



**IMPLEMENTASI *BOOST CONVERTER* DENGAN KONTROL PID PADA  
TEGANGAN *OUTPUT SOLAR CHARGER***

**SKRIPSI**

Oleh

**Roro Rahmawati**

**NIM 141910201038**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS JEMBER**

**2018**



**IMPLEMENTASI *BOOST CONVERTER* DENGAN KONTROL PID PADA  
TEGANGAN *OUTPUT SOLAR CHARGER***

**SKRIPSI**

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

Oleh

**Roro Rahmawati**

**NIM 141910201038**

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

## PERSEMBAHAN

Puji syukur terbitkan kepada Allah SWT yang telah memberikan limpah rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaan skripsi ini banyak sekali semangat yang didapatkan dari banyak pihak. Untuk itu persembahan ini penulis berikan kepada :

1. Ayahanda Ansori dan Ibunda Siti Rufiati tercinta, yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan dengan perhatian penuh kepada penulis sampai penulis menyelesaikan tugas skripsi dengan lancar.
2. Bapak Dosen Pembimbing Utama Bapak Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. serta Bapak Dosen Pembimbing Anggota Bapak Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T. atas kesabaran dan keikhlasan dalam membimbing penulis menyelesaikan skripsi ini.
3. Mas Erlangga Septa Andika, S.T. memberi dukungan dengan perhatian dan penuh kasih kepada penulis.
4. Seluruh dosen Teknik Elektro Universitas Jember yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan dan bimbingan selama mengikuti pendidikan di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.
5. Keluarga besar Laboratorium Konversi Energi Listrik.
6. Seluruh dulur KETEK UJ 2014 yang telah memberikan dukungan dan doanya.
7. Sahabat-sahabat ku tercinta yang telah memberikan semangat serta perhatian yang luar biasa.
8. Saudara-saudara ku Teknik Elektro Universitas Jember.
9. Almamater Tercinta Fakultas Teknik Universitas Jember.

**MOTTO**

*“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”*

*(QS. Al - Insyirah : 5)*

*“Dan karena Tuhanmu, bersabarlah.”*

*(Qs. Al – Muddassir : 7)*

*“Berbuat baik kepada siapa saja, karena berbuat baik itu ibarat menanam buah.*

*Semakin besar benih yang di tanam semakin besar buah yang diperoleh”*

*(Ayahanda Ansori)*

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Roro Rahmawati

NIM : 141910201038

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul "IMPLEMENTASI *BOOST CONVERTER* DENGAN KONTROL PID PADA TEGANGAN *OUTPUT SOLAR CHARGER*" adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh 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, 12 November 2018

Yang menyatakan,

Roro Rahmawati  
NIM 141910201038

**SKRIPSI**

**IMPLEMENTASI *BOOST CONVERTER* DENGAN KONTROL PID PADA  
TEGANGAN *OUTPUT SOLAR CHARGER***

Oleh

Roro Rahmawati

NIM 141910201038

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama

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

Dosen Pembimbing Anggota

: Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “IMPLEMENTASI *BOOST CONVERTER* DENGAN KONTROL PID PADA TEGANGAN *OUTPUT SOLAR CHARGER*” karya Roro Rahmawati telah diuji dan disahkan pada :

Hari : Senin

Tanggal : 12 November 2018

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim penguji,

Ketua,

Anggota I,

Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.  
NIP 197008261997021001

Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T.  
NIP 197106141997021001

Anggota II,

Anggota III,

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

Ir. Widyono Hadi, M.T.  
NIP 196104141989021001

Mengesahkan  
Dekan,

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

## RINGKASAN

**IMPLEMENTASI *BOOST CONVERTER* DENGAN KONTROL PID PADA TEGANGAN *OUTPUT SOLAR CHARGER***; Roro Rahmawati; 141910201038; 2018; 78 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Kebutuhan akan energi listrik semakin hari kian meningkat. Peningkatan energi listrik disebabkan oleh teknologi modern yang sebagian besar menggunakan energi listrik sebagai sumber tenaganya. Di Indonesia sendiri khususnya pulau Jawa-Bali menggunakan PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) sebagai sumber tenaga listrik. PLTU sendiri menggunakan batu bara sebagai bahan utama untuk menghasilkan uap dan kemudian dijadikan energi listrik yang mana jika digunakan secara terus menerus akan habis. Energi terbarukan akan menjadi solusi dari permasalahan semakin penipisnya sumber daya fosil sebagai bahan utama pembuatan energi listrik. Bentuk energi terbarukan yang paling banyak dan memiliki konsistensi di negara tropis adalah radiasi matahari.

Radiasi matahari dapat diubah dan dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik dengan menggunakan panel surya. Panel surya mampu mengubah energi dari radiasi matahari menjadi listrik namun tegangan yang diperoleh akan berubah-ubah sesuai dengan besar atau kecilnya radiasi matahari. Ketidakstabilan dari tegangan keluaran panel surya akan membuat komponen yang menggunakan sumber ini akan mengalami kerusakan. Pada penelitian ini akan menstabilkan hasil keluaran dari panel surya, tidak hanya distabilkan namun juga akan menaikkan tegangan sebesar 24 V untuk mengisi daya baterai. Panel surya yang digunakan sebesar 10 WP dengan jenis *polycrystalline* dan baterai yang digunakan sebagai beban adalah baterai *lead acid* 4 V dengan kapasitas masing-masing  $\pm 950\text{mAh}$  disusun secara seri sebanyak 6 buah agar menghasilkan 24 V.

Pada penelitian ini akan menguji serta menganalisa karakteristik panel yang digunakan agar dapat menentukan parameter masukan *boost converter*. Pengujian



juga akan dilakukan pada baterai untuk melihat karakteristiknya hal ini digunakan untuk merancang *boost converter* sebagai parameter keluaran. Pada *boost converter* ini menggunakan sistem kontrol PID *Ziegler-Nichols* tipe 2 atau tipe *close loop*. Sistem kontrol PID ZN 2 ini memiliki fungsi *close loop* yang artinya PID akan terus melakukan perulangan sampai tegangan *output* sesuai dengan *setpoint*. Parameter PID melalui metode ZN 2 diperoleh nilai  $K_p = 2,4$  ;  $K_i = 2,2857$ ;  $K_d = 0,63$ . *Setpoint* pada *boost converter* dibuat 28 V agar tegangan serta energi yang masuk pada baterai dapat maksimal.

Pada saat analisa data *boost converter* tanpa kontrol tegangan *output* tidak stabil atau mengikui dari besar radiasi matahari yaitu berkisar antara 24,33 V – 28,74 V sedangkan ketika menggunakan kontrol PID tegangan yang dihasilkan stabil yaitu sebesar 28,11 V. Pada analisa data pengujian keseluruhan sistem yaitu panel surya sebagai sumber energi kemudian masuk ke *boost converter* dengan kontrol PID yang kemudian mengisi baterai, terlihat tegangan *charging drop* dan memerlukan waktu yang lama menuju *setpoint* yaitu selama 1 jam 45 menit berbeda ketika menggunakan beban resistor yang mana tegangan sempat drop namun dengan cepat kembali ke *setpoint* dengan waktu hanya 16 ms.

Pengisian baterai dengan menggunakan sumber panel surya lebih lama yaitu 6 jam 25 menit sedangkan pengisian baterai dengan menggunakan catu daya hanya membutuhkan waktu 6 jam.

## SUMMARY

**IMPLEMENTATION OF BOOST CONVERTER WITH PID CONTROL ON THE VOLTAGE OUTPUT SOLAR CHARGER;** Roro Rahmawati; 141910201038; 2018; 78 pages; Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

The need for electrical energy is increasing every day. Improved electrical energy caused by modern technology which largely uses electrical energy as its power source. In Indonesia, especially the Java-Bali island uses a steam power plant (PLTU; Indonesia acronym) as a source of electricity. Power plant using coal as the main material to produce steam and then used as electrical energy which if used continuously will be exhausted. Renewable energy will be the solution to the problem of the depletion of fossil resources as the main ingredient manufacturing of electrical energy. Renewable forms of energy the most and have consistently in tropical countries is solar radiation.

Solar radiation can be changed and used as a source of electrical energy using solar panels. The solar panels capable of converting the energy of solar radiation into electricity but the voltage obtained will vary according to a large or small solar radiation. The instability of the output voltage of the solar panel will damage the components using this source. In this study will discuss about stabilizing the output of solar panels, not only stabilized but also will increase the voltage by 24 V to charge the battery. The solar panels used by 10 WP with polycrystalline and battery types are used as the load is 4 V lead acid batteries with a capacity of 950mAh  $\pm$  each arranged in series in order to generate as much as 6 pieces of 24 V.

In this study, we will test and analyze the characteristics of the panel used to determine the parameters of the boost converter input. Tests will also be carried out on the battery to see its characteristics it is used to boost converter had designed as an output parameter. This boost converter uses PID Ziegler-Nichols type 2 control system

or close loop type. The PID ZN 2 control system has a close loop function which means that the PID will continue to loop until the output voltage matches the setpoint. The PID parameter through the ZN 2 method obtained the value of  $K_p = 2.4$ ;  $K_i = 2,2857$ ;  $K_d = 0.63$ . Setpoint on boost converter is made 28 V so that the voltage and energy entering the battery can be maximal.

At the time of data analysis without the boost converter controls the output voltage is not stable or attended a large radiation from the sun and it ranged between 24.33 V - 28.74 V whereas when using PID control stable voltage generated in the amount of 28.11 V. In the overall test data analysis system that solar panels as an energy source then get into the boost converter with PID control and then charge the battery, it looks like a drop charging voltage and takes a long time to setpoint, which is 1 hour 45 minutes different when using a resistor load where the voltage drops but quickly returns to the setpoint with only 16 ms.

Charging the battery using a solar panel source is 6 hours 25 minutes longer while charging the battery using the power supply only takes 6 hours.

## PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang maha kuasa atas segalanya, karena dengan ridho, hidayah dan petunjukNya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “IMPLEMENTASI *BOOST CONVERTER* DENGAN KONTROL PID PADA TEGANGAN *OUTPUT SOLAR CHARGER*”. Selama penyusunan skripsi ini penulis mendapat bantuan berbagai pihak yang turut memberikan bantuan berupa motivasi, inspirasi, bimbingan, doa, fasilitas dan dukungan lainnya yang membantu memperlancar pengerjaan skripsi ini.

Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada.

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rezeki, rahmat, hidayah dan karunia serta kasih sayang-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
2. Nabi besar Muhammad SAW, yang telah menjadi suri tauladan bagi seluruh umat.
3. Ayahanda Ansori dan Ibunda Siti Rufiati yang selalu memberikan motivasi, nasehat, cinta, perhatian, dan kasih sayang serta doa yang tak terhingga.
4. Bapak Bapak Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. selaku Dosen Pembing Utama serta Bapak Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T. dan Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T. selaku dosen penguji yang sudah memberikan saran untuk memperbaiki tugas akhir ini.
6. Bapak Sugianto, A.Md dan segenap keluarga besar Laboratorium Konversi Energi Listrik dan yang telah membimbing penulis selama menjadi asisten Laboratorium Konversi Energi Listrik.
7. Mas Erlangga Septa Andika, S.T. yang tak henti-hentinya memberikan semangat dan perhatian penuh kasih yang luar biasa.

8. Mochammad Al Aziz, S.T., Dhamas Agung Pribadi, S.T. serta Faiq Aprilian Romzi, S.T. yang telah membantu penulis selama pengerjaan tugas skripsi dengan tekun dan tanpa pamrih.
9. Sahabat tercinta Nuha, Faiqotul, Mutiara dan Hanifatus yang telah menemani dan memberikan motivasi serta semangat yang sangat luar biasa.
10. Dulur seperjuangan KETEK UJ 2014 yang telah memberikan motivasi dan semangat dalam perjalanan di bangku kuliah.
11. Keluarga besar Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro yang telah memberikan pengalaman yang luar biasa.
12. Keluarga besar Kerohanian Islam Teknik yang telah memberikan ilmu sangat luar biasa.
13. semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dalam mengembangkan ilmu pengetahuan khususnya untuk disiplin ilmu teknik elektro. Kritik dan saran yang membangun diharapkan terus mengalir untuk lebih menyempurnakan skripsi ini dan dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya.

Jember, 12 November 2018

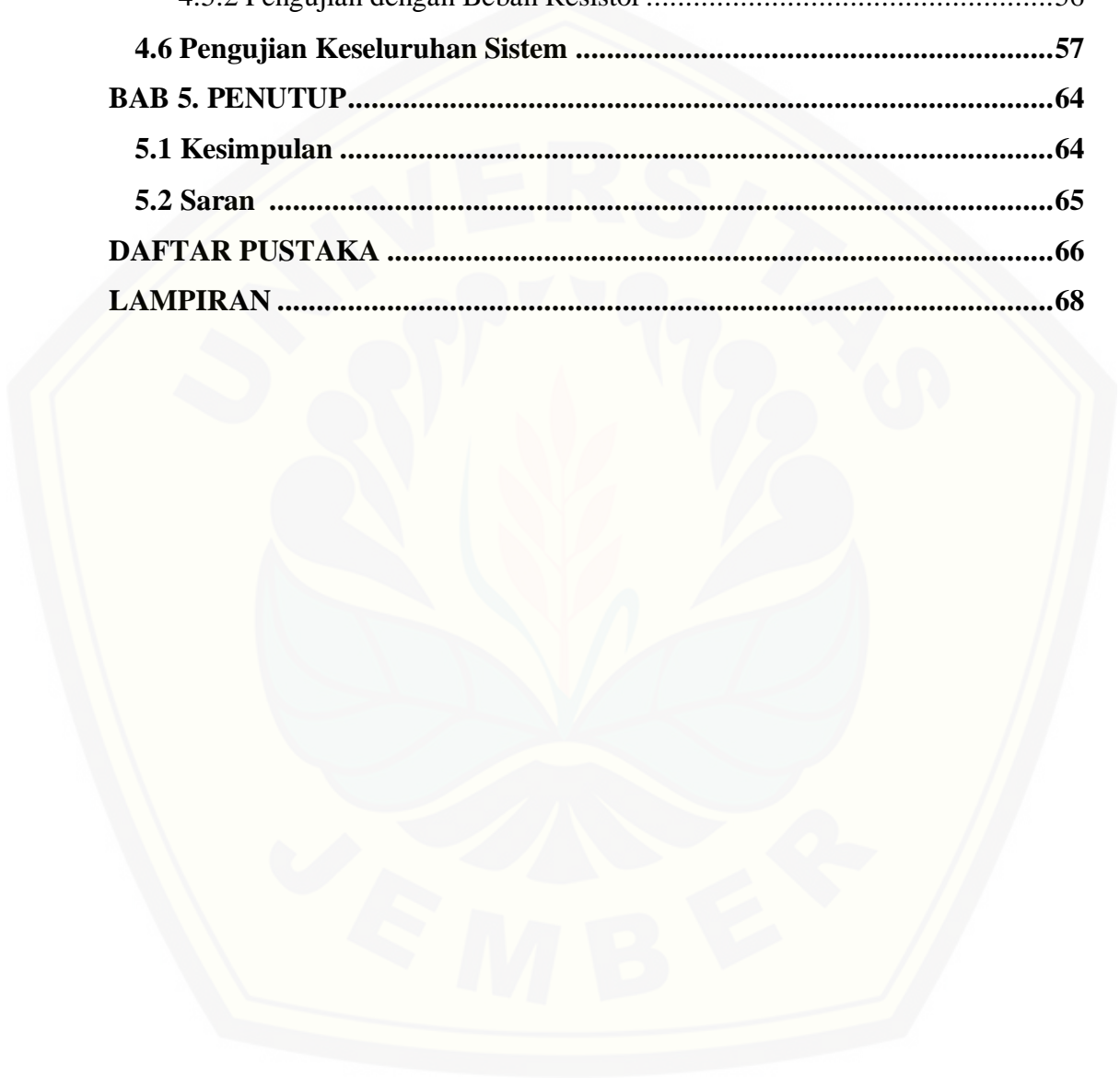
Penulis

DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PEMBIMBING</b> .....	<b>v</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>vi</b>
<b>RINGKASAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>PRAKATA</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xviii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xix</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>2</b>
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	<b>2</b>
<b>1.4 Tujuan Penelitian</b> .....	<b>3</b>
<b>1.5 Manfaat Penelitian</b> .....	<b>3</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1 Penelitian Terkait</b> .....	<b>4</b>
2.1.1 Perancangan Konverter DC ke DC untuk Menstabilkan Tegangan Keluaran Panel Solar Cell Menggunakan Teknologi <i>Boost Converter</i> . (Suwitno, dkk, 2017) .....	<b>4</b>
2.1.2 Rancang Bangun <i>Boost Converter</i> dengan Sistem Kontrol PID pada Robot KRAI 2017 (Devry Berta Irawan, 2017).....	<b>4</b>
<b>2.2 Solar Cell</b> .....	<b>4</b>
<b>2.2 Boost Converter</b> .....	<b>6</b>
2.3.1 Prinsip Kerja DC <i>Boost Converter</i> .....	<b>6</b>

2.3.2 Parameter Perancangan Boost Converter.....	8
<b>2.4 Kontrol PID menggunakan Ziegler Nichols Tuning .....</b>	<b>10</b>
2.4.1 Sistem Kontrol PID.....	10
2.4.2 Ziegler Nichols Tuning.....	11
<b>2.5 Sensor Tegangan DC.....</b>	<b>13</b>
<b>2.6 Sensor Arus .....</b>	<b>14</b>
<b>2.7 Arduino UNO R3.....</b>	<b>14</b>
<b>2.8 Baterai .....</b>	<b>15</b>
<b>2.9 LCD .....</b>	<b>17</b>
<b>2.10 Real Time Clock (RTC).....</b>	<b>18</b>
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>19</b>
<b>3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....</b>	<b>19</b>
3.1.1 Tempat Penelitian .....	19
3.1.2 Waktu Penelitian .....	19
<b>3.2 Alat dan Bahan .....</b>	<b>20</b>
<b>3.3 Kerangka Pemecahan Masalah .....</b>	<b>20</b>
<b>3.4 Blok Diagram Sistem .....</b>	<b>22</b>
<b>3.5 Perancangan Komponen Pengendali (<i>Hardware</i>) .....</b>	<b>24</b>
3.5.1 Sensor Tegangan .....	24
3.5.2 Perancangan Sistem .....	25
3.5.3 Arduino UNO R3 .....	25
3.5.4 Kontrol PID pada Arduino UNO R3 .....	26
<b>3.6 Perancangan <i>Solar Charger</i> .....</b>	<b>27</b>
<b>3.7 Perancangan Tegangan <i>Charging</i> Baterai .....</b>	<b>27</b>
<b>3.8 Perancangan <i>Boost Converter</i> .....</b>	<b>28</b>
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>33</b>
<b>4.1 Pengujian Panel Surya 10 WP .....</b>	<b>34</b>
4.1.1 Pengujian dengan Variasi Beban .....	36
<b>4.2 Pengujian Baterai .....</b>	<b>38</b>
<b>4.3 Pengujian <i>Duty Cycle</i> dari <i>Boost Converter</i> .....</b>	<b>41</b>
4.3.1 Pengujian Tanpa Beban .....	41

4.3.2 Pengujian dengan Beban .....	45
<b>4.4 Analisa Perhitungan Kontrol PID .....</b>	<b>49</b>
<b>4.5 Pengujian <i>Boost Converter</i> .....</b>	<b>54</b>
4.5.1 Pengujian Tanpa Beban .....	54
4.5.2 Pengujian dengan Beban Resistor .....	56
<b>4.6 Pengujian Keseluruhan Sistem .....</b>	<b>57</b>
<b>BAB 5. PENUTUP .....</b>	<b>64</b>
<b>5.1 Kesimpulan .....</b>	<b>64</b>
<b>5.2 Saran .....</b>	<b>65</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>66</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>68</b>





DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 <i>Solar Cell</i> 10 WP .....	5
Gambar 2.2 Kurva Karakteristik I dan V Panel Surya .....	5
Gambar 2.3 Skema <i>Boost Converter</i> .....	7
Gambar 2.4 MOSFET <i>Boost Converter</i> ON .....	7
Gambar 2.5 MOSFET <i>Boost Converter</i> OFF.....	8
Gambar 2.6 Hasil Sinyal dari Arus <i>Supply</i> , Arus Dioda, Arus induktor dan Tegangan Masing-masing Induktor .....	8
Gambar 2.7 Bentuk Paralel dari Kontrol .....	11
Gambar 2.8 Kurva S Analisa Grafis <i>Ziegler Nichols 1</i> .....	12
Gambar 2.9 Osilasi Sistem pada Metode <i>Ziegler-Nichols 2</i> .....	12
Gambar 2.10 Rangkaian Sensor Tegangan.....	13
Gambar 2.11 Sensor Arus .....	14
Gambar 2.12 Modul Kontroler Arduino UNO-R3 .....	14
Gambar 2.13 <i>Battery</i> atau <i>Accumulator</i> .....	17
Gambar 2.14 LCD ( <i>Liquid Crystal Display</i> ) .....	18
Gambar 2.17 Modul <i>Real Time Clock</i> ( RTC ) DS1307 .....	18
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian .....	21
Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem .....	23
Gambar 3.3 Skematik Sensor Tegangan .....	24
Gambar 3.4 Rangkaian Driver MOSFET .....	25
Gambar 3.5 Diagram Kontrol PID .....	26
Gambar 3.6 Desain <i>Solar Charger</i> .....	27
Gambar 3.7 Skematik Rangkaian <i>Boost Converter</i> .....	28
Gambar 4.1 Karakteristik Daya Terhadap Radiasi Matahrai Panel Surya 10 WP.	35
Gambar 4.2 Karakteristik Tegangan dan Arus Panel Surya 10 WP dengan Variasi Beban .....	37
Gambar 4.3 Karakteristik Daya dan Tegangan Panel Surya 10 WP dengan Variasi Beban .....	37

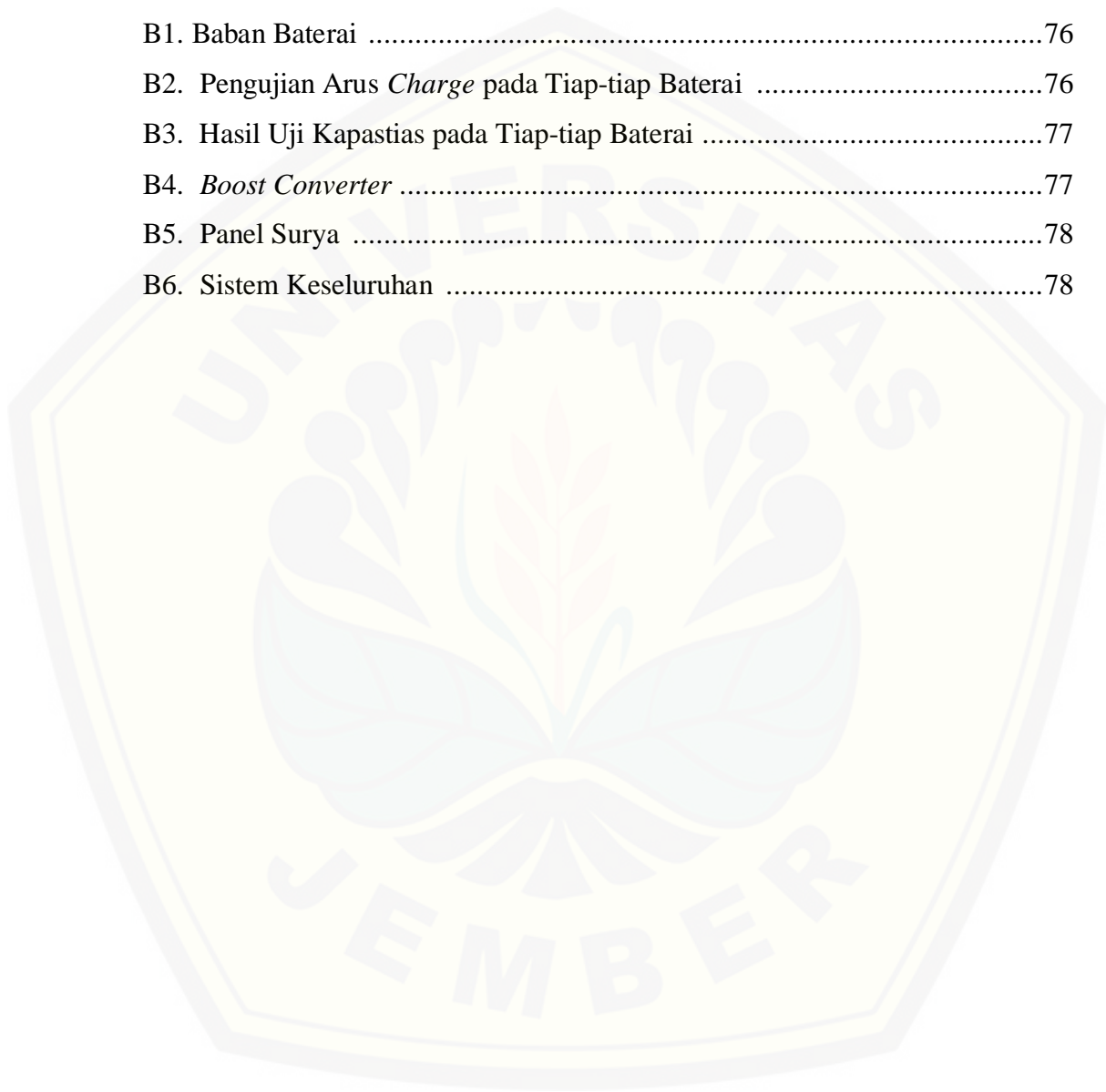
Gambar 4.4 Karakteristik Baterai Pada Saat <i>Discharge</i> .....	41
Gambar 4.5 Hasil Perbandingan Tegangan <i>Input</i> dengan Tegangan <i>Output Boost Converter</i> .....	45
Gambar 4.6 Pengaruh <i>Duty Cycle</i> terhadap Tegangan <i>Output Boost Converter</i> ...	48
Gambar 4.7 Pengaruh <i>Duty Cycle</i> Terhadap Arus <i>Output Boost Converter</i> .....	48
Gambar 4.8 Pengaruh <i>Duty Cycle</i> Terhadap Daya <i>Output Boost Converter</i> .....	49
Gambar 4.9 Struktur Kontrol PID .....	49
Gambar 4.10 Hasil Osilasi secara Kontinu .....	51
Gambar 4.11 Hasil Sistem Kontrol PID .....	53
Gambar 4.12 Hasil Gelombang pada saat <i>Duty Cycle</i> 33 %.....	54
Gambar 4.13 Perbandingan Hasil antara Tanpa Kontrol dengan Kontrol PID ....	56
Gambar 4.14 Hasil Tegang <i>output</i> dengan beban 198,9 $\Omega$ pada <i>Boost Converter</i> .....	56
Gambar 4.15 Hasil Tegang <i>output</i> dengan beban 399 $\Omega$ pada <i>Boost Converter</i> ..	57
Gambar 4.16 Hasil Tegangan <i>Ouput</i> pada Pengujian Keseluruhan Sistem. ....	61
Gambar 4.17 Perbandingan antara Tegangan dan Waktu <i>Charging</i> menggunakan <i>Solar Charging</i> .....	62
Gambar 4.19 Arus <i>Charging</i> pada Baterai menggunakan <i>Solar Charger</i> .....	62

**DAFTAR TABEL**

	Halaman
Tabel 2.1 Spesifikasi <i>Solar Cell</i> 10 WP .....	6
Tabel 2.2 Formula <i>Ziegler Nichols</i> 1 .....	12
Tabel Spesifikasi Arduino UNO-R3 .....	15
Tabel 2.4 Spesifikasi Baterai ANTEL Sealed Lead Acid AT1712L Rechargeable .....	16
Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Selama Waktu Penelitian .....	19
Tabel 3.2 Parameter DC/DC <i>Boost Converter</i> .....	28
Tabel 3.3 Spesifikasi Modul Surya .....	31
Tabel 4.1 Karakteristik Arus dan Tegangan Panel Surya 10 WP .....	34
Tabel 4.2 Pengujian Panel Surya dengan Variasi Beban .....	36
Tabel 4.3 Nilai Kapasitas pada Tiap-tiap Baterai ANTEL AT1713L .....	38
Tabel 4.4 Pengujian Karakteristik Baterai pada saat <i>Charge</i> .....	39
Tabel 4.5 Pengujian Karakteristik Baterai pada saat <i>Discharge</i> .....	40
Tabel 4.6 Pengujian Tanpa Beban pada <i>Duty Cycle Boost Converter</i> .....	42
Tabel 4.7 Pengujian dengan Hambatan Resistor 198,9 $\Omega$ <i>Duty Cycle Boost Converter</i> .....	46
Tabel 4.8 Pengujian dengan Hambatan Resistor 399 $\Omega$ <i>Duty Cycle Boost Converter</i> .....	47
Tabel 4.9 Hasil Kontrol PID <i>Ziegler-Nichols</i> II .....	52
Tabel 4.10 Karakteristik <i>Boost Converter</i> Tanpa Beban .....	55
Tabel 4.11 Pengujian Keseluruhan Sistem .....	58
Tabel 4.12 Sistem Kontrol PID pada Pengujian Keseluruhan Sistem .....	60

**DAFTAR LAMPIRAN**

	<b>Halaman</b>
A. Listing Program .....	69
B. Lampiran Gambar .....	76
B1. Baban Baterai .....	76
B2. Pengujian Arus <i>Charge</i> pada Tiap-tiap Baterai .....	76
B3. Hasil Uji Kapastias pada Tiap-tiap Baterai .....	77
B4. <i>Boost Converter</i> .....	77
B5. Panel Surya .....	78
B6. Sistem Keseluruhan .....	78



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Dewasa ini kebutuhan akan listrik sangat meningkat, baik kebutuhan industri, perkantoran, rumah tangga, masyarakat umum sampai perorangan. Listrik sendiri merupakan aliran atau penggerak elektron-elektron yaitu partikel bermuatan negatif yang ditemukan pada suatu atom (Joyce James dkk, 2008). Menurut Aib Saripudin sales engineering di PT. Indonesia Hanshin Electric Wire & Cable listrik merupakan energi yang paling banyak dimanfaatkan manusia. Peningkatan kebutuhan listrik tersebut, mengakibatkan menipisnya sumber tenaga listrik dengan bahan bakar batu bara pada PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) dan PLTGU (Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap). Masalah menipisnya batu bara di perut bumi ini membuat masyarakat mulai beralih menggunakan energi terbarukan meliputi matahari, angin, air, gelombang samudra, panas bumi, biomasa dan sumber energi lain yang berasal dari energi matahari yang secara alamiah terus menerus terbaru (*The Word Council for Renewable Energy*, 2006).

Energi terbarukan yang paling banyak disekitar manusia adalah matahari. Radiasi dari panas matahari kemudian dimanfaatkan dengan mengubahnya menjadi energi listrik. Alat yang mampu mengubah energi matahari menjadi energi listrik merupakan sel surya. Menurut Susilo (2011:4) energi matahari yang dikeluarkan hanya 69% dari total pancaran matahari yang diterima oleh permukaan bumi dimana energi ini setara dengan  $2 \times 10^{17}$  Watt pertahun, jika permukaan bumi ditutupi dengan sel surya sebesar 0,1% yang memiliki efisiensi 10% maka sudah mampu menutupi kebutuhan listrik saat ini.

*Solar cell* akan menghasilkan tegangan sesuai dengan besarnya radiasi matahari yang dipancarkan matahari, sehingga tegangan *output* dari *solar cell* tidak akan stabil. Menurut Suwitno dkk (2017:10) variasi tegangan yang dihasilkan *solar cell* akan menyebabkan kerusakan beban serta mengakibatkan *cost* yang mahal. Tegangan yang bervariasi dari *output solar cell* harus di stabilkan sehingga diperlukannya *converter DC to DC* dan sebuah kontrol pengendali dari *converter* tersebut.

Pada penelitian sebelumnya Perancangan Konverter DC ke DC untuk Menstabilkan Tegangan Keluaran Panel Solar Cell Menggunakan Teknologi *Boost Converter*. (Suwitno, dkk, 2017). Pada penelitian ini membuat perancangan penstabil tegangan *output* dari panel surya 100 WP, yang mana diketahui panel surya memiliki tegangan *output* yang berubah-ubah mengikuti radiasi matahari. Panel surya yang digunakan memiliki tegangan *output* yang bervariasi antara 13,50 V sampai 20,8 V, kemudian tegangan akan diubah menjadi 24 V. Hasil dari keluaran panel surya kemudian di stabilkan menggunakan konverter DC to DC, karena penulis membutuhkan tegangan yang lebih besar daripada tegangan *input* maka dibutuhkan teknologi *boost converter*.

Penulis mencoba untuk melakukan penelitian yang berjudul “**Implementasi *Boost Converter* dengan Kontrol PID pada Tegangan *Output Solar Charger*”**”. Penelitian ini akan membuat sistem charger pada baterai yang mana menggunakan panel surya 10 WP sebagai sumber energinya serta menggunakan baterai sebesar 24 V. Tegangan keluaran panel surya akan di naikkan tegangannya yaitu menggunakan *boost converter* hingga diperoleh tegangan *output* untuk *charger* baterai dengan kontrol PID sebagai pengendali tegangan keluaran yang stabil.

## 1.2 Rumusan masalah

Penelitian ini memiliki beberapa rumusan masalah, diantaranya sebagai berikut :

1. Bagaimana perancangan *boost converter* pada sistem *solar charger*.
2. Bagaimana perancangan sistem kontrol PID pada tegangan keluaran *boost converter* pada sistem *solar charger*.
3. Bagaimana tegangan keluaran dari *solar charger* menggunakan *boost converter* untuk charger baterai.

## 1.3 Batasan Masalah

Pada batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Panel Surya yang digunakan hanya 10 WP jenis *polycrystalline*.

2. Beban yang digunakan adalah baterai 4 V yang disusun secara seri sebanyak 6 buah dengan kapasitas 1000 mAh.
3. Pada analisa tidak membahas mengenai suhu, kelembapan dan kemiringan panel surya.
4. Pengujian solar charger menggunakan boost converter dilakukan pada charger baterai.
5. Analisa hanya difokuskan pada tegangan kaluaran solar charger menggunakan boost converter.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Pada penelitian ini memiliki tujuan yang akan dicapai yaitu sebagai berikut:

1. Mengetahui perancangan *boost converter* pada sistem *solar charger*.
2. Mengetahui perancangan sistem kontrol PID pada tegangan keluaran *boost converter* pada sistem *solar charger*.
3. Mengetahui tegangan keluaran dari *solar charger* menggunakan *boost converter* untuk charger baterai.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan solusi terhadap pemanfaat energi matahari sebagai sumber energi listrik.
2. Mengoptimalkan tegangan keluaran pada panel surya 10 WP menggunakan *boost converter*.
3. Dapat digunakan sebagai literatur pada saat perancangan dan atau pembangunan sebuah energi terbarukan skala kecil yang berkaitan dengan *boost converter*.
4. Dapat digunakan sebagai solusi bagi masyarakat pada umumnya dan Universitas Jember pada khususnya sebagai penyedia energi listrik melalui energi terbarukan.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terkait

Penelitian terkait ini adalah pengembangan dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

#### 2.1.1 Perancangan Konverter DC ke DC untuk Menstabilkan Tegangan Keluaran Panel Solar Cell Menggunakan Teknologi *Boost Converter*. (Suwitno, dkk, 2017)

Pada penelitian ini membuat perancangan penstabil tegangan *output* dari panel surya 100 WP, yang mana diketahui panel surya memiliki tegangan *output* yang berubah-ubah mengikuti radiasi matahari. Panel surya yang digunakan memiliki tegangan *output* yang bervariasi antara 13,50 V sampai 20,8 V, kemudian tegangan akan diubah menjadi 24 V. Hasil dari keluaran panel surya kemudian di stabilkan menggunakan konverter DC to DC, karena penulis membutuhkan tegangan yang lebih besar daripada tegangan *input* maka dibutuhkan teknologi *boost converter*.

#### 2.1.2 Rancang Bangun *Boost Converter* dengan Sistem Kontrol PID pada Robot KRAI 2017 (Devry Berta Irawan, 2017)

Penelitian pada “Rancang Bangun *Boost Converter* dengan Sistem Kontrol PID pada Robot KRAI 2017” oleh Devry Berta Irawan, 2017 ini membuat rancang bangun *boost converter* yang digunakan pada Robot KRAI 2017. Fungsi dari *boost converter* adalah untuk menaikkan tegangan sesuai dengan kebutuhan dari Robot yaitu 12 V, namun tegangan dari catu daya tidak selalu stabil sehingga diperlukannya sebuah kontrol. Kontrol PID yang dipilih ada PID manual *tunning*, yaitu dengan menentukan nilai  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  secara bebas dengan berpedoman sifat dari masing-masing konstanta.

### 2.2 Solar Cell

Sel surya adalah sebuah alat yang tersusun dari material semikonduktor yang dapat mengubah sinar matahari menjadi tenaga listrik secara langsung (Novi, 2014). Pada sel surya terdiri atas sambungan p-n yang sama fungsinya dengan



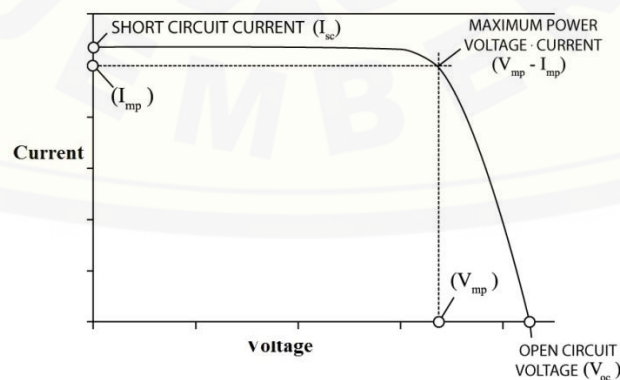
diode. Prinsip kerjanya ketika sinar matahari mengenai permukaan dari sel surya, maka energi yang dibawa oleh sinar matahari tersebut akan diserap oleh electron pada sambungan p ke n dan selanjutnya mengalir ke luar melalui kabel yang terpasang ke sel. Sel-sel itu terbuat dari Kristal silicon yang dikembangkan dalam bentuk ingot atau batang tuangan. Dalam potongan tipis yang disambungkan melalui elektroda untuk membentuk sel.



Gambar 2.1 Solar Cell 10 WP

(Sumber: <https://sites.google.com>)

Bagian utama pengubah energi sinar matahari menjadi listrik adalah *absorber*. Sinar matahari terdiri dari bermacam-macam jenis gelombang elektromagnetik yang berupa *spektrum elektromagnetik*. Oleh karena itu absorber disini diharapkan dapat menyerap sebanyak mungkin solar radiation yang berasal dari cahaya matahari. Intensitas radiasi matahari tergantung pada posisi geografis, waktu, hari tahun, kondisi iklim, komposisi atmosfer, ketinggian, dan berbagai faktor lainnya. Pada Gambar 2.21 menunjukkan kurva karakteristik I dan V pada panel surya seperti berikut:



Gambar 2.2 Kurva Karakteristik I dan V Panel Surya

(Sumber : <https://www.smg.b2tke.bppt.go.id>)

Pada kurva di atas  $V_{mp}$  merupakan tegangan maksimum dan  $I_{mp}$  adalah arus maksimum. Jumlah daya (watt) pada batas maksimum ditentukan dengan perkalian dari  $V_{mp}$  dan  $I_{mp}$ . *Open Circuit Voltage Voc*, adalah kapasitas tegangan maksimum yang dapat dicapai pada saat tidak adanya arus (*current*), sehingga daya yang dihasilkan adalah 0 (nol). *Short Circuit Current Isc*, adalah maksimum keluaran arus dari panel surya yang dapat dikeluarkan di bawah kondisi dengan tidak ada resistansi atau short circuit. Daya pada  $I_{sc}$  adalah 0 watt.

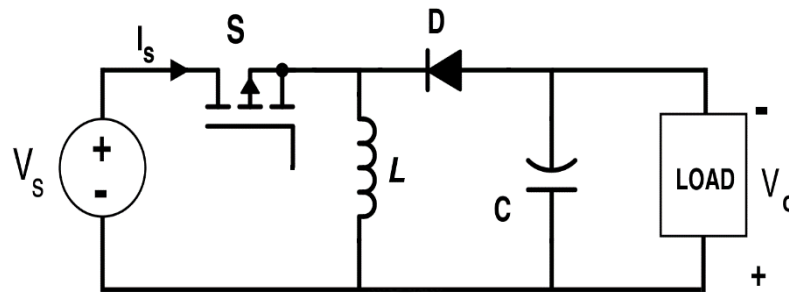
Berikut ini adalah tabel spesifikasi dari *Solar Cell 10 WP* dapat kita lihat pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 2.1 Spesifikasi *Solar Cell 10 WP*

Spesifikasi	Keterangan
Max. Power (Pmax)	10W
Max. Power Voltage (Vmp)	17.2V
Max. Power Current (Imp)	0.58A
Open Circuit Voltage (Voc)	20.64V
Short Circuit Current (Isc)	0.65A
Nominal Operating Cell Temp (NOCT)	45±2°C
Max. System Voltage	1000V
Max. Series Fuse	16A
Weight	1.5Kg
Dimension	415 x 245 x 20 mm

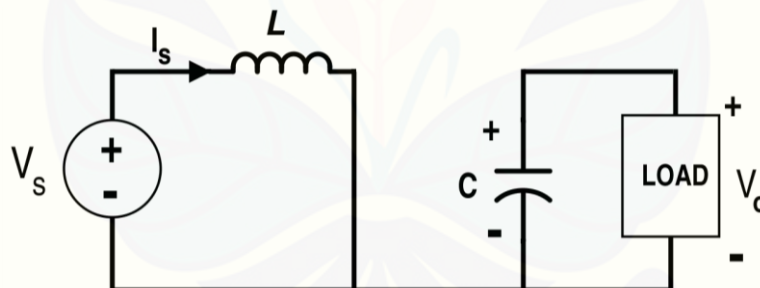
### 2.3 Boost Converter

*Boost converter* adalah salah satu DC-DC *converter* yang dapat menaikkan tegangan DC berdasarkan *Duty-Cycle* mosfet pada rangkaian *boostcoverter*. Konverter *boost* berfungsi untuk menghasilkan tegangan keluaran yang lebih tinggi dibanding tegangan masukannya, atau biasa disebut dengan konverter penaik tegangan. Konverter ini banyak dimanfaatkan untuk aplikasi pembangkit listrik tenaga surya dan turbin angin. Skema konverter jenis ini dapat dilihat pada gambar 2.3, dimana komponen utamanya terdiri atas MOSFET, dioda, induktor, dan kapasitor.

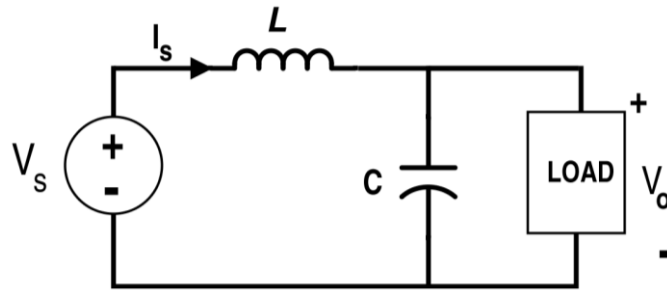
Gambar 2.3 Skema *Boost Converter*(Sumber: <https://www.allaboutcircuits.com>)

### 2.3.1 Prinsip Kerja DC *Boost Converter*

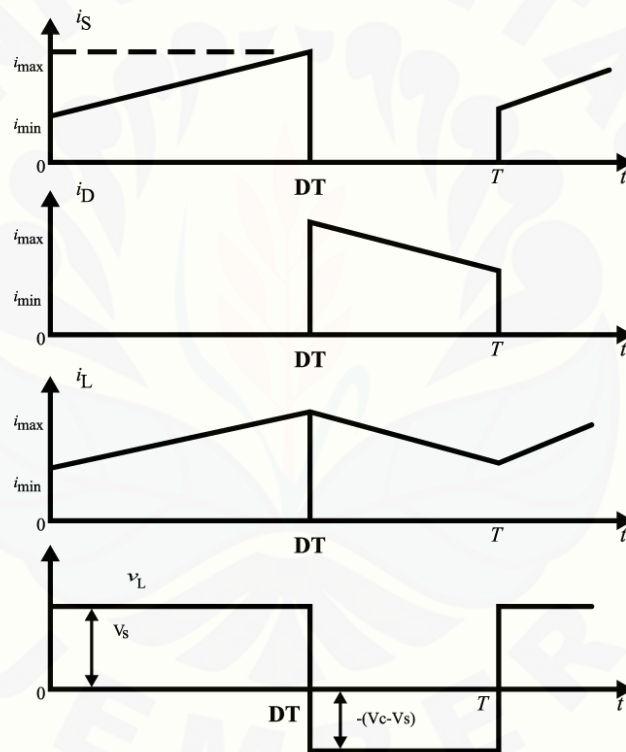
- a. MOSFET yang digunakan pada rangkaian DC Chopper Tipe Boost adalah bertindak sebagai saklar yang dapat membuka atau menutup rangkaian sehingga arus dapat dikendalikan sesuai dengan *duty cycle* yang diinginkan. Kinerja dari *boost converter* dapat dibagi menjadi 2 kerja utama, yaitu : Ketika MOSFET on (tertutup) dan dioda *off*, arus mengalir searah jarum jam dari sumber menuju ke induktor (terjadi pengisian arus pada induktor). Polaritas induktor pada sisi kiri lebih positif dibandingkan sisi kanannya.

Gambar 2.4 MOSFET *Boost Converter* ON(Sumber : <https://www.allaboutcircuits.com>)

- b. Ketika MOSFET off (terbuka) dan dioda *on*, arus yang disimpan di induktor akan berkurang karena impedansi yang lebih tinggi. Berkurangnya arus pada induktor menyebabkan induktor tersebut melawannya dengan membalik polaritasnya (lebih negatif pada sisi kiri). Sehingga, arus yang mengalir pada dioda dan pada beban adalah penjumlahan antara arus pada sumber dan arus pada induktor (seri). Disaat yang bersamaan kapasitor juga akan melakukan penyimpanan energi dalam bentuk tegangan. Itulah sebabnya *boost converter* memiliki keluaran yang lebih tinggi dibandingkan dengan masukannya.

Gambar 2.5 MOSFET *Boost Converter* OFF(Sumber: <https://www.allaboutcircuits.com>)

Pada gambar dibawah ini menunjukkan tegangan *output* dan juga bentuk gelombang yang dihasilkan.

Gambar 2.6 Hasil Sinyal dari Arus *Supply*, Arus Dioda, Arus Induktor dan Tegangan masing-masing Induktor(Sumber: <https://www.allaboutcircuits.com>)

### 2.3.2 Parameter Perancangan Boost Converter

Berikut empat parameter yang diperlukan untuk menghitung daya:

- Rentang Tegangan Input:  $V_{in(min)}$  dan  $V_{in(max)}$

- b. Nominal Tegangan Output:  $V_{out}$
- c. Output Arus Max :  $I_{out}$
- d. Rangkaian yang terintegrasi yang digunakan untuk membangun boost converter. Hal ini diperlukan, karena beberapa parameter untuk perhitungan harus diambil dari data sheet dari komponen yang digunakan dalam perancangan.

#### Langkah-langkah Perancangan *Boost Converter*

##### 1) Penentuan *Duty Cycle*

$$D = 1 - \frac{V_{in(min)} \times \eta}{V_{out}} \quad (2.1)$$

Keterangan :

$D$  : *Duty Cycle*

$V_{in(min)}$  : Tegangan masukan minimum

$V_{out}$  : Tegangan Keluaran

$\eta$  : Efisiensi dari boost converter

##### 2) Menghitung Estimasi Arus Ripple Induktor

$$\Delta I_L = 0.2 \text{ s. d } 0.4 \times I_{OUT(min)} \times \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \quad (2.2)$$

Keterangan :

$\Delta I_L$  : Arus ripple induktor

$I_{OUT(min)}$  : Arus keluaran minimum

$V_{IN}$  : Tegangan Keluaran

##### 3) Menghitung Arus keluaran maksimum

$$I_{MAXOUT} = \left( I_{LIM(min)} - \frac{\Delta I_L}{2} \right) \times (1 - D) \quad (2.3)$$

Keterangan :

$I_{MAXOUT}$  : Arus keluaran Maksimum

$I_{LIM(min)}$  : Nilai batas minimum arus saat *switching* (tergantung *data sheet*)

##### 4) Menentukan Besarnya Induktansi

$$L = \frac{V_{IN} \times (V_{OUT} - V_{IN})}{\Delta I_L \times f_s \times V_{OUT}} \quad (2.4)$$

Keterangan :

$f_s$  : Frekuensi *switching*

##### 5) Menentukan arus ripple

$$\Delta I_L = \frac{V_{IN(min)} \times D}{f_s \times L} \quad (2.5)$$

6) Menentukan Besarnya Kapasitansi

$$C_{OUT(min)} = \frac{I_{OUT(max)} \times D}{f_s \times \Delta V_{OUT}} \quad (2.6)$$

Keterangan :

$C_{OUT(min)}$  : kapasitansi minimum

$\Delta V_{OUT}$  : ripple tegangan keluaran

7) Menentukan Ripple Tegangan Keluaran

$$\Delta V_{OUT(ESR)} = ESR \left( \frac{I_{OUT(min)}}{1-D} + \frac{\Delta I_L}{2} \right) \quad (2.7)$$

8) Menentukan besarnya resistansi yang digunakan sebagai beban

$$R = \frac{V_o}{I_o} \quad (2.8)$$

Keterangan :

R : Resistansi

## 2.4 Kontrol PID menggunakan Ziegler Nichols Tuning

### 2.4.1 Sistem Kontrol PID

Menurut Brian R Copeland (2008:3) kontrol PID merupakan pengendali yang paling umum digunakan dalam industri dengan beberapa kesulitan untuk pengendalian dan aspek instrumentasi yang digunakan sebagai *tuning* untuk stabilitas dan kinerja sementara yang baik. Sistem kontrol PID terdiri dari tiga struktur pengendali yaitu kontrol P (*Proportional*), D (*Derivative*) dan I (*Integral*), dengan bentuk paralel dari pengontrolan PID.

Komponen P (*Proportional*) akan menghasilkan sinyal kontrol yang besarnya proporsional atau sebanding terhadap besarnya *error*. Komponen I (*Integral*) berfungsi untuk menghilangkan *offset* untuk kondisi beban atau gangguan yang berubah. Komponen D tidak dapat berdiri sendiri, karena komponen D memerlukan *input* agar dapat mengeluarkan *output*. Untuk itu komponen D biasanya dikombinasikan dengan P dan PI.

Implementasi pada masing-masing cara dapat bekerja sendiri maupun gabungan diantaranya. Perancangan sistem kontrol PID yang perlu dilakukan adalah mengatur parameter P, I atau D agar tanggapan sinyal keluaran sistem

terhadap masukan tertentu sebagaimana yang diinginkan. (Muhammad Ali, 2004).

Bentuk paralel dari pengontrol PID memiliki fungsi sebagai berikut ini :

$$\begin{aligned} C_{(s)} &= K_P + \frac{K_i}{s} + K_d s \\ &= K_P \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \end{aligned} \quad (2.9)$$

Keterangan :

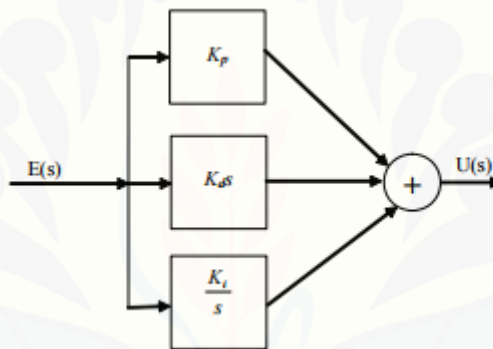
$K_P$  = Proposional Gain

$T_i$  = Reset Time =  $K_P/K_i$

$K_i$  = Integral Gain

$T_d$  = Rate Time or Deivative Time

$K_d$  = Derivative Gain



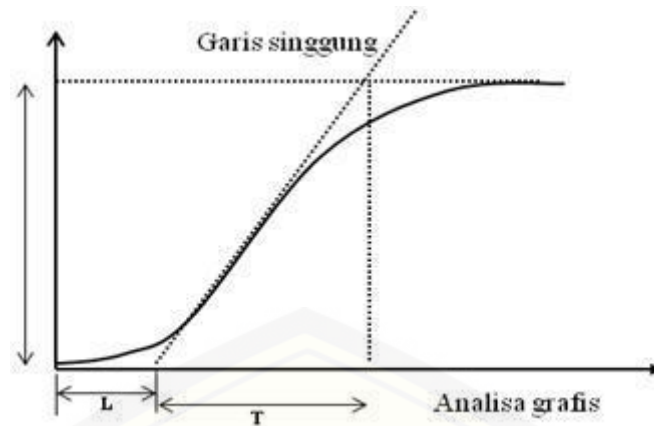
Gambar 2.7 Bentuk Paralel dari Kontrol PID

(Sumber : [www.educyclopedia.karadimov.info](http://www.educyclopedia.karadimov.info))

#### 2.4.2 Ziegler Nichols Tuning

Metode tuning PID yang terkenal adalah metode *Ziegler-Nichols* metode 1 dan 2, metode tuning *Ziegler-Nichols* dilakukan dengan eksperimen (asumsi model belum diketahui). Metode ini bertujuan untuk pencapaian maximum overshoot (MO) : 25 % terhadap masukan *step*.

Metode *Ziegler-Nichols* 1 dilakukan berdasar eksperimen, dengan memberikan *input step* pada sistem, dan mengamati hasilnya sistem harus mempunyai *step response* (respons terhadap *step*) berbentuk kurva S,



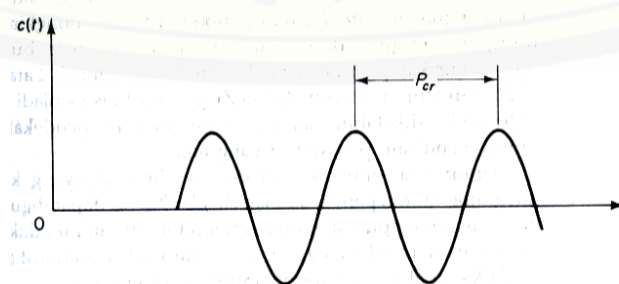
Gambar 2.8 Kurva S Analisa Grafis Ziegler Nichols 1

Aturan perpotongan garis lurus terjadi pada kondisi linier dari kurva S respon sistem. Ketepatan dalam pengambilan perpotongan ini sangatlah penting karena menentukan parameter T dan L yang menjadi acuan dari kontroler.

Tabel 2.2 Formula Ziegler Nichols 1

Tipe Pengendali	Kp	Ti	Td
P	$T/L$	$\infty$	0
PI	$0.9T/L$	$L/0.3$	0
PID	$1.2T/L$	$2L$	$0.5L$

Metode ziegler-nichols 2 berguna untuk sistem yang mungkin mempunyai *step response* berosilasi terus menerus dengan teratur metode dilakukan dengan eksperimen dengan memberikan kontroler P pada suatu sistem close loop dengan *plant* terpasang Lalu nilai Kp ditambahkan sampai system berosilasi terus menerus dengan teratur, nilai Kp saat itu disebut penguatan kritis ( $K_{cr}$ ) Periode saat itu disebut periode kritis ( $P_{cr}$ )



Gambar 2.9 Osilasi Sistem pada Metode Ziegler-Nichols 2

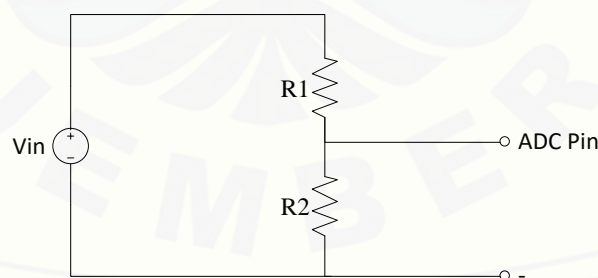


Tabel 2.6 Formula *Ziegler Nichols 2*

Tipe Pengendali	Kp	Ti	Td
P	$0.5K_{cr}$	$\infty$	0
PI	$0.45K_{cr}$	$1/1.2P_{cr}$	0
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

## 2.5 Sensor Tegangan DC

Sensor tegangan DC adalah sensor yang digunakan untuk mendeteksi tegangan dari listrik arus searah dengan keluaran tegangan analog untuk ADC pada mikrokontroler sebesar 5 Volt. Sensor ini berprinsip pada rangkaian pembagi tegangan yaitu menggunakan 2 resistor yang dirangkai secara seri seperti ditunjukkan pada gambar 2.10, pada sensor ini harus memiliki daya yang rendah agar tidak membuang energi listrik yang dikeluarkan oleh sumber energi listrik pada sensor tegangan DC tersebut. Oleh karena itu nilai resistor yang digunakan harus memiliki nilai resistansi yang tinggi.  $V_{in}$  adalah tegangan input pada sensor tegangan, R1 dan R2 adalah resistor pembanding agar keluaran  $V_o$  untuk masukkan PIN ADC pada mikrokontroler ketika tegangan  $V_{in}$  tertinggi mengeluarkan tegangan 5 Volt, dengan persamaan untuk mencari nilai – nilai resistor R1 dan R2 ditunjukkan pada persamaan 2.10.



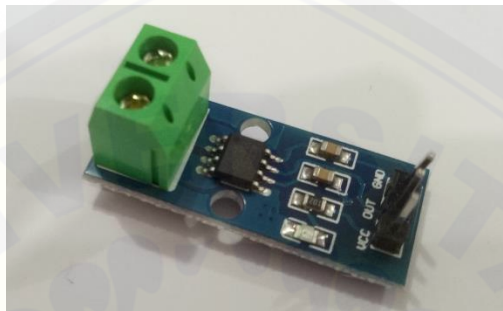
Gambar 2.10 Rangkaian Sensor Tegangan

$$V_o = V_{in} \times \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \quad (2.10)$$

## 2.6 Sensor Arus

ACS712 adalah sensor arus yang digunakan untuk membaca besarnya nilai arus dalam suatu rangkaian listrik arus searah (DC) maupun arus bolak-balik (AC). Sensor arus ini memiliki jalur sinyal analog rendah gangguan, *bandwidth* 80 kHz dengan total kesalahan 1,5% pada saat suhu 25 ° C.

ACS712 tersedia dalam 3 pin Paket SOIC8. Perangkat ACS712 ditentukan untuk kisaran suhu -40 ° C sampai + 85 ° C.

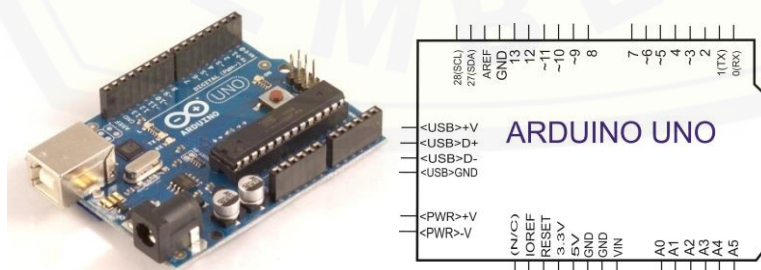


Gambar 2.11 Sensor Arus

## 2.7 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.

Gambar 2.12 (a) adalah modul Arduino UNO-R3 sedangkan Gambar 2.12 (b) menunjukkan skema dari modul Arduino UNO-R3 yang merupakan penyederhanaan dari gambar modul aslinya (Arduino UNO 2015).



Gambar 2.12 Modul Kontroler Arduino UNO-R3

(Sumber : [www.arduino.com](http://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 $\Omega$  yang secara *default* tidak tersambung (*disconnected*).

Berikut ini adalah tabel spesifikasi dari Arduino Uno R3 dapat kita lihat pada Tabel 2.8 dibawah ini.

Tabel 2.3 Spesifikasi Arduino UNO-R3

Microcontroller	ATmega328
TeganganOperasi	5 V
Tegangan Input	7-12 V
Tegangan Input (Batas)	60-20 V
I/O Digital	14 (6 buahmenyediakan 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
KecepatanKlok	16 MHz
Diterjemahkandari: (Arduino UNO 2015)	

## 2.8 Baterai

Penelitian ini menggunakan kapasitas 500mAh dan memiliki tegangan 4V. Aki kering atau *maintenance free battery* ini sebenarnya tidak benar benar kering karena tetap menggunakan *liquid* H<sub>2</sub>S<sub>04</sub> sebagai salah satu unsur utama untuk menyimpan enerli listrik. Unsur utama dalam materal *cell/plat* adalah Ca atau *calcium*, dimana bahan tersebut mempunyai sifat sedikit adanya proses penguapan air disbanding dengan bahan aki yang lain. Pada penelitian ini baterai yang digunakan adalah Baterai ANTEL Sealed Lead Acid AT1712L Rechargeable yang mana spesifikasi dari baterai dapat dilihat pada tabel 2.8 sebagai berikut :

Tabel 2.4 Spesifikasi Baterai ANTEL Sealed Lead Acid AT1712L Rechargeable

Spesifikasi	Sealed Lead Acid
Energi spesifik (Wh/kg)	
Resistenasi Internal	Sangat Rendah
Waktu <i>Fast Charge</i>	5 - 12 jam
Toleransi <i>Overcharge</i>	Tinggi
<i>Self-discharge</i> Perbulan	5 %
Tegangan Sel (nominal)	2 V
Tegangan <i>cutoff charge</i> (V/cell)	2,38
	Float 2,23
Tegangan <i>cutoff discharge</i> (V/cell, IC)	1,75
<i>Arus load peak</i>	
<i>Best Result</i>	0,2 C
Suhu <i>Charge</i>	0°C - 40 °C
Suhu <i>Discharge</i>	-15 °C – 50 °C

Penelitian ini akan menggunakan baterai sebesar 24 V, sehingga baterai yang digunakan sebesar 6 atau 6×4V. Pada saat *charge* baterai dapat dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$T_1 = (C/I) + \varphi_1 \quad (2.12)$$

Keterangan :

I : Arus pengisian (A)

C : Kapasitas (Ah)

T<sub>1</sub> : Waktu yang diinginkan (Hour)

ϕ<sub>1</sub> : % Deefisiensi (20%)

Sedangkan pada saat *discharge* baterai memiliki *deep of discharge* sebesar 80%, sehingga untuk mencari Ah baterai untuk beban menggunakan persamaan berikut :

$$Ah = \frac{Ah \text{ baterai}}{0,8} \quad (2.12)$$

$$= \frac{1000 \text{ mAh}}{0,8} = 1250$$

mAh

$$Ah = \frac{E_r}{V_s} \quad (2.13)$$

$$E_r = P \times T \quad (2.14)$$

Sedangkan untuk mencari lama pembebanan pada baterai yaitu

$$T = \left(\frac{C}{I}\right) - \Phi \quad (2.15)$$

$$T + \Phi = \frac{C}{I}$$

$$C = I (T + \Phi) \quad (2.16)$$

Keterangan :

$E_r$  = Kapasitas (Wh)

$T$  = Waktu Pemakaian (*Hours*)

$C$  = Kapasitas (Ah)

$I$  = Arus (A)

$\Phi$  = Waktu De-efisiensi

Pada saat baterai digunakan harus berada pada *range* suhu  $-40^{\circ}\text{C}$  sampai dengan  $60^{\circ}\text{C}$ .



Gambar 2.13 *Battery* atau *Accumulator*

## 2.9 LCD

LCD (*Liquid Crystal Display*) merupakan perangkat yang berfungsi untuk menampilkan suatu hasil perintah kerja. LCD memiliki dimensi  $16 \times 12$  cm dimana dapat menampilkan 16 karakter perbarisnya serta setiap karakter akan ditampilkan dalam matrix  $5 \times 7$  pixel.



Gambar 2.14 LCD ( *Liquid Crystal Display* )

(Sumber: <https://sites.google.com>)

### 2.10 *Real Time Clock* ( RTC )

RTC (*Real time clock*) merupakan modul yang berfungsi sebagai jam elektronik dengan menghitung waktu (mulai detik hingga tahun) dengan akurat dan mampu menyimpan data waktu tersebut secara *real time*. Modul RTC akan langsung menyimpan dan mengirim proses hitung waktu pada *output* data ke *device* lain melalui sistem antar muka karena jam tersebut bekerja secara *real time*. RTC juga terdapat baterai yang berfungsi sebagai supply, sehingga data jam akan selalu *real time* dan tetap *up to date*. RTC menggunakan *ocilator cristale* yang akan membuat data jam cukup akurat sebagai pewaktu (*timer*).



Gambar 2.17 Modul *Real Time Clock* ( RTC ) DS1307

(Sumber: <https://sites.google.com>)

### BAB 3. METODE PENELITIAN

Pada bab metode penelitian ini membahas mengenai tempat dan waktu penelitian, alat dan bahan penelitian, kerangka pemecahan masalah, blok diagram system, perancangan komponen pengendali (*hardware*), perancangan *solar charger*, perancangan *boost converter*, pengujian *boost converter* serta pengambilan data logger, dan analisis data pada penelitian ini.

#### 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 Juni 2018. Adapun kegiatan yang dilakukan selama waktu penelitian yaitu seperti berikut.

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Selama Waktu Penelitian

No	Kegiatan	Bulan Ke-					
		Bulan 1	Bulan 2	Bulan 3	Bulan 4	Bulan 5	Bulan 6
1	Tahap Persiapan						
2	Studi Literatur						
3	Pembuatan Alat						
4	Pengumpulan Data						
5	Pengolahan Data						
6	Analisa Data						
7	Pembuatan Laporan						

### 3.2 Alat dan Bahan

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

Alat :

- a. Lux Meter
- b. *Solar Power Meter*
- c. Obeng
- d. Bor PCB
- e. Solder

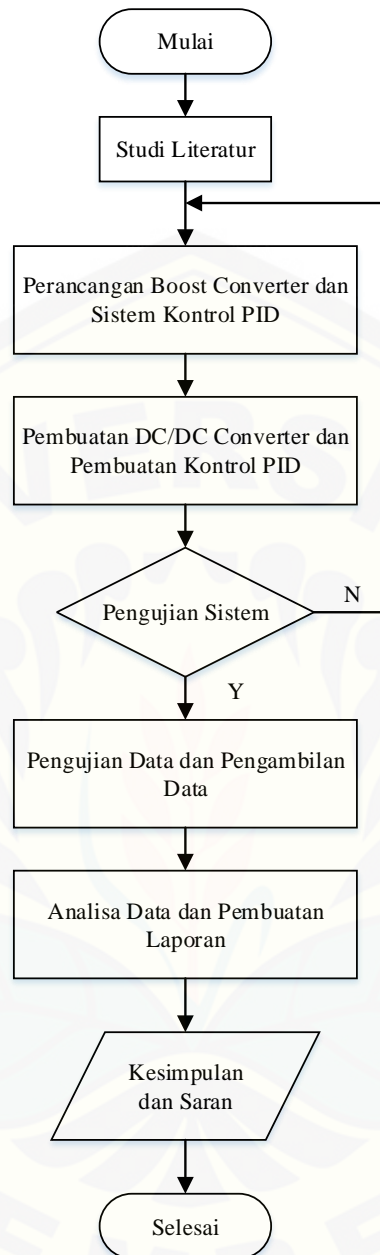
Bahan :

- a. Panel Surya 10 wp Polycrystalline.
- b. Arduino UNO R3
- c. *Boost Converter*
- d. *Battery / ACU*
- e. Laptop
- f. Timah
- g. Sensor Arus
- h. Sensor Tegangan
- i. Kayu
- j. Engsel
- k. Push button
- l. LCD 16 x 2
- m. Jumper
- n. PCB

### 3.3 Kerangka Pemecahan Masalah

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 PID pada *solar charger* berbasis arduino uno R3 adalah sebagai berikut :

a. 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.

b. Perancangan plan dan sistem kontrol

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

c. Percobaan pengujian

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

d. Pembuatan program *charger controller* pada arduino

Tahap keempat adalah membuat program *charger controller* dimana arduino akan dirancang menggunakan kontrol PID agar dapat menerima *input* dan akan mengontrol system *charger*.

e. 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 *battery 24 V*.

f. Analisa data dan pembuatan laporan

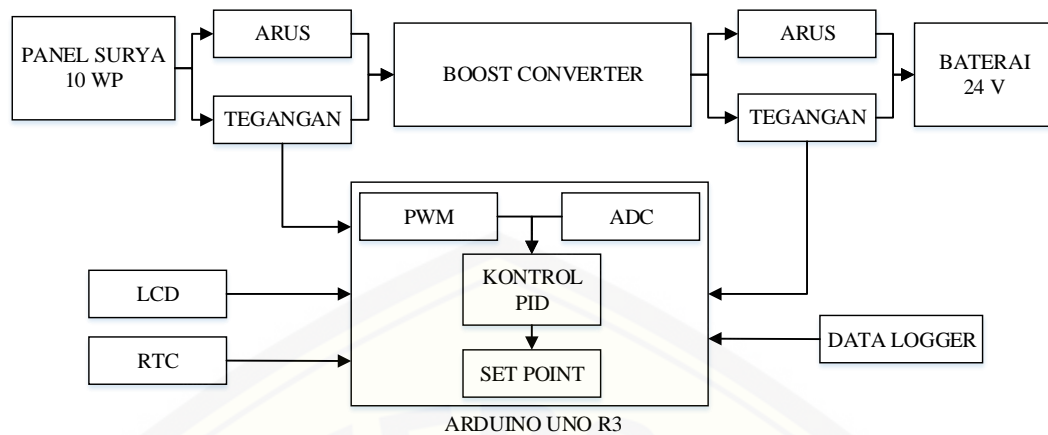
Tahap keenam adalah melakukan analisa pada data yang diperoleh dan membuatnya menjadi sebuah bentuk laporan hasil dari penelitian yang telah dilakukan.

g. 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

Prinsip kerja dari *sollar charger* dengan *boost converter* menggunakan Kontrol PID ini dapat dijelaskan melalui blok diagram diatas, dimana beban yang digunakan adalah baterai sebesar 24 V. Baterai di bentuk dari beberapa baterai yang di rangkai secara seri sehingga nilai tegangan sebesar 24 V. *Solar cell* yang digunakan pada *plan* ini memiliki tegangan *output* berkisar antara 17-20 V. Tegangan *output* dari *solar cell* 10 WP akan digunakan untuk *charging* sebuah baterai 24 V, sehingga diperlukan sebuah *converter* DC to DC yang memiliki fungsi sebagai penaik tegangan yaitu *boost converter*. *Boost converter* akan menaikkan tegangan *output solar cell* yang memiliki bervariasi tegangan *output*, sehingga diperlukan sebuah kontrol penstabil tegangan agar tegangan yang masuk di baterai dapat stabil.

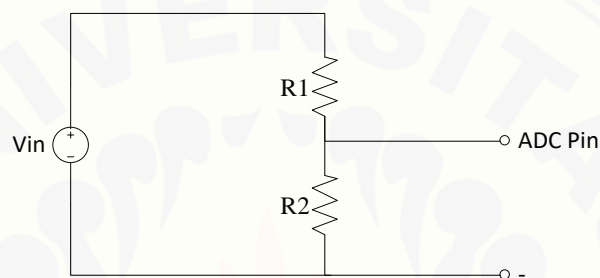
Sistem kontrol yang digunakan pada *plan* ini adalah kontrol PID yang mana akan di kontrol melalui Arduino UNO R3. Pada *boost converter* akan menaikkan tegangan dengan mengubah dari besarnya *duty cycle* dimana *duty cycle* diatur oleh sebuah kontrol yang berupa Arduino UNO R3 melalui besarnya PWM.

Sensor tegangan dan arus dipasang untuk mengetahui *output* tegangan dari panel surya dan *boost converter* serta juga digunakan sebagai input dari Arduino yang berupa ADC. Selanjutnya *Data Logger* digunakan untuk menyimpan data secara otomatis pada *sd card*.

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

#### 3.5.1 Sensor Tegangan

Sensor tegangan dibangun dari rangkaian pembagi tegangan. Pada Perancangannya yaitu dilakukan dengan cara menyusun resistor secara seri. Rangkaian pembagi tegangan ini menggunakan resistor  $8k2\Omega$  dan resistor  $2k2\Omega$ . Tujuan dari dirangkainya secara seri dari kedua buah resistor yaitu agar dapat membaca tegangan  $0 - 28\text{ V}$  dan perbandingan tegangan untuk diberikan ke arduino uno R3  $0 - 5\text{ V}$ .



Gambar 3.3 Skematik Sensor Tegangan

Untuk perhitungan dari perancangan sensor tegangan ini dapat dilihat seperti pada persamaan 2.10

dimana,  $V_{out} = 5$  ;  $V_{in} = 28\text{ volt}$ ;  $R_1 = 8k2\Omega$

$$V_o = V_{in} \times \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

$$5 = 28 \times \left( \frac{8200}{R_1 + 8200} \right)$$

$$5 \times (8200 + R_2) = 28 \times R_2$$

$$41000 + 5R_2 = 28R_2$$

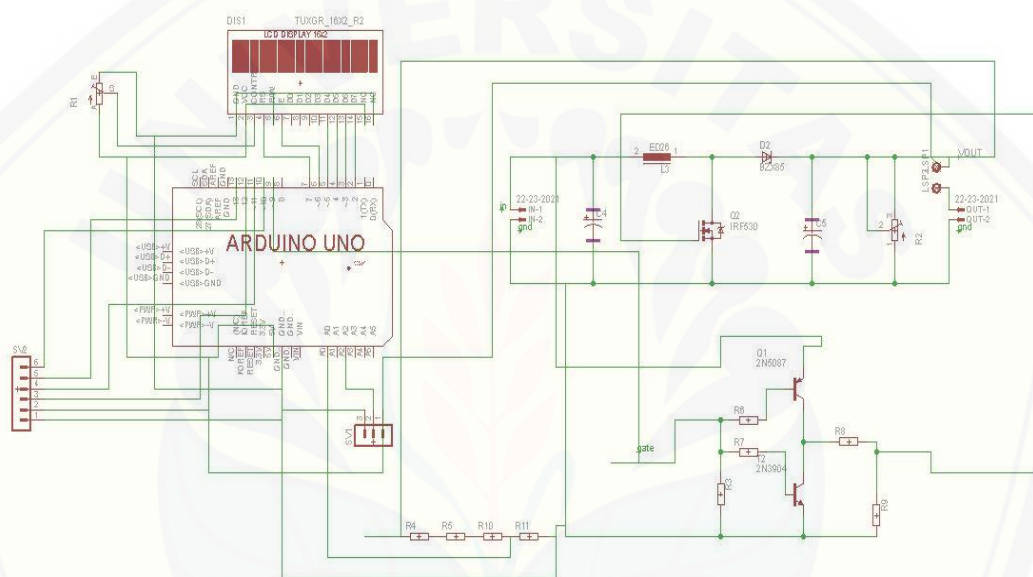
$$R_2 = \frac{41000}{23}$$

$$R_2 = 2k2\Omega$$

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 Perancangan Sistem

Pada rangkaian *boost converter* terdapat Arduino UNO R3 sebagai pengendali yang didalamnya terdapat sistem kontrol PID *Ziegler-Nichols* untuk menstabilkan tegangan *output*. Rangkaian *boost converter* juga terdapat MOSFET yang berfungsi untuk melakukan *switching* dengan PWM tentu sampai didapatkan kaluaran sesuai *setpoint*. MOSFET sendiri memerlukan Driver MOSFET digunakan untuk mengendalikan penyalaan dari kerja MOSFET. Berikut adalah gambar rangkaian *boost converter* pada Gambar 3.4 sebagai berikut.



Gambar 3.4 Rangkaian *Boost Converter*

### 3.5.3 Arduino UNO R3

Arduino UNO R3 Sebagai kontroler yang digunakan dalam *plant*. Pada tahap penjelasan tentang arduino akan menjadi lebih spesifik, terutama dalam penggunaannya yaitu sebagai *embedded system*. Arduino yang digunakan yaitu dengan tipe arduino uno R3 dimana *embedded system* ini yang menerima *feedback* tegangan dari *output* tegangan *boost converter*. Pembacaan nilai *output* tegangan *boost converter* ini melalui sensor tegangan yang menggunakan proses ADC dan terhubung pada pin arduino yaitu pada pin A0 dan A1. Pin yang digunakan untuk untuk mengontrol *output* PWM pada *boost converter* menggunakan pin 10 dengan frekuensi 31,37 KHz.

#### 3.5.4 Kontrol PID pada Arduino UNO R3

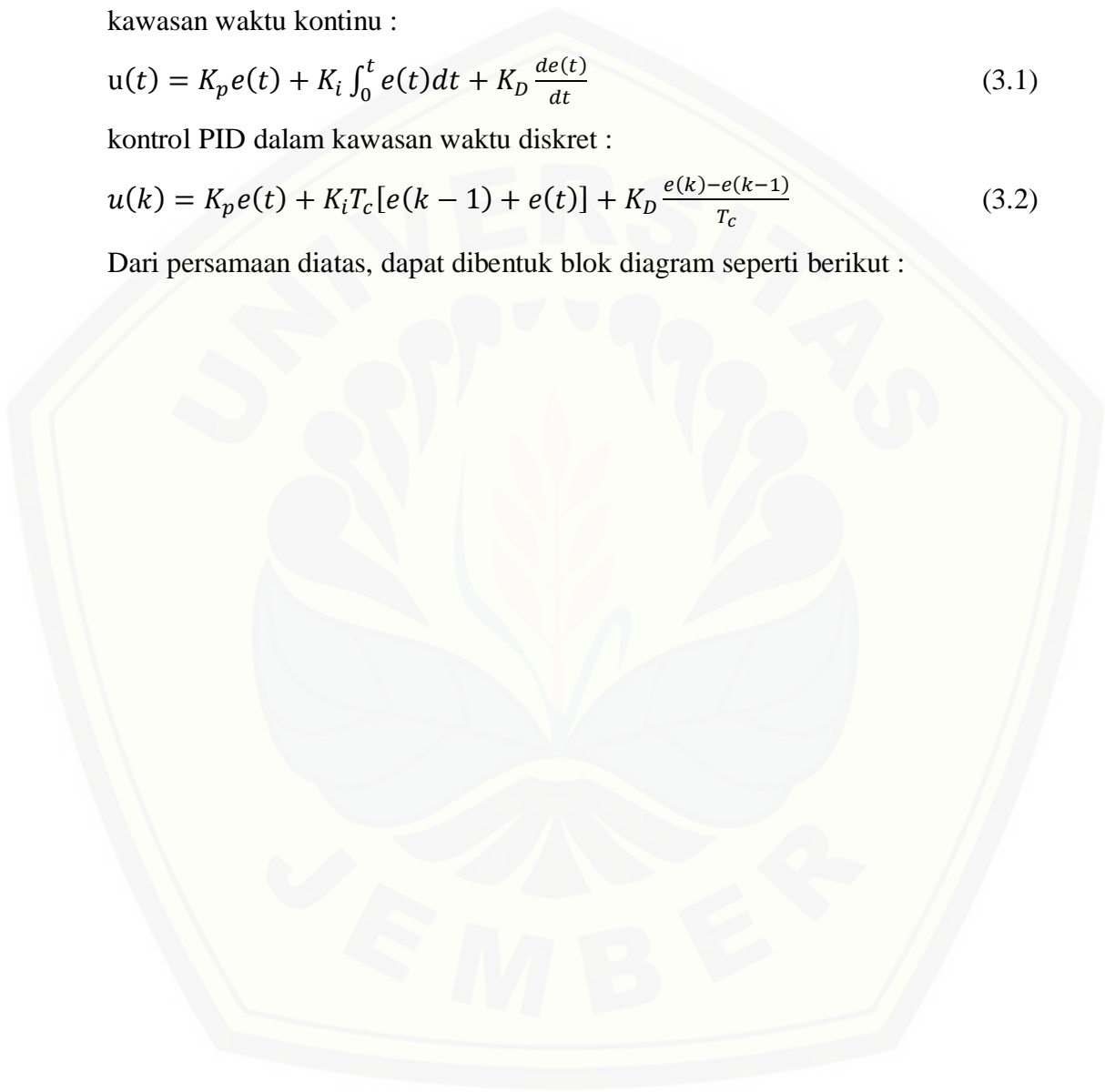
Kontrol PID yang diimplementasikan akan digunakan dalam kawasan waktu diskret agar dapat direalisasikan dalam bentuk pemrograman kontrol PID kawasan waktu kontinu :

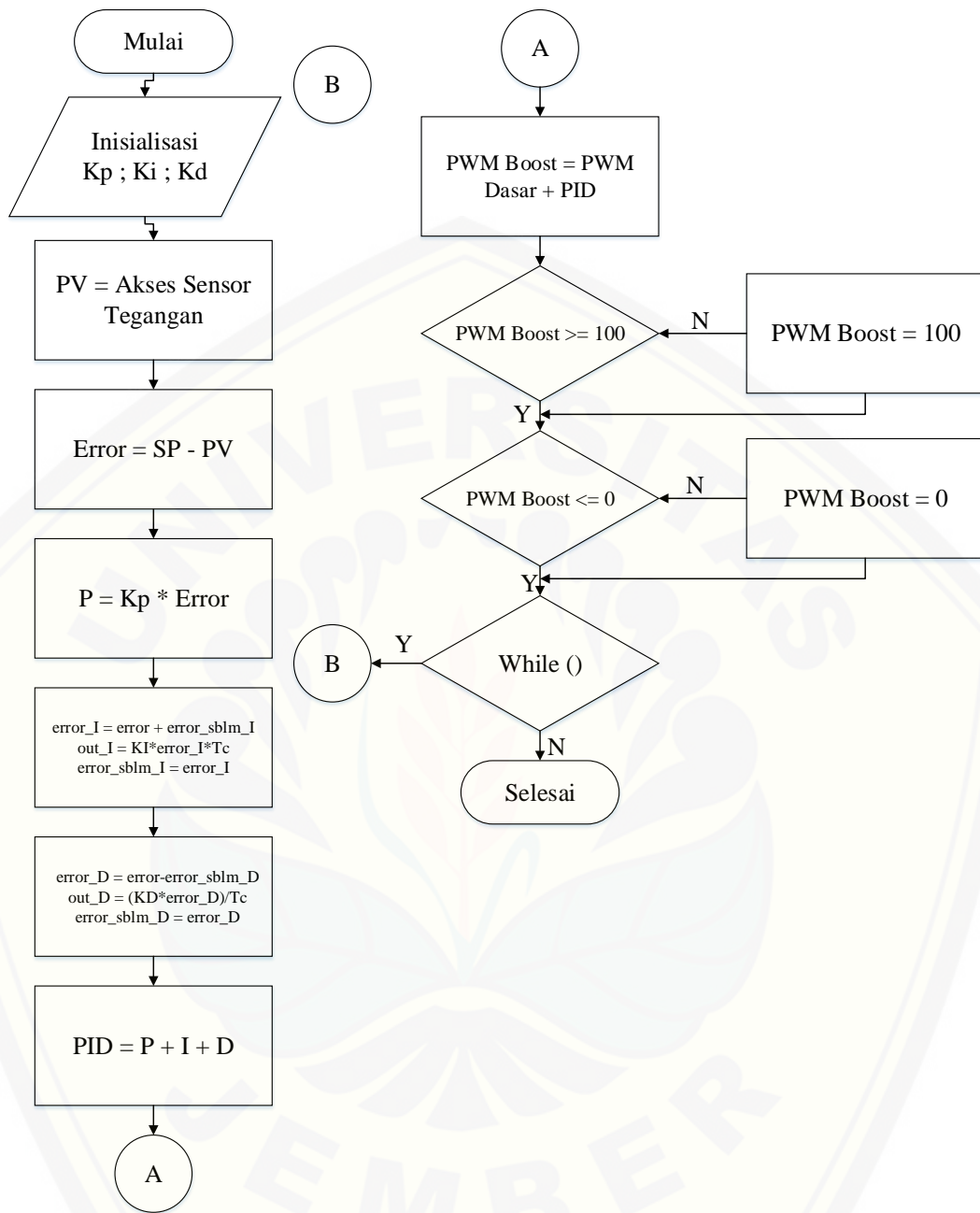
$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (3.1)$$

kontrol PID dalam kawasan waktu diskret :

$$u(k) = K_p e(t) + K_i T_c [e(k-1) + e(t)] + K_D \frac{e(k) - e(k-1)}{T_c} \quad (3.2)$$

Dari persamaan diatas, dapat dibentuk blok diagram seperti berikut :





Gambar 3.5 Diagram Kontrol PID

### 3.6 Perancangan *Solar Charger*

Desain *Solar Charger* terdiri atas empat komponen utama meliputi komponen *boost converter*, komponen sensor arus tegangan, panel surya 10 wp, baterai dan komponen pengontrol keputusan (Arduino Uno), serta komponen RTC. Dimensi *prototype Solar Charger* memiliki panjang 35 cm, lebar 28 cm dan tinggi 19 cm.



Gambar 3.6 Desain *Solar Charger*

### 3.7 Perancangan Tegangan *Charging Baterai*

Baterai pada penelitian ini digunakan sebagai beban dari *solar charger* yaitu sebesar 24 V, yang mana terdiri dari baterai 1000mAh tegangan 4V disusun secara seri sebanyak 6 buah baterai. Pada saat baterai diseri tidak sepenuhnya memiliki tegangan 24 V, namun sebesar 25,1 V. Tegangan yang masuk pada baterai ketika *charging* harus lah memenuhi syarat agar baterai dapat terisi dengan sempurna, yang dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$\begin{aligned} r_d &= \frac{E - V}{I} \\ &= \frac{25,1 - 24}{1} = 1,1 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_0 &= V_{bat} + R_d i_b \\ &= 25,01 + (1,01 \times 1) = 26,2 V \end{aligned}$$

Keterangan :

$r_d$  : Tahanan dalam baterai ( $\Omega$ )



E : Sumber Tegangan Baterai (V)

V : Tegangan Luar (V)

I : Arus pada baterai (A)

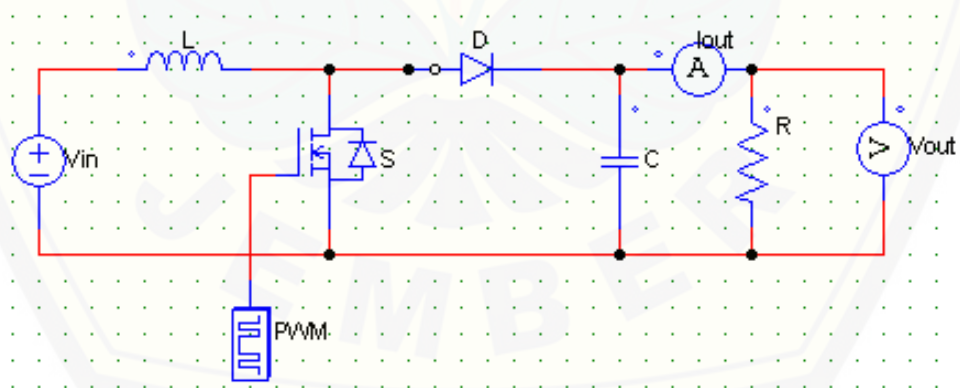
Ketika baterai 24 V dibutuhkan tegangan *charging* sebesar 26,2 V, sehingga pada *setpoint* akan dibuat 28 V agar pada saat tegangan mengalami *drop* energi yang masuk pada baterai dapat maksimal.

### 3.8 Perancangan Boost Converter

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

Tabel 3.2 Parameter DC/DC *Boost Converter*

Tegangan Masukan	18-21 V
Tegangan Keluaran	28 V
Arus Keluaran	0,1 – 2 A
Frekuensi	31372,55 Hz



Gambar 3.7 Skematik Rangkaian *Boost Converter*

Dalam pendesainan *boost converter* dibutuhkan perhitungan untuk mencari nilai dari baik itu *duty cycle*, *filter*, maupun bebannya. Untuk menentukan nilai-nilai tersebut digunakan langkah-langkah seperti yang tertera dibawah ini :

- a. Perhitungan *duty cycle*

$$D = 1 - \frac{V_{IN(min)} \times \eta}{V_{OUT}}$$

$$D_{min} = 1 - \frac{18}{28} \times 100 \% = 25 \%$$

$$D_{max} = 1 - \frac{21}{25} \times 100 \% = 38 \%$$

b. Perhitungan Resistansi

Menentukan besarnya resistansi yang digunakan sebagai beban yang akan terhubung dengan konverter

$$R_{Lmin} = \frac{V_O}{I_{Omax}} = \frac{25}{2} = 14 \Omega$$

$$R_{Lmax} = \frac{V_O}{I_{Omin}} = \frac{25}{0,1} = 280 \Omega$$

c. Perhitungan Induktor

Setelah *duty cycle* ditemukan selanjutnya mencari besarnya induktansi, besarnya induktansi dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan dibawah

Arus ripple

$$\Delta i_{Lmax} = \frac{V_O D_{min} (1 - D_{min})^2}{f_s L} = \frac{25 * 0,16 (1 - 0,16)^2}{31372,55 * 0,000449} = 0,2 A$$

Arus rms

$$I_{Lrms} \approx I_{Lmax} = \frac{I_{Omax}}{1 - D_{max}} = \frac{2}{1 - 0,28} = 2,77 A$$

Induktansi minimum

$$\begin{aligned} L_{min} &= \frac{R_{Lmax} D_{min} (1 - D_{min})^2}{2 f_s} \\ &= \frac{250 * 0,16 (1 - 0,16)^2}{2 * 31372,55} \\ &= 0,000449 H \end{aligned}$$

Setelah nilai dari induktansi, arus ripple dan arus maksimum yang ada pada induktor telah ditemukan, langkah selanjutnya yaitu menghitung jumlah lilitan, pada penelitian ini jenis induktor yang digunakan digunakan yaitu torroidal core inductor class D atau inti yang berbentuk O Ring (bentuk donat) dengan tipe MS-157060-2 buatan micromental dengan nilai AL = 36uH/100 turn. Untuk ukuran

enamel yang digunakan dalam penelitian sebesar 18 AWG atau sebesar 0,8 mm (berdasarkan datasheet).

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

$$N = 100 \sqrt{\frac{0,000449}{36}}$$

$$N = 354 \text{ lilitan}$$

#### d. Pemilihan MOSFET

Arus *switching* MOSFET

$$\begin{aligned} I_{SMmax} = I_{DMmax} &= \frac{I_{Omax}}{1 - D_{min}} + \frac{V_O D_{max} (1 - D_{min})}{2f_s L} \\ &= \frac{2}{1 - 0,16} + \frac{25 * 0,28(1 - 0,16)}{2 * 31372,55 * 0,000449} \\ &= 2,4 + 0,18 = 2,58 \text{ A} \end{aligned}$$

Arus rms

$$I_{Srms} = \frac{\sqrt{D_{max}} I_{Omax}}{1 - D_{max}} = \frac{\sqrt{0,28} * 2}{1 - 0,28} = 1,04 \text{ A}$$

Berdasarkan perhitungan, maka MOSFET yang akan digunakan adalah MOSFET IRFZ24N dimana memiliki  $V_{GS}$  10 V atau lebih kecil dari tegangan *input* dengan *Drain Current* sebesar 17 A (sesuai dengan *datasheet*).

#### e. Perhitungan Kapasitor

Tegangan *ripple*

$$V_r = 0,01 \cdot V_O = 0,01 * 25 = 0,25 \text{ V}$$

ESR maksimum

$$V_{rcpp} = V_{Ccpp} = \frac{V_r}{2} = \frac{0,25}{2} = 0,125 \text{ V}$$

$$r_{Cmax} = \frac{V_{rcpp}}{I_{DMmax}} = \frac{0,125}{2,58} = 0,048275862 \Omega$$

Sehingga didapatkan nilai dari kapasitor minimum yang akan digunakan pada *boost converter*

$$C_{min} = \frac{D_{max} V_O}{f_s R_{Lmin} V_{Ccpp}} = \frac{0,28 * 25}{31372,55 * 12,5 * 0,125} = 143 \mu\text{F}$$

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisa penelitian dengan judul “Implementasi *Boost Converter* dengan Kontrol PID pada Tegangan *Output Solar Charger*” didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Panel surya 10 WP yang digunakan pada penelitian ini memiliki daya maskimal dengan menggunakan beban sebesar 47,32  $\Omega$ .
2. Baterai yang disusun secara seri memiliki kapasitas yang sama dengan kapasitas salah satu baterai dengan kapasitas yang paling rendah yaitu sebesar 942 mAh.
3. *Boost converter* pada penelitian ini memiliki frekuensi  $\pm 31,34$  Khz meskipun besar *duty cycle* yang berubah-ubah.
4. *Boost converter* tanpa kontrol memiliki nilai tegangan *output* yang berubah-ubah sesuai dengan tegangan *input* yang dihasilkan oleh panel surya. Perubahan tegangan juga dipengaruhi oleh besar kecilnya radiasi matahari.
5. *Boost converter* dirancang dengan menggunakan *setpoint* sebesar 28 V agar daya yang masuk ke baterai dapat maskimal sehingga performa *charging* baik.
6. *Boost converter* dengan kontrol PID ketika diberi beban hasil gelombang tetap pada *stady state* atau tegangan tetap pada *setpoint* sedangkan tanpa kontrol ketika diberi beban tegangan yang dihasilkan akan drop dan tidak akan kembali ke *setpoint* sampai hambatannya dilepas.
7. Tegangan yang dihasilkan saat pengujian keseluruhan sistem mengalami penurunan yang tidak sesuai dengan *setpoint* namun tetap dapat mengisi baterai selama 6 jam 25 menit.

## 5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian ini, penulis memberikan saran untuk bisa mengembangkan dari penelitian berikutnya. Berikut saran yang dapat disampaikan :

1. Menambahkan pengukur kapasitas dari baterai serta relay sebagai pemutus otomatis agar saat baterai penuh daya sumber akan berhenti mengalir ke baterai.
2. Membuat sistem *charging* dengan *hybrid system*, untuk memperoleh daya yang lebih besar sehingga *charging* mampu dengan kapasitas yang lebih besar. Misal menambah turbin angin dll.
3. Menggunakan kontrol lain seperti Cohen-Coon atau pengontrol lainnya yang dapat dibandingkan dengan kontrol PID *Ziegler-Nichols*.

**DAFTAR PUSTAKA**

- James, Joyce, Colin Baker dan Helen Swain. 2008. *Prinsip-prinsip Sains untuk Keperawatan*. Jakarta: Erlangga
- Palz, Wolfgang. 2006. The Challenge of Renewable Energy Market Deployment : The Word Council for Renewable Energy. <http://www.wcre.de/index.php/presse/articles-mainmenu-17/59-the-challenge-of-renewable-energy-market-deployment>. [Diakses pada 19 Agustus 2017]
- Susilo, Danang. 2011. Peningkatan Daya Keluaran Sel Surya dengan Penjejak Matahari dan Pemanulan Cahaya Matahari sebagai Sumber Daya Pendukung Perusahaan Listrik Negara (PLN). Surabaya : Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.
- Suwitno, dkk. 2017. Perancangan Konverter DC ke DC untuk Menstabilkan Tegangan Keluaran Panel Solar Cell menggunakan Teknologi *Boost Converter*. *Jurnal of Electrical Technology*. Vol.2 No. 3 Edisi Oktober 2017.
- Faradilla, Anita. 2017. Pengujian PV dan Pendukungnya. <http://smg.b2tke.bppt.go.id/index.php/2017/04/04/pengujian-pv-dan-pendukungnya/>. [Diakses pada 31 Oktober 2017]
- Mudhofiroh, Novi, dan M. Fathuddin. 2014. Karakteristik *Solar Cell* 10-WP Pada Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan. Vol. 4 No. 2 Edisi Nopember 2014. ISSN: 2088-4591
- Brigitte Hauke. 2014. Basic Calculation of a Boost Converter's Power Stage. *Texas Instrument*. 1-9
- Copeland, Brian R. 2008. The Design of PID Controllers using Ziegler Nichols Tuning. [www.educyclopedia.karadimov.info/library/Ziegler\\_Nichols](http://www.educyclopedia.karadimov.info/library/Ziegler_Nichols). [Diakses pada 22 Januari 2018]
- Ali, Muhamad. 2004. Pembelajaran Perancangan Sistem Kontrol PID dengan *Software* MATLAB. Vol. 1 No. 1 Edisi Oktober 2004. hlm : 1-8
- Allegro. 2017. ACS712 Fully Integrated, Half Effect-Based Linear Current Sensor IC. <https://www.allegromicro.com/~media/files/datasheets/acs712-datasheet.ashx>. *Allegro Microsystem, LCC*. [Diakses pada 12 April 2018]
- Arduino LLC. 2015. Arduino UNO Rev 3. [www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno](http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno). [Diakses pada 9 Agustus 2017]

- Autodesk.Inc. 2015. Arduino Voltage Sensor 0-25 V. <http://www.instructables.com/id/Arduino-Voltage-Sensor-0-25V/>. [Diakses pada 9 Agustus 2017]
- Kushagra. 2012. LCD. <https://www.engineersgarage.com/electronic-components/16x2-lcd-module-datasheet>. *EngineersGarage*. [Diakses pada 12 April 2018]
- Adi. 2011. Aki Kering. <https://www.scribd.com/doc/55609868/aki-kering>. *Scribd Inc*. [Diakses pada 13 April 2018]
- Product specification, 1999. N-channel enhancement mode TrenchMOSTM transistor - IRFZ24N. <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/17806/PHILIPS/IRFZ24N.html>. *Philips Semiconductors*. [Diakses pada 29 Maret 2018]
- Budiman, Wildan Nasrun Harianto dan Syahrizal. 2014. Perancangan dan Realisasi Sistem Pengisian Baterai 12 V 45 Ah pada Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro di UPI Bandung. *Jurnal Reka Elkomika*. Vol.2 No.1.
- Power Sonic. 2004. Rechargeable - Lead Acid 4 V 500mAh. [https://www.mouser.com/datasheet/2/118/Eagle\\_Picher\\_CF-4V4\\_6-1165398.pdf](https://www.mouser.com/datasheet/2/118/Eagle_Picher_CF-4V4_6-1165398.pdf). *Commercial Power Solutions*. [Diakses pada 13 April 2018]
- Perikom. 2015. Real Time Clock Module. <https://www.diodes.com/assets/Datasheets/PT7C43390.pdf>. *Pericom Semiconductor Corporation*. [Diakses pada 13 April 2018]
- All About Circuit. 2015. Discontinuous Conduction Mode of Simple Converters. <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/discontinuous-conduction-mode-of-simple-converters/>. [Diakses pada 9 Agustus 2017]
- Romadhon, Rizki. 2017. Sistem Kontrol *Fuzzy Logic* pada Tegangan *Output Buck Converter* untuk *Solar Charger* Berbasis Arduino UNO R3. *Skripsi*. Jember: Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Irawan, Devry Berta. 2017. Rancang Bangun *Boost Converter* dengan Sistem Kontrol PID pada Robot KRAI 2017. *Skripsi*. Jember: Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Khanna, Abhistek dan Viresh Dutta. boost converter for solar photo voltaic systems with centralized storage. *IEEE Explore*. 13-16 Maret 2007. USA : 10456965

**LAMPIRAN**

## A. Listing Program

```
#include <Wire.h>
#include <DS3231.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F,16,2);

RTCLib RTC;

const int pinPwm = 10;
float  kP=1.4,kI=2.285714,kD=0.637,tC=0.01,error,lasterror,PID,duty,setPoint =
      28,pwm = 65;

const int maxIndex = 10;
int  idx;
double  totVi, totVo, totIi, totIo;
float  adcVi[maxIndex], adcVo[maxIndex];
float  Vi, Vo, Ii, Io;

int  kode = 0;
const int CS = 4;
String  textSimpan = "";
char  textLCD[16] = "          ";
int  det2;

void setup() {
  TCCR1B = TCCR1B & B11111000 | B00000001; // set timer 1 divisor to 1 for
      PWM frequency of 31372.55 Hz
```



```

lcd.init();lcd.init();lcd.backlight();
lcd.setCursor(0,0);lcd.println("BOOST CONVERTER");
lcd.setCursor(0,1);lcd.println(" RORO RAHMAWATI ");
Serial.begin(9600);

Wire.begin();
pinMode(CS,OUTPUT);
digitalWrite(CS,HIGH);
if (!SD.begin(CS)) {
  Serial.println("SD CARD ERROR DI AWAL");
}
else{
  Serial.println("KARTU SD SIAP");
}

DateTime now = RTC.now();
int tanggal,bulan,tahun,jam,menit,detik;
tanggal = now.day(); bulan = now.month(); tahun = now.year();
jam    = now.hour(); menit = now.minute(); detik = now.second();
textSimpan      =      "===== "+String(tanggal)+"/"+
  String(bulan)+"/"+String(tahun)+"\t"+
  String(jam)      +":"+ String(menit)+":"+String(detik)+"
  =====";

File dataFile = SD.open("LOGMEI.txt", FILE_WRITE);
if(dataFile){
  dataFile.println(textSimpan);
  dataFile.close();
  Serial.println("TERSIMPAN");
}
else{
  for(int i = 0; i<= 1; i++){

```

```
Serial.println("SD CARD ERROR");
delay(500);
}
}
lcd.clear();
}

void loop() {
  //kalibArus();
  //delay(100);
  progUtama();
  //Serial.println(analogRead(3));
}

void progUtama(){
  bacaTegangan();
  kontrol();
  DateTime now = RTC.now();
  int det = now.second();
  if(det % 2 == 0){
    File dataFile = SD.open("LOGMEI.txt", FILE_WRITE);
    if(dataFile){
      dataFile.close();
      //Serial.println("Tidak Error");
    }
    else{
      Serial.println("Error");
    }
  }
  if(now.minute() % 2 == 0){
    if(kode==0){
```

```
kode=1;
int tanggal,bulan,tahun,jam,menit,detik;
tanggal = now.day(); bulan = now.month(); tahun = now.year();
jam = now.hour(); menit = now.minute(); detik = now.second();
bacaTegangan(); bacaArus();
textSimpan = String(tanggal)+"/"+ String(bulan)+"/"+String(tahun)+"\t"+
String(jam) +":"+ String(menit)+":"+String(detik)+"\t"+
String(Vi) + " V\t"+String(Ii) + " A\t"+
String(Vo) + " V\t"+String(Io) + " A";

Serial.println("=====
=====");
Serial.println(textSimpan);

Serial.println("=====
=====");

File dataFile = SD.open("LOGMEI.txt", FILE_WRITE);
if(dataFile){
  dataFile.println(textSimpan);
  dataFile.close();
  Serial.println("TERSIMPAN");
}
else{
  for(int i = 0; i<= 10; i++){
    Serial.println("SD CARD ERROR");
    delay(500);
  }
}
delay(2000);
}
```

```

}
else{
    kode = 0;
}
if(det<=5||det>50){
    int tanggal,bulan,tahun,jam,menit,detik;
    tanggal = now.day(); bulan = now.month(); tahun = now.year();
    jam    = now.hour(); menit = now.minute(); detik = now.second();
    sprintf(textLCD,"TGL : %02d/%02d/%4d",tanggal,bulan,tahun);
    lcd.setCursor(0,0);lcd.print(textLCD);

    sprintf(textLCD,"JAM : %02d:%02d:%02d",jam,menit,detik);
    lcd.setCursor(0,1);lcd.print(textLCD);
}
else{
    if(det!=det2){
        bacaArus();
        lcd.setCursor(0,0); lcd.print("I:  V  A");
        lcd.setCursor(3,0); lcd.print(Vi,1);
        lcd.setCursor(10,0);lcd.print(Ii,1);

        lcd.setCursor(0,1); lcd.print("O:  V  A");
        lcd.setCursor(3,1); lcd.print(Vo,1);
        lcd.setCursor(10,1);lcd.print(Io,1);
        det2=det;
    }
}
//Serial.println("Vi " + String(Vi) + " Vo " + String(Vo) + " Error " +
    String(error) +
//      " Pwm " + String(pwm));
//Serial.println(String(Vo));//+" "+String(pwm));

```

```
    delay(1);
}

void bacaTegangan(){
    idx++;
    if(idx>=maxIndex)idx = 0;
    float adcI = analogRead(A0);
    float adcO = analogRead(A1);
    totVi -= adcVi[idx];
    adcVi[idx] = adcI;
    totVi += adcVi[idx];
    Vi = (0.0296 * totVi/maxIndex) + 0.0336;

    totVo -= adcVo[idx];
    adcVo[idx] = adcO;
    totVo += adcVo[idx];
    Vo = (0.0297 * totVo/maxIndex) + 0.0805;
}

void bacaArus(){
    totIi=0; totIo=0;
    for(int i=0;i<100;i++){
        float adcI = analogRead(A2);
        float adcO = analogRead(A3);
        totIi += abs(512-adcI);
        totIo += abs(512-adcO);
        delay(1);
    }
    Ii = 0.0321*(totIi/100)+0.0012;
    Io = 0.0472*(totIo/100)+0.0032;
}

void kontrol(){
```

```
error = setPoint-Vo;
PID = kP*error + kI*(error-lasterror)*tC + kD*(error-lasterror)/tC;
lasterror=error;
pwm=pwm+PID;
if (pwm>=100) pwm = 100;
if (pwm<0)  pwm = 0;
analogWrite(pinPwm,pwm);
duty = (pwm*100.00)/255.00;
//Serial.println(duty);
}

void kalibArus(){
  totIi=0; totIo=0;
  for(int i=0;i<100;i++){
    float adcI = analogRead(A2);
    float adcO = analogRead(A3);
    totIi += abs(512-adcI);
    totIo += abs(512-adcO);
    delay(1);
  }
  Serial.println(String(totIi/100)+"\t"+String(totIo/100));
}
```

B. Gambar

B1. Beban Baterai



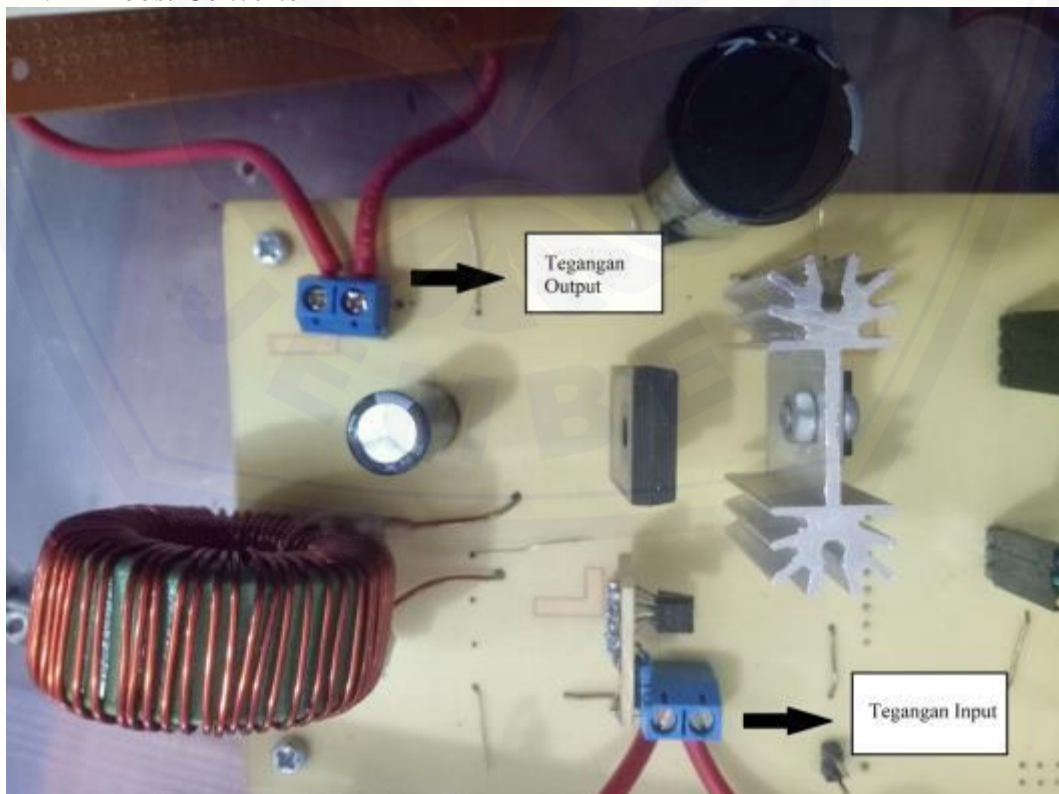
B2. Pengujian Arus *Charge* pada Tiap-tiap Baterai



B3. Hasil Uji Kapastias pada Tiap-tiap Baterai



B4. Boost Converter





B5. Panel Surya



B6. Sistem Keseluruhan

