



RANCANG BANGUN DC –DC *BUCK CONVERTER* SEBAGAI *SOLAR CHARGER* DENGAN KONTROL *SELF TUNING PID FUZZY*

SKRIPSI

Oleh
SANDI SUHARYADI
NIM 151910201002

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



**RANCANG BANGUN DC –DC *BUCK CONVERTER* SEBAGAI *SOLAR CHARGER*
DENGAN KONTROL *SELF TUNING PID FUZZY***

SKRIPSI

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

Oleh
SANDI SUHARYADI
NIM 151910201002

**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, sang suri tauladan bagi seluruh umat;
3. Kedua orang tua, Ibu Sumiati dan Bapak Ahmad Haryadi yang tercinta, serta keluarga besar yang tidak kenal lelah dalam memberikan doa, semangat, kasih sayang dan dukungan baik kepada penulis;
4. Dr. Bambang Sri Kaloko, ST., MT selaku Dosen Pembimbing Utama, Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, MM. 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 ke Perguruan Tinggi;
6. Keluarga Besar Laboratorium Konversi Energi Listrik dan Keluarga Besar Laboratorium Sistem Tenaga dan Keluarga Besar Laboratorium *Renewable Energy*;
7. Almamater tercinta, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Jember;
8. Keluarga Besar D15TORSI 2015, yang telah memberikan bantuan dan dukungan hingga terselesaikannya skripsi ini;
9. Serta rekan-rekan penulis serta reka-rekan yang menjadikan skripsi ini sebagai referensi.

MOTO

*“Allah tidak membebani seseorang melainkan
sesuai kesanggupannya”*

(Q.S Al-Baqarah 286)

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

(HR, Turmudzi)

*“Agar sukses, kemauanmu untuk berhasil harus lebih
Besar dari ketakutanmu akan kegagalan”*

(Bill Cosby)

*“if i don't have to do it, i won't. If i have to do it,
i will make it quick”*

(Oreki Houtarou)

PERNYATAAN

Saya yang betanda tangan di bawah ini:

Nama : Sandi Suharyadi

NIM : 151910201002

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “ Rancang Bangun *DC – DC Buck Converter* Sebagai *Solar Charger* dengan Kontrol *Self Tuning PID Fuzzy*” 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, 23 Juli 2019

Yang menyatakan,

Sandi Suharyadi

NIM 151910201002

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN *BUCK CONVERTER* SEBAGAI *SOLAR CHARGER*
DENGAN KONTROL *SELF TUNING PID FUZZY***

Oleh
SANDI SUHARYADI
NIM 151910201002

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Bambang Sri Kaloko, ST., MT

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Rancang Bangun DC-DC *Buck Converter* Sebagai *Solar Charger* Dengan Kontrol *Self Tuning PID Fuzzy*” telah diuji dan disahkan pada :

hari, tanggal : Selasa, 12 Juli 2019

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Dr. Bambang Sri Kaloko, ST., MT.

NIP 197104022 00312 1 001

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

NIP 19631201 199402 1 002

Penguji I

Penguji II

H.R.B. Moch. Gozali, S.T., M.T.

NIP 19690608 199903 1 002

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 *DC – DC Buck Converter* Sebagai *Solar Charger* dengan Kontrol *Self Tuning PID Fuzzy*

Sandi Suharyadi

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Pada era perkembangan teknologi yang cukup pesat saat ini kebutuhan akan tenaga listrik semakin bertambah.. Terdapat berbagai jenis peralatan yang menggunakan energi listrik untuk dapat beroperasi. Listrik memiliki dua jenis yaitu listrik DC (*Direct Current*). Listrik AC dapat dihasilkan dari listrik DC dengan menggunakan alat yaitu inverter. Inverter memiliki berbagai metode perubahan listrik DC ke listrik AC.

Pada penelitian yang dilakukan mengenai *DC-DC Buck Converter* menggunakan kontrol *Self Tuning PID fuzzy* . Dengan menggunakan kontrol *Self Tuning PID fuzzy* didapatkan hasil yang lebih stabil untuk kontrol tegangannya. Sumber tegangan *Buck converter* menggunakan panel surya 50 wp. Target tegangan *output* atau *setpoint Buck Converter* sebesar 14V. Mikrokontroler arduino sebagai kontrol *switching* rangkaian *driver* mosfet. Proses *switching* mikrokontroler menggunakan frekuensi 50 kHz gelombang PWM. Dalam frekuensi tersebut setiap gelombang PWM yang dihasilkan membentuk gelombang kotak.. Dari hasil pengujian *Buck Converter* dengan kontrol *Self Tuning PID fuzzy* diterapkan pada pengisian pada beban baterai dengan menggunakan sumber daya dari panel surya untuk menghasilkan kecepatan pengisian daya yang maksimal pada terpenuhinya pengisian beban baterai.

Kata kunci : *Buck Converter*, Mikrokontroler, *Self Tuning PID Fuzzy*, Baterai 12V 7,2 Ah.

RINGKASAN

Rancang Bangun DC – DC Buck Converter Sebagai Solar Charger Kontrol Self Tuning PID Fuzzy; Sandi Suharyadi; 151910201002, 2019; 76 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Pada era perkembangan teknologi yang cukup pesat saat ini terdapat berbagai jenis peralatan menggunakan energi listrik, untuk menggunakan peralatan tersebut dibutuhkan sumber tegangan baik DC maupun AC. Tegangan listrik dapat dilakukan konversi dari DC ke AC dengan menggunakan inverter.

Konverter adalah sebuah metode untuk mendapatkan tegangan hasil konversi tegangan DC dengan menggunakan rangkaian elektronika. Konverter dapat mengkonversi *output* tegangan DC dinaikan atau diturunkan dari tegangan *input*. Terdapat beberapa jenis rangkaian konverter salah satunya adalah rangkaian dengan konfigurasi penaik tegangan yaitu *buck Converter*.

Buck converter merupakan jenis *converter* penurun tegangan. Pada penelitian ini buck converter menurunkan tegangan dari output panel 50wp sekitar 17 – 21 volt menjadi 14 volt sesuai dengan tegangan untuk *charge* baterai.

Proses switching dari *buck Converter* menggunakan arduino dengan setup pin 3 sebagai switching driver mosfet. Satu pin dari mikrokontroler dapat. Proses switching *Buck Converter* memiliki frekuensi sebesar 62.5 kHz dengan bentuk gelombang kotak atau PWM.

Dari penelitian yang sudah dilakukan didapatkan kemudian tegangan dikontrol dengan menggunakan kontrol kontrol *self tuning pid Fuzzy* untuk menstabilkan tegangan *output* dengan *setpoint* sebesar 14 V .Tujuan dari tegangan *setpoint* sebesar 14 V ialah agar converter mampu diterapkan pada pengisian baterai 12V 7,2 Ah .

Pengujian converter dilakukan dengan memberikan beban statis dan beban dinamis. Pembebanan statis dilakukan dengan menggunakan varian resistor kapur sebesar 100 Ohm , 470hm, dan 10 Ohm, sedangkan untuk pembebanan dinamis dilakukan pada pengisian baterai sebesar 12V 7,2 Ah . Hasil dari pengujian dau beban statis dengan beban 100 Ohm didapatkan efisiensi converter sebesar 73% .

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 Sumiati dan bapak Ahmad Haryadi 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, ST., MT 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. Keluarga Besar Laboratorium Konversi Energi Listrik, Keluarga Besar Laboratorium Konversi Energi Listrik dan Keluarga Besar Laboratorium *Renewable Energy*;
7. Almamater tercinta, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Jember;
8. Keluarga Besar D15TORSI 2015, yang telah memberikan bantuan dan dukungan hingga terselesaikannya skripsi ini;
9. Serta rekan-rekan penulis serta reka-rekan yang menjadikan skripsi ini sebagai referensi.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	ix
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
BAB 2.TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Panel Surya	4
2.1.1 Prinsip Kerja Panel Surya.....	4
2.1.2 Parameter Sel Surya.....	5
2.1.1 Jenis – Jenis Panel Surya	8
2.2 Baterai.....	8
2.3 Buck Converter	10
2.3.1 Kondisi Saklar Tertutup (<i>Switch ON</i>).....	10
2.3.2 Kondisi Saklar Terbuka (<i>Switch Off</i>).....	11
2.4 Arduino	13
2.5 Sensor Tegangan.....	14
2.6 Sensor Arus ACS712.....	14
2.7 Sistem Kendali PID	15

2.8 Fuzzy.....	16
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	25
3.1 Rancangan Penelitian.....	25
3.2 Jenis dan Sumber Data.....	25
3.3 Perancangan Komponen Pengendali (<i>Hardware</i>)	29
3.4 Perancangan Alat	40
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	44
4.1 Pengujian Karakteristik <i>Solar Cell</i>	44
4.2 Pengujian Sensor Tegangan.....	47
4.3 Pengujian Sensor Arus.....	50
4.4 Pengujian PWM (<i>Pulse Width Modulation</i>)	51
4.5 Pengujian <i>Buck Converter</i> Tanpa Kontrol.....	54
4.6 Pengujian Efisiensi <i>Buck Converter</i>	55
4.7 Pengujian <i>Buck Converter</i> Dengan Kontrol <i>Self Tuning PID Fuzzy</i>	57
4.8 Analisa Perbandingan <i>Self Tuning PID Fuzzy dan Ziegler Nichols</i>	59
4.9 Pengujian <i>Ripple Buck Converter</i>	59
4.7 Pengujian <i>Buck Converter</i> Dengan Beban Baterai.....	61
BAB 5.PENUTUP.....	64
5.1 Kesimpulan	64
5.2 Saran	64
DAFTAR PUSTAKA	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	65

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Spesifikasi Arduino	13
Tabel 3.1	Datasheet Panel Surya 50 wp.....	31
Tabel 3.2	Tabel Rule Base	36
Tabel 4.1	Data Hasil Pengujian Panel Surya 50 wp.....	43
Tabel 4.2	Data Hasil Pengujian Sensor Pembagi Tegangan pada Vin <i>Buck Converter</i>	46
Tabel 4.3	Data Hasil Pengujian Sensor Pembagi Tegangan pada Vout <i>Buck Converter</i>	47
Tabel 4.4	Data Hasil Pengujian Sensor Arus ACS 712	49
Tabel 4.5	Pengujian Gelombang <i>Pulse Width Modulation</i>	50
Tabel 4.6	Hasil Pengujian <i>Buck Converter</i> Tanpa Beban.....	54
Tabel 4.7	Hasil Pengujian Efisiensi <i>Buck Converter</i>	55
Tabel 4.8	Hasil Pengujian <i>Ripple Buck Converter</i>	55
Tabel 4.9	Data <i>Buck Converter</i> dengan Beban Baterai Hari Pertama.	61
Tabel 4.9	Data <i>Buck Converter</i> dengan Beban Baterai Hari Kedua.....	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Cara Kerja Sel Surya	5
Gambar 2.2	<i>Battery</i> Atau <i>Accu</i>	8
Gambar 2.3	Rangkaian <i>Buck Converter</i>	10
Gambar 2.4	Rangkaian <i>Buck Converter</i> Saat <i>Switch on</i>	11
Gambar 2.5	Rangkaian <i>Buck Converter</i> Saat <i>Switch off</i>	12
Gambar 2.6	Modul Kontroler Arduino	13
Gambar 2.7	Sensor Tegangan	14
Gambar 2.8	Rangkaian Skematik sensor Arus ACS712.....	15
Gambar 2.9	Blog Diagram Pengendali PID.....	15
Gambar 2.10	Model Linguistik <i>Fuzzy</i>	16
Gambar 2.11	Blog Diagram Fuzzy Secara Keseluruhan	17
Gambar 2.12	Blog Diagram Sistem Fuzzy 1	18
Gambar 2.13	Blog Diagram Sistem Fuzzy 2	18
Gambar 2.14	<i>Fuzzyfication</i>	22
Gambar 2.15	<i>Defuzzyfication</i>	33
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> Penelitian	26
Gambar 3.2	Blok Diagram Sistem	28
Gambar 3.3	Skematik Sensor Tegangan.....	29
Gambar 3.4	Rangkaian Pengujian Sensor Tegangan	30
Gambar 3.5	Panel Surya 50 wp.....	31
Gambar 3.6	Rangkaian <i>Buck Converter</i>	32
Gambar 3.7	Rangkaian Driver Mosfet	34
Gambar 3.8	Diagram Kontrol <i>Self Tuning PID Fuzzy</i>	34
Gambar 3.9	Simulink Kontrol <i>Self Tuning PID Fuzzy</i>	35
Gambar 3.10	<i>Membership function</i> nilai <i>error</i> (E)	35
Gambar 3.11	<i>Membership function</i> nilai <i>Delta error</i> (DE).....	35
Gambar 3.12	<i>Membership function</i> nilai <i>output</i>	36
Gambar 3.13	Desain Alat	38
Gambar 4.1	Grafik Pengaruh Daya Terhadap Waktu	45
Gambar 4.2	Grafik Perbandingan Pembacaan Sensor Tegangan dan Digital	

	Multimeter pada Vin <i>Buck Converter</i>	47
Gambar 4.3	Grafik Perbandingan Pembacaan Sensor Tegangan dan Digital Multimeter pada Vout <i>Buck Converter</i>	48
Gambar 4.4	Grafik Perbandingan Pembacaan Sensor Arus dan Digital Multimeter	50
Gambar 4.5	Gelombang sinyal PWM dengan <i>Duty cycle</i> 10%	50
Gambar 4.6	Gelombang sinyal PWM dengan <i>Duty cycle</i> 20%	51
Gambar 4.7	Gelombang sinyal PWM dengan <i>Duty cycle</i> 30%	51
Gambar 4.8	Gelombang sinyal PWM dengan <i>Duty cycle</i> 40%	51
Gambar 4.9	Gelombang sinyal PWM dengan <i>Duty cycle</i> 50%	52
Gambar 4.10	Gelombang sinyal PWM dengan <i>Duty cycle</i> 60%	52
Gambar 4.11	Gelombang sinyal PWM dengan <i>Duty cycle</i> 70%	52
Gambar 4.12	Gelombang sinyal PWM dengan <i>Duty cycle</i> 80%	53
Gambar 4.13	Gelombang sinyal PWM dengan <i>Duty cycle</i> 90%	53
Gambar 4.14	Grafik <i>Duty Cycle</i> Terhadap Tegangan Output.....	54
Gambar 4.15	Grafik Beban Terhadap Arus	55
Gambar 4.16	Grafik Beban Terhadap Tegangan	56
Gambar 4.17	Grafik Beban Terhadap Daya.....	56
Gambar 4.18	Grafik Respon <i>Self Tuning PID Fuzzy</i> dengan <i>Setpoint</i> 13 V ..	57
Gambar 4.19	Grafik Respon <i>Self Tuning PID Fuzzy</i> dengan <i>Setpoint</i> 14 V	58
Gambar 4.20	Pengujian Dengan Variasi Beban.....	58
Gambar 4.21	Perbandingan Kontrol PID Ziegler Nichols dan Self Tuning PID Fuzzy	58
Gambar 4.22	Ripple Tegangan Saat Beban 100 ohm	60
Gambar 4.23	Ripple Tegangan Saat Beban 47 ohm	60
Gambar 4.24	Ripple Tegangan Saat Beban 10 ohm	60

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era perkembangan teknologi yang cukup pesat saat ini, kebutuhan akan energi listrik semakin meningkat. Menurut data Kementerian ESDM tahun 2015 dengan jumlah penduduk Indonesia sebanyak 255.461.700 jiwa konsumsi energi listrik mencapai 232.520 MWh dengan konsumsi energi listrik per kapita sebesar 0.91KWh. Semakin bertambahnya konsumsi energi listrik di Indonesia maka penggunaan dari bahan bakar fosil akan semakin meningkat sehingga ketersediaan bahan bakar fosil seperti gas alam, minyak bumi dan batu bara akan semakin sedikit atau semakin langka. Terbatasnya sumber energi fosil sebagai bahan bakar sebagai penghasil energi listrik mendorong untuk menggunakan energi alternatif sebagai solusi agar penggunaan dan ketergantungan pemakaian energi fosil dapat berkurang. Energi alternatif merupakan energi yang di dapat dari hasil sumber daya alam yang dapat diperbarui atau tidak terbatas ketersediannya (statistik ketenagaan listrik , 2015).

Keterbatasan energi fosil sebagai penghasil energi listrik mendorong untuk menggunakan energi pengganti atau energi alternatif, salah satunya adalah menggunakan energi matahari. Matahari merupakan salah satu dari beberapa energi yang tidak terbatas jumlahnya , bahkan matahari merupakan sumber energi yang dapat diperbarui. Di Indonesia Energi matahari memiliki potensi yang cukup besar yaitu dengan insolasi harian rata-rata 4.8 kWh / m² / hari setiap tahunnya.

Dalam pemanfaatannya sebagai energi listrik energi matahari dikonversikan menjadi energi listrik dengan memanfaatkan sel surya (priswanto, 2010). Sel surya merupakan suatu perangkat yang dapat merubah energi matahari menjadi energi listrik dengan mengikuti prinsip fotovoltaik. Penggunaan pembangkit listrik tenaga surya masih sangat sedikit jika dibandingkan dengan pembangkit listrik lainnya yaitu pada tahun 2013 sampai 2015 penggunaan pembangkit listrik tenaga surya yaitu menghasilkan 8.9 MW. Panel surya sendiri mempunyai efisiensi yang relatif kecil yaitu kurang dari 40% hal ini dikarenakan tidak semua energi matahari dikonversikan menjadi energi listrik. Selain itu juga terdapat kelemahan yang

terdapat pada pembangkit tenaga surya ini yaitu tentang bagaimana kondisi lingkungan dimana PLTS di pasang , masalah – masalah tersebut meliputi kondisi cuaca dan kondisi suhu disekitarnya . Masalah – masalah tersebut menyebabkan tidak stabilnya energi listrik yang dihasilkan oleh sel surya, akhirnya terjadi variasi tegangan yang berbeda beda berdasarkan kondisi lingkungan dan cuaca yang berubah – ubah. Ketika hasil arus dan tegangan keluaran dari panel surya tidak konstan digunakan untuk *charger*, maka akan berdampak kerusakan pada baterai. (Statistik Ketenaga Listrikan, 2015).

Berdasarkan permasalahan diatas maka dilakukan tentang pengontrolan tegangan keluaran untuk *solar charger* . Pada penelitian sebelumnya oleh Gyan Septaria (2018) ini mengenai sistem pengisian baterai menggunakan *solar cell* dengan judul penelitian “Rancang Bangun DC-DC *Buck Converter* Pada *Solar Charger* Berbasis *Ziegler Nichols*”. Penelitian ini menggunakan metode *Ziegler Nichols*, tegangan keluaran yang dihasilkan cukup stabil, dengan menggunakan metode ini waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan parameter k_p , k_i dan k_d cukup cepat, dikarenakan metode *ziegler nichols* ini telah terdapat rumus yang digunakan untuk mendapatkan nilai k_p , k_i dan k_d .

Maka dari itu dilakukan penelitian ” Rancang Bangun Dc – Dc *Buck Converter* Pada *Solar Charger* Berbasis *Self Tuning PID - Fuzzy*. Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian yang sebelumnya. Kelebihan dari penelitian ini adalah menggunakan kontrol *Self Tuning PID – Fuzzy* untuk mendapatkan parameter k_p , k_i dan k_d .

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah di jabarkan diatas dapat ditarik beberapa permasalahan yaitu :

1. Bagaimana merancang dan membuat *Buck Converter* Pada *Solar Charger* dengan metode *Self Tuning PID - Fuzzy* untuk kontrol tegangan keluaran panel surya ?
2. Bagaimana sistem metode *self Tuning PID - Fuzzy* untuk mengontrol kestabilan tegangan keluaran *Buck Converter* Pada *Solar Charger* .

1.3 Batasan Masalah

Untuk Memfokuskan tujuan penelitian maka penulis memberi batasan masalah rencana penelitian ini. Adapun yang menjadi batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Panel surya yang digunakan sebesar 50 wp *polycrystalline*.
2. Analisa dititik beratkan pada tegangan keluaran *Buck Converter*.
3. Pengujian *Buck Converter* untuk *charger battery*.
4. Tidak membahas masalah kelembapan, suhu dan kemiringan pada panel surya.
5. Battery yang digunakan 12 Volt 7,2 Ah
6. Untuk kontrol tegangan keluaran menggunakan metode *self tuning PID - Fuzzy*

1.4 Tujuan Penelitian

Dengan meninjau latar belakang pada permasalahan yang telah diuraikan, maka dapat dirumuskan tujuan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Dapat menerapkan *Buck Converter* .pada *solar charger*.
2. Dapat menerapkan sistem kontrol self tuning PID - Fuzzy pada keluaran *Buck Converter* .pada *solar charger* sehingga diperoleh tegangan yang stabil.

1.5 Manfaat Penelitian

Pada penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu memperbaiki tegangan dengan cara menstabilkan tegangan keluaran DC-DC *Buck Converter* .menggunakan sistem kontrol metode *Self tuning PID - Fuzzy* sehingga di dapatkan keandalan serta *efisiensi* yang tinggi pada *solar charger*.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab 2 ini diuraikan tentang beberapa dasar teori 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 Panel Surya

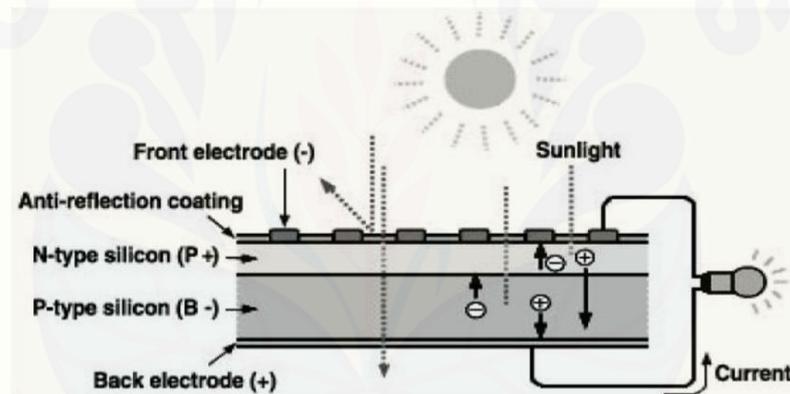
Panel surya merukan suatu alat yang digunakan untuk mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Disebut surya atau “sol” karena matahari merupakan sumber cahaya terkuat yang dapat dimanfaatkan. Panel surya sering disebut sel photovoltaic. Photovoltaic juga dapat diartikan sebagai “cahaya listrik”. Sel surya bergantung pada efek photovoltaic untuk menyerap energi. Pada umumnya, sel surya merupakan sebuah hamparan semi konduktor yang yang dapat menyerap photon dari sinar matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik. Sel surya terbuat dari potongan silikon yang sangat kecil dengan dilapisi bahan kimia khusus untuk membentuk dasar dari sel surya. Sel surya pada umumnya memiliki ketebalan minimum 0,3 mm yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif dan negatif . Pada sel surya terdapat sambungan (*function*) antara dua lapisan tipis yang terbuat dari bahan semikonduktor yang masing-masing yang diketahui sebagai semikonduktor jenis “P” (Positif) dan semikonduktor “N” (Negatif). Silikon jenis” P” merupakan lapisan permukaan yang dibuat sangat tipis supaya cahaya matahari dapat menenmbus langsung mencapai junction. Bagian “P” ini diberi lapisan nikel yang berbentuk cincin, sebagai terminal keluaran positif. Dibawah bagian “P” terdapat bagian jenis “N” yang dilapisi dengan nikel juga sebagai terminal keluaran negatif. (Yusmiati, 2014)

2.1.1 Prinsip Kerja Panel Surya

Prinsip kerja dari panel surya silikon adalah berdasarkan konsep semikonduktor p-n *junction*. Sel surya terdiri dari lapisan semikonduktor *doping-n* dan *doping-p*

yang membentuk *p-n junction*, substrat logam sebagai tempat mengalirnya arus dari lapisan tipe-n elektron dari tipe-p (*hole*) dan lapisan antirefleksi.

Semikonduktor tipe-n didapat dengan mendoping silikon dengan unsur dari golongan V sehingga terdapat kelebihan elektron valensi dibanding atom sekitar. Pada sisi lain semikonduktor tipe-p didapat dengan doping oleh golongan III sehingga elektron valensinya defisit satu dibanding atom sekitar. Ketika dua tipe material tersebut mengalami kontak maka kelebihan elektron dari tipe-n berdifusi pada tipe-p. Sehingga area doping tipe-n akan bermuatan positif sedangkan area doping-p akan bermuatan negatif. Medan elektrik yang terjadi pada keduanya mendorong elektron kembali ke daerah-n dan hole ke daerah-p. Pada proses ini terbentuk *p-n junction*. Dengan menambahkan kontak logam pada area p dan n maka telah terbentuk dioda.



(gambar 2.1 cara kerja sel surya silikon)

Ketika junction disinari, photon yang mempunyai energi sama atau lebih besar dari lebar pita energi material tersebut akan menyebabkan eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi dan akan meninggalkan hole pada pita valensi. Elektron dan hole ini dapat bergerak dalam material sehingga menghasilkan pasangan elektron-hole. Apabila di tempatkan hambatan pada terminal sel surya, maka elektron dari area-n akan kembali ke area-p sehingga menyebabkan perbedaan potensial dan arus akan mengalir. Skema cara kerja sel surya dapat dilihat dari gambar 6.1

2.1.2 Parameter Sel Surya

Pengoperasian sel surya sangat tergantung pada :

a. Ambient air temperature

Sebuah sel surya dapat beroperasi secara maximum jika temperature sel tetap normal (pada 25 derajat celcius), kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperature normal pada pv sel akan melemahkan tegangan (Voc). Setiap kenaikan temperature sel surya 1 derajat celcius (dari 25 derajat) akan berkurang sekitar 0,4% pada total tenaga yng dihasilkan atau akan melemah 2x lipat untuk kenaikan temperatur Sel per 10 derajat celcius.

b. Radiasi solar matahari (*insoltion*)

Radiasi solar matahari di bumi dan berbagai lokasi bervariasi, dan sangat tergantung keadaan spektrum solar ke bumi. *Insolation* solar matahari akan banyak berpengaruh pada arus.

c. Kecepatan angin bertiup

Kecepatan tiup angin disekitar lokasi PV array dapat membantu mendinginkan permukaan temperature kaca-kaca PV array.

d. Keadaan atmosfer bumi

keadaan atmosfer bumi berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara (Rh), kabut dan polusi sangat menentukan hasil maksimum arus dari deretan PV.

e. Orientasi panel atau array PV

Orientasi dari rangkaian PV (array) ke arah matahari secara optimum adalah penting agar panel/deretan PV dapat menghasilkan energi maximum. Selain arah orientasi, sudut orientasi dari panel PV sebaiknya diorientasikan ke selatan, orientasi ke timur-barat walaupun juga dapat menghasilkan sejumlah energi dari panel PV, tetapi tidak akan mendapat energi matahari optimum. Posisi letak sel surya terhadap matahari, mempertahankan sinar matahari jatuh ke sebuah permukaan panel PV secara tegak lurus akan mendapatkan energi maximum 1000 W/m² atau 1 kW/m². Kalau tidak dapat mempertahankan ketegak lurus antara sinar matahari dengan bidang PV, maka extra luasan bidang panel PV dibutuhkan (bidang panel PV terhadap sun altitude yang berubah setiap jam dalam sehari)

2.1.3 Jenis – Jenis Panel Surya

2.1.3.1 *Single Crystalline*.

Yaitu kristal yang mempunyai satu jenis macamnya, tipe ini dalam perkembangannya mampu menghasilkan efisiensi yang sangat tinggi. Jenis *single crystalline* antara lain:

a. *Gallium Arsenide Cell*

Gallium arsenide cell sangat efisien dari semua sel, tapi harganya sangat mahal. Efisiensi dari sel ini mampu mencapai 25 persen.

b. *Cadmium Sulfide Cell*.

Cadmium sulfide cell ini merupakan suatu bahan yang dapat dipertimbangkan dalam pembuatan panel surya, karena harga yang murah dan mudah dalam proses pembuatannya.

2.1.3.2 *Polycrystalline Cell*.

Polycrystalline cell merupakan kristal yang banyak macamnya, terbuat dari *cristal silicon* dengan efisiensi 10-12 persen.

2.1.3.3 *Amorphous Silicon Cell*.

Amorphous berarti tidak memakai kristal struktur non kristal, bahan yang digunakan berupa proses film yang tipis dengan efisiensi sekitar 4-6 persen.

2.1.3.4 *Copper Indium Diselenide Cell*.

Bahan semikonduktor yang aktif dalam sel surya CIS adalah *copper indium disenide*. Senyawa CIS sering juga merupakan paduan dengan *gallium* dan belerang. Efisiensi sekitar 9-11 persen.

2.1.3.5 *Cadmium Telluride (CdTe) Cell*.

Panel surya CdTe diproduksi pada substrat kaca dengan lapisan konduktor TCO transparan biasanya terbuat dari *indium tin axide* (ITO) sebagai kontak depan. Efisiensi 1 persen hingga 8,5 persen per efisiensi modul.

2.1.3.6 *Dye Sensitized*.

Prinsip kerja *Dye sensitized* yaitu menyerap cahaya dalam pewarna organik mirip dengan cara dimana tanaman menggunakan klorofil untuk menangkap energi dari sinar matahari dengan fotosintesis (Weller,2008).

2.2 Baterai

Aki atau baterai adalah sebuah sel listrik yang didalam baterai tersebut terjadi proses elektrokimia yang *reversible* (dapat berbalikan) dengan tingkat efisiensi yang tinggi. Pengertian lain dari baterai adalah alat yang digunakan untuk menyimpan tenaga listrik melalui proses elektrokimia sehingga sumber tenaga listrik dapat diubah menjadi tenaga kimia dan sebaliknya. Proses elektrokimia *reversible* merupakan proses yang terjadi di dalam baterai akibat dari pengubahan kimia menjadi tenaga listrik (*discharge*), dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia (*charge*).



Gambar 2.2 Battery atau Accu

Proses yang terjadi di baterai adalah sebagai berikut :

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 stage/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 full charge 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 celcius, 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.

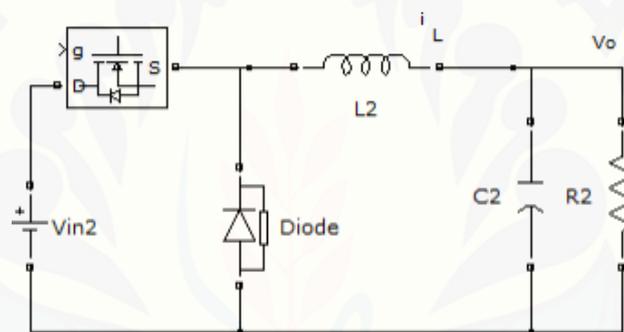
b. *Discharging* Baterai Aki

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 atau *accu* dihitung dalam jumlah *cycle*. *Cycle* adalah satu kali penggunaan dan pengisian. *Depth of discharge* (jumlah pemakaian ampere baterai), mempengaruhi baterai aki atau *accu*. 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 Buck Converter

Buck converter merupakan konverter yang menghasilkan tegangan *output* yang lebih kecil dari tegangan *input*. Tegangan *output* yang dihasilkan mempunyai polaritas yang sama dengan tegangan masukannya. *Buck Converter* biasa disebut juga sebagai *step-down converter*. Pada gambar 2.3 merupakan rangkaian dasar *buck converter* yang terdiri dari inductor, kapasitor, mosfet sebagai *switching* komponen dan resistor sebagai beban (*dummy load*).



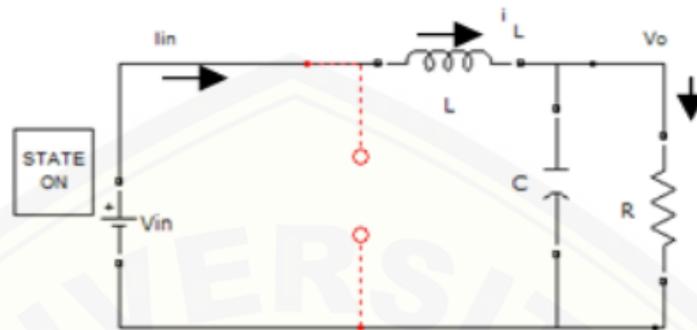
Gambar 2.3 Rangkaian *Buck Converter*.

Prinsip kerja *buck converter*, terdapat 2 *state* yaitu *state On* dan *state Off*. Ketika *state On* atau saklar pada kondisi *On*, arus sumber mengalir melalui induktor *L* menuju *output* beban kapasitor dan resistor hingga tegangan keluaran mendekati tegangan masukan. Ketika pada *state Off* atau saklar pada kondisi *Off*, terjadi pembalikan polaritas sehingga energi yang tersimpan pada induktor akan mengalir terbalik berdasar tegangan yang tersimpan pada kapasitor hingga terjadi pengurangan pada kapasitor. Proses pengisian dan pengosongan inilah yang menyebabkan tegangan keluaran selalu lebih rendah dari tegangan masukannya

2.3.1 Kondisi Saklar Tertutup (*Switch ON*)

Ketika berada pada *state On*, *Q1* akan berfungsi sebagai saklar yang menutup (konduksi) selama interval waktu dt , maka arus dari tegangan sumber V_{in} akan mengalir melalui induktor *L*, beban dan kembali lagi ke sumber. Karena tegangan

yang diberikan kepada induktor konstan, maka arus yang melewati induktor meningkat secara *linier* (Tohir,2016). Pada gambar 2.3 menunjukkan *Buck Converter* saat kondisi *switch on*.



Gambar 2.4 *Buck Converter* saat kondisi *switch on*.

Secara matematika, waktu dari *state On* dapat ditulis seperti berikut:

$$T_{ON} = D \times T_S \quad (2.1)$$

Secara umum didapat persamaan sebagai berikut :

$$V_{in} = V_L + V_O \text{ dan } V_L = V_{in} - V_o \quad (2.2)$$

$$L \frac{di}{dt} = V_{in} - V_o \quad (2.3)$$

$$L di = (V_{in} - V_o) dt \quad (2.4)$$

Karena lama waktu dt adalah selama saklar pada kondisi menutup atau *On*, maka

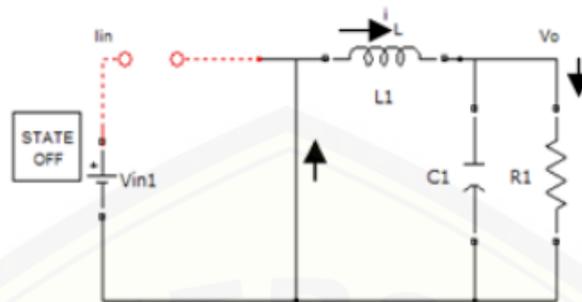
$$L di = (V_{in} - V_o) t_{on} \quad (2.5)$$

$$di = \left(\frac{V_{in} - V_o}{L} \right) t_{on} \quad (2.6)$$

2.3.2 Kondisi Saklar Terbuka (*Switch OFF*)

Ketika berada pada *state Off*, Q1 menjadi terbuka mengakibatkan arus dari sumber *input* tidak dapat mengalir melewati mosfet, sehingga sumber dari tegangan *output* sekarang berasal dari induktor dan kapasitor dimana dioda D menjadi aktif. Arus mengalir dari induktor L ke beban melalui dioda dan kembali menuju induktor L. Karena tegangan induktor menjadi lebih kecil dibandingkan saat *state ON* dan konstan, maka arus yang melewati induktor akan menjadi turun secara

linier (Tohir,2016). Gambar 1.4 menunjukkan *Buck Converter* saat kondisi *switch off*.



Gambar 2.5 *Buck Converter* saat kondisi *switch off*

Secara matematika, waktu dari *state Off* dapat ditulis seperti berikut:

$$T_{OFF} = (1 - D) \times TS \quad (2.7)$$

Pada kondisi saklar membuka, dapat diturunkan persamaan sebagai berikut

$$V_L = V_L \quad (2.8)$$

$$L \frac{di}{dt} = V_o \quad (2.9)$$

$$L di = V_o dt \quad (2.10)$$

karena lama waktu dt adalah selama saklar pada kondisi membuka atau Off, maka :

$$L di = V_o t_{off} \quad (2.11)$$

$$Di = \left(\frac{V_o}{L}\right) t_{off} \quad (2.12)$$

Diperoleh hubungan antara tegangan masukan dan keluaran, sebagai berikut:

$$V_o = V_{in} \times D \quad (2.13)$$

Dimana :

V_o : Tegangan keluaran (V)

V_{in} : Tegangan masukan (V)

D : *Duty Cycle* (%)

Jika menggunakan asumsi bahwa rangkaian tidak mengalami rugi-rugi maka dapat diturunkan sebagai berikut:

$$V_{in} \cdot I_{in} = V_o \cdot I_o = D V_{in} \cdot I_o \quad (2.14)$$

Sehingga arus masukan rata-rata adalah :

$$I_{in} = D \cdot I_o \quad (2.15)$$

2.4 Arduino

Arduino adalah modul mikrokontroler yang digunakan untuk merancang dan mempermudah pekerjaan dalam dunia elektronika di berbagai bidang. Arduino sendiri memiliki prosesor Atmel AVR dan softwarena memiliki bahasa pemrograman sendiri. Bahasa yang digunakan dalam program arduino adalah bahasa C yang disederhanakan dengan bantuan bantuan pustaka pustaka yang disediakan oleh arduino.



Gambar 2.6 Modul Kontroler Arduino

(Sumber : www.arduino.com)

Adapun spesifikasi dari arduino Uno R3 sendiri seperti pada tabel 2 dibawah ini

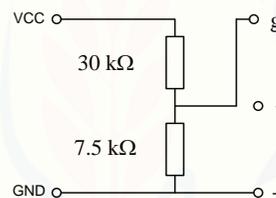
Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino

Spesifikasi	Keterangan
Chip mikrokontroller	Atmega328P
Tegangan operasi	5 V
Tegangan input (yang direkomendasikan, via jack DC)	7 V – 12 V
Tegangan input (limit, via jack DC)	6 V – 20 V
Digital I/O pin	14 buah, 6 diantaranya menyediakan PWM output

Analog Input pin	6 Buah
Arus DC per pin I/O	20 mA
Arus DC pin 3.3V	50 mA
Memori Flash	32 KB (Atmega328P), 0,5 KB telah digunakan untuk bootloader
SRAM	2 KB (Atmega328P)
EEPROM	1 KB (Atmega328P)
Clock speed	16 MHz

2.5 Sensor Tegangan

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



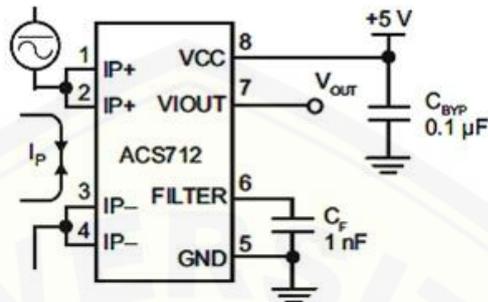
Gambar 2.7 Sensor Tegangan

Gambar 6.6 adalah sensor pembagi tegangan. 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).

2.6 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

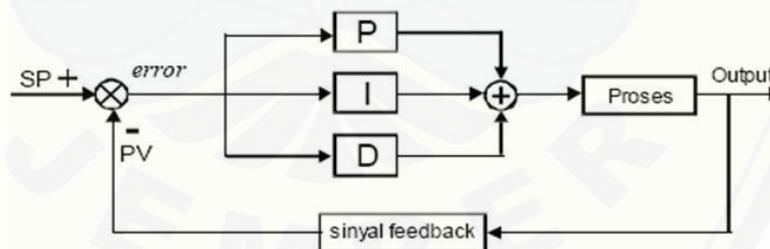
aplikasinya antara lain untuk sensor kontrol motor, deteksi dan manajemen penggunaan daya, sensor untuk catu daya tersaklar, sensor proteksi terhadap arus lebih, dan lain sebagainya.



Gambar 2.8 Rangkaian Skematik Sensor Arus ACS712

2.7 Sistem Kendali PID

Kontrol PID (*Proportional Integral Derivative*) adalah sebuah sistem kontrol yang digunakan untuk menambah tingkat kepresisian suatu sistem dengan menggunakan sistem umpan balik (*feedback*) yang terdapat dalam sistem tersebut. Kontrol PID terbentuk dari tiga buah kontrol yaitu kontrol P (*Proportional*), D (*Derivative*) dan I (*Integral*). Dimana setiap kontrol memiliki karakteristik serta kelebihan dan kekurangan. Blok diagram sistem kendali PID ditunjukkan pada Gambar 6.11



Gambar 2.9 Blok Diagram Pengendali PID

(Sumber : Bachri, 2004)

Adapun rumus dari sistem pengendali PID adalah

$$PID = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p \cdot T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.16)$$

Dengan :

PID = output dari kendali PID

K_p = konstanta *proporsional*

$$K_i = K_p/T_i$$

T_i = konstanta *integral*

$$K_d = K_p.T_d$$

T_d = konstanta *derivatif*

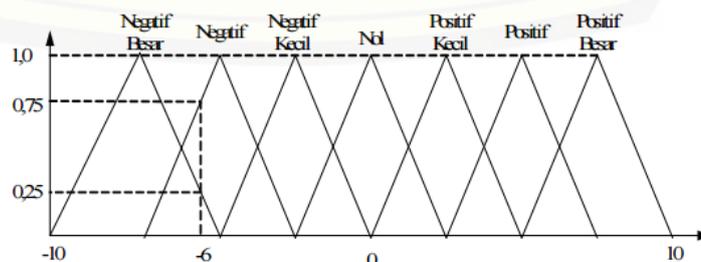
$e(t)$ = *error*

Untuk mendapatkan respon yang baik dari kontrol PID parameter harus mengatur masing-masing parameter P, I dan D.

2.8 Fuzzy

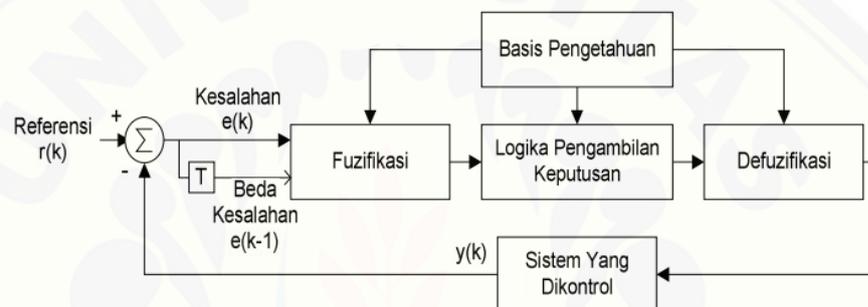
Fuzzy adalah konsep himpunan yang pertama kali dikembangkan oleh Zadeh pada tahun 1965. Meskipun konsep dari himpunan *fuzzy* dikembangkan di Amerika, penggunaan *fuzzy* paling banyak diadaptasi dan dikembangkan di Jepang untuk diaplikasikan kedalam sistem kendali atau sistem kecerdasan buatan. Logika *fuzzy* pada umumnya diterapkan pada permasalahan - permasalahan yang memiliki unsur *uncertainty* (ketidakpastian) atau abu – abu serta *imprecise* (ketidaktepatan), *noisy*.

Logika *fuzzy* memiliki cara kerja yang didasarkan pada aturan linguistik yang biasa digunakan oleh manusia atau lebih spesifiknya mirip dengan instruksi yang berasal dari seorang operator dalam melakukan kendali. Dalam kinerja dari pengendalian tersebut, perintah atau instruksi didefinisikan dengan linguistik bukan dengan angka. Berhasil atau tidak tergantung dari pengalaman yang dimiliki oleh operator dan untuk mendapatkan pengalaman tersebut membutuhkan coba – coba dan waktu. Begitu juga dalam logika *fuzzy*, tidak ada istilah pendeskripsian yang baku untuk dapat menentukan sebuah sistem kontrol dari *fuzzy* tersebut dapat berkerja dengan hasil yang memuaskan.



Gambar 2.10 Model Lingsuitik *Fuzzy*.
(P, Wicaksono, I, Setiawan, Darjat, 2008)

Pada logika *fuzzy*, terdapat beberapa parameter yang dapat diatur guna menghasilkan *plan* yang sesuai dengan kita, diantaranya adalah semesta pembicaraan, agregasi *rule*, basis dari aturan *fuzzy*, bentuk fungsi tipe keanggotaan dan metode dalam implikasi serta metode *defuzifikasi* yang akan digunakan. Basis pengetahuan pada logika *fuzzy* berisikan tentang pengetahuan - pengetahuan dari sistem kontrol yang akan dijadikan referensi dalam mengevaluasi keadaan sistem yang sudah didesain untuk menghasilkan *output* kontrol yang sesuai dengan yang diharapkan oleh perancang. Basis pengetahuan dari sistem ini tersusun oleh basis-basis data dan basis-basis aturan (*rule*).

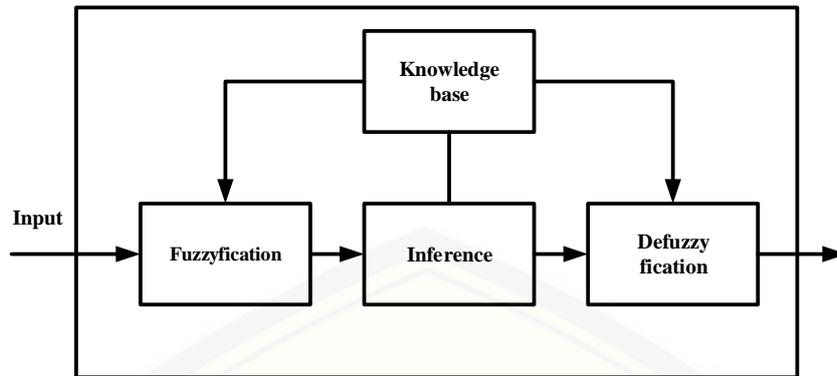


Gambar 2.11 Blok Diagram *Fuzzy* Secara Keseluruhan
(P, Wicaksono, I, Setiawan, Darjat, 2008)

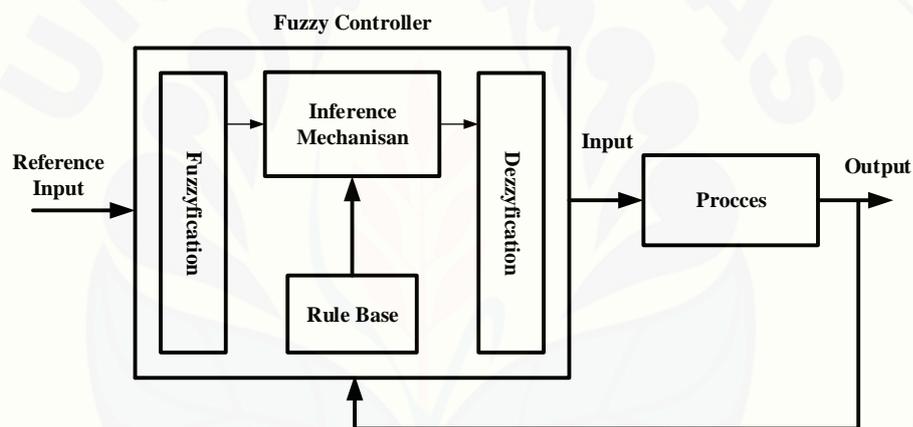
Himpunan *fuzzy* sebenarnya dibentuk oleh variabel-variabel linguistik dengan jumlah dan jenis himpunan yang ditentukan pada saat proses perencanaan suatu *plan*. Sedangkan basis dari aturan atau *rule fuzzy* memiliki simbol dengan sintak 'IF-THEN' yang merupakan himpunan dari kondisi suatu pernyataan aturan - aturan. Penentuan ini didasarkan kepada pengetahuan pakar. Sedangkan untuk proses *defuzzifikasi* adalah proses dari pengubahan nilai *fuzzy* menjadi nilai yang berbentuk himpunan-himpunan keluaran *fuzzy* berdasarkan *membership function* yang telah didesain untuk menghasilkan kembali bentuk tegasnya. Proses ini sangat diperlukan, karena pada suatu *plant*, suatu hanya dapat mengenal nilai defuzifikasi tersebut sebagai nilai sebenarnya yang nantinya nilai tersebut akan digunakan untuk proses regulasi.

2.8.1 Tahap Pemodelan Dalam Fuzzy Logic

Berikut adalah tahap pemodelan dalam fuzzy logic yang disajikan dalam blog diagram :

Gambar 2.12 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 2.13 Blok Diagram sistem *fuzzy* 2

Ada beberapa hal yang perlu diketahui dalam memahami sistem fuzzy, yaitu:

a. *Variable fuzzy*

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

b. Himpunan *fuzzy*

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

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. Adakalanya nilai semesta pembicaraan ini tidak dibatasi batas atasnya.

Contoh :

- Semesta pembicaraan untuk variabel umur: $[0 + 8)$
- Semesta pembicaraan untuk variabel temperatur: $[0 40]$

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.

2.8.2 Struktur Dasar *Fuzzy Logic Controller*

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 logika *fuzzy* 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 tasioner.
- 3) Memenuhi spesifikasi operasional dan kriteria kinerja.
- 4) Strukturnya sederhana, kokoh dan beroperasi *real time*.

A. Himpunan *Fuzzy*

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

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

Kalau pada himpunan *crisp*, nilai keanggotaan hanya ada 2 kemungkinan, yaitu 0 atau 1, pada himpunan *fuzzy* nilai keanggotaan terletak pada rentang 0

sampai 1. Apabila x memiliki nilai keanggotaan *fuzzy* $\mu[x]=0$ berarti x tidak menjadi anggota himpunan A , demikian pula apabila x memiliki nilai keanggotaan *fuzzy* $\mu_A[x]=1$ berarti x menjadi anggota penuh pada himpunan A .

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 suatu himpunan *fuzzy* MUDA 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 muda berarti 10% dari himpunan tersebut diharapkan tidak muda. Himpunan *fuzzy* memiliki 2 atribut yaitu :

- a) *Linguistik*, yaitu penamaan suatu grup yang mewakili suatu keadaan suatu kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami, seperti : MUDA, PAROBAYA, TUA.
- b) *Numeris*, yaitu suatu nilai (angka) yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel, seperti : 40, 25, 50, dsb.

B. Fungsi Keanggotaan

Fungsi Keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik *input* data ke dalam 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. Ada beberapa fungsi yang bisa digunakan.

- a) Representasi Linear
- 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

C. 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.

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

D. 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 (x₁ is A₁) • (x₂ is A₂) • (x₃ is A₃) (X_x is A_x) THEN y is B

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

Min (*minimum*). Fungsi ini akan memotong *output* himpunan *fuzzy*.

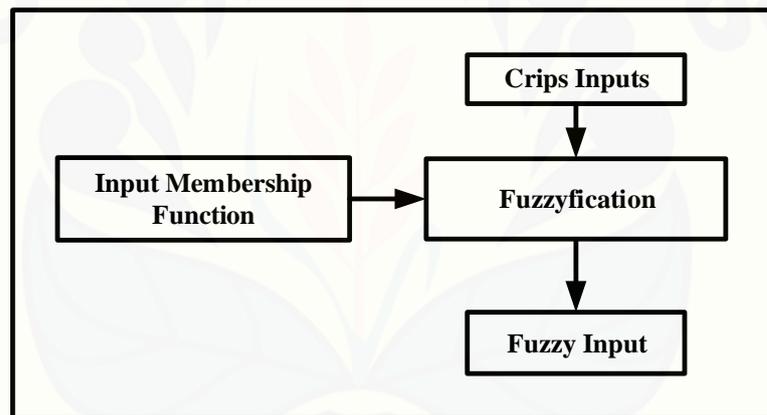
2.8.4 Fuzzification

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 basis pengetahuan, dimana terdiri dari fakta (*data base*), dan kaidah atur (*rulebase*).



Gambar 2.14 *Fuzzyfication*

2.8.5 *Rule Evaluation*

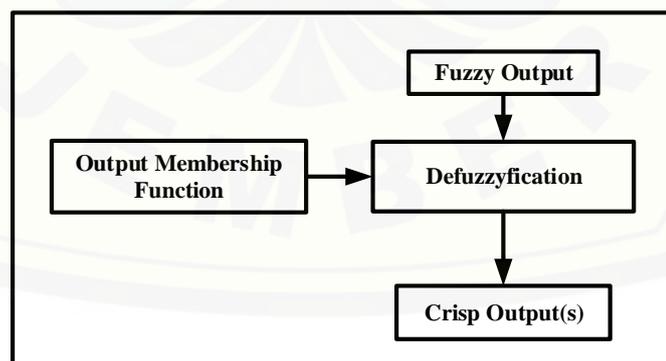
Prosedur *fuzzifikasi* merupakan proses untuk mengubah variabel *non fuzzy* (variabel *numerik*) menjadi variabel *fuzzy* (variabel *linguistik*). Nilai *error* dan *delta error* yang dikuantisasi sebelumnya diolah oleh kontroler logika *fuzzy*, kemudian diubah terlebih dahulu ke dalam variabel *fuzzy*. 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

2.8.6 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 2.15 Defuzzification

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Pada metode pelaksanaan data ini akan menjelaskan tempat dan waktu, ruang lingkup, jenis dan sumber data, serta metode pengumpulan data yang dilakukan dalam proses penelitian

3.1 Rancangan Penelitian

Jenis penelitian yang akan dilakukan yaitu dengan membuat rancang bangun yang bertujuan mengambil data mengenai sistem pengisian baterai VRLA menggunakan *Solar Cell*. Proses yang terjadi yaitu tegangan keluaran dari panel surya akan masuk pada *Buck Converter* yang diatur berdasarkan *duty cycle* yang kemudian digunakan untuk menurunkan dan menstabilkan tegangan pengisian sesuai kriteria pada baterai atau aki. Kontrol yang digunakan untuk menstabilkan tegangan tersebut adalah *self tuning PID – Fuzzy*. Penelitian ini dilakukan Laboratorium Konversi Energi Listrik, Fakultas Teknik, Universitas Jember yang beralamat di Jln. Slamet Riyadi no. 62 Patrang.

3.2 Jenis dan Sumber Data

3.2.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperoleh oleh penulis melalui dua bagian yaitu:

1. Penelitian Kepustakaan (*Library Research*)

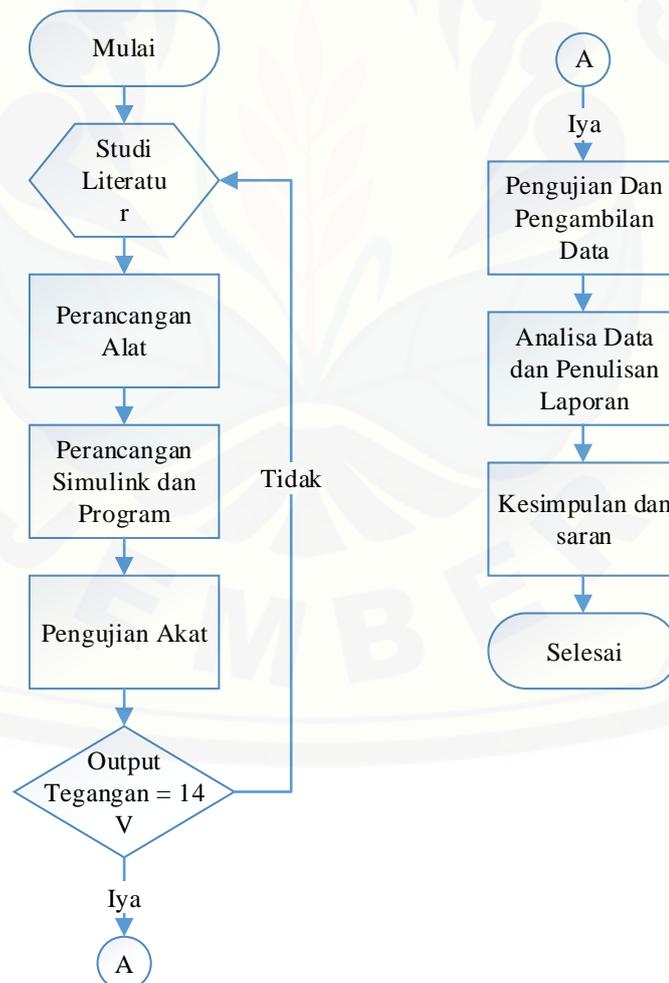
Penelitian kepustakaan atau juga sering disebut studi pustaka merupakan proses pengambilan data baik untuk latar belakang ataupun landasan teori yang berasal dari buku-buku, internet, *International Journal*, jurnal nasional, maupun *e-book*. Data-data yang ada dikumpulkan secara selektif sesuai dengan 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 *Buck Converter* dengan *self tuning PID Fuzzy Logic Controller* yang akan digunakan untuk pengisian baterai.

3 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 terlihat dalam Gambar 3.1



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

Tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian “RANCANG BANGUN DC – DC BUCK CONVERTER PADA SOLAR CHARGER DENGAN KONTROL SELF TUNING PID FUZZY” 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 plan dan sistem kontrol dimana ditahap ini dilakukan perancangan beberapa komponen pengendali seperti sensor tegangan, *Buck Converter* 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 *Buck Converter* serta pengujian pada panel surya yang digunakan.

4. Pembuatan simulink Matlab untuk kontrol

Pada tahap keempat kali ini yaitu dengan melakukan pemrograman pada simulink matlab untuk mendapatkan *set point* yang ditentukan agar tegangan yang akan masuk pada baterai menjadi sesuai dengan tegangan yang di butuhkan baterai sesuai dengan toleransi yang diberikan pada saat pengisian baterai meskipun dengan masukan tegangan yang terdapat pada *Buck Converter* 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 dengan tegangan 14 *Volt*.

6. Analisa data dan pembuatan laporan

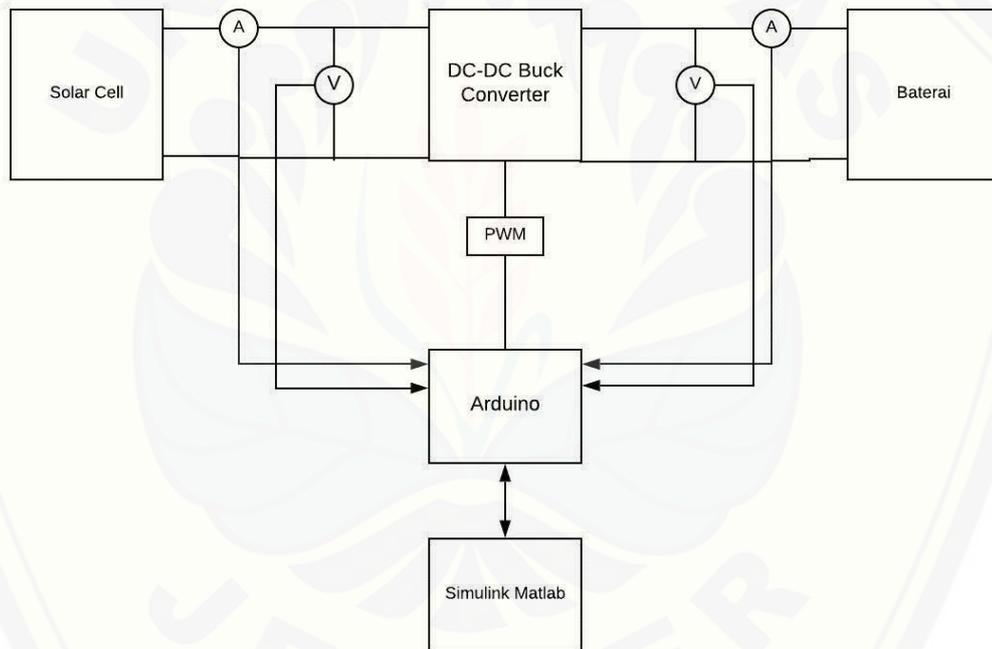
Tahap keenam adalah melakukan analisa pada data yang diperoleh dan membuatnya menjadi sebuah bentuk laporan hasil dari penelitian yang telah dilakukan.

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..

3.2.2 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

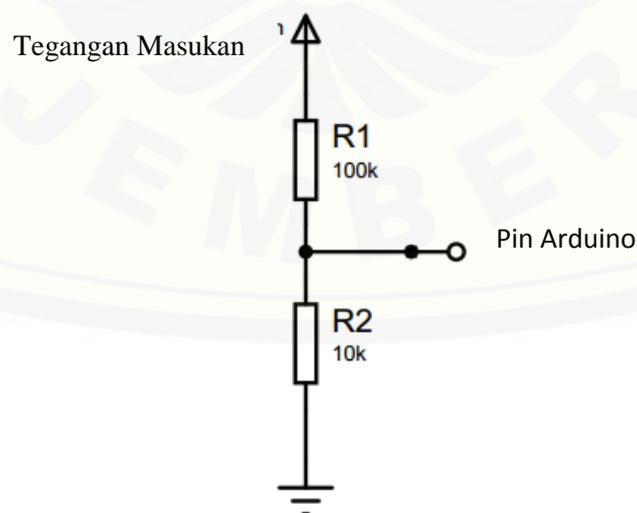
Pada dasarnya prinsip kerja dari sistem pengisian baterai menggunakan *solar cell* berbasis arduino dan simulink matlab, dapat dilihat dari gambar 3.2 yang merupakan gambaran dari blok diagram sistem secara keseluruhan. Panel surya yang digunakan dalam *plan* ini yaitu panel surya 50 wp *polycrystalline* sebanyak 1 buah. Maka *output* dari panel surya tersebut yaitu sebesar 17 V sampai 21 V , sedangkan untuk melakukan *charge* terhadap sebuah battery maka harus menggunakan tegangan 14 V . Maka dari itu diperlukan *Buck Converter* untuk

menurunkan tegangannya. *Buck Converter* mengatur besarnya berdasarkan *duty cycle*, sedangkan *duty cycle* diatur oleh sebuah kontrol yang berupa arduino yang di program menggunakan simulink matlab berdasarkan besarnya PWM dengan menggunakan kontrol *Self Tuning PID Fuzzy Controller*. Di dalam simulink matlab ini terdapat kontrol agar dapat mengatasi apabila terjadi *drop* tegangan sehingga mempertahankan *output* tegangan berada pada *set poin* dan untuk mentransfer program simulink matlab ke buck converter menggunakan arduino. *Buck Converter* dan juga digunakan sebagai *input* dari Arduino yang berupa ADC (*Analog to Digital Converter*). Sebagai tambahan maka tegangan keluaran dari *Buck Converter* akan di kontrol dengan *Self Tuning PID Fuzzy* agar diperoleh kestabilan tegangan yang akan masuk ke dalam baterai saat melakukan *charging*.

3.3 Perancangan Komponen Pengendali (*Hardware*)

3.3.1 Sensor Tegangan

Pada penelitian kali untuk penggunaan resistor sebesar 30 k Ω digantikan dengan menggunakan tiga buah resistor sebesar 10 k Ω yang di susun secara seri karena untuk resistor sebesar 30 k Ω sukar dicari dipasaran. Skema rangkaian sesnsor tegangan dapat dilihat pada gambar

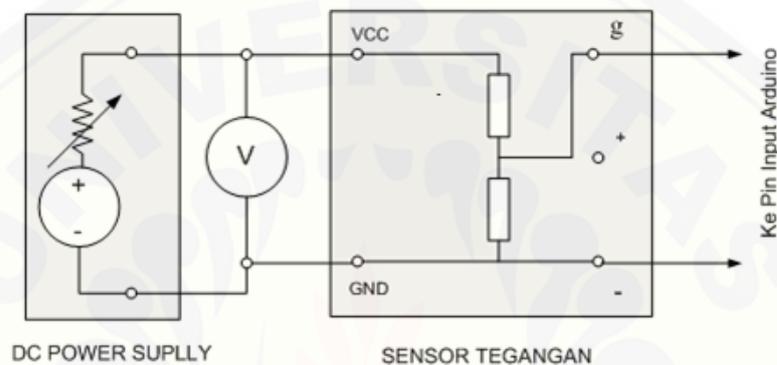


Gambar 3.3 Skematik Sensor Tegangan

Untuk perhitungan dari perancangan sensor tegangan ini dapat dilihat seperti pada persamaan 3.3

$$V_{out} = \frac{V_{in} \times R_2}{(R_1 + R_2)} \quad (3.1)$$

Sedangkan untuk pengujian pada sensor tegangan ini sendiri dilakukan dengan cara seperti yang terlihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 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*.

3.3.2 Arduino

Arduino sebagai kontroler yang digunakan dalam *plant*. Pada tahanan penjelasan tentang arduino akan menjadi lebih spesifik, terutama dalam penggunaannya yaitu sebagai *embedded system*. Arduino yang digunakan yaitu dengan tipe arduino dimana *embedded system* ini yang menerima *feedback* tegangan dari *output* tegangan *Buck Converter*. Pembacaan nilai *output* tegangan *Buck Converter* 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 *Buck Converter* 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.

3.3.3 Spesifikasi Panel Surya 50 Wp

Panel Surya 50 Wp *Polycrystallin* memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis *monocrystallin* yang menghasilkan daya listrik yang sama menggunakan sel surya dengan lapisan SiN yang memberikan solusi kebutuhan listrik pedesaan bahkan perkotaan untuk solusi penghematan energi listrik. Diaplikasi untuk *Solar Home System* 100 wp, PJU Tenaga Surya 15 Watt, *Warning Light* Tenaga Surya, CCTV Tenaga Surya. Solar Panel ini memiliki susunan kristal secara acak dan diproduksi dengan proses pencetakan / pembentukan. Dengan bentuknya yang persegi, maka kerapatan *polycrystallin* cukup bagus dan mampu mendapatkan energi dari matahari walaupun matahari tertutup awan (cuaca mendung).



Gambar 3.5 Panel Surya 50 Wp *Polycrystalline*

Tabel 3.1 Datasheet Surya 50 Wp *Polycrystalline*

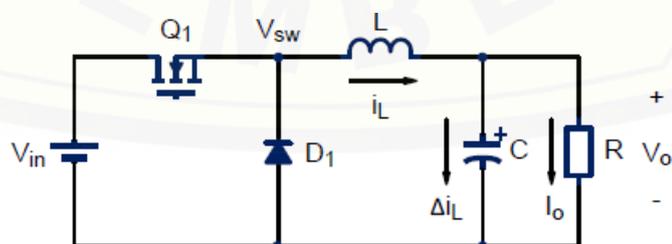
Spesifikasi	Keterangan
Max. Power (Pmax)	50 Wp

Spesifikasi	Keterangan
Max. Power Voltage (V_{mp})	17,5 V
Max. Power Current (I_{mp})	2,87 A
Open Circuit Voltage (V_{oc})	21.60 V
Short Circuit Current (I_{sc})	3,25 A
Nominal Operating Cell Temp (NOCT)	47 °C
Max. System Voltage	1,000V (TUV) / DC 600V (UL)
Series Fuse Rating	10 A
Weight	3 Kg
Dimension	555 x 670 x 30 mm

Pada tabel 3.1 dijelaskan tentang spesifikasi dari panel surya 50 Wp *Polycrystalline* daya maksimum yang dihasilkan panel 50 Watt.

3.3.4 Perencanaan *Buck Converter*

Pada penelitian ini digunakan DC/DC *converter* dengan jenis *Buck Converter* yang mempunyai prinsip kerja menurunkan tegangan dengan konsep *switching PWM* mengatur *duty cycle*. Rangkaian dari *buck converter* seperti gambar dibawah ini :



Gambar 3.6 Rangkaian *Buck Converter*

Pada gambar 3.6 merupakan gambar rangkaian dasar dari *Buck Converter* dimana terdapat beberapa komponen dasar yakni dioda, resistor, induktor, kapasitor dan mosfet. Untuk mendesain DC/DC Buck Converter diperlukan beberapa parameter utama, yaitu spesifikasi dari converter tersebut. Spesifikasi tersebut disesuaikan dengan spesifikasi panel surya yang digunakan dan kapasitas baterai yang digunakan sehingga didapatkan komponen ideal sehingga. Berikut ini spesifikasi DC/DC Buck Converter yang akan dibuat :

- a. Perhitungan *Duty Cycle*

$$\begin{aligned} D_{\min} &= V_o / V_{in} \\ &= 14/15 = 0,935 \\ D_{\max} &= V_o / V_{in} \\ &= 14/21 = 0,666 \end{aligned}$$

- b. Perhitungan kapasitas *Inductor Continuous Conduction Mode*.

$$\begin{aligned} \text{Besarnya } \textit{peak to peak ripple currents} \quad \Delta I_1 &= 30\% \times I_{out} \\ &= 30\% \times 1,5 \\ &= 0,45 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Besarnya Induktor} \quad L_{\min} &= D \frac{(V_{in} - V_{out})}{\Delta I_1 \cdot f_s} \\ &= 0,935 \frac{(15 - 14)}{0,45 \cdot 62,5 \text{ KHz}} \\ &= 33,224 \text{ } \mu\text{H} \end{aligned}$$

- c. Perhitungan Kapasitas Kapasitor *Continuous Conduction Mode*.

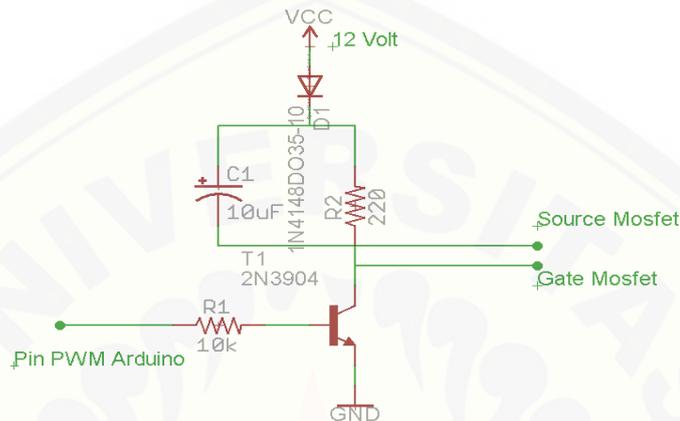
$$\begin{aligned} \text{Besarnya } \textit{peak to peak ripple voltages} \quad \Delta V_1 &= 1\% \times V_o \\ &= 1\% \times 14 = 0,14 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Besarnya kapasitor} \quad C_{out \min} &= \frac{\Delta I_1}{8 \cdot f_s \cdot \Delta V_1} \\ &= \frac{0,45}{8 \cdot 62,5 \cdot 0,14} = 64 \text{ } \mu\text{F} \end{aligned}$$

- d. Rangkaian Driver

Rangkaian driver berguna sebagai pemisah antara rangkaian daya dengan rangkaian kontrol pada buck konverter dan sebagai menguatkan sinyal pemicu /

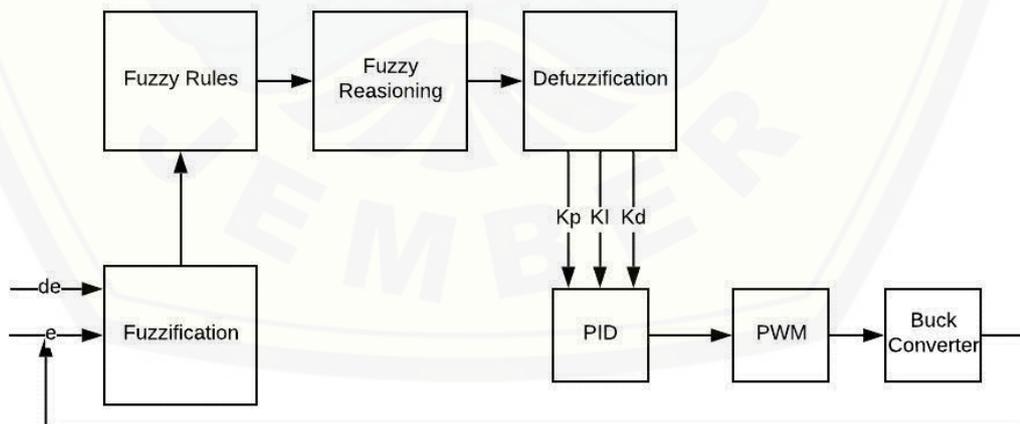
sinyal PWM yang dikeluarkan dari pin 6 arduino untuk memicu penyulutan saklar semikonduktor pada rangkaian daya. Saklar semikonduktor akan membuka secara sempurna jika mendapat duty cycle sebesar 100 % dengan tegangan sebesar 5 volt. Rangkaian driver dapat dilihat pada gambar 3.4 berikut ini :



Gambar 3.7 Rangkaian Driver Mosfet

3.3.5 Perancangan Kendali

Pada perancangan kendali ini memuat sistem dimana pengendai fuzzy dan pid digunakan untuk menentukan tegangan output.



Gambar 3.8 Diagram Kontrol Self Tuning PID Fuzzy

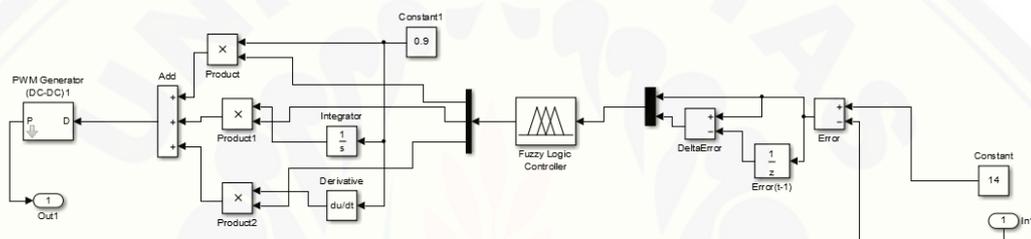
Cara kerja dari sistem kontrol ini adalah error (e) dan perubahan error (e_d) digunakan sebagai variable input, sedangkan K_p , K_i dan K_d digunakan sebagai

variable output. Ketika kontrol system ini bekerja self tuning controller akan mengganti nilai dari ketiga parameter yaitu nilai k_p , k_i dan k_d sesuai dengan nilai e dan de dan kemudian nilai yang baru akan digunakan untuk menggantikan parameter yang lama.

Proses perancangan kendali akan dijelaskan sebagai berikut :

3.3.5.1 Perancangan Simulink Model untuk kontrol Self Tuning PID Fuzzy

Pada pembuatan simulink ini berfungsi sebagai kontrol yang akan di kirim ke arduino dari matlab. kemudian arduino akan mengontrol *duty cycle* pada *buck converter*.



Gambar 3.9 Simulink Kontrol *Self Tuning PID Fuzzy*

3.3.5.2 Perancangan Fuzzy

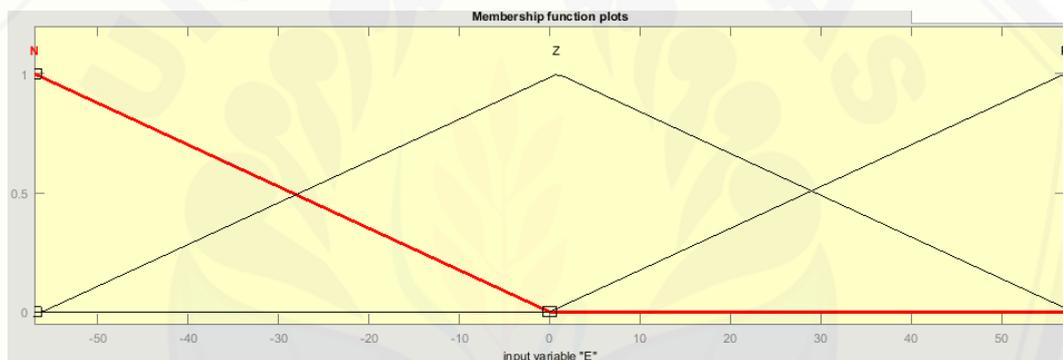
Perencanaan sistem kontrol *fuzzy* untuk *DC/DC Converter* dirancang secara sistematis . Beberapa tahapan dilakukan dalam merancang kontrol *fuzzy* diantaranya, dimulai dari tahap *fuzzifikasi*, *inferent*, dan *defuzzifikasi*.

1. Tahap *Fuzzifikasi*

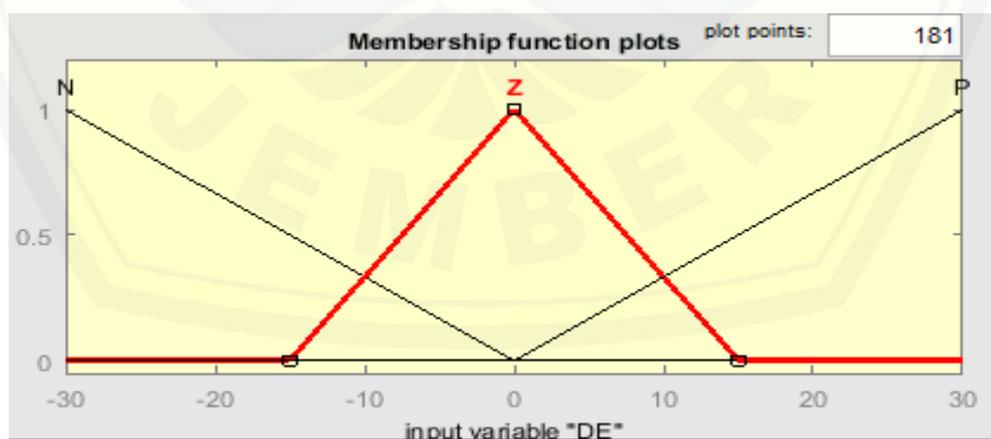
Tahap awal dalam pembuatan kontrol *Fuzzy* ialah *fuzzifikasi*, pada tahap ini akan dilakukan pembuatan himpunan keanggotaan untuk *error* dan *delta error*. Setelah itu kita hitung derajat keanggotaan masing-masing nilai *error* dan *delta error*. Keanggotaan pada *membership function error* dibagi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

Set Point yang ditentukan sebesar 14 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*.

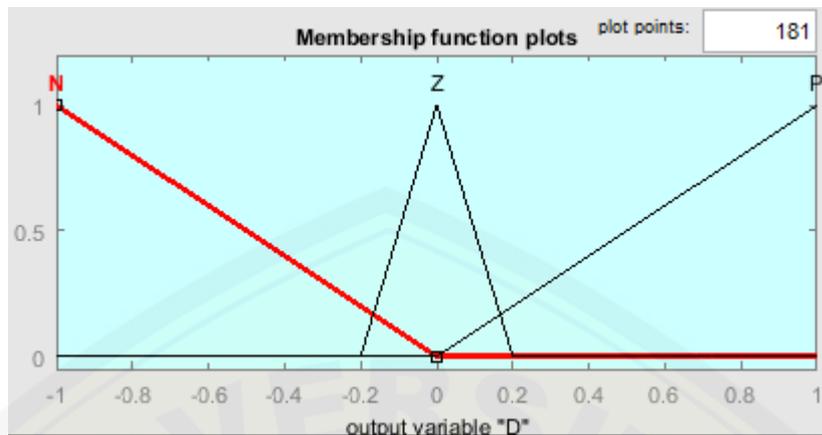
Sistem pengendalian ini bertujuan untuk mengendalikan tegangan agar tetap stabil sesuai *set point*, maka kendali tersebut dilakukan berdasarkan *error* dan *delta error*. Kontroller ini membaca sinyal dari sensor tegangan yang dipasang pada jalur *output* dari DC/DC Converter dan menerima *input* berupa 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.



Gambar 3.10 *membership function* nilai *error* (E)



Gambar 3.11 *membership function* nilai *delta error* (DE)



Gambar 3.12 *membership function* nilai *output*

2. Inference

Tahap *inference* ini terdapat *rule base* yaitu tahap pemetaan nilai derajat keanggotaan dari masing masing *error* dan *delta error* *Output KP, KI dan KD* 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

Tabel Tabel 3.2 *Rule Base*

E/DE	N	Z	P
N	NN	NN	PP
Z	NN	ZZ	PP
P	NN	PP	PP

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 *weight average method*.

3.3.5.3 Perancangan PID

Setelah melakukan perancangan kendali Fuzzy maka hasil dari fuzzy tersebut berupa nilai Kp, Ki dan Kd yang mana nilai parameter tersebut dijadikan acuan untuk sistem kontrol PID . Tujuannya yaitu agar mengontrol tegangan keluaran yang stabil sesuai dengan tegangan untuk men *charging* baterai yaitu sebesar 14V.

3.3.6 Perencanaan Batterai.

Pada penelitian ini akan digunakan baterai aki kering bertipe VRLA (Valve Regulated lead Acid). Baterai ini berfungsi sebagai beban yang akan menyimpan energy yang dihasilkan oleh panel surya. Spesifikasi dari baterai yang digunakan yaitu mempunyai tegangan nominal sebesar 12 volt dengan arus sebesar 7,2 Ah.

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 celcius, 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. Standart 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.

Pada penelitian ini menggunakan panel surya 100 wp polycrystalline, batteray atau aki sebesar 12 volt dengan kapasitas arus 7,2 Ah dan arus pengisian sebesar 1,5 A.

Perhitungan daya panel surya :

Peak 1 hari di asumsikan 4,5 jam ; $100 \text{ wp} = 100 \times 4,5 = 450 \text{ watt/hari}$

Lama pengisian baterai VRLA 12 volt 7,2 Ah

Lama pengisian=(Kapasitas baterai / Arus yang digunakan untuk *charge*)

x 60 menit (1 jam)

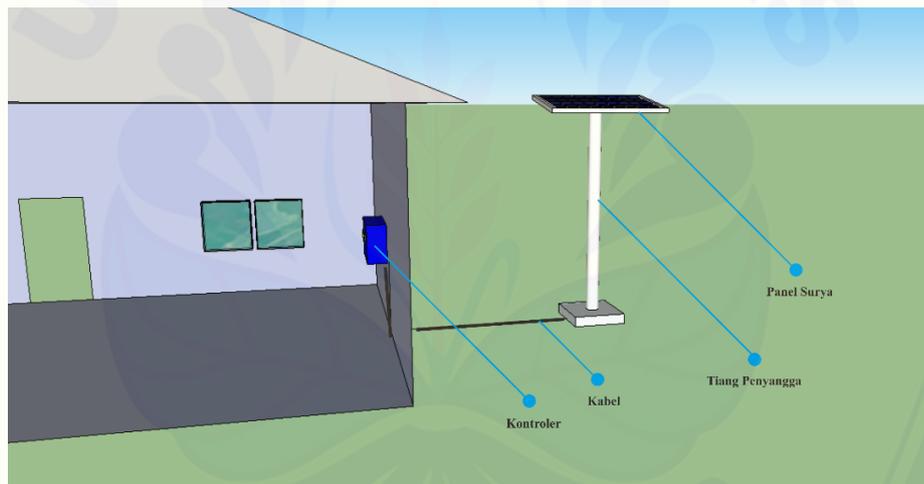
$= (7,2 \text{ Ah} / 2,5 \text{ A}) \times 60 \text{ menit}$

$= 172,8 \text{ menit}$

Lama supply beban / hari

Daya baterai 12 volt x 7,2 ah = 86,4 watt / hari

3.4 Perancangan Alat



Gambar 3.13 Design Alat Secara Keseluruhan.

Berdasarkan pada gambar 3.13 ada beberapa bagian pada design alat secara keseluruhan. Bagian yang pertama bagian panel surya dipasang di atas udara dengan kemiringan 10 derajat kearah utara. Bagian yang kedua tiang penyangga yang terbuat dari besi untuk penyangga panel surya terletak diluar ruangan. Bagian yang ketiga kabel yang digunakan untuk menghubungkan panel surya yang terletak diluar ke kontroler yang berada didalam ruangan. Selanjutnya yang keempat kotak kontroler didalamnya terdapat batterai beserta buck konverter.

3.5 Variabel Penelitian dan Pengamatan

Dalam penelitian ini, terdapat tiga buah variabel yang digunakan sebagai acuan penelitian. Variabel tersebut adalah variabel bebas, variabel terikat dan variabel kontrol. Variasi tegangan dari *output* sel surya merupakan variabel bebasnya. Tegangan yang digunakan sebagai *setpoint* merupakan variabel terikatnya dan *pwm* merupakan variabel kontrolnya.

3.5.1 Rencana Pengujian Karakteristik Panel Surya 50 wp

Rencana pengujian karakteristik *solar cell* dilakukan dengan menggunakan 1 buah *solar cell* 50 wp jenis *polycrystallin*. Rencana pengujian karakteristik dari *solar cell* yaitu dilakukan mulai pukul 08.00 WIB hingga pukul 14.00 dengan parameter yang digunakan sebagai berikut:

3.5.2 Rencana Pengujian Sensor Tegangan

Rencana pengujian sensor tegangan dilakukan juga untuk mengetahui performa dari sensor. Pada tahap ini, sensor akan dikalibrasi agar dapat memperkecil *error persen*, pembandingnya adalah menggunakan alat yang bernama AVOMeter. Pengujian dari sensor tegangan dilakukan pada dua *object* yaitu tegangan masuk (*Vin*) *buck converter* dan juga berdasarkan tegangan keluar (*Vout*) pada *buck converter*. Hal ini dikarenakan tegangan yang masuk pada *buck converter* tidak sama dengan tegangan yang keluar dari *buck converter*. Sehingga dilakukan kalibrasi sensor tegangan yang berbeda juga untuk *Vin* dan *Vout* *buck converter*. Proses kalibrasi diharapkan mendapatkan maksimal nilai *error persen* pada hasil pembacaan sebesar 10%. Perumusan dalam mencari *error persen* dapat dilihat seperti pada dibawah ini.

$$E\% = \left| \frac{HT-HP}{HT} \right| \times 100\% \dots\dots\dots (11)$$

dimana :

HT = Hasil Teori (pengukuran AVOMeter)

HP = Hasil Pembacaan (pembacaan pada sensor)

3.5.3 Rencana Pengujian Sensor Arus ACS712

Pada penelitian yang di lakukan kali ini selain membutuhkan sensor tegangan, menggunakan resistor pemabagi tegangan juga membutuhkan sensor Arus, dimana sensor arus yang digunakan pada penelitian ini yaitu menggunakan jenis sensor arus ACS712 yang berupa kit modul yang siap digunakan sebagai pembacaan arus menggunakan Arduino sebagai mikrokontroller yang di gunakan, dengan range pembacaan maksimal dari sensor ini yaitu sebesar 5A.

Cara untuk mengkalibrasi sensor arus hampir sama dengan sensor tegangan yaitu dengan melakukan perbandingan antara arus yang terukur oleh digital multimeter yang terukur dengan nilai ADC yang terbaca oleh sensor arus ACS712 dengan bantuan Arduino UNO R3. Dengan menggunakan fungsi `analogRead()` untuk masing-masing pin analog yang terdapat pada Arduino UNO-R3, yaitu pada pin A2 dan pin A3. Kemudian berdasarkan keseluruhan nilai ADC yang terbaca oleh sensor dan besar arus yang terukur ditarik garis lurus (trendline) antara kedua data tersebut untuk didapatkan rumus dan nantinya digunakan sebagai rumus kalibrasi sensor yang akan dimasukkan kedalam program sensor arus, dan berdasarkan program yang dimasukkan pada Arduino UNO-R3 akan dilakukan pengkonversikan nilai ADC yang terbaca sensor arus ACS712 menjadi besaran nilai hasil pengukuran arus. Proses kalibrasi diharapkan mendapatkan maksimal nilai *error* persen pada hasil pembacaan sebesar 10%. Perumusan dalam mencari *error* persen dapat dilihat seperti pada dibawah ini.

$$E\% = \left| \frac{HT-HP}{HT} \right| \times 100\% \dots\dots\dots (11)$$

dimana :

HT = Hasil Teori (pengukuran AVO Meter)

HP = Hasil Pembacaan (pembacaan pada sensor)

3.5.4 Rencana Pengujian Buck Converter Tanpa Kontrol

Rencana pengujian *buck converter* di lakukan dengan tanpa menggunakan kontrol dilakukan dua pengujian yaitu :

3.5.4.1 Buck Converter Tanpa Beban

Buck converter tanpa menggunakan beban dimana untuk mengetahui pengaruh *duty cycle* terhadap tegangan output dari *buck converter*.

Persamaan untuk menghitung Nilai Tegangan Teori :

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

Keterangan : V_{out} = Tegangan Output (V)

D = *Duty Cycle* (%)

V_{in} = Tegangan Input (V)

3.5.4.2 Buck Converter Dengan Beban

Buck converter dengan beban yang bertujuan untuk mengetahui daya *input*, daya *ouput* dan efisiensi dari *buck converter*.

Persamaan untuk mencari nilai daya *input*

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

Keterangan : P_{in} = Daya Input (W)

V_{in} = Tegangan *Input* (V)

I_{in} = Arus *Input* (A)

Persamaan untuk mencari nilai daya *output*

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

Keterangan : P_{out} = Daya *Ouput* (W)

V_{out} = Tegangan *output* (V)

I_{out} = Arus *output* (A)

Persamaan untuk mencari efisiensi dari *buck converter* sebagai berikut :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

Keterangan : η = Efisiensi (%)

P_{out} = Daya Output (W)

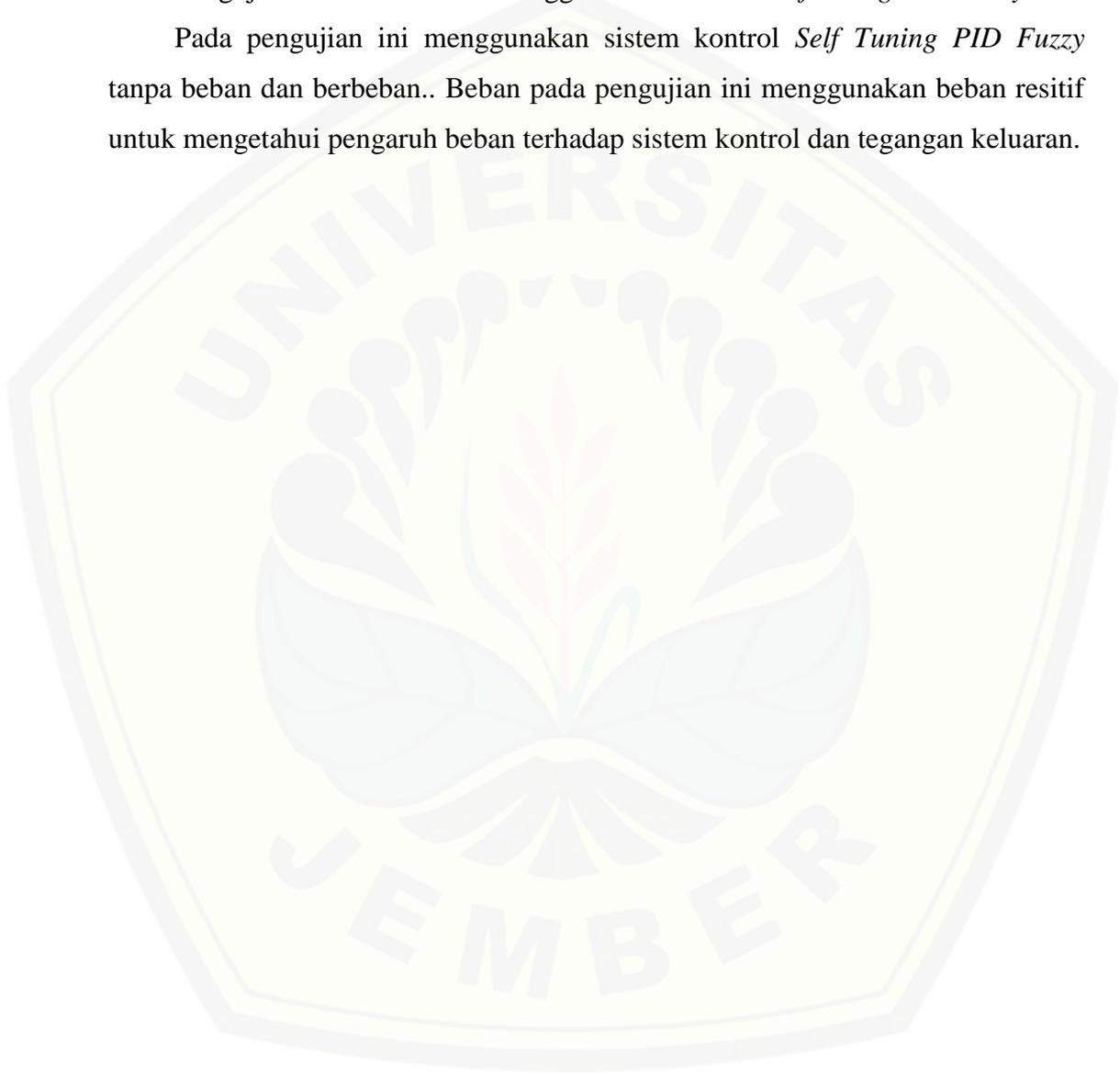
P_{in} = Daya Input (W)

3.5.5 Rencana Pengujian Konverter DC/DC Tipe *Buck* dengan Beban Baterai

Rencana pengujian buck converter yang terakhir yaitu dilakukan dengan menggunakan beban berupa baterai VRLA dengan tegangan sebesar 12 Volt

3.5.6 Pengujian *Buck Converter* menggunakan Kontrol *Self tuning PID Fuzzy*

Pada pengujian ini menggunakan sistem kontrol *Self Tuning PID Fuzzy* tanpa beban dan berbeban.. Beban pada pengujian ini menggunakan beban resistif untuk mengetahui pengaruh beban terhadap sistem kontrol dan tegangan keluaran.



BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisa data yang telah dilakukan pada penelitian yang berjudul “Rancang Bangun *DC –DC Buck Converter Sebagai Solar charger dengan Metode Self Tuning PID Fuzzy*. Pada Pengisian Baterai Sepeda Listrik Menggunakan Solar Cell”, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada pengujian *Buck Converter* tanpa kontrol, maka diketahui bahwa semakin kecil nilai hambatan yang diberikan, maka semakin besar drop tegangan yang akan terjadi, pada saat beban 100Ω terjadi drop tegangan sebesar 12,34 Volt sedangkan saat diberikan beban 10Ω terjadi drop tegangan sebesar 2,97 Volt.
2. Kestabilan tegangan dari *buck converter* dengan menggunakan kontrol *self tuning PID fuzzy logic* saat diberikan beban resistif yang semakin kecil beban maka waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *setpoint* semakin bertambah Pada saat beban menggunakan 100 ohm waktu yang dibutuhkan 0,8 detik dan saat beban 10 ohm waktu yang dibutuhkan 1,2 detik
3. Saat pengujian *buck converter* menggunakan beban baterai. Maka dapat diketahui bahwa tegangan awal *charge* akan mengikuti tegangan baterai yang kemudian akan menjadi naik hingga tegangan mencapai *setpoint* yaitu sebesar 14 Volt. Sedangkan untuk arus charging akan semakin turun saat baterai semakin terisi penuh. Seperti yang terdapat pada tabel pengujian *buck converter* dengan menggunakan beban baterai.

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 *hybrid PID fuzzy* untuk dapat membandingkan respon kontrol yang lebih baik.

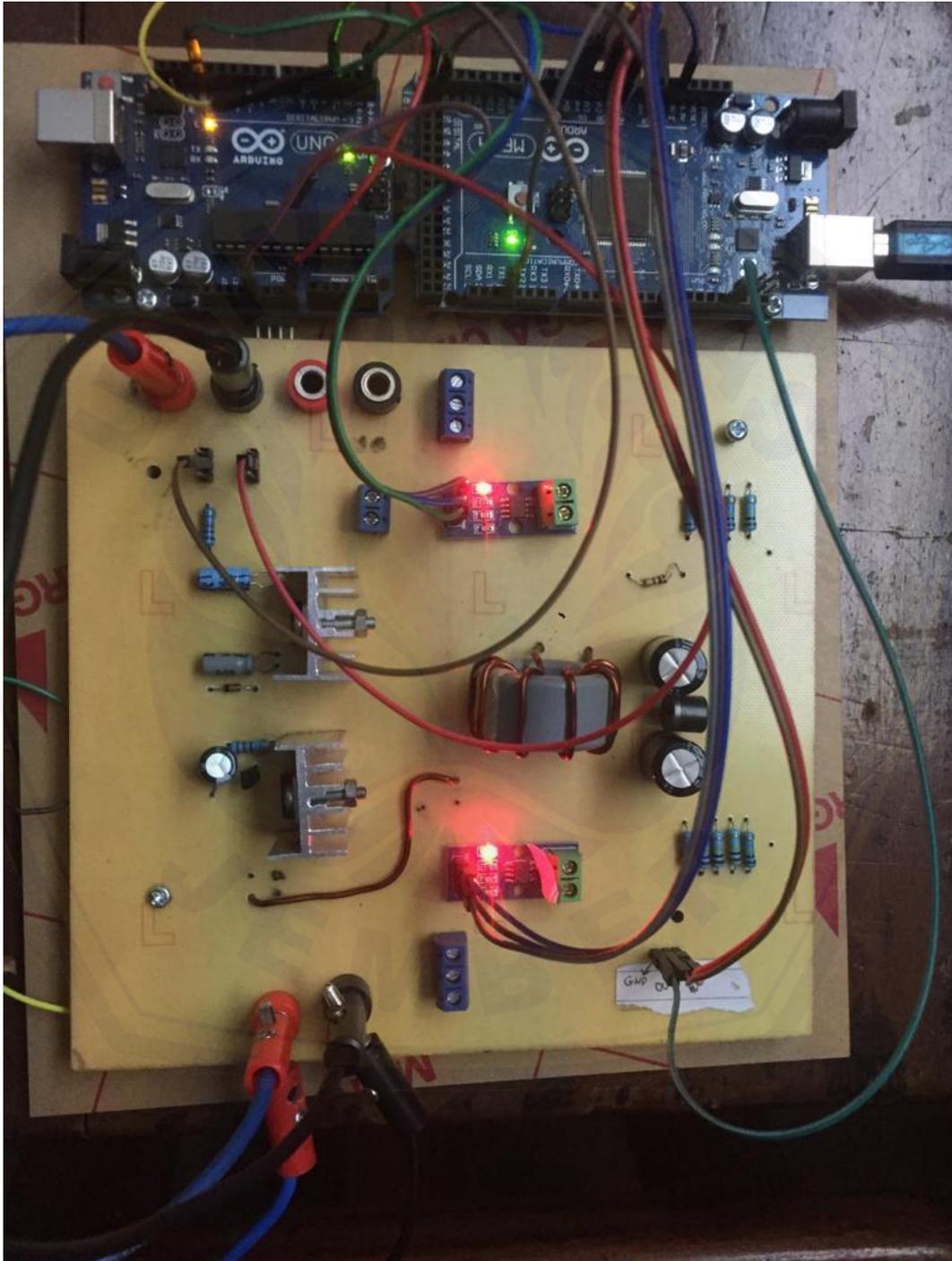
2. DC-DC *Converter* dapat digantikan dengan jenis-jenis DC-DC *converter* yang lain, seperti contoh *sepic converter* atau *flyback converter* untuk dilakukan perbandingan performa antara *buck converter* dan jenis dc-dc *converter* yang lain.
3. Pada penelitian yang selanjutnya dimungkinkan untuk digunakan sistem proteksi *Auto Cut Off* agar pada proses pengisian baterai ketika dalam kondisi penuh bisa terdeteksi dan otomatis mengakhiri proses pengisian baterai.



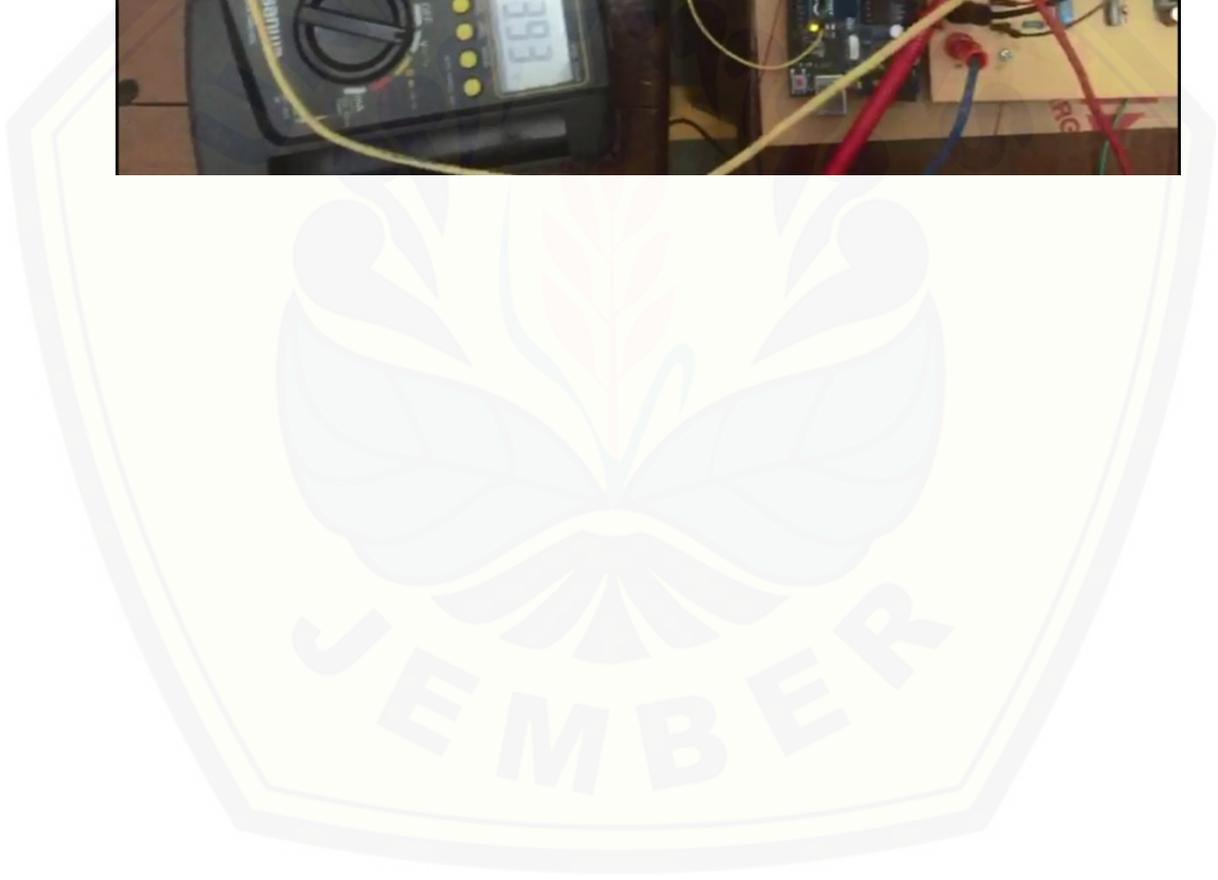
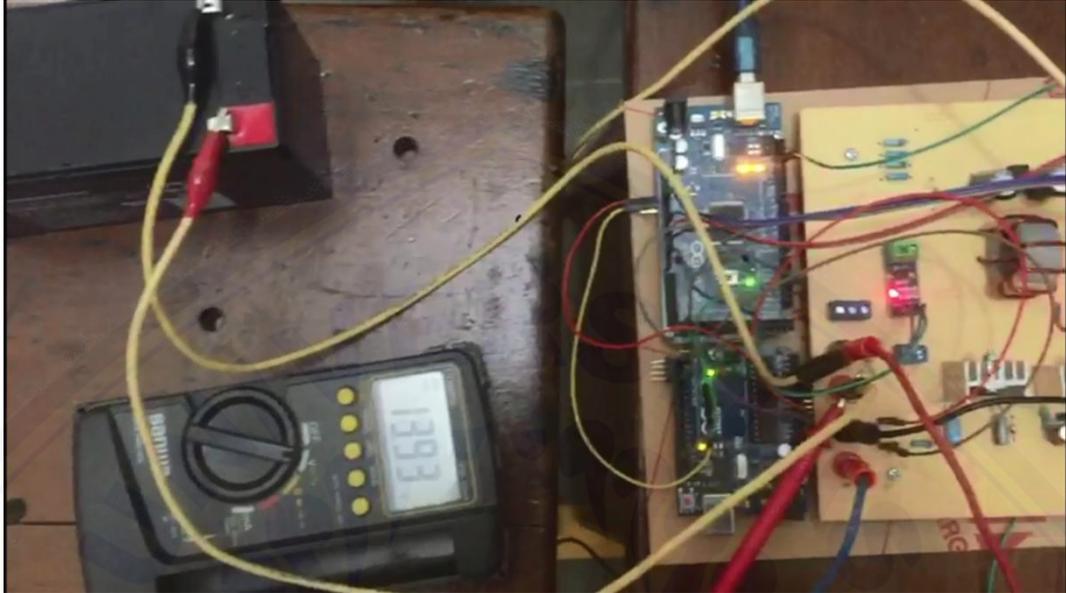
LAMPIRAN

A. Lampiran Gambar

- Gambar *Buck Converter*







DAFTAR PUSTAKA

- Arduino UNO, R3. 2015. "A000066 Arduino | Mouser." *MOUSER ELECTRONICS*. Diakses 3 september 2018.
- Autodesk.Inc. 2015. *id/Arduino-Voltage-Sensor-0-25V/*. Diakses Agustus 2018, dari instructables: <http://www.instructables.com/id/Arduino-Voltage-Sensor-0-25V/>
- Aziz, M.L. 2018, *Sistem Kontrol Fuzzy Logic Untuk Tegangan Keluaran Boost Converter Pada Pengisian Baterai Sepeda Listrik Menggunakan Solar Cell*. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jember.
- Bench, H. 2015. "ACS712 Current Sensor User Manual". Diakses Agustus 2018. <http://henrysbench.cpnfatz.com/henrys-bench/arduino-current-measurements/acs712-current-sensor-user-manual/>
- Fathurachman, A ., Najmurrokhman, A ., Kusnandar. 2014, *Perancangan Boost Converter Untuk sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya .* Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jendral Achmad Yani, Bandung.
- Halder, T.2017. *An improved design guideline of the PWM flyback converter for the practical engineer*.IEEE.221-226
- Citraningtyas, Irenne, 2017, "Rancang Bangun *Charging Controller* Baterai 48 Volt DC pada *Solar Cell*". Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya: Tugas Akhir-D3 Teknik Instrumentasi.

H. B. Shin, J. G. Park, S. K. Chung, H. W. Lee, and T. A. Lipo, “*Generalized steady-state analysis of multiphase interleaved boost converter with coupled inductors,*” *IEEE Proc. Electr. Power Appl.*, no. 152, vol. 3, pp. 584–594, 2005.

Kusumadewi, S., & Hartati, S. 2006. *NEURO FUZZY: Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan Edisi 2*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

K.I. Hwu, Y.T. Yau, *A KY boost converter, Twenty-Fourth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, APEC 2009, Feb 15-19, 2009, Singapore.*

N.F Nik Ismail., I. Musirin., R. Bahrom. 2010. *An improved design guideline of the PWM flyback converter for the practical engineer*. International Conference On Power And Energy, Kuala Lumpur, Malaysia.

Oetomo., Halim, L . 2017. *Perancangan Dan Implementasi Sistem Charging & Monitoring Baterai Lithium*. Universitas Katolik Parahiyangan.

Karthikumar, S. , Mahendran, N. and Sriraman, S. (2012) *Design of Fuzzy Logic Controller for Output Voltage Ripple (OVR) Reduction of KY Boost Converter. IEEE Proceedings*

Emerging Trends in Electrical Engineering and Energy Management , 181-185.

K.I. Hwu, Y.T. Yau, *A KY boost converter, IEEE Trans. Power Electronics*, vol. 25, n. 11, Nov 2010, pp. 2699 - 2703.

Suswitno., Rahayu, Y., Amri, R., Hamdani, E. 2017, *Perancangan Konverter DC ke DC Untuk Menstabilkan Tegangan Keluaran Panel Solar Cell Menggunakan Teknologi Boost Converter* . Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Riau.