



***BOOST CONVERTER* SEBAGAI PENGATUR TEGANGAN UNTUK
MOTOR LISTRIK DC MAGNET PERMANEN**

SKRIPSI

Oleh

**NOFAN DWI MULYANTO
NIM 111910201033**

**PROGAM STUDI STRATA S1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**



**BOOST CONVERTER SEBAGAI PENGATUR TEGANGAN UNTUK
MOTOR LISTRIK DC MAGNET PERMANEN**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**NOFAN DWI MULYANTO
NIM 111910201033**

**PROGRAM STUDI STRATA S1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2016**

PERSEMBAHAN

Dengan naungan rahmat Allah S.W.T. yang telah memberikan segala nikmat serta anugerah-Nya sehingga dapat kupersembahkan skripsi ini kepada :

1. Kedua orang tuaku, Ibuku Sukarni dan Ayahku Mulyono(Alm) yang selalu memberiku cinta dan kasih sayang yang begitu berarti hingga akhirnya saya dapat memperoleh gelar sarjana teknik (ST).
2. Kakak - adikku Dian Setiyowati dan Cahya Agus, terima kasih karena telah memberikan doa dan semangat agar aku dapat menyelesaikan studi di Universitas Jember.
3. Bapak Bambang Sujanarko dan Bapak Suprihadi Prasetyono, terima kasih banyak atas bimbingan, ilmu, dan nasehatnya.
4. Arek2 kontrakan “Jejaka Tangguh”, kalian benar-benar saudara terbaik dalam hidupku
5. Keluarga Besar Teknik Elektro Angkatan 2011, aku bangga menjadi angkatan 2011. Terima kasih atas dukungan dan motivasi yang kalian berikan
6. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember

MOTTO

“Sesungguhnya bersama kesukaran itu ada keringanan. Karena itu bila kau sudah selesai (mengerjakan yang lain). Dan berharaplah kepada Tuhanmu.”

(Q.S Al Insyirah : 6-8)

“Sesungguhnya Allah menyukai hamba yang berkarya dan terampil. Barang siapa bersusah-payah mencari nafkah untuk keluarganya, maka nilainya sama dengan seorang mujahid di jalan Allah SWT”

(Hadist Nabi - HR. Ahmad)

“Orang-orang yang berhenti belajar akan menjadi pemilik masa lalu. Dan orang-orang yang masih terus belajar, akan menjadi pemilik masa depan”

(Mario Teguh)

“Jalan hidup tidak selalu mudah tapi pasti akan ada usaha untuk melewatinya”

(Nofan Dwi Mulyanto)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Nofan Dwi Mulyanto

NIM : 111910201033

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis yang berjudul “*Boost Converter* Sebagai Pengatur Tegangan untuk Motor Listrik DC Magnet Permanen” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 27 Juni 2016

Yang menyatakan,

Nofan Dwi Mulyanto

NIM. 111910201033

SKRIPSI

***BOOST CONVERTER* SEBAGAI PENGATUR TEGANGAN UNTUK
MOTOR LISTRIK DC MAGNET PERMANEN**

Oleh

Nofan Dwi Mulyanto

NIM 111910201033

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.

Dosen Pembimbing Anggota : Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “ *Boost Converter* Sebagai Pengatur Tegangan untuk Motor Listrik DC Magnet Permanen ” Telah diuji dan disahkan pada :

Hari, Tanggal : Senin, 27 Juni 2016

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.
NIP 19700826 199702 1 001

Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.
NIP 19700404 199601 1 001

Penguji I,

Penguji II,

Ir. Widyono Hadi, M.T.
NIP 19610414 198902 1 001

Dr. Azmi Saleh, S.T, M.T
NIP 19700404 199601 1 001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah M.U.M.
NIP 19661215 199503 2 001

Boost Converter Sebagai Pengatur Tegangan untuk Motor Listrik DC Magnet Permanen

Nofan Dwi Mulyanto

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Rangkaian *boost converter* digunakan untuk menaikkan tegangan sumber dimana tegangan *output* akan memiliki nilai tegangan yang lebih tinggi. Tegangan *ouput* konverter dapat dijaga pada nilai tertentu melalui pengaturan *duty cycle* PWM yang digunakan untuk proses *switching* mosfet pada konverter dimana ketika tegangan mengalami penurunan maka secara otomatis akan terbaca oleh mikrokontroler Arduino Uno dengan menggunakan pengendali kontrol *Proportional Integral Derivative* (PID) melalui pembacaan sensor tegangan. Besarnya perubahan nilai tegangan yang dihasilkan terhadap nilai tegangan *set point* akan menjadi acuan berapa nilai *duty cycle* yang akan dibangkitkan. Untuk pengujian tanpa beban, saat nilai PWM yang diberikan 50, 100 dan 150 maka tegangan *output* yang dihasilkan adalah 23,5 V, 31,5 V dan 43,7 V dengan tegangan *input* sebesar 24 V. Sedangkan pada pengujian menggunakan kontrol saat diberikan beban 4,9 N, 14,7 N, 24,5 N, mikrokontroler menghasilkan PWM sebesar 153, 167, 182 dimana menghasilkan kecepatan motor stabil pada 324 rpm, dengan tegangan *output* konstan pada 36 V, arus *output* sebesar 0,62 A, 0,69 A, 0,85 A dengan nilai daya paling besar yaitu 30,8 W.

Kata kunci : *Boost Converter, Duty cycle, Switching, Pulse With Modulation (PWM), Arduino Uno*

Boost Converter As a Voltage Regulator for the DC Electric Motor Permanent Magnet

Nofan Dwi Mulyanto

*Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
University of Jember*

ABSTRACT

Boost converter circuit is used to raise the voltage source where the output voltage will have a higher voltage value. Output voltage converter can be maintained at a certain value by setting the PWM duty cycle used for the process of switching mosfet converter when voltage is decreased it will automatically be read by the Arduino Uno microcontroller using the controller Proportional Integral Derivative (PID) through reading the voltage sensor. The magnitude of changes in the voltage value of the generated to the set point voltage value will be the reference value of the duty cycle will be raised. For testing without a load , the current PWM value given 50 , 100 and 150 then output voltage the resulting is 23.5 V , 31.5 V and 43.7 V to the input voltage of 24 V. While in the testing using control is given a load of 4.9 N , 14.7 N , 24.5 N , the microcontroller generates a PWM at 153 , 167 , 182 which generate the motor speed is stable at 324 rpm , with a constant output voltage at 36 V , the output current of 0.62 A , 0.69 A , 0.85 A of the greatest power is 30.8 W.

Key words : *Boost Converter, Duty cycle, Switching, Pulse With Modulation (PWM), Arduino Uno*

RINGKASAN

***Boost Converter* Sebagai Pengatur Tegangan untuk Motor Listrik DC Magnet Permanen** ; Nofan Dwi Mulyanto, 111910201033; 2016: 77 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Keterbatasan bahan bakar fosil dan efek yang ditimbulkan dari penggunaan jenis bahan bakar ini terhadap lingkungan memerlukan perhatian dan penanganan yang serius demi menjaga ketersediaan energi serta untuk menjaga kelestarian lingkungan. Meningkatnya jumlah kendaraan yang menggunakan bahan bakar fosil juga menambah dampak negatif yang ditimbulkan seperti polusi udara serta ketergantungan terhadap sumber energi tersebut.

Sumber-sumber energi baru terbarukan seperti energi angin, tenaga surya, panas bumi serta fuel cell menjadi sumber energi alternatif yang dapat disimpan dan digunakan berbagai aplikasi termasuk kendaraan dengan sumber energi listrik di dalamnya. Mobil listrik adalah kendaraan penumpang untuk pribadi, yang beroperasi pada jalan raya dan yang digerakkan secara elektrik. Sepeda listrik termasuk salah satu bagian dari disiplin ilmu pengemudian elektrik (electric drives), yang dapat didefinisikan sebagai konversi energi listrik ke energi mekanik, serta cara-cara pengaturannya. Komponen utama sepeda listrik adalah motor listrik sebagai penggerak, baterai sebagai sumber energi, sistem kontrol sebagai pusat kendali dan konverter daya sebagai peralatan elektrik

Penelitian ini adalah merancang bangun sebuah *boost converter* DC/DC yang berfungsi menjembatani daya listrik yang dihasilkan oleh sebuah baterai dengan motor listrik sebagai tenaga penggerak atau beban yang digunakan. Dalam penelitian tentang *boost converter* ini digunakan untuk menaikkan tegangan baterai dan menstabilkannya pada titik tertentu sehingga dapat memberikan tegangan yang konstan sesuai dengan kebutuhan tegangan pada beban dari motor listrik. Penelitian ini menggunakan sebuah sistem kontrol dengan menggunakan pengendali kontrol *Proportional Integral Derivative* (PID)

agar dapat mengendalikan kestabilan tegangan keluaran dari rangkaian *boost converter* yang disebabkan oleh pembebanan pada motor dengan melakukan beberapa pengujian yaitu pengujian LCD, pengujian sensor, dan pengujian PWM.

Pengujian rangkaian *boost converter* dengan beban tanpa menggunakan kontrol bertujuan untuk mengetahui karakteristik PWM, tegangan, arus dan daya rangkaian dengan menentukan besar nilai pada *duty cycle* dan tegangan *output* bernilai tetap. Dengan memberikan *duty cycle* tetap sebesar 51 persen dengan memberikan beban berbeda maka dapat diketahui karakteristik yang dihasilkan. Pada saat beban sebesar 0 N menghasilkan tegangan *output* sebesar 38,4 V, nilai arus sebesar 0,51 A dan daya sebesar 19,5 W dengan kecepatan sebesar 383 rpm. Pada saat beban sebesar 9,8 N menghasilkan tegangan *output* sebesar 32,2 V, nilai arus sebesar 0,62 A dan daya sebesar 19,9 W dengan kecepatan 320 rpm. Pada saat beban sebesar 19,6 N menghasilkan tegangan *output* sebesar 31,2 V, nilai arus sebesar 0,69 A dan daya sebesar 21,5 W dengan kecepatan sebesar 309 rpm. Selanjutnya menentukan agar tegangan *output* tetap sebesar 36 V dengan memberikan beban berbeda. Pada saat beban sebesar 0 N membutuhkan PWM ke *gate* sebesar 121 atau 60,3 persen sehingga menghasilkan arus sebesar 0,48 A dengan daya sebesar 17,3 W. Pada saat beban sebesar 9,8 N membutuhkan PWM ke *gate* sebesar 159 atau 65 persen sehingga menghasilkan arus sebesar 0,69 A dengan daya sebesar 25 W. Pada saat beban sebesar 19,6 N membutuhkan PWM ke *gate* sebesar 171 atau 69,8 persen sehingga menghasilkan arus sebesar 0,77 A dengan daya sebesar 27,9 W.

Dalam pengujian selanjutnya dengan menggunakan kontrol dilakukan perbandingan dengan melakukan pengujian pada motor menggunakan 3 buah aki 36 V dan pengujian pada motor menggunakan 2 buah aki 24 V menggunakan rangkaian *boost converter*. Pada pengujian menggunakan aki 36 tanpa *boost converter* diketahui bahwa saat beban yang diberikan semakin besar yakni 4,9 N, 14,7 N dan 24,5 N didapatkan tegangan suplai yang dihasilkan sebesar 36 V, 35,8 V dan 35,6 V dimana kecepatan motor sebesar 350 rpm, 348 rpm, 343 rpm dengan daya terbesar yakni 30,6 W. Kemudian pada pengujian menggunakan aki 24 V dengan *boost converter* diketahui bahwa saat beban semakin besar yakni 4,9

N, 14,7 N dan 24,5 N didapatkan tegangan suplai yang dihasilkan sebesar 36,1 V, 36,2 V dan 36,3 V dimana kecepatan motor sebesar 319 rpm, 324 rpm, 326 rpm dengan daya terbesar yakni 30,8 W.

Dari perbandingan data yang diperoleh diketahui bahwa dengan menggunakan rangkaian *boost converter* dapat menghasilkan tegangan sebesar 36 V dengan hanya menggunakan 2 buah aki dengan jumlah tegangan 24 V. Pada pengujian rangkaian *boost converter* dapat menghasilkan tegangan konstan sebesar 36 V dengan kecepatan motor stabil pada 324 rpm pada setiap beban yang diberikan sedangkan pada pengujian tanpa rangkaian *boost converter* dengan menggunakan 3 buah aki dengan tegangan 36 V, semakin besar beban yang diberikan maka tegangan suplai akan semakin menurun sehingga kecepatan motor juga semakin berkurang.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “*Boost Converter Sebagai Pengatur Tegangan untuk Motor Listrik DC Magnet Permanen*”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi strata satu (S1) Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Selama penyusunan skripsi ini penulis mendapat bantuan berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah M.U.M. selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Bapak Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M., selaku dosen pembimbing utama dan Bapak Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing anggota yang telah rela meluangkan waktu, pikiran serta motivasi dalam penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T., selaku dosen penguji utama dan Bapak Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T., selaku dosen penguji anggota yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun sehingga sangat membantu terhadap penyempurnaan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa.
5. Bapak M. Agung Prawira Negara, S.T., M.T., selaku Komisi Bimbingan S1 yang telah membantu penulisan skripsi secara administratif.
6. Kepada teknisi lab serta asisten lab yang telah memberikan arahan untuk proses perancangan alat pada penelitian ini serta penyusunan skripsi.
7. Kepada orang tua tercinta Ibuku Sukarni dan Ayahku Mulyono (Alm) yang telah memberikan dukungan baik secara moral maupun materi dalam penyusunan skripsi ini.
8. Kedua saudara Dian Setiyowati dan Cahya Agus Erfianto yang telah menyemangati dalam penyusunan skripsi ini.

9. Teman-teman jejak tangguh Sidiq, Arif, Imam, mas Fathur, Kukuh, Galuh, Ilham, Fani, Yazid dan adik Agus yang telah tinggal dan berjuang bersama selama menjadi mahasiswa.
10. Teman-teman seperjuangan Darma, Rifan, Dwi, Firzon, Faiz, Jamal, Ichal, Anisia, Intan yang telah memberikan pengalaman hidup, berbagi cerita dan ilmu, serta dukungan tidak ada bosannya selama penyusunan skripsi.
11. Rekan-rekan Fakultas Teknik Universitas Jember khususnya rekan-rekan Teknik Elektro Angkatan 2011 yang tidak dapat disebutkan satu per satu, selama ini telah memberikan pengalaman hidup selama penulis menjadi keluarga Fakultas Teknik Universitas Jember.
12. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah mendukung dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 27 Juni 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
RINGKASAN	x
PRAKATA	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xx
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
1.6 Sistematika Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Motor DC	5
2.1.1 Prinsip Kerja Motor DC	6
2.1.2 Komponen Motor DC	7
2.1.3 Karakteristik Motor DC	8
2.2 DC – DC Konverter	10
2.2.1 <i>Boost Converter</i>	10
2.2.2 Prinsip Kerja <i>Boost Converter</i>	10

2.3	MOSFET	13
2.4	Baterai	14
2.5	<i>Pulse Width Modulation (PWM)</i>	15
2.5.1	Dasar Pembangkitan PWM secara Digital	15
2.5.2	Pengaturan <i>Duty Cycle</i> dengan Kontrol PWM	18
2.6	<i>Proportional, Integral, dan Derrivative (PID)</i>	18
2.6.1	Pengontrol <i>Proportional</i>	19
2.6.2	Pengontrol <i>Integral</i>	19
2.6.3	Pengontrol <i>Derrivative</i>	21
2.6.4	Pengontrol PID.....	22
2.7	Arduino Uno	24
2.8	LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>)	26
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN		29
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian	29
3.2	Alat dan Bahan	29
3.3	Prosedur Penelitian	30
3.4	Diagram Alir Penelitian	31
3.5	Diagram Blok	32
3.6	<i>Flowchart Sistem Boost Converter</i>	34
3.7	Perancangan rangkaian <i>Boost Converter</i>	35
3.7.1	Perhitungan rangkaian <i>boost converter</i>	35
3.7.2	Rangkaian <i>Driver Mosfet</i>	37
3.7.3	Rangkaian Sensor Tegangan	37
3.7.4	Rangkaian Sensor Arus	39
3.7.5	Rangkaian LCD.....	40
3.8	Desain Sistem <i>Boost Converter</i>	40
3.9	Perancangan Pembebanan	41
3.10	Spesifikasi Motor Listrik DC Magnet Permanen	42
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN		44
4.1	Pengujian LCD	44
4.2	Pengujian Sensor Tegangan	46

4.3	Pengujian Sensor Arus	48
4.4	Pengujian Sinyal PWM	50
4.5	Analisa Pengaruh Sinyal PWM terhadap Tegangan <i>Output Boost Converter</i>	52
4.6	Pengujian Rangkaian <i>Boost Converter</i> dengan Beban tanpa menggunakan Kontrol.....	56
4.7	Pengujian Kontrol PID.....	57
4.8	Pengujian Rangkaian <i>Boost Converter</i> dengan Beban menggunakan Kontrol	59
BAB 5. PENUTUP		63
5.1	Kesimpulan.....	63
5.2	Saran	63
DAFTAR PUSTAKA		65
LAMPIRAN		66

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Motor DC	5
Gambar 2.2 Penentuan arah gerak kawat berarus	6
Gambar 2.3 Prinsip kerja putaran motor DC	6
Gambar 2.4 Konstruksi stator motor DC	7
Gambar 2.5 Rotor atau jangkar motor DC	7
Gambar 2.6 Komutator.....	8
Gambar 2.7 Kurva torsi dan kecepatan	8
Gambar 2.8 Operasi motor DC magnet permanen.....	9
Gambar 2.9 Boost Converter (Danie Novin Sugiharto, 2010).....	11
Gambar 2.10 Arah Arus saat PWM <i>Switch</i> ON dan OFF (Danie Novin Sugiharto, 2010)	11
Gambar 2.11 Proses Pembangkitan Sinyal	16
Gambar 2.12 <i>Clear Up</i> dan <i>Clear Down</i>	17
Gambar 2.13 Sinyal PWM dengan Variasi <i>Duty Cycle</i>	18
Gambar 2.14 Respon Kontrol P	19
Gambar 2.15 Respon Kontrol P, I dan PI.....	20
Gambar 2.16 Respon Kontrol P, D, dan PD	21
Gambar 2.17 Skema Alur Kerja PID (Hartono, 2002).....	22
Gambar 2.18 Hubungan dalam Fungsi Waktu Antara Sinyal Keluaran dengan Masukan Untuk Pengontrol PID (Ogata, 1994).....	23
Gambar 2.19 Respon Kontrol P, PI dan PID	24
Gambar 2.20 <i>Board</i> Arduino Uno.....	25
Gambar 2.21 LCD 16x2.....	28
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	31
Gambar 3.2 Diagram Blok	32
Gambar 3.3 Flowchart Sistem <i>Boost Converter</i>	34
Gambar 3.4 Rangkaian <i>Boost Converter</i>	35
Gambar 3.5 Rangkaian <i>Driver</i> Mosfet.....	37
Gambar 3.6 Rangkaian Sensor Tegangan	38

Gambar 3.7 Rangkaian Sensor Arus	39
Gambar 3.8 Rangkaian LCD.....	40
Gambar 3.9 Desain Rangkaian Sistem <i>Boost Converter</i>	41
Gambar 3.10 Rancangan Pembebanan.....	41
Gambar 3.11 Motor listrik DC magnet permanen	43
Gambar 4.1 <i>Wiring</i> Diagram LCD.....	44
Gambar 4.2 Program LCD pada Arduino UNO R3.....	45
Gambar 4.3 Tampilan LCD.....	45
Gambar 4.4 Sensor arus ACS712-30A-T.....	48
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Tegangan Terhadap Arus pada <i>Output</i> Sensor Arus ACS712-30A-T.....	49
Gambar 4.6 Grafik Pengujian <i>Output</i> PWM.....	51
Gambar 4.7 Pemrograman PWM Arduino.....	51
Gambar 4.8 Grafik Pengujian tegangan <i>Output Boost converter</i>	53
Gambar 4.9 Skema kontrol PID <i>Boost Converter</i>	58
Gambar 4.10 Pemrograman PID arduino.....	59
Gambar 4.11 Perbandingan tegangan tanpa dan menggunakan <i>Boost Converter</i>	61
Gambar 4.12 Perbandingan kecepatan tanpa dan menggunakan <i>Boost Converter</i>	61

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Tanggapan sistem kontrol PID.....	22
Tabel 2.2 Deskripsi arduino uno	26
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Sensor Tegangan <i>Input</i>	46
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Sensor Tegangan <i>Output</i>	47
Tabel 4.3 Kalibrasi Sensor Tegangan dengan Multimeter.....	47
Tabel 4.4 Pengujian Kelinieran Antara Tegangan Keluaran Sensor Arus ACS712-30A-T dengan Arus.....	49
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Sensor Arus ACS712-30A-T.....	50
Tabel 4.6 Pengujian <i>Output</i> PWM.....	50
Tabel 4.7 Pengaruh sinyal PWM terhadap tegangan <i>output boost converter</i>	53
Tabel 4.8 Pengujian tegangan <i>ripple</i> pada <i>output Boost Converter</i>	54
Tabel 4.9 Pengujian Boost Converter tanpa Kontrol dengan Duty cycle Tetap ...	56
Tabel 4.10 Pengujian <i>Boost Converter</i> tanpa Kontrol dengan Tegangan <i>Output</i> Tetap.....	56
Tabel 4.11 Pengujian Output PID pada <i>Boost Coverter</i>	58
Tabel 4.12 Data Pengujian Motor tanpa menggunakan <i>Boost Converter</i>	59
Tabel 4.13 Data Pengujian Rangkaian <i>Boost Converter</i> dengan Beban menggunakan kontrol PID	60

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keterbatasan bahan bakar fosil dan efek yang ditimbulkan dari penggunaan jenis bahan bakar ini terhadap lingkungan memerlukan perhatian dan penanganan yang serius demi menjaga ketersediaan energi serta untuk menjaga kelestarian lingkungan. Meningkatnya jumlah kendaraan yang menggunakan bahan bakar fosil juga menambah dampak negatif yang ditimbulkan seperti polusi udara serta ketergantungan terhadap sumber energi tersebut.

Sumber-sumber energi baru terbarukan seperti energi angin, tenaga surya, panas bumi serta fuel cell menjadi sumber energi alternatif yang dapat disimpan dan digunakan berbagai aplikasi termasuk kendaraan dengan sumber energi listrik di dalamnya. Sumber energi ini lebih ramah lingkungan, serta memiliki resiko yang lebih kecil jika dibandingkan bahan bakar fosil maupun energi nuklir.

Mobil listrik adalah kendaraan penumpang untuk pribadi, yang beroperasi pada jalan raya, dan yang digerakkan secara elektrik. Sepeda listrik termasuk salah satu bagian dari disiplin ilmu pengemudian elektrik (*electric drives*), yang dapat didefinisikan sebagai konversi energi listrik ke energi mekanik, serta cara-cara pengaturannya. Komponen utama mobil listrik adalah motor listrik sebagai penggerak, baterai sebagai sumber energi, sistem kontrol sebagai pusat kendali dan konverter daya sebagai peralatan elektrik atau rangkaian elektrik yang mengubah kebutuhan variabel sumber energi dengan kebutuhan variabel mobil listrik melalui *switching devices* (Bangun Nugroho, 2012).

Komponen yang akan dibahas tersebut adalah konverter DC/DC yang berfungsi menjembatani daya listrik yang dihasilkan oleh sebuah baterai dengan motor listrik sebagai tenaga penggerak sebuah mobil listrik. Komponen ini

berfungsi menaikkan tegangan baterai dan menstabilkannya pada titik tertentu sesuai dengan kebutuhan tegangan catu dari motor listrik. Tipe konverter DC/DC tersebut biasa juga disebut sebagai konverter *step-up* atau *boost converter* (Arya Samman, 2013).

Baterai yang terdapat dalam mobil listrik umumnya mempunyai tegangan keluaran nominal di bawah batasan tegangan nominal yang dibutuhkan oleh motor listrik sebagai penggerak utama mobil listrik. Tegangan keluaran baterai bahkan akan sedikit mengalami penurunan bila kandungan muatan listrik yang terdapat di dalamnya sudah mulai berkurang. Agar dapat beroperasi dengan baik, motor listrik mesti mendapatkan suplai tegangan yang konstan, sesuai dengan spesifikasinya. Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah peralatan elektronika daya yang mampu menaikkan tegangan baterai dan menjaga tegangan baterai agar tetap berada dalam batas tertentu sehingga daya baterai mampu menggerakkan motor listrik tersebut dengan baik (Arya Samman, 2013).

Topologi konverter daya yang cocok dalam aplikasi penggerak mobil listrik ini adalah *Boost Converter* terkontrol karena mampu menghasilkan efisiensi tinggi, rangkaian sederhana, tanpa transformer dan tingkat *ripple* yang rendah pada arus masukan. *Boost converter* terkontrol ini difungsikan untuk menaikkan tegangan dan mencatu dengan tegangan yang konstan. Konverter ini didesain terkontrol karena sebagai pengaturan kecepatannya dengan mengatur frekuensi sudut penyulutan pada proses *switching* nya (Grandis Prima, 2012).

Berdasarkan latar belakang diatas maka dilakukan sebuah penelitian tentang *Boost converter* yang digunakan untuk menaikkan tegangan sumber baterai dan memberikan tegangan yang konstan pada motor listrik DC. Pada penelitian ini akan digunakan sistem pengendali dengan menggunakan pengendali kontrol *Proportional Integral Derivative* (PID) yang pada penelitian ini dikhususkan pada aplikasi motor listrik DC magnet permanen.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian masalah diatas, dapat kita rumuskan permasalahan dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana merancang dan mendesain *boost converter* dengan sumber baterai pada aplikasi motor listrik DC magnet permanen?
2. Bagaimana pengaruh tegangan terhadap keluaran *boost converter* agar tetap konstan?

1.3 Batasan Masalah

1. Jenis konverter yang digunakan adalah konverter step-up atau *boost converter*.
2. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Uno.
3. Sumber energi yang digunakan yaitu aki 12 volt sebanyak 2 buah.
4. Tegangan *input* yang digunakan yaitu sebesar 24 volt.
5. Tegangan *output* yang dihasilkan yaitu sebesar 48 volt.
6. Sinyal kendali pemicu pensaklaran *boost converter* menggunakan sinyal kendali PWM.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk merancang dan mendesain *boost converter* dengan sumber baterai pada aplikasi motor listrik DC magnet permanen.
2. Mengetahui pengaruh tegangan terhadap keluaran *boost converter* sehingga memiliki nilai yang konstan.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Dapat mensuplai beban dengan tegangan yang lebih besar dari tegangan sumber atau baterai
2. Dapat menghasilkan tegangan baterai yang lebih stabil.
3. Dapat meningkatkan efisiensi pada penggunaan motor listrik.

1.6 Sistematika Penelitian

Secara garis besar penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

Meliputi tentang Latar belakang, tujuan pembahasan, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang tinjauan pustaka yang menguraikan pendapat - pendapat atau hasil-hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan, landasan teori merupakan penjabaran dari tinjauan pustaka.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Menjelaskan tentang metode kajian yang digunakan untuk menyelesaikan skripsi.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi hasil pengujian dan analisa hasil pengujian.

BAB 5. PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dan saran dari penulis

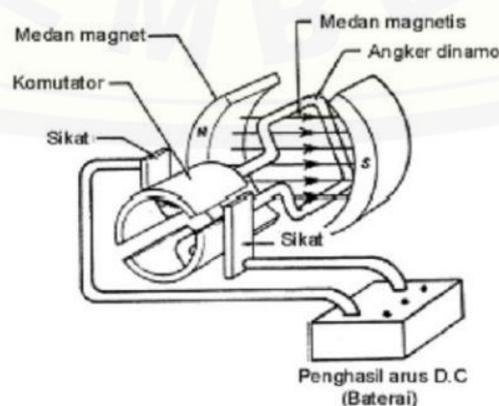
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor DC

Motor listrik menggunakan energi listrik dan energi magnet untuk menghasilkan energi mekanis. Operasi motor tergantung pada interaksi dua medan magnet. Secara sederhana dikatakan bahwa motor listrik bekerja dengan prinsip bahwa dua medan magnet dapat dibuat berinteraksi untuk menghasilkan gerakan. Tujuan motor adalah untuk menghasilkan gaya yang menggerakkan (torsi).

Motor arus searah (dc) digunakan dimana kontrol torsi dan kecepatan dengan rentang yang lebar diperlukan untuk memenuhi kebutuhan aplikasi. Arah putaran motor dc magnet permanen ditentukan oleh arah arus yang mengalir pada kumparan jangkar (*armature*). Pembalikan ujung-ujung jangkar tidak membalik arah putaran. Salah satu keistimewaan motor dc ini adalah kecepatannya dapat dikontrol dengan mudah. Kecepatan motor magnet permanen berbanding langsung dengan harga tegangan yang diberikan pada kumparan jangkar. Semakin besar tegangan jangkar, semakin tinggi kecepatan motor. (M Andri Zumain, 2009).

Bentuk motor paling sederhana memiliki kumparan satu lilitan yang bisa berputar bebas di antara kutub-kutub magnet permanen. Motor dc merupakan jenis motor yang menggunakan tegangan searah sebagai sumber tenaganya.



Gambar 2.1 Motor DC

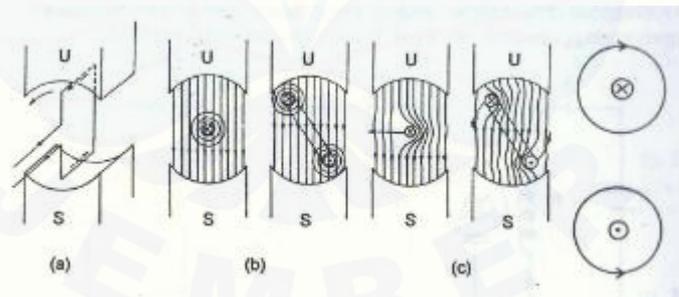
2.1.1 Prinsip Kerja Motor DC

Prinsip kerja motor DC dapat dijelaskan sebagai berikut : jika sepotong kawat dialiri arus listrik terletak di antara 2 kutub magnet utara dan selatan, maka pada kawat tersebut terkena suatu gaya Lorentz. Arah dari gerakan kawat sesuai dengan aturan tangan kiri. Perhatikan Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2 Penentuan arah gerak kawat berarus

Untuk mengetahui arah putaran motor searah atau berlawanan arah dengan arah jarum jam, perhatikan Gambar 2.3. Pada Gambar 2.3.a arus listrik yang mengalir melalui sisi kumparan sebelah atas (dekat kutub utara) meninggalkan kita, sedangkan arah arus listrik pada sisi kumparan sebelah bawah (dekat kutub selatan) menuju kita, maka kumparan akan berputar berlawanan jarum jam. Perhatikan pula perbedaannya dengan Gambar 2.3.b dan 2.3.c.



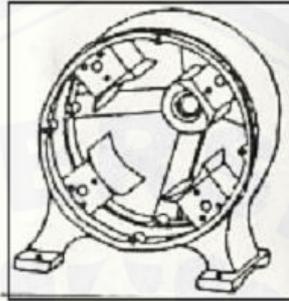
Gambar 2.3 Prinsip kerja putaran motor DC

Agar proses perubahan energi mekanik dapat berlangsung secara sempurna, maka tegangan sumber harus lebih besar daripada tegangan gerak yang disebabkan reaksi. Dengan memberi arus pada kumparan jangkar yang dilindungi oleh medan maka menimbulkan perputaran pada motor.

2.1.2 Komponen Motor DC

a. Stator motor DC

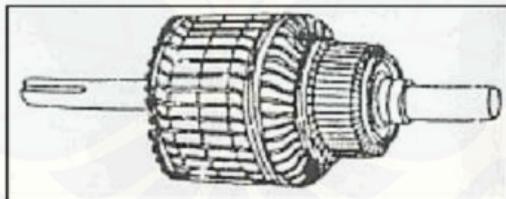
Fungsi stator sebagai bagian dari rangkaian magnetik, dan oleh karenanya mempunyai seperangkat kutub medan yang dipasangkan disebelah dalam stator.



Gambar 2.4 Konstruksi stator motor DC

b. Rotor atau Jangkar motor DC

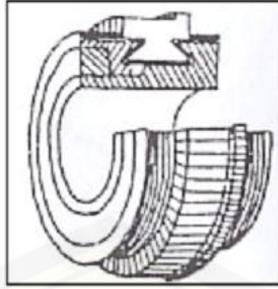
Fungsi dari rotor atau jangkar yaitu untuk merubah energi listrik menjadi energi mekanik dalam bentuk gerak putar. Rotor terdiri dari poros baja dimana tumpukan keping-keping inti yang berbentuk silinder dijepit. Pada inti terdapat alur-alur dimana lilitan rotor diletakkan.



Gambar 2.5 Rotor atau jangkar motor DC

c. Komutator

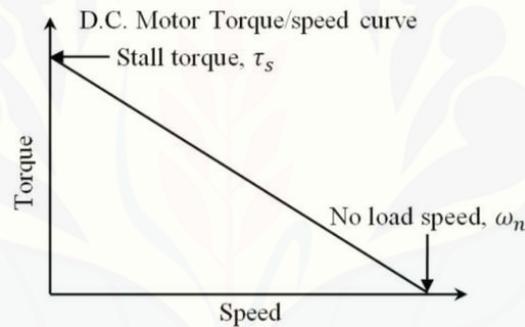
Komponen ini terutama ditemukan dalam motor dc. Kegunaannya adalah untuk membalikan arah arus listrik dalam dinamo. Komutator juga membantu dalam transmisi arus antara dinamo dan sumber daya.



Gambar 2.6 Komutator

2.1.3 Karakteristik Motor DC

Karakteristik yang dimiliki suatu motor dc dapat digambarkan melalui kurva daya dan kurva torsi/kecepatannya, dari kurva tersebut dapat dianalisa batasan-batasan kerja dari motor serta daerah kerja optimum dari motor tersebut.



Gambar 2.7 Kurva torsi dan kecepatan

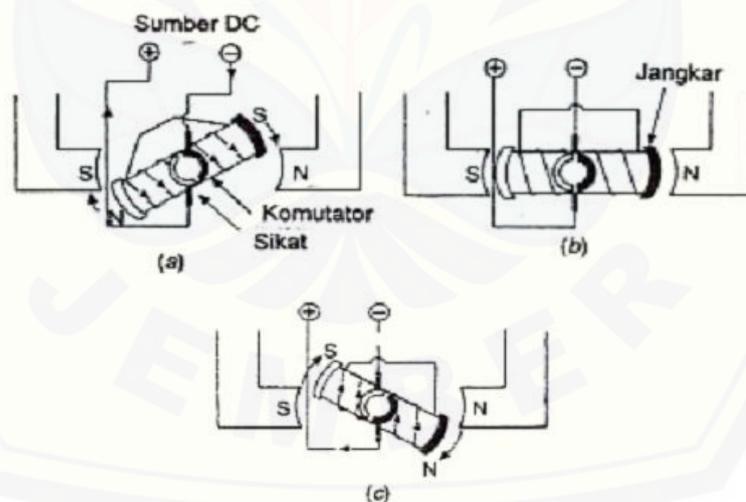
Dari gambar 2.4 di atas terlihat hubungan antara torsi dan kecepatan suatu motor dc tertentu. Dari grafik terlihat bahwa torsi berbanding terbalik dengan kecepatan putaran. Dengan kata lain terdapat tradeoff antara besar torsi yang dihasilkan motor dengan kecepatan putaran motor.

Dua karakteristik penting terlihat dari grafik yaitu:

1. Stall torque, menunjukkan titik pada grafik dimana torsi maksimum tetapi tidak ada putaran pada motor.
2. No load speed, menunjukkan titik pada grafik dimana terjadi kecepatan putaran maksimum tetapi tidak ada beban pada motor

Motor DC magnet permanen adalah motor yang fluks magnet utamanya dihasilkan oleh magnet permanen. Elektromagnetik digunakan untuk medan sekunder atau fluks jangkar. Gambar 6 menggambarkan operasi motor magnet permanen. Arus mengalir melalui kumparan jangkar dari sumber tegangan DC, menyebabkan jangkar beraksi sebagai magnet. Kutub jangkar ditarik kutub medan dari polaritas yang berbeda, menyebabkan jangkar berputar. (Gesit Ari Nugroho, 2006)

Pada gambar 6 (a) jangkar berputar searah dengan putaran jarum jam. Apabila kutub jangkar segaris dengan kutub medan, sikat-sikat ada celah di komutator dan tidak ada arus mengalir pada jangkar. Jadi, gaya tarik atau gaya tolak magnet berhenti, seperti pada gambar 6 (b). Kemudian kelembaman membawa jangkar melewati titik netral. Komutator membalik arus jangkar ketika kutub yang tidak sama dari jangkar dan medan berhadapan satu sama lain, sehingga membalik polaritas medan jangkar. Kutub-kutub yang sama dari jangkar dan medan kemudian saling menolak, menyebabkan jangkar berputar terus menerus seperti diperlihatkan pada gambar 6 (c).



Gambar 2.8 Operasi motor DC magnet permanen

Adapun persamaan-persamaan yang digunakan dalam karakteristik kerja motor arus searah dimana :

$$n = \frac{Ea}{K.\phi} \quad (2.1)$$

$$n = \frac{V-Ia.Ra}{K.\phi} \quad (2.2)$$

V = sumber tegangan DC (volt)

n = Putaran motor (rpm)

Ia = Arus jangkar (A)

Ra = Tahanan jangkar (
= Fluks magnet (Wb)

K = Konstanta

Jika tegangan diperbesar, maka putaran akan cepat. Untuk menjadikan putaran lebih lambat yaitu dengan menurunkan tegangan.

2.2 DC – DC Konverter

Dc – DC konverter adalah rangkaian elektronika daya yang digunakan untuk mengkonversi level tegangan dc ke level tegangan dc yang berbeda, beberapa jenis DC - DC konverter antara lain yaitu *Buck Converter*, *Boost Converter* dan *Buck - Boost Converter* (Danie Novin Sugiharto, 2010).

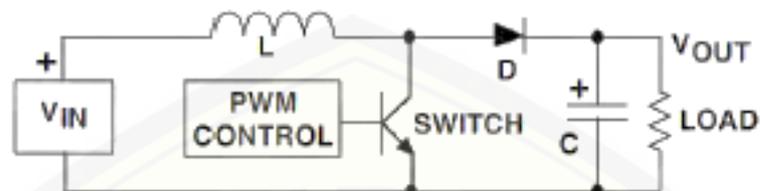
2.2.1 *Boost Converter*

Pada beberapa aplikasi industri, diperlukan peralatan yang dapat mengubah sumber tegangan DC tetap menjadi tegangan DC yang bersifat variabel yaitu menggunakan DC *chopper* dan biasa disebut DC ke DC. DC *chopper* dapat digunakan sebagai regulator mode pensaklaran untuk mengubah tegangan DC, yang tidak teregulasi menjadi tegangan DC yang teregulasi. Regulasi tidak biasa dicapai melalui pengaturan PWM pada frekuensi tertentu dan devais pensaklaran menggunakan BJT, MOSFET, atau IGBT. Salah satu jenis topologi dasar pensaklaran yaitu *boost*. Prinsip kerja boost dapat diklasifikasikan ke dalam prinsip kerja DC *Chopper step up*, tegangan keluaran dari *boost* selalu lebih besar dari tegangan masukan.

2.2.2 Prinsip Kerja *Boost Converter*

Prinsip kerja *boost converter* adalah sesuai dengan prinsip kerja dari step-up DC *chopper*. Susunan kerja untuk operasi *step-up* ditunjukkan pada

Gambar 2.2 Apabila saklar ditutup selama waktu t_1 , arus induktor menjadi naik dan energi disimpan pada induktor L . Apabila saklar dibuka selama waktu t_2 , energi yang tersimpan pada induktor akan dipindahkan ke beban melalui dioda D_1 dan arus induktor menjadi jatuh.



Gambar 2.9 Boost Converter (Danie Novin Sugiharto, 2010)



Gambar 2.10 Arah Arus saat PWM Switch ON dan OFF (Danie Novin Sugiharto, 2010)

Disaat *switch on* tegangan input masuk kedalam induktor dan menyebabkan kenaikan arus berdasarkan waktu. Pada kondisi *switch off* saat ujung indikator bernilai positif, forward bias dari dioda akan memberikan jalur agar kapasitor dalam keadaan mengisi (*charge*) dengan tegangan yang lebih besar dari tegangan input, dalam waktu yang sama arus induktor akan mengalir pada kapasitor dan beban, dan disaat *switch on* lagi, tegangan dan arus hanya akan disuplai oleh kapasitor.

Perlu diketahui bahwa arus *output* pada beban tidak sama dengan nilai rating arus pada *switch* transistor, nilai maksimum arus pada output beban adalah nilai tegangan input maksimum dikali dengan arus rata – rata input yang jelas kurang dari nilai arus maksimum *switch* transistor. Maka dari itu walaupun tegangan output lebih besar dari tegangan input, tetapi arus *output* lebih kecil dari arus input.

Dengan mengasumsikan arus induktor naik secara linear dari I_1 ke I_2 pada waktu t_1 ,

$$V_s = L \frac{I_1 - I_2}{t_1} = L \frac{\Delta I}{t_1} \quad (2.3)$$

Atau

$$t_1 = \frac{\Delta I \cdot L}{V_s} \quad (2.4)$$

Arus induktor turun secara linear dari I_2 ke I_1 pada waktu t_2

$$V_s - V_a = -L \frac{\Delta I}{t_2} \quad (2.5)$$

Atau

$$t_2 = \frac{\Delta I \cdot L}{V_a - V_s} \quad (2.6)$$

Dengan $\Delta I = I_2 - I_1$ adalah arus *ripple* puncak ke puncak induktor L , dengan menyamakan nilai ΔI pada persamaan (2.9) dan (2.10)

$$\Delta I = \frac{V_s t_1}{L} = L \frac{(V_a - V_s) t_2}{L} \quad (2.7)$$

Substitusi $t_1 = kT$ dan $t_2 = (1 - k) T$ menghasilkan tegangan keluaran rata – rata

$$V_a = V_s \frac{T}{t_2} = \frac{V_s}{1 - k} \quad (2.8)$$

Dengan menganggap bahwa rangkaian tidak mengalami rugi – rugi, $V_s I_s = V_a I_a$
 $V_s I_a / (1 - k)$ dan masukan rata – rata

$$I_s = \frac{I_a}{1 - k} \quad (2.9)$$

Periode pensaklaran T dapat dinyatakan

$$T = \frac{1}{f} = t_1 + t_2 = \frac{\Delta I L}{V_s} + \frac{\Delta I L}{V_a - V_s} = \frac{\Delta I L \cdot V_s}{V_s(V_a - V_s)} \quad (2.10)$$

Yang memberikan arus *ripple* puncak ke puncak

$$\Delta I = \frac{V_s(V_a - V_s)}{f L V_a} \quad (2.11)$$

Atau

$$\Delta I = \frac{V_s k}{f L} \quad (2.12)$$

Pada saat transistor *on*, kapasitor mencatu arus beban selama $t = 1$. Arus kapasitor rata – rata selama t_1 adalah $I_c = I_a$ dan tegangan *ripple* puncak ke puncak transistor adalah

$$\Delta V_c = V_c - V_c(t = 0) = \frac{1}{C} \int_0^{t_1} I_c dt = \frac{1}{C} \int_0^{t_1} I_a dt = \frac{I_a}{C} \quad (2.13)$$

Persamaan (2.6) memberikan $t_1 = (V_a - V_s) / (V_a f)$ dan substitusikan t_1 ke dalam persamaan (2.11) akan memberikan.

$$\Delta V_c = \frac{I_a(V_a - V_s)}{8LCf^2V_s} \quad (2.14)$$

Atau

$$\Delta V_c = \frac{I_a k}{fC} \quad (2.15)$$

Boost converter dapat menaikkan tegangan keluaran tanpa memerlukan trafo. Konverter ini memiliki efisiensi yang tinggi dan tegangan keluaran sangat sensitif terhadap perubahan *duty cycle* (k) dan sangat sulit untuk menstabilkan regulator. Arus keluaran rata – rata lebih kecil dibandingkan dengan arus induktor rata – rata oleh faktor kapasitor maka diperlukan penggunaan filter kapasitor dan induktor yang lebih besar (Surojo, 2010).

2.3 MOSFET

MOSFET merupakan singkatan dari *Meal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor* dan bahan – bahan penyusunnya terdiri dari logam, oksida dan semikonduktor. MOSFET dibuat dengan meletakkan lapisan oksida pada semikonduktor dari tipe NPN maupun tipe PNP dan lapisan logam diletakkan di atasnya.

MOSFET sebagai piranti penyaklaran elektronik mempunyai beberapa kelebihan, antara lain :

1. Terminal *gate* MOSFET secara elektrik terisolasi dari sumber oleh lapisan oksida, sehingga MOSFET mempunyai impedansi masukan yang sangat tinggi, sehingga tidak akan membebani rangkaian sebelumnya dan tidak memerlukan rangkaian *driver* yang rumit untuk terminal *gate*.
2. Kecepatan *switching*-nya sangat tinggi, dalam orde nano detik, sehingga rugi – rugi akibat *switching* dapat dibuat sekecil mungkin.
3. Sangat cocok digunakan untuk palikasi rangkaian yang menggunakan tegangan rendah.
4. MOSFET tidak memerlukan *interface* berupa rangkaian *buffer* apabila dihubungkan dengan rangkaian logika.

MOSFET dapat konduksi apabila diberikan pulsa pada terminal *gate* (G)-nya. Rangkaian kontrol pulsa PWM dapat menggerakkan MOSFET sebagai

berikut : apabila pulsa PWM menjadi tinggi yang berarti terminal *gate* (G) mendapat pemicuan, MOSFET akan menjadi *on*, sehingga terminal sumber (S) dan terminal cerat (D) akan terlihat seperti terhubung singkat (V_{in} tinggi, MOSFET menghantar, V_{out} rendah). Sebaliknya, apabila pulsa PWM menjadi rendah, maka MOSFET akan menjadi *off* sehingga terminal sumber (S) dan terminal cerat (D) akan terlihat seperti saklar yang dalam keadaan hubung terbuka (V_{in} rendah, MOSFET terputus, V_{out} sama dengan tegangan catu daya).

2.4 Baterai

Baterai yang digunakan adalah jenis baterai yang bisa diisi ulang. Pengisian ulang dilakukan dengan energi listrik yang bersumber dari listrik PLN atau generator melalui *Charger*, yang berfungsi untuk mengubah arus bolak balik (AC) menjadi arus searah (DC) sesuai dengan kebutuhan pengisian (Trekko *electric vehicle*. Com, 2009).

Daerah tegangan kerja baterai adalah daerah tegangan dimana sistem fotovoltaik masih mampu mensuplai beban. Untuk sistem tegangan 12 V, maka daerah optimasi tegangan kerja baterai adalah antara 11,4 V - 14,5 V (Adityawan E, 2010).

Kapasitas baterai merupakan ukuran muatan yang disimpan suatu baterai, yang ditentukan oleh masa aktif material didalamnya. Kapasitas menggambarkan sejumlah energi maksimum yang dapat dikeluarkan dari sebuah baterai dengan kondisi khusus tertentu. Tetapi kemampuan penyimpanan baterai dapat berbeda dari kapasitas nominalnya, diantaranya karena kapasitas baterai bergantung pada umur dan keadaan baterai, parameter *charging* dan *discharging*, serta kondisi *temperature*-nya.

Satuan dari kapasitas baterai ini sering dinyatakan dalam *Ampere Hours* (walaupun kadang dalam *Watt Hours*), ditentukan sebagai waktu dalam jam yang dibutuhkan baterai untuk secara kontinyu mengalirkan arus atau nilai *discharge* pada tegangan nominal baterai (V_{ss}). Satuan *Ah* sering digunakan ketika tegangan baterai bervariasi selama siklus *charging* atau *discharging*. Kapasitas *Watt Hours* (*Wh*) dapat diperkirakan dengan mengalikan kapasitas *Ah* dengan

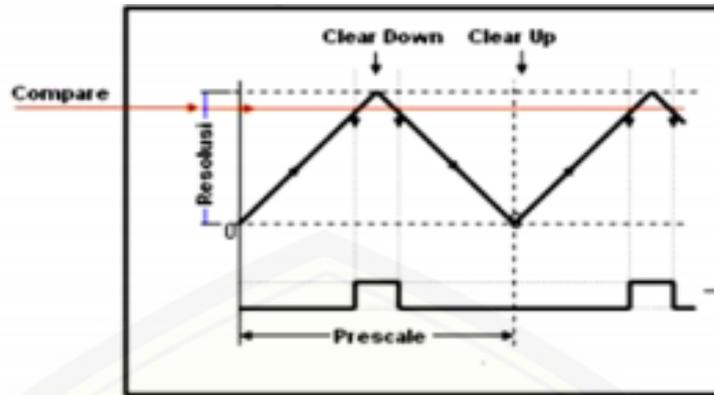
tegangan nominal baterai (V_{ss}). Misalnya baterai dengan tegangan nominal 12 V dengan kapasitas 45 Ah memberikan energi yang tersimpan sekitar $45 \text{ Ah} \times 12 \text{ V} = 540 \text{ Wh}$ atau 0.54 KWh .

Penyusunan baterai biasanya tersusun secara seri dari beberapa unit, dengan tegangan 12 V. Kapasitas suatu baterai pun juga bermacam - macam. Baterai yang digunakan pada penelitian ini adalah berkapasitas 45 Ah. Pada pelaksanaannya baterai akan di ubah oleh konverter dimana tegangan DC yang dihasilkan baterai dapat langsung masuk kedalam kontrol motor untuk mensuplai tegangan motor BLDC sesuai yang diharapkan, sehingga dalam penelitian ini konverter juga menjadi suatu faktor yang penting dalam penggerak mobil listrik.

2.5 *Pulse Width Modulation (PWM)*

2.5.1 Dasar Pembangkitan PWM secara Digital

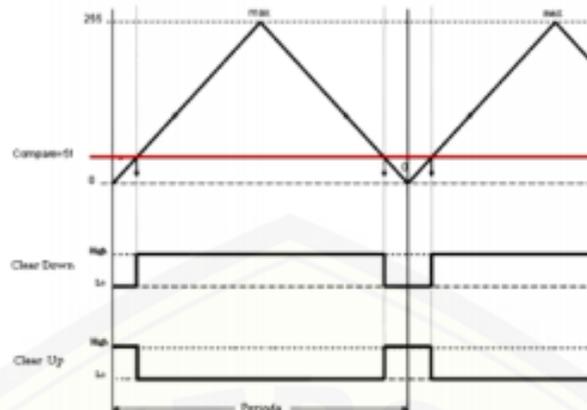
Metode PWM adalah metode yang cukup efektif untuk mengendalikan *duty cycle*. Cara kerjanya adalah mengatur prosentase lebar pulsa *high* terhadap perioda dari suatu sinyal persegi dalam bentuk tegangan periodik yang diberikan ke switch sebagai sumber daya. Semakin besar perbandingan lama sinyal *high* dengan perioda sinyal maka semakin besar tegangan yang dihasilkan. Sinyal PWM dapat dibangun dengan menggunakan metode analog yakni dengan rangkaian *op-amp* atau dengan menggunakan metode digital. Dengan metode digital setiap perubahan PWM dipengaruhi oleh resolusi dari PWM itu sendiri. Misalkan PWM digital 8 bit berarti PWM tersebut memiliki resolusi $2^8 = 256$, maksudnya nilai keluaran PWM ini memiliki 256 variasi, variasinya mulai dari 0 – 255 yang mewakili *duty cycle* 0 – 100% dari keluaran PWM tersebut. Pada perancangan ini, sinyal PWM akan diatur secara digital yang dibangkitkan oleh mikrokontroler. Proses pembangkitan sinyal PWM pada mikrokontroler ditunjukkan pada gambar 2.1 berikut



Gambar 2.11 Proses Pembangkitan Sinyal

Compare adalah nilai pembanding. Nilai ini merupakan nilai referensi *duty cycle* dari PWM tersebut. Nilai *compare* bervariasi sesuai dengan resolusi dari PWM. Dalam gambar nilai *compare* ditandai dengan garis warna merah, dimana posisinya diantara dasar segitiga dan ujung segitiga. *Clear* digunakan untuk penentuan jenis komparator apakah komparator *inverting* atau *non-inverting*. Mikrokontroler akan membandingkan posisi keduanya, misalkan bila PWM diset pada kondisi *clear down*, berarti apabila garis segitiga berada dibawah garis merah (*compare*) maka PWM akan mengeluarkan logika 0. Begitu pula sebaliknya apabila garis segitiga berada diatas garis merah (*compare*) maka PWM akan mengeluarkan logika 1. Lebar sempitnya logika 1 ditentukan oleh posisi *compare*, lebar sempitnya logika 1 itulah yang menjadi nilai keluaran PWM, dan kejadian ini terjadi secara harmonik terus menerus. Maka dari itu nilai *compare* inilah yang dijadikan nilai *duty cycle* PWM. *Clear Up* adalah kebalikan (invers) dari *Clear Down* pada keluaran logikanya.

Pada gambar 2.2 berikut ditampilkan perbedaan dari bentuk sinyal *clear up* dan *clear down*.



Gambar 2.12 *Clear Up* dan *Clear Down*

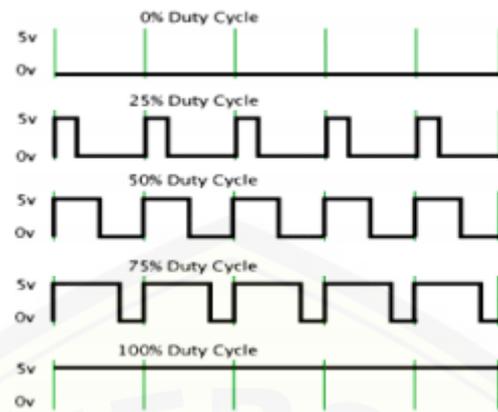
Prescale digunakan untuk menentukan waktu perioda dari pada PWM. Nilai *prescale* bervariasi yaitu 1, 8, 32, 64, 128, 256, 1024. Misalkan jika *prescale* diset 64 berarti *timer*/PWM akan menghitung 1 kali bila *clock* di CPU sudah 64 kali, *Clock* CPU adalah *clock* mikrokontroler itu sendiri. Perioda dari PWM dapat dihitung menggunakan rumus :

$$T = \left(\frac{1}{\text{clock CPU}} \right) \times \text{prescale} \times \text{resolusi} \quad (2.16)$$

Sedangkan untuk melakukan perhitungan *duty cycle* PWM adalah dengan cara mengatur lebar pulsa *on* dan *off* dalam satu perioda gelombang melalui pemberian besar sinyal referensi *output* dari suatu PWM akan didapat *duty cycle* yang diinginkan. *Duty cycle* dari PWM dapat dinyatakan sebagai berikut

$$\text{Dutycycle} = \left(\frac{T_{on}}{T_{on}+T_{off}} \right) \times 100\% \quad (2.17)$$

Duty cycle 100% berarti sinyal tegangan pengatur motor dilewatkan seluruhnya. Jika tegangan catu 100V, maka motor akan mendapat tegangan 100V. Pada *duty cycle* 50%, tegangan pada motor hanya akan diberikan 50% dari total tegangan yang ada, begitu seterusnya (Nugroho, 2010). Contoh sinyal PWM dengan *duty cycle* yang berbeda-beda dapat dilihat pada gambar 2.3 berikut



Gambar 2.13 Sinyal PWM dengan Variasi *Duty Cycle*

2.5.2 Pengaturan *Duty Cycle* dengan Kontrol PWM

Pada pengaplikasiannya, konverter di kontrol oleh suatu modulasi PWM, yang berarti bahwa konveretr tersebut dapat mengubah-ubah tegangan *output* dengan *duty cycle* yang berbeda, hal inilah yang digunakan untuk mengontrol

2.6 *Proportional, Integral, dan Derrivative (PID)*

Didalam suatu sistem kontrol kita mengenal adanya beberapa macam aksi kontrol, diantaranya yaitu aksi kontrol *proportional*, aksi kontrol *integral* dan aksi kontrol *derivative*. Masing-masing aksi kontrol ini mempunyai keunggulan-keunggulan tertentu, dimana aksi kontrol *proportional* mempunyai keunggulan *rise time* yang cepat, aksi kontrol *integral* mempunyai keunggulan untuk memperkecil *error*, dan aksi kontrol *derivative* mempunyai keunggulan untuk memperkecil *error* atau meredam *overshot/undershot*. Untuk itu agar kita dapat menghasilkan *output* dengan *rise time* yang cepat dan *error* yang kecil kita dapat menggabungkan ketiga aksi kontrol ini menjadi aksi kontrol P, I, D. Parameter pengontrol *Proportional Integral derivative (PID)* selalu didasari atas tinjauan terhadap karakteristik yang di atur (*plant*). Dengan demikian bagaimanapun rumitnya suatu *plant*, perilaku *plant* tersebut harus di ketahui terlebih dahulu sebelum pencarian parameter PID itu dilakukan. (Ogata, 1994)

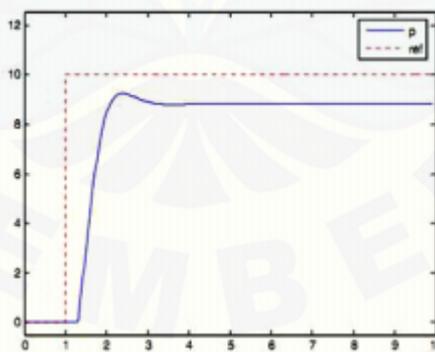
2.6.1 Pengontrol *Proportional*

Pengontrol *proportional* memiliki keluaran yang sebanding atau *proportional* dengan besarnya sinyal kesalahan (selisih antara besaran yang diinginkan dengan harga aktualnya). Selisih ini akan mempengaruhi pengontrol, untuk mengeluarkan sinyal positif (mempercepat pencapaian harga setting) atau negatif (memperlambat tercapainya harga yang diinginkan). Persamaan untuk kontrol proporsional dapat ditulis sebagai berikut.

$$u(k) = Kp e(k) \quad (2.18)$$

Secara eksperimen, pengguna pengontrol *proportional* harus memperhatikan ketentuan-ketentuan berikut ini :

1. Kalau nilai Kp kecil, pengontrol proporsional hanya mampu melakukan koreksi kesalahan yang kecil, sehingga akan menghasilkan respon sistem yang lambat.
2. Kalau nilai Kp dinaikan, respon sistem menunjukkan semakin cepat mencapai set point dan keadaan stabil.
3. Namun jika nilai Kp diperbesar sehingga mencapai harga yang berlebihan, akan mengakibatkan sistem bekerja tidak stabil, atau respon sistem akan berosilasi.



Gambar 2.14 Respon Kontrol P

2.6.2 Pengontrol *Integral*

Pengontrol *integral* berfungsi menghasilkan respon sistem yang memiliki kesalahan keadaan stabil nol. Jika sebuah plant tidak memiliki unsur *integrator* ($1/s$), pengontrol *proportional* tidak akan mampu menjamin keluaran sistem

dengan kesalahan keadaan stabilnya nol. Dengan pengontrol *integral*, respon sistem dapat diperbaiki, yaitu mempunyai kesalahan keadaan stabilnya nol.

$$u(k) = K_i T_s \sum_{i=0}^k e(i) = K_i T_s [e(k-1) + e(k)] \quad (2.19)$$

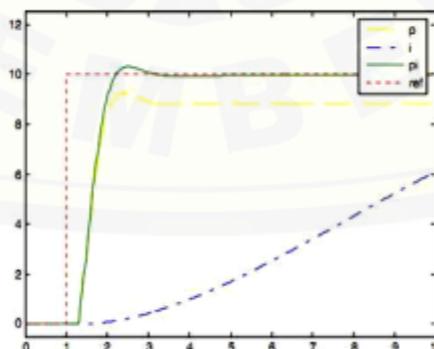
Keterangan : T_s = waktu sampling

Berdasarkan persamaan diatas variabel *error* (e) yang di *integral* kan sehingga dalam kawasan diskret menjadi $e(0)+e(1)+\dots+e(k-1)+e(k)$, atau dengan kata lain *error* yang sebelumnya dijumlahkan dengan *error-error* yang sebelumnya hingga *error* yang sekarang.

Ketika digunakan, pengontrol integral mempunyai beberapa karakteristik seperti berikut ini :

1. Keluaran pengontrol membutuhkan selang waktu tertentu, sehingga pengontrol integral cenderung memperlambat respon.
2. Ketika sinyal kesalahan berharga nol, keluaran pengontrol akan bertahan pada nilai sebelumnya dan jika sinyal kesalahan tidak berharga nol, keluaran akan menunjukkan kenaikan atau penurunan yang dipengaruhi oleh besarnya sinyal kesalahan dan nilai K_i .
3. Konstanta *integral* K_i yang berharga besar akan mempercepat hilangnya *offset*. Tetapi semakin besar nilai konstanta K_i akan mengakibatkan peningkatan osilasi dari sinyal keluaran pengontrol.

Dan gambar 2.7 berikut gambar perbandingan respon kontrol antara P, I dan PI.



Gambar 2.15 Respon Kontrol P, I dan PI

2.6.3 Pengontrol *Derrivative*

Keluaran pengontrol *Derrivative* memiliki sifat seperti halnya suatu operasi differensial. Perubahan yang mendadak pada masukan pengontrol, akan mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat.

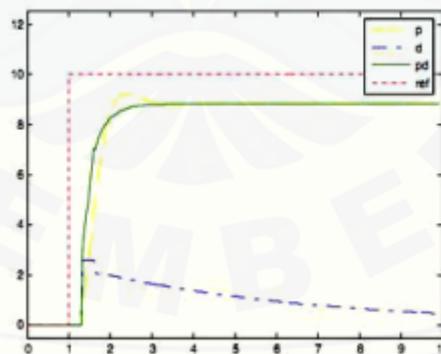
$$u(k) = Kd \frac{e(k) - e(k-1)}{T_s} \quad (2.20)$$

Keterangan : T_s = waktu sampling

Karakteristik pengontrol derivative adalah sebagai berikut:

1. Pengontrol ini tidak dapat menghasilkan keluaran bila tidak ada perubahan pada masukannya (berupa sinyal kesalahan).
2. Jika sinyal kesalahan berubah terhadap waktu, maka keluaran yang dihasilkan pengontrol tergantung pada nilai T_d dan laju perubahan sinyal kesalahan.
3. Pengontrol *derrivative* mempunyai suatu karakter untuk mendahului, sehingga pengontrol ini dapat menghasilkan koreksi yang signifikan sebelum pembangkit kesalahan menjadi sangat besar. Jadi pengontrol *derrivative* dapat mengantisipasi pembangkit kesalahan, memberikan aksi yang bersifat korektif, dan cenderung meningkatkan stabilitas sistem.

Dan gambar 2.8 berikut gambar perbandingan respon kontrol antara P, D dan PD.



Gambar 2.16 Respon Kontrol P, D, dan PD

Dari penjelasan diatas, PID merupakan salah satu jenis pengatur yang banyak digunakan. PID controler terdiri dari 3 jenis cara pengaturan yang saling dikombinasikan, yaitu P (*Proportional*) controler, D (*Derivative*) controler, dan I (*Integral*) controler. Masing-masing memiliki parameter tertentu yang harus diset

untuk dapat beroperasi dengan baik, yang disebut sebagai *konstanta*. Setiap jenis, memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Efek dari setiap pengontrol *Proportional, Integral dan Derrivative* pada sistem *closed loop* dapat disimpulkan pada tabel berikut ini :

Tabel 2.1 Tanggapan Sistem Kontrol PID

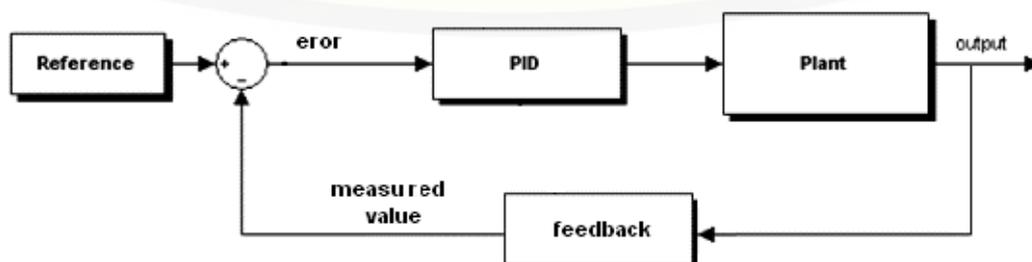
Tanggapan Loop Tertutup	Waktu Naik	<i>Overshoot</i>	Waktu Turun	Kesalahan Keadaan Tunak
Proporsional (K_p)	Menurun	Meningkat	Perubahan Kecil	Menurun
Integral (K_i)	Menurun	Meningkat	Meningkat	Hilang
Derivative (K_d)	Perubahan Kecil	Menurun	Menurun	Perubahan Kecil

(Ali, 2004)

2.6.4 Pengontrol PID

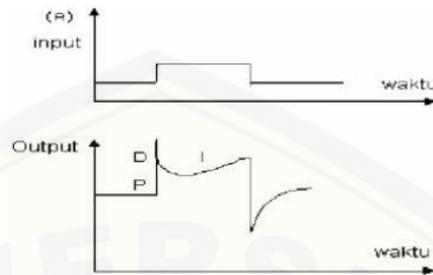
Sistem kontrol dapat digolongkan menjadi dua bagian, yaitu sistem kontrol loop terbuka (*open loop*) dan sistem kontrol tertutup (*closed loop*). Perbedaan sistem kontrol loop terbuka dan sistem kontrol loop tertutup adalah pada ada tidaknya *feedback* pada sistem. Jika suatu sistem memiliki *feedback*, maka *output*-nya akan berpengaruh pada proses kontrol. Kebanyakan sistem kontrol menggunakan istilah *error* sebagai *feedback* bagi sistem. *Error* adalah perbedaan dari nilai SP (*Set Point*) dan PV (*Present Value*). (Mauludin, 2013)

Kontroler adalah komponen yang berfungsi meminimasi sinyal kesalahan. Tipe kontroler yang paling populer ialah kontroler PID. Elemen-elemen pengontrol P, I dan D masing-masing secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem, menghilangkan *offset* dan menghasilkan perubahan awal yang besar. Diagram blok pengendali PID dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.17 Skema Alur Kerja PID (Hartono, 2002)

Keluaran pengontrol PID merupakan penjumlahan dari keluaran pengontrol *proportional*, keluaran pengontrol integral. Gambar 2.10 menunjukkan hubungan tersebut.



Gambar 2.18 Hubungan dalam Fungsi Waktu Antara Sinyal Keluaran dengan Masukan Untuk Pengontrol PID (Ogata, 1994)

Karakteristik pengontrol PID sangat dipengaruhi oleh kontribusi besar dari ketiga parameter P, I dan D. Pengaturan konstanta K_p , T_i , dan T_d akan mengakibatkan penonjolan sifat dari masing-masing elemen. Satu atau dua dari ketiga konstanta tersebut dapat diatur lebih menonjol dibanding yang lain. Konstanta yang menonjol itulah akan memberikan kontribusi pengaruh pada respon sistem secara keseluruhan.

Secara matematis, persamaan untuk pengendalian PID adalah sebagai berikut:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.21)$$

atau

$$u(t) = K_p \left\{ e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right\} \quad (2.22)$$

Keterangan :

$u(t)$ = sinyal *output* pengendali PID

K_p = konstanta proporsional

T_i = waktu integral

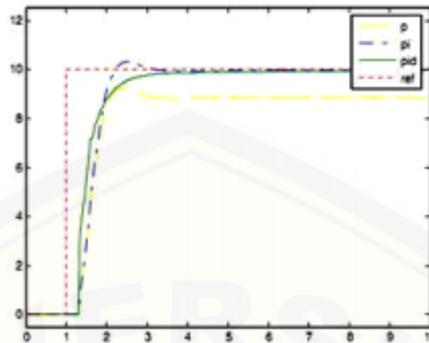
T_d = waktu derivatif

K_i = konstanta integral (K_p/T_i)

K_d = konstanta derivatif ($K_p.T_d$)

$e(t)$ = sinyal *error* = referensi – keluaran *plant* = *set point* – nilai sensor

Dan gambar 2.11 berikut gambar perbandingan respon kontrol antara P, PI dan PID.



Gambar 2.19 Respon Kontrol P, PI dan PID

2.7 Arduino Uno

Arduino didefinisikan sebagai sebuah *platform* elektronik yang *open source*, berbasis pada *software* dan *hardware* yang fleksibel dan mudah digunakan, yang ditujukan untuk seniman, desainer, hobbies dan setiap orang yang tertarik dalam membuat objek atau lingkungan yang interaktif (Dian Artanto, 2012).

Arduino sebagai sebuah *platform* komputasi fisik (*Physical Computing*) yang *open source* pada *board input output* sederhana, yang dimaksud dengan *platform* komputasi fisik disini adalah sebuah sistem fisik yang interaktif dengan penggunaan *software* dan *hardware* yang dapat mendeteksi dan merespon situasi dan kondisi.

Kelebihan arduino dari *platform hardware* mikrokontroler lain adalah:

1. IDE Arduino merupakan *multiplatform*, yang dapat dijalankan di berbagai sistem operasi, seperti Windows, Macintosh dan Linux.
2. IDE Arduino dibuat berdasarkan pada IDE *Processing*, yang sederhana sehingga mudah digunakan.
3. Pemrograman arduino menggunakan kabel yang terhubung dengan port USB, bukan port serial. Fitur ini berguna karena banyak komputer yang sekarang ini tidak memiliki port serial.

4. Arduino adalah *hardware* dan *software open source* pembaca bisa mendownload *software* dan gambar rangkaian arduino tanpa harus membayar ke pembuat arduino.
5. Biaya *hardware* cukup murah, sehingga tidak terlalu menakutkan untuk membuat kesalahan.
6. Proyek arduino ini dikembangkan dalam lingkungan pendidikan sehingga bagi pemula akan lebih cepat dan mudah mempelajarinya.
7. Memiliki begitu banyak pengguna dan komunitas di internet dapat membantu setiap kesulitan yang dihadapi.

Board Arduino Uno merupakan papan mikrokontroler yang berukuran kecil atau dapat diartikan juga dengan suatu rangkaian berukuran kecil yang didalamnya terdapat komputer berbentuk suatu chip yang kecil.



Gambar 2.20 *Board* Arduino Uno
(Sumber :<http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>)

Pada *hardware* arduino terdiri dari 20 pin yang meliputi:

- a. 14 pin IO digital (pin 0–13)

Sejumlah pin digital dengan nomor 0–13 yang dapat dijadikan *input* atau *output* yang diatur dengan cara membuat program IDE.

- b. 6 pin *input* analog (pin 0–5)

Sejumlah pin analog bernomor 0–5 yang dapat digunakan untuk membaca nilai *input* yang memiliki nilai analog dan mengubahnya ke dalam angka antara 0 dan 1023.

- c. 6 pin *output* analog (pin 3, 5, 6, 9, 10 dan 11)

Sejumlah pin yang sebenarnya merupakan pin digital tetapi sejumlah pin tersebut dapat diprogram kembali menjadi pin *output* analog dengan cara membuat programnya pada IDE.

Tabel 2. 2 Deskripsi Arduino Uno
(Sumber :<http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>)

<i>Microcontroller</i>	ATmega328
<i>Operating Voltage</i>	5V
<i>Input Voltage (recommended)</i>	7-12V
<i>Input Voltage (limits)</i>	6-20V
<i>Digital I/O Pins</i>	14 (of which 6 provide PWM output)
<i>Analog Input Pins</i>	6
<i>DC Current per I/O Pin</i>	40 mA
<i>DC Current for 3.3V Pin</i>	50 mA
<i>Flash Memory</i>	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
<i>SRAM</i>	2 KB (ATmega328)
<i>EEPROM</i>	1 KB (ATmega328)
<i>Clock Speed</i>	16 MHz
<i>Length</i>	68.6 mm
<i>Width</i>	53.4 mm
<i>Weight</i>	25 g

2.8 LCD (*Liquid Crystal Display*)

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah suatu jenis media tampil yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. LCD sudah digunakan diberbagai bidang misalnya alal-alat elektronik seperti televisi, kalkulator, atau pun layar komputer. Pada postingan aplikasi LCD yang digunakan ialah LCD dot matrik dengan jumlah karakter 2 x 16. LCD sangat berfungsi sebagai penampil yang nantinya akan digunakan untuk menampilkan status kerja alat. Memori yang digunakan mikrokontroller internal LCD adalah :

1. DDRAM (*Display Data Random Access Memory*) merupakan memori tempat karakter yang akan ditampilkan berada.

2. CGRAM (*Character Generator Random Access Memory*) merupakan memori untuk menggambarkan pola sebuah karakter dimana bentuk dari karakter dapat diubah-ubah sesuai dengan keinginan.
3. CGROM (*Character Generator Read Only Memory*) merupakan memori untuk menggambarkan pola sebuah karakter dimana pola tersebut merupakan karakter dasar yang sudah ditentukan secara permanen oleh pabrikan pembuat LCD (*Liquid Cristal Display*) tersebut sehingga pengguna tinggal mengambilnya sesuai alamat memorinya dan tidak dapat merubah karakter dasar yang ada dalam CGROM.

Register control yang terdapat dalam suatu LCD diantaranya adalah.

1. Register perintah yaitu register yang berisi perintah-perintah dari mikrokontroler ke panel LCD (*Liquid Cristal Display*) pada saat proses penulisan data atau tempat status dari panel LCD (*Liquid Cristal Display*) dapat dibaca pada saat pembacaan data.
2. Register data yaitu register untuk menuliskan atau membaca data dari atau ke DDRAM. Penulisan data pada register akan menempatkan data tersebut ke DDRAM sesuai dengan alamat yang telah diatur sebelumnya.

Pin, kaki atau jalur *input* dan kontrol dalam suatu LCD (*Liquid Cristal Display*) diantaranya adalah :

1. Pin data adalah jalur untuk memberikan data karakter yang ingin ditampilkan menggunakan LCD (*Liquid Cristal Display*) dapat dihubungkan dengan bus data dari rangkaian lain seperti mikrokontroler dengan lebar data 8 bit.
2. Pin RS (*Register Select*) berfungsi sebagai indikator atau yang menentukan jenis data yang masuk, apakah data atau perintah. Logika *low* menunjukan yang masuk adalah perintah, sedangkan logika *high* menunjukan data.
3. Pin R/W (*Read Write*) berfungsi sebagai instruksi pada modul jika *low* tulis data, sedangkan *high* baca data.
4. Pin E (*Enable*) digunakan untuk memegang data baik masuk atau keluar.
5. Pin VLCD berfungsi mengatur kecerahan tampilan (kontras) dimana pin ini dihubungkan dengan trimpot 5 K ohm, jika tidak digunakan dihubungkan ke *ground*, sedangkan tegangan catu daya ke LCD sebesar 5 Volt.



Gambar 2.21 LCD 16x2



BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian “*Boost Converter* Sebagai Pengatur Tegangan untuk Motor Listrik DC Magnet Permanen” dilaksanakan di Laboratorium Listrik Dasar, Kampus Fakultas Teknik, Universitas Jember di Jl. Slamet Riyadi no.62 Patrang, Jember. Penelitian ini dilaksanakan mulai Bulan Oktober 2015 hingga Bulan Mei 2016.

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang diperlukan adalah :

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut

- a. AVO meter
- b. Baterai/aki 12 volt
- c. Power supply
- d. Oscilloscope
- e. Personal komputer/laptop
- f. Akrilik
- g. Gergaji besi
- h. Amplas
- i. Bor listrik
- j. Solder
- k. Timah
- l. Kabel jumper
- m. Arduino
- n. LCD 16x2

3.3 Prosedur Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan secara bertahap diuraikan sesuai langkah-langkah sebagai berikut :

a. Perumusan Masalah

Mempersiapkan dan membuat garis besar rencana / konsep penelitian serta merumuskan masalah dari beberapa masalah yang berhubungan dengan *boost converter* sebagai penguat tegangan yang akan dijadikan fokus masalah pada penelitian ini.

b. Studi literatur terhadap objek dan penelitian

Mengumpulkan dan mempelajari literatur tentang metode pengontrolan tegangan menggunakan *boost converter* dan juga mempelajari tentang penelitian sebelumnya sehingga pada penelitian kali ini kekurangan tersebut dapat diatasi.

c. Merancang rangkaian

Pada tahap ini akan dilakukan beberapa hal yang meliputi tahap pendesainan skema rangkaian pada PCB rangkaian power supply, konverter, PWM serta rangkaian kontrolnya dan dilanjutkan pada tahap penyablonan rangkaian sampai dengan penyolderan komponen-komponen PCB dan kemudian dilakukan pengujian

d. Analisis sistem

Menganalisa kinerja dari alat yang telah dibuat apakah sesuai dengan permintaan/ kehendak, dan akan dilakukan penyempurnaan ketika memiliki kekurangan.

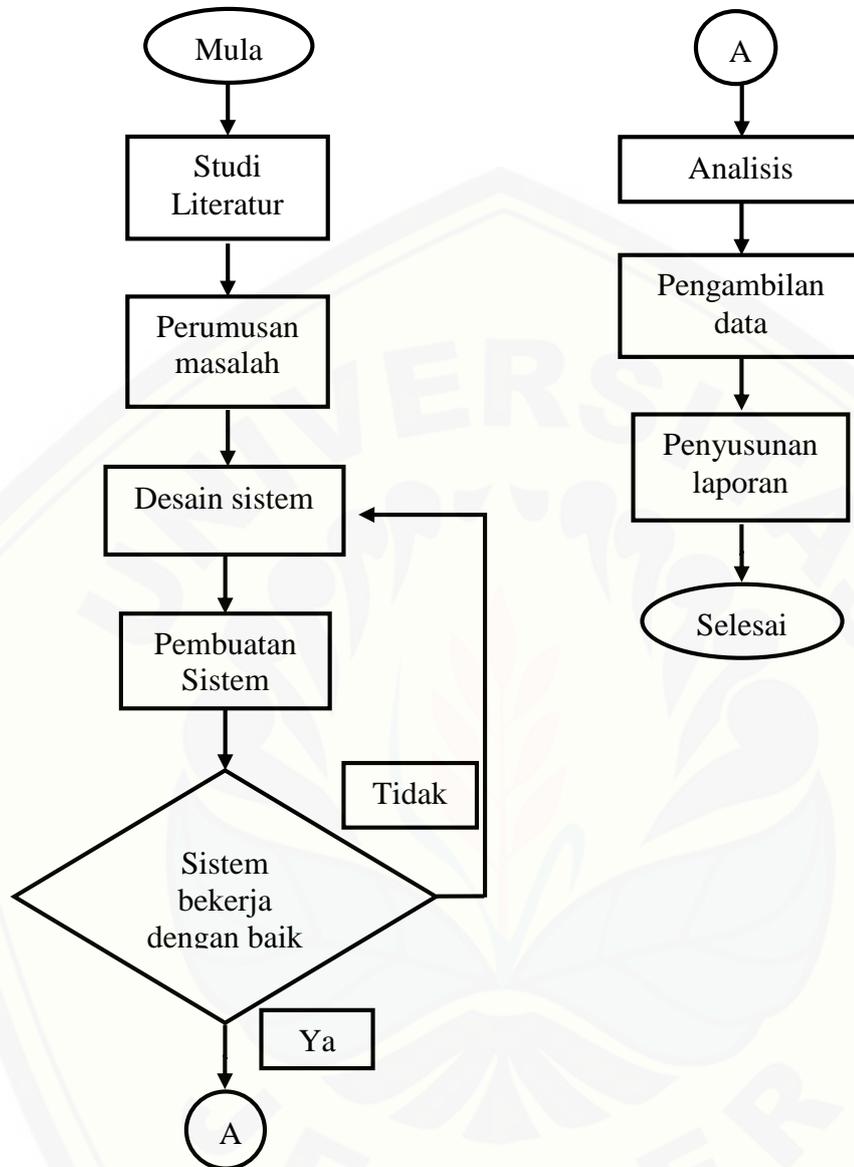
e. Pengambilan data

Pengambilan data meliputi pengukuran besar tegangan, arus dan daya yang dihasilkan dengan melalui pengujian, dimana pengambilan konstanta dilakukan dengan pertimbangan konstanta yang paling baik untuk bandingkan berdasarkan perhitungan.

f. Pengambilan kesimpulan dan saran

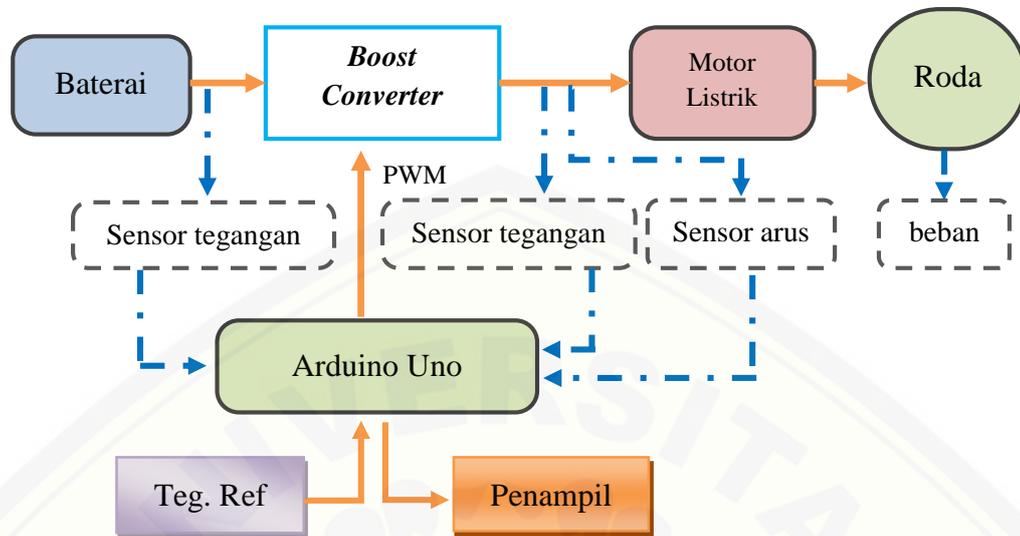
Pengambilan kesimpulan dari semua hasil analisis data yang telah didapat berdasarkan dasar teori yang telah dijelaskan.

3.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.5 Diagram Blok



Gambar 3.2 Diagram Blok

Sistem diatas merupakan bentuk sistem secara keseluruhan dimana sumber tegangan yang digunakan berasal dari baterai dimana konverter yang digunakan berupa konverter dc–dc yang memiliki fungsi menaikkan tegangan atau konverter *step-up*.

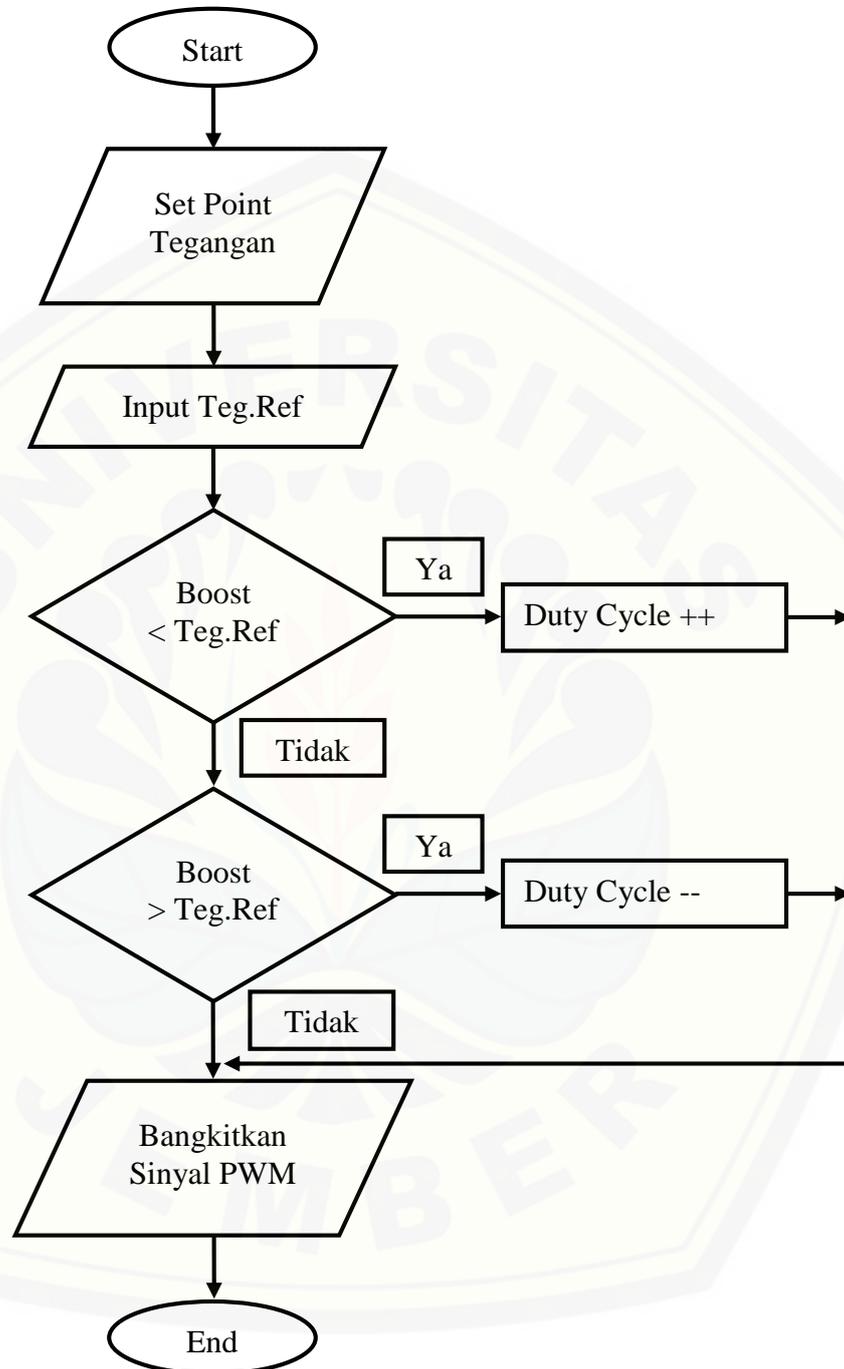
Tegangan *input* yang digunakan pada *boost converter* tersebut yaitu sebesar 24 volt dimana baterai akan dipasang secara seri agar menghasilkan tegangan yang dibutuhkan, kemudian tegangan yang berasal dari baterai dikonversikan melalui *boost converter* untuk mencapai tegangan *output* yang diharapkan yaitu sebesar 48 volt.

Secara bersamaan tegangan keluaran konverter akan diumpan balik ke Arduino UNO melewati perantara berupa sensor tegangan. Sensor ini berupa rangkaian *voltage divider* yang melemahkan tegangan keluaran agar dapat dibaca dengan aman oleh Arduino UNO dimana tegangan maksimum yang dapat dibaca oleh Arduino UNO sebatas 5 Volt. Tegangan keluaran yang telah diturunkan ini akan diterima Arduino UNO dengan bantuan fitur ADC (Analog to Digital Converter). Apabila dalam pemakaian tegangan yang dihasilkan *boost converter* mengalami perubahan atau penurunan tegangan maka terdapat sensor tegangan akan membaca dan kemudian memberikan sinyal pada mikrokontroller untuk

memperbaiki sistem agar tegangan yang dihasilkan tetap konstan. ADC *channel* pada mikrokontroler digunakan sebagai umpan balik bagi kontroler yang bertujuan agar tegangan *ouput* konverter dapat dijaga pada nilai tertentu melalui pengaturan *duty cycle* PWM yang digunakan untuk men-*drive* mosfet pada konverter dimana ketika tegangan yang dihasilkan konverter mengalami penurunan maka secara otomatis akan terbaca oleh mikrokontroler melalui pembacaan sensor tegangan. Besarnya perubahan nilai tegangan yang dihasilkan terhadap nilai tegangan set point yang telah ditentukan akan menjadi acuan berapa nilai *duty cycle* yang akan dibangkitkan atau ditambahkan, semakin besar perbedaan nilai tegangan yang diterima oleh mikrokontroler terhadap tegangan set pointnya akan semakin besar pula nilai *duty cycle* PWM yang diberikan begitu pun sebaliknya apabila tegangan yang dihasilkan konverter melebihi nilai tegangan *set point* yang ditentukan maka nilai *duty cycle* akan diturunkan. Dalam hal ini mikrokontroler akan menentukan hasil berupa *duty cycle* yang harus dibangkitkan.

Pada sistem tersebut akan digunakan sistem pengendali dengan menggunakan pengendali kontrol *Proportional Integral Derivative* (PID) dimana akan mengatur pensaklaran pada rangkaian *boost converter* dengan menentukan besarnya nilai K_p , K_i dan K_d sehingga diharapkan bisa menghasilkan respon *output* tegangan yang sesuai dengan tegangan *set point* tegangan yang telah ditentukan. Dalam hal ini kontrol PID digunakan untuk menjaga kestabilan sistem berupa nilai tegangan yang mampu bertahan terhadap perubahan nilai tegangan yang dihasilkan akibat perubahan nilai tegangan baterai maupun perubahan daya beban yang digunakan agar menghasilkan nilai tegangan yang lebih konstan dan stabil.

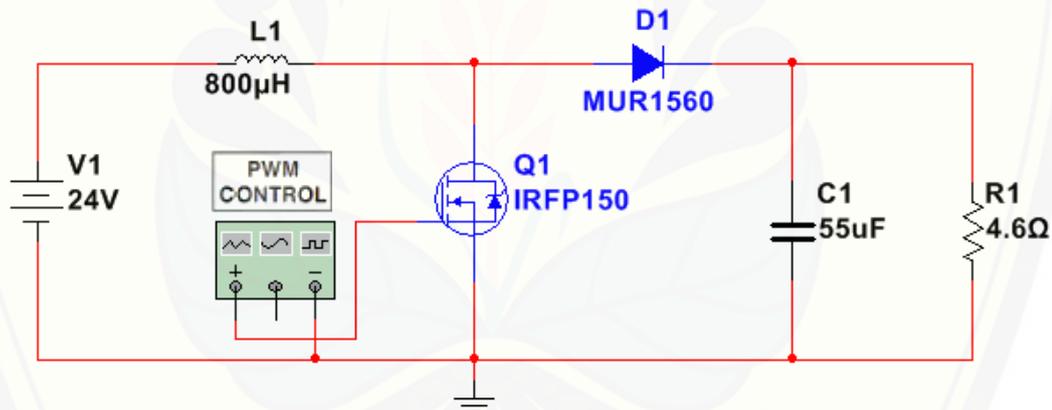
3.6 Flowchart Sistem Boost Converter



Gambar 3.3 Flowchart Sistem Boost Converter

3.7 Perancangan rangkaian *Boost Converter*

Dalam rangkaian ini, konverter akan digunakan untuk meningkatkan tegangan input sebesar 24 volt menjadi sebesar 48 volt pada tegangan *output* nya. Untuk dapat menghasilkan tegangan *output* yang diharapkan maka dalam perencanaan rangkaian *boost converter* tersebut perlu melakukan perhitungan dan menentukan komponen apa saja yang akan digunakan pada rangkaian tersebut. Pada rangkaian ini terdapat beberapa komponen yang digunakan yaitu kapasitor, induktor, dioda dan sebuah mosfet serta nilai *duty cycle* yang telah ditentukan sebelumnya dengan kapasitas tegangan *input* dan *output* yang diinginkan. Untuk menentukan berapa besar nilai pada komponen - komponen yang digunakan maka diperlukan sebuah perhitungan dengan menggunakan teori - teori penunjang agar hasil *output* yang sesuai dapat dihasilkan. Mosfet pada rangkaian menggunakan tipe IRFP150N sedangkan dioda menggunakan tipe MUR1560



Gambar 3.4 Rangkaian *Boost Converter*

3.7.1 Perhitungan rangkaian *boost converter*

Mencari nilai *duty cycle*

$$V_o = \frac{V_{in}}{1 - D}$$

$$48 = \frac{24}{1 - D}$$

$$D = 0,5$$

Mencari besar tahanan motor

$$I = \frac{P}{V} \quad I = \frac{500}{48} = 10,41 \text{ A}$$

$$P = I^2 \times R$$

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

$$R = \frac{500}{10,41^2} = 4,6 \Omega$$

Mencari besarnya nilai induktansi

$$L_{min} = \frac{D(1-D)^2}{2f_s} R$$

$$L_{min} = \frac{0,5(1-0,5)^2}{2 \times 40 \text{ kHz}} 4,6 \Omega$$

$$L_{min} = 718 \mu\text{H}$$

Mencari besarnya nilai kapasitor

$$C = \frac{V_o \times D}{R \times \Delta V_o \times f_s}$$

$$C = \frac{48 \times 0,5}{4,6 \times 2,4 \times 40 \text{ kHz}}$$

$$C = \frac{24}{4,41 \times 10^{-5}} = 54,34 \mu\text{F}$$

Mencari besar tegangan *ripple*

$$\Delta V_o = \frac{V_o \cdot D}{R \cdot C \cdot f}$$

$$\Delta V_o = \frac{48 \times 0,5}{4,6 \times 54,34 \cdot 10^{-6} \times 40 \cdot 10^3}$$

$$\Delta V_o = \frac{24}{9,99} = 2,4 \text{ V}$$

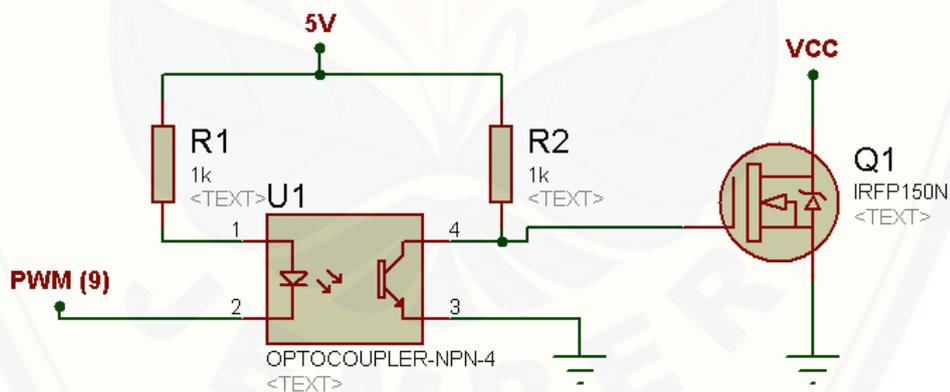
Maka besar faktor *ripple*

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{2,4}{48} \times 100\% = 5\%$$

3.7.2 Rangkaian Driver Mosfet

Sinyal PWM dibangkitkan dari arduino pin 9. Pada Arduino, sinyal PWM adalah sinyal yang beroperasi pada frekuensi 4000Hz. Pada board arduino Uno, pin yang bisa dimanfaatkan untuk PWM adalah pin yang diberi tanda tilde (~), yaitu pin 3, 5, 6, 9, 10, dan pin 11. PWM pada arduino bekerja pada frekuensi 4000Hz, artinya 4000 siklus dalam satu detik. Untuk setiap siklus, kita bisa memberi nilai dari 0 hingga 255. Ketika kita memberikan angka 0, berarti pada pin tersebut tidak akan pernah bernilai 0 volt (pin bernilai 0 volt). Sedangkan jika kita memberikan nilai 255, maka sepanjang siklus akan bernilai 5 volt (tidak pernah 5 volt).

Dalam pembuatan *driver* mosfet menggunakan mosfet IRFP150N dan optocoupler sebagai pemisah antara arduino dengan mosfet. Tujuannya untuk menghindari kerusakan pada arduino apabila terjadi tegangan balik dari dari mosfet. Mosfet IRFP150 adalah mosfet N-Channel dimana gate mendapat sumber tegangan dari optocoupler dengan rentang nilai 0-5V, dimana kaki *drain* sebagai *input*, dan kaki *source* menuju *ground*.

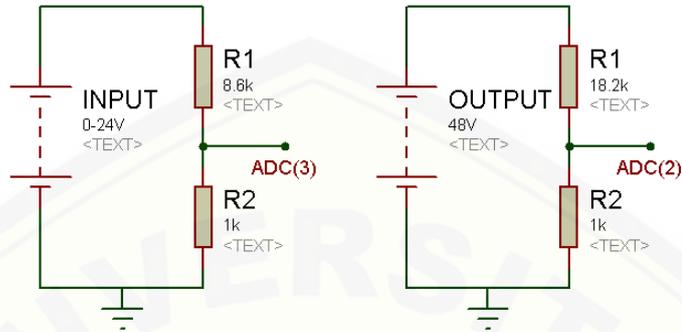


Gambar 3.5 Rangkaian *Driver* Mosfet

3.7.3 Rangkaian Sensor Tegangan

Sensor tegangan ini menggunakan prinsip rangkaian pembagi tegangan dimana tegangan *input* konverter sebesar 24V akan melewati rangkaian pembagi tegangan sehingga nilainya kurang dari 5V dan masuk menuju pin ADC arduino. Begitu pula dengan tegangan *output* konverter yang mencapai tegangan sebesar 48V yang juga melewati rangkaian pembagi tegangan sehingga nilainya kurang

dari 5V. Hal ini dikarenakan arduino hanya beroperasi pada rentang tegangan sebesar 0-5V. Untuk ilustrasi rangkaian sensor tegangan dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 3.6 Rangkaian Sensor Tegangan

Untuk perancangan sensor tegangan dengan prinsip pembagi tegangan, dapat dilihat pada perhitungan dengan menggunakan rumus pembagi tegangan. Perhitungannya adalah sebagai berikut.

Perhitungan sensor tegangan *input* :

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{in}$$

$$2,5 = \frac{1}{R_1 + 1} \times 24$$

$$2,5 R_1 = (24 - 2,5)$$

$$R_1 = \frac{21,5}{2,5} = 8,6 \approx 8k6 \Omega$$

Perhitungan sensor tegangan *output* :

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{in}$$

$$2,5 = \frac{1}{R_1 + 1} \times 48$$

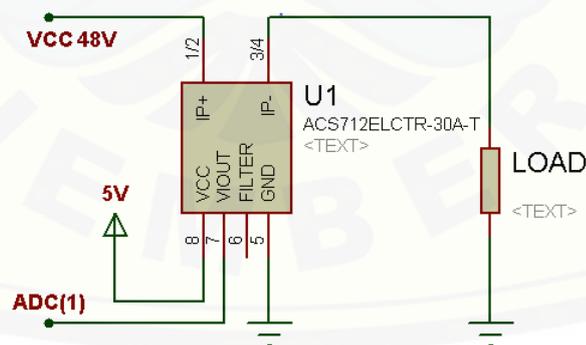
$$2,5 R_1 = (48 - 2,5)$$

$$R_1 = \frac{45,5}{2,5} = 18,2 \approx 18k2 \Omega$$

3.7.4 Rangkaian Sensor Arus

Sensor arus yang digunakan pada sistem ini menggunakan sensor arus sudah dalam bentuk *kit* dengan basis ACS712-30A-T yang kemampuannya sampai 30A. ACS712-30A-T adalah *Hall Effect current sensor*. *Hall effect allegro ACS712* merupakan sensor yang presisi sebagai sensor arus AC atau DC dalam pembacaan arus pada pengaplikasian deteksi beban listrik, *switched-mode power supplies* dan lain-lain. Sensor ini memiliki ketepatan yang tinggi, karena didalamnya terdapat *low-offset linier hall* dengan satu lintasan yang terbuat tembaga.

Cara kerja sensor ini adalah arus yang dibaca mengalir melalui kabel tembaga yang terdapat didalamnya menghasilkan medan magnet yang ditangkap oleh *integrated Hall IC* dan diubah menjadi tegangan proporsional. Ketelitian dalam pembacaan sensor dioptimalkan dengan cara pemasangan komponen yang ada didalamnya antara penghantar yang menghasilkan medan magnet dengan *hall transducer* secara berdekatan. Lebih tepatnya tegangan proporsional yang rendah akan menstabilkan Bi CMOS *Hall IC* yang didalamnya telah dibuat untuk ketelitian yang tinggi oleh pabrik. Hambatan pada penghantar sensor sebesar kurang lebih $1.2\text{ m}\Omega$ dengan daya rendah. Berikut ini adalah gambar rangkaian sensor arus ACS712-30A-T dengan kemampuan 30A.



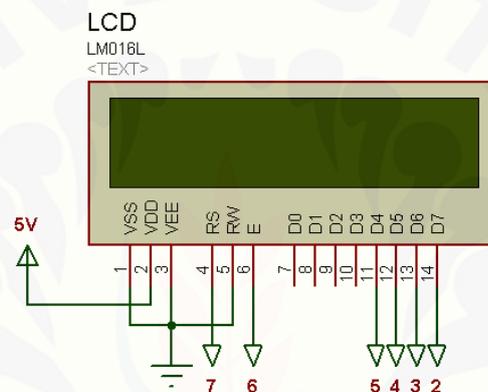
Gambar 3.7 Rangkaian Sensor Arus

Keluaran sensor arus ACS712-30A-T ini adalah berupa tegangan yang sangat kecil, dengan perubahan 66 mV per setiap 1 A ini merupakan referensi *data*

sheet. Untuk merubah keluaran ACS712-30A-T yang berupa mejadi besaran arus pada LCD dengan cara memanipulasi dengan program pada mikrokontroler.

3.7.5 Rangkaian LCD

LCD berfungsi sebagai penampil informasi sistem saat bekerja. LCD (*liquid crystal display*) sendiri adalah suatu alat penampil bahan cairan kristal yang pengoperasiannya menggunakan sistem *dot* matriks. Pada perancangan ini, LCD yang digunakan adalah LCD 16x2 dan memiliki lampu latar/*backlight*.



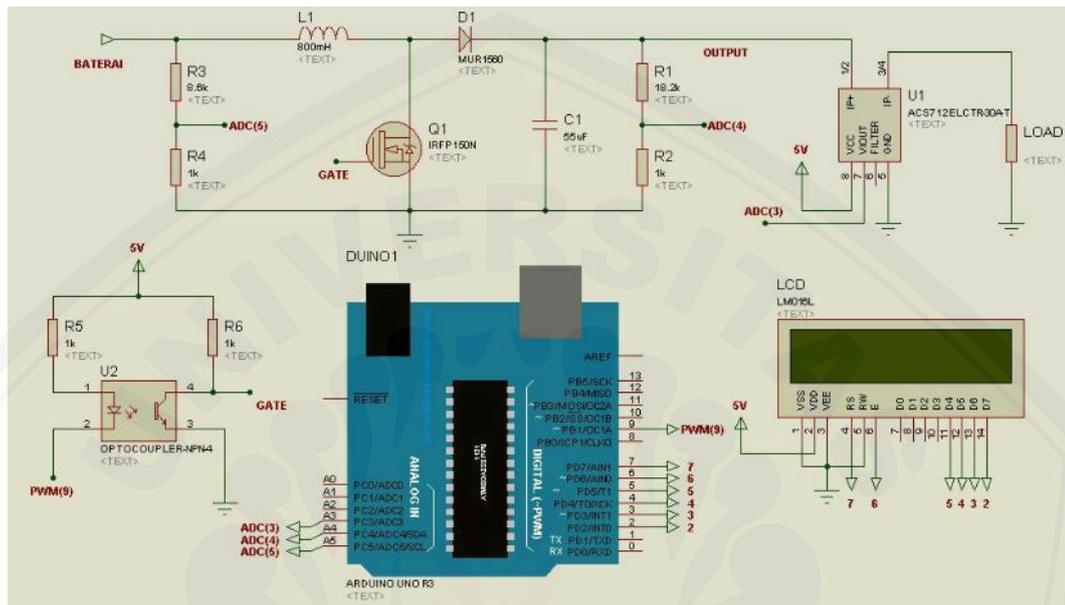
Gambar 3.8 Rangkaian LCD

Pada gambar 3.8 dapat dilihat hubungan perangkat keras dengan mikrokontroler terdiri atas 8 saluran data (D0-D7) dan kontrol yang terdiri atas *Enable* (E, *Clock*) untuk memalangkan data ke *buffer*-nya, sinyal *Read/Write* (R/W), *Register Select* (RS): RS = 0 modus komando, RS = 1 modus data, ditambah jalur catu daya: Vss (*ground*), Vdd (Vcc, +5V), dan Vee (*contrast control*). Pada umumnya, VEE ini dihubungkan ke pembagi tegangan (potensiometer) antara VCC dan *ground*. Karena LCD yang digunakan mempunyai *backlamp*, maka ditambahkan 2 pin yaitu pin ke-15 berfungsi untuk catu daya +5 Volt dan pin ke- 16 berfungsi sebagai *ground*.

3.8 Desain Sistem Boost Converter

Pada subbab ini akan menjelaskan rangkaian secara menyeluruh pada sistem *boost converter* yang mengacu pada diagram blok sistem di subbab 3.5.

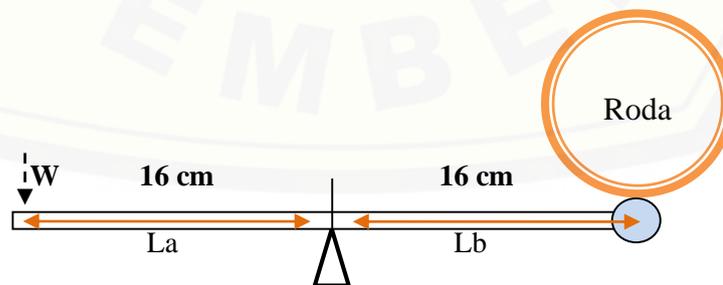
Berikut ini merupakan rangkaian konverter secara keseluruhan. Pada gambar 3.9 merupakan gabungan dari keseluruhan rangkaian pada subbab sebelumnya. Rangkaian tersebut diantaranya yaitu rangkaian *driver* mosfet, sensor arus, sensor tegangan, dan LCD.



Gambar 3.9 Desain Rangkaian Sistem *Boost Converter*

3.9 Perancangan Pembebanan

Perancangan beban dilakukan dengan beberapa variasi beban. Dengan memanfaatkan hukum newton, kecenderungan suatu gaya menyebabkan rotasi terhadap suatu titik bergantung pada besarnya gaya dan jaraknya dari titik.



Gambar 3.10 Rancangan Pembebanan

Pada gambar 3.10 terlihat pembebanan dilakukan pada ujung kiri, tumpuan di tengah sedangkan ujung kanan merupakan titik motor yang bergerak pada

kecepatan tertentu. Dari gambar diatas dapat diketahui berapa besarnya beban yang diberikan dengan rumus.

$$W = m \times g$$

Dimana W merupakan gaya berat, m adalah massa benda (kg), dan g adalah gravitasi bumi (m/s^2) sedangkan r adalah jarak antara titik tumpu dengan beban. Kemudian untuk menentukan besar beban yang akan diberikan dilakukan dengan memberikan perbandingan panjang lengan pada salah satu sisi dengan menggunakan rumus berikut

$$W \times La = F \times Lb$$

Dimana La adalah jarak beban dengan titik tumpu, Lb adalah jarak titik tumpu dengan roda motor sedangkan F adalah gaya yang diberikan (N). Dengan menggunakan perbandingan panjang lengan pada setiap percobaan yaitu sebesar 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 dan 3 berbanding 1 maka diperoleh masing-masing besar beban yaitu 4,9 N, 9,8 N, 14,7 N, 19,6 N, 24,5 N dan 29,4 N. Setelah diketahui variasi beban yang akan digunakan kemudian akan dilakukan proses pengujian untuk mengetahui karakteristik yang ditimbulkan akibat perubahan pada setiap beban.

3.10 Spesifikasi Motor Listrik DC Magnet Permanen

Adapun spesifikasi motor listrik DC yang digunakan sebagai beban pada proses pengujian rangkaian *boost converter* sebagai berikut

- Tegangan : 36 V, 22 Ampere
- Daya Motor : 500 Watt
- Berat : 15 Kg
- Kecepatan : 500 rpm
- Material : Aluminium
- Ukuran roda : 22 x 1,75
- Tipe : Joy (JYYL36V22A050603-023)



Gambar 3.11 Motor listrik DC magnet permanen

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan proses perencanaan, pembuatan dan pengujian alat serta dengan membandingkan dengan teori – teori penunjang, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu sebagai berikut :

1. Perancangan sistem pengaturan PWM pada arduino berbasis PID *controller* dapat mengendalikan kestabilan tegangan keluaran dari rangkaian *boost converter* yang disebabkan oleh pembebanan pada motor maupun tegangan sumber yang berubah – ubah pada saat rangkaian bekerja.
2. Dari data yang telah diperoleh, dapat dilihat bahwa penggunaan PID *controller* dapat mengendalikan tegangan keluaran dari rangkaian *boost converter* agar lebih stabil pada tegangan 36 V dengan menggunakan beban berbeda yaitu sebesar 9,8 N, 14,7N dan 24,5N dimana menghasilkan *duty cycle* sebesar 60 persen, 65,5 persen dan 71,3 persen dimana nilai pada masing-masing kontrol telah ditentukan yakni $K_p = 0.4$, $K_i = 3$, dan $K_d = 0.05$.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan tentu tidak lepas dari berbagai macam kekurangan dan kelemahan, maka dapat ditarik beberapa saran untuk pengembangan yang lebih baik sebagai berikut :

1. Pada saat pembuatan kontrol PID *controller*, maka yang kita lakukan adalah menentukan nilai K_p , K_i dan K_d nya terlebih dahulu. Penentuan ini dilakukan dengan metode *trial and error* untuk melihat respon *open loop* terlebih dahulu.

2. Sistem pendingin yang baik pada mosfet sangat diperlukan untuk menjaga suhu yang berlebih akibat penggunaan mosfet secara kontinyu sehingga daya yang dihasilkan maksimal serta tidak mudah rusak.



DAFTAR PUSTAKA

- Amsiah dan Faizal Arya Samman. 2013. " Analisis Konverter Dc/Dc Tipe Boost Untuk Aplikasi Mobil Listrik ". Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
- Datasheet Arduino Uno: "<http://arduino.cc/en/main/arduinoBoardUno>" diakses pada 25 april 2015.
- Diah Septi Yanaratri, Epyk Sunarno, dan Suhariningsih. 2010. "Pengaturan Switching Boost Converter Menggunakan Logika Fuzzy pada Sistem Solar Cell Sebagai Tenaga Alternatif". Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Fitra Fadillah, Syahrial dan Siti Saoda. 2014. "Perancangan dan Realisasi Konverter DC-DC Tipe Boost Berbasis Mikrokontroler ATMEGA 8535". Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Bandung.
- Krit Salah-ddine, Benlafkih Abdessamed & Chafik Elidrisi. 2013. " Design and Modeling of DC/DC Converter Mobile Device Applications ". University Ibn Zohr BP 638 Ouarzazate, Morocco
- M. Ikhsan dan Yuwaldi. 2014. " Studi dan Penerapan PID pada Kontrol Buck Converter Berbasis Mikrokontroler ATmega328P". Banda Aceh : Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala.
- M Bangun Nugroho, Renny Rakhmawati dan Ainur Rofiq dan. 2012. "Rancang Bangun Rangkaian *Boost Converter* Terkontrol Berbasis *PI Controller* untuk Menyuplai Motor DC pada Mobil Listrik". Politeknik Elektronika Negeri Surabaya – ITS.
- Prima Havilandi, Grandis. 2012. " Rancang Bangun Rangkaian Boost Converter Terkontrol Berbasis PI-Fuzzy Logic Controller Untuk Menyuplai Motor DC Pada Mobil Listrik". Politeknik Elektronika Negeri Surabaya – ITS.

LAMPIRAN

A. Perhitungan Ripple Tegangan

a. Duty cycle 9,8%

$$\Delta V_o = \frac{V_o \cdot D}{R \cdot C \cdot f} = \frac{23,5 \times 0,098}{4,6 \times 54,34 \cdot 10^{-6} \times 40 \cdot 10^3} = \frac{2,303}{9,991} = 0,23 \text{ V}$$

Faktor ripple :

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{0,23}{23,5} \times 100\% = 0,97\%$$

b. Duty cycle 19,6%

$$\Delta V_o = \frac{V_o \cdot D}{R \cdot C \cdot f} = \frac{24,2 \times 0,196}{4,6 \times 54,34 \cdot 10^{-6} \times 40 \cdot 10^3} = \frac{4,743}{9,991} = 0,47 \text{ V}$$

Faktor ripple :

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{0,47}{24,2} \times 100\% = 1,94\%$$

c. Duty cycle 29,4%

$$\Delta V_o = \frac{V_o \cdot D}{R \cdot C \cdot f} = \frac{26,8 \times 0,294}{4,6 \times 54,34 \cdot 10^{-6} \times 40 \cdot 10^3} = \frac{7,879}{9,991} = 0,78 \text{ V}$$

Faktor ripple :

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{0,78}{26,8} \times 100\% = 2,91\%$$

d. Duty cycle 39,2%

$$\Delta V_o = \frac{V_o \cdot D}{R \cdot C \cdot f} = \frac{31,5 \times 0,392}{4,6 \times 54,34 \cdot 10^{-6} \times 40 \cdot 10^3} = \frac{12,34}{9,991} = 1,23 \text{ V}$$

Faktor ripple :

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1,23}{31,5} \times 100\% = 3,9\%$$

e. Duty cycle 49%

$$\Delta V_o = \frac{V_o \cdot D}{R \cdot C \cdot f} = \frac{37,3 \times 0,49}{4,6 \times 54,34 \cdot 10^{-6} \times 40 \cdot 10^3} = \frac{18,27}{9,991} = 1,83 \text{ V}$$

Faktor ripple

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1,83}{37,3} \times 100\% = 4,9\%$$

f. Duty cycle 58,9%

$$\Delta V_o = \frac{V_o \cdot D}{R \cdot C \cdot f} = \frac{43,7 \times 0,589}{4,6 \times 54,34 \cdot 10^{-6} \times 40 \cdot 10^3} = \frac{25,73}{9,991} = 2,57 \text{ V}$$

Faktor ripple :

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{2,57}{43,7} \times 100\% = 5,88\%$$

g. Duty cycle 68,6%

$$\Delta V_o = \frac{V_o \cdot D}{R \cdot C \cdot f} = \frac{48,2 \times 0,686}{4,6 \times 54,34 \cdot 10^{-6} \times 40 \cdot 10^3} = \frac{33,06}{9,991} = 3,30 \text{ V}$$

Faktor ripple :

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{3,30}{48,2} \times 100\% = 6,84\%$$

B. Listing Program

```
#include <PID_v1.h>
#define PIN_INPUT 0
#define PIN_OUTPUT 12

//Define Variables we'll be connecting to
double Output;
double Input,Setpoint;
//Specify the links and initial tuning parameters
double Kp=0.4, Ki=3, Kd=0.05;
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);
////////////////////////////////////

#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(7, 6, 5, 4, 3, 2);
//int nilai=25;
int nilai=0;
const int NilaiPWM =9;
int mVperAmp=66;
int teganganSensorArus=0;
int sensorTeganganInput=0;
int sensorTeganganOutput=0;
int ACSoffset=2.5;
double Voltage=0;
double Amps=0;
const int buttonPin = 8;
const int buttonPin1 = 11;

int buttonState = 0;
int buttonState1 = 0;
int lastButtonState = 0;
```

```
void setup()
{

  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16, 2);
  TCCR1B = _BV(CS01);
  pinMode(9, OUTPUT);
  pinMode(buttonPin, INPUT);
  pinMode(buttonPin1, INPUT);

  sensorTeganganOutput = analogRead(A5);
  float TeganganOut =(((float)sensorTeganganOutput*0.118)+3.277);
  Setpoint = nilai;

  //turn the PID on
  myPID.SetMode(AUTOMATIC);
}

void loop()
{

  // read the input on analog pin 0:
  teganganSensorArus = analogRead(A3);
  Voltage = (teganganSensorArus/1023.0)*5;
  Amps=(((Voltage-ACSoffset)/mVperAmp)*1000)-3.0;
  lcd.setCursor(11,0);
  lcd.print(Amps,2);
  lcd.print(" ");

  sensorTeganganInput = analogRead(A4);
  float TeganganIn =(((float)sensorTeganganInput*0.05747)-0.300);
  lcd.setCursor(12,1);
  lcd.print(TeganganIn,1);
  lcd.print(" ");

  sensorTeganganOutput = analogRead(A5);
  float TeganganOut =(((float)sensorTeganganOutput*0.118)+3.277);
  lcd.setCursor(5,1);
  lcd.print(TeganganOut,1);
```

```
lcd.print(" ");

//Input = analogRead(PIN_INPUT);
Input = TeganganOut;
myPID.Compute();
analogWrite (NilaiPWM,Output);
//analogWrite(PIN_OUTPUT, Output);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("PWM:");
lcd.setCursor(4,0);
lcd.print(Output,0);
lcd.print(" ");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(Setpoint,0);
lcd.print(" ");

Serial.print("Arus");
Serial.print(" ");
Serial.println(Amps,2);

Serial.print("TeganganIN");
Serial.print(" ");
Serial.println(TeganganIn,1);

Serial.print("TeganganOUT");
Serial.print(" ");
Serial.println(TeganganOut);

Serial.print("PWM");
Serial.print(" ");
Serial.println(Output);

buttonState = digitalRead(buttonPin);
if (buttonState != lastButtonState) {
  if (buttonState == HIGH) {
    //buttonPushCounter++;
    Setpoint++;
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print(Setpoint,0);
    lcd.print(" ");
```

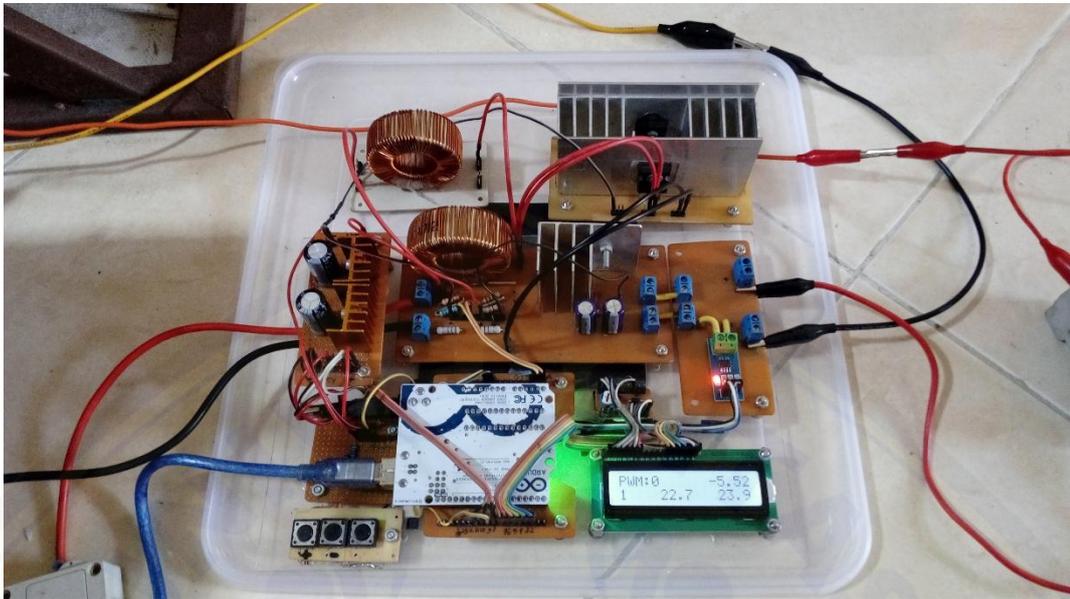
```
    }
    else {
    }
    delay(50);
}
lastButtonState = buttonState;

/////////////////////////////////////////////////////////////////

buttonState1 = digitalRead(buttonPin1);
if (buttonState1 != lastButtonState) {
  if (buttonState1 == HIGH) {
    //buttonPushCounter--;
    Setpoint--;
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print(Setpoint,0);
    lcd.print(" ");
  }
  else {
    Serial.println("off");
  }
  delay(50);
}
lastButtonState = buttonState1;

delay(350);
}
```

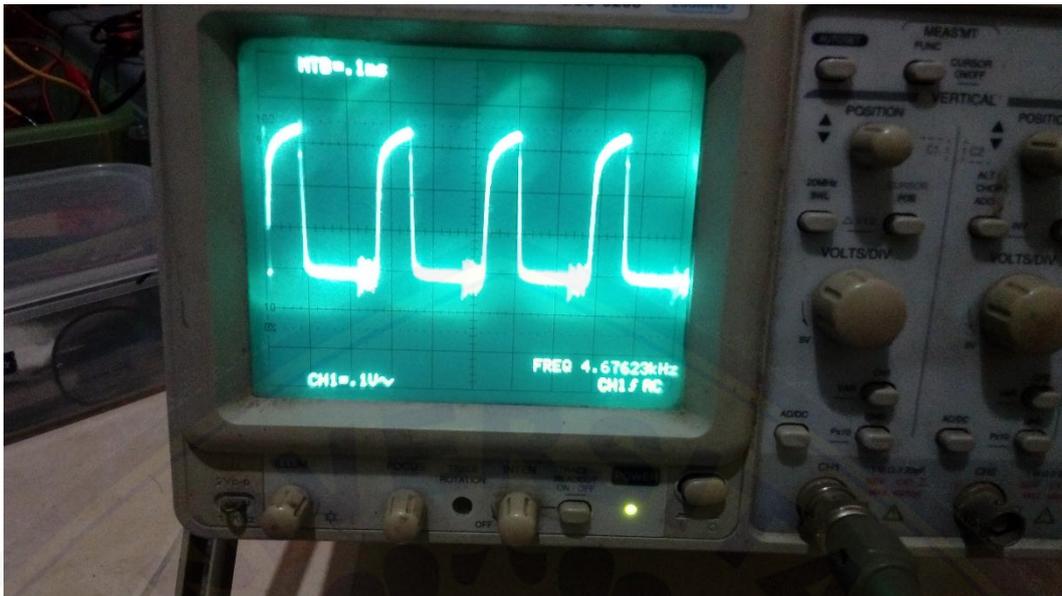
C. Dokumentasi Alat Penelitian



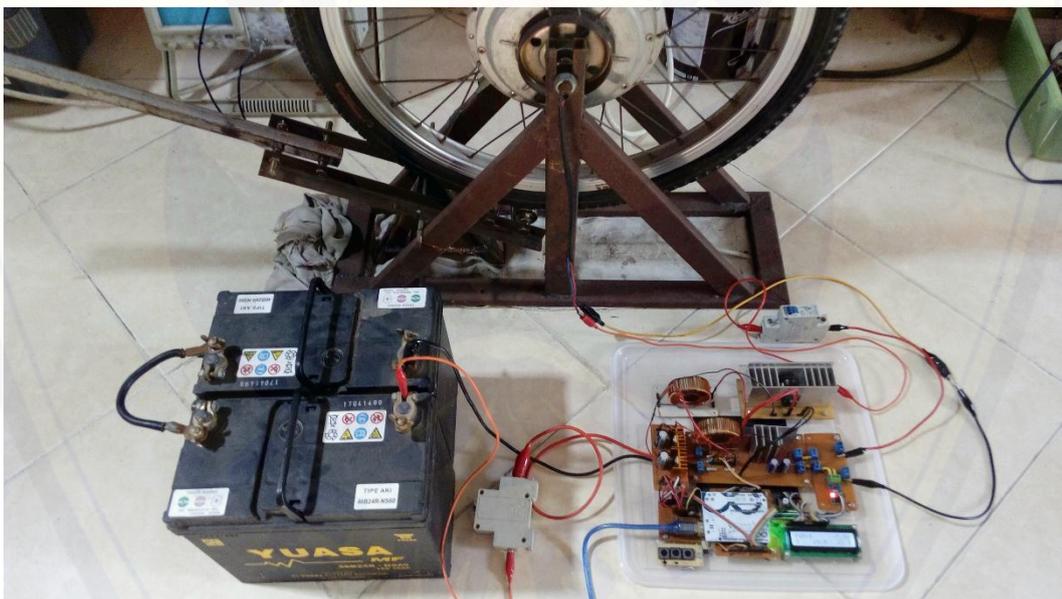
Gambar Keseluruhan Rangkaian *Boost Converter*



Gambar Pengujian *Output* Tegangan pada rangkaian *Boost Converter*



Gambar Pengujian Sinyal PWM pada Rangkaian *Boost Converter*



Gambar Pengujian Rangkaian *Boost Converter* dengan Beban Motor