



**SISTEM *BUCK CONVERTER* UNTUK PENGISI BATERAI DENGAN  
KONTROL *FUZZY LOGIC***

**SKRIPSI**

oleh

**Haekal Iqbal  
NIM 121910201024**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2018**



**SISTEM *BUCK CONVERTER* UNTUK PENGISI BATERAI DENGAN  
KONTROL *FUZZY LOGIC***

**SKRIPSI**

**diajukan guna melengkapi skripsi dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi S1 Teknik Elektro  
dan mencapai gelar Sarjana Teknik**

**oleh**

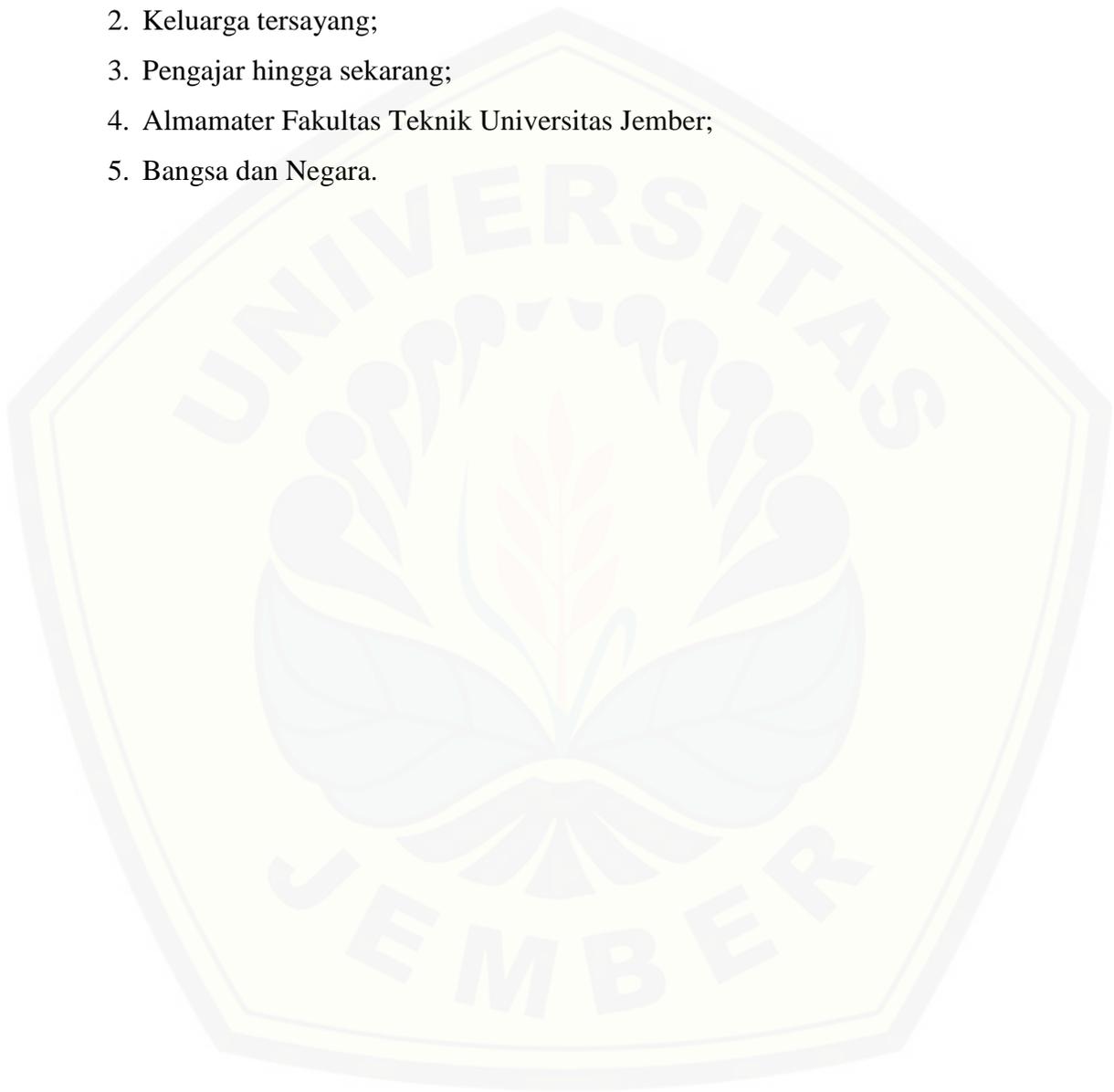
**Haekal Iqbal  
NIM 121910201024**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2018**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

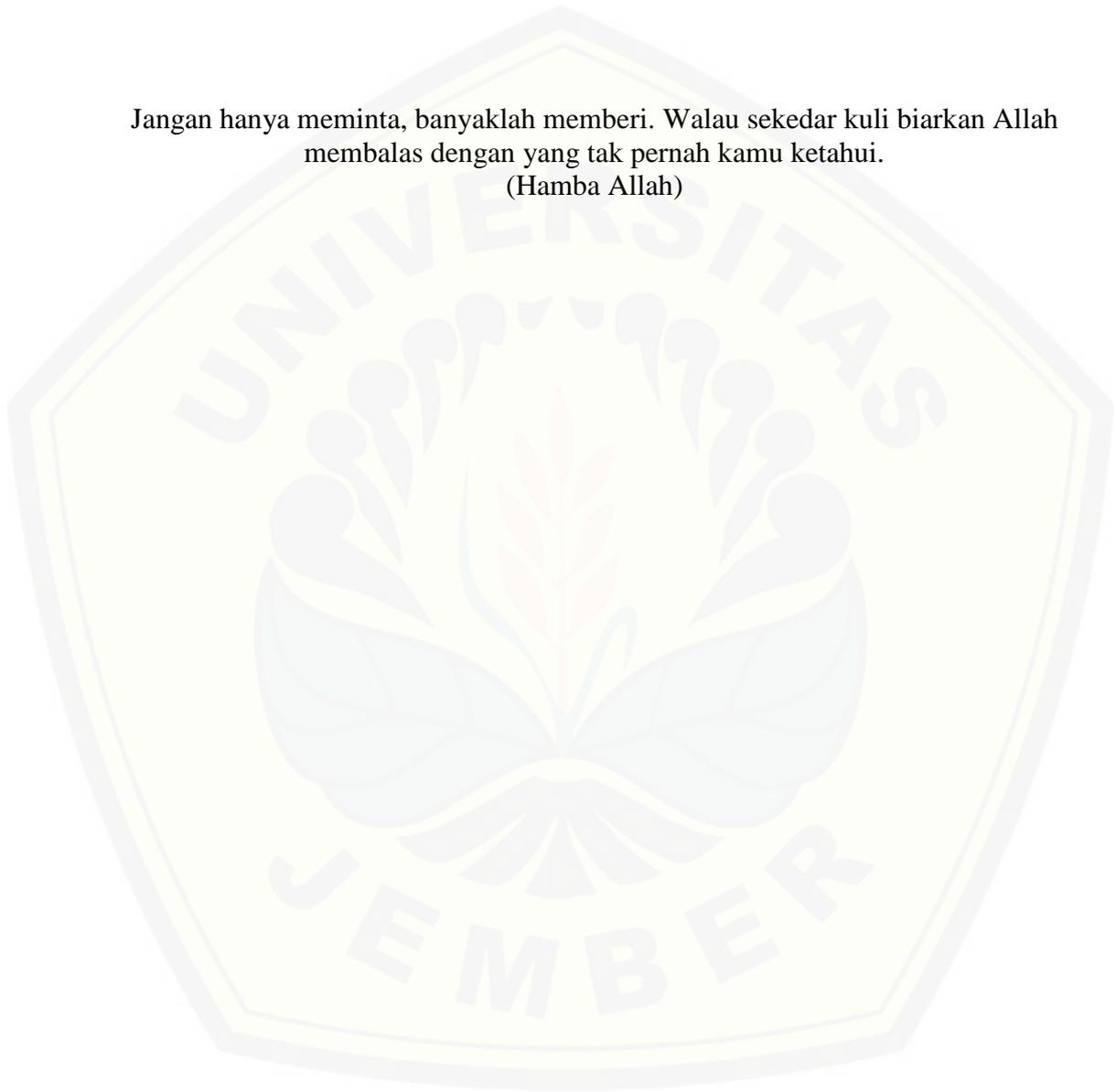
1. Bapak Ibu Tercinta;
2. Keluarga tersayang;
3. Pengajar hingga sekarang;
4. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember;
5. Bangsa dan Negara.



**MOTO**

Prinsip kuat, pemikiran hebat, jiwa anti sambat dan berjuta sahabat. Semua ini ada dalam wadah yang tepat untuk segala nikmat.  
(Hamba Allah)

Jangan hanya meminta, banyaklah memberi. Walau sekedar kuli biarkan Allah membalas dengan yang tak pernah kamu ketahui.  
(Hamba Allah)



**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Haekal Iqbal

NIM : 121910201024

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Sistem *buck converter* untuk pengisi baterai dengan kontrol *fuzzy logic*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan dalam institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, September 2018

Yang menyatakan,

Haekal Iqbal

NIM 121910201024

**SKRIPSI**

**Sistem *Buck Converter* Untuk Pengisi Baterai Dengan Kontrol *Fuzzy Logic***

oleh

Haekal Iqbal  
NIM 121910201024

Pembimbing

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

Dosen Pembimbing Anggota : Samsul Bachri M., S.T., MMT

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Sistem *Buck Converter* Untuk Pengisi Baterai Dengan Kontrol *Fuzzy Logic*” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Kamis, Juni 2016

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember.

**Tim Penguji:**

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko,  
M.M.

NIP 19631201199402 1 002

Penguji I,

Samsul Bachri M., S.T., MMT  
NIP 196403171998021001

Penguji II,

Dr. Bambang Sri Kaloko, ST., M.T.  
NIP 197104022003121001

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

Mengesahkan  
Dekan Fakultas Teknik,

Dr.Ir. Entin Hidayah, M.UM.  
NIP 19661215 199503 2 001

Sistem *Buck Converter* Untuk Pengisi baterai Dengan Kontrol *Fuzzy Logic*

**Haekal Iqbal**

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

## **ABSTRAK**

Energi cadangan pada umumnya digunakan genset ataupun baterai. Akan tetapi, baterai dapat habis seiring dengan waktu penggunaan, sehingga baterai harus dilakukan pengisian kembali. Pada proses pengisian ini digunakan *buck converter* yang dapat mengontrol tegangan masukan pada saat pengisian baterai. Pada tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan pengisian baterai menggunakan *buck converter* dengan kontrol *fuzzy logic* agar pengisian baterai dapat dilakukan dengan aman. Penelitian ini menggunakan metode arus konstan dan tegangan konstan. Arus konstan bekerja apabila baterai dalam proses pengisian dengan arus pengisian sebesar 2A. ketika tegangan baterai akan penuh maka metode yang digunakan beralih menjadi tegangan konstan. Penelitian ini menggunakan Matlab 2013a sebagai *software* simulasi menjalankan sistem *buck converter* untuk pengisi baterai dengan kontrol *fuzzy logic*. Komponen pada sistem ini yaitu *rectifier*, *buck converter* dan baterai. *Rectifier* digunakan untuk menyearahkan tegangan AC 110 V/50 hz. Untuk rangkaian *buck converter* menggunakan frekuensi 40khz, dengan inductor sebesar 1.14 mH dan kapasitor sebesar 3.3 uF. Untuk kondisi baterai menggunakan baterai dengan kapasitas 48V / 14 Ah.

**Kata kunci:** *buck converter*, *fuzzy logic*, pengisi baterai

## *Buck Converter System For Battery Charger With Fuzzy Logic Control*

**Haekal Iqbal**

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

### **ABSTRACT**

Backup energy is generally used by generators or batteries. However, the battery can run out over time, so the battery must be recharged. In this charging process buck converter is used which can control the input voltage when charging the battery. The purpose of this study is to charge the battery using a buck converter with fuzzy logic controls so that battery charging can be carried out safely. This research uses the method of constant current and constant voltage. Constant current works when the battery is in the charging process with a charging current of 2A. when the battery voltage is full then the method used switches to a constant voltage. This study uses Matlab 2013a as a simulation software running a buck converter system for battery chargers with fuzzy logic controls. Components of this system are rectifiers, buck converters and batteries. Rectifiers are used to align the AC voltage 110 V / 50 hz. The buck converter circuit uses a 40khz frequency, with an inductor of 1.14 mH and a capacitor of 3.3 uF. For battery conditions use a battery with a capacity of 48V / 14 Ah.

**Keywords :** *Buck Converter, Fuzzy Logic, Battery Charger*

## RINGKASAN

**Sistem Buck Converter Untuk Pengisi Baterai Dengan Kontrol Fuzzy Logic;**  
Haekal Iqbal, 121910201024; 2018; 82 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas  
Teknik Universitas Jember.

Energi cadangan pada umumnya digunakan genset ataupun baterai. Namun untuk peralatan yang relatif membutuhkan daya kecil seperti motor listrik, laptop, ataupun lampu penerangan, maka yang digunakan adalah baterai. Akan tetapi, baterai dapat habis seiring dengan waktu penggunaan, sehingga baterai harus dilakukan pengisian kembali. Pada proses pengisian ini digunakan *buck converter* yang dapat mengontrol tegangan masukan pada saat pengisian baterai. *Buck converter* dapat dipakai sebagai regulator mode pensaklaran untuk mengubah tegangan DC yang biasanya tidak teregulasi, menjadi tegangan keluaran DC yang teregulasi. Konverter pensaklaran dapat ditemukan dalam bentuk rangkaian terintegrasi. Untuk sistem kontrol pada *buck converter* digunakan kontrol *fuzzy logic* agar dapat mengatur arus dan tegangan *output buck converter* sehingga proses pengisian baterai tetap aman. Dalam menerapkan sistem pengisi baterai ini digunakan *software* Matlab 2013a sebagai alat untuk simulasi pengaplikasian.

Penelitian ini didapatkan hasil dimana pada saat pengisian baterai dengan kondisi SOC baterai berada pada 45% sampai 85% dengan kontrol *fuzzy logic* pada mode *constan current* dapat bekerja dengan baik, output arus *buck converter* untuk pengisian baterai dapat stabil pada nilai arus sebesar 2 A. sehingga proses pengisian baterai dapat berjalan dengan aman.

Namun ketika proses pengisian baterai berada pada SOC lebih dari 85% dengan menggunakan kontrol *fuzzy logic* ketika pada mode *constant voltage* arus *output buck converter* tidak berada pada nilai yang baik untuk pengisian baterai.

## PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Sistem *Buck Converter* Untuk Pengisi Baterai Dengan Kontrol *Fuzzy Logic*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof. Ir. Bambang Sujanarko, M.M. selaku Dosen Pembimbing Utama, Dr. Samsul Bachri M., S.T., MMT selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
2. Dr. Bambang Sri Kaloko, ST., M.T. selaku Dosen Penguji I, Ir. Widyono Hadi, M.T. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan kritik dan saran yang sangat membangun demi penyempurnaan skripsi ini;
3. Prof. Ir. Bambang Sujanarko, M.M. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
4. Bunda Nartin Widhayanti dan Ayahanda Supriyanto yang telah memberikan dukungan moril dan materiil serta kasih sayang yang tak terhingga;
5. Adik-adikku tersayang yang telah memberikan motivasi dan semangat;
6. Keluarga Besar Elektro Universitas Jember yang telah mendukung dengan segenap jiwa, cinta dan rasa;
7. Keluarga Besar SATE UJ yang terus ada dan selalu setia;
8. Semua Pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

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

Jember, Juni 2016

Penulis

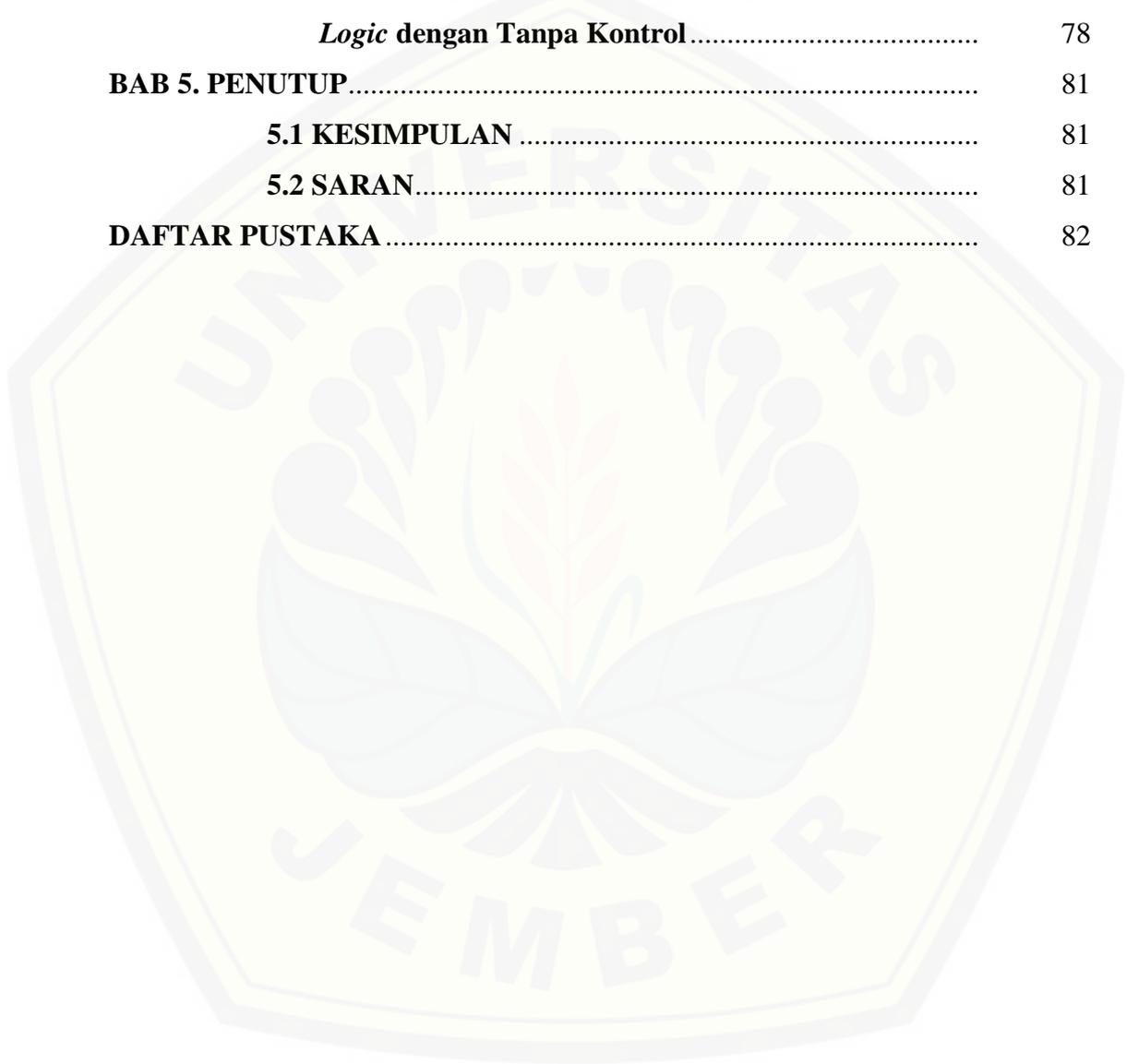
**DAFTAR ISI**

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN MOTO</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PEMBIMBINGAN</b> .....	vi
<b>HALAMAN PEMNGESAHAN</b> .....	vii
<b>ABSTRAK</b> .....	viii
<b>ABSTRACT</b> .....	ix
<b>RINGKASAN</b> .....	x
<b>PRAKATA</b> .....	xi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xxi
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	2
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	2
<b>1.4 Tujuan</b> .....	2
<b>1.5 Manfaat</b> .....	2
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	3
<b>2.1 Baterai</b> .....	3
2.1.1 Baterai Lead Acid.....	4
2.1.2 Prinsip Kerja Baterai .....	5
2.1.3 Rangkaian Ekuivalen.....	5
<b>2.2 Metode Pengisian Baterai</b> .....	7
2.2.1 <i>Constan Current Charge</i> .....	7
2.2.2 Proses Charge Dan Discharge Dengan Daya Konstan .....	8

2.2.3 Proses Charge Dengan Arus Dan Tegangan Konstan Dan Discharge Dengan resistansi Konstan .....	9
<b>2.3 Rangkaian Penyearah</b> .....	10
<b>2.4 Filter (Penyaring)</b> .....	11
<b>2.5 Buck Converter</b> .....	12
<b>2.6 Pulse Width Modulation (PWM)</b> .....	16
<b>2.7 Metode Fuzzy Logic</b> .....	17
2.7.1 Logika Fuzzy .....	17
2.7.2 Fuzzifikasi .....	18
2.7.3 Fungsi Keanggotaan .....	18
2.7.4 Defuzzifikasi .....	20
2.7.5 Konfigurasi Dasar Kendali Logika Fuzzy .....	21
<b>2.8 Matlab 2013a</b> .....	22
2.8.1 Simulink & SimMechanics.....	23
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	25
<b>3.1 Tempat Dan Waktu Penelitian</b> .....	25
3.1.1 Tempat Penelitian.....	25
3.1.2 Waktu Penelitian .....	25
<b>3.2 Alat dan Bahan</b> .....	25
<b>3.3 Diagram Alir Penelitian</b> .....	26
<b>3.4 Blok Diagram Sistem</b> .....	28
3.4.1 Rectifier .....	29
3.4.2 Buck Converter.....	29
<b>3.5 Perancangan Sistem kontrol Fuzzy Logic</b> .....	31
3.5.1 Fuzzifikasi .....	32
3.5.2 Evaluasi Rule .....	33
3.5.3 Defuzzifikasi .....	33
<b>3.6 Sistem Pengisi Baterai Menggunakan Fuzzy Logic</b> ....	34
<b>3.7 Flowchart Program Sistem Pengisi Baterai</b> .....	35

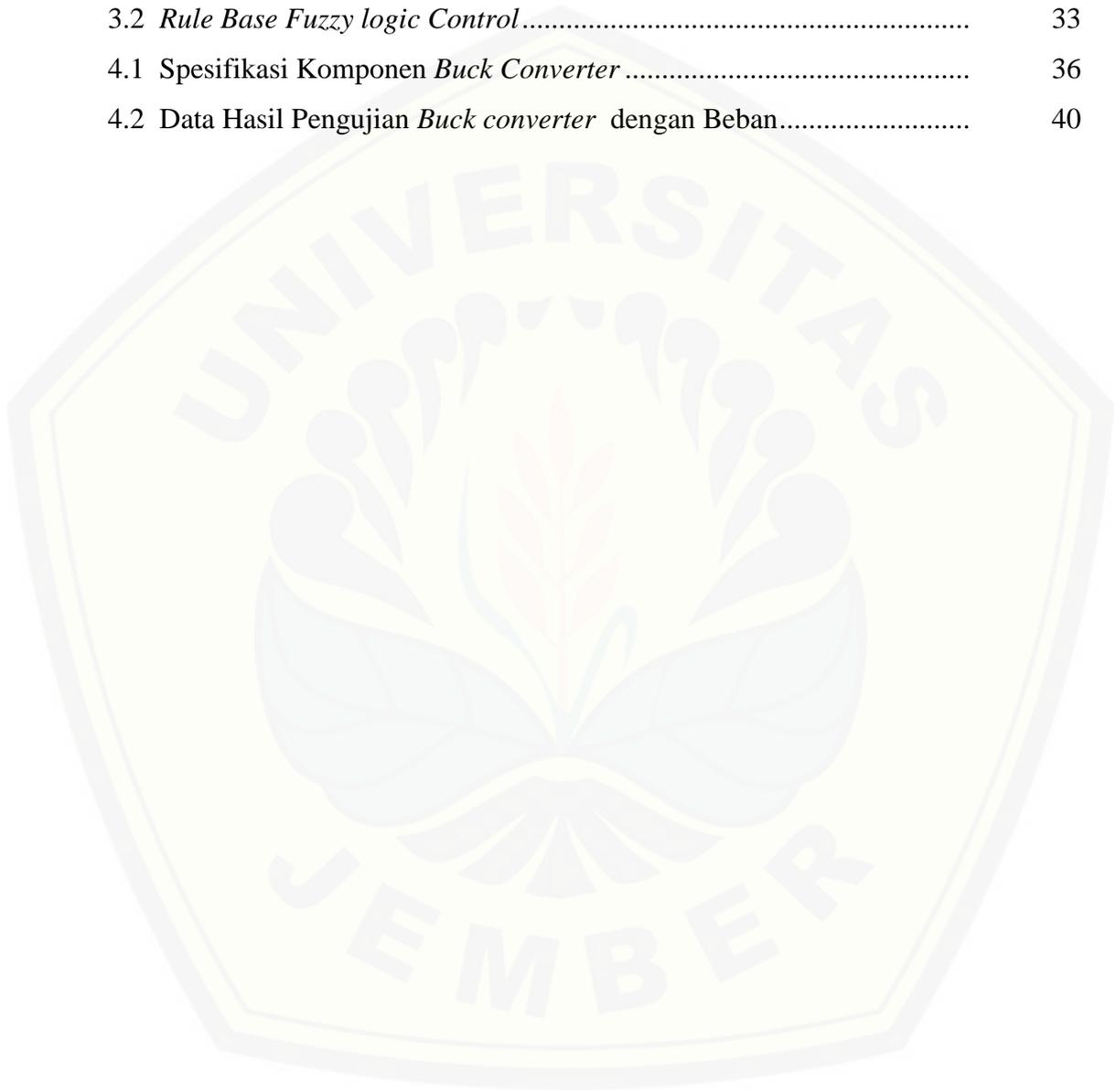
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	36
<b>4.1 Analisa <i>Buck Converter</i></b> .....	36
<b>4.2 Kontrol <i>Fuzzy Logic</i> Untuk Sistem Pengisi Baterai</b> ....	37
<b>4.3 Pengujian Keseluruhan</b> .....	40
4.3.1 Pengujian Tanpa Kontrol.....	40
4.3.1.1 Pengujian <i>Buck Converter</i> Dengan Beban Bervariasi .....	40
4.3.1.2 Pengujian Dengan Menggunakan Baterai Tanpa Kontrol .....	43
a. Pengujian Ketika SOC 45% .....	44
b. Pengujian Ketika SOC 50% .....	45
c. Pengujian Ketika SOC 55% .....	47
d. Pengujian Ketika SOC 60% .....	48
e. Pengujian Ketika SOC 65% .....	50
f. Pengujian Ketika SOC 70% .....	51
g. Pengujian Ketika SOC 75% .....	53
h. Pengujian Ketika SOC 80% .....	54
i. Pengujian Ketika SOC 85% .....	56
j. Pengujian Ketika SOC 90% .....	57
k. Pengujian Ketika SOC 95% .....	59
4.4.2 Pengujian Dengan Menggunakan Kontrol <i>Fuzzy</i>	60
a. Pengujian Ketika SOC 45% .....	61
b. Pengujian Ketika SOC 50% .....	62
c. Pengujian Ketika SOC 55% .....	64
d. Pengujian Ketika SOC 60% .....	65
e. Pengujian Ketika SOC 65% .....	67
f. Pengujian Ketika SOC 70% .....	68
g. Pengujian Ketika SOC 75% .....	70
h. Pengujian Ketika SOC 80% .....	71
i. Pengujian Ketika SOC 85% .....	73

j. Pengujian Ketika SOC 90% .....	74
k. Pengujian Ketika SOC 95% .....	76
l. Pengujian Keseluruhan Sistem Dari SOC 45% Sampai 95% .....	77
<b>4.4 Perbandingan Pengisi Baterai dengan Kontrol <i>Fuzzy</i> <i>Logic</i> dengan Tanpa Kontrol .....</b>	<b>78</b>
<b>BAB 5. PENUTUP .....</b>	<b>81</b>
<b>5.1 KESIMPULAN .....</b>	<b>81</b>
<b>5.2 SARAN .....</b>	<b>81</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>82</b>



**DAFTAR TABEL**

	Halaman
2.1 Karakteristik Macam-Macam Baterai Kimia.....	4
3.1 Spesifikasi DC/DC <i>Buck Converter</i> .....	31
3.2 <i>Rule Base Fuzzy logic Control</i> .....	33
4.1 Spesifikasi Komponen <i>Buck Converter</i> .....	36
4.2 Data Hasil Pengujian <i>Buck converter</i> dengan Beban.....	40



**DAFTAR GAMBAR**

	Halaman
2.1 Rangkaian Ekuivalen Pengisi Baterai .....	6
2.2 Proses <i>Charge</i> dengan Arus Konstan .....	8
2.3 Proses <i>discharge</i> dengan Arus Konstan.....	8
2.4 Proses <i>Charge</i> dengan Daya Konstan.....	9
2.5 Proses <i>Discharge</i> dengan Daya Konstan.....	9
2.6 Proses <i>Charge</i> dengan Arus Konstan / Tegangan Konstan. ....	9
2.7 Proses <i>Discharge</i> dengan Resistansi Konstan .....	10
2.8 Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh. (b) Gelombang <i>Output</i> Penyearah.....	10
2.9 Rangkaian Filter C.....	1
2.10 Circuit Diagram.....	13
2.11 Model 1.....	13
2.12 Model 2.....	13
2.13 Penyaklaran Pada Kondisi Kritis.....	15
2.14 Ilustrasi Rangkaian <i>Buck Converter</i> dan Bentuk Gelombang Kondisi Diskontinyu.....	15
2.15 Bentuk Gelombang Kotak (Pulsa) dengan Kondisi <i>High 5V</i> dan <i>Low 0</i> <i>V</i> .....	16
2.16 Sinyal Referensi (Sinyal Tegangan DC) .....	17
2.17 Grafik Fungsi Keanggotaan.....	18
2.18 Diagramatik Defuzifikasi .....	20
2.19 Konfigurasi Dasar Kendali Log .....	22
2.20 Matlab R2013a .....	23
2.21 <i>Simulink Library Matlab</i> .....	24
3.1 <i>Flowchart</i> Alir Penelitian .....	26
3.2 Blok Diagram Sistem.....	28
3.3 Rangkaian <i>Rectifier Full Bridge</i> .....	29
3.4 Rangkaian <i>Buck Converter</i> .....	30

3.5	Blok Diagram Proses Kendali <i>Fuzzy</i> .....	31
3.6	<i>Membership Function of Error</i> .....	32
3.7	<i>Membership Function Of Delta Error</i> .....	32
3.8	<i>Membership Function Of Duty Cycle</i> .....	33
3.9	<i>Flowchart</i> Program Sistem Pengisi Baterai Menggunakan <i>Fuzzy</i> ....	35
4.1	Rangkaian <i>Buck Converter</i> .....	37
4.2	Sistem Kontrol <i>Fuzzy Logic</i> Untuk Pengisi Baterai .....	38
4.3	<i>Block Parametes Switch</i> .....	39
4.4	Refrensi Arus Ketika SOC Kondisi 60% .....	39
4.5	Refrensi Tegangan Ketika SOC Kondisi 95%.....	39
4.6	Grafik Hubungan Tegangan <i>Input</i> Terhadap Beban.....	41
4.7	Grafik Hubungan Tegangan <i>Output</i> Terhadap Beban .....	42
4.8	Grafik Beban Terhadap Arus <i>Input</i> .....	42
4.9	Grafik Beban terhadap Arus <i>Output</i> .....	43
4.10	Grafik Hubungan Tegangan <i>Output</i> Dengan Waktu Ketika SOC 45%.....	44
4.11	Grafik Hubungan Arus <i>Output</i> Dengan Waktu Ketika SOC 45%. ...	44
4.12	Grafik Hubungan SOC Dengan Waktu Ketika SOC sebesar 45%....	45
4.13	Hubungan Tegangan <i>Output</i> Dengan Waktu Ketika SOC 50%.....	45
4.14	Hubungan Arus <i>Output</i> Dengan Waktu Ketika SOC 50%.....	46
4.15	Hubungan SOC Dengan Waktu Ketika SOC sebesar 50% .....	46
4.16	Hubungan Tegangan <i>Output</i> Dengan Waktu Ketka SOC 55%.....	47
4.17	Hubungan Arus <i>Output</i> Dengan Waktu Ketika SOC 55 .....	47
4.18	Grafik Hubungan SOC Dengan Waktu Ketika SOC sebesar 55%....	48
4.19	Hubungan Tegangan <i>Output</i> Dengan Waktu Ketika SOC 60%.....	48
4.20	Hubungan Arus <i>Output</i> Dengan Waktu Ketika SOC 60%.....	49
4.21	Grafik Hubungan SOC Dengan Waktu Ketika SOC 60% .....	49
4.22	Hubungan Tegangan <i>Output</i> Dengan Waktu Ketika SOC 65%.....	50
4.23	Hubungan Arus <i>Output</i> Dengan Waktu Ketika SOC 65%.....	50
4.24	Grafik Hubungan SOC Terhadap Waktu Ketika SOC 65%.....	51
4.25	Hubungan Tegangan <i>Output</i> Terhadap Waktu Ketika SOC 70%.....	51

4.26	Hubungan Arus <i>Output</i> Terhadap Waktu Ketika SOC 70%.....	52
4.27	Grafik Hubungan SOC Terhadap Waktu Ketika SOC 70%.....	52
4.28	Grafik Hubungan Tegangan <i>Output</i> Terhadap Waktu Ketika SOC 75%.....	53
4.29	Grafik Hubungan Arus <i>Output</i> Terhadap Waktu Ketika SOC 75%..	53
4.30	Grafik Hubungan SOC Terhadap Waktu Ketika SOC 75%.....	54
4.31	Hubungan Tegangan <i>Output</i> Dengan Waktu Ketika SOC 80%.....	54
4.32	Hubungan Arus <i>Output</i> Terhadap Waktu Ketika SOC 80%.....	55
4.33	Grafik Hubungan SOC terhadap Waktu Ketika SOC 80%.....	55
4.34	Hubungan Tegangan <i>Output</i> Dengan Waktu Ketika SOC 85%.....	56
4.35	Hubungan Arus <i>Output</i> Terhadap Waktu Ketika SOC 85 %.....	56
4.36	Grafik Hubungan SOC Terhadap Waktu Ketika SOC 85%.....	57
4.37	Hubungan Tegangan <i>Output</i> Dengan Waktu Ketika SOC 90%.....	57
4.38	Hubungan Arus <i>Output</i> Dengan Waktu Ketika SOC 90%.....	58
4.39	Grafik Hubungan SOC Terhadap Waktu Ketika SOC 90%.....	58
4.40	Hubungan Tegangan <i>Output</i> Dengan Waktu Ketika SOC 95%.....	59
4.41	Hubungan Arus <i>Output</i> Terhadap Waktu ketika SOC 95%.....	59
4.42	Grafik Hubungan SOC Terhadap Waktu Ketika SOC 95%.....	60
4.43	Grafik Tegangan <i>Output</i> Terhadap Waktu Ketika SOC 45% .....	61
4.44	Grafik Arus <i>Output</i> Terhadap Waktu Ketika SOC 45%. .....	61
4.45	Grafik SOC Terhadap Waktu Ketika SOC 45%. .....	62
4.46	Grafik Tegangan <i>Output</i> Terhadap Waktu Ketika SOC 50% .....	62
4.47	Hubungan Arus Terhadap Waktu Ketika SOC 50% .....	63
4.48	Grafik SOC terhadap waktu ketika SOC 50%. .....	63
4.49	Grafik Tegangan <i>Output</i> Terhadap Waktu ketika SOC 55% .....	64
4.50	Grafik Arus <i>Output</i> Terhadap Waktu ketika SOC 55%. .....	64
4.51	Grafik SOC terhadap waktu ketika SOC 55%. .....	65
4.52	Grafik Tegangan <i>Output</i> Terhadap Waktu ketika SOC 60%. .....	65
4.53	Grafik Arus <i>Output</i> Terhadap Waktu ketika SOC 60%. .....	66
4.54	Grafik Hubungan SOC Dengan Waktu Ketika SOC 60%. .....	66
4.55	Grafik Tegangan <i>Output</i> Terhadap Waktu Ketika SOC 65%. .....	67

4.56	Grafik Arus <i>Output</i> Terhadap Waktu Ketika SOC 65 .....	67
4.57	Grafik Hubungan Antara SOC Dan Waktu Ketika SOC 65% .....	68
4.58	Grafik Tegangan <i>Output</i> Terhadap Waktu ketika SOC 70% .....	68
4.59	Grafik Arus <i>Output</i> Terhadap Waktu Ketika SOC 70% .....	69
4.60	Grafik Hubungan SOC dengan Waktu Ketika SOC 70% .....	69
4.61	Grafik Tegangan <i>Output</i> Dengan Waktu ketika SOC 75% .....	70
4.62	Grafik Arus <i>Output</i> Terhadap Waktu ketika SOC 75% .....	70
4.63	Grafik Hubungan SOC Terhadap Waktu Ketika SOC 75% .....	71
4.64	Grafik Tegangan <i>Output</i> Terhadap Waktu Ketika SOC 80% .....	71
4.65	Grafik Arus <i>Output</i> Terhadap Waktu Ketika SOC 80% .....	72
4.66	Grafik Hubungan SOC Dengan Waktu Ketika SOC 80% .....	72
4.67	Grafik Tegangan <i>Output</i> Dengan Waktu Ketika SOC 85% .....	73
4.68	Grafik Arus <i>Output</i> Terhadap Waktu Ketika SOC 85% .....	73
4.69	Grafik Hubungan Antara SOC Dengan Waktu ketika SOC 85% .....	74
4.70	Grafik Tegangan <i>Output</i> Terhadap Waktu Ketika SOC 90% .....	74
4.71	Grafik Arus <i>Output</i> Terhadap Waktu Ketika SOC 90% .....	75
4.72	Grafik Hubungan SOC Dengan Waktu Ketika SOC 90% .....	75
4.73	Grafik Tegangan <i>Output</i> Dengan Waktu Ketika SOC 95 .....	76
4.74	Grafik Arus <i>Output</i> Dengan Waktu Ketika SOC 95% .....	76
4.75	Grafik Hubungan Antara SOC Dengan Waktu Ketika SOC 95% .....	77
4.76	Grafik Tegangan <i>Output</i> Dengan Kenaikan SOC 45% sampai 95% .....	77
4.77	Grafik Perbandingan Antara Tegangan Terkontrol Dengan Tegangan Tanpa Kontrol Terhadap SOC .....	78
4.78	Grafik Perbandingan Antara Arus Terkontrol dengan Tanpa Kontrol Terhadap SOC .....	79

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi semakin meningkat. Tidak dapat dipungkiri lagi tahun demi tahun pasti terdapat sesuatu yang ditemukan ataupun dikembangkan baik dari segi bentuk fisik, efisiensi energi atau kemudahan dalam penggunaan sehingga akan berpengaruh pada harga penjualan suatu produk.

Disamping isu-isu tentang perkembangan teknologi, permasalahan terkait keterbatasan energi juga harus dihadapi. Oleh karena itu, setiap orang dari berbagai kalangan berlomba untuk menemukan sesuatu yang dapat menghemat energi ataupun sebagai energi cadangan.

Untuk energi cadangan pada umumnya digunakan genset ataupun baterai. Namun untuk peralatan yang relatif membutuhkan daya kecil seperti kipas, laptop, ataupun lampu penerangan, maka yang digunakan adalah baterai. Akan tetapi, baterai dapat habis seiring dengan waktu penggunaan, sehingga baterai harus di-charge kembali.

Baterai *lead acid* merupakan baterai yang dapat diisi ulang dan digunakan berkali-kali. Baterai ini dibuat dari anoda logam  $PbO_2$  dan katoda dari Pb dengan elektrolit asam sulfat encer. Jenis baterai ini banyak digunakan oleh mobil dan motor. Selain harganya juga relatif murah dibanding jenis yang lain, baterai Pb asam lebih lama pemakaiannya dari pada baterai kering untuk menerima beban listrik berubah dan beban konstan (A. Grummy Wailandaw, 2010).

Dalam pengisian baterai, diperlukan perkembangan adanya pengisian yang cepat dan aman. Oleh karena itu, penelitian ini meneliti tentang sistem *buck converter* untuk mengisi baterai dengan kontrol *Fuzzy Logic*. Pada proses *Fuzzy Logic* dibagi menjadi dua mode, yaitu dengan menggunakan arus konstan dan tegangan konstan.

Pengontrolan pada pengisian baterai *lead acid* dilakukan dengan pensaklaran moesfet pada *buck konverter* oleh PWM dengan metode *Fuzzy Logic*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian masalah di atas, dapat dirumuskan permasalahan dalam penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana sistem *buck converter* untuk pengisi baterai dengan kontrol *fuzzy logic* dengan menggunakan Matlab?
2. Bagaimana kinerja yang dihasilkan sistem *buck converter* untuk pengisi baterai dengan kontrol *fuzzy logic* dengan menggunakan Matlab ?

## 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini agar sesuai dengan tujuan yang akan dicapai, penelitian ini dibatasi pada masalah :

1. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* Matlab R2013a
2. Baterai yang digunakan sebanyak empat buah (12 V 14 Ah)
3. Tidak membahas mengenai suhu pada baterai

## 1.4 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Dapat merancang sistem *buck converter* untuk pengisi baterai dengan kontrol *fuzzy logic* dengan menggunakan Matlab.
2. Menganalisis kinerja dari pengisian baterai dengan metode *Fuzzy Logic*.

## 1.5 Manfaat

Adapun manfaat penelitian ini dapat menjadi alternatif dalam pengisian baterai dengan cepat dan aman.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Baterai

Baterai adalah perangkat penyimpanan energi elektrokimia. Energi kimia yang terkandung dalam baterai dapat diubah menjadi energi listrik DC. Pada baterai isi ulang, proses tersebut dapat dibalik yaitu mengubah energi listrik DC menjadi energi kimia (Haresh Kamath et al, 2006).

Baterai isi ulang diklasifikasikan oleh bahan kimia yang digunakan, bahan reaktan dan reaksi kimia merupakan dasar dari pembentukan mekanisme penyimpanan energi. Empat bahan kimia yang umum digunakan dalam aplikasi konsumen: lead-acid, nickel-cadmium (NiCd), nickel-metal hydride (NiMH), dan lithium ion (Li-Ion). Baterai kimia yang dinilai sesuai dengan beberapa kriteria seperti: biaya, *self-discharge* (tingkat dimana baterai secara alami kehilangan energi sementara tanpa digunakan), *energy density* (energi baterai dapat menyimpan, dibagi dengan volume), *specific energy* (energi baterai dapat menyimpan, dibagi dengan berat), dan *cycle life* (jumlah pengisian baterai dapat diisi ulang sebelum pemakaian habis). Setiap baterai kimia memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri sehubungan dengan kriteria tersebut. Tabel 2.1 memberikan gambaran singkat mengenai karakteristik berbagai baterai kimia yang sering digunakan dalam produk konsumen (Tom Geis et al, 2006).

Tabel 2.1 Karakteristik Macam-Macam Baterai Kimia  
(Buchmann, Isidor, 2001)

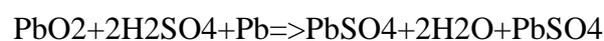
Criteria	Lead Acid	NiCd	NiMH	Li-ion
Self Discharge Rate	Very low	High	High	Moderate
Overcharge Tolerance	High	Moderate	Low	Very low
Specific Energy (Wh per kg)	25 – 35	35 - 65	40 - 100	110 – 190
Cycle Life (up to 80% of initial capacity)	200 to 300	1000 - 1500	750 - 1000	500 – 1000
Cost per unit Energy (\$/Wh)	\$0.22 - \$1.00	\$0.80 - \$2.00	\$0.40 - \$2.00	\$0.60 - \$2.50
Voltage per cell (Volts)	2	1,2	1,25	3,6

### 2.1.1 Baterai Lead Acid

Baterai lead acid merupakan jenis baterai yang umum digunakan untuk penyimpanan energi listrik. Baterai ini memiliki karakteristik yaitu menggunakan timbal (Pb) pada kedua elektroda sebagai materi aktifnya. Pada kondisi bermuatan, elektroda positif (PbSO<sub>4</sub>) sedangkan elektroda negatif terdiri dari timbal murni (Pb). Sebuah membran dilekatkan untuk memisahkan kedua elektroda. Cairan asam sulfat diisi pada ruangan di antara kedua elektroda sebagai elektrolit.

Saat baterai melepaskan muatan, material aktif pada elektroda bereaksi dengan elektrolit membentuk timbal sulfat (PbSO<sub>4</sub>) dan air (H<sub>2</sub>O). Saat pengisian muatan, timbal sulfat berubah kembali menjadi timbal dioksida pada elektroda positif dan timbal pada elektroda negatif, dan ion sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) kembali menjadi larutan elektrolit membentuk asam sulfat (Wibowo, 2014).

- Proses pengaliran



- Proses Pengisian



### 2.1.2 Prinsip Kerja Baterai

Baterai bekerja berdasarkan reaksi kimia yaitu reaksi redoks yang terjadi baik selama pengisian maupun selama pengosongan. Reaksi kimia pada akumulator tersebut bersifat *reversible*, artinya reaksi kimia yang terjadi selama pengisian sangat berlawanan dengan reaksi yang terjadi pada saat pengosongan.

Selama pengisian terjadi perubahan energi kimia menjadi energi listrik. Ketika pengisian pada sumber energi listrik terjadi aliran listrik yaitu elektron mengalir dari katoda ke anoda, dengan adanya aliran listrik tersebut, maka akan menimbulkan reaksi kimia yang mengakibatkan terbebasnya zat-zat dalam baterai yaitu  $\text{PbSO}_4$  menjadi  $\text{Pb}$ ,  $\text{PbO}_2$ , ion  $\text{H}^+$ , dan ion  $\text{SO}_4^{2-}$ . Pada pengosongan terjadi pengaliran listrik yaitu elektron mengalir dari  $\text{PbO}_2$  atau kutub positif (sebagai anoda) ke  $\text{Pb}$  atau kutub negatif (sebagai katoda) sehingga adanya aliran tersebut mengakibatkan terjadinya reaksi kimia (Wibowo, 2014).

### 2.1.3 Rangkaian Ekuivalen

Baterai yang digunakan terdiri dari sel-sel dengan setiap sel memiliki tegangan sebesar 2,1 V, artinya aki mobil dan aki motor yang memiliki tegangan 12 V terdiri dari 6 sel yang dipasang secara seri ( $12,6 \text{ V} = 6 \times 2,1 \text{ V}$ ) (Andri, 2010). Sebagai pembuktian untuk indikator suatu baterai penuh maka dibuat pemodelan rangkaian ekuivalen pengisi baterai seperti pada Gambar 2.1. Persamaan yang digunakan pada rangkaian tersebut adalah:

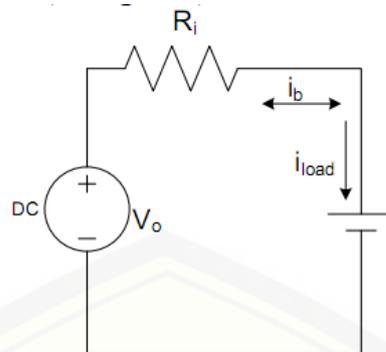
$$V_{bat} = V_{out} - R_i \cdot I_b \quad (2.1)$$

$V_{bat}$  = Tegangan Baterai (Volt)

$V_{out}$  = Tegangan Internal baterai (Volt)

$R_i$  = Hambatan dalam (Ohm)

$I_b$  = Arus Baterai (A)



Gambar 2.1 Rangkaian Ekuivalen Pengisi Baterai

Gambar 2.1 menunjukkan rangkaian ekuivalen dari pengisi baterai. Rangkaian tersebut terdiri dari tegangan sumber, hambatan dalam dari baterai, dan baterai. Dengan rangkaian tersebut, dapat diketahui berapa tegangan *charging* yang digunakan untuk mengisi baterai bermuatan kosong dengan tegangan 11 Volt, mengisi baterai sampai penuh dengan tegangan 12,8 Volt (Butterworth, 1998). Apabila baterai akan diisi dengan muatan listrik, maka ditentukan terlebih dahulu tahanan dalam dari baterai. Tahanan dalam baterai dapat dicari dengan persamaan:

$$r_d = \frac{E-V}{I} \quad (2.2)$$

Dengan:

$r_d$ =Hambatan dalam (Ohm)

$E$ =Sumber tegangan baterai (Volt)

$V$ =Tegangan luar (Volt)

$I$ =Arus listrik yang timbul dalam rangkaian (A)

Perhitungan tahanan dalam baterai dapat dicari dengan persamaan:

$$\begin{aligned} r_d &= \frac{E-V}{I} & (2.3) \\ &= \frac{12,8-11}{4,6} \\ &= 0.3 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

Tegangan 12,8 Volt diambil dari tegangan spesifikasi pabrikan untuk baterai penuh dan 11 Volt diambil dari tegangan baterai kosong. Dengan demikian berapa tegangan *charging* yang diperlukan untuk mengisi baterai sampai penuh. Perhitungannya didapat dari penurunan persamaan.

$$\begin{aligned} V_{bat} &= V_{out} - R_i \cdot I_b & (2.4) \\ &= 11,28 + (0,3 \times 4,6) \\ &= 14,2 \text{ Volt} \end{aligned}$$

Jadi untuk tegangan baterai 12 Volt dengan tegangan penuh 12,8 Volt dibutuhkan tegangan charging sebesar 14,2 Volt. Perancangan kapasitas *rectifier* harus disesuaikan dengan kapasitas baterai yang terpasang, setidaknya kapasitas arusnya harus mencukupi untuk pengisian baterai sesuai jenisnya yaitu baterai Lead Acid adalah 0,1C (0,1 x kapasitas) (Andri, 2010).

## 2.2 Metode Pengisian Baterai

Pada proses pengisian baterai (*charge* dan *discharge*) telah menghasilkan beberapa metode antara lain :

### 3.2.1 *Constan Current Charge*

Metode pengisian ini adalah mengisi setrum dengan arus tetap mulai dari awal sampai akhir proses pengisian, dengan arus sebagai berikut :

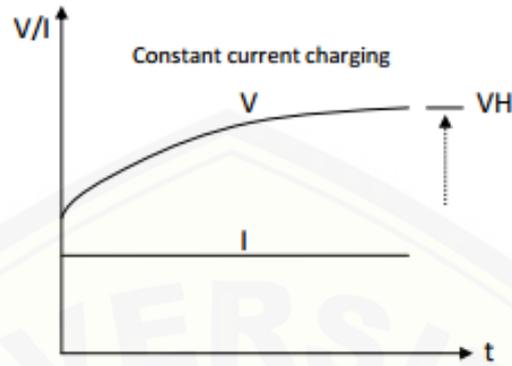
- a. Pengisian arus standar : 10% dari kapasitas baterai
- b. Pengisian arus minimal : 5% dari kapasitas baterai
- c. Pengisian arus maksimal : 20% dari kapasitas baterai

Karakteristik pengisian arus tetap adalah sebagai berikut :

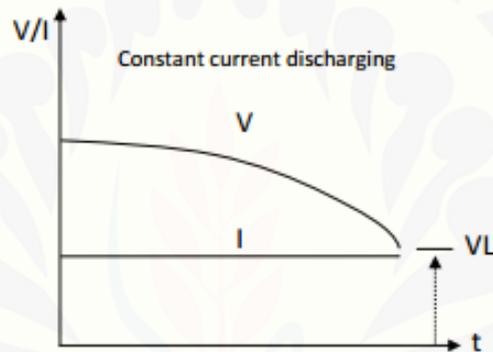
1. Tegangan terminal pada awal proses pengisian naik secara drastis dan setelah itu melambat turun. Selanjutnya, pada saat mendekati 2.4 V, tegangannya naik lagi, dan ketika tegangannya dipertahankan.
2. Berat jenis elektrolit secara perlahan akan naik karena dia tidak bergerak sampai gas dihasilkan. Pada saat gas dihasilkan, maka kemudian akan tetap di angka sekitar 1.280.
3. Jika tegangannya pada cell mencapai 2.3-2.4 V setelah proses pengisian dimulai, maka akan banyak gas yang dihasilkan. Alasannya adalah bahwa arus yang disuplai setelah diisi penuh digunakan oleh elektrolit air sulingan.

Proses *charge* dan proses *discharge* dengan arus konstan ditunjukkan pada Gambar 2.2 dan 2.3. Berdasarkan pada gambar tersebut diketahui bahwa,

proses *charge discharge* akan berakhir ketika waktu yang telah diset terlampaui atau apabila kapasitas baterai yang ditentukan telah terpenuhi.



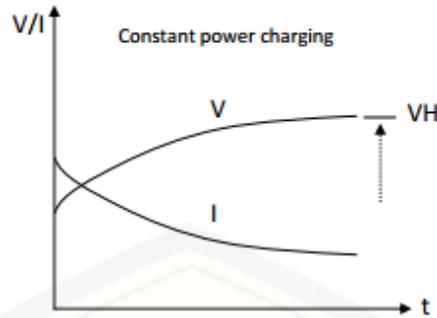
Gambar 2.2 Proses *Charge* dengan Arus Konstan (Wulan, 2010)



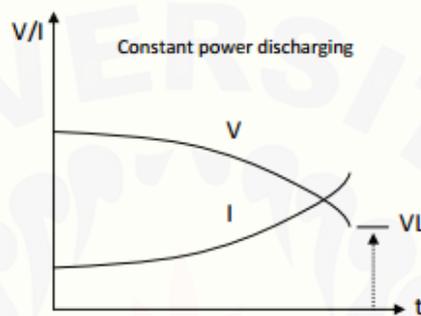
Gambar 2.3 Proses *discharge* dengan Arus Konstan (Wulan, 2010)

### 2.2.2 Proses *Charge* dan *Discharge* dengan Daya Konstan

Proses *charge* dengan daya konstan yang ditunjukkan pada Gambar 2.4 dilakukan ketika tegangan naik dan arus turun. Pada proses ini berakhir ketika *set time* terpenuhi atau tegangan pada baterai terpenuhi. Sedangkan proses *discharge* dengan daya konstan yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 dilakukan ketika tegangan baterai turun dan arus naik dan *discharge* berakhir saat *set time* terlampaui atau tegangan beban terpenuhi.



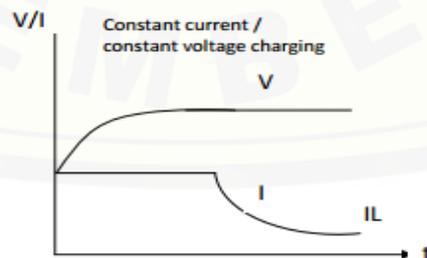
Gambar 2.4 Proses *Charge* dengan Daya Konstan (Wulan, 2010)



Gambar 2.5 Proses *Discharge* dengan Daya Konstan (Wulan, 2010)

### 2.2.3 Proses *Charge* dengan Arus dan Tegangan Konstan dan *Discharge* dengan Resistansi Konstan

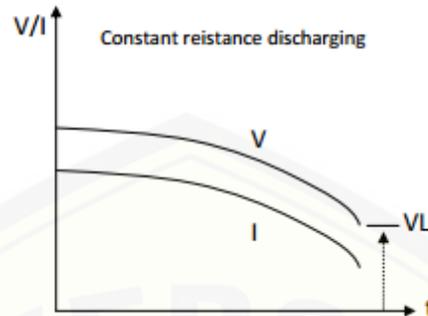
Gambar 2.6 menunjukkan proses charge dengan arus konstan dan tegangan konstan. Dimana arus konstan terjadi ketika saat pengisian dengan mengatur besar kecilnya tegangan yang menuju ke baterai. Kemudian ketika baterai terisi penuh, maka beralih ke tegangan konstan. Sehingga pada saat tegangan konstan arus yang awalnya konstan akan perlahan turun. Lama waktu untuk proses pengisian ditentukan dari besarnya arus yang di alirkan.



Gambar 2.6 Proses *Charge* dengan Arus Konstan / Tegangan Konstan (Wulan, 2010)

Pada proses ini tegangan dan arus perlahan akan turun dengan lama waktu t karena terjadi pelepasan muatan pada baterai sehingga pada resistansi akan

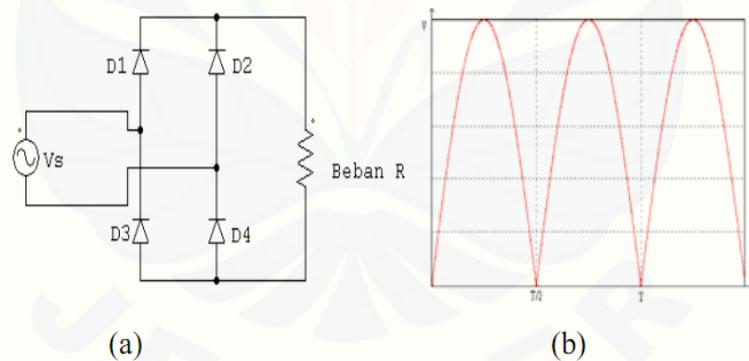
menjadi panas. Lama waktu yang dibutuhkan untuk proses ini ditentukan besar kecilnya resistansi yang digunakan.



Gambar 2.7 Proses *Discharge* dengan Resistansi Konstan (Wulan, 2010)

### 2.3 Rangkaian Penyearah

Penyearah gelombang penuh dapat dilihat sebagai kombinasi dari dua penyearah setengah gelombang yang bekerja bergantian untuk setiap setengah gelombang dari gelombang *input*. Pada Gambar 2.8 (a) dan Gambar 2.9 (b) menunjukkan gambar rangkaian dan bentuk gelombang penyearah gelombang penuh (Ardyan, 2009).



Gambar 2.8 (a) Rangkaian Penyearah Gelombang Penuh. (b) Gelombang *Output* Penyearah

(Ardyan, 2009)

Sumber tegangan berupa sinyal sinus  $V_s = V_{in}\omega t$ . Nilai rata-rata  $V_{dc}$  dapat dicari dengan membagi luasan (diatas sumbu datar dalam periode  $T$ ) dengan  $t$ , dimana  $\omega = 2\pi f, T = 2\pi$ (Ardyan, 2009).

$$V_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T V_m \sin \omega t dt \quad (2.5)$$

$$= \frac{2}{2\pi} \int_0^T V_m \sin 2\pi f t dt \quad (2.6)$$

$$= \frac{1}{T} \int_0^T V_m \sin \frac{2\pi}{T} t dt \quad (2.7)$$

$$= \frac{1}{T} \int_0^T V_m \sin \frac{2\pi}{2\pi} t dt \quad (2.8)$$

$$= \frac{1}{T} \int_0^T V_m \sin t dt \quad (2.9)$$

$$= \frac{1}{T} \left[ -V_m \cos t \Big|_0^{\pi} \right] \quad (2.10)$$

$$= \frac{1}{\pi} [(-V_m \cos \pi) - (-V_m \cos 0)] \quad (2.11)$$

$$= \frac{1}{\pi} [(-V_m * -1) - (-V_m * 1)] \quad (2.12)$$

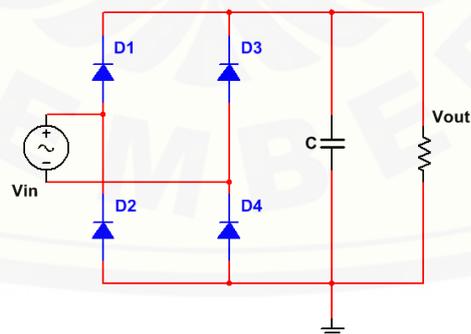
$$= \frac{1}{\pi} [V_m + V_m] \quad (2.13)$$

$$= \frac{1}{\pi} [2V_m] \quad (2.14)$$

$$= \frac{2v_m}{\pi} \quad (2.15)$$

#### 2.4 Filter (Penyaring)

Tegangan DC yang keluar dari rangkaian penyearah masih mempunyai ripple atau frekuensi gelombang yang cukup tinggi, maka suatu rangkaian filter (penyaring) berfungsi untuk memperbaiki ripple tersebut agar menjadi lebih kecil sesuai dengan yang direkomendasikan  $\leq 2\%$  (Standar SE.032). Tegangan ripple merupakan perbandingan antara unsur tegangan keluaran AC terhadap unsur tegangan keluaran DC. Pada Gambar 2.9 merupakan rangkaian filter C.



Gambar 2.9 Rangkaian Filter C

Rangkaian penyearah adalah suatu rangkaian yang mengubah tegangan bolak-balik (AC) menjadi tegangan searah (DC). Perbandingan antara tegangan DC yang keluar terhadap tegangan AC yang ikut serta pada hasil keluaran,

dinamakan *ripple factor* (riak). Besar faktor ripple dapat dihitung dengan rumus (Ardyan, 2009):

$$r = \frac{\text{komponen AC}}{\text{komponen DC}} \times 100\% \quad (2.16)$$

Keluaran tegangan DC setelah melewati kapasitor:

$$V_{dc} = V_m - \frac{V_m}{4fRC} \quad (2.17)$$

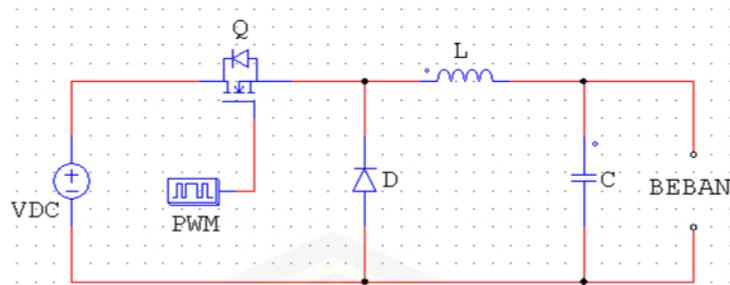
*Ripple factor* yang dihasilkan:

$$RF = \frac{1}{\sqrt{2} \times (4 \times f \times R \times C - 1)} \quad (2.18)$$

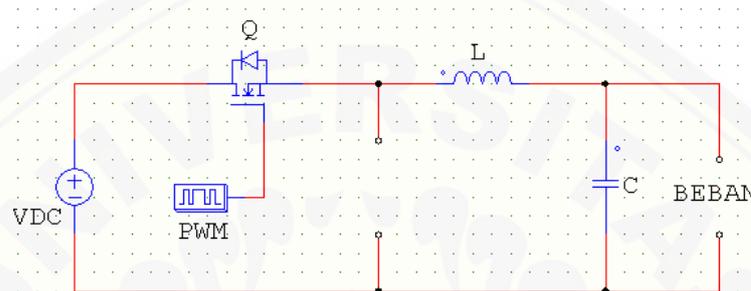
### 2.5 Buck Converter

Aplikasi industri diperlukan untuk mengubah sumber tegangan dc tetap menjadi sumber tegangan dc yang bersifat variabel. *Buck converter* mengubah secara langsung dari DC ke DC. *Buck converter* dapat digunakan untuk menaikkan dan menurunkan tegangan keluaran (Ardyan, 2009).

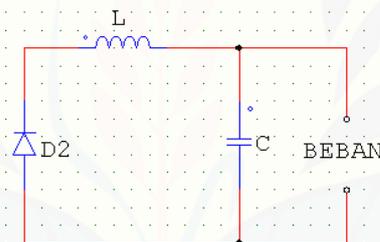
*Buck converter* dapat dipakai sebagai *regulator mode* pensaklaran untuk mengubah tegangan DC yang biasanya tidak teregulasi, menjadi tegangan keluaran DC yang teregulasi. Konverter pensaklaran dapat ditemukan dalam bentuk rangkaian terintegrasi. Perancang dapat memilih frekuensi pensaklaran dengan memilih nilai R atau C oscillator frekuensinya. Untuk memaksimalkan frekuensi, periode *oscillator* minimum 100 kali lebih lama dibandingkan dengan waktu pensaklaran periode osilasinya adalah 0,5 us yang memberikan frekuensi oscillator maksimum 20 KHz. Batasan ini disebabkan adanya kehilangan pensaklaran pada transistor. Rugi pensaklaran pada transistor meningkat dengan frekuensi pensaklaran dan akibatnya efisiensi akan menurun. Selain itu rugi inti pada induktor membatasi kerja frekuensi tinggi. Diagram buck converter menggunakan sebuah mosfet berfungsi sebagai *chopper step down* ditunjukkan pada Gambar 2.10. Kerja rangkaian ini dibagi menjadi dua mode (Ardyan, 2009).



Gambar 2.10 Circuit Diagram



Gambar 2.11 Model 1



Gambar 2.12 Model 2

Pada kerja rangkaian dibagi menjadi dua mode:

- Mode 1 dimulai bila transistor Q1 di on kan pada  $t = 0$ , arus *input* yang bertambah mengalir melalui induktor filter L, kapasitor filter C dan beban R.
- Mode 2 dimulai bila transistor Q1 di off kan pada  $t = t_1$ , dioda *freewheeling* Dm akan konduksi karena energi yang tersimpan di dalam induktor dan arus induktor akan mengalir melalui L, C, beban dan dioda Dm. Arus induktor berkurang terus hingga transistor Q1 di on kan lagi.

Analisis riak arus keluaran diperlukan untuk bisa mendesain tapis atau filter keluaran *buck converter*. Persamaan 2.18, 2.19, dan 2.20, terlihat bahwa untuk mendapatkan riak arus *output buck converter* yang kecil, diperlukan tapis induktor (L) yang nilainya akan semakin kecil dengan meningkatkan frekuensi penyaklaran. Riak arus keluaran *buck converter* akan bernilai maksimum apabila

konverter bekerja pada *duty cycle* ( $d$ ) = 0,5. Untuk analisa riak arus *buck converter* dapat dilihat dibawah ini.

$$i_L = \tilde{i}_L + \tilde{i}_L v_D = \tilde{v}_D \tilde{v}_D v_O = V_O$$

Maka

$$\tilde{v}_D = R\tilde{i}_L + V_O \tilde{v}_D = R\tilde{i}_L + L \frac{d\tilde{i}_L}{dt} \quad (2.18)$$

Jika Nilai  $R\tilde{i}_L$  dianggap kecil maka

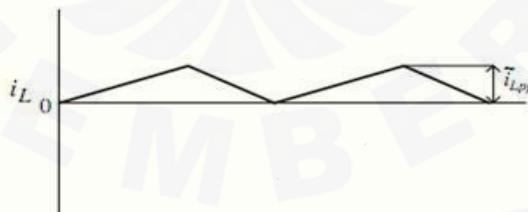
$$\tilde{i}_L = \frac{1}{L} \int \tilde{v}_D dt = \frac{1}{L} \int (v_D - \tilde{v}_D) dt \quad (2.19)$$

$$\begin{aligned} \tilde{i}_{L,PP} &= \frac{E_d - \tilde{v}_D}{L} T_{ON} = \frac{\tilde{v}_D}{L} T_{OFF} \quad (2.20) \\ &= \frac{E_d - dE_d}{L} dT_s = \frac{E_d}{Lf_s} (1 - d)d \end{aligned}$$

Frekuensi penyaklaran

$$f_s = 1/T_s \quad (2.21)$$

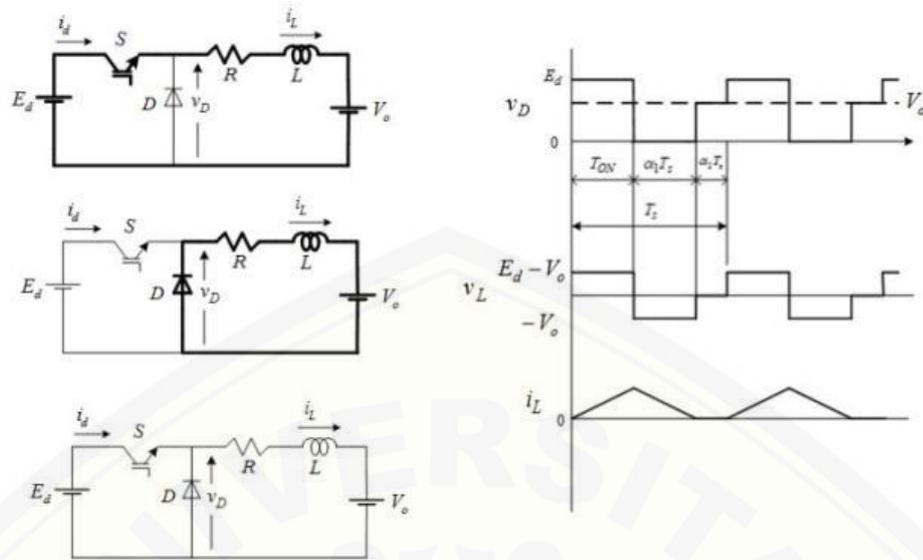
Gambar 2.13 dibawah ini adalah kondisi arus yang mengalir di induktor pada saat *buck converter* bekerja pada kondisi kritis. Kondisi kritis disini adalah kondisi dimana arus di induktor mengalir ke beban sampai tepat bernilai nol pada saat saklar off, atau induktor bekerja sebagai sumber arus. Gambar 2.14 terlihat bahwa arus yang mengalir di induktor sebanding dengan nilai riak arus keluaran. Pada kondisi ini, gambar terlihat bahwa nilai riak arus keluaran rata-rata sebanding dengan 1/2 riak arus puncak ke puncak yang dapat dihitung dengan persamaan 2.22 sebagai berikut.



Gambar 2.13 Penyaklaran Pada Kondisi Kritis

(Muhammad H. Rashid, 2001)

$$\tilde{i}_L = \frac{i_{L,pp}}{2} = \left( \frac{E_d}{Lf_s} \right) \frac{(1-d)d}{2} \quad (2.22)$$



Gambar 2.14 Ilustrasi Rangkaian *Buck Converter* dan Bentuk Gelombang Kondisi Diskontinyu

(Muhammad H. Rashid, 2001)

Menentukan nilai kapasitor dan induktor maka dapat dicari dengan rumus berikut ini:

Menentukan *duty cycle*:

$$D = \frac{V_o}{V_i} \quad (2.23)$$

Menentukan nilai induktor:

$$\Delta I_L = \left(\frac{1}{L}\right)(V_{in} - V_{out})t_1 \quad (2.24)$$

Menentukan nilai  $t_1$ :

$$t_1 = \frac{1(V_o + V_f)}{f(V_i + V_f)} \quad (2.25)$$

Menentukan jumlah lilitan:

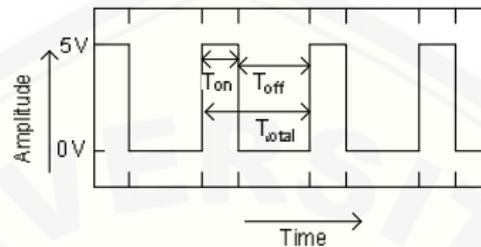
$$n = \frac{L \times I_{max}}{B_{max} \times AC} \times 10^4 \quad (2.26)$$

Menentukan nilai pada kapasitor:

$$C = \frac{\Delta I_L}{8f\Delta V_o} \quad (2.27)$$

## 2.6 Pulse Width Modulation (PWM)

Modulasi lebar pulsa (PWM) diperoleh dengan bantuan sebuah gelombang kotak yang mana siklus kerja (*duty cycle*) gelombang dapat diubah-ubah untuk mendapatkan sebuah tegangan keluaran yang bervariasi yang merupakan nilai rata-rata gelombang tersebut.



Gambar 2.15 Bentuk Gelombang Kotak (Pulsa) dengan Kondisi *High* 5V dan *Low* 0 V

$T_{on}$  adalah waktu dimana tegangan keluaran berada pada posisi tinggi (baca: high atau 1) dan,  $T_{off}$  adalah waktu dimana tegangan keluaran berada pada posisi rendah (baca: low atau 0). Anggap  $T_{total}$  adalah waktu satu siklus atau penjumlahan antara  $T_{on}$  dengan  $T_{off}$ , biasa dikenal dengan istilah “periode satu gelombang” (Zaenurrohman, 2014).

$$T_{total} = T_{on} + T_{off} \quad (2.28)$$

Siklus kerja atau *duty cycle* sebuah gelombang di definisikan sebagai,

$$D = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} = \frac{T_{on}}{T_{total}} \quad (2.29)$$

Tegangan keluaran dapat bervariasi dengan *duty cycle* dan dapat dirumuskan sebagai berikut,

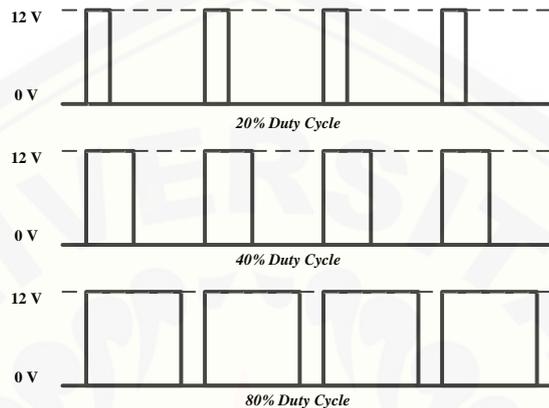
$V_{out} = D \times V_{in}$  sehingga:

$$V_{out} = \frac{T_{on}}{T_{total}} \times V_{in} \quad (2.30)$$

Rumus diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa tegangan keluaran dapat diubah ubah secara langsung dengan mengubah nilai  $T_{on}$ . Apabila  $T_{on}$  adalah 0,  $V_{out}$  juga akan 0. Apabila  $T_{on}$  adalah  $T_{total}$  maka  $V_{out}$  adalah  $V_{in}$  atau katakanlah nilai maksimumnya.

PWM bekerja sebagai *switching power supply* untuk mengontrol on dan off. Tegangan dc dikonvert menjadi sinyal kotak bolak balik, saat *on* mendekati tegangan puncak dan saat *off* menjadi nol (0) volt. Jika frekuensi *switching* cukup

tinggi maka pengisian baterai yang dikendalikan akan semakin sesuai dengan yang diharapkan. Mengatur *duty cycle* sinyal (modulasi lebar pulsa sinyal disebabkan oleh PWM) terlihat pada Gambar 2.16 sinyal referensi adalah sinyal tegangan dc yang dikonversi oleh sinyal gergaji dan menghasilkan sinyal kotak.



Gambar 2.16 Sinyal Referensi (Sinyal Tegangan DC)

Informasi analog dapat dikirimkan dengan menggunakan pulsa-pulsa tegangan atau pulsa-pulsa arus. Salah satu teknik modulasi yang sering digunakan adalah teknik modulasi durasi atau lebar waktu tunda positif ataupun waktu tunda negatif pulsa-pulsa persegi tersebut. Untuk membangkitkan sinyal PWM adalah dengan menggunakan fungsi *timer/counter* yang dibandingkan nilainya dengan sebuah *register* tertentu.

## 2.7 Metode Fuzzy Logic

### 2.7.1 Logika Fuzzy

Logika *Fuzzy* merupakan pengembangan dari teori himpunan *Fuzzy* yang diprakarsai oleh Prof. Lotfi Zadeh dari *University California USA*. Logika *Fuzzy* berbeda dengan logika digital biasa, dimana logika digital biasa hanya mengenal dua keadaan yaitu Ya/Tidak atau *On\_Off* atau *High\_Low* atau 1\_0. Sedangkan logika *Fuzzy* meniru cara berfikir manusia dengan menggunakan konsep sifat kesamaran suatu nilai.

Proses yang terjadi dalam sistem logika *Fuzzy*, melibatkan variabel *Fuzzy* pada masukan maupun keluaran. Oleh karena itu variabel *input* yang bersifat *crisp* harus diubah menjadi variabel *Fuzzy* melalui tahapan fuzzifikasi. Fungsi yang

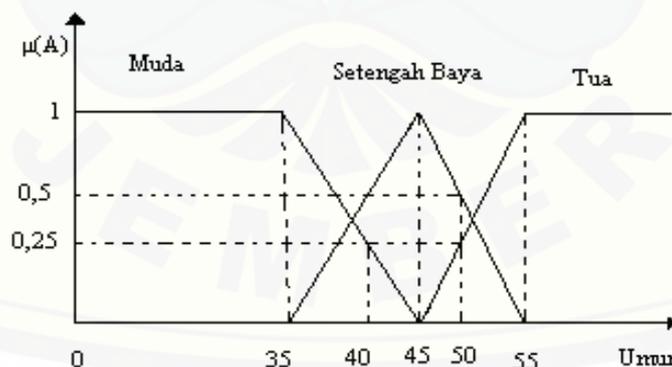
memetakan variabel *Fuzzy input* dan *output* dilakukan oleh metode *inferensi*. fungsi *inferensi* bekerja berdasarkan aturan-aturan logika yang dibuat oleh perancang. Tahap akhir adalah tahap pemrosesan untuk mengembalikan keadaan hasil perhitungan sistem logika *Fuzzy* ke dalam *crisp*. Proses tersebut dikenal sebagai proses defuzifikasi.

### 2.7.2 Fuzzifikasi

Merupakan proses untuk mengubah variabel *non-Fuzzy* (variabel numerik) menjadi variabel *Fuzzy* (variabel linguistik). nilai masukan yang masih dalam bentuk variabel numerik (*crisp*) yang telah dikuantisasi sebelum diolah oleh pengontrol logika *Fuzzy* harus diubah terlebih dahulu ke dalam variabel *Fuzzy*. proses ini dilakukan dengan cara mendefinisikan fungsi keanggotaan.

### 2.7.3 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik masukan data ke dalam nilai keanggotaannya (derajat keanggotaan) yang memiliki nilai interval antara 0 dan 1 (hartono, 2008, 27). Misalkan saja pengklasifikasian umum seseorang baya dan tua. seberapa besar keberadaannya dalam himpunan tersebut dapat dilihat pada nilai keanggotaannya, sebagai contoh dalam menyatakan umur dinyatakan dalam gambar berikut ini.



Gambar 2.17 Grafik Fungsi Keanggotaan

(Sumber: Dwi mulyono, 2010).

Pada gambar diatas terlihat bahwa :

- Seseorang yang berumur 40 tahun, termasuk dalam himpunan muda dengan  $\mu_{\text{muda}}[40] = 0.25$ ; namun umur tersebut juga termasuk dalam himpunan setengah baya dengan  $\mu_{\text{setengahbaya}}[40] = 0.5$ .
- Seseorang yang berumur 50 tahun, termasuk dalam himpunan tua dengan  $\mu_{\text{tua}}[50] = 0.25$ ; namun umur tersebut juga termasuk dalam himpunan setengah baya dengan  $\mu_{\text{setengah baya}}[50] = 0$ .

Terdapat tiga tipe sistem inferensi *Fuzzy* yang digunakan dalam berbagai aplikasi. Perbedaan dari ketiga sistem inferensi ini adalah dalam konsekuensi aturan *Fuzzy* dan proses defuzifikasi.

a. Sistem Inferensi *Fuzzy* Mamdani

Metode Mamdani dikenal juga metode Max-Min. Metode ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Basis aturan yang digunakan metode ini adalah

Jika ( $x_1$  adalah  $A_1$ )\*( $x_2$  adalah  $A_2$ )\*, ...,\*( $x_n$  adalah  $A_n$ )

Maka ( $y$  adalah  $B$ ) .....(2.8)

b. Sistem Inferensi *Fuzzy* Sugeno

Metode Sugeno diperkenalkan oleh Takagi Sugeno Kang pada tahun 1985. Metode Sugeno hampir sama dengan metode Mamdani perbedaannya terletak pada konsekuensi aturan *Fuzzy*. Tidak seperti metode Mamdani yang konsekuensinya berbentuk aturan himpunan *Fuzzy*, metode Sugeno memiliki konsekuensi berbentuk aturan himpunan *Fuzzy*, metode Sugeno memiliki konsekuensi berbentuk konstanta atau persamaan. Secara umum metode Sugeno adalah sebagai berikut.

Jika ( $x_1$  adalah  $A_1$ )\*( $x_2$  adalah  $A_2$ )\*, ...,\*( $x_n$  adalah  $A_n$ )

Maka ( $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ) .....(2.9)

Dengan  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  biasanya adalah konstanta polinomial. Contoh aturan untuk metode Sugeno adalah sebagai berikut.

Jika ( $x$  adalah 'positif') maka ( $y = 0.1x + 0.6$ ) ..... (2.10)

Jika ( $x$  adalah 'nol') maka ( $y = 0.2x + 0.7$ ) ..... (2.11)

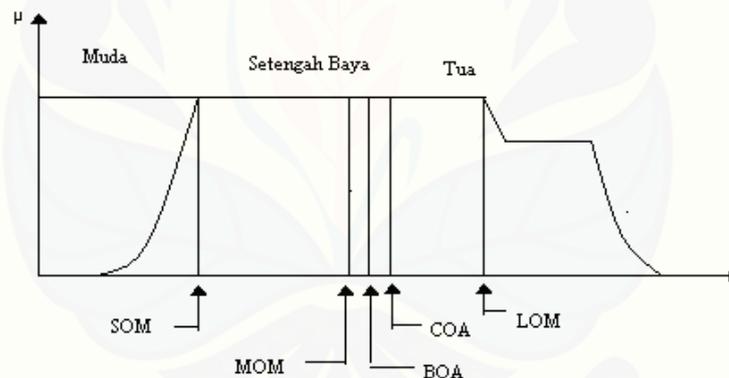
Jika (x adalah 'positif') maka ( $y = 0.2x + 0.8$ ) ..... (2.12)

c. Sistem Inferensi *Fuzzy* Tsukamoto

Pada metode Tsukamoto, setiap konsekuen pada aturan jika-maka ditunjukkan oleh himpunan *Fuzzy* dengan fungsi keanggotaan yang monoton. Keluarannya adalah nilai *crisp* yang diberikan pembobotan aturan dan keseluruhan keluarannya adalah rata-rata pembebanan setiap keluaran aturan. Walaupun metode ini lebih cepat, namun metode ini jarang digunakan karena tidak transparan seperti metode yang lain.

**2.7.4 Defuzifikasi**

Merupakan proses kebalikan dari Fuzifikasi yaitu memetakan kembali himpunan *Fuzzy* ke dalam himpunan *crisp* agar keluaran dari sistem *fuzzy* dapat diproses lebih lanjut. Secara umum, terdapat lima metode defuzifikasi untuk himpunan *Fuzzy* dalam semesta pembicaraan Z, seperti terlihat pada gambar 2.15.



Gambar 2.18 Diagramatik Defuzifikasi

(Sumber: Dwi mulyono, 2010).

1. *Centroid of Area* (COA)

$$Z_{COA} = \int_x \mu_a(x)zdz / \int_x \mu_a(x)dz \dots\dots\dots(2.23)$$

$\mu_A(z)$  adalah keluaran dari fungsi keanggotaan.

2. *Bisector of Area* (BOA)

$$\int_0^{Z_{BOA}} \mu_A(z)dz = \int_{Z_{BOA}}^U \mu_A(z)dz \dots\dots\dots(2.24)$$

$\alpha = \min \{z|z \in Z\}$  dan  $\beta = \max \{z|z \in Z\}$ . Garis vertical  $z = z_{BOA}$  membagi daerah antara  $z = \alpha$ ,  $z = \beta$ ,  $y = 0$  dan  $y = \mu_A(z)$  menjadi dua daerah yang sama.

### 3. Mean of Area (MOM)

Solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki derajat keanggotaan maksimum. Secara matematis ditulis :

$$Z_{MOM} = \int_z z dz / \int_z dz \dots \dots \dots (2.25)$$

$$Z' = \{Z | \mu_A(Z) = \mu^*\} \dots \dots \dots (2.26)$$

### 4. Smallest of Maximum (SOM)

Solusi *crisp* didapat dengan mengambil nilai terkecil dari domain yang memiliki derajat keanggotaan maksimum.

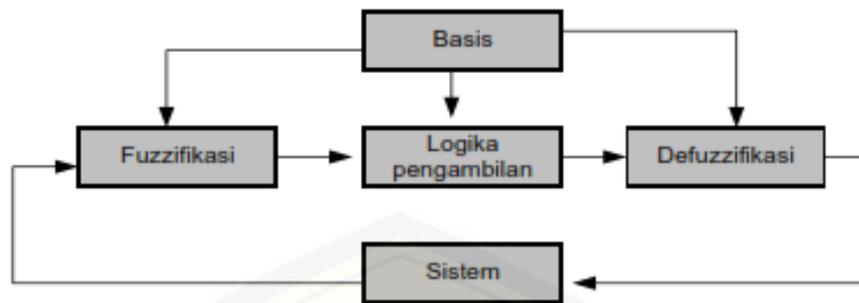
### 5. Largest of Maximum (LOM)

Solusi *crisp* didapat dengan mengambil nilai terbesar dari domain yang memiliki derajat keanggotaan maksimum (Dwi mulyono, 2010).

## 2.7.5 Konfigurasi dasar kendali logika Fuzzy

Kendali *Fuzzy* mempunyai empat komponen yaitu :

1. Fuzifikasi adalah proses modifikasi masukan tegas sehingga dapat diinterpretasikan dan dibandingkan dengan aturan – aturan dalam basis aturan.
2. Basis aturan atau “*rulebase*” berisi pengetahuan dalam bentuk himpunan aturan, mengenai cara terbaik untuk mengontrol sistem.
3. Mekanisme pengambilan keputusan atau “*inference mechanism*” yaitu evaluasi terhadap aturan kontrol yang akan diterapkan bersesuaian dengan kondisi yang sedang berlangsung kemudian memutuskan *input* yang harus diumpankan ke *plant* sebagai suatu aksi kontrol.
4. Defuzifikasi adalah proses perubahan konklusi yang diambil dalam *inferencemechanism* kedalam *input plant* berupa aksi pengontrolan.



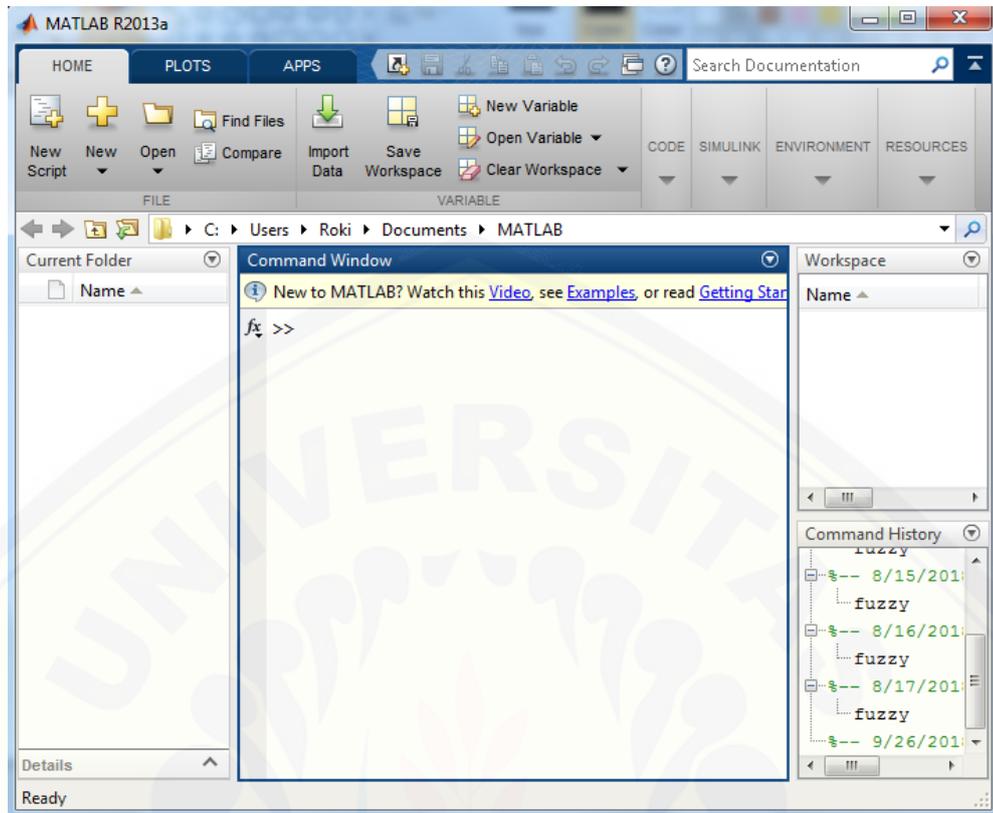
Gambar 2.19 Konfigurasi Dasar Kendali Log

## 2.8 Matlab 2013a

*Matlab* merupakan bahasa pemrograman yang hadir dengan fungsi dan karakteristik yang berbeda dengan bahasa pemrograman lain yang sudah ada lebih dahulu seperti *Delphi*, *Basic* maupun *C++*. *Matlab* merupakan bahasa pemrograman level tinggi yang dikhususkan untuk kebutuhan komputasi teknis, visualisasi dan pemrograman seperti komputasi matematik, analisis data, pengembangan algoritma, simulasi pemodelan dan grafik-grafik perhitungan.

*Matlab* membawa kesan yang berbeda, hal ini dikarenakan keistimewaan dalam fungsi-fungsi matematika, fisika, statistik, dan visualisasi. *Matlab* dikembangkan oleh *MathWorks*, yang pada awalnya dibuat untuk memberikan kemudahan mengakses data matrik padaprojek *LINPACK* dan *EISPACK*. *Matlab R2013a* dengan memiliki ratusan fungsi yang dapat digunakan sebagai *problem solver* mulai dari simple sampai masalahmasalah yang kompleks dari berbagai disiplin ilmu.

*Matlab R2013a* dapat digunakan untuk satu jangkauan aplikasi, meliputi pemrosesan sinyal dan komunikasi, proses citra dan video, sistem kendali, test dan pengukuran, komputasi *finance*, dan komputasi biologi. Lebih dari satu juta insinyur dan ahli sains di industri dan *academia* mempergunakan *MATLAB*, bahasa dari komputasi teknis. Gambar 2.13 merupakan tampilan antar muka *Matlab R2013a* dengan berbagai macam fiturnya.



Gambar 2.20 Matlab R2013a

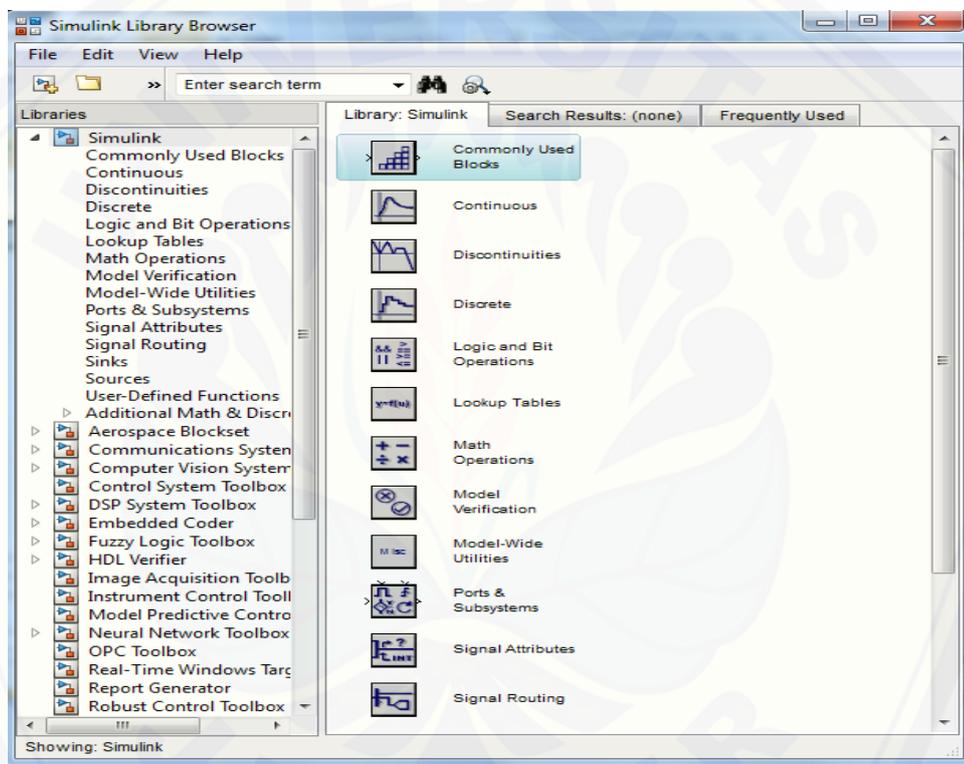
Sampai saat ini, para perancang sistem kontrol masih mendapatkan kesulitan untuk mendapatkan *transfer function* suatu sistem. Namun jika persamaan tersebut sudah didapatkan, maka proses analisisnya tidak terlalu sulit. Sebab telah dikembangkan sebuah software yang membantu proses analisis diatas. Salah satu software tersebut adalah *Matlab* dari *Mathworks, Inc.*

### 2.8.1 Simulink & SimMechanics

*Simulink* adalah platform didalam MATLAB yang digunakan untuk mensimulasikan sistem dinamik secara *realtime*. Didalam simulink terdapat berbagai macam toolbox yang dapat digunakan untuk merangkai sistem dinamik. *Toolbox* yang digunakan adalah *toolbox SimMechanics*. *Toolbox* ini berisi bagian bagian yang digunakan untuk mensimulasikan sistem mekanik.

Cara penggunaan *SimMechanics* adalah dengan menghubungkan-hubungkan block-block yang ada sesuai dengan desain mekanik yang diinginkan dan mensimulasikannya dengan parameter tertentu. Gambar 2.21 merupakan *Simulink*

*library matlab* yang didalamnya berisi berbagai macam *toolbox* untuk keperluan perancangan sistem. Blok yang ada didalam *Simulink library* dapat digunakan untuk analisis pada sistem kontinu, diskret, operasi logika dan lain-lain. Dalam pembuatan sistem kendali biasanya menggunakan model pada blok *math operation*, yaitu berdasarkan fungsi matematika sistem. Respon hasil simulasi dalam Simulink matlab dapat ditampilkan dalam satu *scope* sehingga analisis yang dilakukan lebih mudah.



Gambar 2.21 Simulink Library Matlab

Aplikasi Matlab dalam bidang teknik kontrol dilengkapi *Control Toolbox*. *Toolbox* ini sudah dilengkapi dengan berbagai macam fungsi pendukung yang 38 dipergunakan dalam analisis sistem kontrol. Beberapa fungsi pendukung yang sering dipergunakan untuk menganalisis suatu sistem adalah: *feedback*, *step*, *rlocus*, *series*, dan lain-lain. Untuk menganalisis suatu sistem, software hanya memerlukan masukan berupa *transfer function* yang ditulis dalam *Laplace Transform* (dalam s-domain) atau matriks. Untuk selanjutnya, pemakai tinggal memilih analisis yang dipergunakan.

### BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

##### 3.1.1 Tempat Penelitian

Penelitian “Rancang Bangun Pengisi Baterai menggunakan *Fuzzy Logic* Berbasis Arduino” dilaksanakan di Laboratorium Listrik Dasar, Fakultas Teknik, Universitas Jember di Jl. Slamet Riyadi No.62 Patrang, Jember.

##### 3.1.2 Waktu Penelitian

Waktu penelitian ini dilaksanakan kurang lebih 6 bulan seperti yang ditunjukkan pada tabel di bawah ini :

No.	Kegiatan	Bulan					
		I	II	III	IV	V	VI
1.	Studi Literatur	■	■				
2.	Perancangan Alat		■	■			
3.	Pembuatan Alat			■	■	■	
4.	Uji Coba dan Pengamatan				■	■	
5.	Analisa data dan Pembahasan				■	■	
6.	Penyusunan Laporan					■	■

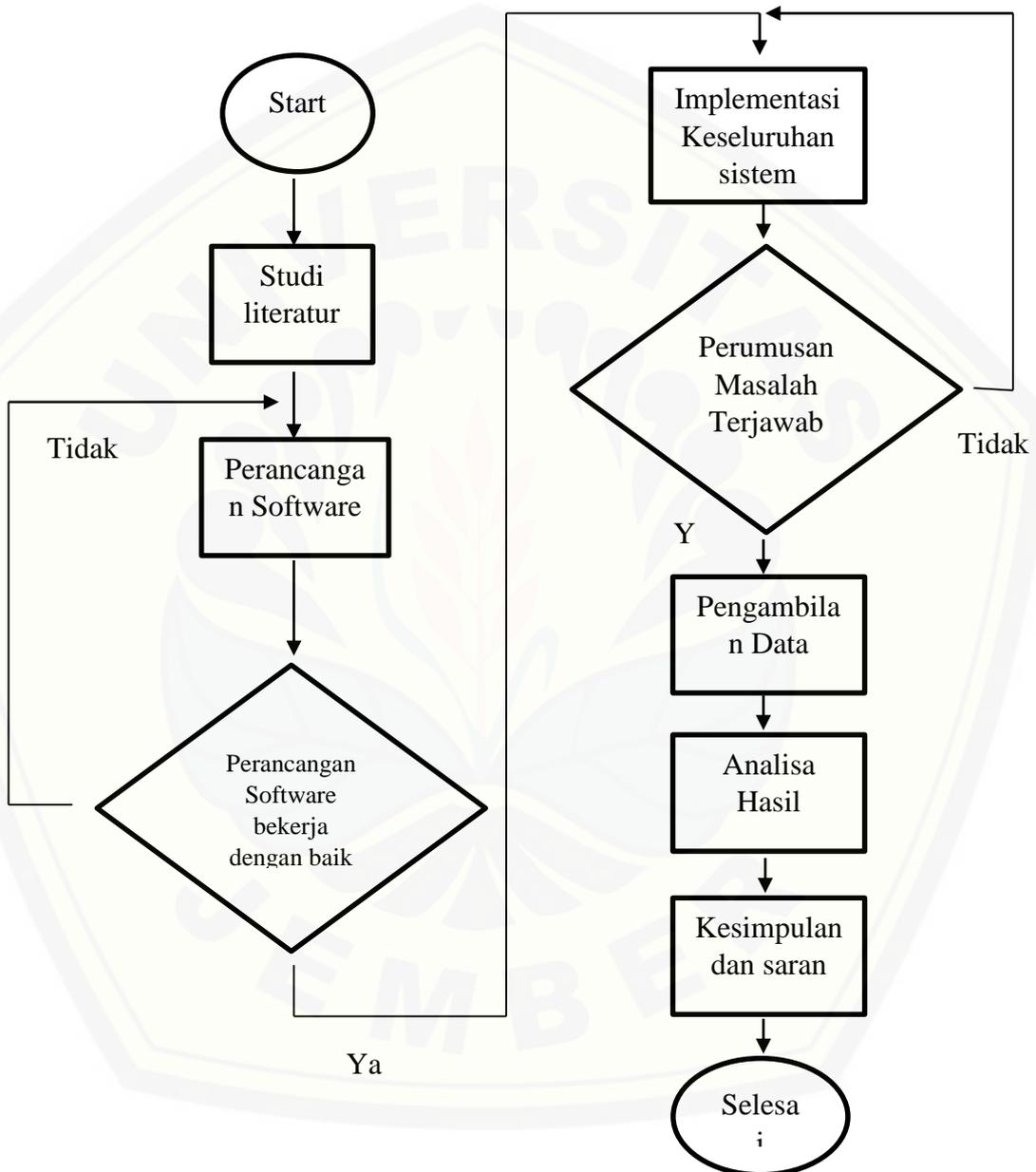
#### 3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang diperlukan adalah :

1. Laptop
2. Software Matlab R2013a

### 3.3 Diagram Alir Penelitian

Untuk melakukan penelitian ini terdapat tahap-tahap yang disusun dalam diagram alir penelitian, berikut diagram alir penelitian :



Gambar 3.1 Flowchart Alir Penelitian

Dalam pembuatan sistem *buck converter* untuk pengisi baterai dengan kontrol *fuzzy logic* dengan menggunakan Matlab ini dibutuhkan langkah-langkah penelitian sebagai berikut:

#### 1. Studi Literatur

Tahap awal dari penelitian ini mencari dan mempelajari literatur dari hasil penelitian sebelumnya, buku maupun internet untuk mengetahui karakteristik tiap-tiap komponen, prinsip kerja, serta teori yang menunjang lainnya. Diharapkan dengan literatur yang didapat bisa memberikan arahan untuk mengurangi kesalahan dalam penelitian..

#### 2. Perancangan *Software*

*Software* yang diperlukan berupa program yang di buat dengan menggunakan aplikasi Matlab , aplikasi ini yang nantinya merancang pengisi baterai dengan menggunakan program *fuzzy logic* untuk menentukan arus referensi dan tegangan referensi pada pengisian baterai.

#### 3. Implementasi Keseluruhan Sistem

Setelah *software* yang telah diuji bekerja dengan baik maka selanjutnya adalah mengetahui kinerja alat apakah sesuai dengan rumusan masalah atau belum. Pengujian dilakukan pada masing-masing blok dan kemudian keseluruhan sistem.

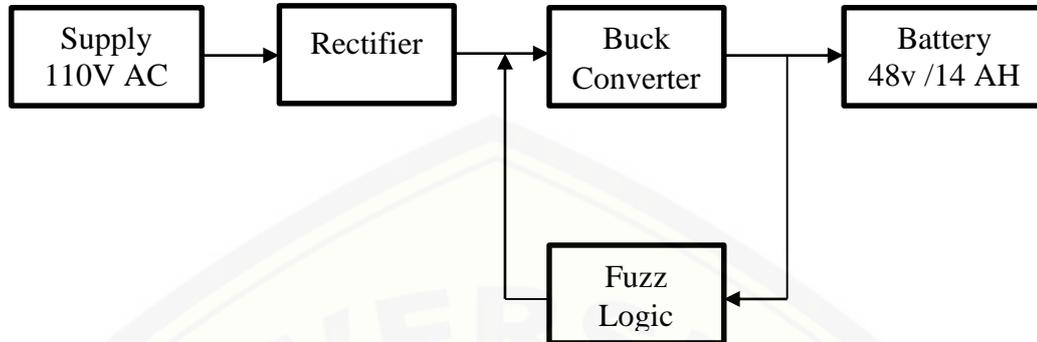
#### 4. Analisa dan Pengambilan Data

Setelah melakukan pengujian keseluruhan sistem bekerja dengan baik dan hasilnya memenuhi target, maka yang dilakukan selanjutnya adalah pengambilan data yang diperlukan dan kemudian dianalisa data yang telah didapatkan.

#### 5. Penyusunan Laporan

Pada tahap akhir ini, hasil pengambilan data dan analisa dimasukkan ke pembahasan. Kemudian, dapat ditarik beberapa kesimpulan yang menyangkut kinerja dari alat yang dibuat dan memberikan saran yang dimaksudkan untuk memperbaiki kekurangan yang ada, kemungkinan pengembangan, serta penyempurnaan alat di masa mendatang.

### 3.4 Blok Diagram Sistem



Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem

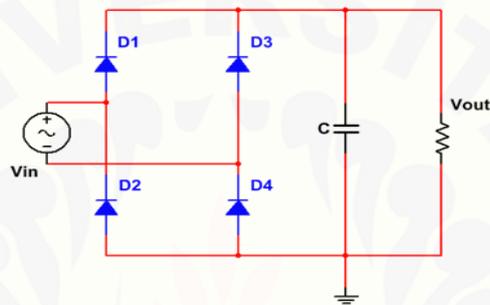
Gambar 3.2 merupakan blok diagram dari sistem *buck converter* untuk pengisian baterai dengan kontrol *fuzzy logic* dengan menggunakan Matlab. Dengan menggunakan *software* Matlab R2013a, untuk membuat dan menjalankan simulasi dari sistem dengan komponen utama yaitu *buck converter* untuk melakukan pengisian pada baterai dengan kapasitas 12V 14ah sebanyak 4 buah yang disusun seri sehingga mendapatkan nilai tegangan baterai 48V 14ah dan menggunakan *fuzzy logic* sebagai metode kontrolnya.

*Buck converter* merupakan penurun tegangan dengan menggunakan pensaklaran mosfet dan diode. Keluaran tegangan *buck converter* diatur dengan PWM yang dihubungkan pada kaki *gate* mosfet. Tegangan keluaran *buck converter* akan semakin besar apabila nilai PWM yang dihasilkan juga semakin besar dan sebaliknya apabila nilai PWM kecil maka tegangan keluaran *buck converter* juga kecil.

Pada saat pengisian baterai, diperlukan beberapa metode untuk mengatur arus dan tegangan agar lebih cepat dan aman. Metode *Fuzzy logic* digunakan untuk mengatur arus dan tegangan dengan menggunakan metode arus konstan dan tegangan konstan. *Fuzzy logic* merupakan cara untuk memetakan suatu ruang *input* ke dalam suatu ruang *output* dengan nilai yang kontinyu. Pada saat pengisian arus akan mengalami kestabilan sampai pengisian selesai. Tegangan di dalam baterai mengalami kenaikan yang stabil dengan nilai yang cenderung stabil pula.

### 3.4.1 Rectifier

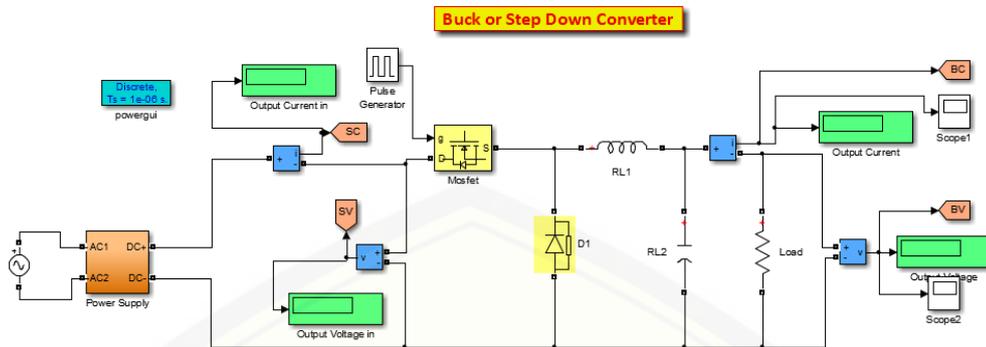
Rangkaian *rectifier* digunakan untuk menyearahkan tegangan AC menjadi tegangan DC yang mana dilengkapi dengan kapasitor yang berfungsi sebagai filter. Filter tersebut berfungsi untuk mengurangi *ripple* agar keluarannya mendekati DC murni. Kemudian terdapat empat buah diode yang tujuannya sebagai penyearah. Rancangan sebuah rangkaian penyearah tegangan sumber yang dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Rangkaian *Rectifier Full Bridge*

### 3.4.2 Buck Converter

Pada penelitian ini menggunakan *converter* DC-DC jenis *buck converter* yang berfungsi menurunkan tegangan untuk mensuplai 4 buah baterai dengan tegangan masukan dari sumber AC sebesar 110 V yang telah disearahkan oleh *rectifier*. Komponen utama dari *buck converter* pada penelitian ini yaitu, Induktor digunakan untuk menyimpan energi dalam bentuk arus, kapasitor, mosfet yang digunakan sebagai saklar aktif dan dioda yang digunakan sebagai saklar pasif. Pada mosfet bertindak sebagai saklar yang dapat membuka atau menutup rangkaian sehingga arus dapat dikendalikan sesuai *duty cycle* yang diinginkan.

Gambar 3.4 Rangkaian *Buck Converter*

Gambar 3.4 diatas merupakan bentuk rangkaian dari *buck converter*. Untuk mendapatkan hasil keluaran *buck converter* yang sesuai maka diperlukan perhitungan komponen-komponen yang tepat karena jika perhitungan tidak tepat maka akan menghasilkan keluaran yang tidak baik seperti munculnya *ripple* tegangan serta arus yang terlalu besar. Untuk menentukan nilai kapasitor dan induktor maka dapat dicari dengan rumus berikut ini:

Menentukan *duty cycle*:

$$D = \frac{V_o}{V_i} = \frac{56}{110} = 0.509 \quad (3.1)$$

Menentukan nilai induktor:

Besar *ripple current*  $\Delta I_1 = 30\% \times I_{out}$ .

$$= 30\% \times 2 \text{ A}$$

$$= 0.6 \text{ A}$$

Besar nilai Induktor  $L = D \frac{(V_{in} - V_{out})}{\Delta I_1 \cdot F_s} \quad (3.2)$

$$L = 0.509 \frac{(110 - 56)}{0.6 \cdot 40 \times 10^3}$$

$$= 1.14 \text{ mH}$$

Menentukan nilai pada kapasitor:

Besar nilai *ripple voltage*  $\Delta V_0 = 1\% \times v_o$

$$= 1\% \times 56$$

$$= 0.56 \text{ V}$$

$$C = \frac{\Delta I_1}{8 \cdot f \cdot \Delta V_0} \quad (3.4)$$

$$= \frac{0.6}{8.40 \times 10^3 \cdot 0.56}$$

$$= 3.3 \text{ uF}$$

Keterangan :

D : *Duty cycle*

$\Delta I_L$  : *Ripple* arus pada induktor

$\Delta V_o$  : *Ripple* tegangan

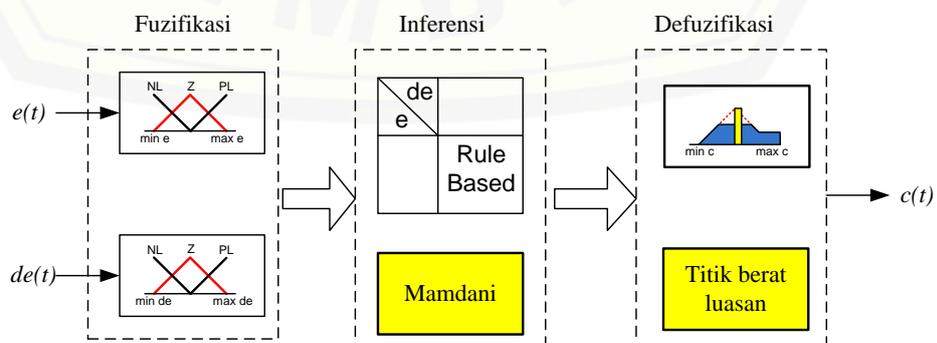
f : Frekuensi pensaklaran

Tabel 3.1 Spesifikasi DC/DC *Buck Converter*

Tegangan Masukan	110 Vdc
Tegangan Keluaran	56 Vdc
Iout	2 A
<i>Duty cycle</i>	50.9%
Fekuenasi	40khz
Nilai Induktor	1.14 mH
Nilai Kapasitor	3.3 uF

### 3.5 Perancangan Sistem kontrol *Fuzzy Logic*

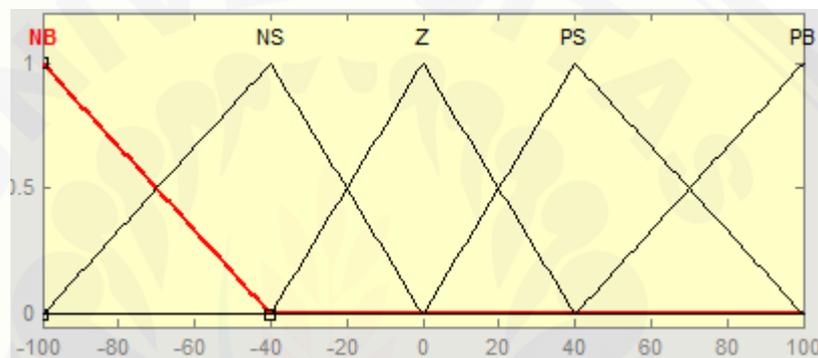
Tujuan dari sistem pengendali ini adalah mengendalikan nilai tegangan keluaran dari *buck converter*, maka *input fuzzy* berupa tegangan *output* dari *buck converter*, Dimana nantinya parameter tegangan ini akan digunakan untuk nilai *error* dan *delta error*. Kemudian parameter *output* yang diinginkan adalah berupa nilai PWM yang digunakan untuk merubah *duty cycle*.. Perancangan kontrol *fuzzy* ini melalui tiga tahap yaitu seperti pada gambar 3.5



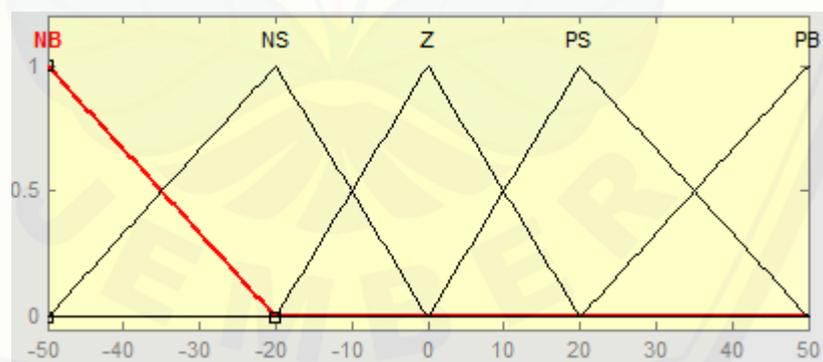
Gambar 3.5 Blok Diagram Proses Kendali *Fuzzy*.

### 3.5.1 Fuzzifikasi

Data hasil pembacaan nilai arus dan tegangan merupakan data masukan bernilai tegas (crisp) kemudian diubah menjadi himpunan *fuzzy* menurut fungsi keanggotaannya. Proses awal dari *fuzzyfikasi* adalah membuat membership function (fungsi keanggotaan) dari masukan, serta menentukan banyaknya variable linguistic dalam fungsi keanggotaan tersebut. Dari fungsi keanggotaan yang dibuat akan diketahui nilai derajat keanggotaan dari masing-masing variable dalam himpunan *fuzzy* berdasarkan masukan tegas (crisp). Pada sistem ini terdapat masukan dari tegangan dan arus.



Gambar 3.6 Membership Function of Error.



Gambar 3.7 Membership Function Of Delta Error

### 3.5.2 Evaluasi *Rule*

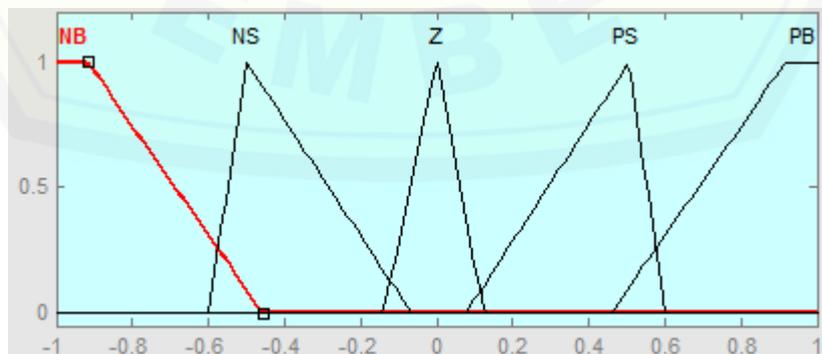
Basis aturan berisi aturan-aturan *fuzzy* untuk pengendalian sistem. aturan-aturan yang dibentuk dari proses pengolahan data masukan yang nantinya akan menentukan respon dari sistem terhadap berbagai kondisi *set point* dan gangguan yang terjadi pada sistem yang akan dibuat. Gambar berikut merupakan *rule base* dari *membership function* yang telah ditentukan.

Tabel 3.2 *Rule Base Fuzzy logic Control*.

E/DE	NB	NS	Z	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NS	Z
NS	NB	NB	NS	Z	PS
Z	NB	NS	Z	PS	PB
PS	NS	Z	PS	PB	PB
PB	Z	PS	PB	PB	PB

### 3.5.3 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi difinisikan sebagai proses perubahan besaran *fuzzy* dalam bentuk himpunan- himpunan *fuzzy* keluaran dengan fungsi keanggotaannya untuk mendapatkan kembali bentuk tegasnya (*crisp*). Dan keluaran dari proses defuzzifikasi berupa nilai PWM yang akan nantinya digunakan untuk mengontrol *buck konverter* pada pengisian baterai.

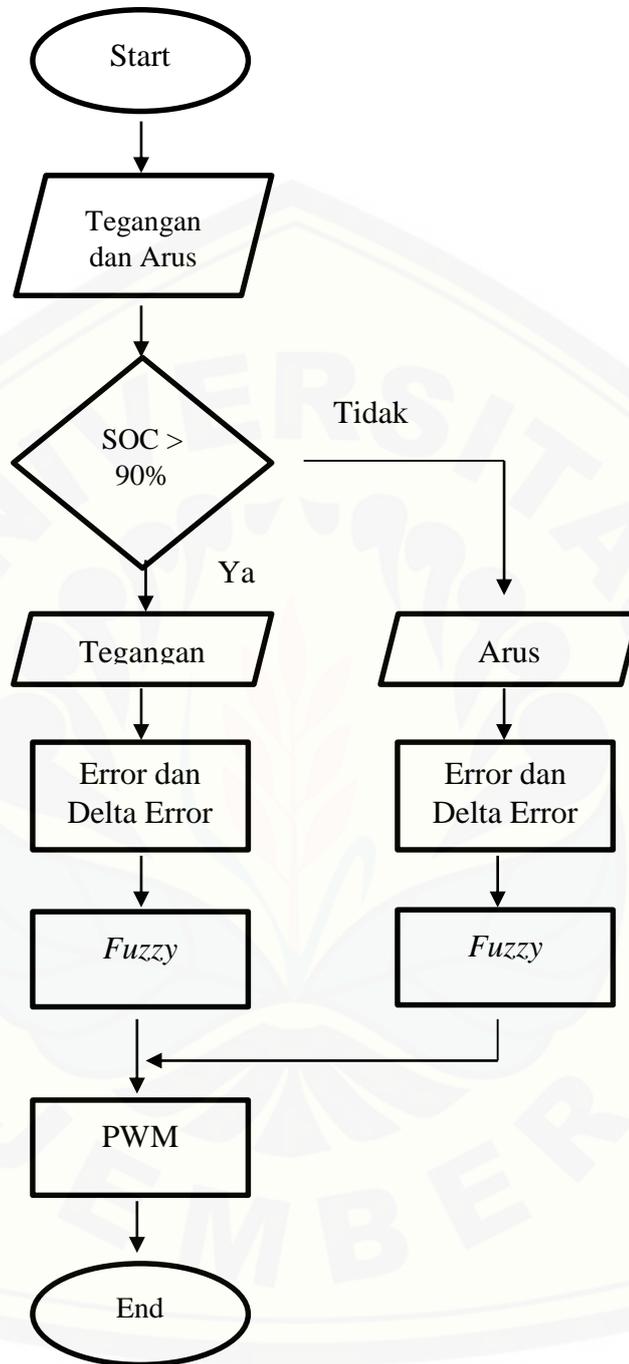


Gambar 3.8 *Membership Function Of Duty Cycle*

### 3.6 Sistem Pengisi Baterai menggunakan *Fuzzy Logic*

Sistem pengisi baterai yang menggunakan *fuzzy logic* pada penelitian ini *input* berupa tegangan dan arus. Kemudian sistem akan menentukan kondisi SOC baterai apakah sudah memenuhi 90 % dari kapasitas baterai atau tidak. Jika tidak maka sistem akan memproses *input* berupa arus untuk menentukan nilai error dan delta error. Error adalah nilai set point dikurangi dengan nilai pada kondisi sekarang, berlaku untuk *input* tegangan maupun arus. Sedangkan delta error adalah nilai error sebelumnya dikurang nilai error sekarang. Kemudian nilai error dan delta error akan di proses oleh kontrol *fuzzy* untuk menentukan output berupa nilai *pwm*. Ketika SOC sudah memenuhi atau melebihi 90% maka, sistem akan memproses *input* berupa tegangan yang digunakan untuk mendapatkan nilai error dan delta error. Kemudian nilai error dan delta error dari tegangan akan di proses oleh kontrol *fuzzy* untuk mendapatkan output berupa nilai *pwm* yang digunakan untuk pensaklaran *buck converter*.

### 3.7 Flowchart Program Sistem Pengisi Baterai



Gambar 3.9 Flowchart Program Sistem Pengisi Baterai Menggunakan Fuzzy

## BAB 5. KESIMPULAN

### 5.1 Kesimpulan

Penelitian yang sudah dilakukan ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem pengisi baterai dengan menggunakan metode *fuzzy logic* dapat bekerja dengan baik pada saat pengisian baterai ketika SOC berada pada keadaan 45% sampai 90%.
2. Kinerja yang dihasilkan ketika menggunakan metode *fuzzy logic* belum cukup baik, ketika kondisi SOC baterai di atas atau sama dengan 95% pada metode *constant voltage* arus pada saat pengisian tidak berada pada nilai yang baik untuk pengisian baterai.

### 5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan untuk perkembangan yang lebih baik:

1. Pada penelitian selanjutnya dapat dibandingkan dengan metode lain seperti PID, Neural Network, atau Anfish.
2. Untuk pengembangan lebih lanjut dapat ditambahkan mengenai suhu pada baterai.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Andri, Helly. 2010. “Rancang Bangun *System Battery Charging Automatic*”. Skripsi. Jurusan Teknik Elektro. Depok. Universitas Indonesia.
- Afandi, Ahmad. 2014. *Optimasi Pengisian Baterai Timbal Asam Berbasis Logika Fuzzy*. Skripsi. Jember : Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Ardyan Saputra. 2009. *Rancang Bangun Inverter 1 Fase Sebagai Penggerak Motor Induksi 1 Fase*. Skripsi. Surabaya: PENS-ITS.
- Arif, Muhammad Miftachul. 2014. *Kontrol Motor Bldc Berbasis Mikrokontroler Dengan Metode Six Step Commutation*. Skripsi. Jember : Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Grummy Wailanduw, A Ladiono. 2010. *Efektifitas Aki Basah dan Aki Kering Terhadap Beban Listrik pada Kendaraan Bermotor*. Surabaya: Program Strata UNESA.
- Maulana, Agung. 2015. *Rancang Bangun Konverter Buck – Boost Menggunakan Fuzzy Logic Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Ombak*. Skripsi. Bandung : Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Telkom.
- Rashid, Muhammad H. 2001. *Power Electronics Hanbook*. California: Academic Prees.
- Sidiq, Rohmat Khoirul. 2015. *Rancang Bangun Sistem Pengisi Baterai Mobil Listrik Berbasis Mikrokontroler Atmega16*. Skripsi. Jember : Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Avian Cries, Bambang Sudjanarko, Khoirul Anam. *Design of Fuzzy Logic Control for Voltage Stabilizer on Fixed Wind Turbine*. University of Jember.
- Sagita Rochman dan Budi Prijo Sembodo. 2014. *Rancang Bangun Alat Kontrol Pengisian Aki Untuk Mobil Listrik Menggunakan Energi Sel Surya Dengan Metode Sequential*. Jurnal Teknik Waktu.
- Tom Geist dan Haresh Kamath. 2006. *Designing Battery Charger Systems for Improved Energy Efficiency*. California Energy Commission.

- Wibowo, Indra Angga. 2014. *Pengaruh Penggunaan Battery Life Extender Technology Terhadap Temperatur Charging dan Berat Elektrolit Pada Yuasa Lead Acid Battery Type Liquid Vented 12 Volt 5 Ah*. JIPTEK, Vol 1.
- Wildan Budiman, Nasrun Hariyanto, Syahrial. 2014. *Perancangan Dan Realisasi Sistem Pengisian Baterai 12 Volt 45 Ah Pada Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro Di Upi Bandung*. Jurnal Reka Elkomika Itenas Vol.2 No.1.
- Wulandari, Triyas Ika. 2010. *Rancang Bangun Sistem Penggerak Pintu Air Dengan Memanfaatkan Energi Alternatif Matahari*. Surabaya: Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Zaenurrohman dan Utis Sutisna. 2014. *Perancangan Sistem Kontrol Wireless pada Mobile Robot Manipulator Berbasis Mikrokontroler ATmega8*. JNTETI, Vol 3, No 1.