



**PERANCANGAN SISTEM *SOLAR CHARGER*  
MENGUNAKAN *BUCK CONVERTER* DENGAN METODE  
PID**

**SKRIPSI**

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

Oleh  
**Satrio Cahyono**  
**NIM 131910201013**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO STRATA 1  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2017**



**PERANCANGAN SISTEM *SOLAR CHARGER*  
MENGUNAKAN *BUCK CONVERTER* DENGAN METODE  
PID**

**SKRIPSI**

Oleh  
**Satrio Cahyono**  
NIM 131910201013

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO STRATA 1  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2017**

## PERSEMBAHAN

Alhamdulillah akhirnya penelitian ini dapat terselesaikan. Karya ini merupakan sebuah langkah kecil sebagai awal menuju lompatan besar guna mencapai kesuksesan yang lebih baik lagi. Penulis mempersembahkan karya ini kepada:

1. Allah SWT;
2. Ibunda Pramuati dan Ayahanda Suwari Hariadi, yang selalu mendoakan, mengarahkan serta memberikan motivasi dan kasih sayang yang penuh kepada penulis untuk terus berjuang;
3. Dosen Pembimbing skripsi Bapak RB. Moch. Gozali, S.T., M.T. dan Bapak Dedy Kurnia Setiawan, S.T., M.T.
4. Keluarga Besar Teknik Elektro Angkatan 2013 (INTEL UJ);
5. Asisten Laboratorium Konversi Energi dan Sistem Tenaga;
6. Rekan-rekan seperjuangan dan kakak tingkat di Project D;
7. Guru – guruku sejak taman kanak – kanak sampai dengan perguruan tinggi;
8. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.

**MOTTO**

يَتَأْتِيهَا الَّذِينَ ءَامَنُوا إِن تَنْصُرُوا اللَّهَ يَنْصُرْكُمْ وَيُثَبِّتْ أَقْدَامَكُمْ

“ Hai orang-orang yang beriman, jika kamu menolong (agama) Allah, niscaya Allah akan menolongmu dan meneguhkan kedudukanmu”

(Q.S. Muhammad: 7)

وَيَرْجُونَ رَحْمَتَهُ وَيَخَافُونَ عَذَابَهُ

“Dan mengharapkanlah kalian pada rahmatNya Allah (Surga) dan takutlah pada siksaNya (Neraka)”

(Q.S. Al Isra’: 57)

“ Lebih besarnya cita-citanya manusia adalah orang iman yang bercita-cita (sukses) urusan dunianya dan (sukses) urusan akhiratnya”

(H. R. Ibnu Majah)

“ Barang siapa ingin doanya terkabul dan dibebaskan dari kesulitannya hendaklah dia membebaskan kesulitan orang lain”

( HR. Ahmad)

## PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Satrio Cahyono

NIM : 1319102013

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: “Perancangan Sistem *Solar Charger* Menggunakan *Buck Converter* Dengan Metode PID ” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi mana pun serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 1 Agustus 2017

Yang menyatakan,

Satrio Cahyono  
NIM 131910201013

**SKRIPSI**

**PERANCANGAN SISTEM *SOLAR CHARGER*  
MENGUNAKAN *BUCK CONVERTER* DENGAN METODE  
PID**

Oleh:

**Satrio Cahyono**  
**NIM 131910201013**

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : RB. Moch. Ghozali S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Dedy Kurnia Setiawan, S.T., M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Perancangan Sistem *Solar Charger* Menggunakan *Buck Converter* Dengan Metode PID” karya Satrio cahyono NIM: 131910201013 telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Elektro Universitas Jember pada:

Hari, tanggal : Rabu, 9 Agustus 2017

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji:

Ketua,

Anggota I,

RB. Moch. Ghozali, S.T., M.T.  
NIP 196906081999031002

Dedy Kurnia Setiawan, S.T., M.T.  
NIP 198006102005011003

Anggota II,

Anggota III,

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

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

Mengesahkan

Dekan,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM.  
NIP 196612151995032001

## RINGKASAN

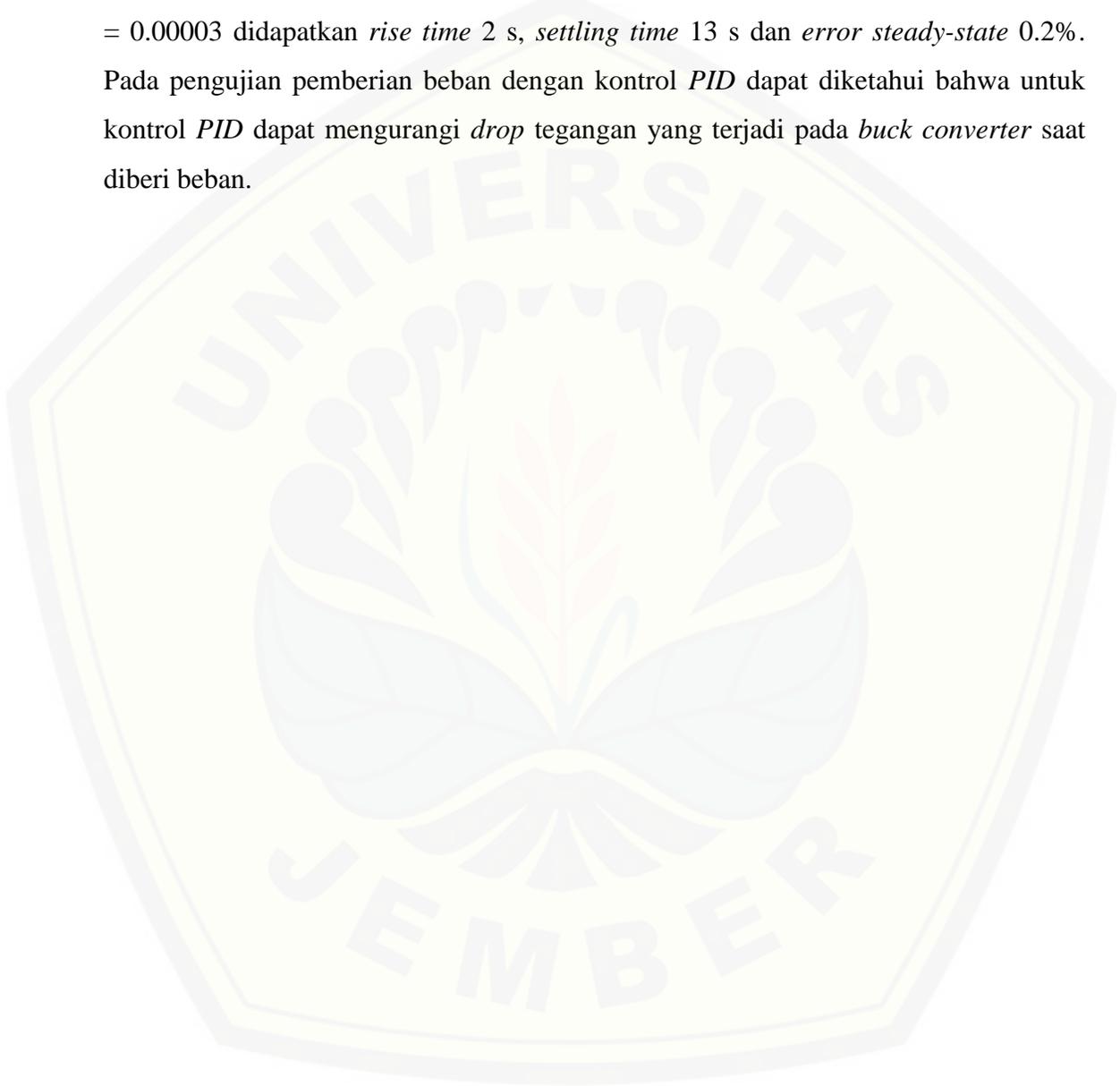
**Perancangan Sistem Solar Charger Menggunakan Buck Converter Dengan Metode PID;** Satrio Cahyono, 131910201013; 2017; 67 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Kebutuhan energi di dunia hingga saat ini cenderung di penuhi dengan bahan bakar fosil yaitu minyak, gas alam dan batu bara. Diperkirakan pemakaian energi dunia hingga tahun 2025 masih di dominasi bahan bakar fosil. Keterbatasan tersedianya sumber energi fosil sebagai penghasil energi listrik mendorong untuk menggunakan sumber energi alternatif seperti sumber energi matahari. Matahari merupakan salah satu dari beberapa energi jumlahnya yang tidak terbatas, bahkan peran matahari adalah sebagai energi yang dapat diperbarui.

Berdasarkan permasalahan tersebut maka dapat dirancang suatu alat yang dapat mempermudah mendapatkan energi yaitu *solar charger*. Pada penelitian ini terdapat metode kontrol *PID* untuk mengatasi apabila terjadi drop tegangan supaya dapat mempertahankan *output* tegangan berada pada *set point*. Tujuan dilakukan pengontrolan *output* tegangan karena pada panel surya tegangan *output* sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca sehingga tegangannya bisa naik turun.

Pengujian pada penelitian ini dilakukan dengan *charge* sebuah baterai 12 Volt. Penggunaan kontrol *PID* pada *plan* ini bertujuan menstabilkan *output* tegangan supaya tetap pada *set point* yang diinginkan. Nilai *set point* tegangan *output* yang digunakan adalah 14 Volt. Pada pengujian *buck converter* dapat diketahui bahwa semakin besar nilai *duty cycle* maka tegangan *output* yang dihasilkan *buck converter* semakin besar juga. Saat nilai *duty cycle* 10% maka tegangan *output* yang dihasilkan 0.4 Volt sedangkan pada *duty cycle* sebesar 70 % maka tegangan *output* yang dihasilkan 13 Volt. Ketika pengujian pemberian beban pada *buck converter* tanpa kontrol menggunakan beban resistif yaitu menggunakan resistor kapur dengan nilai

variasi. Untuk nilai *drop* tegangan paling besar terjadi saat *buck converter* di beri beban sebesar 27 Ohm yaitu sebesar 1.38 Volt. Komponen terpenting dari kontrol *PID* adalah menentukan nilai parameter  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$ . Nilai  $K_p = 9$ ,  $K_i = 3$ , dan  $K_d = 0.00003$  didapatkan *rise time* 2 s, *settling time* 13 s dan *error steady-state* 0.2%. Pada pengujian pemberian beban dengan kontrol *PID* dapat diketahui bahwa untuk kontrol *PID* dapat mengurangi *drop* tegangan yang terjadi pada *buck converter* saat diberi beban.



## *SUMMARY*

The design of the system of solar charger uses a buck converter with PID method; Satrio Cahyono; 131910201013; 2017; 67 pages; Departement of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Energy needs in the world to date tend to be filled with fossil fuels such as oil, natural gas and coal. It is estimated that world energy consumption until 2025 is still dominated by fossil fuels. The limited availability of fossil energy sources as a producer of electrical energy encourages to use alternative energy sources such as solar energy sources. The sun is one of several unlimited amounts of energy, even the role of the sun is as renewable energy.

Based on these problems then it can be designed a tool that can facilitate the energy of solar charger. In this research there is PID control method to overcome in case of drop voltage in order to maintain output voltage is at set point. The purpose of controlling the output voltage because the solar panel output voltage is strongly influenced by weather conditions so that the voltage can go up and down.

Testing in this study was done by charge a 12 Volt battery. The use of PID controls in this plan aims to stabilize the output voltage to remain at the desired set point. The set point value of the output voltage used is 14 Volt. In testing buck converter can be seen that the greater the value of duty cycle then the output voltage generated buck converter is getting bigger too. When the duty cycle value of 10% then the output voltage generated 0.4 Volt while the duty cycle of 70% then the output voltage generated 13 Volt. When testing the load on a buck converter without control using a resistive load that is using lime resistor with the value of variation. For the largest voltage drop value occurs when the buck converter is given a load of 27 Ohm that is equal to 1.38 Volt. The most important component of the PID control is determining the parameter values of  $K_p$ ,  $K_i$  and  $K_d$ . Value  $K_p = 9$ ,  $K_i = 3$ , and  $K_d$

= 0.00003 obtained rise time 2 s, settling time 13 s and steady-state error 0.2%. In load testing with PID control it can be seen that for PID control can reduce the voltage drop that occurs in the buck converter when given the load.



## PRAKATA

### *Bismillahirrohmanirrohim*

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Perancangan Sistem *Solar Charger* Menggunakan *Buck Converter* Dengan Metode PID”. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan Strata 1 pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

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

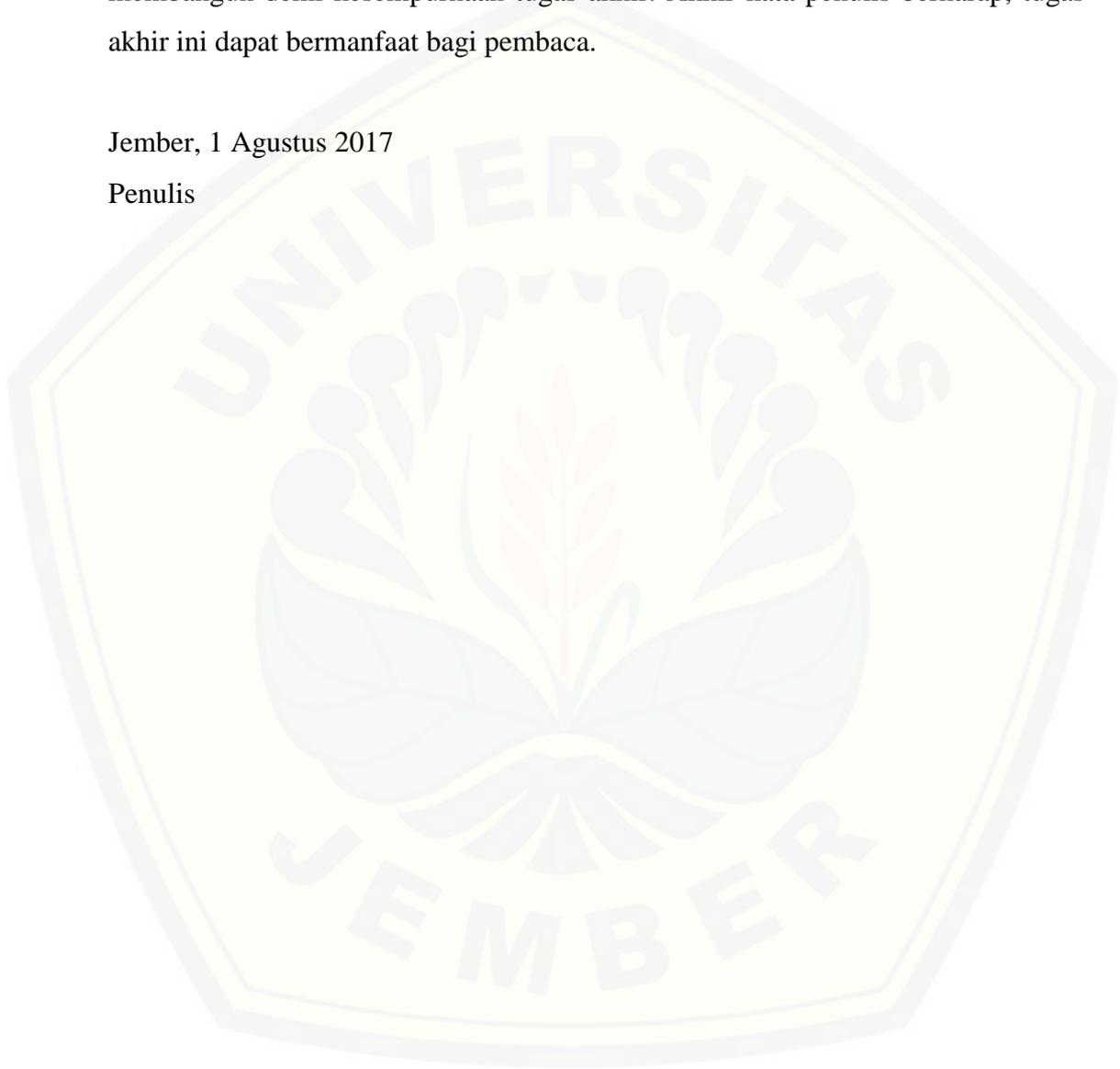
1. Bapak RB. Moch. Ghozali, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Dedy Kurniawan, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran dan perhatian untuk memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penulisan tugas akhir ini;
2. Bapak Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan kritik serta saran yang sangat membantu demi penyempurnaan tugas akhir ini;
3. Bapak Samsul Bachri M., S.T., M.M.T. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan kritik dan saran serta telah membantu pembuatan tugas akhir;
4. Bapak Catur Sukosarwono, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang senantiasa membimbing penulis selama menjadi mahasiswa;
5. Ayahanda Suwari Hariadi dan ibunda Pramuati yang telah memberikan dukungan penuh serta kasih sayang yang tidak ada habisnya;
6. Kakak tercinta Prasetyo Yuliono dan adik tersayang Arianti Oktaviani yang telah memberikan semangat serta arahan untuk penulis dalam penyusunan tugas akhir;
7. Ilatul Kodriyah tersayang yang selalu sabar mendampingi, menasehati dan memberikan semangat.
8. Rekan – rekan seperjuangan INTEL’UJ 2013 yang telah memberikan motivasi, semangat dan senantiasa membantu di bangku kuliah;

9. Sahabat – sahabat seperjuangan sejak SMP yang telah memberikan motivasi dan semangat untuk penyelesaian tugas akhir;
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menerima masukan dan saran dari semua pihak yang sifatnya membangun demi kesempurnaan tugas akhir. Akhir kata penulis berharap, tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Jember, 1 Agustus 2017

Penulis



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	<b>v</b>
<b>HALAMAN PEMBIMBING SKRIPSI</b> .....	<b>vi</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>RINGKASAN</b> .....	<b>viii</b>
<b>PRAKATA</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xviii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xx</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4 Tujuan Penelitian</b> .....	<b>3</b>
<b>1.5 Manfaat Penelitian</b> .....	<b>4</b>
<b>1.5 Sistematika Pembahasan</b> .....	<b>4</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1 Sel Surya (<i>Solar Cell</i>)</b> .....	<b>5</b>
2.1.1 Prinsip Kerja Sel Surya.....	<b>6</b>
2.1.2 Parameter Sel Surya.....	<b>7</b>
2.1.3 Jenis-jenis Sel Surya .....	<b>8</b>

2.1.4 Struktur Sel Surya .....	9
<b>2.2 Karakteristik Panel Surya .....</b>	<b>12</b>
2.2.1 Arus Hubung Singkat Pada Panel Surya.....	13
2.2.2 Tegangan Hubung Terbuka Pada Panel Surya.....	9
<b>2.3 Buck Converter .....</b>	<b>14</b>
2.3.1 Kondisi ON .....	15
2.3.2 Kondisi OFF.....	15
2.3.3 Bentuk Gelombang.....	16
2.3.4 Perhitungan <i>Buck Converter</i> .....	16
<b>2.4 Sensor Tegangan.....</b>	<b>19</b>
<b>2.5 Sensor Arus.....</b>	<b>19</b>
<b>2.6 Arduino Uno R3 .....</b>	<b>20</b>
<b>2.7 Liquid Crystal Display (LCD) .....</b>	<b>21</b>
<b>2.8 Battery atau ACCU .....</b>	<b>22</b>
2.8.1 <i>Charge Battery</i> .....	22
2.8.2 <i>Discharging Battery</i> .....	23
<b>2.9 Kontrol PID .....</b>	<b>24</b>
2.9.1 Menentukan Parameter <i>PID</i> .....	25
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>26</b>
<b>3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....</b>	<b>26</b>
3.1.1 Tempat Penelitian .....	26
3.1.2 Waktu Penelitian.....	26
<b>3.2 Alat dan Bahan.....</b>	<b>27</b>
<b>3.3 Tahapan Penelitian .....</b>	<b>28</b>
<b>3.4 Pemodelan Sistem .....</b>	<b>30</b>
<b>3.5 Perancangan Sistem.....</b>	<b>31</b>
3.5.1 Panel Surya .....	31
3.5.2 Sensor Tegangan.....	31
3.5.3 Sensor Arus.....	32
3.5.4 Arduino Uno R3.....	33
3.5.5 <i>Buck Converter</i> .....	33

3.6 Perancangan Kontrol PID.....	37
3.6.1 Metode <i>Manual Tunning</i> .....	39
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>40</b>
<b>4.1 Pengujian Sensor Tegangan.....</b>	<b>41</b>
<b>4.2 Pengujian <i>Buck Converter</i> .....</b>	<b>43</b>
<b>4.3 Pengujian <i>Buck Converter</i> Tanpa Kontrol .....</b>	<b>46</b>
<b>4.4 Pengujian <i>Buck Converter</i> Menggunakan Kontrol <i>PID</i>.....</b>	<b>50</b>
4.4.1 Penentuan Parameter <i>PID</i> dengan Metode <i>Tunning Manual</i> ...50	
4.4.2 Pengujian Pemberian Beban Menggunakan Kontrol <i>PID</i> .....	51
4.4.3 Pengujian Pemberian Beban Menggunakan Kontrol <i>Fuzzy</i> .....	54
<b>4.5 Perbandingan Kontrol <i>PID</i> Dan <i>Fuzzy</i>.....</b>	<b>57</b>
<b>4.6 Pengujian <i>Buck Converter</i> Untuk <i>Charger</i> Baterai Aki 12 Volt..</b>	<b>57</b>
<b>BAB 5. PENUTUP.....</b>	<b>59</b>
<b>5.1 Kesimpulan.....</b>	<b>59</b>
<b>5.2 Saran .....</b>	<b>59</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>61</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>62</b>

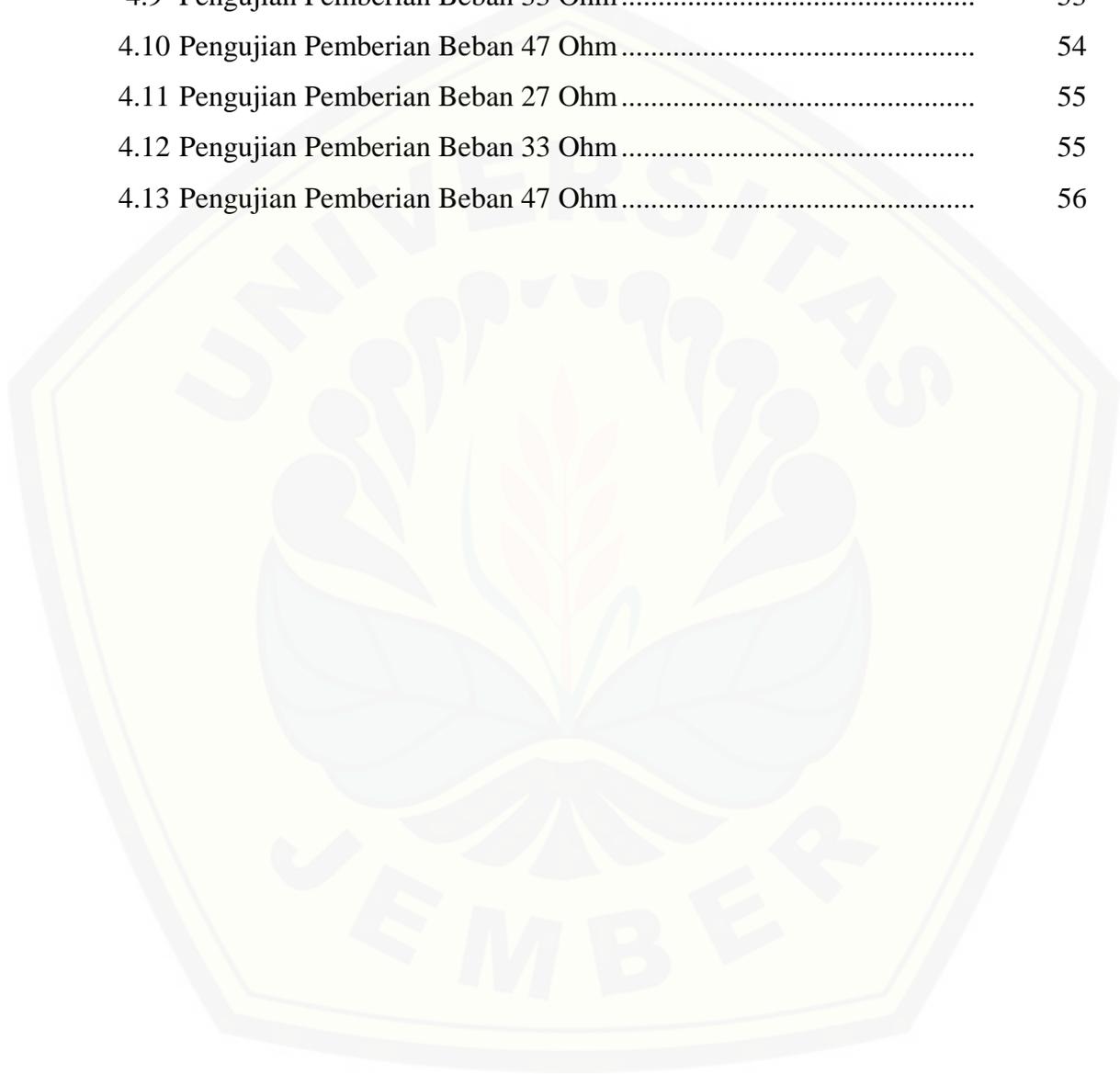
**DAFTAR TABEL**

	Halaman
2.1 Spesifikasi Arduino UNO R3 .....	21
2.2 Karakteristik Masing-Masing P-I-D .....	25
3.1 Perencanaan Jadwal Penelitian .....	26
3.2 Spesifikasi Panel Surya .....	31
3.3 Spesifikasi DC-DC <i>Buck Converter</i> .....	34
3.4 Spesifikasi Baterai.....	37
4.1 Pengujian Sensor Tegangan .....	42
4.2 Pengujian <i>Buck Converter</i> .....	44
4.3 Daya <i>Input</i> , Daya <i>Output</i> dan Efisiensi .....	46
4.4 Pengujian Pemberian Beban pada <i>Buck Converter</i> Tanpa Kontrol ....	47
4.5 <i>Tunning Manual</i> Parameter <i>PID</i> .....	51
4.6 Respon Sistem Kontrol <i>PID</i> dan <i>Fuzzy</i> .....	57
4.7 Pengujian <i>Buck Converter</i> untuk <i>Charge</i> Baterai Aki 12 Volt.....	57

DAFTAR GAMBAR

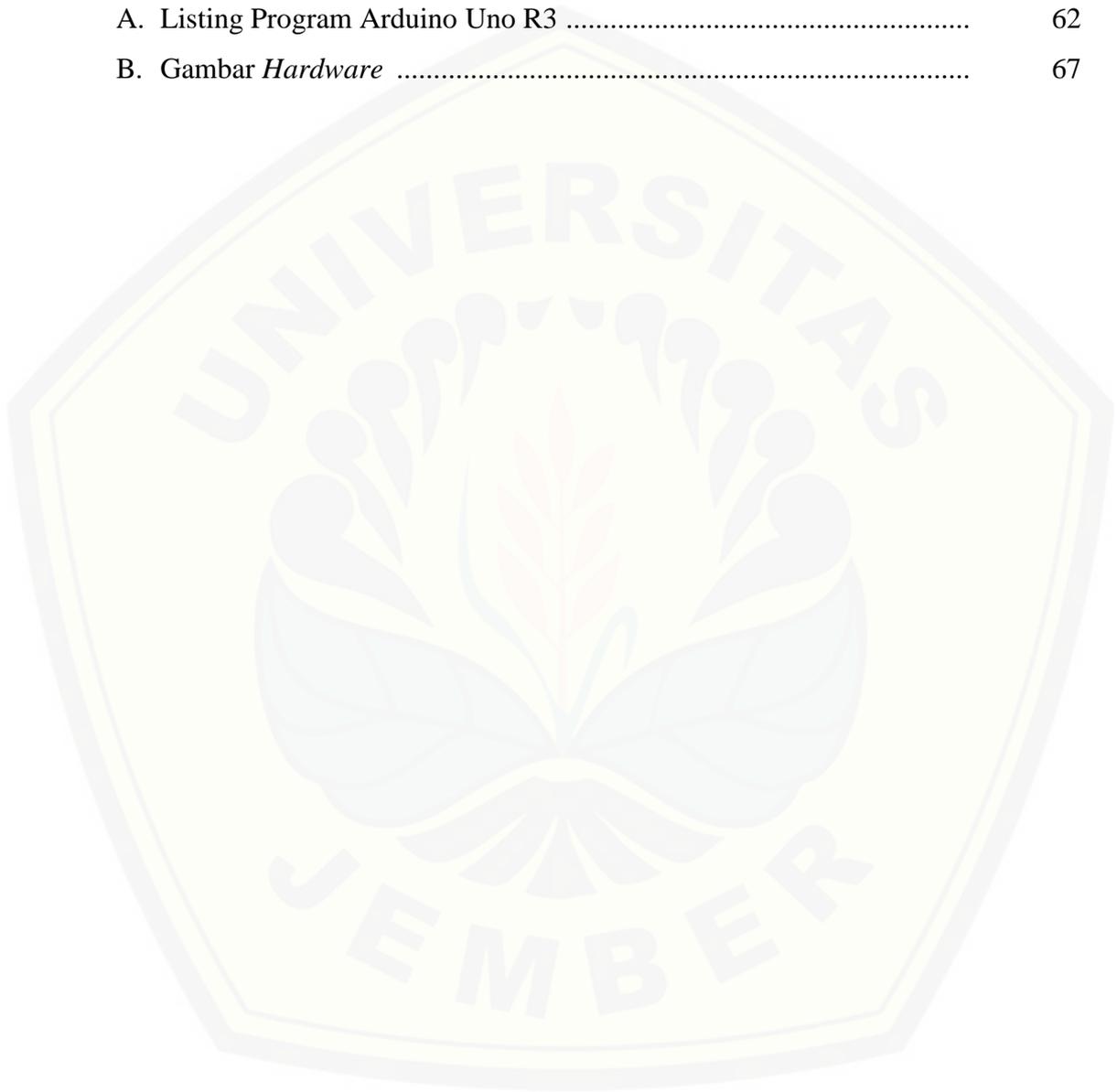
	Halaman
2.1 Sel Surya.....	5
2.2 Proses Pelepasan Elektron Pada Silikon .....	6
2.3 Struktur Sel Surya.....	10
2.4 Rangkaian Pengganti Sel Surya.....	12
2.5 Kurva Panel Surya yang Menunjukkan Arus Hubung Singkat .....	13
2.6 Kurva Panel Surya Menunjukkan Tegangan Hubungan Terbuka ...	14
2.7 Rangkaian <i>Buck Converter</i> .....	14
2.8 <i>Buck Converter</i> Kondisi ON .....	15
2.9 <i>Buck Converter</i> Kondisi OFF .....	15
2.10 Sensor Tegangan.....	19
2.11 Sensor Arus.....	20
2.12 Arduino UNO R3.....	20
2.13 <i>Liquid Crystal Display (LCD)</i> .....	21
2.14 <i>Battery</i> atau <i>Accu</i> .....	22
2.15 Skema Pengendali PID .....	24
3.1 Diagram AlirPenelitian.....	28
3.2 Blok Diagram Sistem .....	30
3.3 Rangkaian Pengujian Sensor Tegangan .....	32
3.4 Rangkaian Sensor Arus .....	33
3.5 Rangkaian DC-DC <i>Buck Converter</i> .....	34
3.6 Baterai .....	37
3.7 <i>Flowchart</i> Program Kontrol PID .....	38
4.1 Pengujian Sensor Tegangan dengan Multimeter .....	43
4.2 Karakteristik <i>Duty Cycle</i> terhadap <i>Output</i> Tegangan .....	45
4.3 Grafik Perbandingan Pemberian Beban.....	47
4.4 Grafik Pemberian Beban 27 Ohm .....	48

4.5 Grafik Pemberian Beban 33 Ohm.....	49
4.6 Grafik Pengujian Pemberian Beban 47 Ohm.....	49
4.7 Grafik Perbandingan Respon Kontrol Tiap Pengujian .....	52
4.8 Pengujian Pemberian Beban 27 Ohm .....	52
4.9 Pengujian Pemberian Beban 33 Ohm .....	53
4.10 Pengujian Pemberian Beban 47 Ohm .....	54
4.11 Pengujian Pemberian Beban 27 Ohm .....	55
4.12 Pengujian Pemberian Beban 33 Ohm .....	55
4.13 Pengujian Pemberian Beban 47 Ohm .....	56



**DAFTAR LAMPIRAN**

	Halaman
A. Listing Program Arduino Uno R3 .....	62
B. Gambar <i>Hardware</i> .....	67



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi di dunia hingga detik ini cenderung dipenuhi dengan bahan bakar fosil. Diperkirakan pemakaian energi dunia hingga tahun 2025 masih didominasi bahan bakar fosil yaitu minyak, gas alam dan batubara. Data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral menyebutkan bahwa minyak bumi mendominasi 54 persen penggunaan energi di Indonesia. Sedangkan penggunaan gas bumi sebesar 26,5 persen dan batu bara hanya 14 persen dari total penggunaan energi. Kementerian Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral juga menyebutkan bahwa cadangan minyak bumi Indonesia hanya cukup untuk 18 tahun ke depan, sementara cadangan gas bumi masih mencukupi untuk 61 tahun ke depan dan cadangan batu bara baru habis dalam waktu 147 tahun lagi. Oleh karena itu dibutuhkan sumber energi lain yang secara cepat dapat diproduksi kembali melalui proses alam (Kemen ESDM, 2009).

Keterbatasan tersedianya sumber energi fosil sebagai penghasil energi listrik mendorong untuk menggunakan sumber energi alternatif seperti sumber energi matahari. Energi matahari untuk wilayah Indonesia memiliki potensi relatif besar sepanjang tahun dengan insolasi harian rata-rata 4,8 kWh / m<sup>2</sup> / hari. Matahari merupakan salah satu dari beberapa energi yang jumlahnya tidak terbatas, bahkan peran matahari adalah sebagai energi yang dapat diperbarui yang artinya kesediannya di muka bumi ini sangat cukup melimpah, khususnya di wilayah Indonesia. Dalam pemanfaatannya sebagai energi listrik, energi matahari dikonversikan menjadi energi listrik dengan memanfaatkan sel surya (Priswanto, 2010).

Masalah kelistrikan di Indonesia hingga saat ini masih menjadi persoalan yang sangat serius. Dapat diketahui bahwa saat ini di Indonesia masih ada 12.559 desa yang belum teraliri listrik. Hal tersebut disebabkan karena lokasi yang masih sulit dijangkau. Padahal untuk membangun berbagai infrastruktur seperti tiang listrik dibutuhkan akses jalan yang memadai serta lokasi yang aman. Selain itu,

pada daerah tertentu di mana catu daya dari PLN dapat mengalami permasalahan keterbatasan pada jam puncak. Untuk memperbaiki masalah ini dengan melakukan penyimpanan energi serta memanfaatkan energi yang disimpan pada saat jam puncak (Menteri ESDM, 2016).

Sebuah sel surya tidak dapat dihubungkan secara langsung pada beban disebabkan efisiensi konversi energi yang rendah dan tegangan keluaran yang rendah pula. Arus dan tegangan yang dihasilkan dipengaruhi oleh beberapa besaran fisis seperti intensitas cahaya dan temperature dari modul tersebut. Semakin besar intensitas cahaya yang mengenai fotovoltaiik tersebut, maka arus yang dihasilkan akan semakin besar.

Berdasarkan permasalahan tersebut maka dapat dirancang suatu alat yang dapat mempermudah mendapatkan energi yaitu dengan *solar charger*. Pada penelitian tersebut masih memiliki beberapa kekurangan yaitu tidak adanya indikator tegangan dan arus serta penggunaan kontrol masih berbasis analog. Dalam penggunaan kontrol analog sangat rentan terhadap noise dan tingkat akurasi kurang begitu presisi bila dibandingkan dengan sistem digital (Denny, 2011).

Selain itu pada tahun 2014 ada penelitian lain untuk menyempurnakan kekurangan pada penelitian yang dilakukan sebelumnya.. Pada penelitian ini masih memiliki beberapa kekurangan yaitu dengan menggunakan metode float charging berbasis regulator tegangan linier mengakibatkan waktu pengisian baterai akumulator relatif lama dan efisiensi charge controller relatif rendah dengan nilai tertinggi sebesar 62% (Buddhi Anto, 2014).

Pada penelitian selanjutnya oleh Arobin Jaka Mahendra, 2016 pada penelitian ini 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.

Maka dari itu dilakukan penelitian “ Perancangan Sistem *Solar Charger* Menggunakan *Buck Converter* Dengan Metode Kontrol *PID*”. Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya.

Pada penelitian ini memiliki beberapa kelebihan yaitu terdapat metode kontrol PID untuk mengatasi apabila terjadi drop tegangan supaya dapat mempertahankan *output* tegangan berada pada *set poin*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perancangan sistem *solar charger* menggunakan *buck converter* dengan metode kontrol *PID* untuk kontrol tegangan keluaran pada panel surya.
2. Bagaimana kestabilan tegangan keluaran dari panel surya menggunakan *buck converter* dengan metode kontrol *PID* untuk *charger* aki 12 Volt.

## 1.3 Batasan Masalah

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

- 1 Panel surya yang digunakan 20 wp *polycrystalline*.
- 2 Tidak membahas kelembaban dan suhu 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.
- 5 Baterai yang digunakan berkapasitas 12 Volt.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan penelitian yang dilakukan memiliki beberapa tujuan diantaranya:

1. Merancang dan membangun sistem *solar charger* menggunakan *buck converter* dengan metode kontrol *PID*.
2. Menerapkan kontrol *PID* sehingga diperoleh kestabilan tegangan keluaran *buck converter*.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah mampu memberikan solusi dalam kestabilan tegangan keluaran pada panel surya. Solusi yang diterapkan untuk mendapatkan kestabilan tegangan keluaran pada panel surya yaitu dengan perancangan sistem *solar charger* menggunakan *buck converter* dengan metode kontrol *PID*.

### 1.6 Sistematika Pembahasan

Secara garis besar penyusunan proposal skripsi ini adalah sebagai berikut :

#### BAB 1. PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi tentang latar belakang, tujuan pembahasan, rumusan masalah, batasan masalah dan sistematika pembahasan.

#### BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi tentang panel surya, *buck converter*, dan sistem kontrol *PID* untuk kontrol tegangan keluaran pada panel surya.

#### BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisi tentang gambaran umum perancangan sistem *solar charger* menggunakan *buck converter* dengan metode kontrol *PID*.

#### BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas mengenai analisis hasil sistem *solar charger* menggunakan *buck converter* dengan metode kontrol *PID* untuk kontrol tegangan keluaran pada panel surya.

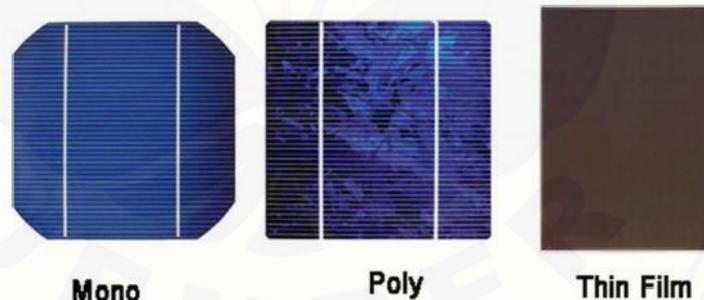
#### BAB 5. PENUTUP

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan dari hasil analisis yang telah dilakukan dan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sel Surya (*Solar cell*)

Fotovoltaik atau sel surya merupakan piranti semikonduktor yang dapat merubah cahaya matahari secara langsung menjadi arus listrik searah (DC) dengan menggunakan kristal silikon (Si) yang tipis. Sebuah kristal silindris silikon (Si) di peroleh dengan cara memanaskan silikon tersebut dengan tekanan yang diatur sehingga silikon tadi berubah menjadi penghantar. Bila kristal silindris itu dipotong setebal 0,3 mm, maka akan terbentuklah sel-sel silikon yang tipis atau sering disebut dengan sel surya (*photovoltaic*). Beberapa sel silikon itu disusun dengan posisi sejajar/seri dalam sebuah panel yang terbuat dari alumunium atau baja anti karat dan dilindungi oleh kaca atau plastik. Kemudian pada tiap-tiap sambungan sel diberi sambungan listrik. Bila sel-sel itu terkena sinar matahari maka pada sambungan sel itu akan mengalir arus listrik. Besarnya arus listrik/daya listrik itu tergantung pada jumlah energi cahaya matahari yang mencapai silikon itu dan luas permukaan sel surya.



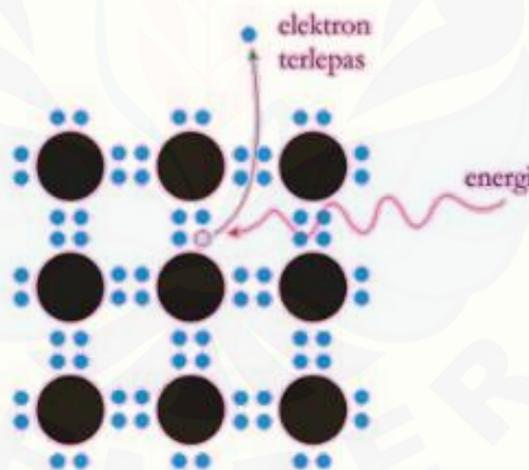
Gambar 2.1 Sel surya (Bagher dkk,2015)

Fotovoltaik adalah suatu sistem atau cara langsung (*direct*) untuk mentransfer radiasi matahari atau energi cahaya menjadi energi listrik. Sistem *photovoltaic* bekerja dengan prinsip efek fotovoltaik . Efek fotovoltaik adalah fenomena dimana suatu sel fotovoltaik dapat menyerap energi cahaya dan merubahnya menjadi energi listrik. Efek fotovoltaik didefinisikan sebagai suatu fenomena munculnya teganga listrik akibat kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat disinari di bawah energi

cahaya matahari. Energi solar atau radiasi cahaya terdiri dari biasanya foton-foton yang memiliki tingkat energi yang berbeda-beda. Perbedaan tingkat energi dari foton cahaya inilah yang akan menentukan panjang gelombang dari spektrum cahaya. Foton yang terserap oleh sel surya inilah yang akan memicu timbulnya energi listrik (Wijaya,dkk, 2014).

### 2.1.1 Prinsip Kerja Sel Surya

Energi dari cahaya matahari yang disebut sebagai foton. Ketika foton diserap oleh material semikonduktor maka energi foton akan membentur elektron di dalam semikonduktor dengan demikian beberapa elektron ini akan mendapatkan energi yang cukup untuk meninggalkan pita valensi dan berpindah ke pita konduksi. Ketidakhadiran elektron pada pita valensi akibat perpindahan elektron ke pita konduksi tersebut akan menghasilkan ikatan kovalen yang tidak lengkap yang sering disebut hole atau lubang seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Proses Pelepasan elektron pada silikon (Nugroho dkk, 2014).

Ikatan kovalen yang tidak lengkap yang berisi hole atau lubang akan membuat elektron valensi suatu atom relatif lebih mudah untuk meninggalkan ikatan kovalennya dan mengisi hole ini. Suatu elektron valensi yang meninggalkan ikatan kovalennya untuk mengisi hole akan membentuk hole pada ikatan kovalen yang ditinggalkan dan ikatan ini akan diisi oleh elektron dari atom lain yang berpindah untuk mengisi hole yang kosong dan membentuk hole lain

sehingga pembentukan hole pada suatu atom akan berpindah berlawanan dengan gerak elektron. Pergerakan hole dari suatu titik merupakan proses pemindahan muatan negatif dalam arah yang berlawanan. Hole pada suatu atom merupakan muatan positif yang besarnya sama dengan elektron sehingga arus dapat dihasilkan melalui dua hal yaitu pergerakan elektron bebas pada pita konduksi dan pergerakan elektron akibat pembentukan hole pada pita valensi. Pergerakan elektron dari kedua pita energi akan mengakibatkan timbulnya arus pada terminal sel surya yang terhubung dengan beban (Nugroho dkk, 2014).

### 2.1.2 Parameter Sel Surya

Pengoperasian maximum Sel Surya sangat tergantung pada :

a. Ambient air temperature

Sebuah Sel Surya dapat beroperasi secara maximum jika temperatur sel tetap normal (pada 25 derajat Celsius), kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperature normal pada PV sel akan melemahkan tegangan ( $V_{oc}$ ). Setiap kenaikan temperatur Sel Surya 1 derajat celsius (dari 25 derajat) akan berkurang sekitar 0.4 % pada total tenaga yang dihasilkan atau akan melemah 2x lipat untuk kenaikan temperatur Sel per 10 derajat C.

b. Radiasi solar matahari (*insolation*)

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

c. Kecepatan angin bertiup

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

d. Keadaan atmosfer bumi

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

e. Orientasi panel atau array PV

Orientasi dari rangkaian PV (array) ke arah matahari secara optimum adalah penting agar panel/deretan PV dapat menghasilkan energi maximum. Selain arah orientasi, sudut orientasi dari panel/deretan PV juga sangat mempengaruhi hasil energi maximum. Sebagai guideline: untuk lokasi yang terletak di belahan Utara latitude, maka panel/deretan PV sebaiknya diorientasikan ke Selatan, orientasi ke Timur—Barat walaupun juga dapat menghasilkan sejumlah energi dari panel/deretan PV, tetapi tidak akan mendapatkan energi matahari optimum. Posisi letak sel surya (array) terhadap matahari, Mempertahankan sinar matahari jatuh ke sebuah permukaan panel PV secara tegak lurus akan mendapatkan energi *maximum* 1000 W/m<sup>2</sup> atau 1 kW/m<sup>2</sup>. Kalau tidak dapat mempertahankan ketegak lurus antara sinar matahari dengan bidang PV, maka extra luasan bidang panel PV dibutuhkan (bidang panel PV terhadap sun altitude yang berubah setiap jam dalam sehari).

### 2.1.3 Jenis-jenis Sel Surya

#### 1. *Single Crystalline*

*Single Crystalline* adalah kristal yang mampu menghasilkan efisiensi yang sangat tinggi. Jenis *single cristalline* antara lain:

##### a. *Gallium Arsenide Cell*

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

##### b. *Cadmium Sulfide Cell*

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

#### 2. *Monocrystalline*

Jenis ini terbuat dari batangan kristal yang diiris tipis – tipis. Sel surya *monocrystalline* memiliki efisiensi mencapai 15 – 20 %. Kelemahan dari sel surya tipe *monocrystalline* adalah potongan dari setiap sel surya nya berupa segi 6, 8 atau bulat. Sehingga apabila disusun bersama sel surya yang lainnya akan

membentuk ruang kosong. Tentu saja hal ini akan mengurangi kerapatan sel surya yang apabila disusun pada skala besar menimbulkan ruang sisa tidak berguna yang cukup banyak.

### 3. *Polycrystalline*

Jenis ini terbuat dari beberapa batang kristal silikon yang dilebur kemudian dituang dalam cetakan yang umumnya berbentuk persegi. Sel surya *polycrystalline* memiliki efisiensi sekitar 13 – 16 %. Dengan potongan yang berbentuk persegi, *polycrystalline* dapat disusun lebih rapat daripada *monocrystalline*, sehingga mengurangi ruang – ruang kosong antar sel surya.

### 4. *Thin-film Solar Cell* (TFSC)

Jenis sel surya ini mempunyai kerapatan atom yang rendah, sehingga mudah dibentuk dan dikembangkan ke berbagai macam ukuran dan potongan dan secara umum dapat diproduksi dengan biaya yang lebih murah.

Berdasarkan materialnya sel surya TFPC digolongkan menjadi :

#### a. *Amorphous Silicon* (a-Si)

Sel surya jenis ini sering kita jumpai solar sel jenis ini pada mainan anak – anak, jam tangan, kalkulator dan perangkat elektronik yang non-vital. Efisiensinya rendah sekitar 6% – 8%.

#### b. *Cadmium Telluride* (CdTe)

Sel surya jenis ini mengandung bahan *Cadmium Telluride* yang memiliki efisiensi lebih tinggi dari sel surya *Amorphous Silicon*, yaitu sekitar: 9% - 11%.

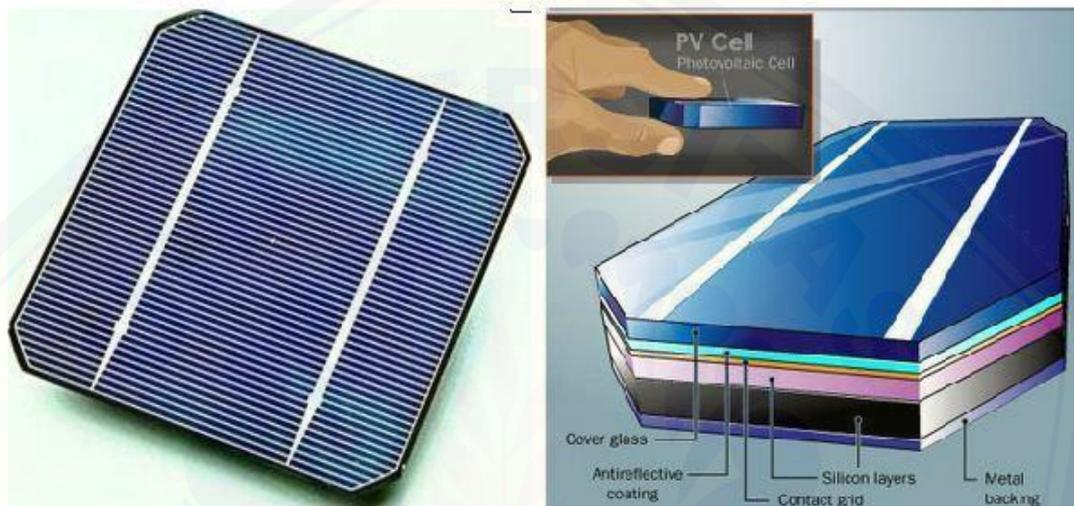
#### c. *Copper Indium Gallium Selenide* (CIGS)

CIGS sel surya memiliki efisiensi paling tinggi yaitu sekitar 10% - 12%. Sel surya jenis ini tidak mengandung bahan berbahaya seperti pada sel surya CdTe.

### 2.1.4 Struktur Sel Surya

Sesuai dengan perkembangan sains dan teknologi, jenis-jenis teknologi sel surya pun berkembang dengan berbagai inovasi. Ada yang disebut sel surya

generasi satu, dua, tiga dan empat, dengan struktur atau bagian-bagian penyusun sel yang berbeda pula (Jenis-jenis teknologi surya akan dibahas di tulisan “Sel Surya : Jenis-jenis teknologi”). Dalam tulisan ini akan dibahas struktur dan cara kerja dari sel surya yang umum berada dipasaran saat ini yaitu sel surya berbasis material silikon yang juga secara umum mencakup struktur dan cara kerja sel surya generasi pertama (sel surya silikon) dan kedua (thin film/lapisan tipis).



Gambar 2.3 Struktur Sel Surya (Sumber : Handini, 2008)

Gambar diatas menunjukkan ilustrasi sel surya dan juga bagian-bagiannya. Secara umum terdiri dari :

a. *Substrat/Metal backing*

Substrat adalah material yang menopang seluruh komponen sel surya. Material substrat juga harus mempunyai konduktifitas listrik yang baik karena juga berfungsi sebagai kontak terminal positif sel surya, sehingga umumnya digunakan material metal atau logam seperti aluminium atau *molybdenum*. Untuk sel surya *dye-sensitized* (DSSC) dan sel surya organik, substrat juga berfungsi sebagai tempat masuknya cahaya sehingga material yang digunakan yaitu material yang konduktif tapi juga transparan seperti *indium tin oxide* (ITO) dan *flourine doped tin oxide* (FTO).

b. Material semikonduktor

Material semikonduktor merupakan bagian inti dari sel surya yang biasanya mempunyai tebal sampai beberapa ratus mikrometer untuk sel surya generasi

pertama (silikon), dan 1-3 mikrometer untuk sel surya lapisan tipis. Material semikonduktor inilah yang berfungsi menyerap cahaya dari sinar matahari. Untuk kasus gambar diatas, semikonduktor yang digunakan adalah material silikon, yang umum diaplikasikan di industri elektronik. Sedangkan untuk sel surya lapisan tipis, material semikonduktor yang umum digunakan dan telah masuk pasaran yaitu contohnya material  $\text{Cu(In,Ga)(S,Se)}_2$  (CIGS), CdTe (kadmium telluride), dan amorphous silikon, disamping material-material semikonduktor potensial lain yang dalam sedang dalam penelitian intensif seperti  $\text{Cu}_2\text{ZnSn(S,Se)}_4$  (CZTS) dan  $\text{Cu}_2\text{O}$  (copper oxide).

Bagian semikonduktor tersebut terdiri dari junction atau gabungan dari dua material semikonduktor yaitu semikonduktor tipe-p (material-material yang disebutkan diatas) dan tipe-n (silikon tipe-n, CdS,dll) yang membentuk p-n junction. P-n junction ini menjadi kunci dari prinsip kerja sel surya. Pengertian semikonduktor tipe-p, tipe-n, dan juga prinsip p-n junction dan sel surya akan dibahas dibagian “cara kerja sel surya”.

c. Kontak metal / contact grid

Selain substrat sebagai kontak positif, diatas sebagian material semikonduktor biasanya dilapiskan material metal atau material konduktif transparan sebagai kontak negatif.

d. Lapisan antireflektif

Refleksi cahaya harus diminimalisir agar mengoptimalkan cahaya yang terserap oleh semikonduktor. Oleh karena itu biasanya sel surya dilapisi oleh lapisan anti-refleksi. Material anti-refleksi ini adalah lapisan tipis material dengan besar indeks refraktif optik antara semikonduktor dan udara yang menyebabkan cahaya dibelokkan ke arah semikonduktor sehingga meminimumkan cahaya yang dipantulkan kembali.

e. Enkapsulasi / cover glass

Bagian ini berfungsi sebagai enkapsulasi untuk melindungi modul surya dari hujan atau kotoran.

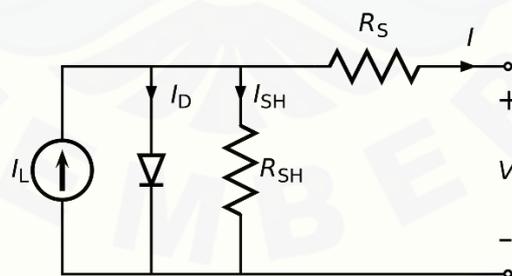
## 2.2 Karakteristik Panel Surya

Persamaan eksponensial untuk memodelkan sel photovoltaic diturunkan dari hukum fisika untuk pn junction dan secara umum diterima sebagai representasi karakteristik sel surya ditunjukkan oleh persamaan 2.1 sebagai berikut (Tito, 2012).

$$I = I_{ph} - I_s \left( \exp \frac{q(V+I r_s)}{NKT} - 1 \right) - \frac{(V+I r_s)}{R_{sh}} \dots\dots\dots (2.1)$$

- Keterangan :
- $I_{ph}$  = arus hubung singkat
  - $I_s$  = arus reverse saturation diode
  - $q$  = muatan electron ( $1,602 \times 10^{-19}$  C)
  - $V$  = tegangan diode
  - $K$  = konstanta Boltzman ( $1,381 \times 10^{-23}$  C)
  - $T$  = suhu junction dalam kelvin
  - $N$  = factor ideal dari diode
  - $R_s$  = tahanan seri dari diode
  - $R_{sh}$  = tahanan shunt dari dioda

Dari persamaan 2.1 maka didapatkan rangkaian pengganti sel surya seperti pada gambar

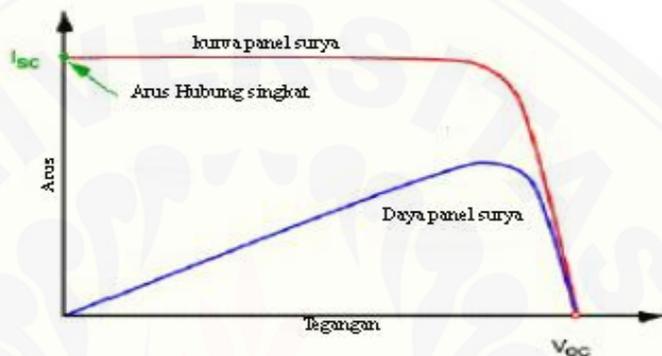


Gambar 2.4 Rangkaian pengganti sel surya

Beberapa karakteristik penting sel surya terdiri dari tegangan open circuit ( $V_{oc}$ ), arus hubungan singkat ( $I_{sc}$ ), efek perubahan intensitas cahaya matahari, efek perubahan temperatur serta karakteristik tegangan–arus ( $V - I$  characteristic) pada sel surya (Satwiko, 2012).

### 2.2.1 Arus Hubung Singkat ( $I_{sc}$ ) Pada Panel Surya

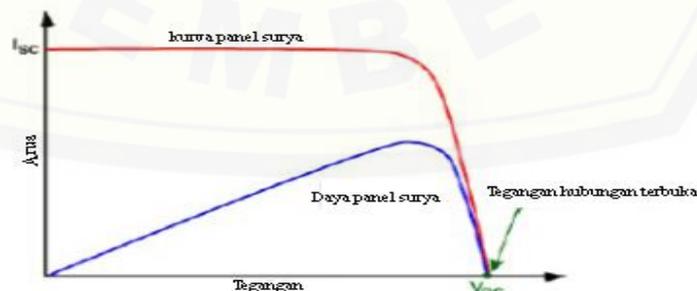
$I_{sc}$  adalah arus maksimal yang dihasilkan oleh panel surya dengan cara menge-short-kan kutub positif dengan kutub negatif pada modul sel surya seperti gambar 2.5. Dan nilai  $I_{sc}$  akan terbaca pada amperemeter. Arus yang dihasilkan modul panel surya dapat menentukan seberapa cepat modul tersebut mengisi sebuah baterai. Selain itu, arus dari modul panel surya juga menentukan daya maksimum dari alat yang digunakan (Prihandoko, 2014).



Gambar 2.5 Kurva panel surya yang menunjukkan arus hubung singkat

### 2.2.2 Tegangan Hubung Terbuka ( $V_{oc}$ ) Pada Panel Surya

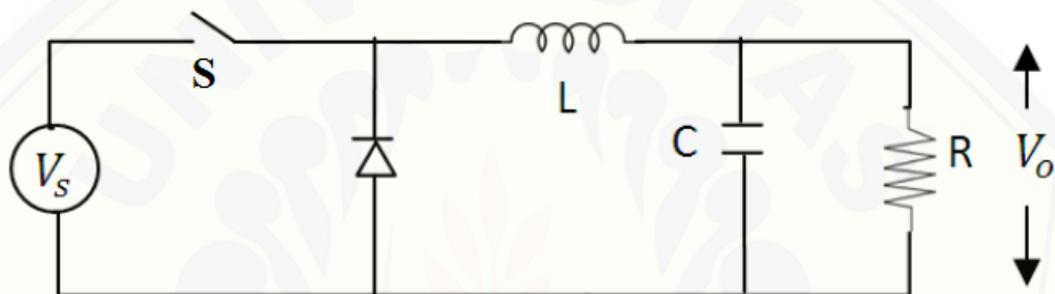
$V_{oc}$  adalah tegangan yang dibaca pada saat arus tidak mengalir atau bisa disebut juga arus sama dengan nol seperti gambar 2.6. Cara untuk mencapai open circuit ( $V_{oc}$ ) yaitu dengan menghubungkan kutub positif dan kutub negatif modul panel surya dengan voltmeter, sehingga akan terlihat nilai tegangan open circuit panel surya pada voltmeter (Satwiko, 2012).



Gambar 2.6 Kurva panel surya yang menunjukkan tegangan hubungan terbuka

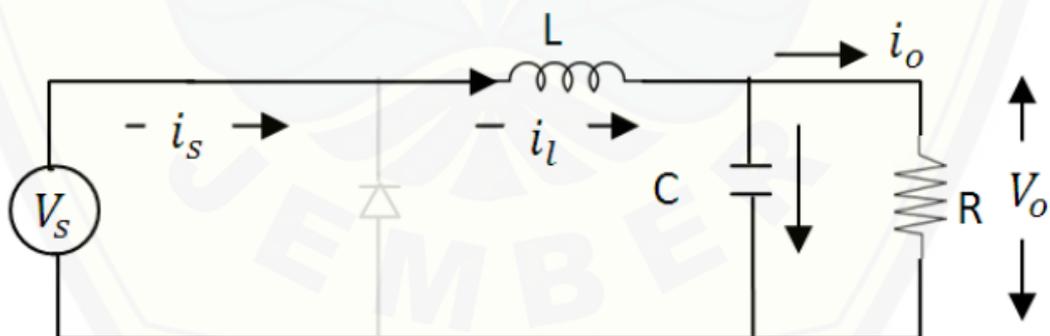
### 2.3 Buck Converter

Topologi dc-dc *buck converter* merupakan jenis konverter yang paling banyak digunakan pada aplikasi manajemen daya dan mikroprosesor regulator tegangan. Aplikasi ini membutuhkan frekuensi tinggi dan respon transien pada rentang arus beban yang lebar. Mereka dapat mengkonversi tegangan tinggi ke pengaturan tegangan rendah. *Buck converter* dapat digunakan di komputer dan di manapun kita memerlukan tegangan untuk turunkan (Kiran&Raja, 2014). Gambar rangkaian *buck converter* ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Gambar rangkaian *buck converter* (Kiran&Raja, 2014)

#### 2.3.1 Kondisi ON

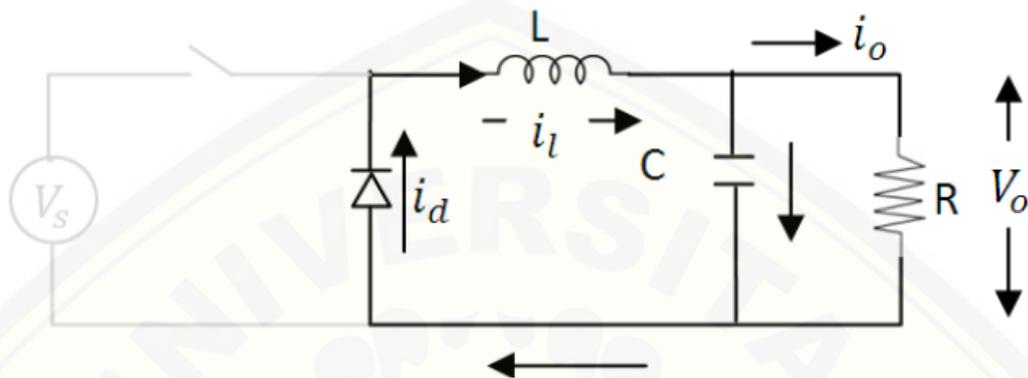


Gambar 2.8 Buck converter kondisi *on* (Kiran&Raja, 2014)

Ketika berada pada *state ON*, *switch* akan berfungsi sebagai saklar yang menutup (terhubung) selama interval waktu  $dt$ , maka arus dari tegangan sumber  $V_s$  akan mengalir melalui induktor  $L$  kemudian ke beban dan kembali lagi ke

sumber. Karena tegangan yang diberikan kepada induktor konstan, maka arus yang melewati induktor akan meningkat secara *linier* (Sodikin dkk, 2015).

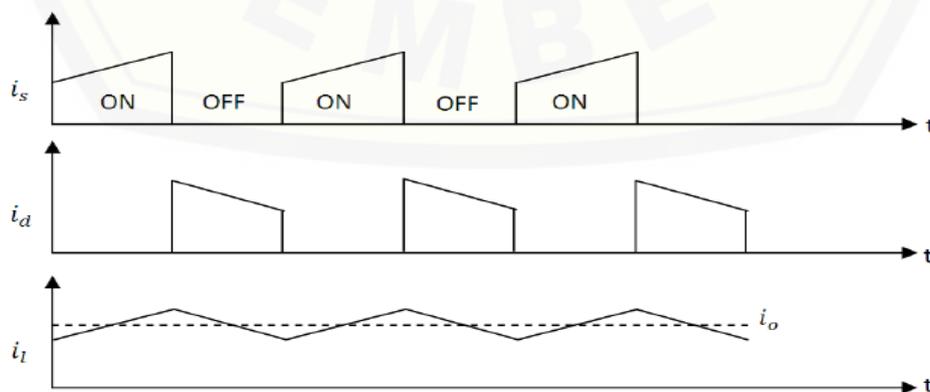
### 2.3.2 Kondisi OFF



Gambar 2.9 *Buck converter* kondisi *off* (Kiran&Raja, 2014)

Ketika berada pada kondisi *OFF*, *switch* akan terbuka, mengakibatkan arus dari sumber tegangan tidak dapat mengalir melewati *switch* ini. Sehingga sumber dari tegangan *output* sekarang berasal dari induktor dan kapasitor dimana dioda akan menjadi *forward bias*. Arus mengalir dari induktor  $L$  ke beban melalui dioda dan kembali menuju induktor  $L$ . Karena tegangan induktor menjadi lebih kecil dibandingkan saat *state ON* dan konstan, maka arus yang melewati induktor akan menjadi turun secara *linier* (Sodikin dkk, 2015).

### 2.3.3 Bentuk Gelombang



Gambar 2.10 Bentuk gelombang *buck converter* (Kiran&Raja, 2014)

Hubungan antara tegangan input, tegangan output dan pensaklaran *duty cycle* 'D' dapat berasal dari gelombang VL. Menurut hukum Faraday, tegangan second product pada induktor selama periode operasi steady state adalah nol (Kiran&Raja, 2014).

#### 2.3.4 Perhitungan *Buck Converter*

Menurut Hauke (2011) perhitungan pada buck converter di dapatkan beberapa langkah yaitu:

Langkah pertama untuk menghitung arus pensaklaran untuk menentukan *duty cycle* (D), untuk tegangan input maksimum. Tegangan input maksimum digunakan karena ini mengarah ke arus pensaklaran maksimum.

$$\text{Maximum Duty Cycle } D = \frac{V_{out}}{V_{in(max)} \times \eta} \dots \dots \dots (2.2)$$

$V_{in(max)}$  = Tegangan *input* maksimum

$V_{out}$  = Tegangan *output*

$\eta$  = Efisiensi pada converter, estimasi 90 %

Efisiensi tersebut akan ditambahkan ke perhitungan *duty cycle* D, karena *converter* juga memberikan disipasi energi. Perhitungan ini memberikan *Duty cycle* yang lebih nyata dari pada hanya dengan perhitungan tanpa faktor efisiensi (Hauke, 2011).

Langkah berikutnya dalam menghitung arus pensaklaran maksimum adalah digunakan untuk menentukan arus ripple pada induktor. Di dalam *data sheet converter*, biasanya, sebuah induktor tertentu atau berbagai jenis induktor diberi nama untuk digunakan dengan IC. Jadi, gunakanlah nilai induktor dianjurkan untuk menghitung arus riak, nilai induktor di tengah-tengah kisaran yang direkomendasikan, atau jika tidak ada dalam *data sheet*, maka hitung dengan menggunakan rumus arus riak induktor sebagai berikut.

$$\text{Inductor ripple current : } \Delta I_L = \frac{(V_{in(max)} - V_{out}) \times D}{f_s \times L} \dots \dots \dots (2.3)$$

$V_{in(max)}$  = Tegangan *input* maksimum

$V_{out}$  = Tegangan *output*

D = Perhitungan *Duty cycle*

$f_s$  = Frekuensi minimum pensaklaran pada *converter*

$L$  = Pemilihan hasil induktor

Langkah selanjutnya menentukan pemilihan IC harus dapat memberikan arus keluaran maksimum. Berikut ini merupakan persamaannya.

$$\text{Maximum output current of IC : } I_{\text{maxout}} = I_{\text{limit}(\text{min})} - \frac{\Delta I_L}{2} \dots \dots \dots (2.4)$$

$I_{\text{limit}(\text{min})}$  = Nilai minimum arus limit dari IC (didapatkan pada *datasheet*)

$\Delta I_L$  = Arus riak induktor

Jika hasil perhitungan untuk arus maksimum pada IC ( $I_{\text{maxout}}$ ) dibawah output arus maksimum sistem yang diinginkan, frekuensi pensaklaran harus dinaikkan untuk mengurangi arus riak atau menggunakan IC lain dengan batas arus pensaklaran yang lebih tinggi. Jika nilai yang dihitung untuk  $I_{\text{maxout}}$  hanya sedikit lebih kecil dari yang diperlukan, maka masih mungkin untuk menggunakan IC yang telah dipilih dengan sebuah induktor dengan induktansi yang lebih tinggi, jika masih dalam kisaran yang direkomendasikan. Induktansi yang lebih tinggi mengurangi arus riak dan meningkatkan arus keluaran maksimum dengan pemilihan IC. Jika nilai yang dihitung di atas arus output maksimum, arus pensaklaran maksimum pada sistem dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Specific maximum switch current : } I_{\text{sw}(\text{max})} = \frac{\Delta I_L}{2} + I_{\text{out}(\text{max})} \dots \dots \dots (2.5)$$

$\Delta I_L$  = Arus riak induktor

$I_{\text{out}(\text{max})}$  = Arus keluaran maksimum dalam aplikasi

Ini merupakan arus puncak dimana induktor, IC dan dioda harus dapat menahan arus tersebut.

### **Pemilihan Induktor**

$$L = \frac{V_{\text{out}} \times (V_{\text{in}} - V_{\text{out}})}{\Delta I_L \times f_s \times V_{\text{in}}} \dots \dots \dots (2.6)$$

$V_{\text{in}}$  = Tegangan input

$V_{\text{out}}$  = Tegangan output yang diinginkan

$f_s$  = Frekuensi minimum pensaklaran pada *converter*

$\Delta I_L$  = Arus riak induktor

Arus riak pada induktor tidak dapat dihitung jika nilai induktor tidak diketahui. Dengan demikian maka estimasi arus riak induktor yaitu 20% sampai 40% dari arus keluaran maksimum (Hauke, 2011).

$$\Delta I_L = (0,2 \text{ to } 0,4) \times I_{out} (\text{max}) \dots\dots\dots(2.7)$$

### Pemilihan Dioda

$$I_F = I_{out}(\text{max}) \times (1-D) \dots\dots\dots(2.8)$$

$$P_D = I_F \times V_F \dots\dots\dots(2.9)$$

$I_F$  = *Forward current* rata-rata pada diode

$I_{out}(\text{max})$  = Kebutuhan arus *output* maksimum

$V_F$  = *Forward voltage* pada dioda

$D$  = *Duty cycle*

$P_D$  = Disipasi daya

### Pemilihan Kapasitor

$$C(\text{min}) = \frac{\Delta I_L}{8 \times f_s \times \Delta V_{out}} \dots\dots\dots(2.10)$$

$C(\text{min})$  = Kapasitansi minimum

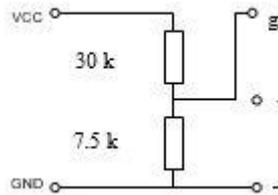
$\Delta I_L$  = Estimasi arus riak induktor

$f_s$  = Frekuensi minimum pensaklaran pada *converter*

$\Delta V_{out}$  = Tegangan riak output yang diinginkan

## 2.4 Sensor Tegangan

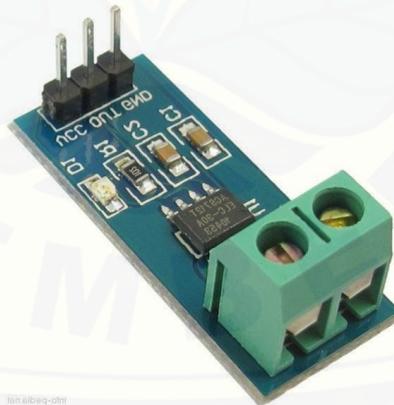
Komponen tegangan adalah sensor tegangan yang berfungsi untuk menentukan tegangan listrik setiap saat. Sensor tegangan ini berupa pembagi tegangan. Tegangan yang dihasilkan masih berupa sinyal sinusoidal. Modul pembagi tegangan digunakan untuk mengubah tegangan yang akan diukur sehingga dapat diumpan ke pin kontroler yang memiliki converter analog ke digital (ADC) (Autodesk.Inc, 2015).



Gambar 2.10 Sensor Tegangan

### 2.5 Sensor Arus

Sensor arus adalah alat yang digunakan untuk mengukur kuat arus listrik. Sensor arus ini menggunakan metode Hall Effect Sensor. Hall Effect Sensor merupakan sensor yang digunakan untuk mendeteksi medan magnet. Hall Effect Sensor akan menghasilkan sebuah tegangan yang proporsional dengan kekuatan medan magnet yang diterima oleh sensor tersebut. Pendeteksian perubahan kekuatan medan magnet cukup mudah dan tidak memerlukan apapun selain sebuah induktor yang berfungsi sebagai sensornya. Modul sensor ini telah dilengkapi dengan rangkaian penguat operasional, sehingga sensitivitas pengukuran arusnya meningkat dan dapat mengukur perubahan arus yang kecil (Hilman HR. Jufri, 2012).



Gambar 2.11 Sensor Arus (Hilman HR. Jufri, 2012)

### 2.6 Arduino Uno R3

Arduino UNO adalah board berbasis mikrokontroler pada ATmega328. Board ini memiliki 14 digital input / output pin (dimana 6 pin dapat digunakan

sebagai output PWM), 6 input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, catu daya dan tombol reset. Pin-pin ini berisi semua yang dibutuhkan untuk mendukung mikrokontroler, hanya terhubung ke komputer dengan kabel USB atau sumber tegangan bisa didapat dari adaptor AC-DC atau baterai untuk menggunakannya. Arduino Uno tidak lagi menggunakan *chip* FTDI USB-to-serial tetapi menggunakan Atmega 8U2 sebagai konverter USB ke serial. Masing-masing pin I/O dapat digunakan sebagai *input* maupun *output* dengan menggunakan fungsi `pinMode()`, `digitalWrite()`, dan `digitalRead()` (Zaratul Nisa Saputri, 2014).



Gambar 2.12 Arduino Uno R3 ([www.arduino.com](http://www.arduino.com))

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 pin untuk PWM )
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

### 2.7 *Liquid Crystal Display (LCD)*

Display elektronik adalah salah satu komponen elektronika yang berfungsi sebagai tampilan suatu data, baik karakter, huruf ataupun grafik. Pada rangkaian LCD terdiri dari Gnd, Vcc, Contract, Reset, RW (Read/write), Enable, DB4-DB7. 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 (Nuning Armawati, 2013).



Gambar 2.13 *Liquid Crystal Display (LCD)* (Nuning Armawati, 2013).

### 2.8 *Battery atau ACCU*

Baterai adalah alat untuk menyimpan tenaga listrik melalui proses elektrokimia sehingga sumber tenaga listrik dapat diubah menjadi tenaga kimia dan sebaliknya. Proses elektrokimia reversibel merupakan proses di dalam baterai dapat berlangsung pengubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan), dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia pengisian kembali dengan cara regenerasi dari elektroda-elektroda yang dipakai, yaitu dengan melewati arus listrik dalam arah (polaritas) yang berlawanan di dalam sel.



Gambar 2.14 Battery atau Accu

### 2.8.1 Charge Battery

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

Pengisian *multi-stage*, terdiri dari 3 tahap yaitu *constant-current charge*, *topping charge* dan *float charge*. Selama *constant-current charge* baterai diisi sampai 70 persen dalam waktu 5 jam dan 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

Celsius, tegangan *charger* untuk masing-masing sel disarankan 2.40 sampai 2.45 Volt.

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.

### 2.8.2 Discharging Battery

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.

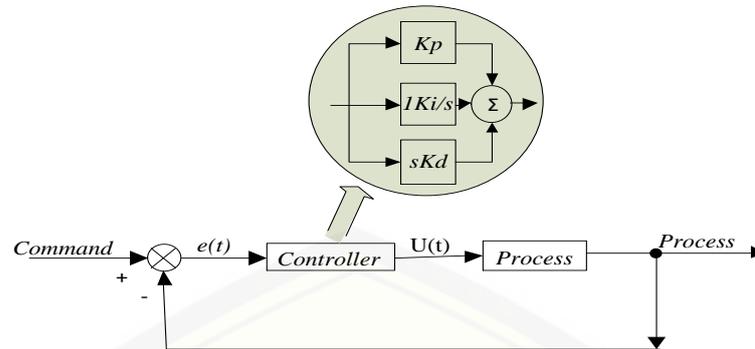
150 - 200 *cycle* dengan 100 persen *depth of discharge* (*full discharge*).

400 - 500 *cycle* dengan 50 persen *depth of discharge* (*partial discharge*).

1000 atau lebih dengan 30 persen *depth of discharge* (*shallow discharge*).

## 2.9 Kontrol PID

Pengendali *PID* telah secara luas digunakan dalam industri, yaitu hampir sebesar 90% (Gunawan, 2009). Hal ini dikarenakan jika pengendali ini diatur dengan baik maka akan menghasilkan pengendalian *PID* yang sangat baik. Selain itu pengendali ini juga sederhana dan diimplementasikan dengan mudah. Skema pengendalian *PID* ditunjukkan oleh gambar 2.15. Pada gambar 2.15 menunjukkan bahwa pengendali *PID* merupakan jumlah dari tiga aksi kendali yaitu *propotional* yang ditunjukkan oleh  $K_p$ , *integral* yang ditunjukkan oleh  $K_i$  dan *derivative* yang ditunjukkan oleh  $K_d$ .

Gambar 2.15 Skema Pengendali *PID*

Masing – masing paramter dari *PID* ini memiliki fungsi dan perannya. *Propostional* akan mengurangi *rise time* dan akan mengurangi *steady state error*, *integral* dapat menghilangkan *steady state error*. Namun jika hanya kontrol *PI* saja yang digunakan maka akibatnya *transient response* akan bertambah buruk. Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan parameter *derivative*. Peramater *D* ini akan memperbaiki *transient response* seperti *overshoot* dan *settling time*. Gabungan dari parameter – parameter ini disebut kontrol *PID* yang akan meningkatkan stabilitas sistem, mengurangi *overshoot* dan mempercepat *transient response*.

Bentuk kontrol *PID* dapat diimplementasikan dalam bentuk analog atau digital. Implementasi *PID* dalam bentuk analog secara dominan digunakan dalam bentuk komponen elektronika analog. Sedangkan bentuk *PID* digital diimplementasikan dalam bentuk digital, yaitu dengan *programming system* di dalam mikroprosesor atau *DSP*. *PID* analog dialam bentuk rangkaian elektronika analog ditunjukkan pada gambar 2.12, selain parameter *PID* dalam bentuk  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$  dapat juga dalam bentuk  $K_p$ ,  $T_i$ , dan  $T_d$ . Untuk *tunning* parameter – parameter pada bentuk ini dapat dilakukan dengan mengatur nilai dari komponen pada rangkaian analog tersebut. Bentuk *PID* ini memiliki keunggulan murah, efisien yang tinggi dan kinerja dinamik yang cukup baik (Gunawan, 2009).

### 2.9.1 Menentukan Parameter *PID*

*Tunning* kontrol *PID* ini bertujuan untuk menentukan paramater aksi kontrol *Proportional*, *Integratif*, *Derivatif* pada *plan*. Proses ini dapat dilakukan

dengan cara *trial and error*. Keunggulan cara ini kita gak perlu mengidentifikasi *plan*, membuat model matematis *plan*, menentukan parameter *plan* dengan grafis ataupun analitis, cukup dengan cara coba-coba memberikan konstanta P-I-D pada formula *PID* hingga di peroleh hasil yang di inginkan, dengan mengacu pada karakteristik masing – masing kontrol *P-I-D*.

Tabel 2.2 Karakteristik masing – masing kontrol *P-I-D*

<i>Respon loop</i> tertutup	<i>Rise time</i>	<i>Overshoot</i>	<i>Settling time</i>	<i>Error steady-state</i>
Kp	Mengurangi	Meningkatkan	Mengurangi	Mengurangi
Ki	Mengurangi	Meningkatkan	Meningkatkan	Menghilangkan
Kd	Perubahan Kecil	Mengurangi	Menurun	Perubahan Kecil

*Rise time* adalah ukuran waktu yang menyatakan keberadaan suatu respon, yang diukur mulai respon 5% - 95% dari respon *steady state*. *Overshoot* adalah nilai tertinggi dari *output* respon. *Settling time* adalah ukuran waktu yang menyatakan respon telah masuk 5% atau 2% dari respon *steady state*. *Error steady-state* adalah presentase kesalahan pada saat respon *steady state*.

**BAB 3. METODE 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 April 2017 sampai Juli 2017. Adapun kegiatan yang dilakukan selama waktu penelitian yaitu seperti berikut.

Tabel 3.1 Perencanaan Jadwal Penelitian

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

Pada tahap ini yang dilakukan adalah mempersiapkan alat dan bahan yang diperlukan dalam penelitian. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Alat :

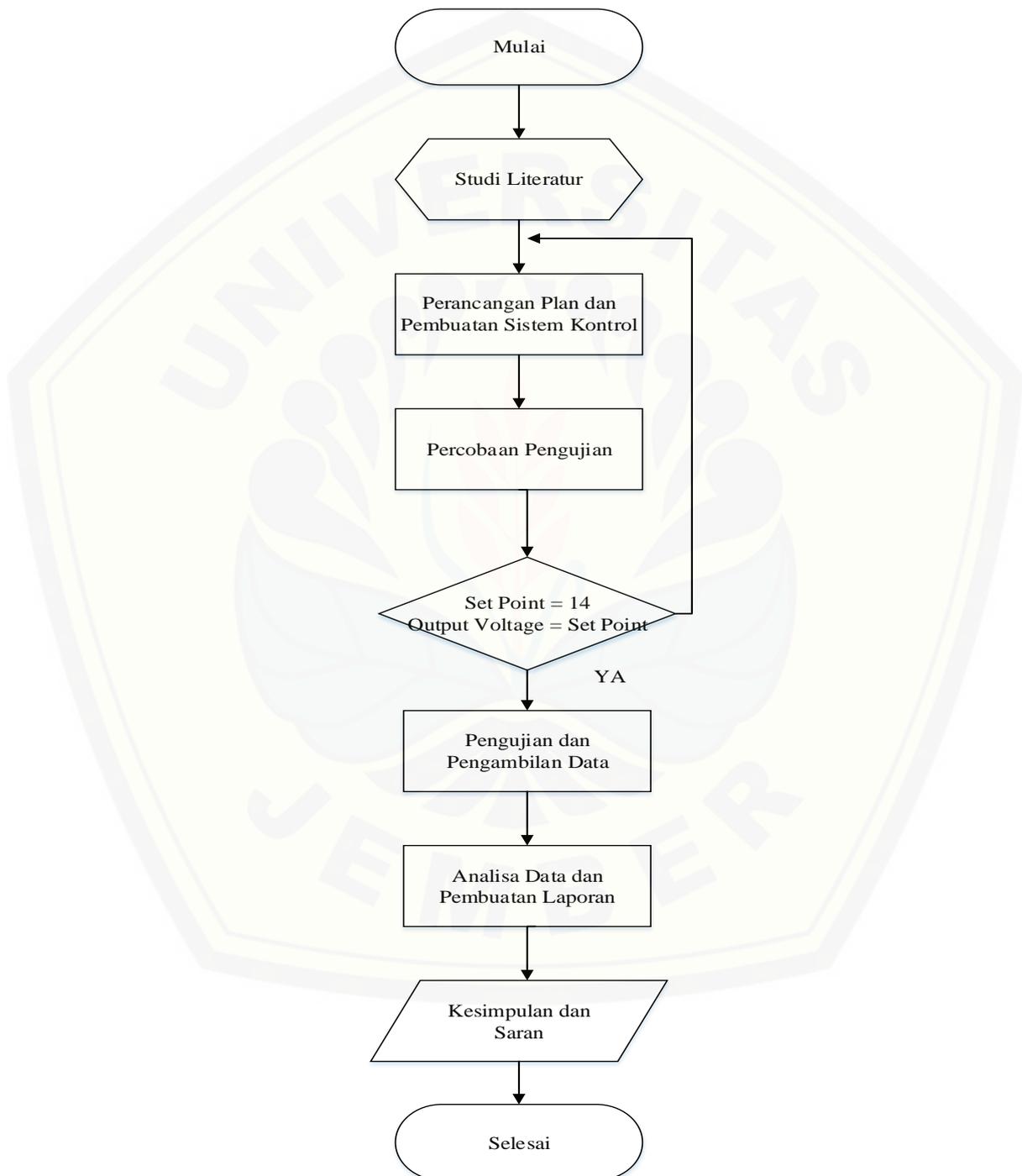
1. *Solar Power Meter*
2. Obeng
3. Solder
4. *Power Supply*

Bahan :

1. Sel Surya 20 Wp
2. Arduino UNO R3
3. Mosfet, Resistor, Kapasitor, Induktor, Diode
4. *Battery / ACU*
5. *Modul data logger* dan RTC
6. Memori *Micro SD*
7. Timah
8. Sensor Arus
9. Sensor Tegangan
10. Potensio
11. Kayu
12. Engsel
13. Push button
14. LCD 16 x 2
15. 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 Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian ini dibuat langkah – langkah penelitian sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Tahap awal dari penelitian ini mencari literatur dari hasil penelitian sebelumnya. Diharapkan dengan literatur yang didapat bisa memberi keyakinan bahwa penelitian ini dapat dilaksanakan dan memberikan arahan untuk mengurangi kesalahan dalam penelitian.

2. Merancang plan dan sistem kontrol

Pada tahap ini melakukan perancangan beberapa komponen pengendali seperti sensor tegangan, *buck converter* dan plan secara keseluruhan.

3. Melakukan Pengujian

Pada tahap ini melakukan pengujian terhadap komponen pengendali yang telah dirancang sebelumnya. Pengujian sensor tegangan, *buck converter*, dan panel surya yang digunakan.

4. Pembuatan program *PID* pada arduino

Pada tahap ini melakukan pemodelan sistem *PID* yang akan diimplementasikan pada sistem kontrol. Selanjutnya mengubah hasil dari pemodelan sistem *PID* yang telah dirancang agar dapat di *input* ke dalam Arduino uno R3.

5. Pengambilan data

Pada tahap ini melakukan pengambilan data dari sistem kontrol yang telah dirancang. Pada pengujian plan tersebut dilakukan pengisian *battery*.

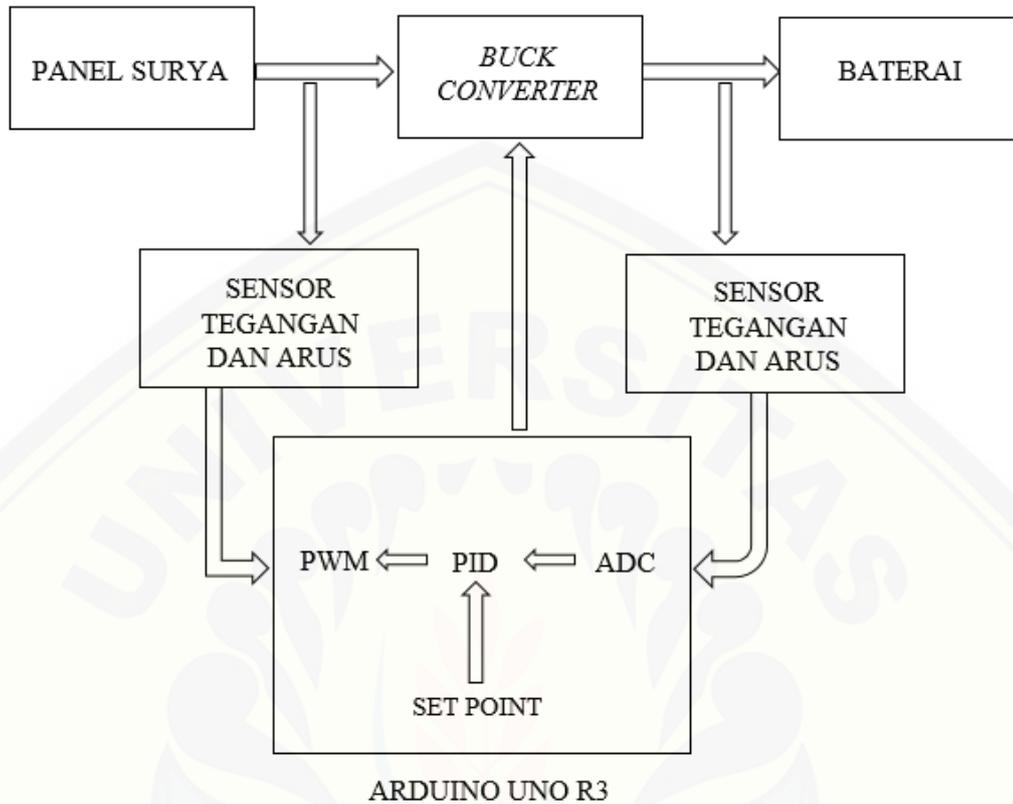
6. Analisa data

Pada tahap ini melakukan analisa pada data yang sudah diperoleh. Diharapkan pada tahap ini dapat ditemukan sebuah gagasan baru dalam mengurangi kesalahan.

7. Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini melakukan pengambilan kesimpulan dari semua hasil analisis data yang telah didapat berdasarkan dasar teori yang telah dijelaskan.

### 3.4 Pemodelan Sistem



Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem

Sistem yang dirancang terdiri dari panel surya dengan daya sebesar 20wp. Pada sistem ini terdapat *battery* sebagai penyimpan tenaga listrik saat tidak terdapat sinar matahari. Pada Gambar diagram blok 3.2 ketika panel surya menerima foton dari sumber cahaya matahari, maka panel surya akan menghasilkan tegangan dan arus. Ketika muncul tegangan dan arus, maka akan dilakukan beberapa pengukuran pada keluaran panel surya yaitu pengukuran tegangan dan arus. Pengukuran tegangan dan arus ini akan digunakan untuk parameter masukan arduino. Arduino akan menentukan besar *duty cycle* untuk pensaklaran pada mosfet yang ada di *buck converter*. Output tegangan yang dihasilkan oleh panel surya akan masuk ke dalam sebuah *buck converter*, kemudian menurunkan tegangan masukan dan hasilnya di alirkan ke beban yaitu *battery*. Pemasangan sensor tegangan setelah *battery* sendiri berfungsi untuk mendeteksi tegangan *battery* ketika sudah penuh. Supaya tegangan yang di

berikan pada *battery* dapat bernilai tetap yaitu sesuai setpoint yang diinginkan maka keluaran dari *buck converter* di umpanbalik ke pengendali yang berupa arduino. Di dalam Arduino ini terdapat kontrol berupa pid yang akan merespon ketika panel surya digunakan untuk mengisi *battery*. Kontrol *PID* ini digunakan untuk mengatasi apabila terjadi drop tegangan sehingga dapat mempertahankan output tegangan berada pada set poin.

### 3.5 Perancangan Sistem

#### 3.5.1 Panel Surya

Panel surya yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis polycrystalline dengan kapasitas 20 Wp. Berikut ini merupakan spesifikasi dari panel surya yang digunakan.

Tabel 3.2 Spesifikasi Panel Surya

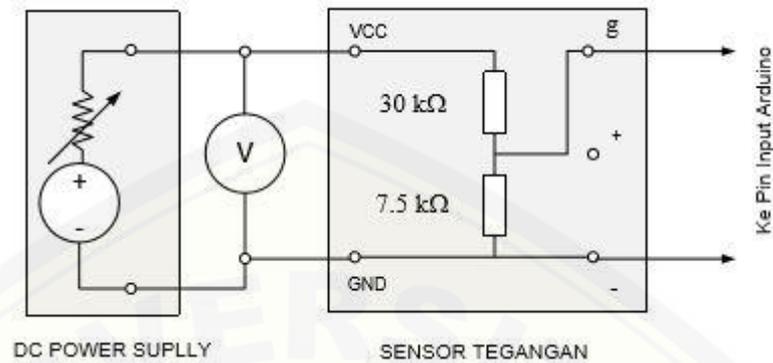
No	Spesifikasi	Polycrystalline
1.	Model Type	GH-20p-18
2.	Open Circuit Voltage (Voc)	21,6 V
3.	Short Circuit Current (Isc)	1,3 A
4.	Maximum Power Voltage (Vpm)	17,5 V
5.	Maximum Power Current (Ipm)	1,16 A
6.	Test Condition	1000W/m <sup>2</sup> , 25°C

#### 3.5.2 Sensor Tegangan

Sensor yang akan digunakan adalah rangkaian sensor pembagi tegangan. Rangkaian pembagi tegangan ini menggunakan resistor 300 K $\Omega$  dan 4k7  $\Omega$  yang dirangkai secara seri. Rangkaian pembagi tegangan ini dirangkai seri supaya dapat membaca tegangan 0 – 324.15 V dan perbandingan tegangan untuk diberikan ke arduino uno R3 0 – 5 V.

Dalam pengujian sensor tegangan ini menggunakan DC *power supply* sebagai sumber tegangan pada sisi input seperti pada Gambar 3.3. Selanjutnya diberi sebuah digital multimeter untuk melakukan pengukuran tegangan dan

nantinya dibandingkan dengan pembacaan *display* tegangan yang ada pada DC *power supply*.



Gambar 3.3 Rangkaian Pengujian Sensor Tegangan

Pada penelitian kali ini penggunaan resistor 300 K $\Omega$  diganti dengan resistor 100 K $\Omega$ . Pada perancangan sensor tegangan ini dilakukan perhitungan nilai resistor yang akan digunakan dengan persamaan 3.1.

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

Diketahui nilai  $V_{out} = 5$  V,  $V_{in} = 324.15$  V, dan  $R_1 = 300$  K $\Omega$

$$5 = \frac{324.15 \times R_2}{(300 \text{ k} + R_2)}$$

$$5 (300 \text{ k} + R_2) = 324.15 \times R_2$$

$$1500 \text{ k} + 5R_2 = 324.15R_2$$

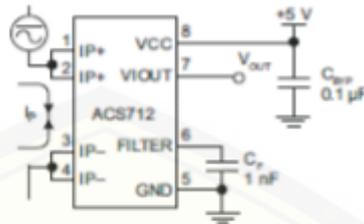
$$R_2 = \frac{1500 \text{ k}}{319.15}$$

$$R_2 = 4 \text{ k}7 \Omega$$

### 3.5.3 Sensor Arus

Pada penelitian ini sensor arus, data arus *battery* dan beban *converter* dibaca dengan menggunakan sensor arus ACS712. Arus yang keluar dari panel surya dan *buck converter* akan melewati sensor arus ACS217 yang kemudian dikonversi kedalam tegangan DC maksimum 5V untuk dibaca dengan pin analoginput arduino uno. Data tersebut akan diolah dan ditampilkan pada layar LCD. Berikut

ini adalah gambar rangkaian sensor arus yang digunakan dalam penelitian ini seperti pada Gambar 3.4.



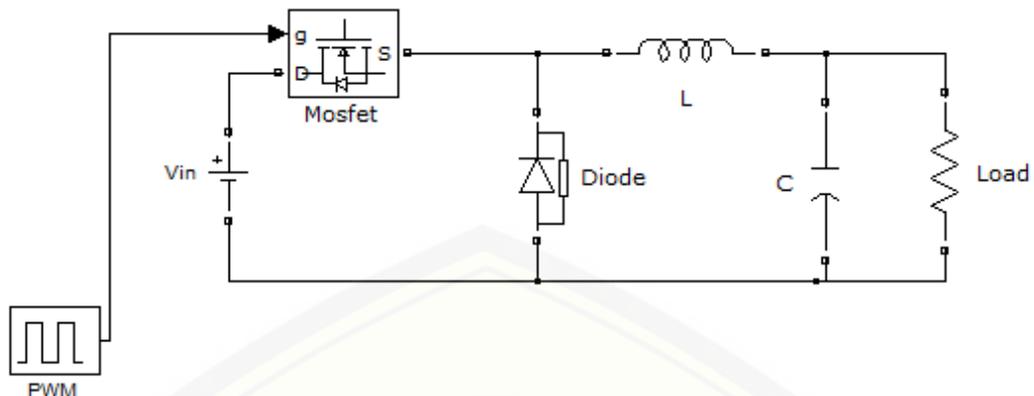
Gambar 3.4 Rangkaian Sensor Arus

#### 3.5.4 Arduino Uno R3

Sistem mikrokontroler yang akan digunakan dalam perancangan pada penelitian ini adalah arduino. Tipe arduino yang digunakan pada penelitian ini adalah arduino uno R3. ADC pada pin A0 digunakan untuk menerima sinyal *feedback* tegangan dari *buck converter*. Untuk memberikan sinyal PWM pada *buck converter* dapat menggunakan pin PWM yang terdapat di arduino uno R3, yaitu pada pin 3, 5, 6, 9, dan 10. Pada penelitian ini untuk mengontrol PWM pada *buck converter* menggunakan pin 9 karena frekuensi PWM yang dapat dihasilkan sebesar 31,250 Hz.

#### 3.5.5 Buck Converter

Pada penelitian ini digunakan DC-DC konverter dengan jenis *buck converter*. Hal ini didasarkan karena tegangan yang dihasilkan oleh panel surya harus di turunkan sebesar 12 V yang stabil karena beban yang digunakan Aki 12 Volt. Perancangannya adalah sebagai berikut.

Gambar 3.5 Rangkaian DC-DC *buck converter*

Pada gambar 3.5 merupakan gambar rangkaian dasar DC-DC *buck converter*, dalam rangkaian ini terdapat beberapa komponen dasar yaitu induktor, kapasitor, dioda dan mosfet. Untuk mendesain DC-DC *buck converter* diperlukan beberapa parameter utama, yaitu spesifikasi dari *converter* tersebut. Spesifikasi tersebut disesuaikan dengan spesifikasi dari panel surya dan spesifikasi beban yang akan digunakan. Untuk menentukan tegangan masukan pada *buck converter* diperoleh dari spesifikasi panel surya yang direncanakan yaitu sebesar 17,2 Volt. Sedangkan untuk menentukan besar tegangan keluaran didapat dari *datasheet* beban yang berupa Aki yaitu sebesar 12 Volt. Sedangkan arus maksimal didapat dari besar arus *short circuit* pada panel surya yaitu sebesar 5,17 A. Namun yang nanti digunakan sebagai referensi arus keluaran dari *buck converter* yaitu arus  $I_{mp}$  pada panel surya sebesar 1,16 A. Untuk frekuensi yang dipergunakan sesuai dengan frekuensi PWM yang dihasilkan oleh arduino uno R3 yaitu sebesar 31250 Hz. Dengan data tersebut maka langkah awal dalam pembuatan *buck converter* yaitu menentukan spesifikasi terlebih dahulu. Berikut ini spesifikasi DC-DC *buck converter* yang akan dibuat :

Tabel 3.3 Spesifikasi DC-DC *Buck Converter*

Tegangan Masukan	17-21 volt
Arus input maksimum	1,16 A
Tegangan Nominal	12 Volt
Arus Keluaran	1 A
Frekuensi Switching	31.250 Hz

Sebelum mendesain DC- DC *buck converter* terlebih dahulu menentukan spesifikasi dari *converter* yang akan digunakan. Spesifikasi *buck converter* yang akan digunakan sesuai dengan tabel 3.3. Langkah selanjutnya yaitu melakukan perancangan besaran pada masing-masing komponen dengan menggunakan persamaan yang telah dijelaskan pada tinjauan pustaka. Berdasarkan spesifikasi yang telah ditentukan, langkah selanjutnya yaitu menentukan komponen untuk membuat DC-DC *buck converter*, pada penelitian kali ini rangkaian DC-DC *buck converter* menggunakan MOSFET dengan tipe IRF 9540. Pada MOSFET ini memiliki kemampuan menahan tegangan antara *drain* dengan *source* ( $V_{DS}$ ) sebesar 100 V,  $V_{GS}$  sebesar kurang lebih 20 V dan arus *drain* ( $I_D$ ) maksimumnya mencapai 20 A Langkah – langkah untuk menentukan besaran pada masing-masing komponen adalah sebagai berikut.

1. Menghitung *duty cycle* maksimum

$$\text{Maximum Duty Cycle } D = \frac{12}{17,2 \times 90\%} = 0,77$$

2. Pemilihan induktor

Estimasi arus ripple:

$$\Delta I_L = 1,16 \times 20\%$$

$$\Delta I_L = 0,232 \text{ A}$$

Dengan menggunakan estimasi arus riak (*ripple*) diatas maka dapat dicari induktansi minimum untuk mendapatkan kondisi CCM pada *buck converter*.

Induktansi minimum:

$$L = \frac{12 \times (17,2 - 12)}{0,232 \times 31250 \times 17,2} = 500 \text{ uH}$$

Maka dari hasil perhitungan induktansi minimum didapatkan induktansi minimum sebesar 0,10 mH untuk mendapatkan kondisi CCM pada *buck converter*.

3. Pemilihan Dioda

$$I_F = I_{out(max)} \times (1-D)$$

$$I_F = 1,16 \times (1-0,77)$$

$$I_F = 0,2668 \text{ A}$$

Pada pemilihan dioda pada DC-DC *buck converter* ini dilakukan perhitungan  $I_F$ . Dimana  $I_F$  sendiri merupakan arus *forward* rata-rata yang ada pada dioda untuk DC-DC *buck converter* tersebut. Dari hasil perhitungan pada sistem tersebut didapatkan arus *forward* rata-rata dioda adalah sebesar 0,2668 A. Dengan demikian pada penelitian ini dipilih dioda schottky dengan tipe 10SQ45 karena dengan menggunakan dioda schottky dapat mengurangi *losses* daya pada dioda. Sehingga didapatkan nilai efisiensi sistem yang semakin tinggi. Spesifikasi dioda schottky ini arus *forward* rata-rata maksimum yang dapat ditahan oleh dioda ini adalah 10 A dan tegangannya mencapai 45 V.

#### 4. Pemilihan kapasitor

Agar *ripple* tegangan dapat diminimalisir maka digunakan kapasitor sebagai filter pada DC-DC *buck converter*. Berikut ini merupakan perhitungan untuk mendapatkan kapasitor minimum yang harus digunakan.

$$C(\text{min}) = \frac{0,232}{8 \times 31250 \times (0,2 \times 12)} = 4 \text{ uF}$$

Jadi dari hasil perhitungan kapasitansi minimum dari filter *buck converter* adalah 4 uF.

#### 3.5.7 Baterai

Baterai yang digunakan adalah jenis sealed lead acid (SLA). Baterai jenis ini bebas perawatan dan lebih higienis dibandingkan dengan jenis baterai lainnya, sehingga baterai jenis ini cocok untuk digunakan. Pada penelitian ini menggunakan baterai tipe BP5-12 dengan kapasitas 5 Ah. Untuk perhitungan lama charger baterai aki adalah sebagai berikut :

Baterai Aki dengan kapasitas 5 Ah

$$\begin{aligned} \text{Lama pengisian} &= ( \text{Kapasitas baterai} / \text{Arus yang digunakan untuk} \\ &\text{charge} ) \times 60 \text{ menit ( 1 jam )} \\ &= ( 5 \text{ Ah} / 1 \text{ A} ) \times 60 \text{ menit} \\ &= 300 \text{ menit} \end{aligned}$$



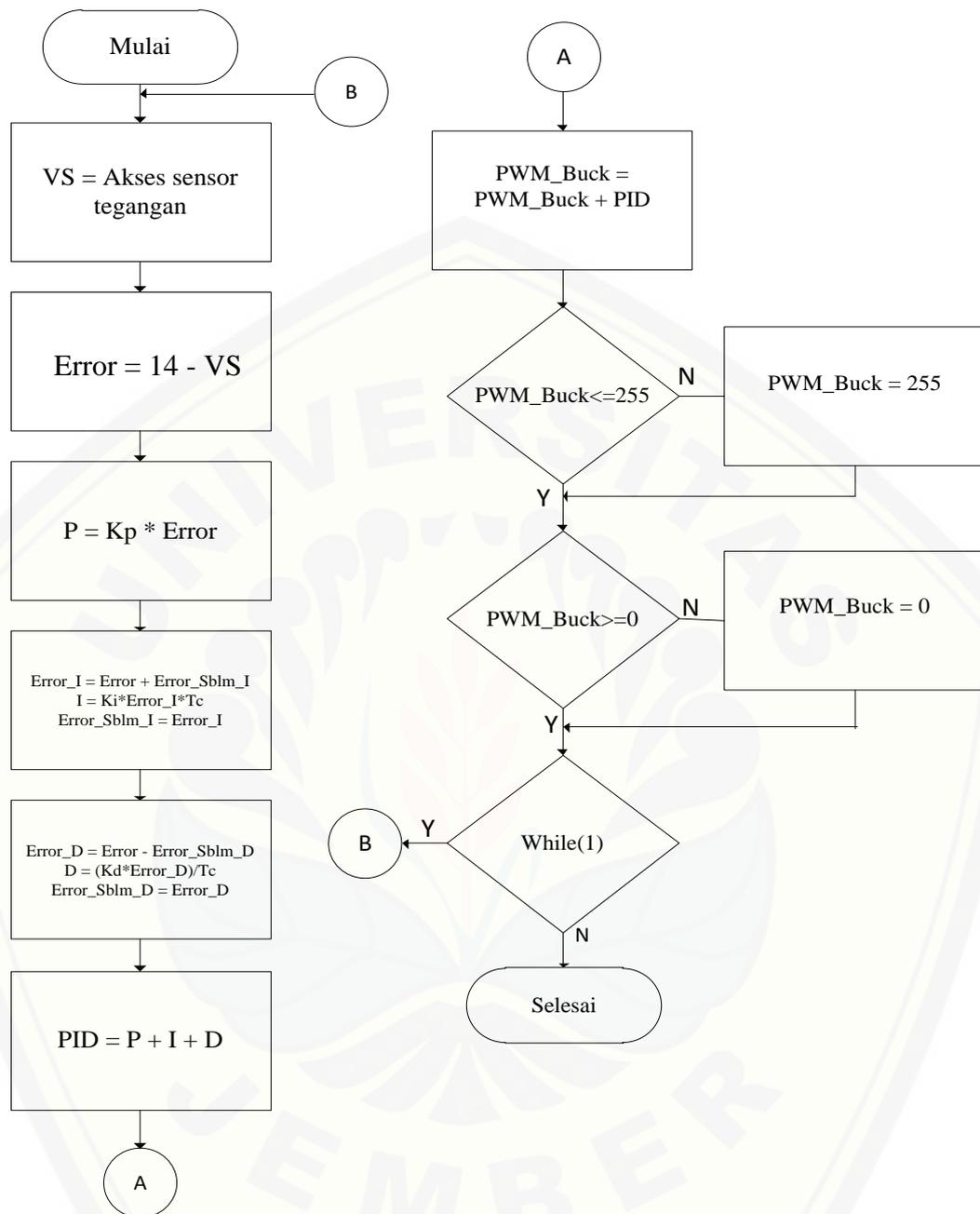
Gambar 3.6 Baterai

Tabel 3.4 Spesifikasi Baterai

Nominal Voltage	12 V
Rated Capacity ( 20 Hour)	5 Ah
Maximum Charge Current	1,5 A
Length	90 mm
Width	70 mm
Height	102 mm
Total Height	106 mm

### 3.6 Perancangan Kontrol *PID*

Perancangan kontrol *PID* diperlukan algoritma program kontrol *PID* agar menjadi kontrol yang sesuai yang akan dimasukkan ke dalam program arduino. Pada gambar 3.7 merupakan *flowchart* dari algoritma program kontrol *PID* untuk rancang bangun kontrol *PID* pada tegangan *output solar charger*.



3.7 Flowchart Program Kontrol PID

Hal paling penting dari kontrol *PID* adalah menentukan parameter  $K_p$ ,  $K_i$  dan  $K_d$ . Pada penelitian ini untuk menentukan parameter – parameter *PID* digunakan metode *manual tuning* yaitu dengan cara *trial and error*.

### 3.6.1. Metode *Manual Tunning*

Metode *manual tuning* adalah metode untuk mencari nilai parameter *PID* dengan cara *trial and error* dengan mengacu pada karakteristik dari setiap parameter yang dicari seperti yang dijelaskan pada bab sebelumnya. Pada penelitian ini dilakukan *manual tuning* parameter dengan langkah sebagai berikut.

1. Memberikan *gain* parameter *propotional* sehingga *plan* memberikan nilai *output* yang mencapai *setpoint*. Namun dengan memberikan parameter ini akan meningkatkan *overshoot* pada *output* dari *plan* dan *error steady-state* masih tinggi.
2. Memberikan nilai parameter *integral* sehingga nilai *error steady-state* dapat dikurangi. Namun pemberian parameter ini akan meningkatkan *overshoot* dan *settling time* meningkat.
3. Memberikan nilai parameter *derivative* sehingga nilai *overshoot* dan *settling time* dapat dikurangi. Namun untuk memberikan nilai parameter ini tidak diperbolehkan terlalu tinggi karena akan membuat sistem lebih tidak stabil.

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari pengujian dan analisa data yang telah dilakukan pada penelitian yang berjudul “ Perancangan Sistem *Solar Charger* Menggunakan *Buck Converter* Dengan Metode *PID* ”, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Nilai persentase *error* terbesar pada tegangan sekitar 2,54 Volt dengan *error* yaitu 0,78 %.
2. 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* besar. Untuk *drop* tegangan sekitar 1,3 Volt. Semakin kecil beban yang diujikan maka *drop* tegangan semakin besar.
4. Nilai parameter kontrol *PID* yang sesuai dengan sistem ini adalah  $K_p = 9$ ,  $K_i = 3$  dan  $K_d = 0.00003$  dengan nilai *rise time* 2 s, *settling time* 13 s, *error steady-state* 0.14 %.
5. Berdasarkan data pengujian beban nilai *recovery time* akan semakin meningkat apabila beban yang diberikan semakin kecil. *Recovery time* tercepat terjadi ketika beban sebesar 47 Ohm yaitu sebesar 1,9 s.

### 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. Penggunaan kontrol dapat diganti dengan *Fuzzy Logic* atau *hybrid PID Fuzzy* sehingga dapat diperoleh respon kontrol 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.



**DAFTAR PUSTAKA**

- Adityawan . 2010. Studi Karakteristik Pencatuan Solar Cell Terhadap Sistem Penyimpanan Energi Baterai.
- Adzhar, H. 2015. Sistem Penyeteman Nada Dawai Gitar Otomatis Dengan Motor Servo *Continuous* Menggunakan Kontroler *PID* Berbasis Arduino Mega 2560. Universitas Brawijaya.
- Anto, B., Hamdani, E., Abdullah, R. 2014. Portable Battery Charger Berbasis Sel Surya.
- Arduino LLC. 2015. [www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno](http://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/](http://www.instructables.com/id/Arduino-VoltageSensor-0-25V/). Dipetik Oktober 12, 2016, dari [instructables: http://www.instructables.com/id/Arduino-VoltageSensor-0-25V/](http://www.instructables.com/id/Arduino-VoltageSensor-0-25V/)
- Bagher, A. M., dkk. 2015. Types of Solar Cells an Application. *American Journal of Optic and Photonics*. 3(5):94-113.
- Hauke, B. 2015. Basic Calculation of a Buck Converter's Power Stage. *Texas Instruments Inc.*
- Hu, C. dan R. M. White. 1983. *Solar Cells: From Basics to Advance Systems*. Berkeley: McGraw-Hill Inc.
- Karina, A. S. 2012. Studi Karakteristik Arus-Tegangan (Kurva I-V) Pada Sel Tunggal Polikristal Silikon Serta Pemodelannya. Universitas Negeri Jakarta.
- Mahendra, A. R. 2016. Rancang Bangun *Solar Charger Portable* Berbasis Arduino UNO R3. Universitas Jember.
- Rashid, M. H. 2001. *Power Electronics Handbook*. California: Academic Press.
- Santoso, Y. A. 2015. Rancang Bangun Sistem Pengisi Baterai *Lead Acid* Berbasis Mikrokontroler Atmega 328 dengan sumber *Stand-Alone PV System*.
- Sodikin, N. H. 2015. Rancang Bangun Prototipe Emulator Sel Surya Menggunakan Buck Converter Berbasis Arduino.
- Tito, B. 2012. Metode *MPPT* Baru Untuk Sel Surya Berdasarkan Pengendali PI. Universitas Indonesia

## LAMPIRAN

### A. Listing Program Arduino Uno R3

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

Adafruit_INA219 ina219_A; // declare instance of ina219
Adafruit_INA219 ina219_B(0x41); // declare instance of
ina219
int bacaSensor[10];
float refresh_rate = 0.0; // datalogger refresh rate
long id = 1; // angka store id
int tegRata=0;
float tegangan=0;
float setPoint=14.0;
int pwmbuck=175;
float vin=0;
float current_in = 0;
float current_out = 0;

float KP=7;
float KI=5;
float KD=0;

float error_sblm_I=0;
float error_sblm_D=0;
float Tc=0.01;
int error;
int error_I;
int error_D;
float out_P;
float out_I;
float out_D;
float out_PID;
```

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  ina219_A.begin(); // Initialize first board (default
address 0x40)
  ina219_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;
  }
  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 (100);
  delay(100);
}

void loop() {

  akses_vin();

  float shuntvoltage = 0;
  float busvoltage = 0;
  float current_mA = 0;
  float loadvoltage = 0;

  current_mA = ina219_A.getCurrent_mA();
  current_in = ina219_A.getCurrent_mA();
```

```
//          Serial.print("Current:           ");
Serial.print(current_mA); Serial.println(" mA");
// Serial.println("1-----");
  lcd.setCursor(3,1);
  lcd.print(current_in);
  lcd.setCursor(3,0);
  lcd.print(vin);
  delay(0);

  current_mA = ina219_B.getCurrent_mA();
  current_out = ina219_A.getCurrent_mA();

//          Serial.print("Current:           ");
Serial.print(current_mA); Serial.println(" mA");
// Serial.println("2-----");
  lcd.setCursor(11,1);
  lcd.print(current_out);
  lcd.setCursor(11,0);
  lcd.print(tegangan);

analogWrite(9,~105);
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);
waktu();
delay(100);
}

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);

float error=(setPoint-tegangan);
out_P = KP*error;
```

```
error_I = error + error_sblm_I;
out_I = KI*error_I*Tc;
error_sblm_I = error_I;

error_D = error-error_sblm_D;
out_D = (KD*error_D)/Tc;
error_sblm_D = error_D;

out_PID = out_P + out_I + out_D;

pwmbuck = pwmbuck+out_PID;

if(pwmbuck>255) {pwmbuck=255;}
if(pwmbuck<0) {pwmbuck=0;}
analogWrite(9, ~(pwmbuck));
// analogWrite(9, ~(128-map(error, -500, 100, 0, 128)));
// int hasil = tegRata+(error);
Serial.print(tegangan);
Serial.print("      ");
Serial.println(error);
//Serial.print("      ");
//Serial.println(pwmbuck);

    delay(100);
}
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***

