



**RANCANG BANGUN KONVERTER SEPIC UNTUK PENGISIAN  
BATERAI 48 V BERBASIS *FUZZY LOGIC***

**SKRIPSI**

Oleh  
**ALFIKA RIZKI HARITTSA**  
**NIM 151910201075**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2019**



**RANCANG BANGUN KONVERTER SEPIC UNTUK PENGISIAN  
BATERAI 48 V BERBASIS *FUZZY LOGIC***

**SKRIPSI**

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

Oleh  
**ALFIKA RIZKI HARITTSA**  
**NIM 151910201075**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2019**

## PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur atas kehadiran Allah SWT. atas nikmat dan kasihnya yang telah melimpahkan rahmat yang tak ternilai hingga dapat menyelesaikan penelitian ini, Penulis menyadari bahwa banyak semangat dan doa yang diberikan dari berbagai pihak.akhirnya di persembahkan skripsi ini untuk :

1. Allah SWT. Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang;
2. Nabi besar Muhammad SAW, yang suri tauladan bagi seluruh umat;
3. Kedua orang tua, Ibu Hanifa dan Ayah Fajar Hariyanto yang tercinta, serta keluarga besar yang tidak kenal lelah dalam memberikan semangat, kasih sayang dan juga dan dukungan baik moril maupun materiil kepada penulis;
4. Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah membimbing dan memberikan saran dengan sangat sabar demi kesempurnaan skripsi ini;
5. Para Pahlawan tanpa tanda jasa yang telah membimbing penulis mulai dari taman kanak-kanak hingga Perguruan Tinggi;
6. Syahnaz Rizqi Aliya yang telah menemani serta memberi dukungan sampai terselesaikannya skripsi ini;
7. Keluarga besar Laboratorium Sistem Tenaga, M. Ridwan Prasetya, Umi Azizah dan Aditya Aprilia Arganata yang telah banyak membantu dalam pengerjaan skripsi ini;
8. Keluarga Besar D15TORSI 2015, yang telah memberikan bantuan dan dukungan hingga terselesaikannya skripsi ini;
9. Almamater tercinta, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Jember;
10. Serta rekan-rekan penulis serta reka-rekan yang menjadikan skripsi ini sebagai *setpoint*.

**MOTO**

*“Saya sukses, karena saya telah kehabisan apa  
yang disebut dengan kegagalan”*

*(Thomas Alfa Edison)*

*“Barang siapa keluar untuk mencari ilmu  
maka dia berada di jalan Allah”*

*(HR. Turmudzi)*

**PERNYATAAN**

Saya yang betanda tangan di bawah ini:

Nama : Alfika Rizki Harittsa

NIM : 151910201075

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “ Rancang Bangun Konverter SEPIC untuk Pengisian Baterai 48 V Berbasis *Fuzzy Logic*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada 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 ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari ini tidak benar.

Jember, 25 November 2019

Yang menyatakan,

Alfika Rizki Harittsa

NIM 151910201075

**SKRIPSI**

**RANCANG BANGUN KONVERTER SEPIC UNTUK PENGISIAN  
BATERAI 48 V BERBASIS *FUZZY LOGIC***

Oleh  
**ALFIKA RIZKI HARITTA**  
NIM 151910201075

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Rancang Bangun Konverter SEPIC untuk Pengisian Baterai 48 V Berbasis *Fuzzy Logic*” telah diuji dan disahkan pada :

hari, tanggal : Senin, 18 Mei 2019

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T.  
NIP 19710402 200312 1 001

Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.  
NIP 19631201 199402 1 002

Penguji I

Penguji II

Dr. Ir. Widjonarko, S.T., M.T.  
NIP 19710908 199903 1 001

H. Samsul Bahri M, S.T.,M. M.T.  
NIP 19640317 199802 1 001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik,

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



## Rancang Bangun Konverter SEPIC untuk Pengisian Baterai 48 V Berbasis *Fuzzy Logic*

**Alfika Rizki Harittsa**

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

### ABSTRAK

Energi merupakan kebutuhan vital untuk kelangsungan hidup suatu bangsa. Energi merupakan input penting bergeraknya roda perekonomian suatu negara. Energi merupakan sektor yang strategis dan mempunyai peranan penting dalam pencapaian tujuan sosial, ekonomi dan lingkungan untuk pembangunan berkelanjutan serta merupakan pendukung bagi kegiatan ekonomi nasional. Konverter adalah sebuah perangkat untuk mendapatkan tegangan hasil konversi listrik DC dengan menggunakan rangkaian elektronika. Konverter mampu mengkonversi *input* tegangan DC dinaikan atau diturunkan nilai tegangan keluarannya. Ada beberapa jenis rangkaian konverter salah satunya adalah rangkaian dengan konfigurasi penaik sekaligus penurun tegangan yaitu konverter SEPIC. Konverter ini menggunakan kontrol melalui mikrokontroler arduino uno R3 sebagai kontrol *switching* rangkaian *driver* mosfet. Proses *switching* mikrokontroler menggunakan frekuensi 40 KHz gelombang PWM. Dalam frekuensi itu setiap gelombang PWM yang dihasilkan membentuk gelombang kotak.. Dari hasil pengujian konverter SEPIC dengan metode *fuzzy logic Controller* diterapkan pada pengisian pada beban baterai 48 V dengan menggunakan sumber daya dari panel surya untuk menghasilkan kecepatan pengisian daya yang maksimal pada terpenuhinya pengisian beban baterai 48V 12Ah.

**Kata kunci** : konverter SEPIC, Mikrokontroler, *Fuzzy Logic*, Baterai 48V 12Ah.



*Design of SEPIC Converters for Charging 48 V Batteries Based on Fuzzy Logic*

**Alfika Rizki Harittsa**

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

## **ABSTRACT**

*Energy is a vital requirement for the survival of a nation. Energy is an important input for the movement of a country's economy. Energy is a strategic sector and has an important role in achieving social, economic and environmental goals for sustainable development and is a supporter of national economic activities. A converter is a device to get the voltage from a DC power conversion using an electronic circuit. The converter is able to convert the input DC voltage to increase or decrease the value of the output voltage. There are several types of converter circuits, one of which is a series of configurations with an increase and decrease the voltage, namely the SEPIC converter. This converter uses control via an arduino uno R3 microcontroller as a control switching mosfet driver circuit. The microcontroller switching process uses a frequency of 40 KHz PWM waves. In that frequency each PWM wave generated forms a square wave. From the test results of the SEPIC converter with the fuzzy logic controller method applied to charging at a 48 V battery load by using a power source from solar panels to produce the maximum charging speed at the fulfillment of charging the battery load. 48V 12Ah.*

**Keywords:** *SEPIC converter, Microcontroller, Fuzzy Logic, VRLA Battery 48V 12Ah*

## RINGKASAN

**Rancang Bangun Konverter SEPIC untuk Pengisian Baterai 48 V Berbasis Fuzzy Logic**; Alfika Rizki Harittsa; 151910201075, 2019; 85 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Energi merupakan kebutuhan vital untuk kelangsungan hidup suatu bangsa. Energi merupakan input penting bergeraknya roda perekonomian suatu negara. Energi merupakan sektor yang strategis dan mempunyai peranan penting dalam pencapaian tujuan sosial, ekonomi dan lingkungan untuk pembangunan berkelanjutan serta merupakan pendukung bagi kegiatan ekonomi nasional.

Konverter adalah sebuah perangkat untuk mendapatkan tegangan hasil konversi listrik DC dengan menggunakan rangkaian elektronika. Konverter mampu mengkonversi *input* tegangan DC dinaikan atau diturunkan nilai tegangan keluarannya. Ada beberapa jenis rangkaian konverter salah satunya adalah rangkaian dengan konfigurasi penaik sekaligus penurun tegangan yaitu konverter SEPIC.

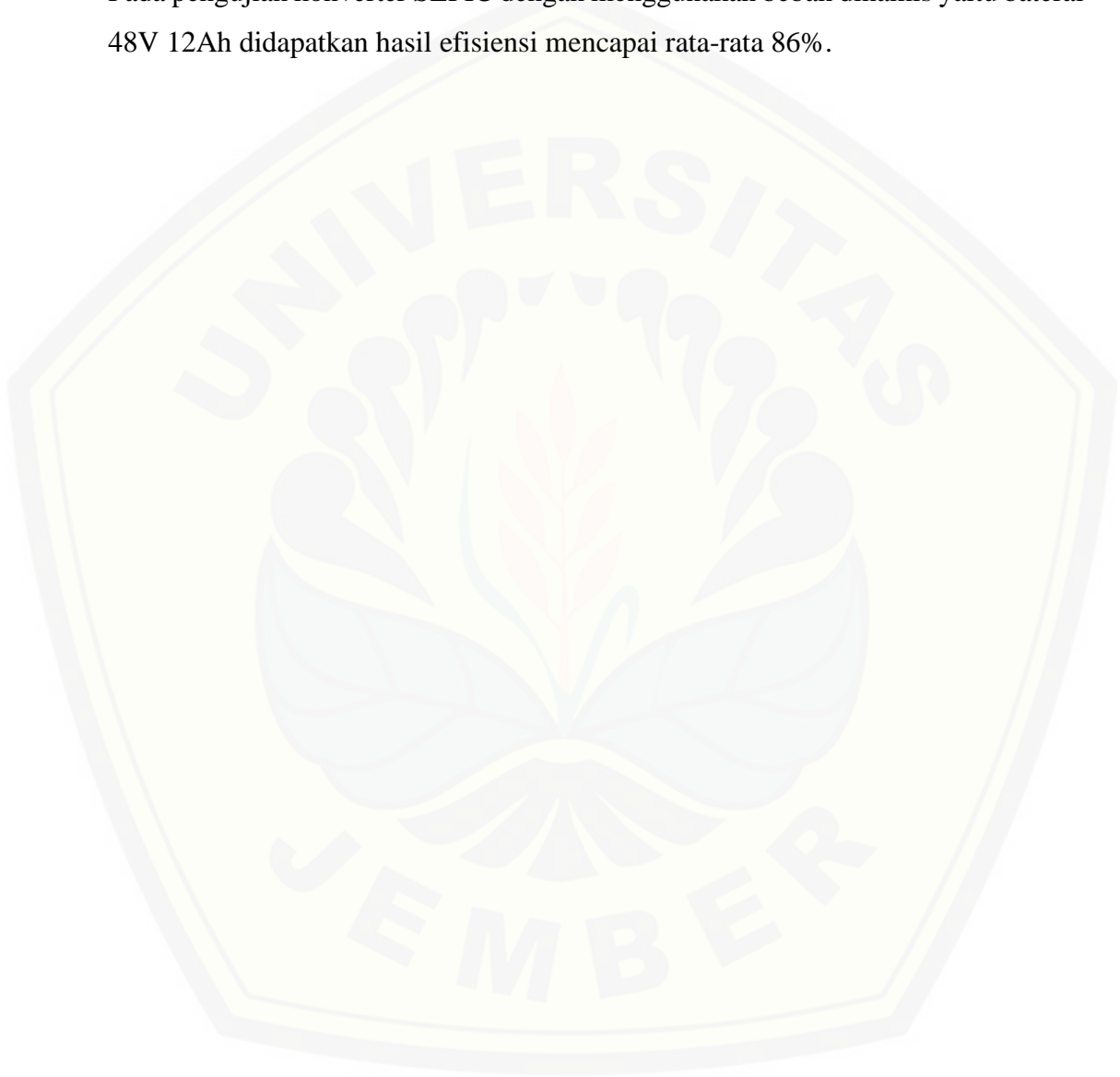
Rangkaian dari konverter dengan menggunakan jenis SEPIC memiliki kelebihan efisiensi yang baik. Rangkaian konverter SEPIC menggunakan sebuah mosfet dengan jenis mosfet N-Channel IRF-540. Mosfet tersebut bertujuan untuk memudahkan dalam proses switching, sehingga dalam satu pin dapat mengontrol mosfet dengan maksimal tanpa harus memberikan rangkaian tambahan.

Proses switching dari konverter SEPIC menggunakan arduino uno dengan setup pin 6 sebagai switching driver mosfet. Satu pin dari mikrokontroler langsung mengontrol mosfet tipe N. Proses switching konverter SEPIC memiliki frekuensi sebesar 40 kHz dengan bentuk gelombang kotak atau PWM.

Dari penelitian yang sudah dilakukan, tegangan keluaran dikontrol dengan menggunakan metode kontrol *Fuzzy Logic* untuk menstabilkan tegangan keluaran dengan *setpoint* sebesar 57 V. Tujuan dari tegangan *setpoint* sebesar 57 V adalah agar konverter mampu diterapkan pada pengisian baterai 48V 12 Ah.

Pengujian konverter dilakukan dengan cara memberikan beban statis dan beban dinamis. Pembebanan statis dilakukan dengan cara menggunakan varian

resistor kapur sebesar 330 Ohm , 100Ohm, dan 66 Ohm, sedangkan untuk pembebanan dinamis dilakukan pada pengisian baterai sepeda listrik sebesar 48V 12 Ah . Hasil dari pengujian dengan beban statis 100 Ohm didapatkan efisiensi konverter sebesar 87,86% pada *duty cycle* 58% dan 96,1 % pada *duty cycle* 68%. Pada pengujian konverter SEPIC dengan menggunakan beban dinamis yaitu baterai 48V 12Ah didapatkan hasil efisiensi mencapai rata-rata 86%.



## PRAKATA

Puji Syukur Alhamdulillah atas kehadiran Allah SWT, atas nikmat dan kasihnya yang telah melimpahkan rahmat yang tak ternilai hingga dapat menyelesaikan penelitian ini, Penulis menyadari bahwa banyak semangat dan doa yang diberikan dari berbagai pihak.akhirnya di persembahkan skripsi ini untuk :

1. Allah SWT. Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang;
2. Nabi besar Muhammad SAW, yang suri tauladan bagi seluruh umat;
3. Kedua orang tua, Ibu Hanifa dan Ayah Fajar Hariyanto yang tercinta, serta keluarga besar yang tidak kenal lelah dalam memberikan semangat, kasih sayang dan juga dan dukungan baik moril maupun materiil kepada penulis;
4. Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah membimbing dan memberikan saran dengan sangat sabar demi kesempurnaan skripsi ini;
5. Para Pahlawan tanpa tanda jasa yang telah membimbing penulis mulai dari taman kanak-kanak hingga Perguruan Tinggi;
6. Syahnaz Rizqi Aliya yang telah menemani serta memberi dukungan sampai terselesaikannya skripsi ini;
7. Keluarga besar Laboratorium Sistem Tenaga, M. Ridwan Prasetya, Umi Azizah dan Aditya Aprilia Arganata yang telah banyak membantu dalam pengerjaan skripsi ini;
8. Keluarga Besar D15TORSI 2015, yang telah memberikan bantuan dan dukungan hingga terselesaikannya skripsi ini;
9. Almamater tercinta, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Jember;
10. Serta rekan-rekan penulis serta reka-rekan yang menjadikan skripsi ini sebagai *setpoint*.

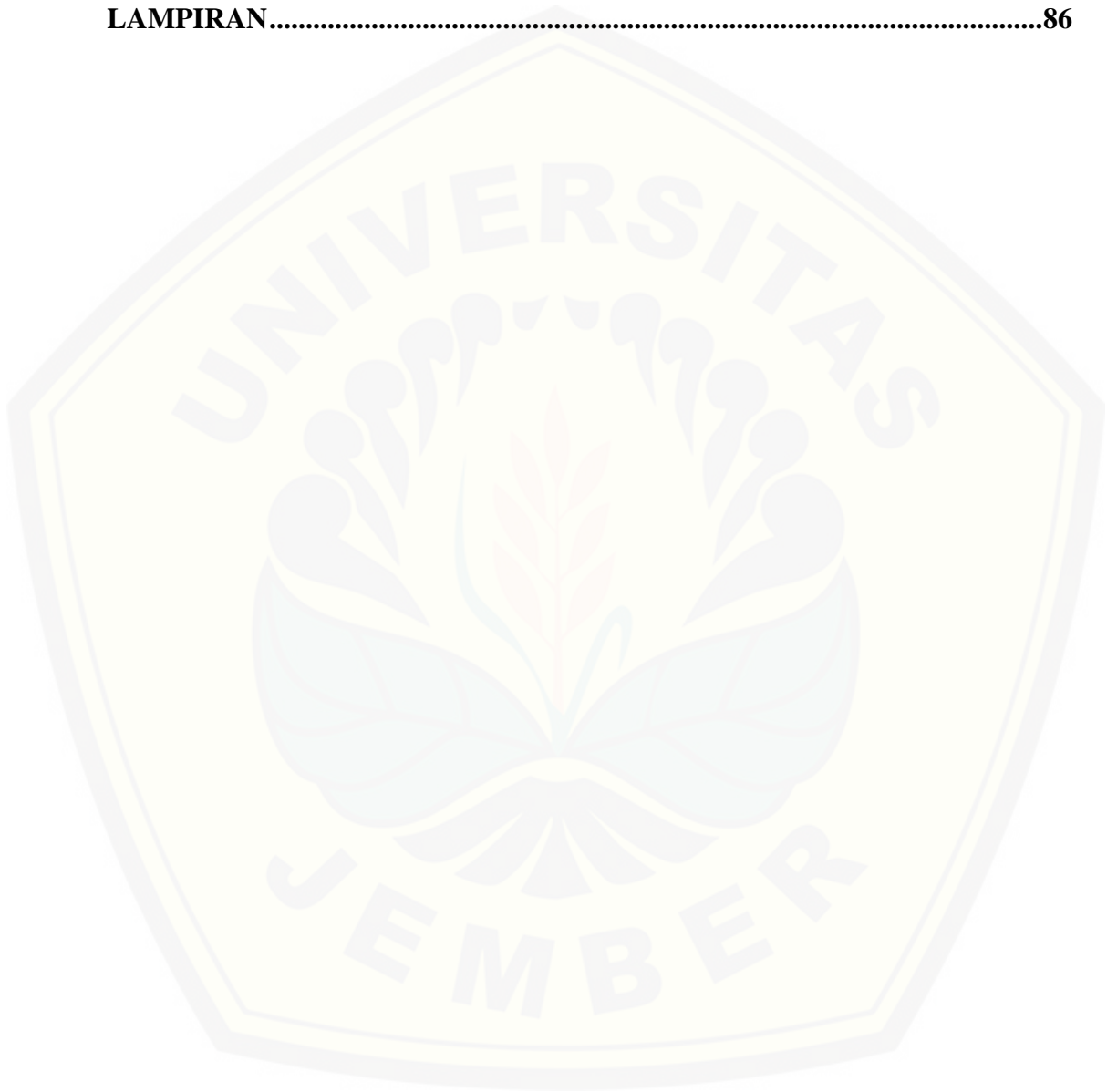
**DAFTAR ISI**

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PEMBIMBING</b> .....	vi
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vii
<b>HALAMAN ABSTRAK</b> .....	viii
<b>RINGKASAN</b> .....	x
<b>PRAKATA</b> .....	xii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xix
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	3
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	3
<b>1.4 Tujuan Penelitian</b> .....	4
<b>1.5 Manfaat Penelitian</b> .....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
<b>2.1 Penelitian Terkait</b> .....	5
<b>2.2 Baterai</b> .....	6
<b>2.3 Panel Surya</b> .....	8
<b>2.4 Sensor Tegangan</b> .....	10
<b>2.5 Sensor Arus ACS712</b> .....	11
<b>2.6 Arduino Uno</b> .....	11
<b>2.7 LCD</b> .....	13



2.8 RTC .....	14
2.9 Data <i>Logger</i> .....	15
2.10 Konverter SEPIC .....	16
2.11 Kontrol <i>Fuzzy Logic</i> .....	22
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>32</b>
3.1 Metode Penelitian .....	32
3.1.1 Pengumpulan Data .....	32
3.1.2 Kerangka Pemecahan Masalah .....	33
3.1.3 Blok Diagram Sistem .....	35
3.2 Perancangan Komponen Pengendali .....	36
3.2.1 Rangkaian <i>Solar Cell</i> .....	36
3.2.2 Sensor Tegangan .....	37
3.2.3 Arduino Uno .....	38
3.2.4 Perancangan Konverter SEPIC .....	39
3.2.5 Kontrol <i>Fuzzy Logic</i> .....	44
3.2.6 Baterai <i>Lead Acid</i> .....	48
3.3 Perancangan Mekanik Alat dan Keseluruhan Sistem .....	49
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>50</b>
4.1 Rancangan Konverter SEPIC Pada Matlab R2015b .....	50
4.2 Implementasi Rancang Bangun Konverter SEPIC .....	52
4.3 Perancangan <i>Board Driver</i> Konverter SEPIC .....	54
4.4 Pengujian Konverter SEPIC Tanpa Kontrol .....	57
4.5 Pengujian Efisiensi Konverter SEPIC .....	59
4.6 Analisa Kontrol Tegangan <i>Fuzzy Logic</i> .....	60
4.7 Pengujian Konverter SEPIC Tanpa Kontrol Dengan Pemberian Variasi Beban .....	68
4.8 Pengujian Konverter SEPIC Dengan Kontrol <i>Fuzzy Logic</i> .....	69
4.10.1 Pengujian Konverter SEPIC Tanpa Beban .....	69
4.10.2 Pengujian Konverter SEPIC dengan Pemberian Variasi Beban	71
4.9 Pengujian Karakteristik Panel Surya .....	74
4.10 Pengujian Konverter SEPIC Dengan Beban Baterai 48 V .....	75

<b>BAB 5. PENUTUP.....</b>	<b>82</b>
<b>5.1 Kesimpulan.....</b>	<b>82</b>
<b>5.2 Saran.....</b>	<b>83</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>84</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>86</b>





**DAFTAR TABEL**

	Halaman
Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino Uno .....	12
Tabel 3.1 <i>Datasheet Solar Cell</i> Jenis <i>Polycrystalline</i> 50 Wp .....	36
Tabel 3.2 Parameter DC/DC Konverter SEPIC .....	39
Tabel 3.3 Parameter Perancangan Konverter SEPIC .....	44
Tabel 3.4 <i>Rule Base</i> .....	47
Tabel 4.1 Komponen Perancangan Konverter SEPIC .....	53
Tabel 4.2 Pengujian Gelombang <i>Pulse Width Modulation</i> .....	55
Tabel 4.6 Hasil Pengujian <i>Duty Cycle</i> Konverter SEPIC .....	57
Tabel 4.7 Efisiensi Pada Konverter SEPIC Dengan <i>Dummy Load</i> 330 Ohm .....	59
Tabel 4.8 <i>Rule Base</i> .....	64
Tabel 4.9 Konversi Nilai <i>Output Fuzzy Logic</i> Dalam Bentuk Presentase Dan PWM .....	67
Tabel 4.10 Pergeseran Nilai <i>Fuzzy Logic</i> .....	67
Tabel 4.11 <i>Drop Voltage</i> Konverter SEPIC Dengan <i>Dummy Load</i> .....	68
Tabel 4.12 Hasil Pengujian Konverter SEPIC Dengan Pemberian Beban Resistif .....	71
Tabel 4.13 Data Hasil Pengujian Karakteristik Dua Buah Panel Surya .....	74
Tabel 4.14 Data Pengujian <i>Konverter SEPIC</i> Dengan Pemberian Beban Baterai 48 V / 12 Ah .....	79

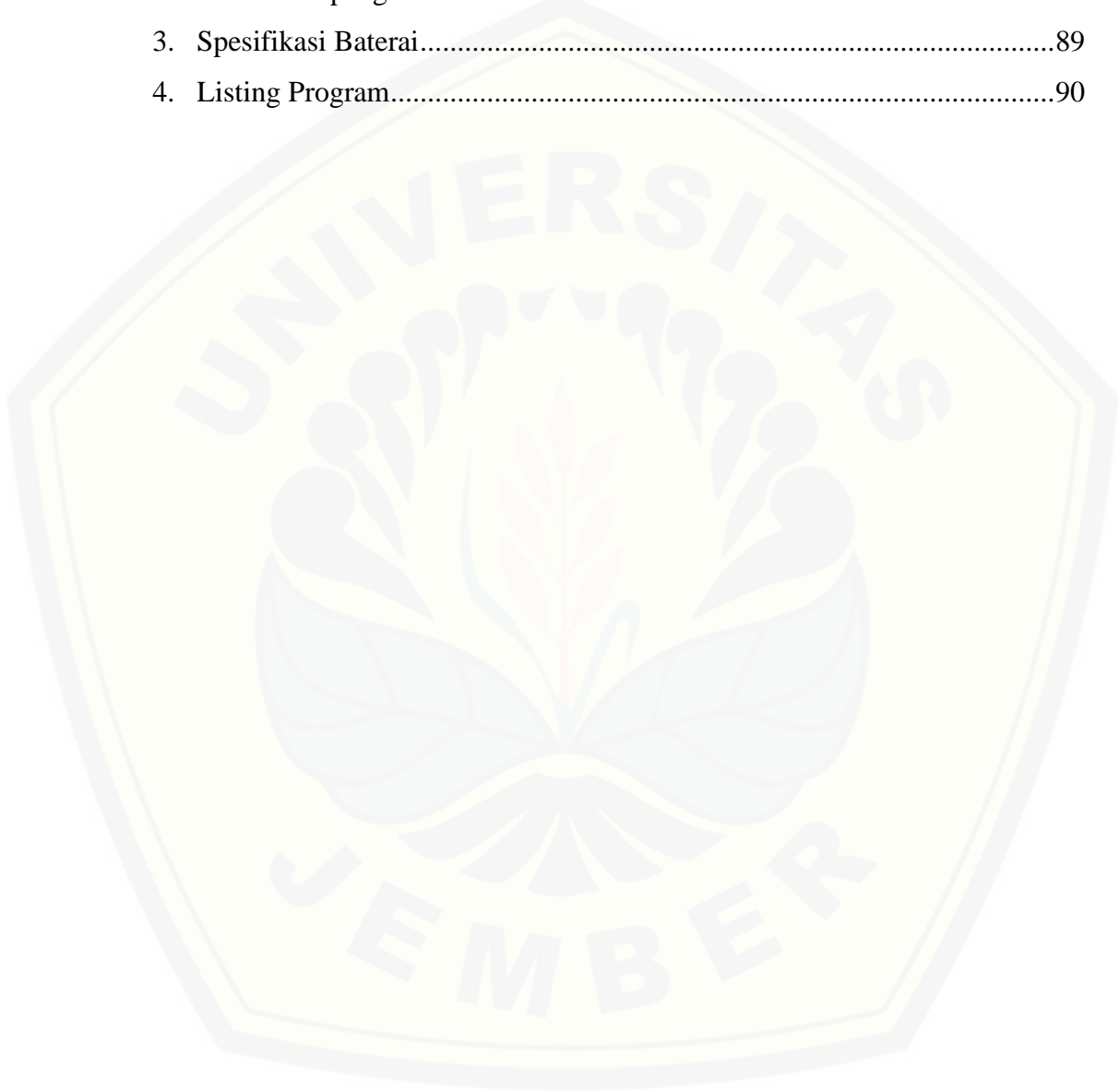
**DAFTAR GAMBAR**

	Halaman
Gambar 2.1 Baterai .....	6
Gambar 2.2 <i>Solar Cell</i> .....	8
Gambar 2.3 Skema Efek <i>Photovoltaic</i> .....	10
Gambar 2.4 Sensor Tegangan DTC Elektronik .....	10
Gambar 2.5 Rangkaian Skematik Sensor Arus ACS712 .....	11
Gambar 2.6 Modul Kontroler Arduino Uno R3.....	13
Gambar 2.7 LCD.....	14
Gambar 2.8 Modul RTC .....	15
Gambar 2.9 Modul <i>SD Card</i> .....	15
Gambar 2.10 Rangkaian SEPIC.....	16
Gambar 2.11 Mosfet SEPIC <i>Converter ON</i> .....	18
Gambar 2.12 Mosfet SEPIC <i>Converter OFF</i> .....	18
Gambar 2.13 Sinyal <i>Switching Mosfet SEPIC Converter</i> .....	19
Gambar 2.14 Konsep Dasar Logika <i>Fuzzy</i> .....	24
Gambar 2.15 Perbedaan <i>Bolean Logic</i> Dengan <i>Fuzzy Logic</i> .....	25
Gambar 2.16 Blok Diagram Sistem <i>Fuzzy 1</i> .....	29
Gambar 2.17 Blok Diagram Sistem <i>Fuzzy 2</i> .....	29
Gambar 2.18 <i>Fuzzification</i> .....	30
Gambar 2.19 <i>Defuzification</i> .....	31
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian .....	33
Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem .....	35
Gambar 3.3 Rangkaian Modul <i>Solar Cell</i> .....	37
Gambar 3.4 Skematik Sensor Tegangan .....	37
Gambar 3.5 Rangkaian Pengujian Sensor Tegangan .....	38
Gambar 3.6 <i>Design SEPIC Converter</i> Pada Matlab 2015b .....	39
Gambar 3.7 Blok Sistem Kendali <i>Fuzzy</i> .....	45
Gambar 3.8 <i>Membership Function</i> Nilai <i>Error</i> .....	46

Gambar 3.9 <i>Membership Function</i> Nilai Delta Error.....	46
Gambar 3.10 <i>Membership Function</i> Nilai Output .....	47
Gambar 3.11 Baterai VOZ .....	48
Gambar 3.12 Rangkaian Baterai Sepeda Listrik .....	48
Gambar 3.13 Desain Alat 3D .....	49
Gambar 4.1 Aliran Daya Dari Konverter SEPIC Pada Mode Operasi Mofset ON .....	51
Gambar 4.2 Aliran Daya Dari Konverter SEPIC Pada Mode Operasi Mofset OFF .....	51
Gambar 4.3 Hasil Simulasi Konverter SEPIC Pada Matlab R2015b .....	52
Gambar 4.4 Rancangan Konverter SEPIC .....	54
Gambar 4.5 Skematik Rancangan <i>Board Driver</i> Konverter SEPIC.....	54
Gambar 4.6 Hasil Rancangan <i>Board Driver</i> Konverter SEPIC .....	55
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan <i>Duty Cycle</i> Terhadap Tegangan Keluaran Konverter SEPIC.....	58
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Daya <i>Input</i> Dan Daya <i>Output</i> Konverter SEPIC .....	60
Gambar 4.9 Grafik Efisiensi <i>Open Loop</i> Beban 100 Ohm Konverter SEPIC.....	60
Gambar 4.10 <i>Membership Fuction</i> Nilai Error .....	62
Gambar 4.11 <i>Membership Fuction</i> Nilai Delta Error.....	63
Gambar 4.12 <i>Membership Fuction</i> Nilai Output .....	64
Gambar 4.13 <i>Defuzification</i> .....	67
Gambar 4.14 Grafik Drop Tegangan Pada Konverter SEPIC Tanpa Kontrol Dengan Pemberian Variasi Beban .....	69
Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Antara Tegangan <i>Input</i> Dan Tegangan <i>Output</i> Saat Tanpa Beban .....	71
Gambar 4.16 Grafik Pengujian Pemberian Beban 330 Ohm .....	72
Gambar 4.17 Grafik Pengujian Pemberian Beban 100 Ohm .....	73
Gambar 4.18 Grafik Pengujian Pemberian Beban 66 Ohm .....	73

**DAFTAR LAMPIRAN**

	Halaman
1. Gambar Alat .....	86
2. Gambar Lapangan .....	87
3. Spesifikasi Baterai.....	89
4. Listing Program.....	90



## **BAB 1. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar belakang**

Energi merupakan kebutuhan vital untuk kelangsungan hidup suatu bangsa. Energi merupakan input penting bergeraknya roda perekonomian suatu negara. Dari aktivitas perekonomian ini, kemudian akan dihasilkan output (barang dan jasa) yang merupakan parameter penting dalam mengukur kinerja perekonomian suatu negara melalui pertumbuhan ekonomi. Oleh karena itu, ketersediaan dan konsumsi energi merupakan kunci dalam proses pertumbuhan ekonomi. Ketersediaan energi yang berkesinambungan, handal, terjangkau, dan ramah lingkungan merupakan hal yang fundamental dalam mendukung perkembangan ekonomi suatu bangsa. Energi merupakan sektor yang strategis dan mempunyai peranan penting dalam pencapaian tujuan sosial, ekonomi dan lingkungan untuk pembangunan berkelanjutan serta merupakan pendukung bagi kegiatan ekonomi nasional (Sa'adah A F, 2016).

Kebutuhan energi Indonesia dari tahun ke tahun mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi dan jumlah penduduk Indonesia. Sementara cadangan energi tidak terbarukan seperti minyak bumi, gas bumi dan batubara semakin menipis. Sedangkan energi terbarukan seperti tenaga air, tenaga surya, angin, dan panas bumi yang cadangannya cukup besar belum dimanfaatkan dan dikembangkan dengan baik. Cadangan minyak bumi Indonesia sebesar 3.6 miliar barel yang diperkirakan akan habis 13 tahun mendatang. Cadangan gas bumi sebesar 100.3 TCF yang diperkirakan akan habis 34 tahun lagi, dan cadangan batubara sebesar 31.35 miliar ton yang diperkirakan akan habis 72 tahun lagi. Sementara sumber daya panas bumi Indonesia sebesar 28.91 ribu MW baru dimanfaatkan 4.9%, berdasarkan Renstra Kementerian ESDM Tahun 2015-2019 (KESDM 2015).

Untuk mengurangi emisi gas buang yang dihasilkan dari hasil pembakaran pada kendaraan bermotor maka dilakukan beberapa inovasi yang berhubungan dengan perkembangan teknologi salah satunya yaitu dengan membuat sepeda listrik. dimana sebuah sepeda listrik sebuah alat transportasi yang ramah



lingkungan, didesain untuk mengurangi emisi dari kendaraan bahan bakar minyak serta dapat digunakan untuk sarana rekreasi, fitness dan olahraga lainnya. Sepeda listrik saat ini semakin didukung keberadaannya karena semakin mencuatnya isu semakin menipisnya ketersediaan bahan bakar minyak. Sepeda listrik ini menggunakan tenaga listrik dari baterai/aki untuk memutar motor kemudian dapat menggerakkan sepeda tersebut. (Trisnaningtyas : 2012)

Sepeda listrik pada saat ini saat dilakukan pengisian pada baterai masih bersumber dari listrik konvensional yaitu listrik yang bersumber dari PT. PLN (Perusahaan Listrik Negara) yang dikirimkan oleh pembangkit tenaga listrik. Sehingga untuk melakukan pengisiannya, maka masih akan menambah beban pembangkit yang kebanyakan masih menggunakan sumber fosil seperti batubara. Padahal banyak sekali potensi energi alternatif yang dapat dikembangkan di Indonesia, diantaranya adalah energi matahari. Energi matahari sangat ramah lingkungan dan tidak menimbulkan polusi udara maupun polusi suara yang dapat mengganggu aktivitas manusia. Sehingga setiap stasiun pengisian tidak perlu lagi bergantung dari sumber PLN dan untuk dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik membutuhkan sebuah alat yaitu panel surya (Aziz M.A, 2018).

Menurut data Ditjen Ketenagalistrikan dan Pengembangan Energi pada tahun 1997, kapasitas yang terpasang pembangkit listrik tenaga surya di Indonesia mencapai 0.88 MW. Dengan rasio tersebut elektrifikasi di Indonesia baru mencapai 55-60% dan hampir seluruh daerah yang belum dialiri listrik adalah daerah pedesaan yang jauh dari pusat pembangkit listrik disebabkan sulitnya medan pemasangan instalasi jaringan listrik untuk menerobos ke pedesaan. Melihat permasalahan diatas maka pembangkit listrik tenaga surya merupakan solusi yang sangat tepat untuk mengatasi permasalahan diatas sebagai alternatif sumber energi listrik. Dalam kurun waktu 2005 – 2025 pemerintah telah merencanakan penyedia satu juta *Solar Home System* berkapasitas 50 WP untuk masyarakat berpendapatan rendah serta 346.5 MWP PLTS hybrid untuk daerah yang terpencil. Hingga tahun 2025 pemerintah merencanakan akan ada 0.87 GW kapasitas PLTS terpasang. (ESDM, 2006)

Energi listrik DC hasil keluaran panel surya ini yang nantinya digunakan untuk melakukan charging pada baterai sepeda listrik agar tidak bergantung pada sumber listrik dari PLN. Namun masih ada beberapa kendala seperti perbedaan tegangan keluaran dengan yang dibutuhkan baterai, variasi beban dan cuaca. Sehingga dibutuhkan proses konverter untuk menjaga kestabilan tegangan yang dihasilkan dan sangat menentukan daya keluaran dari *solar cell* serta tidak merusak baterai itu sendiri. Untuk menanggulangi hal tersebut dapat dilakukan dengan menambahkan konverter DC/DC dengan kontrol tegangan output jenis SEPIC. Konverter SEPIC sangat efektif untuk mengisi baterai dengan panel PV. SEPIC adalah jenis DC-DC konverter yang memungkinkan output tegangan lebih besar dari atau kurang dari tegangan input, output dari SEPIC dikendalikan oleh *duty cycle* dari kontrol MOSFET. (2011, IEEE Internasional Conference)

### 1.2 Rumusan Masalah

Adapun beberapa rumusan masalah yang dibuat dalam melakukan penelitian diantaranya yaitu :

1. Bagaimana merancang SEPIC *converter* untuk pengisian baterai 48V menggunakan panel surya.
2. Bagaimana merancang pengaturan kestabilan tegangan keluaran dari SEPIC *converter* untuk charger baterai dengan metode *Fuzzy Logic*.

### 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Tidak membahas tentang suhu, kelembaban serta kemiringan panel surya.
2. *Solar cell* yang digunakan sebesar 50 WP dengan jenis *Polycrystalline* sebanyak 2 buah dengan konfigurasi secara seri.
3. Baterai yang digunakan yaitu baterai dengan spesifikasi 12 Volt / 12Ah sebanyak 4 buah yang dirangkai secara seri



#### 1.4 Tujuan Penelitian

Pada penelitian yang akan dilakukan ini memiliki beberapa tujuan sebagai pencapaian akhir diantaranya yaitu :

1. Membuat rancang bangun SEPIC *converter* untuk pengisian baterai 48V menggunakan panel surya.
2. Mengatur kestabilan tegangan keluaran dari SEPIC *converter* agar sesuai dengan tegangan yang di butuhkan pada baterai 48 V dengan metode Fuzzy Logic.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Adapaun manfaat yang didapatkan dari hasil penelitian tentang sistem pengisian baterai 48 V menggunakan *solar cell* diantaranya yaitu :

1. Membuat inovasi terbaru dengan memanfaatkan energi surya untuk proses pengisian baterai.
2. Memanfaatkan sumber energi matahari yang melimpah, sebagai energi terbarukan yang ramah lingkungan

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada tinjauan pustaka ini akan diuraikan tentang beberapa dasar teori yang akan digunakan untuk memecahkan masalah pada penelitian ini yang digunakan sebagai acuan pada saat melakukan pengujian serta pengambilan data. Serta dijelaskan bagaimana karakteristik komponen-komponen sehingga dapat digunakan pada saat melakukan penelitian. Berdasarkan hal-hal tersebut maka dapat dijelaskan dengan bahasan dibawah ini, yaitu antara lain :

### 2.1 Penelitian Terkait

Penelitian terkait ini merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Mochammad Al Aziz pada tahun 2018 dengan judul “Sistem Kontrol *Fuzzy Logic* Untuk Tegangan Keluaran *Boost Converter* Pada Pengisian Baterai Sepeda Listrik Menggunakan *Solar Cell*”. Pada penelitian ini digunakan converter DC/DC jenis Boost untuk menstabilkan daya keluaran pada panel surya dengan menggunakan kontrol fuzzy logic, namun pada penelitian ini proses *charging* baterai sepeda listrik membutuhkan waktu yang cukup lama yaitu 3 hari.

Selain itu juga pengembangan penelitian dari M. Choirul Anwar pada tahun 2017 dengan judul “Implementasi DC/DC Tipe Sepic Pada Generator Termoelektrik Menggunakan Kontrol MPPT *Incremental Conductance*”. Yang mana pada penelitian ini termoelektrik generator digunakan untuk mengisi baterai VRLA 5 V. Untuk memaksimalkan daya keluaran dari termoelektrik generator ditambahkan konverter jenis SEPIC dengan kontrol MPPT *Incremental Conductance*. Penelitian ini menghasilkan konverter yang memiliki ripple arus yang kecil dan efisiensi cukup tinggi.

Dari kedua penelitian tersebut akan dilakukan pengembangan yaitu “Rancang Bangun Konverter SEPIC Untuk Pengisian Baterai 48V Berbasis *Fuzzy Logic*”. Diharapkan pada penelitian ini memperoleh hasil daya keluaran *solar cell* yang maksimal dan *ripple* arus konverter menjadi lebih kecil sehingga efisiensi konverter menjadi lebih tinggi, keluaran konverter tidak bersifat *inverting*, karena rangkaian SEPIC merupakan pengembangan dari rangkaian *buck-boost converter*

agar *output converter* tidak bersifat *inverting*. Serta dapat mempercepat proses *charging* pada baterai sepeda listrik dari penelitian sebelumnya.

## 2.2 Baterai

Baterai atau aki adalah sebuah sel listrik yang di dalamnya berlangsung proses elektrokimia yang *reversibel* (dapat berbalikan) dengan tingkat efisiensi yang tinggi. Definisi lain dari baterai adalah alat untuk menyimpan tenaga listrik melalui proses elektrokimia sehingga sumber tenaga listrik dapat diubah menjadi tenaga kimia dan sebaliknya. Proses elektrokimia *reversibel*, adalah proses yang terjadi di dalam baterai akibat dari pengubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan), dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia, pengisian kembali dengan cara regenerasi dari elektroda-elektroda yang dipakai, yaitu dengan melewati arus listrik dalam arah (polaritas) yang berlawanan di dalam sel.



Gambar 2.3. *Battery* atau *Accu*

Beberapa proses yang terjadi pada baterai diantaranya yaitu :

a. *Charging* Baterai Aki

Waktu pengisian baterai aki/sealed lead acid adalah 12 sampai 16 jam. Dengan arus pengisian yang lebih tinggi dan metode pengisian *multi-stage*, waktu pengisian dapat berkurang sampai dengan 10 jam atau kurang.

Pengisian *multi-stage*, terdiri dari 3 tahap: *constant-current charge*, *topping charge* dan *float charge*. Selama *constant-current charge*, baterai diisi sampai 70 persen dalam waktu 5 jam; sisanya 30 persen adalah pengisian pelan-pelan dalam *topping charge*. *Topping charge* butuh

sekitar 5 jam yang lain dan ini sangat penting untuk menjaga baterai tetap baik. Jika pola pengisian baterai tidak lengkap sesuai dengan kedua *stage* diatas, maka baterai akan kehilangan kemampuan untuk menerima *fullcharge* dan kinerja baterai akan berkurang. Tahap ketiga adalah *float charge*, kompensasi *self-discharge* setelah baterai terisi penuh.

Baterai aki, terdiri dari beberapa sel. Baterai aki 12 Volt, terdiri dari 6 sel. Batas tegangan satu sel umumnya mulai dari 2.30V sampai 2.45V. Jadi baterai aki 12 Volt, tegangan sebenarnya adalah antara 13.8 V - 14.7 Volt. Kondisi baterai aki tergantung dari suhu. Suhu tinggi menyebabkan baterai cepat rusak. Pada saat *charging* baterai pada suhu ruangan melebihi 30 derajat celsius, tegangan yang direkomendasikan adalah 2.35V/sel. Pada saat *charging*, dan suhu ruangan tetap dibawah 30 derajat Celcius, tegangan *charger* untuk masing-masing sel disarankan 2.40 sampai 2.45Volt.

Tegangan *float charge* yang direkomendasikan dari kebanyakan baterai aki lead acid adalah di antara 2.25 sampai 2.30V/sel. Kompromi yang baik adalah 2.27V. *Float charge* yang optimal bergeser tergantung dari suhu. Pada suhu tinggi dibutuhkan tegangan lebih kecil dan suhu lebih rendah dibutuhkan tegangan lebih tinggi. *Charger* dengan suhu yang fluktuatif harus dilengkapi dengan sensor suhu untuk mengoptimalkan *float voltage*. Baterai aki memerlukan periodik *discharge*, untuk memperpanjang umur baterai.

Penerapan sekali dalam sebulan, dimana discharge dilakukan hanya berkisar 10 persen dari total kapasitas. *Full discharge* sebagai bagian dari pemeliharaan rutin tidak direkomendasikan karena akan mengurangi siklus hidup baterai. Baterai aki memiliki tegangan puncak bervariasi pada suhu yang bervariasi saat pengisian ulang dan *float charge*. Menerapkan kompensasi suhu pada *charger* untuk menyesuaikan suhu ekstrim memperpanjang umur baterai hingga 15 persen. Ini benar jika dijalankan pada suhu tinggi.

#### b. *Discharging* Baterai Aki

Kapasitas baterai sebesar 100 Ampere hour, artinya arus baterai akan habis dalam satu jam, bila beban menggunakan 100 Ampere. *Level discharge* baterai aki yang direkomendasikan adalah sampai dengan tegangan 1.75 Volt per sel.

Baterai aki akan rusak apabila tegangan per sel lebih kecil dari 1.75 Volt (atau 10.5 Volt untuk baterai 12 Volt).

Masa baterai dihitung dalam jumlah *cycle*. Satu *cycle* adalah satu kali penggunaan dan pengisian. *Depth of discharge* (jumlah pemakaian ampere baterai), mempengaruhi jumlah *cycle* baterai aki. Pada suhu 25 derajat Celcius:

- 150 - 200 *cycle* dengan 100 persen *depth of discharge* (*full discharge*).
- 400 - 500 *cycle* dengan 50 persen *depth of discharge* (*partial discharge*).
- 1000 atau lebih dengan 30 persen *depth of discharge* (*shallow discharge*).

### 2.3 Panel Surya

Sel surya merupakan sebuah piranti yang digunakan untuk mengkonversikan energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Yang mana pada sel surya bekerja berdasarkan prinsip kerja dari sebuah semikonduktor *p-n junction*, karena pada sel surya menggunakan sebuah silikon sebagai bahan utama dalam penyusunnya. Pada sel surya terdiri dari lapisan semikonduktor, yaitu semikonduktor *doping-n* dan *doping-p* yang membentuk *p-n junction*, lapisan antirefleksi, dan substrat logam sebagai tempat mengalirnya arus dari semikonduktor tipe-n (elektron) dan tipe-p (*hole*). Konversi energi listrik yang dihasilkan berdasarkan irradiansi cahaya pada suatu sel semikonduktor yang diketahui sebagai efek *photovoltaic*. Saat cahaya mengenai semikonduktor, *energy* foton yang lebih besar dari energi *band gap*-nya akan mematahkan ikatan electron valensi, sehingga pasangan *electron-hole* akan tergenerasi. Sehingga pasangan *electron-hole* akan menimbulkan medan listrik. (Rianti : 2010)



Gambar 2.4. Solar Cell

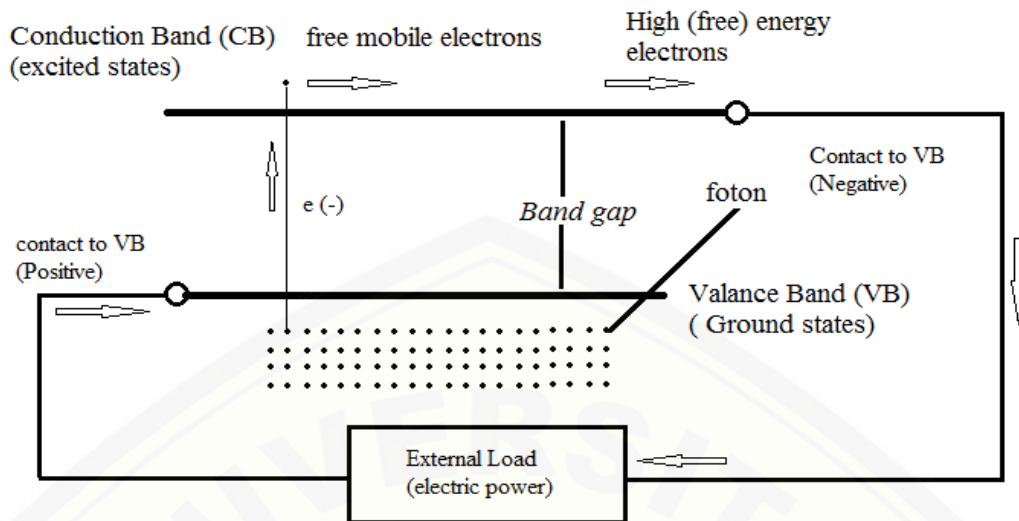


### 2.3.1 Prinsip kerja Sel Surya

Sel surya yang terbuat dari bahan semikonduktor memiliki *electron* yang terikat dengan lemah pada suatu pita energy yang disebut pita valensi, dan saat terdapat *energy* yang lebih besar dari batas *threshold (band gap energy)* yang diberikan pada *electron* di pita valensi tersebut, maka ikatan elektrik tersebut akan putus. Kemudian *electron* tersebut bergerak bebas pada suatu pita *energy* baru yang disebut dengan pita konduksi. Sehingga elektron bebas pada pita konduksi dapat menghasilkan listrik. Energi yang dibutuhkan untuk membebaskan *electron* ini didapatkan dari foton yang merupakan bagian partikel dari cahaya.

Pada saat semikonduktor yang berada pada sel surya terkena sinar matahari yang membawa partikel-partikel foton menabrak sel surya yang didalamnya terdapat semikonduktor P-N Junction. Maka ketika *energy* foton tersebut cukup maka *electron* akan didorong keluar dari pita valensi (*VB*) yang kemudian akan melewati pita pemisah (*bandgap*) hingga menuju pita konduksi (*CB*). Kemudian suatu *selective contact* akan mengumpulkan elektron-elektron pada pita konduksi dan akan menggerakkan elektron-elektron tersebut. Sehingga pergerakan dari *electron* inilah yang membuat terciptanya arus listrik akibat adanya perbedaan potensial. Energi dari arus listrik digunakan untuk mengerjakan berbagai hal sebelum kembali menuju pita valensi melalui *selective contact* yang kedua.

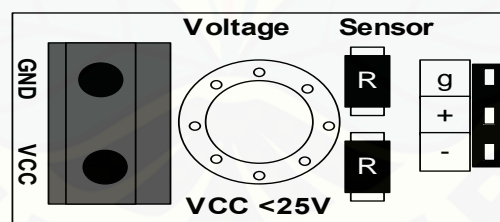
Dikarenakan terjadinya suatu "*doping*" pada sel surya maka sebuah sel surya dianggap sebagai suatu *pn junction*. *Doping* ini menyebabkan salah satu dari bagian *pn junction* menjadi sisi p, karena terapat banyak muatan positif dan sedangkan bagian yang lain menjadi muatan negatif karena memiliki muatan negatif yang banyak.



Gambar 2.5 Skema efek *Photovoltaic*  
(Hegedus & Luque : 2003)

## 2.4 Sensor Tegangan

Sensor tegangan adalah modul pembagi tegangan yang digunakan untuk mengubah tegangan yang akan diukur untuk dapat diumpungkan ke pin kontroler yang sudah memiliki konverter analog ke digital (ADC).



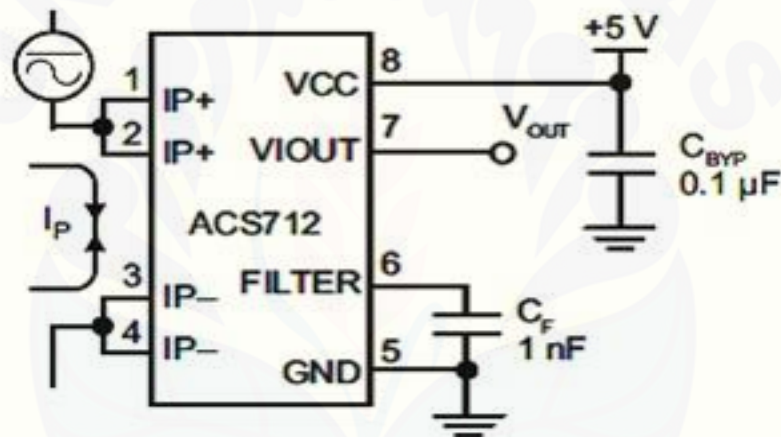
Gambar 2.6 Sensor Tegangan DCT-Elektronik

Gambar (a) adalah modul sensor pembagi tegangan, sedangkan Gambar (b) adalah diagram skematik dari sensor tersebut. Kaki VCC dan GND adalah kaki-kaki untuk menempatkan terminal tegangan yang akan diukur sedangkan pin g, + dan - adalah pin untuk dihubungkan dengan kaki ADC kontroler (Autodesk.Inc,2015).



## 2.5 Sensor Arus ACS 712

ACS712 adalah sebuah modul sensor arus yang bekerja berdasarkan efek medan. Sensor arus ACS712 dapat digunakan untuk mengukur arus AC atau DC. Modul sensor arus ACS712 telah dilengkapi dengan rangkaian penguat operasional, sehingga sensitivitas untuk pengukuran arusnya meningkat dan dapat mengukur perubahan arus yang relatif kecil. Sensor jenis ini juga sering digunakan pada aplikasi-aplikasi di bidang industri, komersial, maupun komunikasi. Contoh aplikasinya antara lain untuk sensor kontrol motor, deteksi dan manajemen penggunaan daya, sensor untuk catu daya tersaklar, sensor proteksi terhadap arus lebih, dan lain sebagainya.



Gambar 2.7 Rangkaian Skematik Sensor Arus ACS712

## 2.6 Arduino UNO

Arduino Uno adalah modul mikrokontroler berbasis ATmega 328. Modul ini memiliki empat belas pin *input-output* (14 I/O) di mana enam diantaranya dapat digunakan sebagai *output pulse width modulation* (PWM), enam *input* analog, sebuah osilator Kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, tombol *reset* dan koneksi ke catu daya. Kontroler ini semua yang dibutuhkan untuk mendukung mikrokontroler.

“Uno” berarti satu dalam bahasa Itali dan hal ini untuk menandai versi pertama (Arduino 1.0) yang akan menjadi versi acuan bagi Arduino berikutnya. Uno adalah seri terakhir dari seri papan atau modul USB Arduino. Uno tidak lagi

menggunakan *chip* FTDI USB-to-serial tetapi menggunakan Atmega 8U2 sebagai konverter USB ke serial.

Masing-masing pin I/O dapat digunakan sebagai *input* maupun *output* dengan menggunakan fungsipin *Mode()*, *digitalWrite()*, dan *digitalRead()*. Masing-masing pin ini beroperasi pada tegangan 5 volt dan dapat menerima arus 40 mA serta sudah memiliki *pull-up* resistor 20-50 k $\Omega$  yang secara *default* tidak tersambung (*disconnected*).

Berikut ini adalah tabel spesifikasi dari Arduino Uno R3 dapat kita lihat pada Tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino UNO-R3

Mikrokontroler	Atmega 328
Tegangan Operasi	5 V
Tegangan Input	7-12 V
Tegangan Input (Batas)	6-20 V
I/O Digital	14 (dengan tersedia 6 buah PWM output)
PWM digital I/O	6 buah
Input Analog	6 buah
Arus DC per I/O pin	40 Ma
Arus DC untuk pin 3.3	50 Ma
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) Dengan 0.5 KB digunakan oleh Bootloader
SRAM	2 Kb (ATmega328p)
EEPROM	1 Kb (ATmega328p)
Kecepatan Clock	16 MHz

Diterjemahkan dari: (Arduino UNO 2017)

(Sumber: [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc))

Gambar 2.8 menunjukkan board modul Arduino UNO-R3 yang merupakan penyederhanaan dari gambar modul aslinya (Arduino UNO 2015).

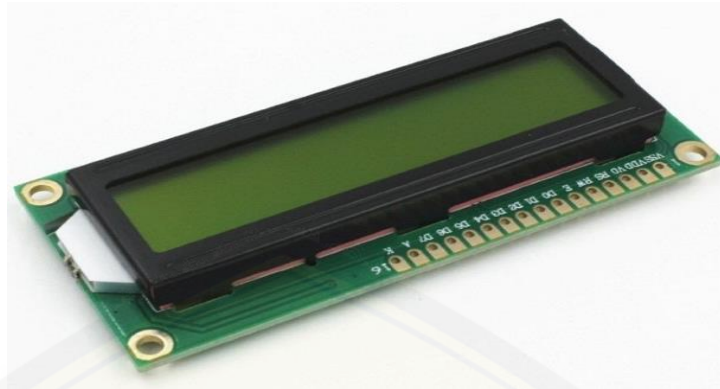


Gambar 2.8 Modul Kontroler Arduino UNO-R3.

## 2.7 LCD (*Liquid Crystal Display*)

*Liquid Cristal Display* adalah salah satu komponen elektronika yang berfungsi sebagai tampilan suatu data, baik karakter, huruf ataupun grafik. LCD (*Liquid Cristal Display*) adalah salah satu jenis display elektronik yang dibuat dengan teknologi CMOS logic yang bekerja dengan tidak menghasilkan cahaya tetapi memantulkan cahaya yang ada di sekelilingnya terhadap front-lit atau mentransmisikan cahaya dari *back-lit* LCD (*Liquid Cristal Display*) berfungsi sebagai penampil data baik dalam bentuk karakter, huruf, angka ataupun grafik.

LCD terdiri atas beberapa lapisan diantaranya yaitu lapisan dari campuran organik antara lapisan kaca bening dengan elektroda transparan indium oksida dalam bentuk tampilan seven-segment dan lapisan elektroda pada bagian kaca belakang. Pada saat elektroda diaktifkan dengan memberikan medan listrik (tegangan), maka molekul organik yang panjang dan silindris akan menyesuaikan diri dengan elektroda dari segmen. Lapisan sandwich memiliki polarizer cahaya vertikal depan dan polarizer cahaya horisontal belakang yang diikuti dengan lapisan reflektor. Cahaya yang dipantulkan tidak dapat melewati molekul-molekul yang telah menyesuaikan diri dan segmen yang diaktifkan terlihat menjadi gelap dan membentuk karakter data yang ingin ditampilkan.



Gambar 2.9 LCD (*Liquid Crystal Display*)

Konfigurasi pin untuk LCD diantaranya yaitu :

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

## 2.8 RTC

RTC (*Real time clock*) adalah sebuah chip jam elektronik yang digunakan untuk menghitung waktu (mulai dari detik hingga tahun) dengan akurat dan menjaga/menyimpan data waktu tersebut secara *real time*. Dikarenakan proses kerja dari jam tersebut bekerja *real time*, maka setelah proses penghitungan waktu dilakukan, maka *output* datanya langsung disimpan atau dikirim ke devais lain melalui sistem antarmuka.



Chip RTC lebih sering dijumpai pada motherboard PC (biasanya terletak dekat chip BIOS). Semua komputer menggunakan RTC karena berfungsi menyimpan informasi jam terkini dari komputer yang bersangkutan. RTC dilengkapi dengan baterai sebagai pemasok daya pada chip, sehingga jam akan tetap *up-to-date* walaupun komputer dimatikan. RTC dinilai cukup akurat sebagai pewaktu (timer) karena menggunakan osilator kristal.



Gambar 2.10 Modul *Real Time Clock* ( RTC ) DS1307.

## 2.9 Data Logger

*SD Card Shield* atau SD Modul merupakan solusi untuk mengirim data ke *SDcard*. SD Modul dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 SD Card Modul

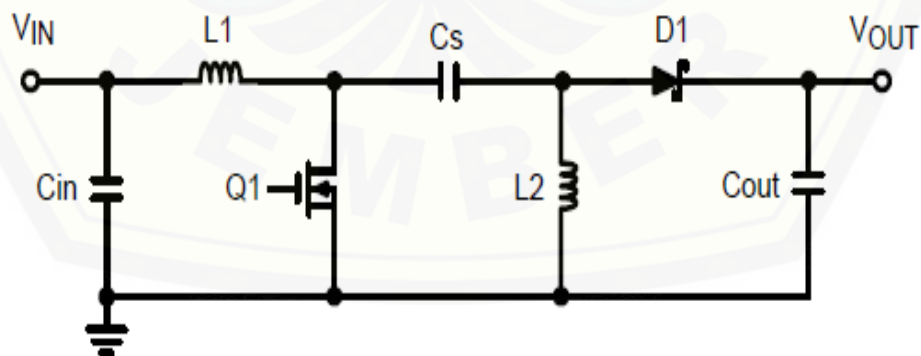
*Pinout* dari *SD Card Shield* dapat dihubungkan ke Arduino maupun mikrokontroler lainnya, sehingga bermanfaat untuk menambah kapasitas tempat penyimpanan data dan pencatatan data. *SD Card Shield* ini dapat langsung dipasang pada Arduino dan terdapat *switch* untuk memilih *flash card slot*. Keistimewaan dari SD Module ini adalah:

1. Terdapat modul untuk standar *SD card* dan *Micro SD (TF) card*.
2. Dapat dipasang langsung pada Arduino.
3. Dapat digunakan untuk mikrokontroler lain.

## 2.10 Konverter SEPIC

SEPIC (*Single Ended Primary Inductor Converter*) merupakan konverter DC/DC yang dapat bertindak sebagai penaik tegangan atau penurun tegangan keluaran yang dihasilkan, seperti *buck-boost converter*. *Output* tegangan dari SEPIC dapat dikendalikan dengan switching pada MOSFET sesuai dengan *duty cycle* yang diinginkan. Pada *duty cycle* dibawah 50%, konverter ini bekerja sebagai penurun tegangan sedangkan pada *dutycycle* diatas 50% bekerja sebagai penaik tegangan. Konverter ini mempunyai keluaran *non-inverting* (polaritas tegangan masukan sama dengan polaritas tegangan keluaran) dan terdapat kapasitor yang dikopel sehingga arus ripple dapat diperkesil, serta tidak menghasilkan panas yang berlebih dari komponen ketika bekerja cukup berat. Ketika saklar dimatikan dapat mengikuti *dump transient* yang besar sehingga tegangan dapat turun menjadi 0V.

SEPIC dibuat atas dasar pengembangan konverter jenis sebelumnya, yakni *buck*, *boost*, *buck-boost*, dan CUK. Konverter topologi ini adalah perbaikan dari topologi konverter DC-DC tipe cuk. SEPIC *converter* merupakan *non-inverting dc-dc converter* dan dapat menghasilkan tegangan diatas maupun dibawah dari tegangan masukan. Masukan arus adalah *non-pulsating*, tetapi arus keluaran berupa *pulsating*. Nama SEPIC merupakan singkatan dari *single-ended primary inductance converter* (Eakburanawat & Boonyaroonate, 2010)



Gambar 2.13 Rangkaian SEPIC

Pada gambar 2.13 tersebut dapat kita ketahui bahwa komponen utama pada SEPIC *converter* yaitu (L1) dan induktor2 (L2) , kapasitor kopling (Cs), dioda (D), kapasitor *output* (Cout).



### 2.10.1 Prinsip Kerja SEPIC Converter

Prinsip kerja SEPIC *converter* sama seperti *buck-boost converter*, namun keluaran dari konverter ini bersifat *non inverting*, artinya polaritas dari tegangan *input* sama seperti polaritas tegangan output tidak seperti *buck-boost converter* yang bersifat *inverting*. Mode yang digunakan pada SEPIC converter yaitu mode CCM (*Continuous Conduction Mode*). Dalam mode ini arus induktor tidak pernah jatuh ke-nol dalam semua siklus pensaklaran. Ketika SEPIC bekerja pada kondisi *Steady State*, tegangan rata-rata di kapasitor  $C_s$  ( $V_C$ ) sama dengan tegangan input ( $V_{IN}$ ). Karena kapasitor  $C_s$  memblok arus searah, arus rata-rata di atasnya ( $I_C$ ) adalah nol, sehingga induktor  $L_2$  menjadi satu-satunya sumber arus beban. Oleh karena itu arus rata-rata melalui induktor  $L_2$  sama dengan arus beban rata-rata. Tegangan rata-rata dapat dituliskan dengan rumus:

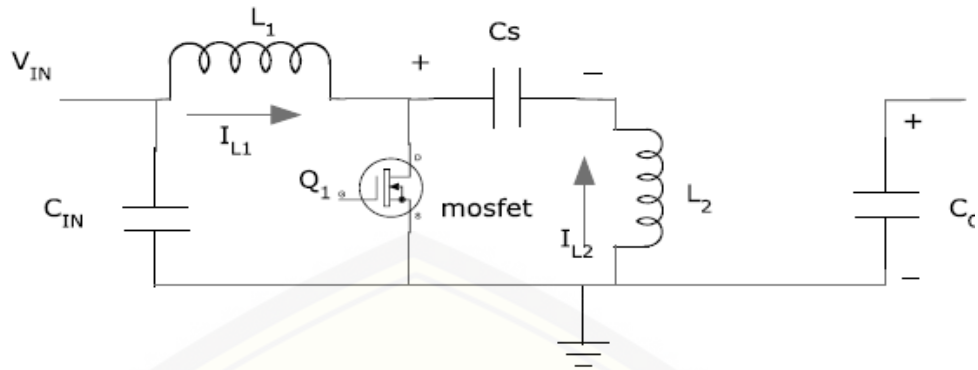
$$V_{in} = V_{L1} + V_C + V_{L2} \dots \dots \dots (2.1)$$

Karena tegangan rata-rata  $V_C = V_{in}$ , sehingga

$$V_{L1} = -V_{L2} \dots \dots \dots (2.2)$$

Prinsip kerja dari SEPIC *converter* dapat dibagi menjadi 2 kondisi yaitu :

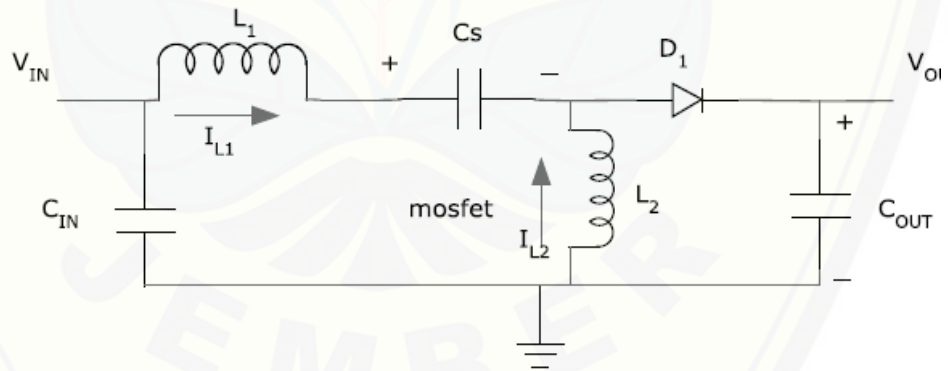
Ketika MOSFET *on* (tertutup). Ketika MOSFET dalam kondisi *on* arus  $I_{L1}$  meningkat sedangkan arus  $I_{L2}$  berkebalikan dengan  $I_{L1}$ . Selama MOSFET kondisi *turn on* maka tidak ada arus yang melewatinya dan tegangan pada diode adalah negatif ketika MOSFET *turn off*, maka kapasitor coupling akan memulai *charge*, dan induktor mulai *discharge* ketika kapasitor mulai *charging* maka arus menuju kapasitor mulai turun dan ketika *discharge*, arus *charging* semakin meningkat. Jadi saat  $T_{on}$ , maka kapasitor kopling akan mulai *discharge* melalui induktor, dan arus di kapasitor meningkat, tetapi dengan arah sebaliknya, sehingga arusnya negatif. Selama  $T_{off}$  kapasitor mulai *charge* dan arus maju. Ketika MOSFET *turn on*,  $I_1$  akan mulai *charging* melalui  $Q$  sehingga arus meningkat pada MOSFET dan  $L_1$  dan juga sebaliknya, saat MOSFET *turn off* maka  $L_1$  mulai menurun arus kedua induktor sama seperti kedua induktor, *charging* dan *discharging* secara terus menerus.



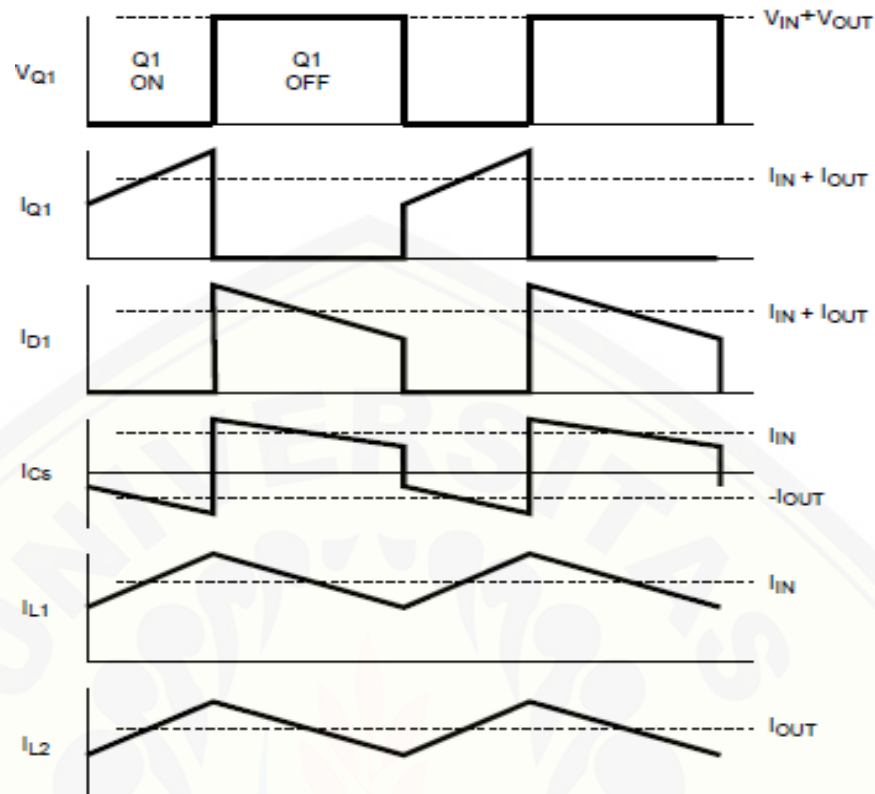
Gambar 2.14 MOSFET SEPIC Converter ON  
(Ranjan & Kumar)

Ketika MOSFET off, pada kondisi ini arus pada kapasitor kopling bernilai sama dengan  $I_{L1}$ , induktor tidak akan mengubah nilai arus. Arus  $L2$  akan tetap kontinyu ke arah negatif. Hal ini dapat dilihat dari diagram bahwa  $I_{L2}$  negatif akan ditambahkan ke  $I_{L1}$  saat ini untuk meningkatkan arus yang dikirimkan ke beban. Dengan Menggunakan Hukum Arus Kirchhoff

$$I_{D1} = I_{Cs} - I_{L2} \dots \dots \dots (2.3)$$



Gambar 2.15 MOSFET SEPIC Converter OFF



Gambar 6.16 Sinyal Switching MOSFET SEPIC Converter

### 2.10.2 Parameter perancangan Konverter SEPIC

Untuk mendesain sebuah induktor, banyak parameter yang dibutuhkan agar perancangan menghasilkan hasil rancangan yang sesuai target. Pada perancangan converter SEPIC pada penelitian ini akan dilakukan berdasarkan acuan dari *Texas Instruments*. Berikut langkah dalam mendesain SEPIC (Zhang, 2013):

#### a. Menentukan *duty cycle*

langkah selanjutnya yaitu menentukan besar *duty cycle* estimasi awal pada perancangan DC/DC

$$D = \frac{V_{out} + V_D}{V_{in} + V_{out} + V_D} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$D_{(max)} = \frac{V_{out} + V_D}{V_{in(min)} + V_{out} + V_D} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$D_{(min)} = \frac{V_{out} + V_D}{V_{in(max)} + V_{out} + V_D} \dots\dots\dots(2.6)$$

Persamaan diatas digunakan untuk menentukan besar *duty cycle* estimasi berdasarkan data spesifikasi DC/DC *converter* yang telah ditentukan sebelumnya. Untuk *duty cycle* minimum didapatkan dengan *input* maksimum , dengan  $V_D = 0.5 \text{ V}$

b. Menentukan nilai Induktor

Setelah didapatkan besar *duty cycle* , maka langkah selanjutnya yaitu mencari nilai *ripple current* pada induktor dengan persamaan 2.7 dan persamaan 2.8.

$$\Delta I_L = I_{out} \times \frac{V_{out}}{V_{in(min)}} \times 40\% \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana  $\Delta I_L$  merupakan arus *ripple* pada induktor. Kemudian menentukan besar nilai induktor berdasarkan *ripple current* dengan persamaan 6.8

$$L = L1 = L2 = \frac{V_{in} \times D_{max}}{\Delta I_L \times f} \dots\dots\dots(2.8)$$

Setelah mengetahui besar nilai induktor maka tahap selanjutnya yaitu menghitung jumlah lilitan yang dipakai dengan menggunakan persamaan

$$N = 100 \sqrt{\frac{\text{Nilai } L \text{ (uH)}}{AL \left(\frac{\mu H}{100 \text{ turn}}\right)}} \dots\dots\dots(2.9)$$

Kemudian langkah selanjutnya yaitu menghitung *peak current* pada induktor dengan persamaan 6.9 dan 6.10 untuk induktor yang ke dua

$$I_{L1} (peak) = I_{out} \times \frac{V_{out} + V_D}{V_{in(min)}} \times \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) \dots\dots\dots(2.10)$$

$$I_{L2} (peak) = I_{out} \times \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) \dots\dots\dots(2.11)$$

c. Menentukan MOSFET

Menggunakan parameter tegangan *threshold* sehingga didapat tegangan maksimal pada MOSFET adalah  $V_{in} + V_{out}$ . Sedangkan arus maksimal pada MOSFET dengan persamaan 2.12.

$$I_{L1} (peak) + I_{L2} (peak) \dots\dots\dots(2.12)$$

Sedangkan arus RMS yang melewati MOSFET sesuai dengan persamaan 2.13

$$I_{Q1}(rms) = \sqrt{\frac{V_{out} + V_{in}(Min) + V_D * (V_{out} + V_D)}{V_{in}^2}} \dots\dots\dots(2.13)$$

Untuk daya disipasi pada MOSFET ditentukan dari persamaan 2.13

$$PQ1=IQ1^2 \times Rds (on) Dmaxx (Vin (Min)+Vout ) xIQ1 (peak) \times(QGDxf)/Ig.....(2.14)$$

Dengan Ig adalah arus *gate*, Rds adalah nilai operasi dari *datasheet*

d. Menentukan Kapasitor Input (Cin)

Setelah didapatkan nilai besar induktor dan MOSFET, maka langkah selanjutnya yaitu menentukan besar nilai kapasitor yang digunakan. Untuk menentukan nilai dari kapasitor input, yaitu dengan menggunakan persamaan

$$Icin (rms)= \Delta IL / \sqrt{12}.....(2.15)$$

$$Cin = \frac{ICin}{2 \times f}.....(2.16)$$

e. Pemilihan kapasitor *coupling*

Arus RMS pada Cs

$$Ics (RMS) = Iout \times \sqrt{\frac{Vout+VD}{Vin(min)}}.....(2.17)$$

Sedangkan untuk menentukan *ripple* tegangan pada kapasitor Cs menggunakan persamaan 2.18

$$\Delta VCs= \frac{Iout \times Dmax}{Cs \times f}.....(2.18)$$

Sehingga diperoleh nilai Cs

$$Cs = \frac{Ics \times Dmax}{\Delta VCs \times f}.....(2.19)$$

f.. Pemilihan nilai kapasitor *output*

Sebelum menentukan besar kapasitor *output* yang akan digunakan terlebih menentukan besar kapasitor yang digunakan dipakai persamaan ESR (*Equivalent Series Resistance*) yang terdapat pada persamaan

*Vripple* diasumsikan 2% dari tegangan *output*

$$ESR = \frac{Vrippple \times VD}{IL1(peak) \times IL2(peak)}.....(2.20)$$

$$Cout = \frac{Iout \times Dmax}{Vrippple \times f \times VD}.....(2.21)$$



## 2.11 Kontrol Fuzzy Logic

### 2.12.1 Pengertian Fuzzy Logic Controller

Dalam bahasa Inggris, *fuzzy* mempunyai arti kabur atau tidak jelas. Jadi, *fuzzy logic* adalah logika yang kabur, atau mengandung unsur ketidakpastian. Pada logika biasa, yaitu logika tegas, kita hanya mengenal dua nilai, salah atau benar, 0 atau 1. Sedangkan *fuzzy logic* mengenal nilai antara benar dan salah. *Fuzzy logic* memungkinkan nilai keanggotaan antara 0 dan 1, tingkat keabuan dan juga hitam dan putih, dan dalam bentuk *linguistik*, konsep tidak pasti seperti "sedikit", "lumayan", dan "sangat". Kebenaran dalam *fuzzy logic* dapat dinyatakan dalam derajat kebenaran yang nilainya antara 0 sampai 1.

Titik awal dari konsep modern mengenai ketidakpastian adalah paper yang dibuat oleh Lofti A Zadeh (1965), dimana Zadeh memperkenalkan teori yang memiliki obyek-obyek dari *himpunan fuzzy* yang memiliki batasan yang tidak presisi dan keanggotaan dalam himpunan *fuzzy*, dan bukan dalam bentuk logika benar (*true*) atau salah (*false*), tapi dinyatakan dalam derajat (*degree*). Konsep seperti ini disebut dengan *Fuzziness* dan teorinya dinamakan *Fuzzy Set Theory*. *Fuzziness* dapat didefinisikan sebagai logika kabur berkenaan dengan semantik dari suatu kejadian, fenomena atau pernyataan itu sendiri. Seringkali ditemui dalam pernyataan yang dibuat oleh seseorang, evaluasi dan suatu pengambilan keputusan. Sebagai contoh:

1. Manajer pergudangan mengatakan pada manajer produksi seberapa banyak persediaan barang pada akhir minggu ini, kemudian manajer produksi akan menetapkan jumlah barang yang harus diproduksi esok hari.
2. Pelayan restoran memberikan pelayanan terhadap tamu, kemudian tamu akan memberikan tip yang sesuai atas baik tidaknya pelayanan yang diberikan.
3. Anda mengatakan pada saya seberapa sejuk ruangan yang anda inginkan, saya akan mengatur putaran kipas yang ada pada ruangan ini.

*Fuzzy system* (sistem kabur) didasari atas konsep himpunan kabur yang memetakan domain input kedalam domain output. Perbedaan mendasar himpunan tegas dengan himpunan kabur adalah nilai keluarannya. Himpunan tegas hanya

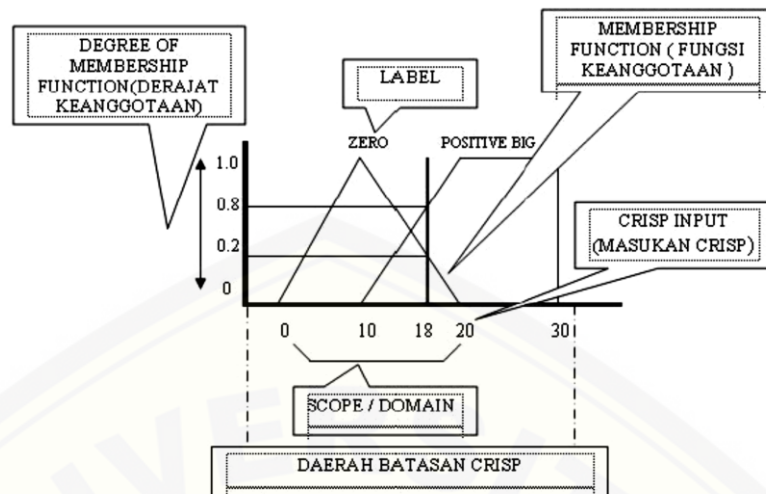
memiliki dua nilai output yaitu nol atau satu, sedangkan himpunan kabur memiliki banyak nilai keluaran yang dikenal dengan nilai derajat keanggotaannya.

Kontroler logika fuzzy dikategorikan dalam kontrol cerdas (*intelligent control*). Unit logika fuzzy memiliki kemampuan menyelesaikan masalah perilaku sistem yang kompleks, yang tidak dimiliki oleh kontroler konvensional. Secara umum kontroler *fuzzy logika* memiliki kemampuan sebagai berikut:

1. Beroperasi tanpa campur tangan manusia secara langsung, tetapi memiliki efektifitas yang sama dengan kontroler manusia.
2. Mampu menangani sistem-sistem yang kompleks, non-linier dan tidak stasioner.
3. Memenuhi spesifikasi operasional dan kriteria kinerja. Strukturnya sederhana, kokoh dan beroperasi *real time*.

Himpunan fuzzy mempunyai peranan yang penting dalam perkembangan matematika khususnya dalam matematika himpunan. Matematikawan Jerman George Cantor (1845-1918) adalah orang yang pertama kali secara formal mempelajari konsep tentang himpunan. Teori himpunan selalu dipelajari dan di terapkan sepanjang masa, bahkan sampai saat ini matematikawan selalu mengembangkan tentang bahasa matematika (teori himpunan). Banyak penelitian-penelitian yang menggunakan teori himpunan *fuzzy* dan saat ini banyak literatur-literatur tentang himpunan *fuzzy*, misalnya yang berkaitan dengan teknik kontrol *fuzzy logic* dan relasi *fuzzy*.

Pada dasarnya, teori himpunan fuzzy merupakan perluasan dari teori himpunan klasik. Pada teori himpunan klasik (*crisp*), keberadaan suatu elemen pada suatu himpunan A, hanya akan memiliki 2 kemungkinan keanggotaan, yaitu menjadi anggota A atau tidak menjadi anggota A (Chak, 1998).



Gambar 2.11 Konsep Dasar Logika Fuzzy

Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik *input* data kedalam nilai keanggotaannya (sering juga disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1 (Sudradjat, 2007).

*Fuzzy logic* dapat dikatakan sebagai logika baru yang lama, sebab ilmu tentang logika modern dan metadis baru ditemukan pada tahun 1965, padahal sebenarnya konsep tentang *fuzzy logic* itu sendiri sudah ada sejak lama. Beberapa alasan digunakannya *fuzzy logic* (Kusumadewi & Purnomo, 2010) yaitu:

- 1) Konsep *fuzzy logic* mudah dimengerti
- 2) *Fuzzy logic* sangat fleksibel
- 3) *Fuzzy logic* memiliki toleransi terhadap data yang kurang tepat
- 4) *Fuzzy logic* mampu memodelkan fungsi nonlinier yang kompleks
- 5) *Fuzzy logic* didasari pada ahasa alami

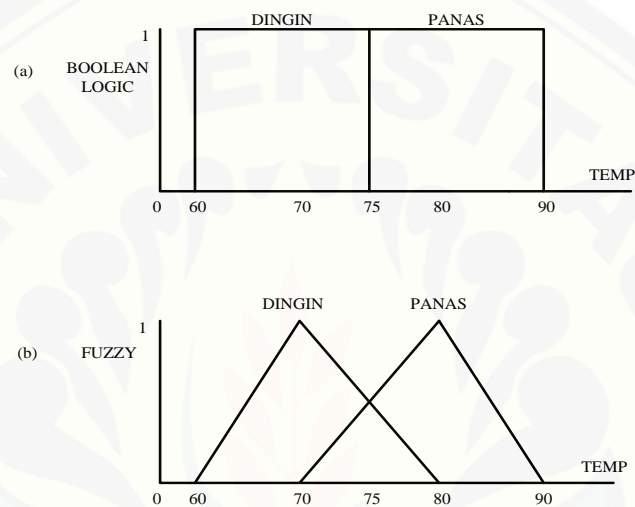
*Fuzzy logic* saat ini banyak diterapkan dalam berbagai bidang diantaranya:

- a) *Fuzzy rule Based Systems*
- b) *Fuzzy Nonliner Simulations*
- c) *Fuzzy Decision Making*
- d) *Fuzzy Classification*
- e) *Fuzzy Pattern ecognition*

### f) Fuzzy Control Systems

Secara umum, sistem fuzzy sangat cocok untuk penalaran pendekatan terutama untuk sistem yang menangani masalah-masalah yang sulit didefinisikan dengan menggunakan model matematis. Misalkan, nilai masukan dan parameter sebuah sistem bersifat kurang akurat atau kurang jelas, sehingga sulit mendefinisikan model matematikanya.

Perbedaan *Fuzzy Logic* dengan *Boolean Logic* terlihat pada gambar dibawah ini



Gambar 2.12 Perbedaan Boolean Logic (a) dengan Fuzzy Logic (b).

#### 2.12.2 Himpunan Fuzzy

Pada himpunan tegas (*crisp*), nilai keanggotaan suatu item  $x$  dalam suatu himpunan  $A$ , yang sering ditulis dengan  $\mu_A[x]$ , memiliki 2 kemungkinan (Kusumadewi S, Purnomo H, 2010) yaitu:

1. Satu (1), yang berarti bahwa suatu item menjadi anggota dalam suatu himpunan, atau
2. Nol (0), yang berarti bahwa suatu item tidak menjadi anggota dalam suatu himpunan.

Terkadang kemiripan antara keanggotaan fuzzy dengan probabilitas menimbulkan kerancuan. Keduanya memiliki nilai pada interval  $[0,1]$ , namun interpretasi nilainya sangat berbeda antara kedua kasus tersebut. Keanggotaan fuzzy memberikan suatu ukuran terhadap pendapat atau keputusan, sedangkan probabilitas mengindikasikan proporsi terhadap keseringan suatu hasil bernilai

benar dalam jangka panjang. Misalnya, jika nilai keanggotaan bernilai suatu himpunan fuzzy USIA adalah 0,9; maka tidak perlu dipermasalahkan berapa seringnya nilai itu diulang secara individual untuk mengharapkan suatu hasil yang hampir pasti muda. Di lain pihak, nilai probabilitas 0,9 usia berarti 10% dari himpunan tersebut diharapkan tidak muda.

Himpunan *fuzzy* memiliki 2 atribut, yaitu:

1. Linguistik, yaitu penamaan suatu grup yang mewakili suatu keadaan atau kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami, seperti: MUDA, PAROBAYA, TUA
2. Numeris, yaitu suatu nilai (angka) yang menunjukkan ukuran dari suatu variable seperti: 40, 25, 50, dsb. Ada beberapa hal yang perlu diketahui dalam memahami sistem fuzzy yaitu:

a. *Variable Fuzzy*

*Variable fuzzy* merupakan variabel yang hendak dibahas dalam suatu sistem *fuzzy*. Contoh: umur, temperature, permintaan, dsb.

b. Himpunan Fuzzy

Himpunan fuzzy merupakan suatu grup yang mewakili suatu kondisi atau keadaan tertentu dalam suatu variabel fuzzy.

c. Semesta Pembicaraan

Semesta pembicaraan adalah keseluruhan nilai yang diperbolehkan untuk dioperasikan dalam suatu variabel fuzzy. Semesta pembicaraan merupakan himpunan bilangan real yang senantiasa naik (bertambah) secara monoton dari kiri ke kanan. Nilai semesta pembicaraan dapat berupa bilangan positif maupun negatif. Ada kalanya nilai semesta pembicaraan ini tidak dibatasi batas atasnya.

Contoh:

- a. Semesta pembicaraan untuk variable mahasiswa: [0 50]
- b. Semesta pembicaraan untuk variable dosen: [0 50]
- d. Domain

Domain himpunan fuzzy adalah keseluruhan nilai yang diijinkan dalam semesta pembicaraan dan boleh dioperasikan dalam suatu himpunan fuzzy.



Seperti halnya semesta pembicaraan, domain merupakan himpunan bilangan real yang senantiasa naik (bertambah) secara monoton dari kiri ke kanan.

Nilai domain dapat berupa bilangan positif maupun negatif. Contoh domain himpunan fuzzy :

- MUDA = [0 45]
- PABOBAYA = [35 55]
- TUA = [45 +8]
- DINGIN = [0 20]
- SEJUK = [15 25]
- NORMAL = [20 30]
- HANGAT = [25 35]
- PANAS = [30 40]

### 2.12.3 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data kedalam nilai keanggotaannya (sering juga disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi. Apabila  $U$  menyatakan himpunan universal dan  $A$  adalah himpunan fungsi fuzzy dalam  $U$ , maka  $A$  dapat dinyatakan sebagai pasangan terurut (Wang, 1997 dari Wulandari, F., 2005). Ada beberapa fungsi yang bisa digunakan.

- a. Representasi Linier
- b. Representasi Kurva Segitiga
- c. Representasi Kurva Trapesium
- d. Representasi Kurva Bentuk Bahu
- e. Representasi Kurva-S
- f. Representasi Kurva Bentuk Lonceng (*Bell Curve*)
- g. Koordinat Keanggotaan

### Operator Dasar Operasi Himpunan Fuzzy

a. Operator AND

Diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terkecil antar elemen pada himpunan-himpunan yang bersangkutan.

$$\mu_{A \cap B} = \min(\mu_A[x], \mu_B[y])$$

b. Operator OR

Diperoleh dengan mengambil nilai keanggotaan terbesar antar elemen pada himpunan-himpunan yang bersangkutan.

$$\mu_{A \cup B} = \max(\mu_A[x], \mu_B[y])$$

c. Operator NOT

Diperoleh dengan mengurangkan nilai keanggotaan elemen pada himpunan yang bersangkutan dari 1.

$$\mu_{A'} = 1 - \mu_A[x]$$

#### Fungsi Implikasi

Tiap-tiap aturan (proposisi) pada basis pengetahuan fuzzy akan berhubungan dengan suatu relasi fuzzy. Bentuk umum dari aturan yang digunakan dalam fungsi implikasi adalah:

IF x is A THEN y is B

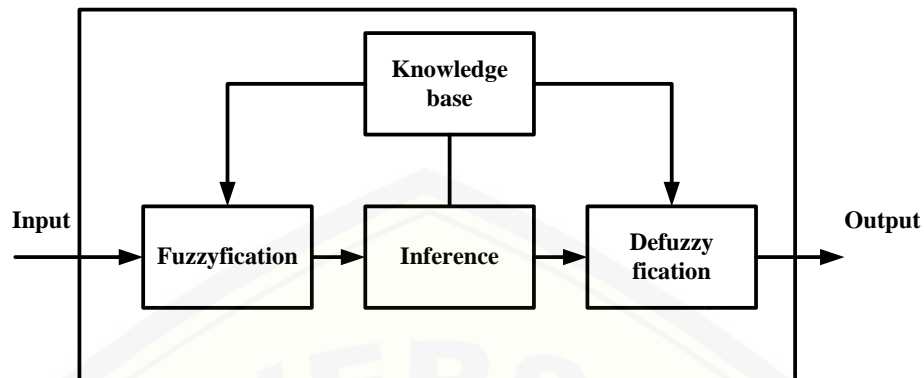
Dengan x dan y adalah skalar, dan A dan B adalah himpunan fuzzy. Proposisi yang mengikuti IF disebut sebagai anteseden, sedangkan proposisi yang mengikuti THEN disebut sebagai konsekuen. Proposisi ini dapat diperluas dengan menggunakan operator fuzzy, seperti:

IF (x<sub>1</sub> is A<sub>1</sub>) • (x<sub>2</sub> is A<sub>2</sub>) • (x<sub>3</sub> is A<sub>3</sub>) ..... (X<sub>x</sub> is A<sub>x</sub>) THEN y is B

Dengan • adalah operator (misal: OR, AND atau NOT). Min (*minimum*).

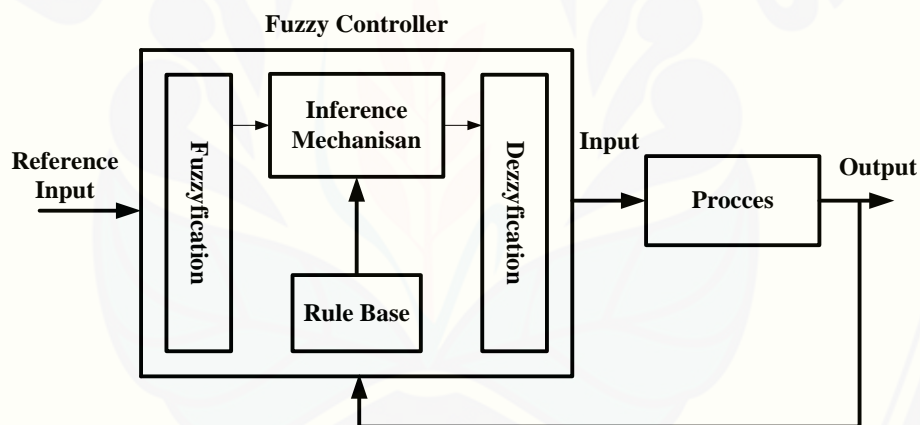
Fungsi ini akan memotong *output* himpunan fuzzy.

#### 2.12.4 Tahap Pemodelan Dalam Fuzzy Logic



Gambar 2.13 Blok Diagram Sistem Fuzzy 1

Dari blok diagram di atas, bila diterapkan dalam pengendalian suatu proses dapat kita gambarkan seperti blok diagram di bawah ini :



Gambar 2.14 Blok diagram sistem fuzzy 2

#### 2.12.5 Fuzzification

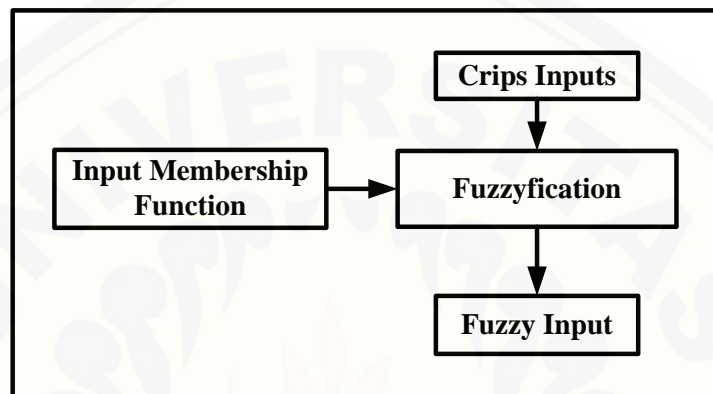
Fuzzifikasi atau *Fuzzyfication* adalah proses yang dilakukan untuk mengubah variabel nyata menjadi variabel fuzzy, ini ditujukan agar masukan kontroler fuzzy bisa dipetakan menuju jenis yang sesuai dengan himpunan fuzzy. Pemetaan dilakukan dengan bantuan model dari fungsi keanggotaan agar dapat diketahui besar masukan tersebut (derajat keanggotaan). Terdapat beberapa jenis penggambaran fungsi keanggotaan, antara lain :

1. Gaussian
2. Segitiga

3. Trapesium

4. Bahu

Komponen lainnya yang memiliki peranan penting adalah Label. Label didefinisikan dari fungsi keanggotaan, fungsi keanggotaan apabila dikumpulkan akan menghasilkan *fuzzy set*. Dalam logika fuzzy terdapat *basispengetahuan*, dimana terdiri dari fakta (*data base*), dan kaidah atur (*rulebase*).



Gambar 2.15 *Fuzzification*

#### 2.12.6 *Rule Evaluation*

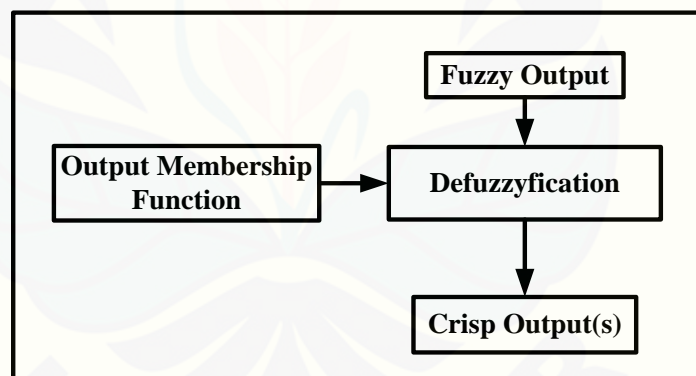
Prosedur fuzzifikasi merupakan proses untuk mengubah variabel non fuzzy (variabel *numerik*) menjadi variabel fuzzy (variabel *linguistik*). Nilai *error* dan *delta error* yang dikuantisasi sebelumnya diolah oleh kontroler logika fuzzy, kemudian diubah terlebih dahulu ke dalam variabel fuzzy. Melalui *membership function* (fungsi keanggotaan) yang telah disusun, maka dari nilai *error* dan *delta error* kuantisasi akan didapatkan derajat keanggotaan bagi masing-masing nilai *error* dan *delta error*.

Pada umumnya aturan-aturan fuzzy dinyatakan dalam bentuk “*IF antecedent THEN consequent*” yang merupakan inti dari relasi fuzzy. Terdapat dua model aturan fuzzy yang digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi, yaitu:

1. Model Mamdani
2. Model Sugeno

### 2.12.7 Defuzzification

*Defuzzifikasi* dapat didefinisikan sebagai proses perubahan besaran *fuzzy* yang disajikan dalam bentuk himpunan-himpunan *fuzzy* keluaran dengan fungsi keanggotaannya untuk mendapatkan kembali bentuk tegasnya (*crisp*). Hal ini diperlukan sebab dalam aplikasi nyata yang dibutuhkan adalah nilai tegas (*crisp*). Prosesnya adalah ketika suatu nilai *fuzzy output* yang berasal dari rule evaluation diambil kemudian dimasukkan ke dalam suatu *membership function output*. Bentuk bangun yang digunakan dalam *membership function output* adalah bentuk *singleton* yaitu garis lurus vertikal ke atas, seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah. Besar nilai *fuzzy output* dinyatakan sebagai *degree of membership function output*. Nilai-nilai tersebut dimasukkan ke dalam suatu rumus yang dinamakan COG (*Center Of Gravity*) untuk mendapatkan hasil akhir yang disebut *crisp output*. *Crisp output* adalah suatu nilai analog yang akan kita butuhkan untuk mengolah data pada sistem yang telah dirancang.



Gambar 2.16 *Defuzzification*



## BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini meliputi pengumpulan data, kerangka pemecahan masalah, blok diagram sistem, serta perancangan komponen pengendali.

#### 3.1.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperoleh oleh penulis melalui dua bagian yaitu:

##### 1. Penelitian Kepustakaan (*Library Research*)

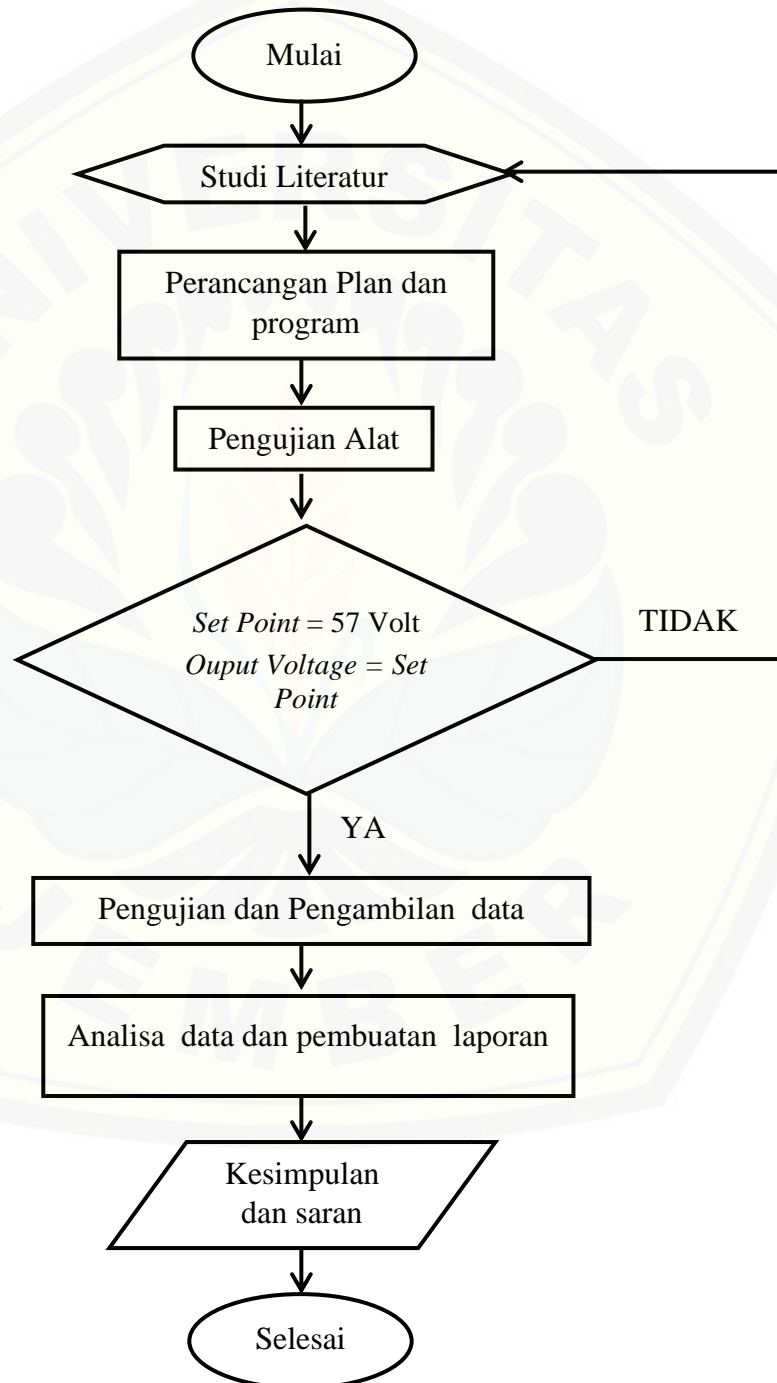
Penelitian kepustakaan atau juga sering disebut studi pustaka merupakan proses pengambilan data baik untuk latar belakang ataupun landasan teori yang berasal dari buku-buku, internet, *International Journal*, jurnal nasional, maupun *e-book*. Data-data yang ada dikumpulkan secara selektif sesuai dengan kebutuhan yang ada seperti semakin tingginya kebutuhan listrik dari tahun ke tahun dan lain sebagainya. Data-data tersebut selanjutnya akan dijadikan referensi oleh peneliti atau penulis untuk proses penelitian dan penyusunan skripsi. Data yang diperoleh dari studi pustaka ini merupakan data sekunder, dikarenakan mengutip dari berbagai referensi tanpa langsung terjun ke lapangan.

##### 2. Penelitian Observasi Langsung (*Direct Observation*)

Penelitian ini dilakukan dengan cara terjun langsung ke lapangan. Untuk penelitian kali ini tempat yang akan dilakukan penelitian adalah Laboratorium Fakultas Teknik, Patrang, Jember, Jawa Timur, Indonesia. Pada proses penelitian ini berfungsi untuk mengambil data yang dibutuhkan secara langsung yaitu data tegangan yang dihasilkan oleh panel surya serta data tegangan yang telah melalui konverter SEPIC dengan metode *Fuzzy Logic* yang akan digunakan sebagai stasiun pengisian baterai pada sepeda listrik. Jenis data ini merupakan data primer karena dilakukan observasi langsung dengan terjun ke lapangan.

### 3.1.2 Kerangka Pemecahan Masalah

Adapun tahap-tahap dalam penelitian dan penyusunan penelitian ini secara keseluruhan yang digunakan sebagai kerangka dalam pemecahan masalah pada penelitian kali ini dapat dinyatakan dalam diagram alir sebagaimana terlihat dalam Gambar 3.1 Flowchart Penelitian.



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

Tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian “Rancang Bangun Konverter *SEPIC* Untuk Pengisian Baterai 48 V Berbasis *Fuzzy Logic*” adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur

Tahap pertama memulai penelitian ini dilakukan dengan tahapan mencari sumber literatur yang berkaitan dengan penelitian ini, dengan harapan perancangan dan pelaksanaan penelitian dapat sesuai dengan yang diharapkan.

2. Perancangan plan dan sistem kontrol

Tahapan kedua adalah perancangan plant dan sistem kontrol dimana ditahap ini dilakukan perancangan beberapa komponen pengendali seperti sensor tegangan, Konverter *SEPIC* dan plan secara keseluruhan.

3. Percobaan pengujian

Tahap ketiga adalah dimana dilakukan percobaan pengujian antara lain sensor tegangan untuk mendapat pembacaan sensor yang baik. Kemudian pengujian Konverter *SEPIC* serta pengujian pada panel surya yang digunakan.

4. Pembuatan program pada arduino

Pada tahap keempat kali ini yaitu dengan melakukan pemrograman pada arduino untuk mendapatkan *set point* yang ditentukan agar tegangan yang akan masuk pada baterai sepeda listrik menjadi sesuai dengan tegangan yang di butuhkan baterai sesuai dengan toleransi yang diberikan pada saat pengisian baterai meskipun dengan masukan tegangan yang terdapat pada Konverter *SEPIC* berubah ubah.

5. Pengujian dan pengambilan data

Tahap kelima adalah pengujian dan pengambilan data dari sistem kontrol yang telah dibuat pada keseluruhan plan, dimana pada pengujian plan tersebut dilakukan pengisian pada baterai aki pada sepeda listrik dengan tegangan 57 Volt.

## 6. Analisa data dan pembuatan laporan

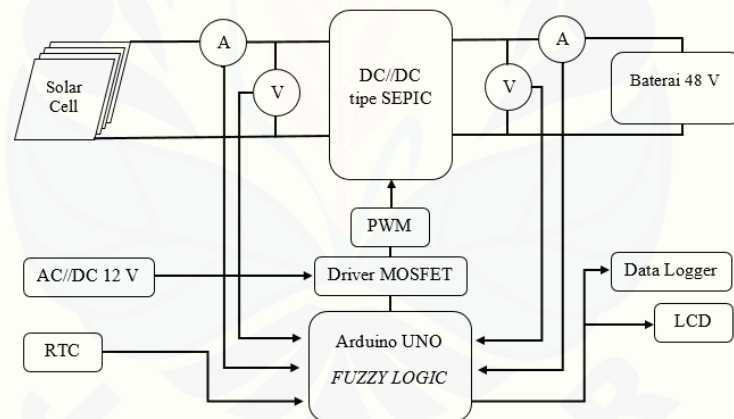
Tahap keenam adalah melakukan analisa pada data yang diperoleh dan membuatnya menjadi sebuah bentuk laporan hasil dari penelitian yang telah dilakukan.

## 7. Kesimpulan dan saran

Tahap ketujuh merupakan tahapan terakhir pada penelitian ini yaitu memberikan kesimpulan dari pengujian dan analisa data yang telah diperoleh, serta memberikan saran untuk penelitian selanjutnya..

### 3.1.3 Blok Diagram Sistem

Pada penelitian kali untuk mendapatkan data yang diinginkan dan sesuai dengan tujuan awal maka sesuai dengan topik yang diambil untuk bentuk dari blok diagram sistem secara keseluruhan dapat dilihat seperti pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem

Pada dasarnya prinsip kerja dari sistem pengisian baterai 48V menggunakan *solar cell* berbasis arduino uno R3, dapat dilihat dari gambar 3.2 yang merupakan gambaran dari blok diagram sistem secara keseluruhan. Panel surya yang digunakan dalam *plan* ini yaitu panel surya 50WP *polycrystalline* sebanyak 2 buah yang dikonfigurasi secara seri. Maka *output* dari panel surya tersebut yaitu sebesar 34 V – 40 V, sedangkan untuk melakukan *charge* terhadap sebuah baterai maka harus menggunakan tegangan 57 V .Maka dari itu diperlukan Konverter

SEPIC untuk menaikkan tegangannya. Konverter SEPIC mengatur besarnya berdasarkan *duty cycle*, sedangkan *duty cycle* diatur oleh sebuah kontrol yang berupa arduino uno R3 berdasarkan besarnya tegangan keluaran yang dibaca sensor untuk selanjutnya memproses nilai *duty cycle* dalam bentuk tegangan dan disalurkan menuju rangkaian driver MOSFET agar menjadi sinyal PWM untuk memicu saklar MOSFET dikonverter. PWM dibangkitkan melalui rangkaian driver MOSFET dan membutuhkan sumber tegangan 12 V dari luar sistem. Di dalam Arduino terdapat kontrol agar dapat mengatasi apabila terjadi drop tegangan sehingga mempertahankan output tegangan pada *setpoint*. Sebagai tambahan maka tegangan keluaran dari Konverter SEPIC akan di kontrol dengan *Fuzzy Logic* agar diperoleh kestabilan tegangan yang akan masuk ke dalam baterai 48 V saat melakukan *charging*.

### 3.2 Perancangan Komponen Pengendali (*Hardware*)

#### 3.2.1 Rangkaian *Solar Cell*

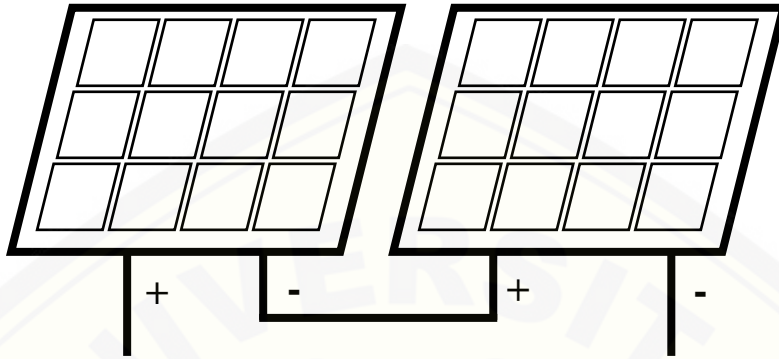
Pada penelitian ini, digunakan 2 buah modul *solar cell*. modul akan dirangkai seperti gambar 3.3, yang kemudian akan dinaikan tegangannya dengan konverter SEPIC. Modul *solar cell* yang digunakan adalah 2 buah *solar cell* 50 Wp dengan jenis *polycrystalline*. Untuk *Datasheet* dari *solar cell* dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3.1 *Datasheet solar cell jenis polycrystalline 50 Wp.*

Max Power Pmax	50Wp
Max Power Voltage Vmp	17.6V
Max Power Current Imp	2.85A
Open-Circuit Voltage Voc	22.5V
Short-Circuit Current ISC	3.04A
Dimension	700*510*30
Number of Cell	36
Max System Voltage	700V
Temperature Range	-45°C ~ +85°C



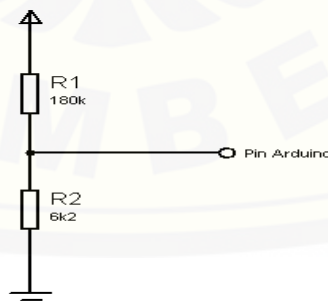
Gambar 3.3 merupakan rangkaian dari 2 modul solar cell yang dirangkai secara seri agar keluaran dari *solar cell* sesuai dengan tegangan masukan pada perhitungan konverter SEPIC.



Gambar 3.3 Rangkaian Modul *Solar Cell* untuk Masukan Konverter.

### 3.2.2 Sensor Tegangan

Sensor tegangan dibangun dari rangkaian pembagi tegangan. Pada Perancangannya yaitu dilakukan dengan cara menyusun resistor secara seri. Rangkaian pembagi tegangan ini menggunakan resistor  $180\text{ k}\Omega$  dan resistor  $6\text{ k}\Omega$ . Tujuan dari dirangkainya secara seri dari kedua buah resistor yaitu agar dapat membaca tegangan  $0 - 200\text{ V}$  dan perbandingan tegangan untuk diberikan ke arduino uno R3  $0 - 5\text{ V}$ . Skema rangkaian sesnsor tegangan dapat dilihat pada gambar 3.4 .



Gambar 3.4 Skematik Sensor Tegangan

Untuk perhitungan dari perancangan sensor tegangan ini dapat dilihat seperti pada persamaan berikut ini :

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

dimana,  $V_{out} = 5$  ;  $V_{in} = 200$  volt;  $R_1 = 100$  k $\Omega$

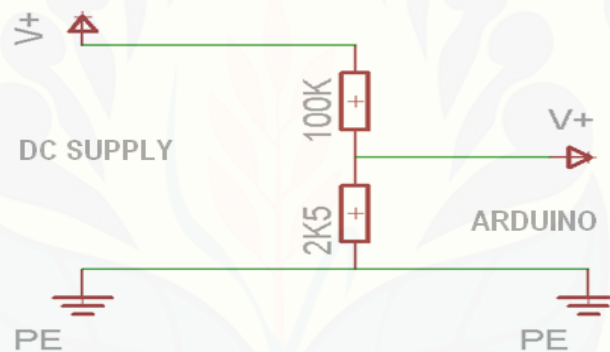
$$5 = \frac{200 \times R_2}{(100k + R_2)}$$

$$5 \times (100k + R_2) = 200 \times R_2$$

$$500k + 5R_2 = 200R_2$$

$$R_2 = \frac{500k}{195} R_2 = 2k5 \Omega$$

Sedangkan untuk pengujian pada sensor tegangan ini sendiri dilakukan dengan cara seperti yang terlihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Rangkaian Pengujian Sensor Tegangan

Dalam pengujian ini digunakan DC *power supply* sebagai sumber tegangan pada sisi *input* dari sensor tegangan. Kemudian sebuah digital multimeter untuk melakukan pengukuran tegangan dan nantinya dibandingkan dengan pembacaan *display* tegangan yang ada pada DC *power supply*.

### 3.2.3 Arduino UNO R3

Arduino UNO R3 Sebagai kontroler yang digunakan dalam *plant*. Pada penjelasan tentang arduino akan dijelaskan lebih spesifik, terutama dalam penggunaannya yaitu sebagai *embedded system*. Arduino yang digunakan yaitu dengan tipe arduino uno R3 dimana *embedded system* ini yang menerima *feedback*

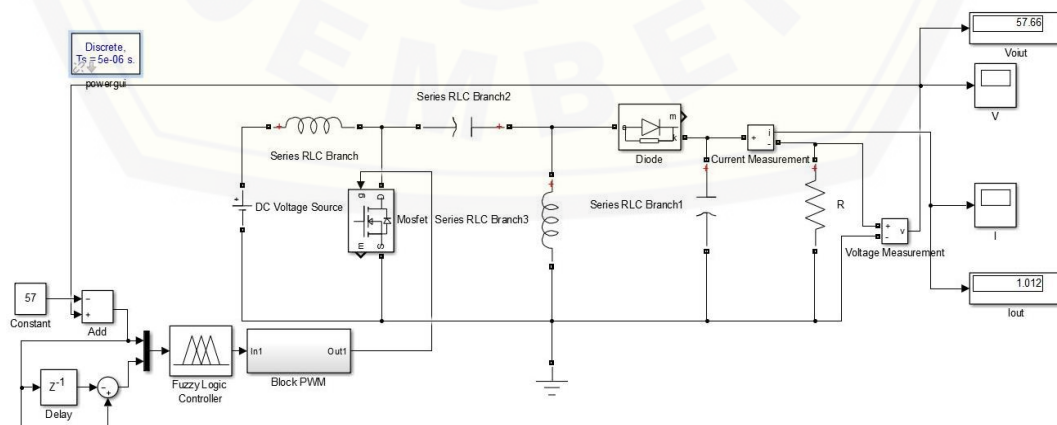
tegangan dari *output* tegangan Konverter SEPIC. Pembacaan nilai *output* tegangan Konverter SEPIC ini melalui sensor tegangan yang menggunakan proses ADC dan terhubung pada pin arduino yaitu pada pin A0. Untuk ADC sendiri pada arduino terdapat pada pin A0-A5. Sedangkan untuk pin yang mengontrol *output* PWM pada Konverter SEPIC menggunakan pin 9. Pada arduino sendiri untuk pin-pin yang dapat mengontrol PWM yaitu terdapat pada pin 3, 5, 6, 9 dan 10 (Arduino LLC,2015). Pada tahap ini, pengujian *embedded system* dilakukan dengan mencoba menghubungkan pada pin arduino yang diinginkan karena tidak jarang pin pada arduino juga tidak dapat digunakan dengan sehingga dibutuhkan pengecekan ulang, seperti penerimaan pembacaan ADC oleh sensor.

### 3.2.4 Perancangan Konverter SEPIC

Untuk mendesain sebuah konverter SEPIC dibutuhkan perhitungan untuk mencari nilai dari *duty cycle*, *filter*, maupun bebannya. Maka digunakan langkah-langkah seperti yang tertera dibawah ini,sesuai dengan parameter yang di dapat :

Tabel 3.2 Parameter Konverter SEPIC

Tegangan Masukan	34-40 V
Tegangan Keluaran	57 V
Arus Keluaran	2 A
Frekuensi	40 KHz



Gambar 3.6 Desain konverter SEPIC pada Matlab 2015b

Sebelum mendesain konverter terlebih dahulu menentukan spesifikasi dari konverter yang akan digunakan. spesifikasi konverter yang digunakan sesuai dengan tabel 3.2. kemudian langkah selanjutnya yaitu melakukan perancangan ukuran masing masing komponen dengan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada BAB sebelumnya.

Berdasarkan spesifikasi yang ditentukan, digunakan 3 buah beban untuk pengujian, yaitu sebesar 66 ohm, 100 ohm, dan 330 ohm. Untuk besar tegangan sampel diambil tegangan sebesar 37 V. langkah selanjutnya yaitu merancang komponen untuk membuat konverter tipe SEPIC, berikut ini Langkah – langkah menentukan nilai masing-masing komponen melalui perhitungan:

1. Perhitungan *duty cycle*

$$D = \frac{V_{out} + V_D}{V_{in} + V_{out} + V_D}$$

$$D_{(max)} = \frac{V_{out} + V_D}{V_{in(min)} + V_{out} + V_D} = \frac{57 + 0.7}{34 + 57 + 0.7} = 0.63 = 63\%$$

$$D_{(min)} = \frac{V_{out} + V_D}{V_{in(max)} + V_{out} + V_D} = \frac{57 + 0.7}{40 + 57 + 0.7} = 0.59 = 59\%$$

2. Menentukan tegangan *output* minimum dan maksimum

Nilai  $V_{in}$  diambil tegangan sample dari tegangan rata-rata  $V_{in(max)}$  dan

$V_{in(min)}$  yaitu 37 V

$$V_{out} = \frac{V_{in} \times D}{1 - D}$$

$$V_{out(min)} = \frac{V_{in} \times D_{min}}{1 - D_{min}} = \frac{37 \times 0.59}{1 - 0.59} = 53.243 \text{ V}$$

$$V_{out(max)} = \frac{V_{in} \times D_{max}}{1 - D_{max}} = \frac{37 \times 0.63}{1 - 0.63} = 63 \text{ V}$$

3. Menentukan  $R_{Lout}$  maksimum dan maksimum

$$V_{in} = 37 \text{ V}, I_{out(min)} = 0.1 \text{ A}, I_{out(max)} = 2 \text{ A}$$

$$R_{Lout} = \frac{V_{out}}{I_{out}}$$

$R_{Lout}$	Dmin = 59%	Dmax = 63%
Min	26,6 ohm	31,5 ohm
Max	532,4 ohm	630 ohm

4. Menentukan daya keluaran ( $V_{in}=37V$ )

$$P_{out} = V_{out} \times I_{out}$$

<i>P<sub>out</sub></i>	<i>D<sub>min</sub> = 59%</i>	<i>D<sub>max</sub> = 63%</i>
<i>Min</i>	<i>P<sub>out(min)</sub> = 5.3 W</i>	<i>P<sub>out(min)</sub> = 6.3 W</i>
<i>Max</i>	<i>P<sub>out(max)</sub> = 106 W</i>	<i>P<sub>out(max)</sub> = 126 W</i>

## 5. Pemilihan induktor

- Arus Ripple

$$\Delta I_L = I_{out} \times \frac{V_{out}}{V_{in(min)}} \times 40\%$$

$$\Delta I_L = 2 \times \frac{57}{34} \times 40\% = 1.34 \text{ A}$$

- Arus puncak L1

$$I_{L1} (peak) = I_{out} \times \frac{V_{out} + V_D}{V_{in(min)}} \times \left(1 + \frac{40\%}{2}\right)$$

$$I_{L1} (peak) = 2 \times \frac{57+0.7}{34} \times \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) = 4.06 \text{ A}$$

- Arus puncak L2

$$I_{L2} (peak) = I_{out} \times \left(1 + \frac{40\%}{2}\right)$$

$$I_{L2} (peak) = 2 \times \left(1 + \frac{40\%}{2}\right) = 2.4 \text{ A}$$

- Induktansi

$$L = L1 = L2 = \frac{V_{in(min)} \times D_{max}}{\Delta I_L \times f}$$

$$L = L1 = L2 = \frac{34 \times 0.63}{0.67 \times 40000} = 0.396 \text{ mH}$$

Besar induktor  $\geq 0.3\text{mH}$ . Sedangkan besar induktor yang digunakan minimal 25% lebih besar dari nilai perhitungan.

Setelah nilai dari induktansi, arus ripple dan arus maksimum yang ada pada induktor telah ditemukan, langkah selanjutnya yaitu menghitung jumlah lilitan, pada penelitian ini jenis induktor yang digunakan digunakan yaitu *torroidal core inductor* atau inti yang berbentuk O Ring (bentuk donat) dengan tipe FT-240-43 (buatan Amidon) dengan nilai  $AL = 1075 \text{ uH}/100 \text{ turn}$ . Untuk ukuran enamel yang digunakan dalam penelitian sebesar 0.8 mm (berdasarkan datasheet).



$$N = 100 \sqrt{\frac{\text{Nilai } L \text{ (}\mu\text{H)}}{AL \left(\frac{\mu\text{H}}{100}\text{turn}\right)}}$$

$$N = 100 \sqrt{\frac{0.398}{1075}}$$

$$N = 19,24800147 \text{ lilitan}$$

#### 6. Pemilihan MOSFET

$$IQI(\text{peak}) = IL1(\text{peak}) + IL2(\text{peak})$$

$$= 4.06 + 2.4 = 6.46 \text{ A}$$

Arus rms

$$IQI(\text{rms}) = \sqrt{\frac{V_{out} + V_{in}(\text{Min}) + V_D * (V_{out} + V_D)}{V_{in}^2}}$$

$$= \sqrt{\frac{57 + 34 + 0.5(57 + 0.5)}{34^2}}$$

$$= 4.26 \text{ A}$$

Batas tegangan maksimal  $V_{in} + V_{out} = 34 + 57 = 91 \text{ V}$ . Berdasarkan hasil perhitungan arus puncak dan arus rms serta tegangan maksimal. Maka dipilih MOSFET dengan tipe N-channel yaitu IRF540. MOSFET ini sesuai karena memiliki  $V_{ds}$  maksimal 100 V (lebih besar dari batas tegangan), dengan  $I_{ds}$  maksimal 27 A, serta memiliki  $R_{ds}$  yang kecil yaitu sebesar 0,077 ohm. Pemilihan  $R_{ds}$  yang semakin kecil akan meminimalisir besar daya losses pada MOSFET.

#### 7. Pemilihan Dioda

Untuk menentukan dioda diperlukan tegangan minimum tegangan reverse.

$$V_{RD} = V_{in}(\text{Max}) + V_{out}(\text{Max})$$

$$V_{RD} = 40 + 63 = 103 \text{ V}$$

#### 8. Perhitungan Kapasitor input (Cin)

Kapasitor  $C_{in}$  berfungsi sebagai kapasitor filter tegangan masukan, agar *ripple* tegangan masukan lebih direduksi. Tegangan *ripple* maksimal pada rangkaian SEPIC diberikan dengan nilai tidak lebih dari 3V, tegangan tersebut sehingga besar kapasitor input :

$$I_{C_{in}}(\text{rms}) = \Delta IL / \sqrt{12} = 1.34 / \sqrt{12} = 0.39 \text{ A}$$

Sehingga dapat diperoleh nilai  $C_{in}$

$$C_{in} = \frac{I_{Cin}}{2 \times f}$$

$$C_{in} = \frac{0.39}{2 \times 40000} = 4,875 \text{ uF}$$

Besar kapasitas kapasitor input minimal 25% dari hasil perhitungan. Sehingga besar ukuran kapasitor minimal yaitu 4.2 uF. Untuk lebih memperkecil *ripple* tegangan maka, pada perancangan konverter SEPIC ini digunakan kapasitor sebesar 47 uF.

#### 9. Perhitungan kapasitor coupling ( $C_s$ )

Arus RMS pada  $C_s$

$$I_{C_s} \text{ (RMS)} = I_{out} \times \sqrt{\frac{V_{out} + V_D}{V_{in}(\min)}}$$

$$I_{C_s} \text{ (RMS)} = 2 \times \sqrt{\frac{57 + 0.5}{34}} = 2.6 \text{ A}$$

Perhitungan  $\Delta V_{C_s}$ . Anggap  $C_s = 0.0001 \text{ F}$

$$\Delta V_{C_s} = \frac{I_{out} \times D_{max}}{C_s \times f}$$

$$\Delta V_{C_s} = \frac{2 \times 0.63}{0.0001 \times 40000} = 0.315 \text{ V}$$

Sehingga diiperoleh nilai  $C_s$

$$C_s = \frac{I_{C_s} \times D_{max}}{\Delta V_{C_s} \times f}$$

$$C_s = \frac{2.6 \times 0.63}{0.41 \times 40000} = 99.88 \text{ uF}$$

Untuk pemilihan kapasitor  $C_s$  atau kapasitor coupling adalah rating tegangan harus lebih besar 25% daripada tegangan *input* maksimum. Sehingga dipilih 470uF.

#### 10. Perhitungan kapasitor output ( $C_{out}$ )

$V_{ripple}$  diasumsikan 2% dari tegangan *output*

$$V_{ripple} = 2\% \times 57 = 1.14$$

Perhitungan ESR

$$ESR = \frac{V_{ripple} \times V_D}{I_{L1}(\text{peak}) \times I_{L2}(\text{peak})}$$

$$ESR = \frac{1.14 \times 0.5}{4.06 \times 2.4}$$

$$ESR = 88 \text{ miliohm}$$

Perhitungan  $C_{out}$

$$C_{out} = \frac{I_{out} \times D_{max}}{V_{ripple} \times f \times VD}$$

$$C_{out} = \frac{2 \times 0.63}{1.14 \times 40000 \times 0.5}$$

$$C_{out} = 55 \text{ uF}$$

$C_{out}$  bernilai lebih dari 7.350 uF. Dikarenakan besar kapasitor minimal 25% dari hasil pergitungan, untuk lebih memperkecil nilai *ripple* tegangan, maka pada penelitian ini dipakai nilai sebesar 100 uF.

Melalui persamaan tersebut, didapat beberapa nilai komponen konverter tipe SEPIC sesuai spesifikasi *solar cell* serta sesuai dengan spesifikasi *charging* baterai yang akan digunakan pada sepeda listrik. Nilai parameter komponen sesuai persamaan matematis perhitungan komponen SEPIC terdapat pada tabel 3.4.

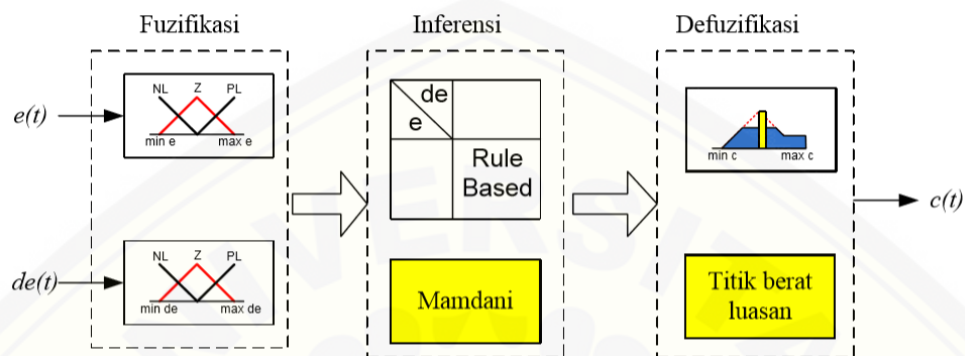
Tabel 3.3 Parameter perancangan Konverter SEPIC

Parameter	Nilai
Tegangan <i>input</i>	34 – 40 Volt
Tegangan <i>output</i> ( $V_{out}$ )	57 Volt
Arus output ( $I_{out}$ )	2 A
Frekuensi <i>switching</i> (f)	40 kHz
Toroid	FT-240-43
Induktor 1 dan 2 ( $L_1$ dan $L_2$ )	0.5 mH
Kapasitor <i>input</i> ( $C_{in}$ )	47uF/250v
Kapasitor <i>coupling</i> ( $C_s$ )	470uF/250v
Kapasitor <i>output</i> ( $C_{out}$ )	100uF/250v
MOSFET	IRF540
Dioda	MBR20200 CT
<i>Duty cycle min</i>	54%
<i>Duty cycle max</i>	63%

### 3.2.5 Kontrol *Fuzzy Logic*

Perancangan kontrol fuzzy pada sistem solar charger ini dirancang dengan perhitungan secara sistematis. Dimana logika fuzzy ini akan diimplementasikan secara langsung kedalam sebuah embedded system yang berupa arduino uno R3. Tahap pembuatan fuzzy logic control ini dilakukan melalui beberapa tahap yaitu dimulai dari tahap fuzzyfikasi dimana terdiri dari pembuatan membership fuction,

kemudian dilanjutkan ketahap inference dimana pada tahap ini merupakan proses pembuatan rule base dan kemudian ketahap defuzzyfikasi yaitu proses output yang diperoleh dari keseluruhan proses. Tahapan-tahapan fuzzy logic control dapat dilihat dengan jelas pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Blok Sistem Kendali Fuzzy

### 1. Fuzzyfikasi

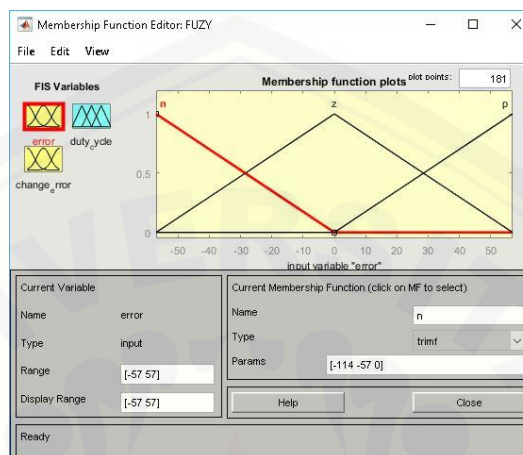
Tahap awal dalam pembuatan kontrol *Fuzzy* ialah *fuzzyfikasi*, pada tahap ini akan dilakukan pembuatan himpunan keanggotaan untuk *error* dan *delta error*. Setelah itu kita hitung derajat keanggotaan masing-masing nilai *error* dan *delta error*. Keanggotaan pada *membership function error* dibagi menjadi 3, yakni N (*Negative*), Z (*Zero*), dan P (*Positif*).

*Set Point* yang ditentukan sebesar 57 Volt dan digunakan untuk membuat *membership function* dan juga pada proses perhitungan *error* dan *delta error*. Nilai *set point* tersebut digunakan sebagai acuan dalam kontrol agar tetap stabil pada nilai *set point*.

Sistem pengendalian ini bertujuan untuk mengendalikan tegangan agar tetap stabil sesuai *set point*, maka kendali tersebut dilakukan berdasarkan *error* dan *delta error*. Kontroller ini membaca sinyal dari sensor tegangan yang dipasang pada jalur *output* dari konverter dan menerima *input* berupa tegangan referensi. Kontrol *fuzzy* akan memproses selisih tegangan tegangan terukur dari sensor tegangan dengan tegangan referensi dan hasilnya menjadi *error* ( $E$ ). Kemudian kontrol fuzzy akan memproses selisih antara nilai *error* ( $E$ ) tersebut dengan nilai *error*

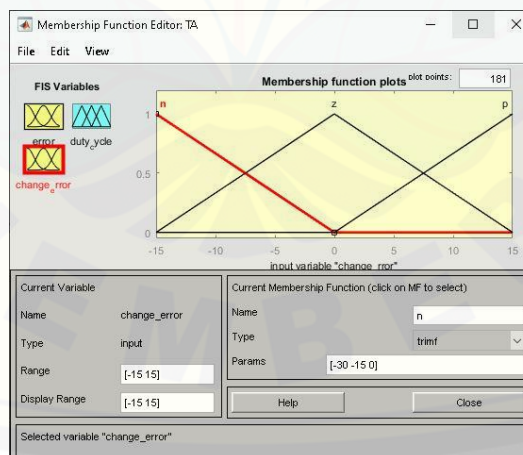
sebelumnya atau kita sebut *delta error*. Hasil dari kedua perhitungan tersebut akan diproses ke tahapan selanjutnya.

Perhitungan *membership function error* ( $E$ ) dalam proses pembuatan program pada Arduino UNO R3, yaitu:



Gambar 3.8 *membership function* nilai  $error$  ( $E$ )

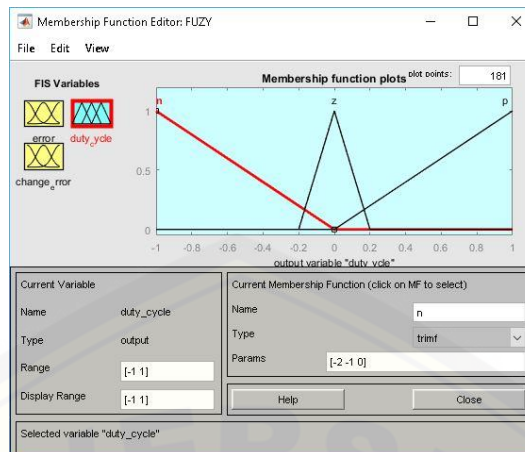
Perancangan pembuatan *membership function delta error* sama dengan *error*. Nilai dari *delta error* dihitung selisih dari nilai *error* sekarang dengan nilai *error* sebelumnya. Keanggotaan pada *membership function delta error* dibagi menjadi 3, yakni N (*Negative*), Z (*Zero*), dan P (*Positif*).



Gambar 3.9 *membership function* nilai  $delta error$  ( $DE$ )

Pada gambar 3.10 Merupakan *membership function* nilai *output* yang digunakan sebagai kontrol *fuzzy*. *Range* nilai dari -1 sampai 1 dengan dibagi menjadi 3 kurva yaitu yaitu N (*Negatif*), Z (*Zero*), P (*Positif*).





Gambar 3.10 *membership function* nilai *output* (PWM)

Pada *flowchart* program dalam menentukan hasil *output* dari *fuzzy* dimulai dengan membaca sensor tegangan *output*. Setelah itu menghitung nilai *error* dan *delta error* sesuai dengan pembacaan sensor tegangan dan *setpoint* yang telah ditentukan. Sehingga nilai *output fuzzy* bisa didapatkan untuk mengurangi atau menambah nilai PWM sebelumnya dengan batas sebesar kurang dari 255 dan lebih dari 0.

## 2. Inference

Tahap *inference* ini terdapat *rule base* yaitu tahap pemetaan nilai derajat keanggotaan dari masing masing *error* dan *delta error* kedalam tabel yang berisi basis aturan yang dipilih (*rule base*) dan menggunakan sebuah metode untuk pemilihan nilai dari derajat keanggotaan. Tabel *rule base* dapat dilihat pada tabel 3.5 dibawah ini.

Tabel 3.4 *Rule Base*

E/DE	N	Z	P
N	N	N	P
Z	N	Z	P
P	N	P	P

## 3. Defuzzifikasi

Tahap *defuzzifikasi* merupakan tahap penegasan atau tahap terakhir dari kontrol *fuzzy*. *Input* dari proses *defuzzifikasi* adalah himpunan dari komposisi aturan metode MAX yang sebelumnya dihasilkan dari fungsi implikasi MIN. Sedangkan *output*

yang dihasilkan adalah bilangan pada *domain* himpunan *fuzzy*. Metode yang digunakan dalam *defuzzifikasi* adalah metode *centroid method*.

### 3.2.6 Baterai Lead Acid

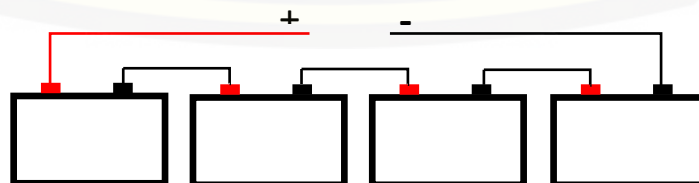
Pada penelitian ini, digunakan baterai dengan tipe *Lead Acid*/aki dengan besar tegangan 12V dengan kapasitas 12 Ah sebanyak 4 buah dengan dirangkai secara seri, sehingga tegangan baterai adalah 48V dengan kapasitas 12 Ah. Baterai akan digunakan sebagai beban yang memiliki resistansi yang berubah-ubah secara dinamis yang tergantung pada kapasitas baterai tersebut.

Pada gambar 3.11 ditunjukkan bentuk fisik dari baterai yang akan digunakan untuk penelitian ini.



Gambar 3.11 Baterai VOZ

Baterai yang digunakan untuk penelitian ini merupakan buatan perusahaan CHAOWEI POWER CO.,LTD. Dengan spesifikasi baterai dan pengaturan *charger* pada gambar dilampiran. Pada gambar 3.12 ditunjukkan konfigurasi dari baterai 48 V dengan menggunakan 4 baterai 12 volt dengan rangkaian seri



Gambar 3.12 Rangkaian Baterai 48 V.

### 3.3 Perancangan Mekanik Alat dan Keseluruhan Sistem

Pada gambar 3.13 merupakan desain alat keseluruhan. Dimana panel yang akan digunakan adalah yang terletak didepan Laboratorium Sistem Tenaga. Box rangkaian SEPIC konverter diletakkan pada tiang panel, sehingga ketika akan melakukan *charging* dapat langsung menyambungkan ke baterai sepeda listrik.



(a)

(b)

Gambar 3.13 Desain Alat 3D. Gambar (a) Merupakan desain tampak belakang, dan (b) Tampak depan.

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisa data yang telah dilakukan pada penelitian yang berjudul “Rancang Bangun Konverter SEPIC untuk Pengisian Baterai 48 V Berbasis *Fuzzy Logic*”, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Perancangan Konverter SEPIC berdasarkan parameter tegangan masukan dan keluaran sehingga didapatkan nilai-nilai dari setiap komponen setelah melalui perhitungan disetiap komponennya dapat menghasilkan Konverter SEPIC sesuai dengan fungsinya yaitu dapat menaikkan dan menurunkan tegangan keluaran dari tegangan masukan berdasarkan besar *dutycycle*.
2. Kontrol kestabilan tegangan *Fuzzy Logic* yang digunakan dapat bekerja baik dengan mempertahankan tegangan keluaran di kisaran 57 V dengan perancangan berdasarkan analisa yang telah dilakukan dan diambil beberapa sampel kondisi error dan delta error untuk mengetahui keluaran nilai defuzzyfikasi serta nilai PWM.
3. Kestabilan tegangan dari SEPIC *converter* dengan menggunakan kontrol *fuzzy logic* saat diberikan beban resistif yang semakin kecil maka *recovery time* yang dibutuhkan akan semakin lama, begitu juga sebaliknya saat beban yang diberikan semakin besar maka *recovery time* semakin cepat. Dimana saat beban 330  $\Omega$  diperlukan *recovery time* 0,8 detik, dan saat menggunakan beban 66  $\Omega$  diperlukan *recovery time* 1,5 detik.
4. Saat pengujian SEPIC *converter* menggunakan beban baterai 48 Volt. Maka dapat diketahui bahwa tegangan *charge* akan semakin bertambah selama pengecasan dari 48 Volt hingga 56,7 Volt. Sedangkan untuk arus charging akan semakin turun saat baterai semakin terisi penuh. Seperti yang terdapat pada tabel pengujian SEPIC *converter* dengan menggunakan beban baterai 48 Volt.

## 5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian ini, ada beberapa saran yang dapat digunakan untuk pengembangan penelitian yang selanjutnya. Beberapa saran tersebut antara lain sebagai berikut.

1. Jenis kontrol kestabilan tegangan dapat digantikan dengan kontrol *hybrid PID fuzzy* untuk dapat mendapatkan respon kontrol yang lebih baik.
2. DC-DC *Converter* dapat digantikan dengan jenis-jenis DC-DC *converter* yang lain, seperti contoh CUK *converter* atau *flyback converter* untuk dilakukan perbandingan performa antara SEPIC *converter* dan jenis dc-dc *converter* yang lain.
3. Pada penelitian yang selanjutnya dimungkinkan untuk digunakan sistem proteksi *Auto Cut Off* agar pada proses pengisian baterai ketika dalam kondisi penuh bisa terdeteksi dan otomatis mengakhiri proses pengisian baterai.



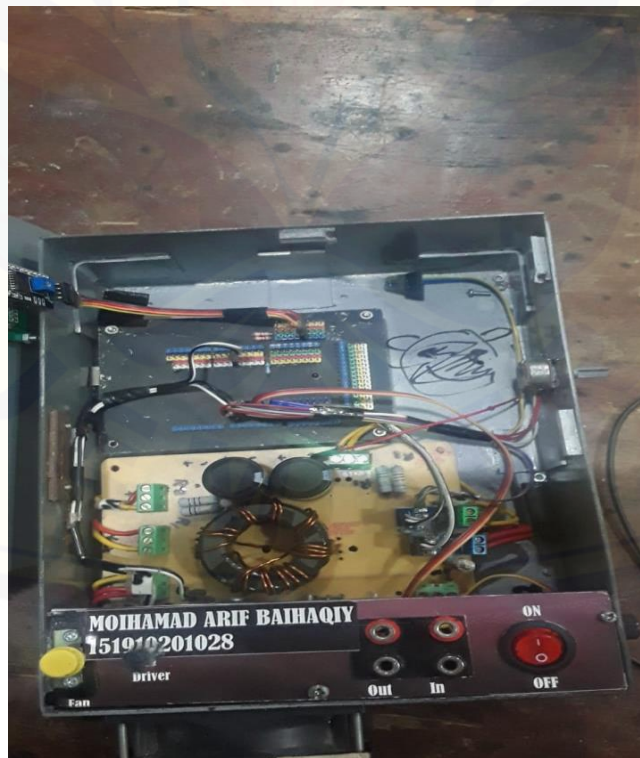
## DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, Mohamad Choirul. (2017). “Implementasi DC/DC Tipe Sepic Pada Generator Termoelektrik Menggunakan Kontrol Mppt *Incremental Conductance (Inc)*” *Skripsi*. Universitas Jember.
- Arduino. (2015). [www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno](http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno). Dipetik Agustus 08, 2018, dari [arduino.cc/en](http://arduino.cc/en).
- Autodesk.Inc. (2015). [id/Arduino-Voltage-Sensor-0-25V/](http://id/Arduino-Voltage-Sensor-0-25V/). Dipetik Agustus 12, 2018, dari instructables: <http://www.instructables.com/id/Arduino-Voltage-Sensor-0-25V/>
- Aziz, Mochammad Al. (2018). “Sistem Kontrol Fuzzy Logic Untuk Tegangan Keluaran *Boost Converter* Pada Pengisian Baterai Sepeda Listrik Menggunakan *Solar Cell*”. *Skripsi*. Universitas Jember.
- Chiang, S. J., & Shief, H.-J. (2009). Modeling and Control of PV Charger System With SEPIC Converter. *IEEE Transaction On Industrial Electronics*, 4344-4353.
- Citrangingtyas, Irenne. (2017). “Rancang Bangun *Charging Controller* Baterai 48 Volt DC pada *Solar Cell*”. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya : Tugas Akhir – D3 Teknik Instrumentasi
- ESDM, M. (2016). *Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral tentang Pengesahan RUPLT PT. PLN tahun 2016 S.D. 2025*. Jakarta: Menteri ESDM.
- Irwin, J. D. (2002). *The Power Electronic Handbook*. california: CRC Press.
- kominfo.go.id. (2016, november 25). *kemntrian komunikasi dan informatika*. Retrieved from kominfo web: [https://web.kominfo.go.id/sites/default/files/0510\\_Kebutuhan\\_Listrik\\_Indonesia\\_01\\_rsz.jpg](https://web.kominfo.go.id/sites/default/files/0510_Kebutuhan_Listrik_Indonesia_01_rsz.jpg)

- Nainggolan, Benhur, (2016). "Rancang Bangun Sepeda Listrik Menggunakan Panel Surya Sebagai Pengisi Baterai", Politeknik Negeri Jakarta, Jakarta, POLITEKNOLOGI VOL. 15 No. 3 September 2016.
- Ranjan, S. B., & Kumar, T. M. (2013). *Design of single ended primary inductor dc/dc converter*. india: National Institute of Technology.
- Rashid, M. H. (2001). *Power Electronics Handbook*. California: Academic Press.
- Rianti, Mawarni Shahab. (2010). "Rancang Bangun Prototipe Sistem Pengendali Pengisian Muatan Baterai Dengan Tenaga Surya Sebagai Catu Daya *Base Tranceiver Station* (BTS)". *Skripsi*. Universitas Indonesia, Depok.
- S, S., & Joseph, J. (2016). Design and Implementation of SEPIC Converter based PV System Using Modified *Incremental conductance* Algorithm. *ICEEOT*.
- Snehal, Sunil Bulle. (2017). "*Implementation of Incremental Conductance Method for MPPT Using SEPIC Converter*". Annasaheb Dange *College of Engineering*, Ashta-Maharastra, India.
- Vorperian, V. (2006). *Analysis of SEPIC Converter*. Roswel: Ridley *Engineering Inc*.
- Wahyu, Pradana. (2017). "Sistem Kontrol Konverter SEPIC Pada *Charger* Berbasis Logika Fuzzy". *Skripsi*. Universitas Jember.
- Weller. (2008). "*Ag 2S quantum dot-sensitized solar cells*". *Electronics communication*.
- Zhang, D. (2013). *AN-1484 Designing A SEPIC Converter*. Texas Instrument.

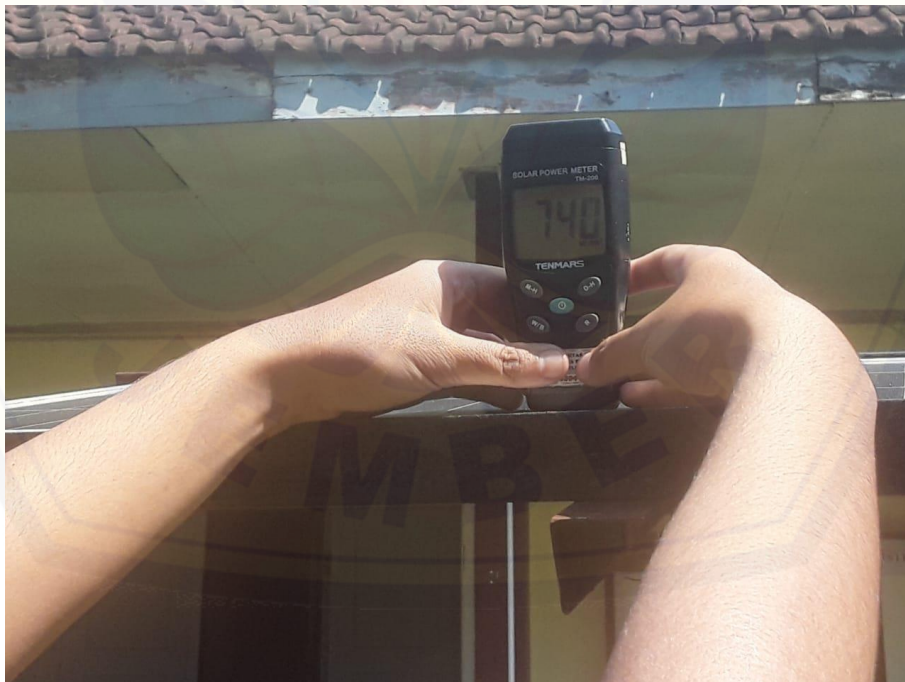
## LAMPIRAN

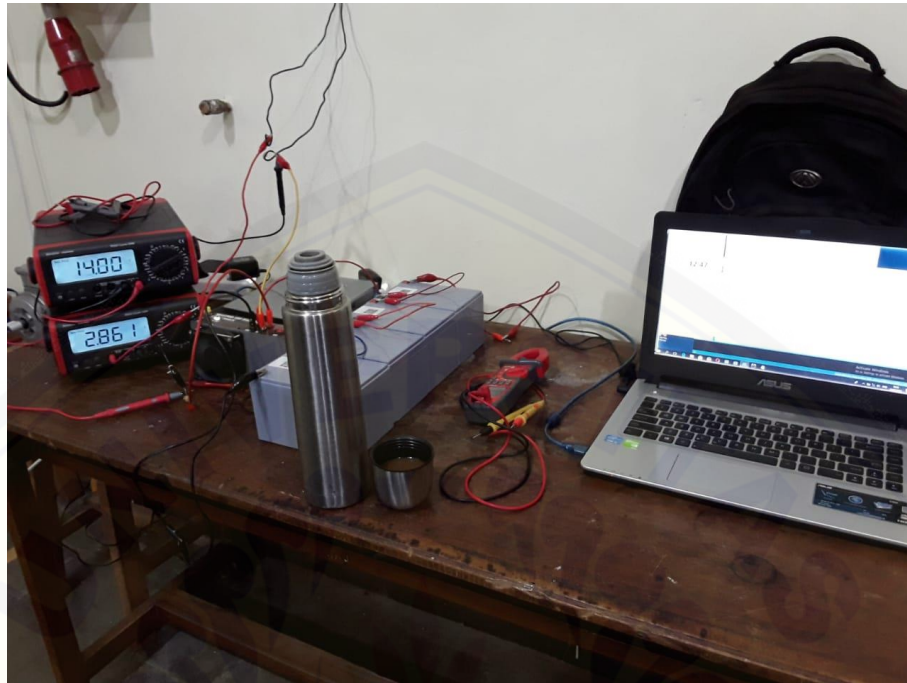
### 1. Gambar Alat





**Gambar Lapangan**







## 2. Spesifikasi Baterai



# TF12-12 12V 12AH

## VALVE REGULATED LEAD ACID BATTERY



### Specification

Nominal Voltage	12V	
Nominal Capacity(20HR)	12AH	
Dimension	Length	151 ±1mm (5.95 inches)
	Width	98 ±1mm (3.86 inches)
	Container Height	95 ±1mm (3.74 inches)
	Total Height (with Terminal)	99.5 ±1mm (3.981 inches)
Approx Weight	Approx 3.3kg (7.25lbs)	
Terminal	T1 / T2	
Container Material	ABS	
Rated Capacity	12.0 AH/0.60A	(20hr ,1.80V/cell,25°C/77°F)
	11.2 AH/1.12A	(10hr,1.80V/cell,25°C/77°F)
	10.2 AH/2.04A	(5hr,1.75V/cell,25°C/77°F)
	9.2AH/3.06A	(3hr,1.75V/cell,25°C/77°F)
	7.54AH/7.54A	(1hr,1.60V/cell,25°C/77°F)
Max. Discharge Current	180A (5s)	
Internal Resistance	Approx 17mΩ	
Operating Temp.Range	Discharge : -15~50°C (5~122°F)	
	Charge : 0~40°C (32~104°F)	
	Storage : -15~40°C (5~104°F)	
Nominal Operating Temp. Range	25 ± 3°C (77 ± 5°F)	
Cycle Use	Initial Charging Current less than 3.6 A.Voltage	
	14.4V~15.0V at 25°C(77°F)Temp. Coefficient -30mV/°C	
Standby Use	No limit on Initial Charging Current Voltage	
	13.5V~13.8V at 25°C(77°F)Temp. Coefficient -20mV/°C	
Capacity affected by Temperature	40°C (104 °F)	103%
	25°C ( 77 °F)	100%
Self Discharge	0°C ( 32 °F)	86%
	Techfine batteries may be stored for up to 6months at 25°C (77°F)and battery should be recharge before use . For higher temperatures the time interval will be shorter.	

### Applications

- ♦ All purpose
- ♦ Uninterruptable Power Supply (UPS)
- ♦ Electric Power System (EPS)
- ♦ Emergency backup power supply
- ♦ Emergency light
- ♦ Railway signal
- ♦ Aircraft signal
- ♦ Alarm and security system
- ♦ Electronic apparatus and equipment
- ♦ Communication power supply
- ♦ DC power supply
- ♦ Auto controlsystem



### 3. Listing Program

```
#define FIS_TYPE float
#define FIS_RESOLUTION 101
#define FIS_MIN -3.4028235E+38
#define FIS_MAX 3.4028235E+38
typedef FIS_TYPE(*_FIS_MF)(FIS_TYPE, FIS_TYPE*);
typedef FIS_TYPE(*_FIS_ARR_OP)(FIS_TYPE, FIS_TYPE);
typedef FIS_TYPE(*_FIS_ARR)(FIS_TYPE*, int, _FIS_ARR_OP);
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F,16,2);
int pwmPin = 4;
int analogInputo = A2;//v out
int analogInput = A1;//v in
const int analogIn = A3;//Iout
const int analogIn2 = A5;//Iin
//int mVperAmp = 185;
int mVperAmp = 87; // use 100 for 20A Module and 66 for 30A Module
int RawValue= 0;
int ACSoffset = 2500;
double Voltage = 0;
double aruso = 0;
double arusi = 0;
int val = 0; float vout = 0.0;
int vin = 0.0; int vino = 0.0;
int value = 0; int valueo = 0; int pwm = 0;
```

```
float vouto = 0.0;
float R1 = 10000.0; float R2 = 1050.0;
float R1o = 100000.0; float R2o = 2250.0;
int Errorr = 0;
int Setpoint = 0;
// Number of inputs to the fuzzy inference system
const int fis_gcI = 2;
// Number of outputs to the fuzzy inference system
const int fis_gcO = 1;
// Number of rules to the fuzzy inference system
const int fis_gcR = 9;
FIS_TYPE g_fisInput[fis_gcI];
FIS_TYPE g_fisOutput[fis_gcO];
void setup() {
  lcd.init();
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  pinMode(pwmPin,OUTPUT);
  pinMode(analogIn, INPUT);
  pinMode(analogInput, INPUT);
  TCCR0B = (TCCR0B & 0b11111000) | 0x01;
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("CLEARDATA");
  Serial.println("LABEL,Time,PWM,Vinput,Vout,ArusIN,ArusOut");
  Serial.println("RESETTIMER");
}
```

```
void loop() {
  tegangan();
  if (vino <= 4)
  {
    pwm = 0;
  }
  else if(vino == 20) {
    pwm = 70;
  }
  else if(vino >=70 ) {
    pwm = 100;
  }
  else if(pwm >=200 ) {
    pwm = 100;
  }
  else
  {
    fuzzy(); // do Thing C
  }
  arus();
  tampil();
  //Serial.println(String(pwm)+" "+String (vin)+" "+String (vino)+" "+String(arusi)+"
  "+String(arus0));
}

void arus() {
  RawValue = analogRead(analogIn);
```

```
Voltage = (RawValue / 1024.0) * 5000; // Gets you mV
aruso = ((Voltage - ACSoffset) / mVperAmp);
if (aruso<0){
    aruso=0;
}
arusi=aruso*1.6;
}
void tegangan(){
    value = analogRead(analogInput);
    vout=(value * 5.0) / 1024.0;
    vin = vout / (R2/(R1+R2));
    valueo = analogRead(analogInputo);
    vouto = (valueo * 5.0) / 1024.0;
    vino = vouto / (R2o/(R1o+R2o));
    Errorr= vino;
}
void tampil(){
int voutput = 0;
int don = 0;
int din = 0;
float vd = 0;
float PWM = 0.0;
float D=0.0;
if (vino == 52)
{
    voutput = 57;
```



```
}  
else if(vino == 58) {  
    voutput= 57;  
}  
else if(vino == 47) {  
    voutput= 57;  
}  
else if(vino == 48) {  
    voutput= 57;  
}  
else if(vino == 56) {  
    voutput= 57;  
}  
else if(vino == 55) {  
    voutput= 57;  
}  
else if(vino == 54) {  
    voutput= 57;  
}  
else if(vino == 49) {  
    voutput= 57;  
}  
else if(vino == 50) {  
    voutput= 57;  
}  
else if(vino == 51) {
```

```
voutput= 57;
}
else if(vino ==52 ) {
    voutput = 57;
}
else if(vino ==53 ) {
    voutput = 57;
}
else
{
    voutput = vino ; // do Thing C
}
//Duty
don = vin+voutput+0.7;
din = voutput+0.7;
vd = din*100/don;
//pwm
PWM = vd * 255 / 100 ;
D = PWM*100/255;
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(vin);
    lcd.setCursor(2,0);
lcd.print("V ");
    lcd.setCursor(4,0);
lcd.print((arusi));
    lcd.setCursor(8,0);
```

```
lcd.print("A");
lcd.setCursor(10,1);
lcd.print((PWM));
lcd.setCursor(10,0);
lcd.print(D,2);
lcd.setCursor(15,0);
lcd.print("%");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(voutput);
lcd.setCursor(2,1);
lcd.print("V ");
lcd.setCursor(4,1);
lcd.print(arus0,2);
lcd.setCursor(8,1);
lcd.print("A");
//Serial.println(String(pwm)+" "+String (vin)+" "+String (vino)+" "+String(arusi)+"
"+String(arus0));
Serial.print("DATA,TIME,");
Serial.print(PWM);Serial.print(",");
Serial.print(vin);Serial.print(",");
Serial.print(voutput);Serial.print(",");
Serial.print(arusi);Serial.print(",");
Serial.print(arus0);Serial.print(",");
Serial.println();
}
void fuzzy(){
```

```
Setpoint = 57; //198 = 57V
if(Errorr > Setpoint ){
    pwm--;
    pwm = constrain(pwm,1,255);
}
if(Errorr < Setpoint ){
    pwm++;
    pwm = constrain(pwm,1,255);
}
analogWrite(pwmPin ,pwm);
}
void fuzzy_(){
    int Errorr = 0;
    int ERRORRLAMA = 0;
    int V = 0;
    int vd =0;
    int DELTAERROR = 0;
    Setpoint = 57;
    Errorr = Setpoint - vino;
    DELTAERROR = Errorr - ERRORRLAMA;
    // Read Input:ERRORR
    g_fisInput[0] = Errorr;
    // Read Input: DELTAERROR
    g_fisInput[1] = DELTAERROR;
    g_fisOutput[0] = 0;
    fis_evaluate();
```

```
V = g_fisOutput[0];
vd = map(V,-1,1,127,255);
// Set output vlaue: duty_cycle
pwm = constrain(vd,127,255);
}
//*****
****
// Support functions for Fuzzy Inference System
//*****
****
// Triangular Member Function
FIS_TYPE fis_trmf(FIS_TYPE x, FIS_TYPE* p)
{
    FIS_TYPE a = p[0], b = p[1], c = p[2];
    FIS_TYPE t1 = (x - a) / (b - a);
    FIS_TYPE t2 = (c - x) / (c - b);
    if ((a == b) && (b == c)) return (FIS_TYPE) (x == a);
    if (a == b) return (FIS_TYPE) (t2*(b <= x)*(x <= c));
    if (b == c) return (FIS_TYPE) (t1*(a <= x)*(x <= b));
    t1 = min(t1, t2);
    return (FIS_TYPE) max(t1, 0);
}
FIS_TYPE fis_min(FIS_TYPE a, FIS_TYPE b)
{
    return min(a, b);
}
FIS_TYPE fis_max(FIS_TYPE a, FIS_TYPE b)
```



```
{
    return max(a, b);
}
FIS_TYPE fis_array_operation(FIS_TYPE *array, int size, _FIS_ARR_OP pfnOp)
{
    int i;
    FIS_TYPE ret = 0;
    if (size == 0) return ret;
    if (size == 1) return array[0];
    ret = array[0];
    for (i = 1; i < size; i++)
    {
        ret = (*pfnOp)(ret, array[i]);
    }

    return ret;
}
//*****
****
// Data for Fuzzy Inference System
//*****
****
// Pointers to the implementations of member functions
_FIS_MF fis_gMF[] =
{
    fis_trimf
};
```

```
// Count of member function for each Input
int fis_gIMFCount[] = { 3, 3 };

// Count of member function for each Output
int fis_gOMFCount[] = { 3 };

// Coefficients for the Input Member Functions
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff1[] = { -114, -57, 0 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff2[] = { -57, 0, 57 };
FIS_TYPE fis_gMFI0Coeff3[] = { 0, 57, 114 };
FIS_TYPE* fis_gMFI0Coeff[] = { fis_gMFI0Coeff1, fis_gMFI0Coeff2,
fis_gMFI0Coeff3 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff1[] = { -30, -15, 0 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff2[] = { -15, 0, 15 };
FIS_TYPE fis_gMFI1Coeff3[] = { 0, 15, 30 };
FIS_TYPE* fis_gMFI1Coeff[] = { fis_gMFI1Coeff1, fis_gMFI1Coeff2,
fis_gMFI1Coeff3 };
FIS_TYPE** fis_gMFICoeff[] = { fis_gMFI0Coeff, fis_gMFI1Coeff };

// Coefficients for the Output Member Functions
FIS_TYPE fis_gMFO0Coeff1[] = { -2, -1, 0 };
FIS_TYPE fis_gMFO0Coeff2[] = { -0.2, 0, 0.2 };
FIS_TYPE fis_gMFO0Coeff3[] = { 0, 1, 2 };
FIS_TYPE* fis_gMFO0Coeff[] = { fis_gMFO0Coeff1, fis_gMFO0Coeff2,
fis_gMFO0Coeff3 };
FIS_TYPE** fis_gMFOCoeff[] = { fis_gMFO0Coeff };

// Input membership function set
int fis_gMFI0[] = { 0, 0, 0 };
int fis_gMFI1[] = { 0, 0, 0 };
int* fis_gMFI[] = { fis_gMFI0, fis_gMFI1};
```

```
// Output membership function set
int fis_gMFO0[] = { 0, 0, 0 };
int* fis_gMFO[] = { fis_gMFO0};

// Rule Weights
FIS_TYPE fis_gRWeight[] = { 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 };

// Rule Type
int fis_gRType[] = { 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 };

// Rule Inputs
int fis_gRI0[] = { 1, 1 };
int fis_gRI1[] = { 1, 2 };
int fis_gRI2[] = { 1, 3 };
int fis_gRI3[] = { 2, 1 };
int fis_gRI4[] = { 2, 2 };
int fis_gRI5[] = { 2, 3 };
int fis_gRI6[] = { 3, 1 };
int fis_gRI7[] = { 3, 2 };
int fis_gRI8[] = { 3, 3 };

int* fis_gRI[] = { fis_gRI0, fis_gRI1, fis_gRI2, fis_gRI3, fis_gRI4, fis_gRI5,
fis_gRI6, fis_gRI7, fis_gRI8 };

// Rule Outputs
int fis_gRO0[] = { 1 };
int fis_gRO1[] = { 1 };
int fis_gRO2[] = { 3 };
int fis_gRO3[] = { 1 };
int fis_gRO4[] = { 2 };
int fis_gRO5[] = { 3 };
```

```
int fis_gRO6[] = { 1 };
int fis_gRO7[] = { 3 };
int fis_gRO8[] = { 3 };
int* fis_gRO[] = { fis_gRO0, fis_gRO1, fis_gRO2, fis_gRO3, fis_gRO4, fis_gRO5,
fis_gRO6, fis_gRO7, fis_gRO8 };

// Input range Min
FIS_TYPE fis_gIMin[] = { -57, -15 };
// Input range Max
FIS_TYPE fis_gIMax[] = { 57, 15 };
// Output range Min
FIS_TYPE fis_gOMin[] = { -1 };

// Output range Max
FIS_TYPE fis_gOMax[] = { 1 };

//*****
****

// Data dependent support functions for Fuzzy Inference System
//*****
****

FIS_TYPE fis_MF_out(FIS_TYPE** fuzzyRuleSet, FIS_TYPE x, int o)
{
    FIS_TYPE mfOut;
    int r;
    for (r = 0; r < fis_gcR; ++r)
    {
        int index = fis_gRO[r][o];
        if (index > 0)
```

```
{
    index = index - 1;
    mfOut = (fis_gMF[fis_gMFO[o][index]])(x, fis_gMFOCoeff[o][index]);
}
else if (index < 0)
{
    index = -index - 1;
    mfOut = 1 - (fis_gMF[fis_gMFO[o][index]])(x, fis_gMFOCoeff[o][index]);
}
else
{
    mfOut = 0;
}
fuzzyRuleSet[0][r] = fis_min(mfOut, fuzzyRuleSet[1][r]);
}
return fis_array_operation(fuzzyRuleSet[0], fis_gcR, fis_max);
}
FIS_TYPE fis_defuzz_centroid(FIS_TYPE** fuzzyRuleSet, int o)
{
    FIS_TYPE step = (fis_gOMax[o] - fis_gOMin[o]) / (FIS_RESOLUTION - 1);
    FIS_TYPE area = 0;
    FIS_TYPE momentum = 0;
    FIS_TYPE dist, slice;
    int i;
    // calculate the area under the curve formed by the MF outputs
    for (i = 0; i < FIS_RESOLUTION; ++i){
```



```
dist = fis_gOMin[o] + (step * i);
slice = step * fis_MF_out(fuzzyRuleSet, dist, o);
area += slice;
momentum += slice*dist;
}
return ((area == 0) ? ((fis_gOMax[o] + fis_gOMin[o]) / 2) : (momentum / area));
}

//*****
****

// Fuzzy Inference System

//*****
****

void fis_evaluate()
{
    FIS_TYPE fuzzyInput0[] = { 0, 0, 0 };
    FIS_TYPE fuzzyInput1[] = { 0, 0, 0 };
    FIS_TYPE* fuzzyInput[fis_gcI] = { fuzzyInput0, fuzzyInput1, };
    FIS_TYPE fuzzyOutput0[] = { 0, 0, 0 };
    FIS_TYPE* fuzzyOutput[fis_gcO] = { fuzzyOutput0, };
    FIS_TYPE fuzzyRules[fis_gcR] = { 0 };
    FIS_TYPE fuzzyFires[fis_gcR] = { 0 };
    FIS_TYPE* fuzzyRuleSet[] = { fuzzyRules, fuzzyFires };
    FIS_TYPE sW = 0;

    // Transforming input to fuzzy Input

    int i, j, r, o;
    for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
```

```
{
  for (j = 0; j < fis_gIMFCount[i]; ++j)
  {
    fuzzyInput[i][j] =
      (fis_gMF[fis_gMFI[i][j]])(g_fisInput[i], fis_gMFICoeff[i][j]);
  }
}

int index = 0;
for (r = 0; r < fis_gcR; ++r)
{
  if (fis_gRType[r] == 1)
  {
    fuzzyFires[r] = FIS_MAX;
    for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
    {
      index = fis_gRI[r][i];
      if (index > 0)
        fuzzyFires[r] = fis_min(fuzzyFires[r], fuzzyInput[i][index - 1]);
      else if (index < 0)
        fuzzyFires[r] = fis_min(fuzzyFires[r], 1 - fuzzyInput[i][-index - 1]);
      else
        fuzzyFires[r] = fis_min(fuzzyFires[r], 1);
    }
  }
}
else
```

```
{
    fuzzyFires[r] = FIS_MIN;
    for (i = 0; i < fis_gcI; ++i)
    {
        index = fis_gRI[r][i];
        if (index > 0)
            fuzzyFires[r] = fis_max(fuzzyFires[r], fuzzyInput[i][index - 1]);
        else if (index < 0)
            fuzzyFires[r] = fis_max(fuzzyFires[r], 1 - fuzzyInput[i][-index - 1]);
        else
            fuzzyFires[r] = fis_max(fuzzyFires[r], 0);
    }
}
fuzzyFires[r] = fis_gRWeight[r] * fuzzyFires[r];
sW += fuzzyFires[r];
}
if (sW == 0)
{
    for (o = 0; o < fis_gcO; ++o)
    {
        g_fisOutput[o] = ((fis_gOMax[o] + fis_gOMin[o]) / 2);
    }
}
else
{
    for (o = 0; o < fis_gcO; ++o)
```

```
{  
    g_fisOutput[o] = fis_defuzz_centroid(fuzzyRuleSet, o);  
}  
}  
}
```

