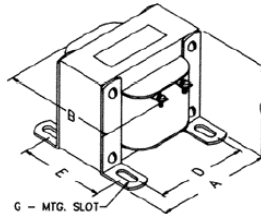
Quality Products. Service Excellence.

Heavy Current Chassis Mount 195-196 Series



Features

- Open core & coil, 4-slot bracket mounting chokes.
- Tolerance of 15% on both inductance & resistance.
- Inductances measured at rated D.C. current.
- The "195" series is single coil
- The "196" series is dual coil - allowing more versatility
- Recommended maximum operating voltage 600 VAC (winding to core).
- Hipot tested at 2,500 VAC
- Connections are made to a screw terminal or heavy copper tabs with holes
- Perfect for high current power supply filtering.



195 Series

Part No.	Inductance mH (Millihenries)	D.C. Current (Amps)	Resistance (Ohms)	Insulation Class	Dimensions					Mounting Slot	Weight (lbs.)
					A	B	C	D	E		
195A200	0.3	200	0.0012	-	7.50	7.00	6.50	6.00	5.25	0.28 x 0.56	46
195B100	0.5	100	0.002	-	6.38	6.25	5.38	5.25	4.13	0.28 x 0.56	31
195B150	0.5	150	0.0018	B	5.25	5.50	4.47	4.38	4.13	0.28 x 0.56	26
195C20	1	20	0.013	A	3.00	3.06	2.50	2.50	2.25	0.20 x 0.38	3
195C30	1	30	0.009	A	3.75	3.85	3.13	3.13	2.50	0.20 x 0.38	6
195C50	1	50	0.005	A	4.50	5.25	3.75	3.75	3.50	0.20 x 0.38	14.5
195C75	1	75	0.004	A	5.25	6.00	4.47	4.38	4.63	0.28 x 0.56	23
195C100	1	100	0.0036	B	5.25	6.50	4.47	4.38	5.13	0.28 x 0.56	26
195D50	1.4	50	0.005	-	6.38	5.50	5.38	5.25	3.88	0.28 x 0.56	28
195E20	2.5	20	0.022	A	3.75	4.20	3.13	3.13	2.75	0.20 x 0.38	6.5
195E30	2.5	30	0.013	A	4.50	5.25	3.75	3.75	3.50	0.20 x 0.38	12.5
195E50	2.5	50	0.008	A	5.25	6.00	4.47	4.38	4.63	0.28 x 0.56	23.5
195E75	2.5	75	0.008	B	6.00	6.63	5.16	5.00	4.88	0.28 x 0.56	32.5
195E100	2.5	100	0.006	B	9.00	9.75	7.50	7.00	6.00	0.44 x 0.75	88
195F30	4	30	0.018	-	6.38	5.00	5.38	5.25	3.25	0.28 x 0.56	23
195G10	5	10	0.04	A	3.75	3.60	3.13	3.13	2.25	0.20 x 0.38	5.5
195G20	5	20	0.025	A	4.50	4.75	3.75	3.75	3.00	0.20 x 0.38	10.5
195G25	5	25	0.014	-	5.25	6.00	4.44	4.38	3.63	0.28 x 0.56	18
195G30	5	30	0.023	A	5.25	5.00	4.47	4.38	3.63	0.28 x 0.56	16

D1. Induktor 195J20



B43456 / B43458

Compact – 85 °C

Specifications and characteristics in brief

Rated voltage U_R	350 ... 450 VDC	
Surge voltage U_S	$1,10 \cdot U_R$	
Rated capacitance C_R	1 000 ... 18 000 μ F	
Capacitance tolerance	$\pm 20 \% \triangleq M$	
Leakage current I_L (5 min, 20 °C)	$I_L \leq 0,3 \mu A \cdot \left(\frac{C_R}{\mu F} \cdot \frac{U_R}{V} \right)^{0,7} + 4 \mu A$	
Self-inductance ESL	Approx. 20 nH Capacitors with low inductance design: $d \geq 64,3$ mm: approx. 13 nH	
Useful life 85 °C; U_R ; I_{-R} 40 °C; U_R ; $1,5 \cdot I_{-R}$	> 12 000 h > 250 000 h	Requirements: $\Delta C/C \leq \pm 30 \%$ of initial value $ESR \leq 3$ times initial specified limit $I_L \leq$ initial specified limit Failure percentage: $\leq 1 \%$ Failure rate: ≤ 40 fit ($\leq 40 \cdot 10^{-9}/h$) (for definiton "fit", refer to chapter "Quality", page 62)
Voltage endurance test 85 °C; U_R	2 000 h	Post test requirements: $\Delta C/C \leq \pm 10 \%$ of initial value $ESR \leq 1,3$ times initial specified limit $I_L \leq$ initial specified limit
Vibration resistance	To IEC 60068-2-6, test Fc: displacement amplitude 0,75 mm, frequency range 10 to 55 Hz, acceleration max. 10 g, duration 3×2 h	
IEC climatic category	To IEC 60068-1: $U_R \leq 400$ VDC: 40/085/56 (– 40 °C/+ 85 °C/56 days damp heat test) $U_R = 450$ VDC: 25/085/56 (– 25 °C/+ 85 °C/56 days damp heat test)	
Detail specifications	Similar to CECC 30301-803, CECC 30301-807	
Sectional specification	IEC 60384-4	

Ripple current capability

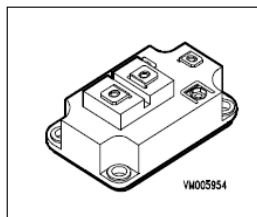
Due to the ripple current capability of the contact elements, the following current upper limits must not be exceeded:

Capacitor diameter	51,6 mm	64,3 mm	76,9 mm	91,0 mm
I_{-max}	30 A	40 A	50 A	70 A

D2. Kapasitor B43456-S9508-M11

IGBT Power Module

- Single switch
- Including fast free-wheeling diodes
- Package with insulated metal base plate



Type	V_{CE}	I_C	Package	Ordering Code
BSM 200 GA 120 DN2	1200V	300A	SINGLE SWITCH 1	C67076-A2006-A70
BSM 200 GA 120 DN2 S	1200V	300A	SSW SENSE 1	C67070-A2006-A70

Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Values	Unit
Collector-emitter voltage	V_{CE}	1200	V
Collector-gate voltage	V_{CGR}		
$R_{GE} = 20 \text{ k}\Omega$		1200	
Gate-emitter voltage	V_{GE}	± 20	
DC collector current	I_C		A
$T_C = 25 \text{ }^\circ\text{C}$		300	
$T_C = 80 \text{ }^\circ\text{C}$		200	
Pulsed collector current, $t_p = 1 \text{ ms}$	I_{Cpuls}		
$T_C = 25 \text{ }^\circ\text{C}$		600	
$T_C = 80 \text{ }^\circ\text{C}$		400	
Power dissipation per IGBT	P_{tot}		W
$T_C = 25 \text{ }^\circ\text{C}$		1550	
Chip temperature	T_j	+ 150	$^\circ\text{C}$
Storage temperature	T_{stg}	-40 ... + 125	
Thermal resistance, chip case	R_{thJC}	≤ 0.08	K/W
Diode thermal resistance, chip case	R_{thJCD}	≤ 0.15	
Insulation test voltage, $t = 1 \text{ min.}$	V_{is}	2500	Vac
Creepage distance	-	20	mm
Clearance	-	11	
DIN humidity category, DIN 40 040	-	F	sec
IEC climatic category, DIN IEC 68-1	-	40 / 125 / 56	

D3. IGBT BSM 200 GA 120DN2

AMC1200/B Fully-Differential Isolation Amplifier

1 Features

- ± 250 -mV Input Voltage Range Optimized for Shunt Resistors
- Very Low Nonlinearity: 0.075% Maximum at 5 V
- Low Offset Error: 1.5 mV Maximum
- Low Noise: 3.1 mV_{RMS} Typical
- Low High-Side Supply Current: 8 mA Maximum at 5 V
- Input Bandwidth: 60 kHz Minimum
- Fixed Gain: 8 (0.5% accuracy)
- High Common Mode Rejection Ratio: 108 dB
- 3.3-V Operation on Low-Side
- Certified Galvanic Isolation:
 - UL1577 and VDE V 0884-10 Approved
 - Isolation Voltage: 4250 V_{PEAK} (AMC1200B)
 - Working Voltage: 1200 V_{PEAK}
 - Transient Immunity: 10 kV/ μ s Minimum
- Typical 10-Year Lifespan at Rated Working Voltage (see Application Report [SLLA197](#))
- Fully Specified Over the Extended Industrial Temperature Range

2 Applications

- Shunt Resistor Based Current Sensing in:
 - Motor Control
 - Green Energy
 - Frequency Inverters
 - Uninterruptible Power Supplies

3 Description

The AMC1200 and AMC1200B are precision isolation amplifiers with an output separated from the input circuitry by a silicon dioxide (SiO₂) barrier that is highly resistant to magnetic interference. This barrier has been certified to provide galvanic isolation of up to 4250 V_{PEAK} (AMC1200B) or 4000 V_{PEAK} (AMC1200) according to UL1577 and VDE V 0884-10. Used in conjunction with isolated power supplies, these devices prevent noise currents on a high common mode voltage line from entering the local ground and interfering with or damaging sensitive circuitry.

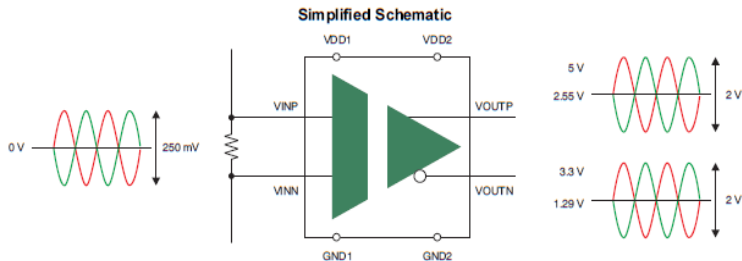
The input of the AMC1200 or AMC1200B is optimized for direct connection to shunt resistors or other low voltage level signal sources. The excellent performance of the device supports accurate current control resulting in system-level power saving and, especially in motor-control applications, lower torque ripple. The common mode voltage of the output signal is automatically adjusted to either the 3-V or 5-V low-side supply.

The AMC1200 and AMC1200B are fully specified over the extended industrial temperature range of -40°C to 105°C and are available in a wide-body SOIC-8 package (DWW) and a gullwing-8 package (DUB).

Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
AMC1200	SOP (8)	9.50 mm × 6.57 mm
AMC1200B	SOIC (8)	5.85 mm × 7.50 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.



D4. Sensor Tegangan AMC1200B

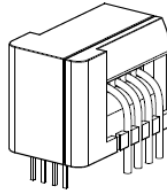


Current Transducer CKSR series

$I_{PN} = 6, 15, 25, 50 \text{ A}$

Ref: CKSR 6-NP, CKSR 15-NP, CKSR 25-NP, CKSR 50-NP

For the electronic measurement of current: DC, AC, pulsed..., with galvanic isolation between the primary and the secondary circuit.



Features

- Closed loop (compensated) multi-range current transducer
- Voltage output
- Single supply
- Isolated plastic case material recognized according to UL 94-V0
- Compact design for PCB mounting.

Advantages

- Very low temperature coefficient of offset
- Very good dv/dt immunity
- Higher creepage / clearance distances
- Reduced height
- Reference pin with two modes: Ref IN and Ref OUT
- Extended measuring range for unipolar measurement.

Applications

- AC variable speed and servo motor drives
- Static converters for DC motor drives
- Battery supplied applications
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Switched Mode Power Supplies (SMPS)
- Power supplies for welding applications
- Solar inverters.

Standards

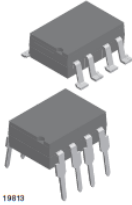
- EN 50178
- UL 508
- IEC 61010-1 (safety).

Application Domain

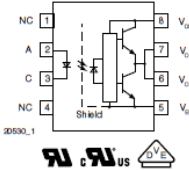
- Industrial.

D5. Sensor Arus LEM CKSR 15-NP

2.5 A Output Current IGBT and MOSFET Driver



19113



FEATURES

- 2.5 A minimum peak output current
- 25 kV/μs minimum common mode rejection (CMR) at $V_{CM} = 1500\text{ V}$
- $I_{CC} = 2.5\text{ mA}$ maximum supply current
- Under voltage lock-out (UVLO) with hysteresis
- Wide operating V_{CC} range: 15 V to 32 V
- 0.2 μs maximum pulse width distortion
- Industrial temperature range: - 40 °C to 110 °C
- 0.5 V maximum low level output voltage (V_{OL})
- Reinforced insulation rated per DIN EN 60747-5-2
- Material categorization: For definitions of compliance please see www.vishay.com/doc?99912



DESCRIPTION

The VO3120 consists of a LED optically coupled to an integrated circuit with a power output stage. This optocoupler is ideally suited for driving power IGBTs and MOSFETs used in motor control inverter applications. The high operating voltage range of the output stage provides the drive voltages required by gate controlled devices. The voltage and current supplied by this optocoupler makes it ideally suited for directly driving IGBTs with ratings up to 800 V/50 A. For IGBTs with higher ratings, the VO3120 can be used to drive a discrete power stage which drives the IGBT gate.

APPLICATIONS

- Isolated IGBT/MOSFET gate driver
- AC and brushless DC motor drives
- Induction stove top
- Industrial inverters
- Switch mode power supplies (SMPS)
- Uninterruptible power supplies (UPS)

AGENCY APPROVALS

- UL - file no. E52744 system code H, double protection
- cUL - file no. E52744, equivalent to CSA bulletin 5A
- DIN EN 60747-5-2 (VDE 0884) and reinforced insulation rating available with option 1

ORDERING INFORMATION		
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">V</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">O</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">3</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">x</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">-</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">X</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">#</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">#</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">T</div> </div> <p style="text-align: center;">PART NUMBER</p>	<p style="text-align: center;">PACKAGE OPTION</p>	<p style="text-align: center;">TAPE AND REEL</p>
 7.62 mm	 ≥ 0.7 mm	 ≥ 0.1 mm
PACKAGE	UL, cUL	UL, cUL, VDE
DIP-8, tubes	VO3120	VO3120-X001
SMD-8, option 7, tape and reel	VO3120-X007T	-
SMD-8, option 9, tape and reel	-	VO3120-X019T

D6. Optocoupler VO3120

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Yogi Pratama dilahirkan di Lamongan, 26 Juli 1997. Penulis merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menyelesaikan pendidikan di SDN Sumbersari pada tahun 2009, SMPN 1 Ngimbang pada tahun 2012, SMAN 2 Jombang pada tahun 2015 dan sedang menempuh pendidikan S1 Teknik Fisika FTIRS di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya hingga sekarang. Penulis memiliki pengalaman program *internship* selama 1 bulan di PT Lentera Bumi Nusantara dan pengalaman program magang FHCI selama 6 bulan di PT INKA Madiun. Dengan pengalaman magang di PT INKA Madiun, penulis mendapatkan ide untuk melakukan penelitian perancangan purwarupa *battery charger* pada battery TRAM di PT INKA Madiun. Melalui buku ini, penulis berharap dapat memberikan sumbangan pengetahuan untuk penelitian selanjutnya agar didapatkan hasil yang lebih baik dari sebelum-sebelumnya. Penulis juga berharap agar para generasi penerus selalu menanamkan rasa keingin tahunya terhadap ilmu pengetahuan sehingga dapat menyelesaikan permasalahan yang ada.