



**SISTEM KONTROL *FUZZY LOGIC* PADA TEGANGAN *OUTPUT*
BUCK CONVERTER UNTUK *SOLAR CHARGER*
BERBASIS ARDUINO UNO R3**

SKRIPSI

oleh

**Rizki Romadhon
NIM 131910201040**

**PROGRAM STUDI STRATA 1
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS JEMBER
2017**



**SISTEM KONTROL *FUZZY LOGIC* PADA TEGANGAN *OUTPUT*
BUCK CONVERTER UNTUK *SOLAR CHARGER*
BERBASIS ARDUINO UNO R3**

SKRIPSI

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

oleh

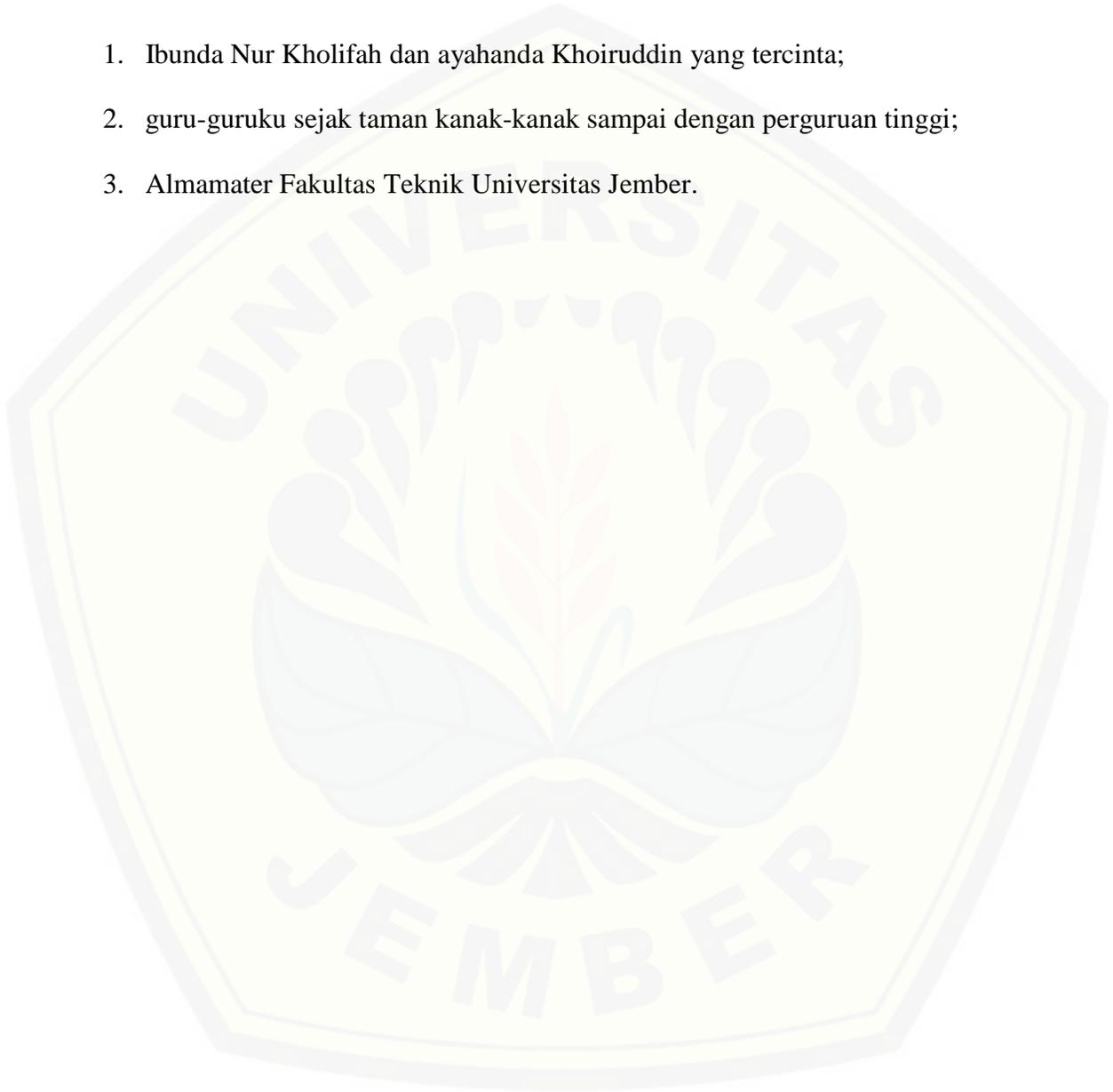
Rizki Romadhon
NIM 131910201040

**PROGRAM STUDI STRATA 1
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS JEMBER
2017**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ibunda Nur Kholifah dan ayahanda Khoiruddin yang tercinta;
2. guru-guruku sejak taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi;
3. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.



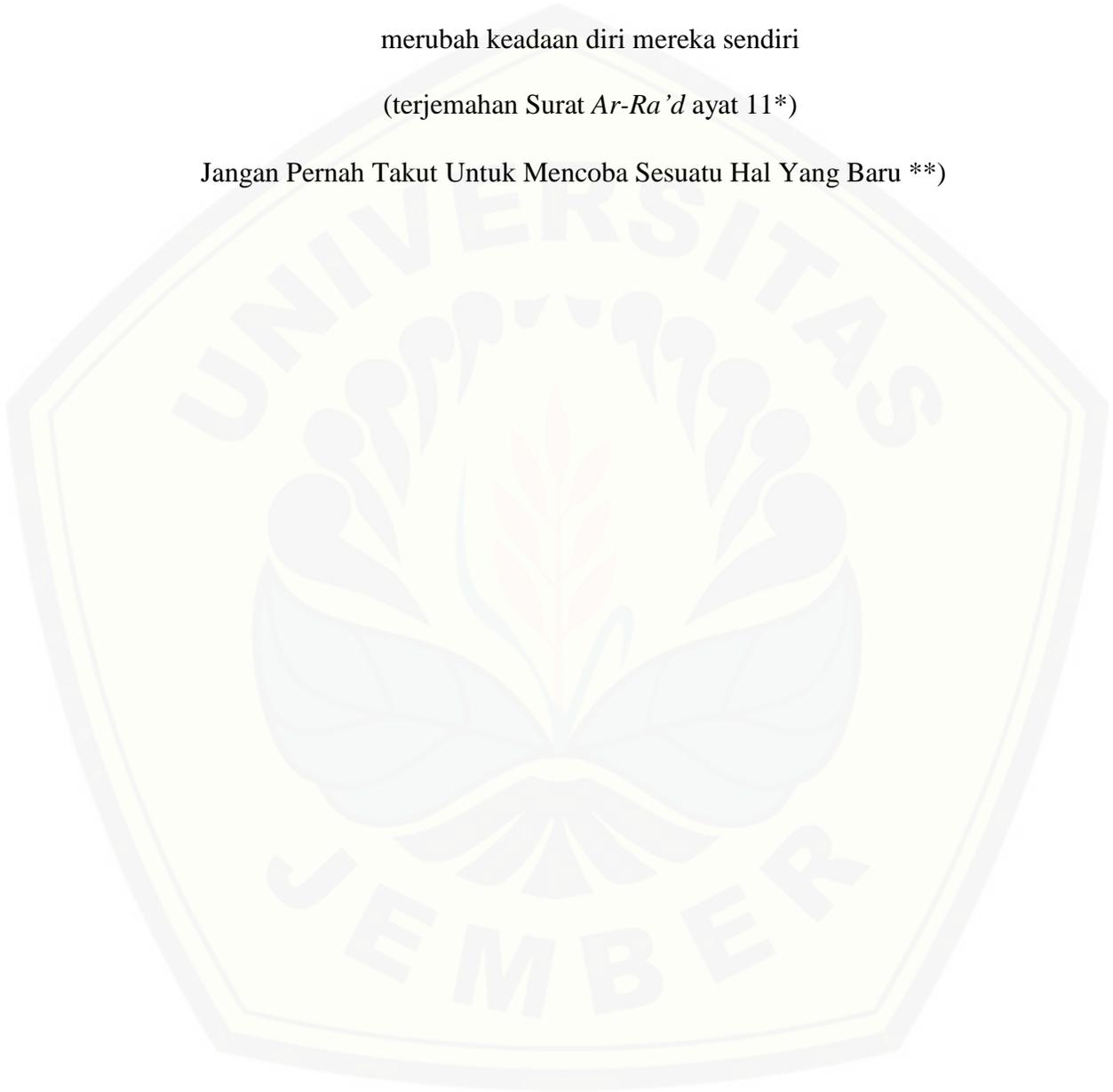
MOTO

Sesungguhnya Allah tidak akan merubah keadaan suatu kaum sebelum mereka

merubah keadaan diri mereka sendiri

(terjemahan Surat *Ar-Ra'd* ayat 11*)

Jangan Pernah Takut Untuk Mencoba Sesuatu Hal Yang Baru **)



*) Departemen Agama Republik Indonesia. 2009. *Al-Quran dan Terjemahannya*. Semarang: PT Kumudasmoro Grafindo.

**) Anonim

PERNYATAAN

Saya yang betanda tangan di bawah ini:

Nama : Rizki Romadhon

NIM : 131910201040

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “ Sistem Kontrol *Fuzzy Logic* Pada Tegangan *Output Buck Converter* Untuk *Solar Charger* Berbasis *Arduino UNO R3*” 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 Juli 2017

Yang menyatakan,

Rizki Romadhon

NIM 13191020104

SKRIPSI

**SISTEM KONTROL *FUZZY LOGIC* PADA TEGANGAN *OUTPUT*
BUCK CONVERTER UNTUK *SOLAR CHARGER* BERBASIS
ARDUINO UNO R3**

Oleh

Rizki Romadhon
NIM 131910201040

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Widyono Hadi, M.T.

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Sistem Kontrol *Fuzzy Logic* Pada Tegangan *Output Buck Converter* Untuk *Solar Charger* Berbasis Arduino UNO R3” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : Selasa, 25 Juli 2017

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji:

Pembimbing I

Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.

NIP. 19700826 199702 1 001

Pembimbing II

Ir. Widyono Hadi, M.T.

NIP. 19610414 198902 1 001

Penguji I

Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T.

NIP. 19710402 200312 1 001

Penguji II,

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

NIP. 19631201 199402 1 002

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM.

NIP. 19661215 199503 2 001

Sistem Kontrol *Fuzzy Logic* Pada Tegangan Output *Buck Converter* Untuk *Solar Charger* Berbasis Arduino UNO R3

Rizki Romadhon

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Solar Cell merupakan sebuah alat energi terbarukan yang memanfaatkan sinar matahari untuk merubah energi dari cahaya menjadi energi listrik. *Solar Cell* banyak dimanfaatkan untuk berbagai kepentingan salah satunya adalah digunakan untuk *charge* baterai aki dan *handphone*. Namun *solar cell* memiliki karakteristik dimana pada saat kondisi cuaca mendung maka tegangan output dari *solar cell* akan turun juga. Tujuan dari penelitian ini adalah menerapkan sistem kontrol *fuzzy logic* sehingga didapatkan kestabilan pada tegangan output dari *solar cell*. Sebagai perantara dari *solar cell* untuk *charge* baterai aki dan *handphone* menggunakan *buck converter*. Besarnya nilai keluaran dari *solar cell* akan diatur mealalui *buck converter* yang dikontrol dari mikrokontroler. Tahapan pembuatan program *fuzzy logic* yang dilakukan antara lain *fuzzyfication*, *inference* dan *defuzzyfication*. Pembuatan pemodelan sistem *fuzzy* mengubah hasil dari pemodelan sistem *fuzzy* yang dirancang menjadi program agar dapat di input ke Arduino UNO R3. Analisa perbandingan yang dilakukan adalah drop tegangan pada keadaan *closed loop* dan *open loop fuzzy logic* serta kestabilan dari tegangan keluaran *buck converter* yang digunakan untuk *charge* baterai aki dan *handphone*.

Kata Kunci : *Solar Cell*, *Fuzzy Logic*, *Buck Converter*, Baterai Aki, *Handphone*

Fuzzy Logic Control System at Output Voltage Buck Converter For Arduino-based Solar Charger UNO R3

Rizki Romadhon

Electrical Engineering, Jember University

ABSTRACT

Solar Cell is a renewable energy tool which convert solar energy into electrical energy. Solar Cell are used for several purposes like charge battery and cell phone batteries. However, the solar cell has a characteristic when the weather is cloudy the output voltage of the solar cell will decrease. The purpose of this study was to apply fuzzy logic control system to obtain the stability of the output voltage of the solar cell. As the intermediary of the solar cell to charge the battery and cellphone battery using buck converter. The value of the output of the solar cell will be set from controlled buck converter of the microcontroller. The Stages of making fuzzy logic program is fuzzyfication, inference and defuzzyfication. Making the fuzzysystem modeling alter the results of modeling fuzzy systems are designed to be a program that can be input to the Arduino UNO R3. Comparative analysis is done by voltage drop across the state closed loop and open loop fuzzy logic as well as the stability of the output voltage of the buck converter is used to charge the battery and cell phone batteries.

Keywords : *Solar Cell, Fuzzy Logic, Buck Converter, Battery, Handphone*

RINGKASAN

Sistem Kontrol *Fuzzy Logic* Pada Tegangan *Output Buck Converter* Untuk *Solar Charger* Berbasis *Arduino UNO R3*; Rizki Romadhon,131910201040; 2017; 69 halaman: Jurusan Teknik Elektro Fakultas teknik Universitas Jember.

Pada zaman modernisasi seperti sekarang, manusia sangat bergantung pada teknologi. Hal ini membuat teknologi menjadi kebutuhan dasar setiap orang. Dari orang tua hingga anak muda, para ahli hingga orang awam pun menggunakan teknologi dalam berbagai aspek kehidupannya. Seiring dengan perkembangan teknologi di dunia, masa kini banyak orang yang menggunakan teknologi canggih yang berbasis pada energi didalamnya.

Mendapatkan energi untuk teknologi-teknologi tersebut tidaklah mudah untuk para pengguna yang tingkat kesibukannya tinggi dan di luar rumah, dengan tidak adanya seluran energi listrik atau terminal listrik maka akan susah mendapatkan energi. Disisi lain, orang-orang yang tempat kerjanya jauh dari rumah, banyak yang menggunakan sepeda untuk menghindari kemacetan lalu lintas, ada juga yang berolah raga menggunakan sepeda untuk menjaga kebugaran tubuh. Dengan banyaknya kesibukan diatas, untuk mendapatkan energi yang cukup sangatlah susah dan tidak efisien atau tidak maksimal, dengan demikian informasi yang didapat melalui sebuah *smartphone* akan terhambat, dikarenakan kekurangan energi didalamnya.

Dari permasalahan yang tersebut maka dapat dirancang suatu alat yang dapat mempermudah mendapatkan energi yaitu “ *Solar Charger Portable* “. Untuk itu pada penelitian ini memberikan inovasi baru pada Sistem Kontrol *Fuzzy Logic* Pada Tegangan *Output Buck Converter* Untuk *Solar Charger* Berbasis *Arduino UNO R3* dengan pemberian RTC (*Real Time Clock*), Data Logger untuk menyimpan data secara otomatis, dan menggunakan metode kontrol *Fuzzy Logic* untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal.

Tegangan keluaran pada *buck converter* tetap pada keadaan stabil di *setpoint* yang ditentukan saat dilakukan pengujian pemberian beban. Respon dari kontrol *fuzzy logic* lebih baik dari pada tanpa menggunakan *fuzzy logic* pada saat *drop voltage*.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT. atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Sistem Kontrol *Fuzzy Logic* Pada Tegangan *Output Buck Converter* Untuk *Solar Charger* Berbasis Arduino UNO R3”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

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

1. Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, Ir. Widyono Hadi, M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah membimbing dan memberikan saran dengan sangat sabar demi kesempurnaan skripsi ini;
2. Dr. Bambang Sri Kaloko S.T., M.T, selaku Dosen Penguji I, Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M. selaku Dosen Penguji II yang telah bersedia menguji dan memberikan masukan demi kesempurnaan skripsi ini;
3. Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama melaksanakan studi di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember;
4. Ir. Widyono Hadi, M.T., Andi Setiawan S.T., M.T dan Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. yang selalu berbagi ilmu di Laboratorium.
5. Bapak Khoiruddin dan Ibu Nur Kholifah serta saudara – saudara dan seluruh keluarga besar yang selalu memberikan motivasi, dukungan dan kasih sayang;
6. Keluarga Besar INTEL UJ yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini;
7. Teman – Teman Robotika Fakultas Teknik Universitas Jember yang sudah memberikan banyak ilmu dan pengalaman yang luar biasa.
8. Keluarga Besar Laboratorium Konversi Energi Listrik Universitas Jember yang sudah memberikan ilmu dan membimbing serta memberikan semangat.
9. Semua Pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

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

Jember, Juli 2017

Penulis



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini, kita hidup di zaman globalisasi atau bisa juga disebut zaman modernisasi. Modernisasi sendiri dalam ilmu sosial merujuk pada bentuk transformasi dari keadaan yang kurang maju atau kurang berkembang ke arah yang lebih baik dengan harapan kehidupan masyarakat akan menjadi lebih baik. Modernisasi mencakup banyak bidang, contohnya dalam bidang ilmu pengetahuan dan teknologi. Di zaman modernisasi seperti sekarang, manusia sangat bergantung pada teknologi. Hal ini membuat teknologi menjadi kebutuhan dasar setiap orang. Dari orang tua hingga anak muda, para ahli hingga orang awam pun menggunakan teknologi dalam berbagai aspek kehidupannya.

Seiring dengan perkembangan teknologi di dunia, masa kini banyak orang yang menggunakan teknologi canggih yang berbasis pada energi didalamnya. Semisal *handphone*, *powerbank*, dll. Kebutuhan energi didalam *gadget – gadget* tersebut sangatlah penting bagi para penggunanya, melihat saat ini *smartphone* merupakan salah satu sumber informasi di dalam kehidupan sehari-hari. Mendapatkan energi untuk teknologi-teknologi tersebut tidaklah mudah untuk para pengguna yang tingkat kesibukannya tinggi dan di luar rumah, dengan tidak adanya seluran energi listrik atau terminal listrik maka akan susah mendapatkan energi. Disisi lain, orang-orang yang tempat kerjanya jauh dari rumah, banyak yang menggunakan sepeda untuk menghindari kemacetan lalu lintas, ada juga yang berolah raga menggunakan sepeda untuk menjaga kebugaran tubuh. Dengan banyaknya kesibukan diatas, untuk mendapatkan energi yang cukup sangatlah susah dan tidak efisien atau tidak maksimal, dengan demikian informasi yang didapat melalui sebuah *smartphone* akan terhambat, dikarenakan kekurangan energi didalamnya.

Dengan banyaknya kesibukan diatas, untuk mendapatkan energi yang cukup sangatlah susah dan tidak efisien atau tidak maksimal, dengan demikian informasi

yang didapat melalui sebuah *smartphone* akan terhambat, dikarenakan kekurangan energi didalamnya.

Dari permasalahan yang tersebut maka dapat dirancang suatu alat yang dapat mempermudah mendapatkan energi yaitu “ *Solar Charger Portable* “. Pada penelitian sebelumnya “Rancang Bangun *Solar Charger Portable* Berbasis Arduino UNO R3 “ oleh Arobin Jaka Mahendra,2016. Pada penelitian tersebut merupakan inovasi baru untuk memanfaatkan energi matahari yang tidak terbatas menjadi energi listrik. Pada penelitian ini juga sudah diberi sensor tegangan dan sensor arus yang digunakan untuk memonitoring, namun masih ada beberapa kekurangan diantaranya pada penelitian tersebut untuk pengambilan data masih secara manual atau menyesuaikan dengan jam dan kondisi waktu sehingga kurang optimal. Untuk itu pada penelitian ini penulis memberikan inovasi baru pada Sistem Kontrol *Fuzzy Logic* Pada Tegangan *Output Buck Converter* Untuk *Solar Charger* Berbasis Arduino UNO R3 dengan pemberian RTC (*Real Time Clock*), Data Logger untuk menyimpan data secara otomatis, dan menggunakan metode kontrol *Fuzzy Logic* untuk mendapatkan *Embedded Solar Charger* sehingga bisa mendapatkan hasil yang lebih optimal.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini ada beberapa hal yang menjadi rumusan masalah diantaranya :

1. Bagaimana Perancangan sistem kontrol *fuzzy logic* untuk kontrol tegangan keluaran pada *buck converter* untuk *solar charger*.
2. Bagaimana kestabilan tegangan keluaran dari *solar cell* menggunakan *buck converter* untuk *charger* aki 12 Volt dengan metode *fuzzy logic control*.
3. Bagaimana kestabilan tegangan keluaran dari *solar cell* menggunakan *buck converter* untuk *charger handphone* 5 Volt.

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan uraian masalah tersebut, maka pembahasan pada skripsi dibatasi pada hal – hal sebagai berikut :

1. Panel surya yang digunakan hanya sebesar 10 wp *polycrystalline*.
2. Tidak membahas masalah kelembaban, suhu, dan kemiringan pada panel surya.
3. Analisa hanya dititik beratkan pada tegangan keluaran dari panel surya, tegangan keluaran pada *buck converter*.
4. Pengujian pada *buck converter* menggunakan variasi beban resistif resistor kapur.
5. Pengujian pada *buck converter* untuk charger handphone 5 Volt dan aki 12 Volt.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian yang dilakukan memiliki beberapa tujuan untuk dicapai sebagai pencapaian akhir sebagai berikut :

1. Merancang dan membangun sistem kontrol *fuzzy logic* pada tegangan *output buck conveter* untuk *solar charger* berbasis Arduino UNO R3.
2. Menerapkan kontrol *fuzzy logic* sehingga diperoleh kestabilan pada tegangan keluaran *buck converter* untuk *solar charger*.
3. Mengetahui tegangan dan arus pada *buck converter*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian yang dilakukan memiliki beberapa manfaat diantaranya :

1. Kestabilan tegangan keluaran pada *buck converter* untuk *solar charger* dapat diatur otomatis dengan sistem *closed loop*.
2. Memanfaatkan energi matahari yang tidak terbatas untuk sesuatu yang lebih baik.
3. Inovasi baru untuk mengatasi kebutuhan energi yang semakin meningkat dengan skala kecil.

1.6 Sistematika Penelitian

Secara garis besar penyusunan proposal skripsi ini adalah sebagai berikut:

a. **BAB 1. PENDAHULUAN**

Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika pembahasan.

b. **BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA**

Berisi penjelasan tentang teori yang berhubungan dengan penelitian.

c. **BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN**

Menjelaskan tentang metode kajian yang digunakan untuk menyelesaikan skripsi.

d. **BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berisi hasil penelitian dan analisa hasil penelitian.

e. **BAB 5 PENUTUP**

Berisi tentang kesimpulan dan saran dari penulis.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Panel Surya

Panel surya adalah alat yang terdiri dari sel surya yang mengubah cahaya menjadi listrik. Mereka disebut surya atau matahari atau "sol" karena matahari merupakan sumber cahaya terkuat yang dapat dimanfaatkan. Panel surya sering kali disebut sel photovoltaic, photovoltaic dapat diartikan sebagai "cahaya listrik". Sel surya bergantung pada efek photovoltaic untuk menyerap energi. Pada umumnya, solar cell merupakan sebuah hamparan semi konduktor yang dapat menyerap photon dari sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik. Sel surya tersebut 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 jenis "N" (Negatif). Silikon jenis P merupakan lapisan permukaan yang dibuat sangat tipis supaya cahaya matahari dapat menembus 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 Semikonduktor dan Sel Surya

Sebuah semikonduktor adalah sebuah elemen dengan kemampuan listrik di antara sebuah konduktor dan isolator. (Albert Paul Malvino, 2003: 35). Sel surya adalah suatu perangkat yang memiliki kemampuan mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan mengikuti prinsip photovoltaic, adanya energi dari cahaya (foton) pada panjang gelombang tertentu akan mengeksitasi 4 sebagian elektron pada suatu material ke pita energi yang ditemukan oleh Alexandre Edmond Bacquerel (Belgia) pada 1894. Efek ini dapat timbul terutama pada semikonduktor listrik yang memiliki konduktivitas menengah dikarenakan sifat

elektron di dalam material yang terpisah dalam pita-pita energi tertentu yang disebut pita konduksi dan pita valensi. Kedua pita energi tersebut berturut-turut dari yang berenergi lebih rendah adalah pita valensi dan pita konduksi, sedangkan keadaan tanpa elektron disebut dengan celah pita. Celah pita ini besarnya berbeda-beda untuk setiap material semikonduktor, tapi disyaratkan tidak melebihi 3 atau 4 eV ($1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$).



Gambar 2.1 Panel surya

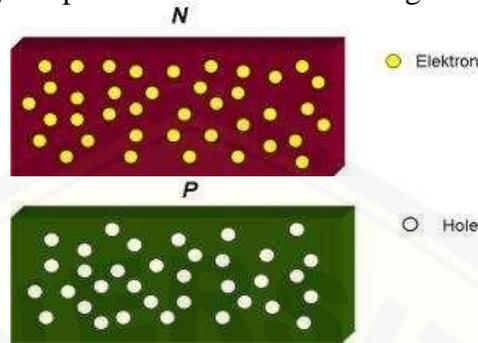
2.1.2 Proses Konversi *Solar Cell*

Proses pengubahan atau konversi cahaya matahari menjadi listrik ini dimungkinkan karena bahan material yang menyusun sel surya berupa semikonduktor. Lebih tepatnya tersusun atas dua jenis semikonduktor, yakni jenis n dan jenis p. Semikonduktor jenis n merupakan semikonduktor yang memiliki kelebihan elektron, sehingga kelebihan muatan negatif, ($n = \text{negatif}$). Sedangkan semikonduktor jenis p memiliki kelebihan hole, sehingga disebut dengan p ($p = \text{positif}$) karena kelebihan muatan positif.

Pada awalnya, pembuatan dua jenis semikonduktor ini dimaksudkan untuk meningkatkan tingkat konduktifitas atau tingkat kemampuan daya hantar listrik dan panas semikonduktor alami. Di dalam semikonduktor alami ini, elektron maupun hole memiliki jumlah yang sama. Kelebihan elektron atau *hole* dapat meningkatkan daya hantar listrik maupun panas dari sebuah semikonduktor. Dua jenis semikonduktor n dan p ini jika disatukan akan membentuk sambungan p-n

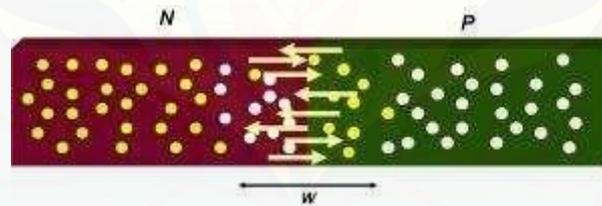
atau dioda p-n. Istilah lain menyebutnya dengan sambungan metalurgi (*metallurgical junction*) yang dapat digambarkan sebagai berikut.

- a. Semikonduktor jenis p dan n sebelum disambung.



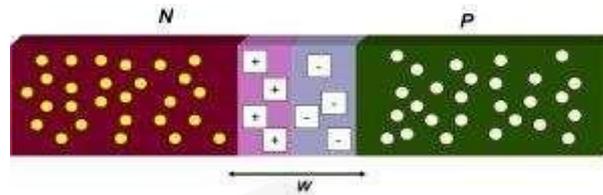
Gambar 2.2 Semikonduktor jenis p dan n Sebelum Disambung

- b. Sesaat setelah dua jenis semikonduktor ini disambung, terjadi perpindahan elektron-elektron dari semikonduktor n menuju semikonduktor p, dan perpindahan *hole* dari semikonduktor p menuju semikonduktor n.



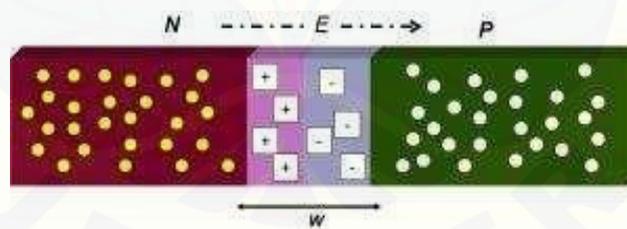
Gambar 2.3 Perpindahan elektron dan hole pada semikonduktor.

- c. Elektron dari semikonduktor n bersatu dengan hole pada semikonduktor p yang mengakibatkan jumlah *hole* pada semikonduktor p akan berkurang. Daerah ini akhirnya berubah menjadi lebih bermuatan negatif. Pada saat yang sama, hole dari semikonduktor p bersatu dengan elektron yang ada pada semikonduktor n yang mengakibatkan jumlah elektron di daerah ini berkurang. Daerah ini akhirnya lebih bermuatan positif



Gambar 2.4 Hasil muatan positif dan negatif pada semikonduktor.

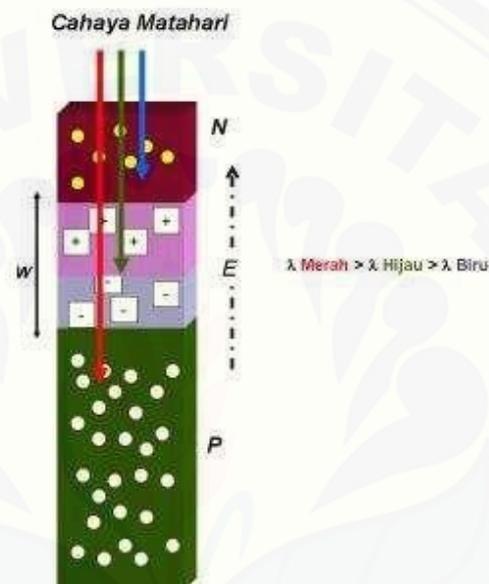
- d. Daerah negatif dan positif ini disebut dengan daerah deplesi (*depletion region*) ditandai dengan huruf W.
- e. Baik elektron maupun *hole* yang ada pada daerah deplesi disebut dengan pembawa muatan minoritas (*minority charge carriers*) karena keberadaannya di jenis semikonduktor yang berbeda
- f. Dikarenakan adanya perbedaan muatan positif dan negatif di daerah deplesi, maka timbul dengan sendirinya medan listrik internal E dari sisi positif ke sisi negatif, yang mencoba menarik kembali *hole* ke semikonduktor p dan elektron ke semikonduktor n. Medan listrik ini cenderung berlawanan dengan perpindahan *hole* maupun elektron pada awal terjadinya daerah deplesi.



Gambar 2.5 Timbulnya Medan Listrik Internal E.

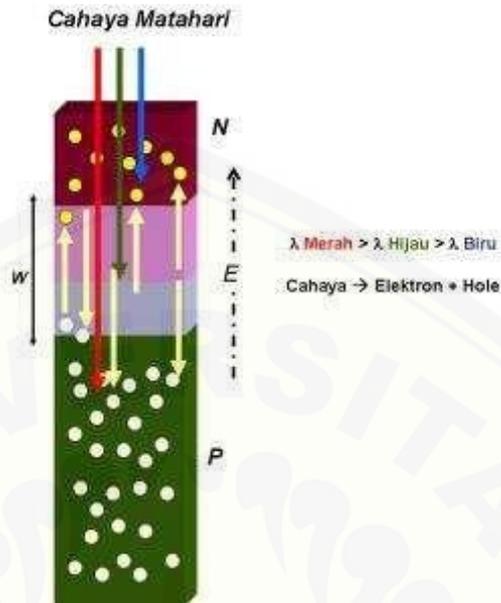
- g. Adanya medan listrik mengakibatkan sambungan pn berada pada titik setimbang, yakni saat di mana jumlah hole yang berpindah dari semikonduktor p ke n dikompensasi dengan jumlah *hole* yang tertarik kembali ke arah semikonduktor p akibat medan listrik E. Begitu pula dengan jumlah elektron yang berpindah dari semikonduktor n ke p, dikompensasi dengan mengalirnya kembali elektron ke semikonduktor n akibat tarikan medan listrik

Pada sambungan p-n inilah proses konversi cahaya matahari menjadi listrik terjadi. Untuk keperluan sel surya, semikonduktor n berada pada lapisan atas sambungan p yang menghadap ke arah datangnya cahaya matahari, dan dibuat jauh lebih tipis dari semikonduktor p, sehingga cahaya matahari yang jatuh ke permukaan sel surya dapat terus terserap dan masuk ke daerah deplesi dan semikonduktor p.



Gambar 2.6 Sambungan Semikonduktor Terkena Cahaya Matahari.

Ketika sambungan semikonduktor ini terkena cahaya matahari, maka elektron mendapat energi dari cahaya matahari untuk melepaskan dirinya dari semikonduktor n, daerah deplesi maupun semikonduktor. Terlepasnya elektron ini meninggalkan *hole* pada daerah yang ditinggalkan oleh elektron yang disebut dengan fotogenerasi electron hole yakni, terbentuknya pasangan elektron dan *hole* akibat cahaya matahari.

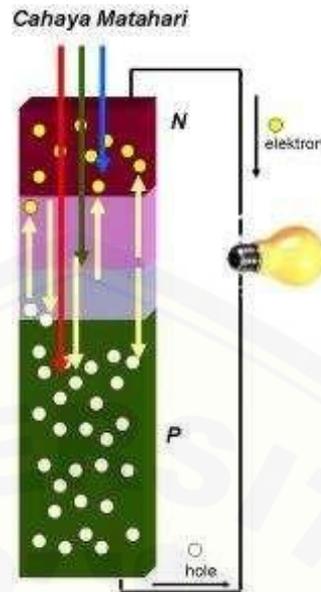


Gambar 2.7 Sambungan Semikonduktor Ditembus Cahaya Matahari.

Cahaya matahari dengan panjang gelombang (dilambangkan dengan simbol “lamda” sebagian di gambar atas) yang berbeda, membuat fotogenerasi pada sambungan pn berada pada bagian sambungan pn yang berbeda pula. Spektrum merah dari cahaya matahari yang memiliki panjang gelombang lebih panjang, mampu menembus daerah deplesi hingga terserap di semikonduktor p yang akhirnya menghasilkan proses fotogenerasi di sana. Spektrum biru dengan panjang gelombang yang jauh lebih pendek hanya terserap di daerah semikonduktor n.

Selanjutnya, dikarenakan pada sambungan pn terdapat medan listrik E, elektron hasil fotogenerasi tertarik ke arah semikonduktor n, begitu pula dengan *hole* yang tertarik ke arah semikonduktor p.

Apabila rangkaian kabel dihubungkan ke dua bagian semikonduktor, maka elektron akan mengalir melalui kabel. Jika sebuah lampu kecil dihubungkan ke kabel, lampu tersebut menyala dikarenakan mendapat arus listrik, dimana arus listrik ini timbul akibat pergerakan elekt



Gambar 2.8 Kabel Dari Sambungan Semikonduktor Dihungkan Ke Lampu

Pada alat ini *solar cell* digunakan sebagai sumber energi pengganti listrik untuk mengisi ulang baterai sekunder (*charger*) yang digunakan untuk menghidupkan portal parkir otomatis. Dan untuk mengetahui daya yang dihasilkan dari *solar cell* pada saat pengisian baterai langsung digunakan rumus :

$$P = V \cdot I \quad (2.1)$$

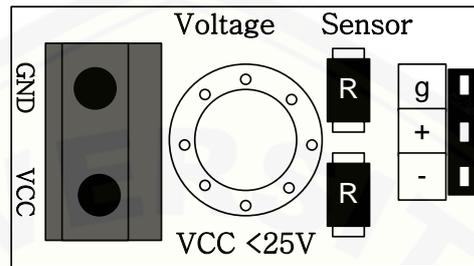
Keterangan : P = daya(dalamwatt ,W)

V = ggl (dalam volt, V)

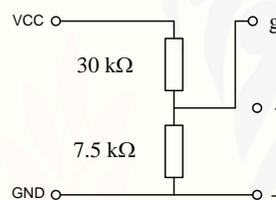
I = arus (dalam Ampere, A)

2.2 Sensor Tegangan

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



(a)



(b)

Gambar 2.9 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).

2.3 Arduino Uno R3

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. Gambar 2.10 (a) adalah modul Arduino UNO-R3 sedangkan Gambar 2.10 (b) menunjukkan skema dari modul Arduino UNO-R3 yang merupakan penyederhanaan dari gambar modul aslinya (Arduino UNO 2015).



(a)



(b)

Gambar 2.10 Modul Kontroler Arduino UNO-R3
(Sumber : www.arduino.com)

Masing-masing pin I/O dapat digunakan sebagai *input* maupun *output* dengan menggunakan fungsi `pinMode()`, `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 Ω yang secara *default* tidak tersambung (*disconnected*).

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

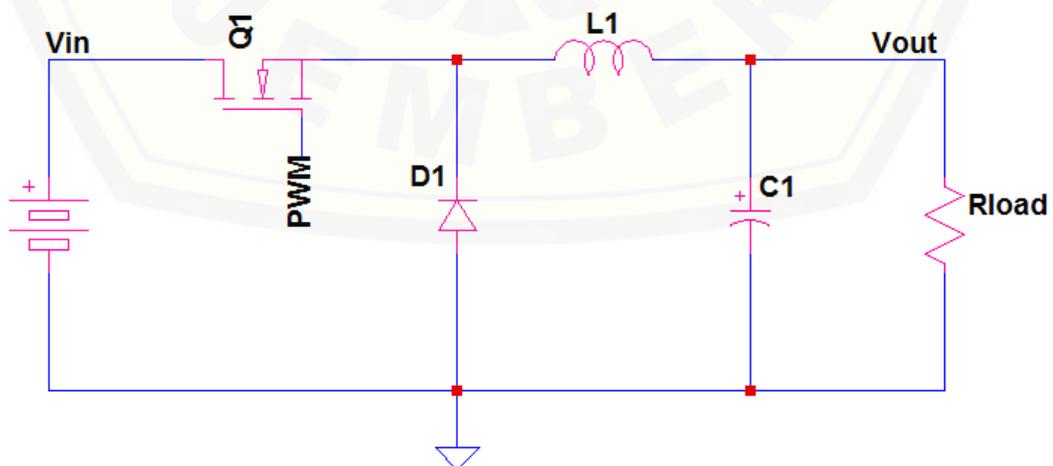
Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino UNO-R3

Mikrokontroler	Atmega 328
Tegangan Operasi	5 V
Tegangan Input	7-12 V
Tegangan Input (Batas)	60-20 V
I/O Digital	14 (6 buah menyediakan PWM output)
Input Analog	6 buah
Arus DC per I/O pin	40 Ma
Arus DC untuk pin 3.3	50 Ma
Flash Memory	Bootloader
SRAM	2 Kb
EEPROM	1 Kb
Kecepatan Clock	16 MHz

Diterjemahkan dari: (Arduino UNO 2015)

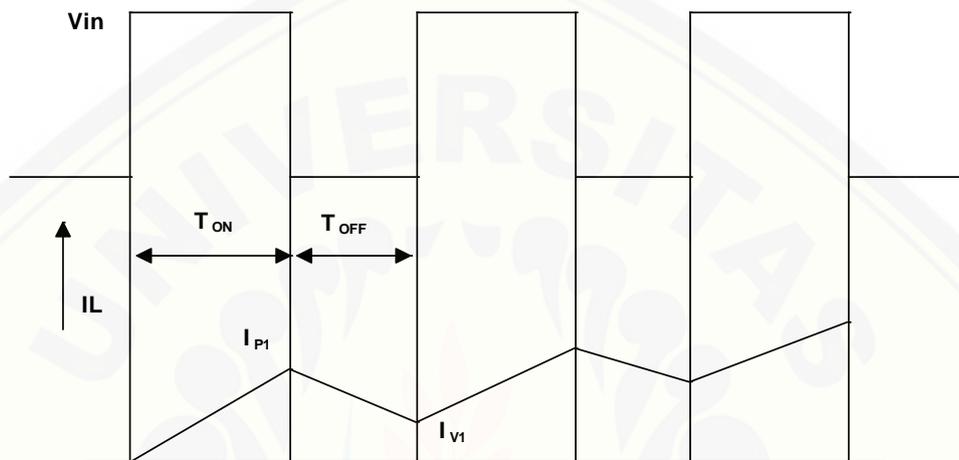
2.4 Buck Converter

Buck converter adalah salah satu DC-DC *converter* yang dapat menurunkan tegangan DC berdasarkan *Duty-Cycle* MOSFET pada rangkaian *buck coverter*. *Output* tegangan pada *buck converter* akan turun bila *duty-cycle* pada *Sbuck* turun.



Gambar 2.11 Skematik *Buck Converter*

Untuk prinsip kerja dari *buck converter* yaitu dimana MOSFET yang mengatur proses *switching* yang tinggi pada saat pemberian sinyal PWM yang dikontrol. Selain MOSFET yang digunakan untuk proses *switching* bisa juga dengan menggunakan IGBT. Pada gambar dibawah ini menunjukkan tegangan *output* dan juga bentuk gelombang yang dihasilkan.



Gambar 2. 12 *Output voltage and current waveform*

Ketika MOSFET pada keadaan *ON* maka tegangan V_{in} diterapkan secara *reverse* didioda. Karena itu dioda harus tetap pada kondisi *OFF* selama MOSFET tetap pada keadaan *ON*. Keadaan *ON* dari MOSFET selalu menunjukkan keadaan *OFF* dari dioda. Ketika MOSFET pada keadaan *ON*, maka arus I_L meningkat. Kenaikan arus I_L terjadi secara eksponensial dikarenakan induktansi (L). T_{ON} untuk selang waktu MOSFET pada kondisi *ON* dan T_{OFF} untuk keadaan MOSFET pada kondisi *OFF*. Pada saat MOSFET pada kondisi *OFF*, I_L memiliki nilai yang terbatas (I_{P1}) yang merupakan nilai puncak arus *output* selama selang waktu siklus pertama. Nilai puncak terjadi pada saat MOSFET berubah kondisi *OFF* dimana terdapat induktansi yang bertujuan untuk mencegah penurunan atau *drop* I_L ke nol secara tiba-tiba.

Untuk tegangan *output* yang dihasilkan dari *buck converter* akan memiliki hubungan dengan tegangan *input* dan juga *duty cycle* dimana D merupakan *duty cycle* hal ini dapat ditunjukkan dengan persamaan rumus dibawah ini:

$$V_{out} = V_{in} \cdot D \quad (2.2)$$

$$D = \frac{T_{ON}}{T_{ON}+T_{OFF}} \quad (2.3)$$

Sinyal *Power Width Modulation* (PWM) merupakan salah satu sinyal kontrol yang paling sering diterapkan pada proses *switch* dalam *switching DC converter*. Sinyal PWM ini sering digunakan pada proses *switching* dikarenakan sinyal PWM merupakan sinyal dengan frekuensi tetap. Frekuensi sangat berhubungan dengan *output ripple*. Untuk mendapatkan tegangan *output ripple* yang jauh lebih kecil dari nilai rata-rata, maka sebagian besar arus *ripple* induktor harus melalui kapasitor. Tegangan *output ripple* dapat ditentukan oleh persamaan berikut:

$$\frac{\Delta V_{out}}{V_{out}} = \frac{(1-D)T_{SW}^2}{8LC} \quad (2.4)$$

Dimana

T_{SW} merupakan periode *switching*

$$f_{SW} = 1/T_{SW}$$

Tegangan *output ripple* dari DC-DC *converter* dapat diminimalkan dengan penentuan pada besarnya nilai induktor dan juga pada kapasitor yang diberikan, hal ini dapat ditentukan seperti pada perhitungan dibawah ini

$$L = \frac{D(V_{IN}-V_{OUT})}{I_{ripple} \times F_s} \quad (2.5)$$

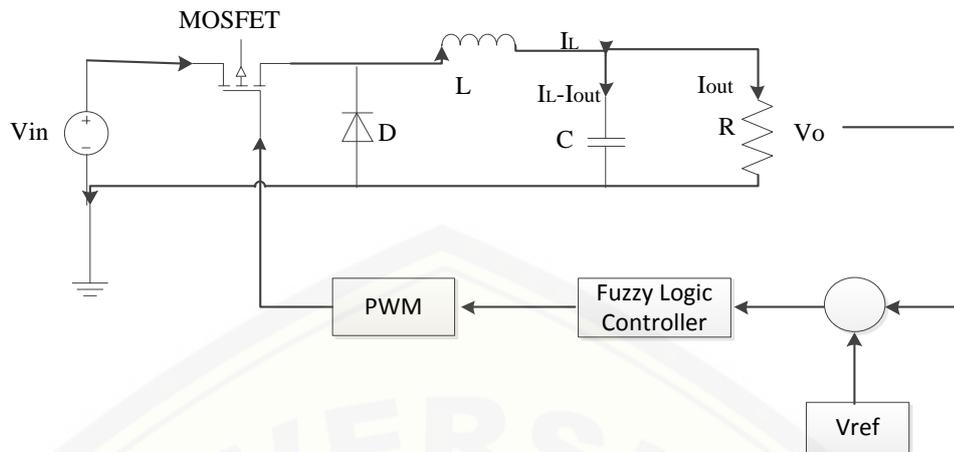
$$C = \frac{I_{ripple}}{8 \times F_s \times \Delta V} \quad (2.6)$$

Dimana V_{IN} = Input tegangan pada *buck converter*

V_{OUT} = Output tegangan

F_s = Frekuensi *switching*

I_{ripple} merupakan arus *ripple* induktor, biasanya 30% dari arus keluaran maksimum. ΔV adalah tegangan *output ripple*, biasanya 1% dari tegangan *output*. Kemudian untuk ESR (*Effective Series Resistance*) merupakan resistansi seri efektif kapasitor dimana pada umumnya 0.03Ω. Sebuah kapasitor dengan ESR rendah akan membantu untuk meminimalkan *ripple* pada *output* tegangan.



Gambar 2.13 Voltage step down chopper with feed back controller

Dalam DC-DC *converter*, kerugian dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu kerugian konduksi dan juga pada frekuensi kerugian *switching*. Dari dua jenis kerugian tersebut masing-masing dibagi lagi menjadi:

A. Rugi konduksi

Selama mode konduksi kontinyu (berarti induktor saat ini tidak akan mencapai ke nol) di mana arus beban relatif besar, kontribusi utama dari rugi daya adalah hilangnya konduksi pada resistensi dari sisi tinggi (R_{on_PFET}) dan sisi rendah (R_{on_NFET}) switch dan resistansi seri dari induktor dan kapasitor (R_L , R_{ESR})

- a) Rugi konduksi saat *switching*
- b) Rugi konduksi pada induktor dan kapasitor

B. Rugi *switching*

Kerugian-kerugian pada *switching* tergantung pada frekuensi, hal ini dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu:

- a) Hard Loss (overlap loss)
- b) Soft Loss (gate drive loss)

2.5 Fuzzy Logic

2.5.1 Pengertian Fuzzy Logic

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.

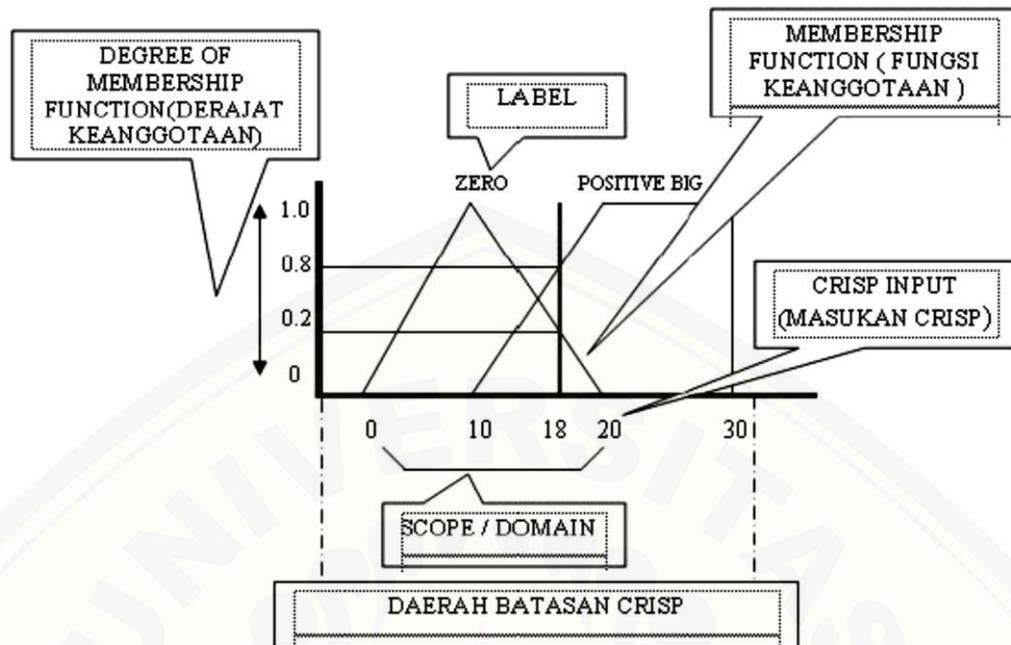
Kontroler logika fuzzy dikategorikan dalam kontrol cerdas (*intelligent control*). Unit logika fuzzy memiliki kemampuan menyelesaikan masalah perilaku

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 diterapkan 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 2.14 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 metodelis 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

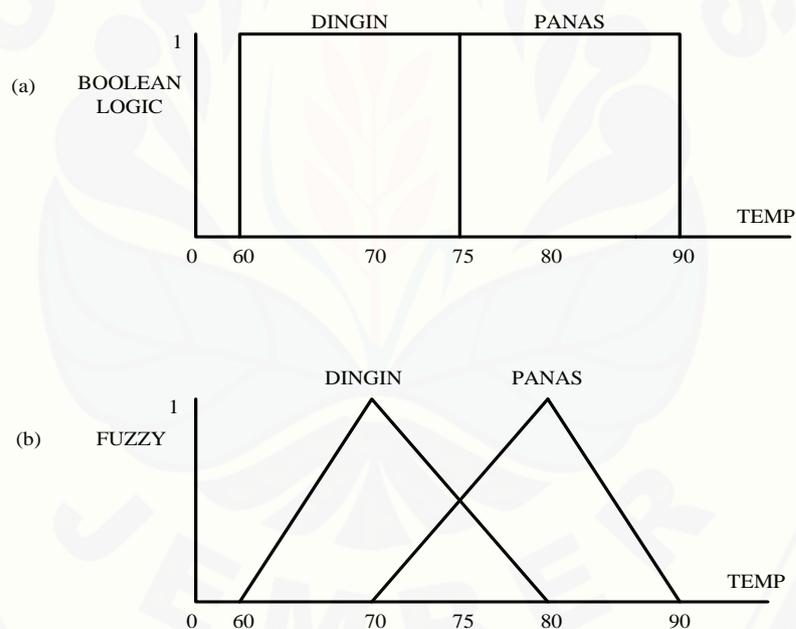
Fuzzy logic saat ini banyak diterapkan dalam berbagai bidang diantaranya:

- a) *Fuzzy rule Based Systems*

- b) *Fuzzy Nonlinear 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 2.15 Perbedaan Boolean Logic (a) dengan Fuzzy Logic (b).

2.5.2 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: variable fuzzy

- a. 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 = $[30 \ 40]$

2.5.3 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

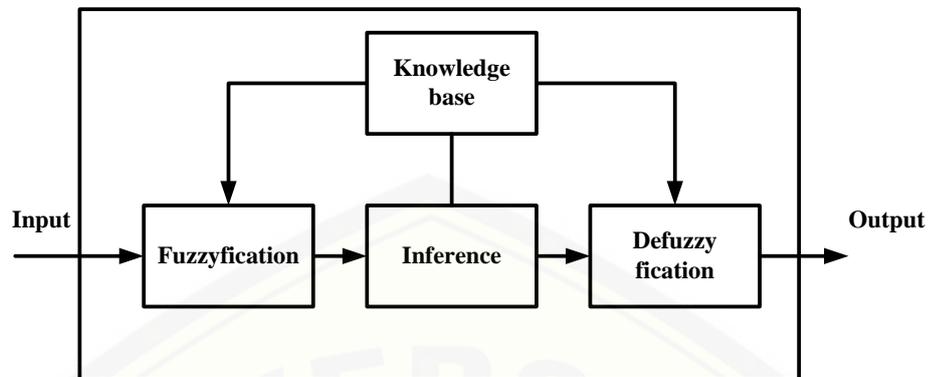
Dengan x dan y adalah skalar, dan A dan B adalah himpunan fuzzy. Proposisi yang mengikuti IF disebut sebagai anteseden, sedangkan proposisi yang mengikuti THEN disebut sebagai konsekuen. Proposisi ini dapat diperluas dengan menggunakan operator fuzzy, seperti:

IF (x1 is A1) • (x2 is A2) • (x3 is A3) (Xx is Ax) THEN y is B

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

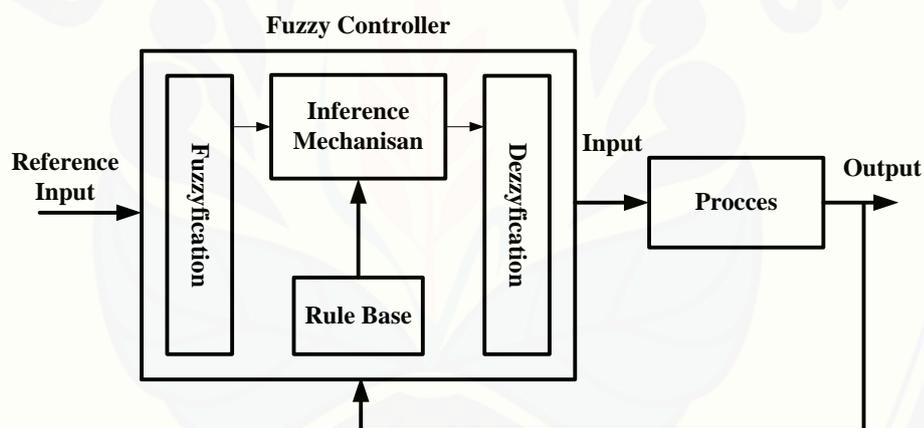
Fungsi ini akan memotong *output* himpunan fuzzy.

2.5.4 Tahap Pemodelan Dalam *Fuzzy Logic*



Gambar 2.16 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 2.17 Blok diagram sistem fuzzy 2

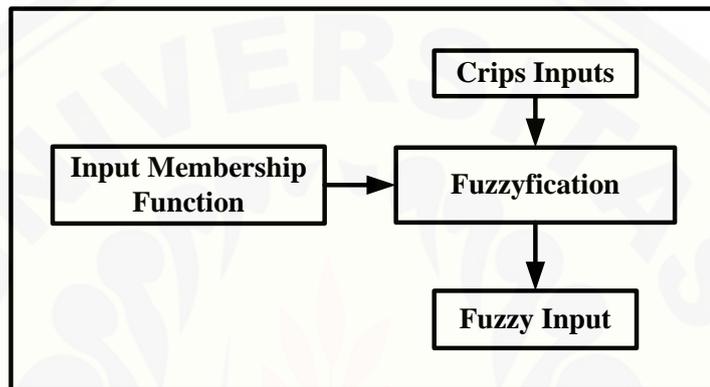
2.5.4.1 *Fuzzification*

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 2.18 *Fuzzification*

2.5.4.2 Rule Evaluation

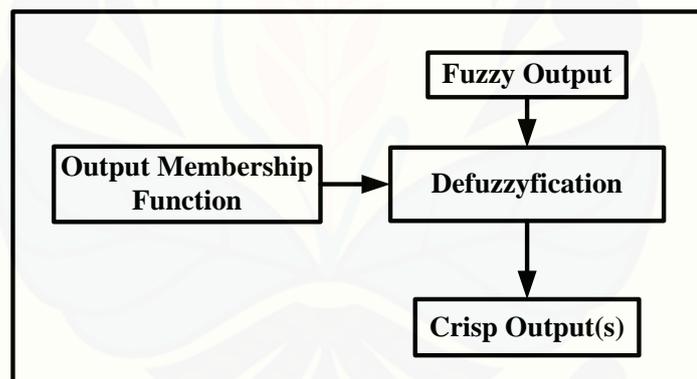
Prosedur fuzzifikasi merupakan proses untuk mengubah variabel non fuzzy (variabel *numerik*) menjadi variabel fuzzy (variabel *linguistik*). Nilai *error* dan *delta error* yang dikuantisasi sebelumnya diolah oleh kontroler logika fuzzy, kemudian diubah terlebih dahulu ke dalam variabel fuzzy. Melalui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

2.5.4.3 Defuzzification

Defuzzifikasi dapat didefinisikan sebagai proses pengubahan 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 2.19 Defuzzification

2.6 LCD (Liquid Crystal Display)

Display elektronik 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.



Gambar 2.20 LCD (*Liquid Crystal Display*)

2.7 *Real Time Clock (RTC)*

RTC (*Real time clock*) adalah jam elektronik berupa chip yang dapat menghitung waktu (mulai detik hingga tahun) dengan akurat dan menjaga / menyimpan data waktu tersebut secara *real time*. Karena jam tersebut bekerja *real time*, maka setelah proses hitung waktu dilakukan output datanya langsung disimpan atau dikirim ke device lain melalui sistem antarmuka.

Chip RTC 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 pensuplai 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 2.21 Modul *Real Time Clock (RTC)* DS1307

2.8 Battery atau ACCU

Baterai atau aki adalah sebuah sel listrik dimana di dalamnya berlangsung proses elektrokimia yang reversibel (dapat berbalikan) dengan efisiensinya 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. Yang dimaksud dengan proses elektrokimia reversibel, adalah di dalam baterai dapat berlangsung proses perubahan 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 2.22 Battery atau Accu

2.8.1 Charge dan Discharge Battery

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 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).

2.9 Relay

Relay adalah komponen elektronika yang berupa saklar atau switch elektrik yang dioperasikan menggunakan listrik. Relay juga biasa disebut sebagai komponen electromechanical atau elektromekanikal yang terdiri dari dua bagian utama yaitu coil atau elektromagnet dan kontak saklar atau mekanikal.

Komponen relay menggunakan prinsip elektromagnetik sebagai penggerak kontak saklar, sehingga dengan menggunakan arus listrik yang kecil atau low power, dapat menghantarkan arus listrik yang memiliki tegangan lebih tinggi. Berikut adalah gambar dan juga simbol dari komponen relay (Elektronika, 2016).



Gambar 2.23 Modul *Relay*

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian yang dilakukan ini, untuk memperoleh data dan hasil dari penelitian yang sesuai dengan tujuan, maka dilakukan beberapa tahapan-tahapan pada proses penelitian ini. Kegiatan penelitian sebagaimana dapat dijelaskan dalam susunan seperti berikut.

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Konversi Energi Listrik Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Slamet Riyadi No. 62 Patrang, Jember 68111.

3.1.2 Waktu Penelitian

Waktu penelitian dilaksanakan selama 4 bulan. Pada bulan Januari 2017 sampai April 2017. Adapun kegiatan yang dilakukan selama waktu penelitian yaitu seperti berikut.

No	Kegiatan	Bulan Ke-/Minggu															
		Bulan 1				Bulan 2				Bulan 3				Bulan 4			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.	Tahap Persiapan	■	■	■	■												
2.	Studi Literatur	■	■	■	■	■	■	■	■								
3.	Pengumpulan Data					■	■	■	■	■	■	■	■				
4.	Pengolahan Data									■	■	■	■	■	■	■	■
5.	Analisa Data													■	■	■	■
6.	Pembuatan Laporan													■	■	■	■

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

Alat :

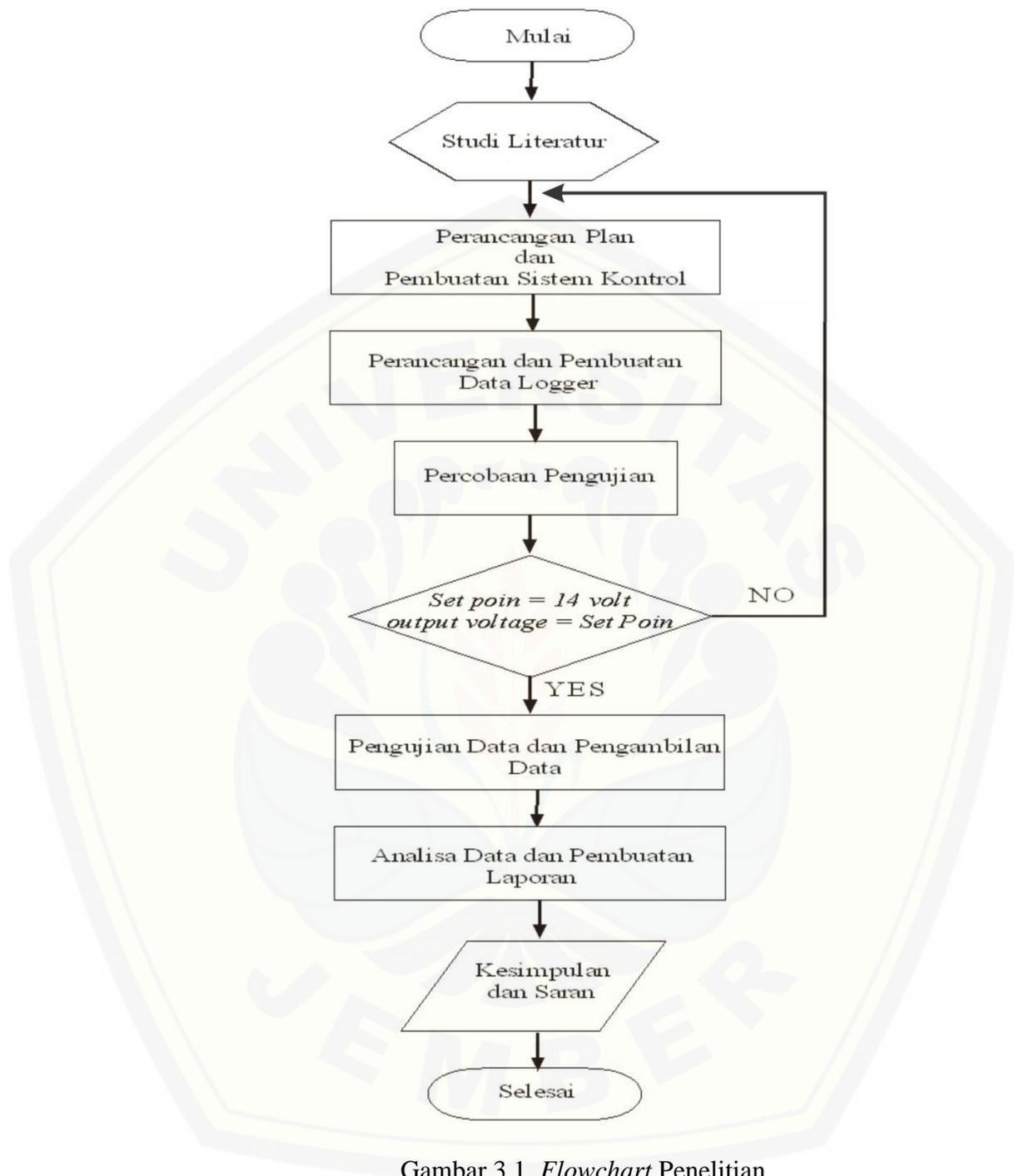
1. Obeng
2. Solder
3. *Power Supply*
4. *Oscilloscop*

Bahan :

1. Panel Surya 10 wp Polycrystalline.
2. Arduino UNO R3
3. *Buck Converter*
4. *Battery / ACU*
5. *Modul data logger* dan RTC
6. Memori *Micro SD*
7. Timah
8. Sensor Arus
9. Sensor Tegangan
10. Resistor Kapur
11. Potensio
12. Relay
13. Kayu
14. Engsel
15. Push button
16. LCD 16 x 2 + I2C
17. Jumper

3.3 Tahapan Penelitian

Adapun tahap-tahap dalam penelitian dan penyusunan laporan ini secara keseluruhan dapat dinyatakan dalam diagram alir sebagaimana terlihat dalam Gambar 3.1



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

Tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian sistem kontrol *fuzzy logic* pada tegangan *output buck converter* untuk *solar charger* berbasis arduino uno R3 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, *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 program *fuzzy logic* pada arduino

Tahap keempat adalah pemodelan sistem *fuzzy logic* dimana menentukan rancangan yang akan diimplementasi pada sistem kontrol. Tahapan yang dilakukan antara lain *fuzzyfication*, *Inference* dan *defuzzyfication*. Pembuatan pemodelan sistem *fuzzy* ini dimana yang mengubah hasil dari pemodelan sistem *fuzzy* yang dirancang menjadi program agar dapat di *input* ke arduino uno R3.

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 12 Volt dan *handphone* 5 Volt.

6. Analisa data dan pembuatan laporan

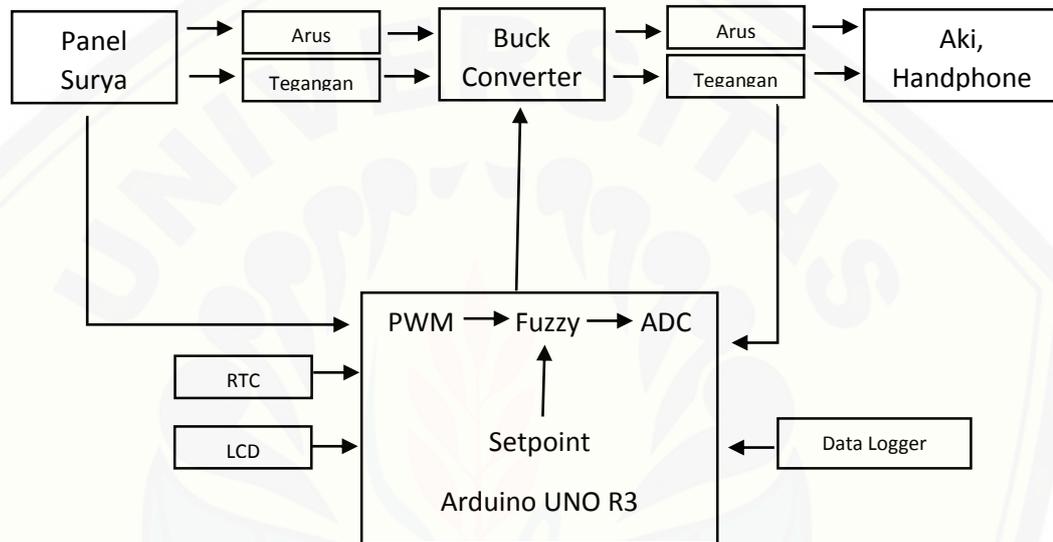
Tahap keenam adalah melakukan analisa pada data yang diperoleh dan membuatnya menjadi sebuah bentuk laporan hasil dari penelitian yang telah dilakukan.

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..

3.4 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 kontrol *fuzzy logic* pada *solar charger* 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 10 wp polycrystalline. Output dari panel surya sebesar 17 V – 21 V, sedangkan untuk mencharge sebuah battery tegangannya harus 13.8 V – 14.7 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 uno R3 melalui besarnya PWM. Di dalam Arduino ini terdapat kontrol berupa fuzzy logic yang akan merespon ketika pada saat panel surya digunakan untuk charger battery. Kontrol fuzzy logic ini juga akan mengatasi apabila terjadi drop tegangan sehingga mempertahankan output tegangan berada pada set poin. Sensor tegangan dipasang

bertujuan untuk mengetahui output tegangan dari panel surya, buck converter dan juga digunakan sebagai input dari Arduino yang berupa ADC.

3.5 Perancangan Komponen Pengendali (*Hardware*)

3.5.1 Sensor Tegangan

Sensor tegangan dibangun dari rangkaian pembagi tegangan. Perancangan sensor tegangan dilakukan dengan menyusun resistor secara seri. Rangkaian pembagi tegangan ini menggunakan resistor 30 k Ω dan resistor 6k8 Ω . Tujuan dari dirangkainya secara seri agar dapat membaca tegangan 0 – 27.05 V dan perbandingan tegangan untuk diberikan ke arduino uno R3 0 – 5 V.

Pada penelitian kali untuk penggunaan resistor sebesar 30 k Ω digantikan dengan menggunakan tiga buah resistor sebesar 10 k Ω secara seri karena untuk resistor 30 k Ω sukar dicari dipasaran. Untuk skema rangkaian sensor tegangan dapat dilihat pada gambar



Gambar 3.3 Skematik Sensor Tegangan

Untuk perhitungan dari perancangan sensor tegangan ini dapat dilihat seperti pada persamaa 3.1

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

dimana, $V_{out} = 5$; $V_{in} = 27.05$; $R_1 = 30 \text{ k}\Omega$

$$5 = \frac{27.05 \times R_2}{(30k + R_2)}$$

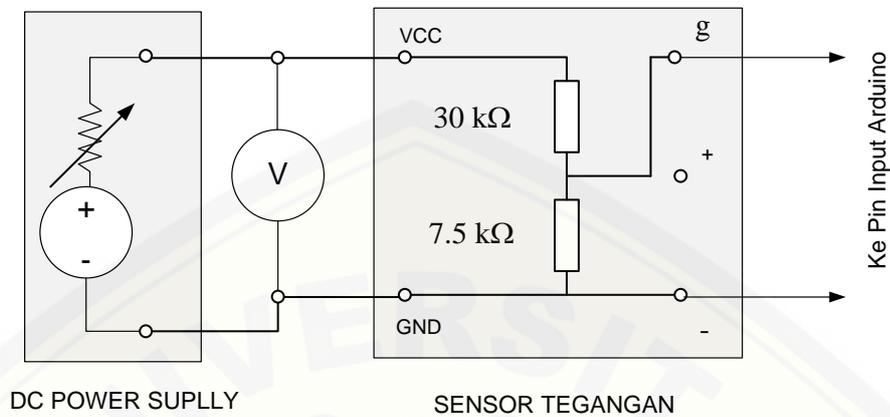
$$5 \times (30k + R_2) = 27.05 \times R_2$$

$$150k + 5R_2 = 27.05R_2$$

$$R_2 = \frac{150k}{22.05}$$

$$R_2 = 6k8 \Omega$$

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

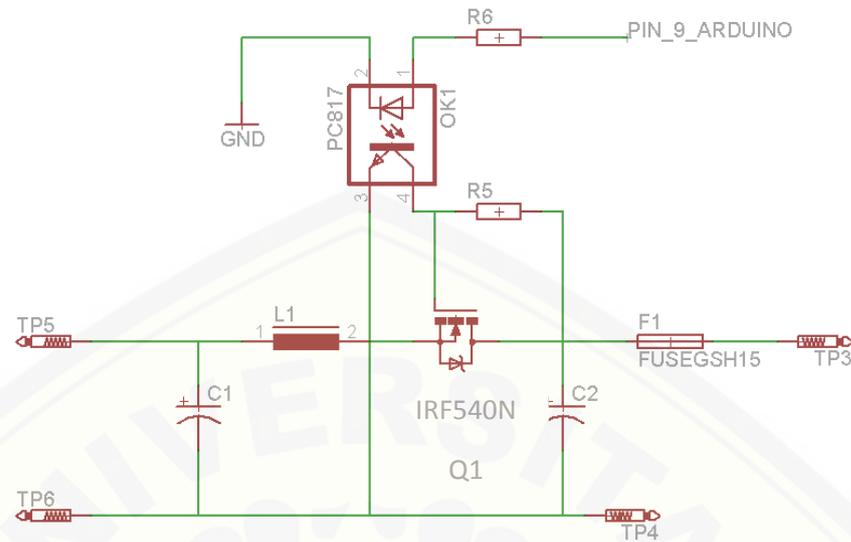


Gambar 3.4 Rangkaian Pengujian Sensor Tegangan

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*.

3.5.2 Buck Converter

Pada penelitian kali untuk mengatur besarnya tegangan yang diberikan pada solar charger maka digunakan sebuah *buck converter* dimana untuk skematik rangkaian *buck converter* dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Skematik Rangkaian *Buck Converter*

Pada *buck converter* ini menggunakan IGBT IRF540N. IGBT tersebut mampu menahan tegangan antara *collector* dan *emitter* hingga 100 V, sedangkan *optocoupler* digunakan untuk memisah tegangan yang lebih tinggi dari tegangan yang digunakan pada komponen arduino uno R3 agar ketika terjadi kesalahan pada tegangan yang lebih tinggi, arduino uno R3 akan tetap aman dan juga berfungsi sebagai *switching device* untuk IGBT. Nilai C1 dan C2 adalah 470 μF dan nilai induktor yang digunakan adalah 22.0 mH dengan hambatan yang digunakan adalah 914 Ω . Agar *buck converter* bekerja secara kontinu diperlukan perhitungan nilai frekuensi yang digunakan, dengan persamaan 3.2.

$$f > \frac{(1-D)R}{2L} \quad (3.2)$$

dimana, $R = 914 \Omega$ dan $L = 22 \text{ mH}$

$$f > \frac{(1-D)914}{2(22 \times 10^{-3})}$$

$$f > 20772.72 (1-D)$$

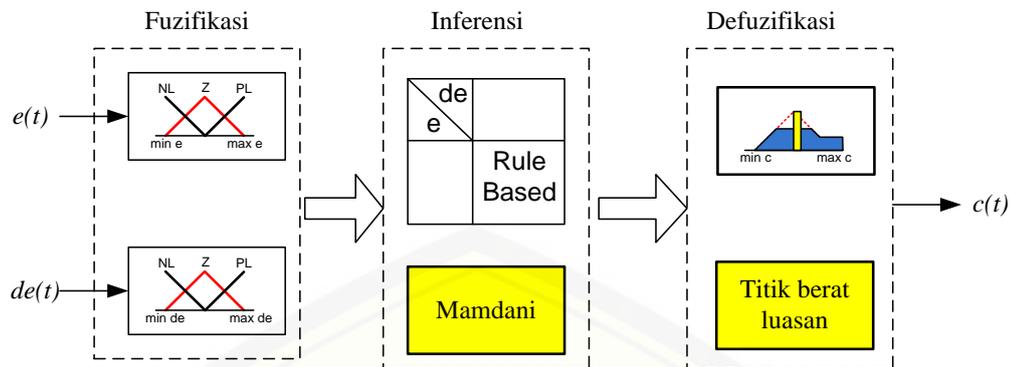
jadi agar semua kondisi *duty cycle* terpenuhi maka didapatkan nilai frekuensi harus lebih dari 20,772.72 Hz.

3.5.3 Arduino UNO R3

Sebagai kontroler yang digunakan dalam *plant*, arduino ini sendiri sebelumnya telah dijelaskan dalam bab 2. Namun pada tahanan ini penjelasannya akan lebih spesifik dalam penggunaannya sebagai *embedded system*. Arduino yang digunakan yaitu dengan tipe arduino uno R3 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). Frekuensi PWM yang dapat dihasilkan pada pin PWM ini adalah 31,250 Hz. 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.

3.6 Perancangan Sistem Kendali Fuzzy

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 function*, kemudian dilanjutkan ketahap *inferent* 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 3.6.

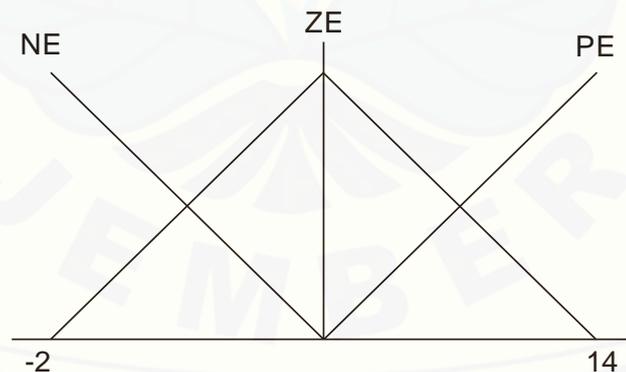


Gambar 3.6 Blok Sistem Kendali Fuzzy

3.6.1 Fuzzyfikasi

Tahap awal pembuatan fuzzy diawali dengan proses fuzzyfikasi dimana pada tahap ini dilakukan terhadap *error* dan *delta error*, yaitu dengan membuat himpunan keanggotaan untuk *error* dan *delta error*, dan kemudian melakukan perhitungan untuk menentukan derajat keanggotaan masing-masing nilai *error* dan *delta error*.

Pada tahap ini terlebih dahulu ditentukan besarnya *setpoint* yang digunakan untuk membuat *membership function* dan juga pada proses perhitungan *error* dan *delta error*. Untuk besarnya nilai *setpoint* yang digunakan yaitu 14, dimana nilai ini merupakan yang menjadi acuan dalam kontrol agar tetap stabil pada nilai tersebut.



Gambar 3.7 Membership Function Error

Dalam sistem pengendalian ini bertujuan untuk mengendalikan tegangan, maka kendali dilakukan berdasarkan *error* (e) tegangan dan perubahan *error* tegangan atau *delta error* tegangan (de). Kontroler mengindra sinyal dari sensor tegangan dan menerima *input* berupa tegangan referensi. Kontroler memproses

selisih tegangan aktual dan tegangan referensi menjadi $e(t)$ dan mencatatnya. Kontroler ini kemudian memproses selisih *error* ini dengan nilai *error* tegangan sebelumnya, $e(t-1)$ dan menjadikannya perubahan *error* tegangan $de(t)$. Hasil perhitungan *error* dan *delta error* ini kemudian diproses sesuai dengan tahapan pada blok sistem kendali fuzzy.

Nilai *error* diperoleh dari nilai *setpoint* dikurangi dengan *output* tegangan dari generator yang berasal dari pembacaan sensor tegangan. Untuk perhitungan *membership function error* dalam proses pembuatan program pada arduino ini dapat dilihat seperti dibawah ini

a) Jika $-2 < E < 0$

$$NE_ = \frac{-E}{2}$$

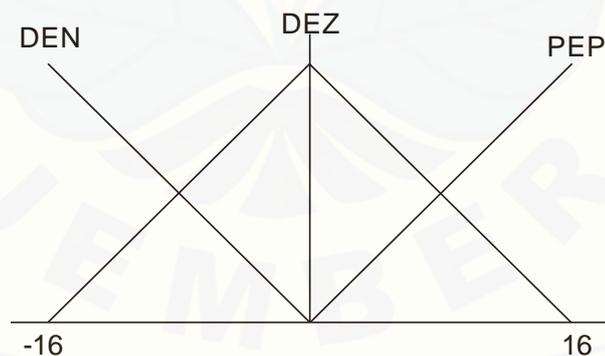
$$ZE = \frac{E+2}{2}$$

b) Jika $0 < E < 14$

$$ZE_ = \frac{14-E}{14}$$

$$PE = \frac{-E}{14}$$

Hampir sama pada membuat *membership function error*, untuk membuat *membership function delta error* dilakukan juga berdasarkan perhitungan sesuai dengan aturan pada pembuatan fuzzy pada umumnya. Besarnya nilai *delta error* dihitung dari besarnya nilai *error* sekarang dikurangi dengan nilai *error* sebelumnya.



Gambar 3.8 Membership Fucntion Delta Error

a) Jika $-16 < E < 0$

$$DEN_ = \frac{-DE}{16}$$

$$DEZ = \frac{DE+16}{16}$$

b) Jika $0 < E < 16$

$$DEZ_ = \frac{16-DE}{16}$$

$$DEP = \frac{DE}{16}$$

3.6.2 Inferensi

Inferensi dimulai dengan memetakan nilai derajat keanggotaan dari masing-masing *error* dan *delta error* ke sebuah tabel yang berisi basis aturan yang dipilih (rule base) dan menggunakan sebuah metode untuk pemilihan nilai dari derajat keanggotaan. Dengan demikian terlebih dahulu harus dibuat matrik atau tabel *rule base*.

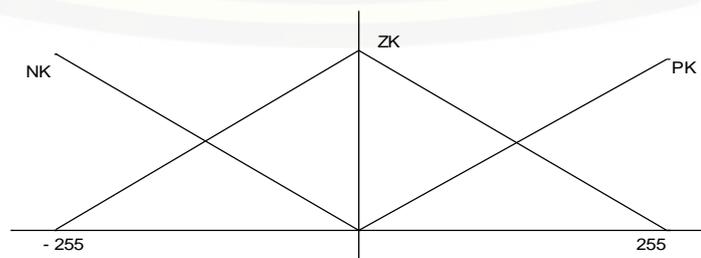
E DE	PE	ZE	NE
DEN	U1 NK	U2 NK	U3 PK
DEZ	U4 NK	U5 ZK	U6 PK
DEP	U7 NK	U7 PK	U9 PK

Gambar 3.9 Rule Base

Setelah langkah ini maka proses inferensi selesai dan untuk selanjutnya adalah langkah defuzifikasi untuk menentukan besarnya nilai PWM yang dikirim ke *buck converter*.

3.6.3 Defuzzyfikasi

Defusifikasi dilakukan dengan memetakan nilai-nilai U ke himpunan defuzifikasi yang dinyatakan dengan persamaan-persamaan garis. Berbeda dengan fuzifikasi, defuzifikasi akan menghasilkan luasan-luasan yang dibatasi dengan tinggi masing-masing nilai U dan garis yang dihasilkan dari pemetaan ke *rule base*.

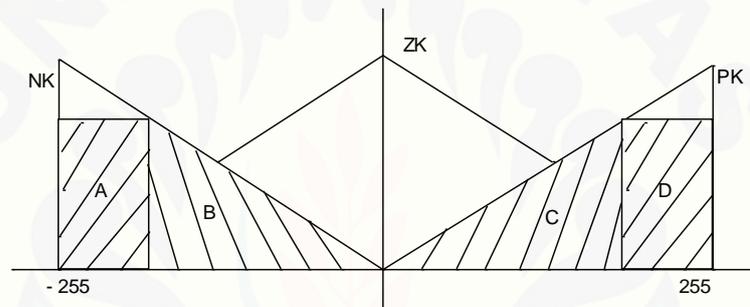


Gambar 3.10 Himpunan Defuzzyfikasi

Penentuan nilai kontrol (c) ditentukan dengan perhitungan titik berat luasan-luasan hasil pemetaan ini, atau diistilahkan dengan *weighted average method*. Secara matematik, titik berat ini dihitung sebagai berikut:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^9 \alpha_i * \alpha w_i}{\sum_{i=1}^9 \alpha_i} \quad (3.3)$$

$$Z = \frac{WANK1 \times U1 + WANK2 \times U2 + WAPK3 \times U3 + WANK4 \times U4 + WAZK \times U5 + WAPK6 \times U6 + WANK7 \times U7 + WAPK8 \times U8 + WAPK9 \times U9}{U1 + U2 + U3 + U4 + U5 + U6 + U7 + U8 + U9}$$



Gambar 3.11 Perhitungan Titik Berat Luasan

NK / Negatif Kontrol terletak pada bangun A dan B. Untuk perhitungannya seperti dibawah ini

- $LA = ((1 - U) \times 255) \times U$
- $XA = ((1 - U) \times (-255)) / 2 + (-255 \times U)$
- $LB = 0,5 \times U \times (255 \times U)$
- $XB = ((U \times -255) \times 2) / 3$

$$\text{Sehingga } WANK = \frac{LA \times XA + LB \times XB}{LA + LB}$$

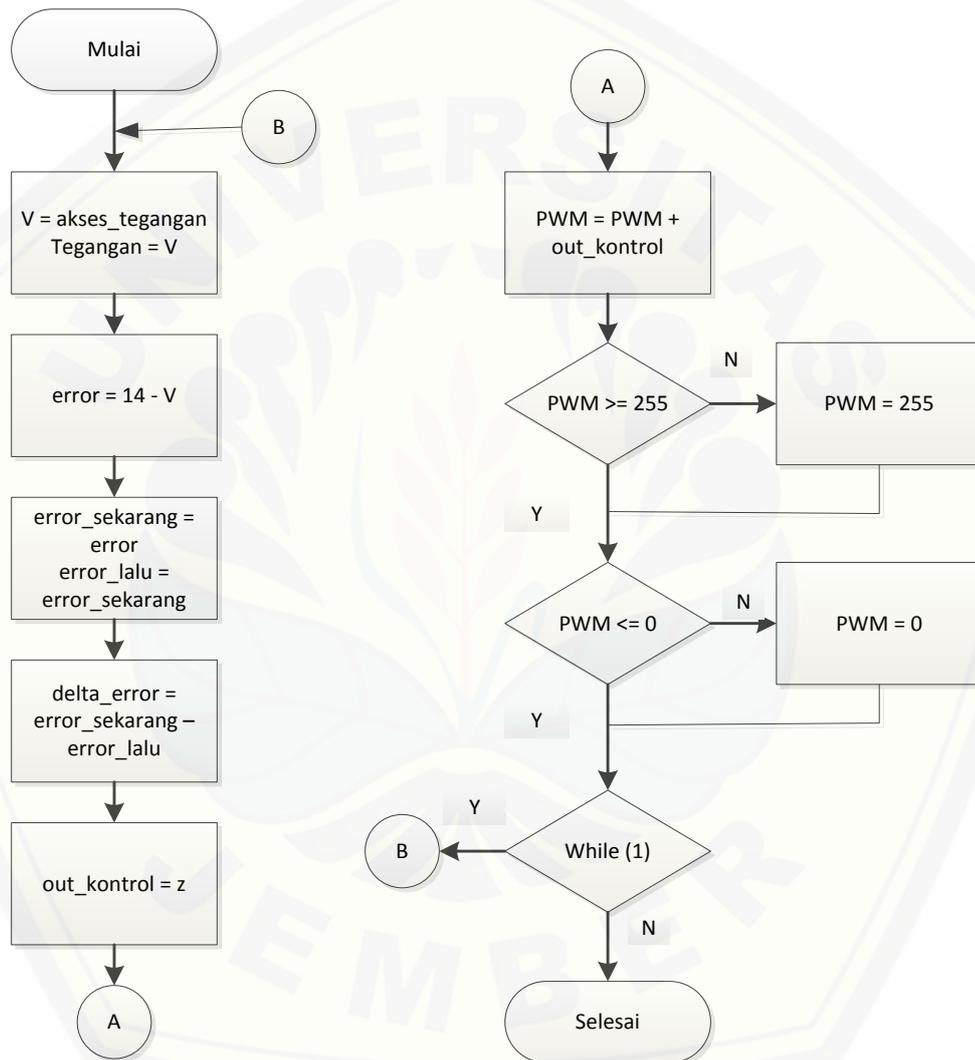
PK / Positif Kontrol terletak pada bangun C dan D. Untuk perhitungannya seperti dibawah ini

- $LC = 0,5 \times U \times (255 \times U)$
- $XC = ((U \times 255) \times 2) / 3$
- $LD = ((1 - U) \times 255) \times U$

$$e) \quad XD = ((1 - U) \times (-255))/2 + (-255 \times U)$$

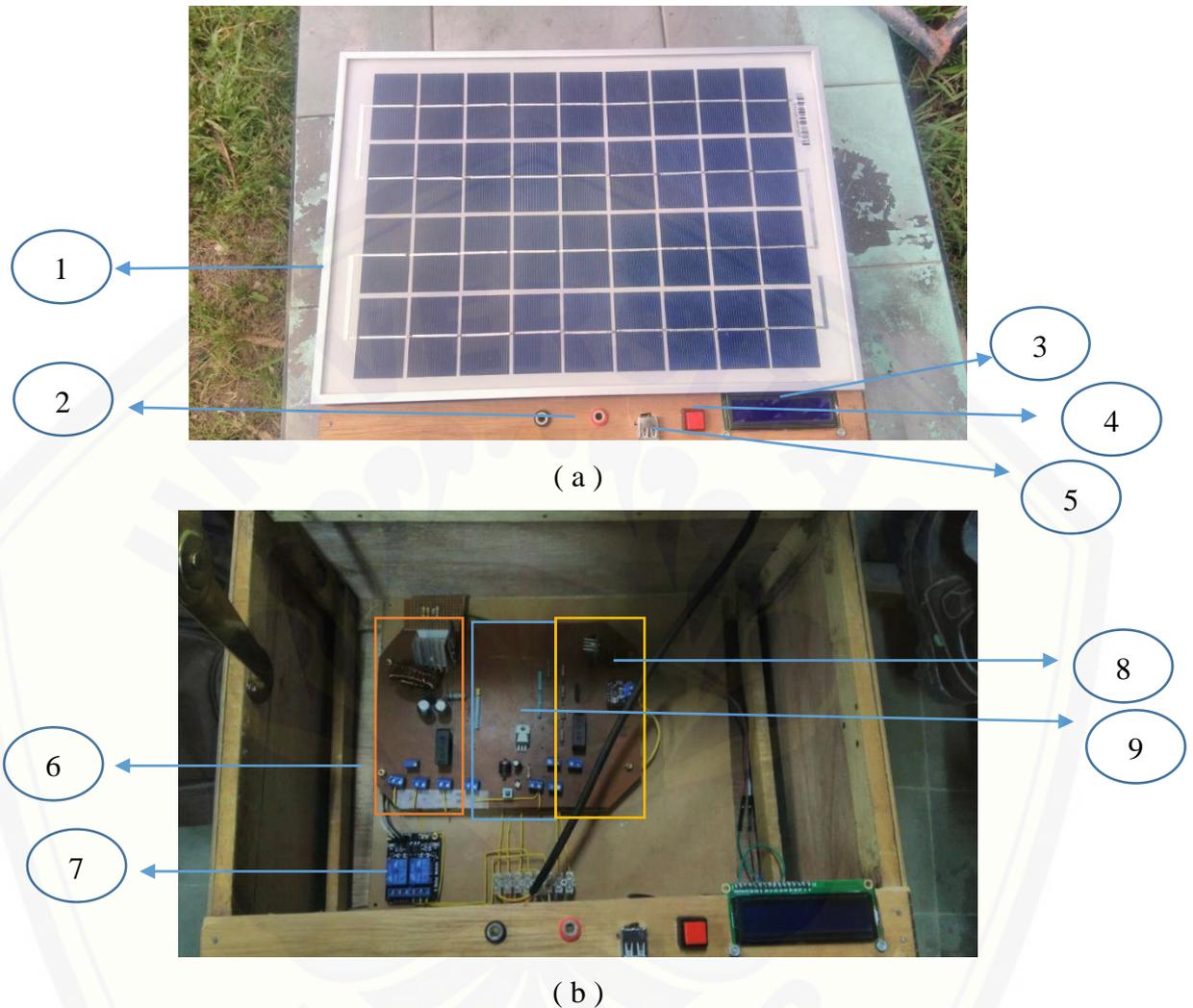
$$\text{Sehingga } WAPK = \frac{LC \times XC + LD \times XD}{LC + LD}$$

Setelah semua tahap pembuatan fuzzy selesai maka setelah itu dilakukan pengujian untuk pengambilan data. Secara umum alur dari program yang dibuat pada arduino dapat dilihat pada gambar 3.12.



Gambar 3.12 Flowchart Program

3.7 Desain Mekanik Alat dan Rangkaian Keseluruhan



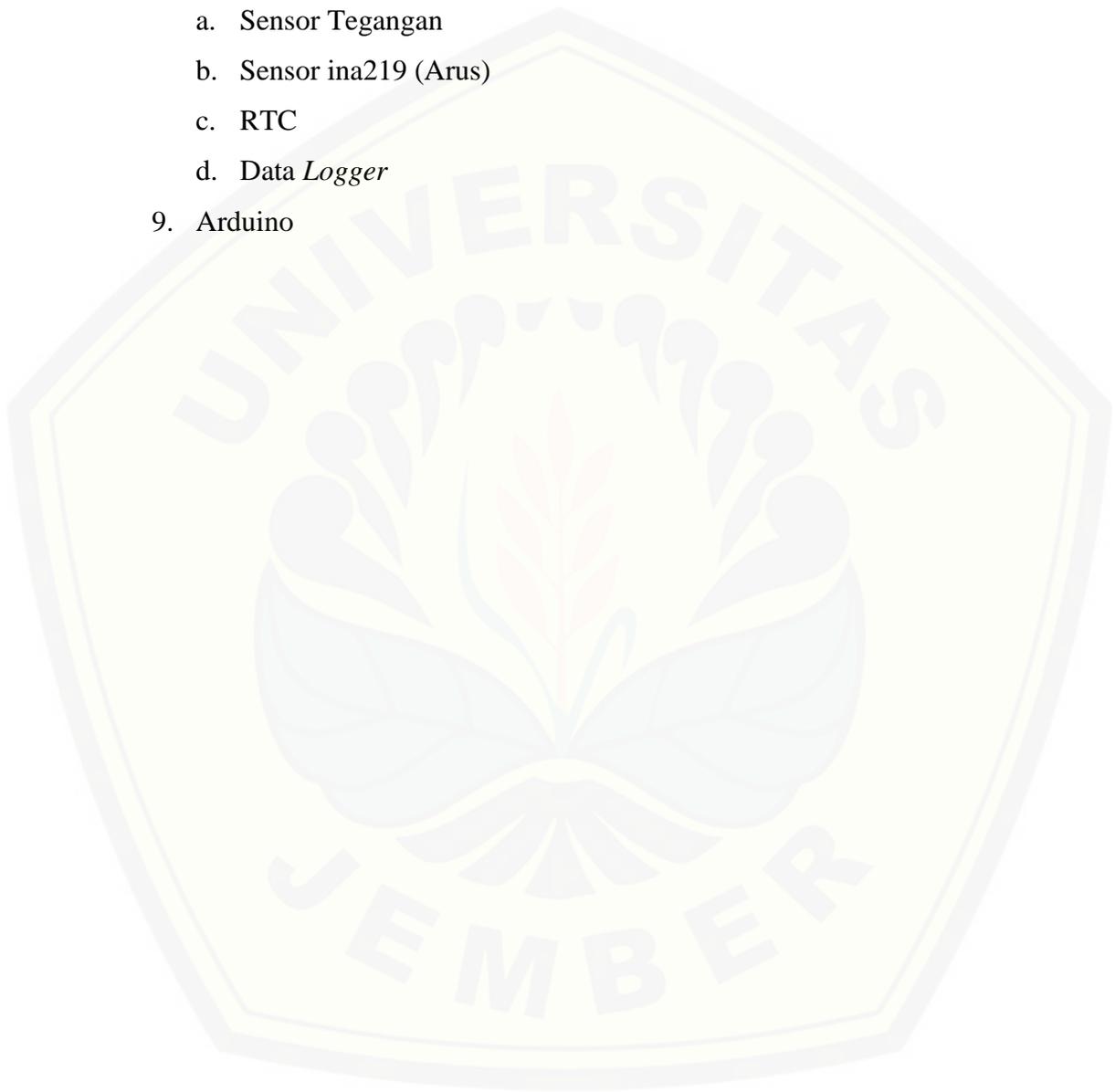
Gambar 3.13 Tampak atas (a), dan Tampak dalam (b) desain alat

Keterangan gambar :

Pada rangkain diatas terdapat beberapa komponen pengendali dan juga arduino. untuk komponennya antara lain:

1. Solar cell 10 wp.
2. *Prob Charge* Baterai Aki
3. LCD
4. Push Button

5. Port USB
6. *Buck Converter*
7. *Relay*
8. Rangkaian sensor terdiri dari :
 - a. Sensor Tegangan
 - b. Sensor ina219 (Arus)
 - c. RTC
 - d. *Data Logger*
9. Arduino



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PEMBIMBING.....	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT	ix
RINGKASAN	x
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB 1. PENDAHULUAN.....	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Panel Surya.....	5
2.1.1 Semikonduktor dan Sel Surya.....	5
2.1.2 Proses Konversi Sel Surya.....	6
2.2 Sensor Tegangan	12

2.3 Arduino UNO R3	12
2.4 Buck Converter	14
2.5 Fuzzy Logic	17
2.5.1 Pengertian <i>Fuzzy Logic</i>	17
2.5.2 Himpunan Fuzzy	21
2.5.3 Fungsi Keanggotaan.....	23
2.5.4 Tahap Pemodelan Dalam <i>Fuzzy Logic</i>	25
2.5.4.1 <i>Fuzzyfication</i>	25
2.5.4.2 <i>Rule Evaluation</i>	26
2.5.4.3 <i>Defuzzyfication</i>	27
2.6 LCD (Liquid Crystal Display)	27
2.7 RTC (Real Time Clock)	28
2.8 Battery atau ACCU	29
2.8.1 <i>Charge dan Discharge Battery</i>	29
2.9 Relay	31
BAB 3. METODE PENELITIAN	32
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	32
3.1.1 Tempat Penelitian	32
3.1.2 Waktu Penelitian.....	32
3.2 Alat dan Bahan.....	33
3.3 Tahapan Penelitian	33
3.4 Block Diagram.....	36
3.5 Perancangan Komponen Pengendali (<i>Hardware</i>).....	37
3.5.1 Sensor Tegangan.....	37
3.5.2 <i>Buck Converter</i>	38
3.5.3 Arduino UNO R3.....	40
3.6 Perancangan Sistem Kendali Fuzzy	40
3.6.1 Fuzzyfikasi	41
3.6.2 Inferensi	43
3.6.3 Defuzzyfikasi	43
3.7 Desain Mekanik Alat	46

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	48
4.1 Pengujian Sensor Tegangan	49
4.2 Pengujian <i>Buck Converter</i>	51
4.3 Pengujian <i>Buck Converter</i> Tanpa Kontrol	54
4.3.1 Pengujian Pemberian Beban Tanpa Kontrol.....	54
4.4 Pengujian <i>Buck Converter</i> Menggunakan Kontrol <i>Fuzzy Logic</i>	55
4.4.1 Pengujian Pemberian Beban Menggunakan Kontrol <i>Fuzzy Logic</i>	55
4.5 Perbandingan Sistem Open Loop dan Closed Loop Fuzzy	58
4.6 Pengujian <i>Buck Converter</i> Untuk Charger baterai aki	59
4.6.1 Pengujian <i>Buck Converter</i> Tanpa Beban	59
4.6.2 Pengujian <i>Buck Converter</i> Untuk Charge baterai Aki 12 Volt.....	61
4.7 Pengujian <i>Buck Converter</i> Untuk Charger Handphone	64
4.7.1 Pengujian <i>Buck Converter</i> Tanpa Terhubung Ke Handphone	64
4.7.2 Pengujian <i>Buck Converter</i> Terhubung Ke Handphone	66
BAB 5. PENUTUP	69
5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran	70
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN	72

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Spesifikasi Arduino UNO R3	14
4.1 Pengujian Sensor Tegangan	50
4.2 Pengujian <i>Buck Converter</i>	52
4.3 Daya <i>Input</i> , Daya <i>Output</i> dan Efisiensi	53
4.4 Pengujian Pemberian Beban pada <i>Buck Converter</i> Tanpa Kontrol	54
4.5 Pengujian Pemberi beban dengan Kontrol Fuzzy.....	56
4.6 Perbandingan <i>Drop</i> Tegangan Sistem <i>Open Loop</i> dan <i>Closed Loop</i>	59
4.7 Pengujian <i>Buck Converter</i> Tanpa Beban (Aki 12 Volt)	59
4.8 Pengujian <i>Buck Converter</i> Untuk <i>Charge</i> Baterai Aki 12 Volt	62
4.9 Pengujian <i>Buck Converter</i> Tanpa Beban (<i>Handphone</i>)	64
4.10 Pengujian <i>Buck Converter</i> Untuk <i>Charge Handphone</i>	66

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Panel Surya	6
2.2 Semikonduktor Jenis P dan N Sebelum Disambung	7
2.3 Perpindahan Elektron dan Hole Pada Semikonduktor.....	7
2.4 Hasil Muatan Positif dan Negatif Pada Semikonduktor	8
2.5 Timbulnya Medan Listrik Internal E	8
2.6 Sambungan Semikonduktor Terkena Cahaya Matahari	9
2.7 Sambungan Semikonduktor Ditembus Cahaya Matahari.....	10
2.8 Kabel Dari Sambungan Semikonduktor Dihungkan Ke Lampu	11
2.9 Sensor Tegangan DCT-Elektronik	12
2.10 Modul Kontroler Arduino UNO-R3	13
2.11 Skematik <i>Buck Converter</i>	14
2.12 <i>Output Voltage and Current Wafeform</i>	15
2.13 <i>Voltage Step Down Chopper With Feedback Contoller</i>	17
2.14 Konsep Dasar <i>Logika Fuzzy</i>	20
2.15 Perbedaan Boolean Logic (a) dengan Fuzzy Logic (b).	21
2.16 Blok Diagram Sistem Fuzzy 1	25
2.17 Blok Diagram Sistem Fuzzy 2.....	25
2.18 <i>Fuzzification</i>	26
2.19 <i>Defuzzyfication</i>	27
2.20 LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>).....	28
2.21 Modul <i>Real Time Clock</i> (RTC)	28
2.22 Battery atau Accu	29
2.23 Modul <i>Relay</i>	31
3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian.....	34

3.2	Blok Diagram Sistem	36
3.3	Skematik Sensor Tegangan.....	37
3.4	Rangkaian Pengujian Sensor Tegangan	38
3.5	Skematik Rangkaian <i>Buck Converter</i>	39
3.6	Blok Sistem Kendali Fuzzy	41
3.7	<i>Membership Fucntion Error</i>	41
3.8	<i>Membership Fucntion Delta Error</i>	42
3.9	<i>Rule Base</i>	43
3.10	Himpunan Defuzzyfikasi	43
3.11	Perhitungan Titik Berat Luasan	44
3.12	<i>Flowchart</i> Program	45
3.13	Tampak Atas (a), dan Tampak Dalam (b) Desain Alat	46
4.1	Pengujian Sensor Tegangan dengan Multimeter	50
4.2	Karakteristik <i>Duty Cycle</i> terhadap <i>Output</i> Tegangan	53
4.3	Grafik Perbandingan Pemberian Beban Sistem <i>Open Loop</i>	55
4.4	Grafik Perbandingan Respon Kontrol Tiap Pengujian	56
4.5	Pengujian Pemberian Beban 18 Ohm.....	56
4.6	Pengujian Pemberian Beban 33 Ohm.....	57
4.7	Pengujian Pemberian Beban 47 Ohm.....	58
4.8	Grafik Perubahan Tegangan Panel dan <i>Buck Converter</i> Terhadap Waktu	61
4.9	Grafik Perubahan Tegangan Panel dan <i>Buck Converter</i> Terhadap Waktu.....	63
4.10	Grafik Perubahan Arus dan Tegangan Converter Terhadap Waktu..	64
4.11	Grafik Perubahan Tegangan Panel dan <i>Buck Converter</i> Terhadap Waktu.....	65
4.12	Grafik perubahan tegangan charge <i>handphone</i> terhadap waktu.....	67
4.13	Grafik Perubahan Arus <i>Charger</i> dan Tegangan <i>Charger</i> Terhadap Waktu.....	67

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Listing Program Arduino Uno R3	72
B. Gambar <i>Hardware</i>	80
B1. Tampak Dalam.....	80
B2. Tampak Atas	80
B3. Gambar Keseluruhan Sistem dan Pengambilan Data	81

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari pengujian dan analisa data yang telah dilakukan pada penelitian yang berjudul “ Sistem Kontrol *Fuzzy Logic* pada *Buck Converter* Untuk *Solar Charger* Berbasis *Arduino Uno R3* ”, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Nilai persentase *error* dari pengujian sensor tegangan terkecil berada pada tegangan sekitar 22,55 Volt dengan *error* yaitu 0,08 % sedangkan untuk persentase *error* terbesar pada tegangan sekitar 2,54 Volt dengan *error* yaitu 0,78 %.
2. Efisiensi terkecil pada pengujian *buck converter* yaitu 28,73 % ketika *duty cycle* 10 % dengan daya *input* 0,010 Watt dan daya *output* 0,002 Watt, sedangkan untuk efisiensi terbesar yaitu 90,78 % ketika *duty cycle* 100 % dengan daya *input* 3,20 Watt dan daya *output* 2,905 Watt, sehingga semakin besar *duty cycle* maka efisiensinya juga semakin besar.
3. Pada pengujian *buck converter* tanpa kontrol, selisih *output* tegangan dengan *setpoint* sangat besar. Untuk *drop* tegangan sekitar 5 Volt. Semakin kecil beban yang diujikan maka *drop* tegangan semakin besar.
4. Semakin kecil beban yang digunakan, maka *recovery-time* pada pengujian pemberian beban semakin lama. Hal ini ditunjukkan ketika beban 18 Ohm, *recovery-time* sebesar 1,3 s sedangkan ketika beban 47 Ohm, *recovery-time* sebesar 0,4 s.
5. Penstabilan tegangan keluaran dari panel surya dilakukan dengan *buck converter* dimana tegangan keluaran dari panel surya rata – rata sebesar 19,18 Volt distabilkan pada nilai rata – rata 13 Volt untuk charge aki 12 Volt, Sedangkan untuk charger handpone tegangannya sebesar 5 Volt dan akan semakin naik menyesuaikan dengan kondisi *handphone* yang semakin penuh.

6. Pada pengisian baterai aki 12 Volt rata – rata arus pengisian yang dihasilkan pada *buck converter* adalah sebesar 0,32 Ampere, sedangkan untuk charger *handphone* arus pengisian rata – rata adalah sebesar 0,156 Ampere.

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. Dalam pembuatan *membership fuction* untuk kontrol *fuzzy logic* dapat dibuat kembali dengan pola yang lain sehingga didapatkan respon kontrol lain yang lebih baik.
2. Adanya keterbatasan pada pergerakan panel surya yang terbilang statis, sehingga efisiensi yang dihasilkan oleh panel surya kurang maksimal. Maka dari itu perlu ditambahkan sistem MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.
3. Untuk pengambilan data masih memakai sistem data *logger* atau masih menunggu dalam beberapa jam untuk mendapatkan data. Maka dari itu bisa dilakukan pemantauan data atau monitoring data secara langsung dengan menggunakan *bluetooth* atau alat komunikasi transfer lainnya. untuk mendapatkan data secara *real time*.
4. Penggunaan kontrol dapat diganti dengan *hybrid* PID Fuzzy sehingga dapat diperoleh respon kontrol yang lebih baik.
5. *Boost converter* dapat digunakan untuk menggantikan *buck converter* untuk dapat digunakan sebagai *charger* Laptop.
6. Diperlukan sistem pendingin yang baik, karena ketika proses pengisian oleh panel surya dapat membuat ruangan menjadi panas yang cukup tinggi sehingga kinerja dari sistem dapat berkurang atau kurang maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Arduino LLC. (2015). *www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno*. Dipetik November 08, 2016, dari [arduino.cc/en](http://www.arduino.cc/en).
- Autodesk.Inc. (2015). *id/Arduino-Voltage-Sensor-0-25V/*. Dipetik Oktober 12, 2016, dari instructables: <http://www.instructables.com/id/Arduino-Voltage-Sensor-0-25V/>
- Arndiyati, Vera. (2014). Rancang Bangun Sistem Pengaturan Lampu Taman Menggunakan Tenaga Surya Melalui Kontroler Logika Fuzzy.
- C-H, Huang. (2014). Applying Fuzzy Logic Controller to Intelligent Solar Panel Cleaning System.
- Fajri, Ilhami. (2015). Fuzzy logic-based voltage controlling mini solar electric power plant as an electrical energy reserve for notebook.
- Khadiri, K. E., & Qjidaa, H. (2014, March). Inverting Buck-Boost DC-DC Converter Design Challenges. *International Journal of Embedded Systems and Applications (IJESA), IV*.
- Sidabutar, D. S., Musyafa, Hantoro. (2014). Rancang Bangun Buck-Boost Converter Pada Panel Surya Menggunakan Metode Kontrol PI Dan PID Berbasis Mikrokontroler Atmega 8535.
- Mahendra, A. R. (2016). Rancang Bangun Solar Charger Portable Berbasis Arduino UNO R3.

LAMPIRAN**A. Listing Program Arduino UNO R3**

```
#include <Wire.h>
#include "RTClib.h"
#include <Adafruit_INA219.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F, 16, 2);
RTC_DS1307 rtc;
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#define CH3 7
int pushbutton = 0;
const int chipSelect = 10;
char daysOfTheWeek[7][12] = {"Sunday", "Monday",
"Tuesday", "Wednesday", "Thursday", "Friday",
"Saturday"};

Adafruit_INA219 sensor219_A; // declare instance of
ina219
Adafruit_INA219 sensor219_B(0x41); // declare instance
of ina219

float refresh_rate = 0.0; // datalogger refresh rate
long id = 1; // angka store id
String textFromSerial = "";
boolean parsing = false;
String inData = "";
String data[10];
float data_masuk = 0;
float current_in = 0;
float current_out = 0;

float V = 0.00;
float error = 0.00;
float setpoint = 0;
float delta_error = 0.00;
float error_sekarang;
float error_lalu;

float U1,U2,U3,U4,U5,U6,U7,U8,U9;
float Z = 0.00;

float NE_, ZE, ZE_, PE;
float DEN_, DEZ, DEZ_, DEP;

float LA, XA, LB, XB;
int WANK1,WANK2,WANK4,WANK7;
```

```
float LC, XC, LD, XD;
int WAPK3, WAPK6, WAPK8, WAPK9;

int WAZK;

float sens = 0.00;
int bacaSensor[10];
float tegangan = 0;
float vin = 0.0;
int tegRata = 0;

int pwm;
int con;
int out_kontrol;

void akses_tegangan() {
    tegRata=0;
    for(int i=0;i<=9;i++){
        bacaSensor[i]=analogRead(A0);
        tegRata=tegRata+bacaSensor[i];
    }
    tegRata=(tegRata/10);
    tegangan = (0.0235*(tegRata)) - (0.0059);
}

void akses_vin() {
    tegRata=0;
    for(int i=0;i<=9;i++){
        bacaSensor[i]=analogRead(A1);
        tegRata=tegRata+bacaSensor[i];
    }
    tegRata=(tegRata/10);
    vin = (0.0235*(tegRata)) - (0.0059);
}

void fuzzyfikasi(){
    pushbutton=analogRead(A3);
    Serial.print("set :");
    Serial.print(setpoint);
    Serial.print("  adc :");
    Serial.println(pushbutton);
    delay (1);
    if (pushbutton >= 1018){
        setpoint=6;
        digitalWrite(CH3, LOW);
    }
    else{
```

```
    setpoint=14;
    digitalWrite(CH3,HIGH);
}

U1 = 0;
U2 = 0;
U3 = 0;
U4 = 0;
U5 = 0;
U6 = 0;
U7 = 0;
U8 = 0;
U9 = 0;

V = tegangan;
error = setpoint - V;

if(error < -4){
    error = -4;
}
if(error > 14){
    error = 14;
}

error_sekarang = error;
delta_error = error_sekarang - error_lalu;

if(delta_error < -16){
    delta_error = -16;
}
if(delta_error > 16){
    delta_error = 16;
}

error_lalu = error_sekarang;

if(error < 0 && error >= -4){
    NE_ = (-error)/4;
    ZE_ = (error + 4)/4;

    if(delta_error < 0 && delta_error >= -16){
        DEN_ = (-delta_error)/16;
        DEZ_ = (delta_error + 16)/16;

        U1 = min(NE_, DEN_);
        U4 = min(NE_, DEZ_);
        U2 = min(ZE_, DEN_);
        U5 = min(ZE_, DEZ_);
    }
    if(delta_error >= 0 && delta_error <= 16){
```

```

    DEZ_ = (16 - delta_error)/16;
    DEP_ = delta_error/16;

    U4 = min(NE_, DEZ_);
    U7 = min(NE_, DEP);
    U5 = min(ZE, DEZ_);
    U8 = min(ZE, DEP);
  }
}

if(error >= 0 && error <= 14){
  ZE_ = (14 - error)/14;
  PE_ = error/14;

  if(delta_error < 0 && delta_error >= -16){
    DEN_ = (-delta_error)/16;
    DEZ_ = (delta_error + 16)/16;

    U2 = min(ZE_, DEN_);
    U5 = min(ZE_, DEZ);
    U3 = min(PE_, DEN_);
    U6 = min(PE_, DEZ);
  }
  if(delta_error >= 0 && delta_error <= 16){
    DEZ_ = (16 - delta_error)/16;
    DEP_ = delta_error/16;

    U5 = min(ZE_, DEZ_);
    U8 = min(ZE_, DEP);
    U6 = min(PE_, DEZ_);
    U9 = min(PE_, DEP);
  }
}

LA = ((1 - U1) * 255) * U1;
XA = ((1 - U1) * -255)/2 + (-255*U1);
LB = 0.5*U1*(255*U1);
XB = ((U1 * -255)*2)/3;
WANK1 = (LA*XA + LB*XB)/(LA + LB);

LA = ((1 - U2) * 255)*U2;
XA = ((1 - U2) * -255)/2 + (-255*U2);
LB = 0.5*U2*(255*U2);
XB = ((U2 * -255)*2)/3;
WANK2 = (LA*XA + LB*XB)/(LA + LB);

LA = ((1 - U4) * 255)*U4;
XA = ((1 - U4) * -255)/2 + (-255*U4);
LB = 0.5*U4*(255*U4);
XB = ((U4 * -255)*2)/3;
WANK4 = (LA*XA + LB*XB)/(LA + LB);

```

```

LA = ((1 - U7) * 255) * U7;
XA = ((1 - U7) * -255) / 2 + (-255 * U7);
LB = 0.5 * U7 * (255 * U7);
XB = ((U7 * -255) * 2) / 3 ;
WANK7 = (LA * XA + LB * XB) / (LA + LB);

LC = 0.5 * U3 * (255 * U3);
XC = ((255 * U3) * 2) / 3;
LD = ((1 - U3) * 255) * U3;
XD = ((1 - U3) * 255) / 2 + (255 * U3);
WAPK3 = (LC * XC + LD * XD) / (LC + LD);

LC = 0.5 * U6 * (255 * U6);
XC = ((255 * U6) * 2) / 3;
LD = ((1 - U6) * 255) * U6;
XD = ((1 - U6) * 255) / 2 + (255 * U6);
WAPK6 = (LC * XC + LD * XD) / (LC + LD);

LC = 0.5 * U8 * (255 * U8);
XC = ((255 * U8) * 2) / 3;
LD = ((1 - U8) * 255) * U8;
XD = ((1 - U8) * 255) / 2 + (255 * U8);
WAPK8 = (LC * XC + LD * XD) / (LC + LD);

LC = 0.5 * U9 * (255 * U9);
XC = ((255 * U9) * 2) / 3;
LD = ((1 - U9) * 255) * U9;
XD = ((1 - U9) * 255) / 2 + (255 * U9);
WAPK9 = (LC * XC + LD * XD) / (LC + LD);

WAZK = 0;

Z = ((WANK1 * U1) + (WANK2 * U2) + (WAPK3 * U3) +
(WANK4 * U4) + (WAZK * U5) + (WAPK6 * U6) + (WANK7 * U7) +
(WAPK8 * U8) + (WAPK9 * U9)) / (U1 + U2 + U3 + U4 + U5 + U6
+ U7 + U8 + U9);
out_kontrol = Z;
}
void kontrol() {
pwm = pwm + out_kontrol;
if(pwm >= 255)
{
pwm = 255;
}
if(pwm <= 0)
{
pwm=0;
}
con = 255 - pwm;
analogWrite(9, con);

```

```
}
void setup() {
  Wire.begin();
  Serial.begin(9600);
  pinMode(9, OUTPUT);
  pinMode(A3, INPUT);
  pinMode(CH3, OUTPUT);
  analogWrite(9, 50);
  analogWrite(9, (128-map(error, -500, 100, 0, 128)));
  lcd.begin();
  sensor219_A.begin(); // Initialize first board
  (default address 0x40)
  sensor219_B.begin(); // Initialize second board with
the address 0x41
  lcd.begin();
  if (! rtc.begin()) {
    Serial.println("Couldn't find RTC");
    while (1);
  }
  if (! rtc.isrunning()) {
    Serial.println("RTC is NOT running!");
  }

  if (!SD.begin(chipSelect)) {
    Serial.println("Card failed, or not present");
    // don't do anything more:
    return;
  }
  //lcd.setCursor(0,0);
  //lcd.print("Sistem Kontrol");
  //delay (5000);
  //lcd.clear();
  //lcd.setCursor(0,0);
  //lcd.print("Fuzzy Logic Pada");
  //lcd.setCursor(0,1);
  //lcd.print("Solar Charger");
  //delay (5000);
  //lcd.clear();
  //lcd.setCursor(0,0);
  Serial.println("card initialized.");
  lcd.print("Vi:");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Ii: ");
  lcd.setCursor(8,0);
  lcd.print("Vo: ");
  lcd.setCursor(8,1);
  lcd.print("Io: ");
  delay (1);
}
void loop() {
```

```
//terima_serial();

//if(data_masuk==1.00){

    Arus1();
    Arus2();
    data_masuk=1;
    //setpoint=6.00;
    akses_tegangan();
    akses_vin();
    fuzzyfikasi();
    kontrol();
    kirim_data_ke_PC();
    waktu();
    delay(1);

//}else{
//}
}

void kirim_data_ke_PC(){
    Serial.print(setpoint);
    Serial.print(" ");
    Serial.print(tegangan);
    Serial.print("\n");
    Serial.print(vin);
    Serial.print("\n");
    delay(1);
}

void Arus1(){
    sensor219_A.begin();
    // float busvoltage_A = 0;
    float current_A= 0;
    // float power_A = 0;

    // busvoltage_A = sensor219_A.getBusVoltage_V();
    current_A = sensor219_A.getCurrent_mA();
    current_in = sensor219_A.getCurrent_mA();
    // power_A = busvoltage_A * (current_A / 1000);

    //Serial.print("Bus Voltage: ");
    Serial.print(busvoltage_A); Serial.println(" V");
    // Serial.print("Power: "); Serial.print(power_A);
    Serial.println(" W");
    Serial.print("Current: ");
    Serial.print(current_A); Serial.println(" mA");
    Serial.println("");

    lcd.setCursor(3,1);
```

```
        lcd.print(current_in);
        lcd.setCursor(3,0);
        lcd.print(vin);
    }
    void Arus2() {
        sensor219_B.begin();
        // float busvoltage_B = 0;
        float current_B = 0;
        // float power_B = 0;

        //busvoltage_B = sensor219_B.getBusVoltage_V();
        current_B = sensor219_B.getCurrent_mA();
        current_out = sensor219_B.getCurrent_mA();
        //power_B = busvoltage_B * (current_B / 1000);

        // Serial.print("Bus Voltage:  ");
        Serial.print(busvoltage_B); Serial.println(" V");
        // Serial.print("Power:  "); Serial.print(power_B);
        Serial.println(" W");
        Serial.print("Current:  ");
        Serial.print(current_B); Serial.println(" mA");
        Serial.println("");

        lcd.setCursor(11,1);
        lcd.print(current_out);
        lcd.setCursor(11,0);
        lcd.print(tegangan);
    }
    void waktu() {
        DateTime now = rtc.now();

        String dataString = String((now.year())) + "/" +
        String((now.month())) + "/" + String((now.day())) +
        "\t" + String((now.hour())) + ":" +
        String((now.minute())) + ":" +String((now.second())) +
        "\t";
        dataString = dataString + String(id) + "\t" +
        String(vin) + "\t" + String(current_in) + "\t" +
        String(tegangan) + "\t" + String(current_out);
        File logFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);
        if (logFile)
        {
            logFile.println(dataString);
            logFile.close();
            Serial.println(dataString);
        }
        else
        {
            Serial.println("Couldn't open log file");
        }
    }
}
```

```
// increment ID number  
id++;  
  
delay(refresh_rate);  
}
```

B. Gambar *Hardware*

B1. Tampak Atas



B2. Tampak Dalam



B3. Gambar Keseluruhan Sistem dan Pengambilan Data

