

**Optimasi Pengisian Daya Baterai Pada Panel Surya  
Menggunakan *Maximum Power Point Tracking (MPPT)***

(Skripsi)

Oleh

**Ranny Dwidayanti**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2017**

## ABSTRAK

### OPTIMASI PENGISIAN DAYA BATERAI PADA PANEL SURYA MENGUNAKAN *MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT)*

Oleh

**Ranny Dwidayanti**

Tenaga listrik yang dihasilkan oleh sistem pembangkit listrik tenaga surya tergantung pada radiasi sinar matahari dan temperatur permukaan sel surya. Kedua parameter tersebut menyebabkan kurva karakteristik daya keluaran sel surya menjadi *non-linier*. Merancang sistem sel surya yang efisien tentunya tidak akan lepas dari penjejak (*tracker*) *maximum power point (MPP)* yang berada pada kurva karakteristik daya keluaran sel surya tersebut. Titik dimana daya yang dihasilkan oleh sel surya paling maksimum. Peran *Maximum Power Point Tracker (MPPT)* pada sistem panel surya adalah untuk mengoperasikan titik kerja dari modul panel surya agar berada pada *Maximum Power Point (MPP)*, sehingga transfer daya dari modul dapat dimaksimalkan, dan efisiensi sistem panel surya dapat ditingkatkan. Setiap komponen pada sistem panel surya dimodelkan ke dalam *Simulink-Matlab*. Simulasi untuk mengoptimalkan kerja Panel Surya dengan cara mencari titik *MPP (Maximum Power Point)* menggunakan algoritma *perturb and observe (P&O)*, kemudian mengimplementasikannya menjadi tegangan output dengan *Buck Boost Converter*, sehingga dapat menghasilkan daya keluaran dengan efisiensi lebih baik. Adapun hasil dari penelitian ini yakni sistem *MPPT* dapat meningkatkan daya pada panel surya dengan penambahan efisiensi rata-rata sebesar 18% dibandingkan dengan tanpa menggunakan sistem *MPPT*.

Kata kunci : *MPPT*, Sistem Panel Surya, *MPP*, *perturb and observe (P&O)*, *Buck Boost Converter*.

## **ABSTRACT**

### **OPTIMIZATION OF CHARGING THE BATTERY ON USING SOLAR PANEL MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT)**

**By**

**Ranny Dwidayanti**

Electric power generated by the solar power generation system depends on solar radiation and temperature of the solar cell surface. Both of these parameters causes the characteristic curve of solar cell output power to be non-linear. Designing an efficient solar cell system will certainly not be separated from tracker (tracker) maximum power point (MPP) which is located on the characteristic curve of the solar cell output power. The point where the power generated by the solar cells the maximum. Role of Maximum Power Point Tracker (MPPT) on the solar panel system is to operate a working point of solar panel modules that are in the Maximum Power Point (MPP), so that the transfer of power from the module can be maximized, and the efficiency of a solar panel system can be improved. Each component of the solar panel system modeled in Simulink-Matlab. Simulation to optimize the work of Solar Panels by finding the point MPP (Maximum Power Point) algorithm perturb and Observe (P & O), then implement them into a voltage output with Buck Boost Converter, which can produce a power output with better efficiency. The results of this study the MPPT system can enhance the efficiency of solar panels with the addition of an average of 18% compared with no use MPPT system.

**Keywords:** MPPT, Solar Panel Systems, MPP, perturb and Observe (P & O), Boost Buck Converter.

**OPTIMASI PENGISIAN DAYA BATERAI PADA PANEL SURYA  
MENGUNAKAN *MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT)***

Oleh  
**RANNY DWIDAYANTI**

**Skripsi**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada**

**Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG**

**2017**

Judul Skripsi

**: OPTIMASI PENGISIAN DAYA BATERAI  
PADA PANEL SURYA MENGGUNAKAN  
MAXIMUM POWER POINT TRACKING  
(MPPT)**

Nama Mahasiswa

**: Ranny Dwidayanti**

Nomor Pokok Mahasiswa : 0915031097

Jurusan

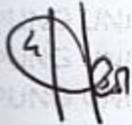
**: Teknik Elektro**

Fakultas

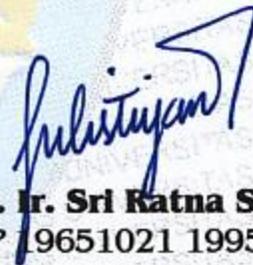
**: Teknik**

**MENYETUJUI**

**1. Komisi Pembimbing**

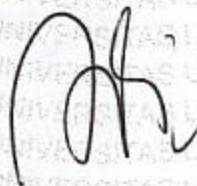


**Herri Gusmedi, S.T., M.T.**  
NIP 19710810 199902 1 003



**Dr. Ir. Sri Ratna S, M.T.**  
NIP 19651021 199512 2 001

**2. Ketua Jurusan Teknik Elektro**



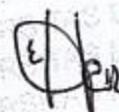
**Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.**  
NIP 19731128 199903 1 005

## MENGESAHKAN

### 1. Tim Penguji

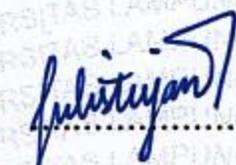
Ketua

: **Herri Gusmedi, S.T., M.T.**



Sekretaris

: **Dr. Ir. Sri Ratna S, M.T.**



Penguji

Bukan Pembimbing : **Osea Zebua, S.T., M.T.**



### 2. Dekan Fakultas Teknik



**Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D.**

NIP.19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **17 Januari 2017**

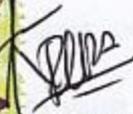
## SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan di dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 17 Januari 2017  
Penulis,



  
Dwidayanti  
NPM. 0915031097

## RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Muara Padang (Sumatera Selatan), pada tanggal 07 Januari 1992, sebagai anak kedua dari dua bersaudara, dari Bapak Hery Widoyo dan Ibu Gunarti.

Penulis memasuki dunia pendidikan Sekolah Dasar (SD) di SDN 2 Muara Padang (1997-2002) dan SDN 1 Gedong Meneng, lulus pada tahun 2003, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMPN 22 Bandar Lampung, lulus pada tahun 2006, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMAN 16 Bandar Lampung, lulus pada tahun 2009.

Tahun 2009, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur UMPTN (Ujian Masuk Perguruan Tinggi Negeri). Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di lembaga kemahasiswaan yang ada di Jurusan Teknik Elektro yaitu sebagai anggota Divisi Minat dan Bakat Himatro (Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro) pada tahun 2009-2010, sebagai Wakil Bendahara Umum Himatro pada tahun 2010-2011 dan Wakil Ketua Himatro pada tahun 2011-2012. Anggota Minat dan Bakat FOSSI-FT tahun 2010. Pernah mengikuti UKM ZOOM Fotografi UNILA tahun 2011. Menjadi Kepala Dinas Eksternal BEM-FT pada tahun 2012.

Selain itu, penulis juga bergabung di Laboratorium Sistem Tenaga Elektrik tahun 2012 dan menjadi asisten praktikum sistem tenaga listrik.

Pada 1 - 30 April 2013, Penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) di Krakatau Daya Listrik (KDL) di Cilegon banten dan pada 25 Agustus – 25 September 2014 di PT. PLN (Persero) P3B Sumatera UPT Tanjung Karang dengan mengangkat judul “Sistem Proteksi pada Transformator Daya Menggunakan Relay Diferensial pada Transformator 60 MVA di Gardu Induk Teluk Betung”.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*Karya ini kupersembahkan untuk*

*Bapak dan Ibu Tercinta*

*Hery Widoyo dan Gunarti*

*Kakakku Tersayang*

*Haryanti Dian Pertiwi*

*Keluarga Besar, Dosen, Teman, dan Almamater.*



## *MOTTO*

*“Yakinilah Apa yang Ingin Kamu Lakukan dan Lihatlah Hasilnya.”*

*(Billy Joe Amstrong – Green Day).”*



## SANWACANA

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala karunia, hidayah, serta nikmat yang diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi tugas akhir yang berjudul “OPTIMASI PENGISIAN DAYA BATERAI PADA PANEL SURYA MENGGUNAKAN *MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT)*”.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Dalam penyelesaian tugas akhir ini tidak lepas oleh dukungan dan bantuan dari banyak pihak. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Suharno, M.Sc., Phd. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T.,M.Sc. selaku Pembimbing Akademik (PA), terima kasih atas bimbingan dan perhatiannya.
4. Bapak Herri Gusmedi, S.T., M.T. selaku dosen Pembimbing Utama skripsi yang telah memberikan banyak ilmu, kritik dan saran, serta bimbingannya dalam penyelesaian skripsi ini.

5. Ibu Dr. Ir. Sri Ratna S, M.T. selaku dosen Pembimbing Pendamping skripsi yang juga telah memberikan banyak ilmu, kritik dan saran, serta bimbingannya dalam penyelesaian skripsi ini.
6. Bapak Osea Zebua, S.T., M.T. selaku dosen penguji skripsi yang juga telah memberikan banyak ilmu, kritik dan saran dalam penyelesaian skripsi ini.
7. Seluruh dosen dan karyawan Teknik Elektro Universitas Lampung yang telah memberikan masukan, dorongan dan ilmu yang sangat berarti bagi penulis.
8. Om Abdurrahman Efendi, S.T., M.T. selaku PLP Laboratorium Sistem Tenaga Elektrik terima kasih atas kerja sama, ilmu dan pengalamannya.
9. Bapak dan Ibu yang selalu memberikan doa, semangat serta kasih sayangnya selama ini. Kakakku Haryanti Dian Pertiwi, Kakak Ipar Denden Kristianto, Keponakan Danish Rafandra, Mbah Kakung, Mbah Putri dan Keluarga besar.
10. Teman-teman KKN Januari 2013 dusun Kedaton, Kasui, Way Kanan. Teman KP di KDL dan Indonesia Power Suralaya Dedy Irawan, Achmad Taufik Prabowo dan Much. Rifqi dan KP di PT. PLN P3BS Kak Joko Saputro terima kasih atas kerjasama, semangat dan sarannya selama ini.
11. Teman-teman Sepeda kuliner besbeng dan kakak tingkat maupun adik tingkat yang telah membantu dan memberi saran serta semangat.
12. Rekan – rekan Teknik Elektro angkatan 2009 yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terima kasih atas kebersamaan dan kekeluargaannya.
13. Semua pihak yang telah membantu serta mendukung penulis dari awal kuliah hingga terselesaikannya skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan. Penulis menerima kritik dan saran yang membangun dari semua pihak untuk. Semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 17 Januari 2017

Ranny Dwidayanti

## DAFTAR ISI

Halaman

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iv
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang Masalah .....	1
1.2. Tujuan Penelitian .....	2
1.3. Rumusan Masalah .....	2
1.4. Batasan Masalah .....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
1.6. Hipotesis .....	3
1.7. Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Sel Surya ( <i>Photovoltaic</i> ).....	6
2.1.1. Prinsip Kerja Sel Surya .....	6
2.1.2. Persamaan Karakteristik Sel Surya .....	8
2.1.3. Modul Sel Surya.....	12
2.1.4. Faktor yang mempengaruhi tingkat operasional <i>photovoltaic</i> ....	12
2.2. <i>Maximum Power Point Tracking</i> ( <i>MPPT</i> ).....	15
2.2.1. <i>Incremental Conductance</i> .....	17
2.2.2. <i>Perturbation &amp; Observation (P&amp;O)</i> .....	19
2.2.3. <i>Fuzzy Logic</i> .....	20
2.3. <i>Buck Converter</i> .....	22
2.4. <i>Boost Converter</i> .....	27
2.5. <i>Buck Boost Converter</i> .....	31

2.6. Parameter Kualitas Sistem <i>MPPT</i> .....	33
--	----

### **BAB III. METODE PENELITIAN**

3.1. Waktu dan Tempat .....	35
3.2. Alat dan Bahan .....	36
3.3. Metode Penelitian.....	38
3.4. Diagram Alir Program .....	40

### **BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1. Hasil.....	41
4.1.1. Spesifikasi Alat .....	41
4.2. Pembahasan .....	43
4.2.1. Pengolahan data .....	43
4.2.2. Pengujian Sistem <i>MPPT</i> dengan non <i>MPPT</i> .....	85

### **BAB V SIMPULAN DAN SARAN**

5.1. Simpulan.....	88
5.2. Saran.....	89

### **DAFTAR PUSTAKA**

### **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1. Gambar 2.1. Skema Efek <i>Photovoltaic</i> .....	7
2. Gambar 2.2. Rangkaian Pengganti Sel Surya .....	9
3. Gambar 2.3. Karakteristik Sel <i>Photovoltaic</i> terhadap perbedaan radiasi...	10
4. Gambar 2.4. Karakteristik Sel <i>Photovoltaic</i> Terhadap Perbedaan Suhu ...	11
5. Gambar 2.5. Nominal Sel Suhu Operasional ( <i>NOCT</i> ).....	14
6. Gambar 2.6. Flowchart <i>Algoritma P &amp; O</i> .....	20
7. Gambar 2.7. Sistem inferensi <i>fuzzy</i> .....	21
8. Gambar 2.8. Blok diagram sistem.....	22
9. Gambar 2.9. Topologi <i>buck</i> konverter .....	23
10. Gambar 2.10. Keadaan <i>ON (ON State)</i> .....	24
11. Gambar 2.11. Arus induktor pada <i>buck</i> konverter .....	25
12. Gambar 2.12. Keadaan <i>OFF</i> .....	26
13. Gambar 2.13. Rangkaian <i>Boost converter</i> .....	28
14. Gambar 2.14. Rangkaian <i>Boost converter</i> Saat <i>Switch</i> Tertutup .....	28
15. Gambar 2.15. Rangkaian <i>boost converter</i> saat <i>switch</i> terbuka .....	29
16. Gambar 2.16. <i>Buckboost</i> konverter .....	32
17. Gambar 2.17. Siklus kerja <i>buckboost</i> konverter pada saat <i>switch ON</i> dan <i>switch OFF</i> .....	32
18. Gambar 3.1. Diagram alir prinsip kerja alat.....	38

19. Gambar 4.1. <i>Name Plate</i> Panel Surya.....	39
20. Gambar 4.2. Panel Surya.....	40
21. Gambar 4.3. Simulasi pada <i>Maltab</i> tanpa menggunakan <i>MPPT</i> .....	43
22. Gambar 4.4. Simulasi pada <i>Maltab</i> menggunakan <i>MPPT</i> .....	45
23. Gambar 4.5. Gambar Simulasi Tanpa <i>MPPT</i> dengan suhu 25°C irradiansi 1000 W/m <sup>2</sup> , dan R 10 .....	47
24. Gambar 4.6. Gambar Simulasi Tanpa <i>MPPT</i> dengan suhu 26°C irradiansi 1000 W/m <sup>2</sup> , dan R 10 .....	49
25. Gambar 4.7. Gambar Simulasi Tanpa <i>MPPT</i> dengan suhu 27°C irradiansi 1000 W/m <sup>2</sup> , dan R 10 .....	50
26. Gambar 4.8. Gambar Simulasi Tanpa <i>MPPT</i> dengan suhu 28°C irradiansi 1000 W/m <sup>2</sup> , dan R 10 .....	51
27. Gambar 4.9. Gambar Simulasi Tanpa <i>MPPT</i> dengan suhu 29°C irradiansi 1000 W/m <sup>2</sup> , dan R 10 .....	52
28. Gambar 4.10. Gambar Simulasi Tanpa <i>MPPT</i> dengan suhu 30°C irradiansi 1000 W/m <sup>2</sup> , dan R 10 .....	53
29. Gambar 4.11. Gambar Simulasi Tanpa <i>MPPT</i> dengan suhu 31°C irradiansi 1000 W/m <sup>2</sup> , dan R 10 .....	54
30. Gambar 4.12. Gambar Simulasi Tanpa <i>MPPT</i> dengan suhu 32°C irradiansi 1000 W/m <sup>2</sup> , dan R 10 .....	55
31. Gambar 4.13. Gambar Simulasi Tanpa <i>MPPT</i> dengan suhu 33°C irradiansi 1000 W/m <sup>2</sup> , dan R 10 .....	56
32. Gambar 4.14. Gambar Simulasi Tanpa <i>MPPT</i> dengan suhu 34°C irradiansi 1000 W/m <sup>2</sup> , dan R 10 .....	57

33. Gambar 4.15. Gambar Simulasi Tanpa <i>MPPT</i> dengan suhu $35^{\circ}\text{C}$ irradiansi 1000 $\text{W}/\text{m}^2$ , dan R 10 .....	58
34. Gambar 4.16. Gambar Simulasi Tanpa <i>MPPT</i> dengan suhu $36^{\circ}\text{C}$ irradiansi 1000 $\text{W}/\text{m}^2$ , dan R 10 .....	59
35. Gambar 4.17. Gambar Simulasi Tanpa <i>MPPT</i> dengan suhu $37^{\circ}\text{C}$ irradiansi 1000 $\text{W}/\text{m}^2$ , dan R 10 .....	60
36. Gambar 4.18. Gambar Simulasi Tanpa <i>MPPT</i> dengan suhu $38^{\circ}\text{C}$ irradiansi 1000 $\text{W}/\text{m}^2$ , dan R 10 .....	61
37. Gambar 4.19. Gambar Simulasi Tanpa <i>MPPT</i> dengan suhu $39^{\circ}\text{C}$ irradiansi 1000 $\text{W}/\text{m}^2$ , dan R 10 .....	62
38. Gambar 4.20. Gambar Simulasi Tanpa <i>MPPT</i> dengan suhu $40^{\circ}\text{C}$ irradiansi 1000 $\text{W}/\text{m}^2$ , dan R 10 .....	63
39. Gambar 4.21. Gambar grafik hubungan antara tegangan dan arus pada irradiansi 1000 $\text{W}/\text{m}^2$ .....	64
40. Gambar 4.22. Gambar grafik hubungan antara Daya dan Tegangan pada irradiansi 1000 $\text{W}/\text{m}^2$ .....	65
41. Gambar 4.23. Gambar Simulasi Menggunakan <i>MPPT</i> dengan suhu $25^{\circ}\text{C}$ irradiansi 1000 $\text{W}/\text{m}^2$ , dan R 10 .....	66
42. Gambar 4.24. Gambar Simulasi Menggunakan <i>MPPT</i> dengan suhu $26^{\circ}\text{C}$ irradiansi 1000 $\text{W}/\text{m}^2$ , dan R 10 .....	68
43. Gambar 4.25. Gambar Simulasi Menggunakan <i>MPPT</i> dengan suhu $27^{\circ}\text{C}$ irradiansi 1000 $\text{W}/\text{m}^2$ , dan R 10 .....	69
44. Gambar 4.26. Gambar Simulasi Menggunakan <i>MPPT</i> dengan suhu $28^{\circ}\text{C}$ irradiansi 1000 $\text{W}/\text{m}^2$ , dan R 10 .....	70

45. Gambar 4.27. Gambar Simulasi Menggunakan <i>MPPT</i> dengan suhu 29°C	
irradiasi 1000 W/m <sup>2</sup> , dan R 10 .....	71
46. Gambar 4.28. Gambar Simulasi Menggunakan <i>MPPT</i> dengan suhu 30°C	
irradiasi 1000 W/m <sup>2</sup> , dan R 10 .....	72
47. Gambar 4.29. Gambar Simulasi Menggunakan <i>MPPT</i> dengan suhu 31°C	
irradiasi 1000 W/m <sup>2</sup> , dan R 10 .....	73
48. Gambar 4.30. Gambar Simulasi Menggunakan <i>MPPT</i> dengan suhu 32°C	
irradiasi 1000 W/m <sup>2</sup> , dan R 10 .....	74
49. Gambar 4.31. Gambar Simulasi Menggunakan <i>MPPT</i> dengan suhu 33°C	
irradiasi 1000 W/m <sup>2</sup> , dan R 10 .....	75
50. Gambar 4.32. Gambar Simulasi Menggunakan <i>MPPT</i> dengan suhu 34°C	
irradiasi 1000 W/m <sup>2</sup> , dan R 10 .....	76
51. Gambar 4.33. Gambar Simulasi Menggunakan <i>MPPT</i> dengan suhu 35°C	
irradiasi 1000 W/m <sup>2</sup> , dan R 10 .....	77
52. Gambar 4.34. Gambar Simulasi Menggunakan <i>MPPT</i> dengan suhu 36°C	
irradiasi 1000 W/m <sup>2</sup> , dan R 10 .....	78
53. Gambar 4.35. Gambar Simulasi Menggunakan <i>MPPT</i> dengan suhu 37°C	
irradiasi 1000 W/m <sup>2</sup> , dan R 10 .....	79
54. Gambar 4.36. Gambar Simulasi Menggunakan <i>MPPT</i> dengan suhu 38°C	
irradiasi 1000 W/m <sup>2</sup> , dan R 10 .....	80
55. Gambar 4.37. Gambar Simulasi Menggunakan <i>MPPT</i> dengan suhu 39°C	
irradiasi 1000 W/m <sup>2</sup> , dan R 10 .....	81
56. Gambar 4.38. Gambar Simulasi Menggunakan <i>MPPT</i> dengan suhu 40°C	
irradiasi 1000 W/m <sup>2</sup> , dan R 10 .....	82

57. Gambar 4.39. Gambar grafik hubungan antara tegangan dan arus pada irradiasi $1000 \text{ W/m}^2$ . .....	83
58. Gambar 4.40. Gambar grafik hubungan antara daya dan tegangan pada irradiasi $1000 \text{ W/m}^2$ .....	84
59. Gambar 4.41. Gambar Grafik Daya keluaran Sebelum dan Setelah Pemasangan <i>MPPT</i> .....	85

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Karakteristik utama metode-metode <i>MPPT</i> .....	17
Tabel 2.2. Algoritma <i>P &amp; O</i> .....	20
Tabel 2.3. Aturan <i>fuzzy</i> .....	22
Tabel 4.1. Data nilai yang dimasukkan pada simulasi <i>MPPT</i> .....	42
Tabel 4.2. Data hasil simulasi pada matlab tanpa menggunakan <i>MPPT</i> .....	44
Tabel 4.3. Data hasil simulasi pada matlab menggunakan <i>MPPT</i> .....	46

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Tabel 2. Data hasil pengambilan suhu paparan panas matahari.....	94
Gambar 1. Input tegangan pada <i>PV</i> panel.....	100
Gambar 2. <i>MPPT MATLAB</i> .....	102
Gambar 3. <i>Buckboost</i> Konverter <i>MPPT</i> .....	105
Gambar 4. Simulasi pada matlab tanpa menggunakan <i>MPPT</i> .....	106

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar Belakang Masalah**

Energi matahari dapat diperoleh dengan mudah dan gratis, namun hasil konversinya tidak sepenuhnya dapat diperoleh dengan mudah dan gratis. Kelebihan yang dimiliki energi matahari adalah energi cahaya matahari berlimpah ruah, kita dapat memasang panel surya di atap rumah tanpa merugikan tetangga yang memasang panel surya juga, kita dapat memasang panel surya di mobil pribadi, di peralatan elektronik pribadi tanpa ada yang merasa dirugikan karena energi matahari kita ambil.

Energi matahari dikonversi menjadi energi listrik dengan efisiensi sebesar 18%. Angka tersebut semakin berkurang pada saat energi tersebut digunakan ke peralatan listrik karena pengatur tegangan, baterai, kabel, dan *inverter* menjadi sekitar 10-15% (Eslin, 1990)

Pada dasarnya, efisiensi konversi sel surya dihitung pada saat sel surya bekerja di titik optimumnya. Jika sel surya tidak bekerja pada titik optimumnya maka efisiensi yang kecil tersebut akan semakin kecil. Cara untuk menjaga sel surya

bekerja pada titik optimumnya adalah dengan menerapkan algoritma *maximum power point tracking (MPPT)*.

Rata-rata harian peningkatan daya yang dihantarkan *MPPT* adalah sebesar 16-43% dibanding tidak menggunakan *MPPT*. Peningkatan daya terbesar terjadi pada saat kondisi lingkungan berubah seiring perubahan kondisi lingkungan.

## **1.2. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian yang dilakukan yaitu :

1. Mencari efisiensi maksimal pengisian baterai menggunakan sel surya dengan simulasi *MPPT* pada *MATLAB R2010a*.
2. Membandingkan hasil simulasi *MPPT* pada *MATLAB R2010a* dengan hasil pada simulasi tanpa menggunakan *MPPT*.

## **1.3. Rumusan Masalah**

Pada penelitian ini penulis ingin membandingkan dan mensimulasikan antara nilai daya dari simulasi tanpa menggunakan *MPPT* dan memperbaikinya dengan menggunakan simulasi *MPPT* pada *MATLAB R2010a* yang berfungsi untuk menjaga sel surya bekerja pada titik optimumnya .

#### **1.4. Batasan Masalah**

Penulis membatasi penelitian ini pada :

1. Simulasi menggunakan *software MATLAB R2010a*.
2. Simulasi rancangan *MPPT* baru dengan basis rangkaian *Buck Boost Converter*.
3. Pembahasan mengenai perbandingan hasil *MPPT* baru dengan hasil pada simulasi tanpa menggunakan *MPPT*.

#### **1.5. Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat yang akan kita dapat dari penelitian ini antara lain:

1. Meningkatkan pengisian daya pada baterai.
2. Memperpanjang masa guna baterai.

#### **1.6. Hipotesis**

Berdasarkan kajian teoritis terhadap penelitian yang dilakukan, dapat diambil hipotesis awal yaitu penggunaan *MPPT* dapat memaksimalkan proses pengisian baterai dan dapat memperpanjang usia pakai (*lifetime*) baterai.

## **1.7. Sistematika Penulisan**

Penulisan tugas akhir ini dibagi ke dalam lima bab dengan sistematika sebagai berikut:

### **BAB I. PENDAHULUAN**

Bab ini berisikan tentang latar belakang dan masalah, tujuan penelitian, kerangka pemikiran, batasan masalah, manfaat penelitian, hipotesis serta sistematika penulisan.

### **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisikan tentang teori pendukung yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini.

### **BAB III. METODE PENELITIAN**

Bab ini berisikan tentang waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan, metode yang digunakan dan diagram penelitian yang digunakan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

### **BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini membahas tentang perbandingan hasil dari pengujian dan menganalisis hasil simulasi yang telah dilakukan.

## **BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab terakhir ini berisi kesimpulan dan saran setelah penulis melakukan penelitian dan berdasarkan dari hasil dan pembahasan yang telah dianalisis.

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

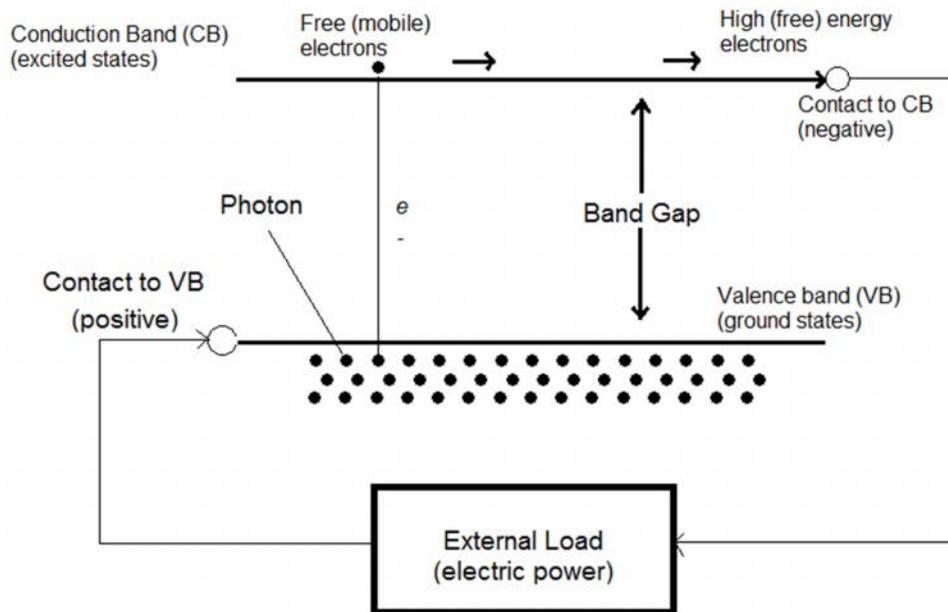
#### 2.1. Sel Surya (*Photovoltaic*).

Sel surya didefinisikan sebagai teknologi yang menghasilkan listrik dc dari suatu bahan semikonduktor ketika dipaparkan oleh cahaya. Selama bahan semikonduktor tersebut dipaparkan oleh cahaya maka sel surya akan selalu menghasilkan energi listrik, dan ketika tidak dipaparkan oleh cahaya, sel surya berhenti menghasilkan energi listrik (Hegedus & Luque, 2003).

##### 2.1.1. Prinsip Kerja Sel Surya.

Sel surya terbuat dari bahan semikonduktor memiliki elektron yang terikat dengan lemah pada suatu pita energi yang disebut pita valensi. Ketika energi yang lebih besar dari batas *threshold (band gap energi)* diberikan kepada elektron di pita valensi tersebut, maka ikatan elektron tersebut akan putus. Kemudian elektron tersebut bergerak bebas pada suatu pita energi baru yang disebut pita konduksi. Elektron bebas pada pita konduksi dapat menghasilkan listrik. Energi yang

dibutuhkan untuk membebaskan elektron ini dapat berasal dari foton, yang merupakan partikel dari cahaya.



Gambar 2.1. Skema efek *photovoltaic*.

Gambar 2.1. menunjukkan proses yang terjadi pada sel surya ketika dipaparkan cahaya. Foton-foton yang merupakan partikel cahaya menabrak elektron. Ketika energi foton tersebut cukup maka elektron akan didorong keluar dari pita valensi (V) melewati pita pemisah (*band gap*) menuju pita konduksi (CB). Kemudian suatu *selective contact* mengumpulkan elektron-elektron pada pita konduksi dan menggerakkan elektron-elektron tersebut. Elektron yang bergerak inilah yang disebut sebagai arus listrik. Energi dari arus listrik digunakan untuk mengerjakan berbagai hal sebelum kembali menuju pita valensi melalui *selective contact* yang kedua.

Sel surya dianggap sebagai suatu *pn junction* karena adanya “*doping*”. *Doping* ini menyebabkan salah satu *selective contact* menjadi sisi *p* (banyak muatan positif) dan yang lain menjadi sisi *n* (banyak muatan negatif).

Pemodelan dan pemahaman prinsip kerja sel surya menjadi lebih sederhana dengan menggunakan konsep *pn junction*.

### 2.1.2. Persamaan Karakteristik Sel Surya.

Persamaan eksponensial untuk memodelkan *sel photovoltaic* diturunkan dari hukum fisika untuk *pn junction* dan secara umum diterima sebagai representasi karakteristik sel ditunjukkan oleh Persamaan (2.1) (Nema, Nema & Agnihotri, 2010).

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

Dimana

$I_{ph}$  = Adalah arus hubungan singkat

$I_s$  = Adalah arus *reserve saturation* dari dioda (A)

$q$  = Adalah muatan elektron ( $1,602 \times 10^{-19}$  C)

$V$  = Adalah tegangan dioda (V)

$K$  = Adalah konstanta Boltzman ( $1,381 \times 10^{-23}$  J/K)

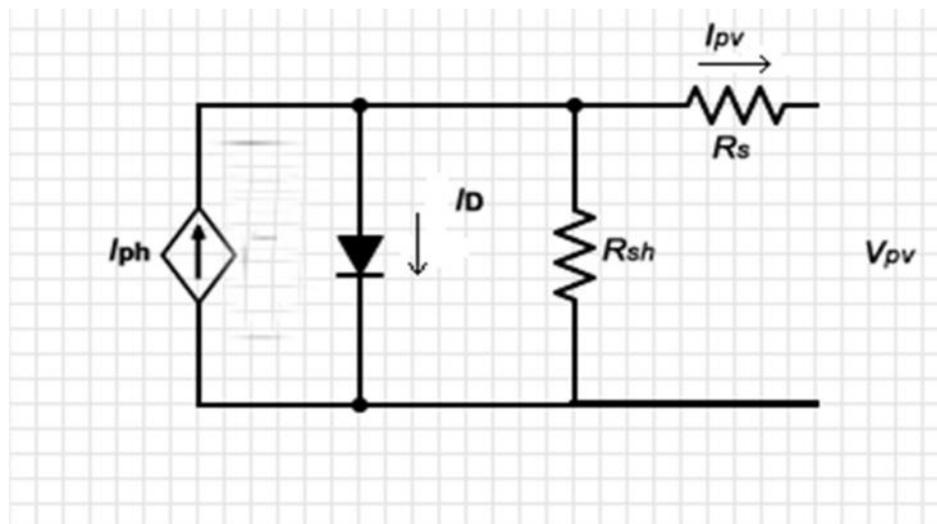
$T$  = Adalah suhu junction dalam *Kelvin* ( $K$ )

$N$  = Faktor idealitas dari dioda

$R_S$  = Adalah tahanan seri dari dioda

$R_{sh}$  = Adalah tahanan shunt dari dioda,

Dari Persamaan (2.1), dapat digambarkan rangkaian pengganti dari *sel photovoltaic*, yaitu seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.2.



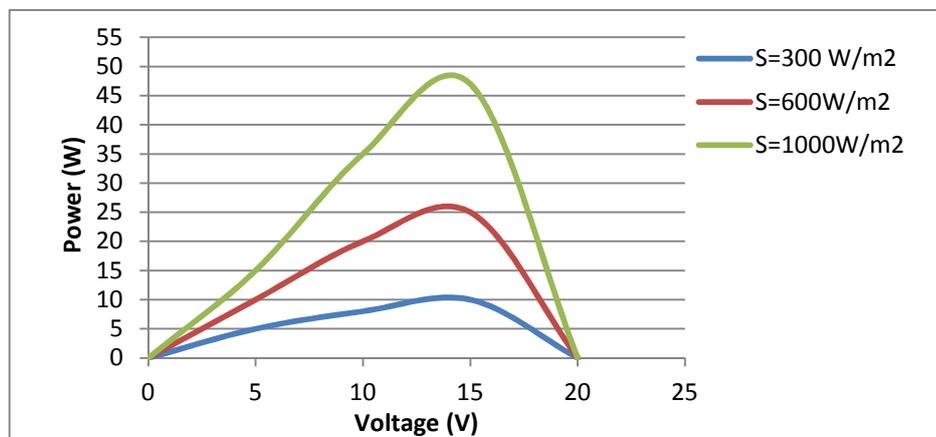
Gambar 2.2. Rangkaian pengganti sel surya.

Keluaran dari *sel photovoltaic* sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, yaitu radiasi matahari dan suhu sel. Dari Persamaan (2.1), arus yang dibangkitkan oleh foton,  $I_{ph}$ , bertuhungan dengan radiasi matahari, , sebagai berikut :

$$I_{ph} = [I_{SC} + k_I(T - 298)] \frac{\lambda}{100} \quad (2.2)$$

$k_I$  adalah koefisien suhu arus hubungan singkat,  $I_{SC}$  adalah arus hubung singkat pada suhu  $25^\circ\text{C}$ ,  $T$  adalah suhu sel, dan  $\lambda$  adalah radiasi matahari dalam  $\text{kW}/\text{m}^2$ .

Berdasarkan Persamaan (2.2), dapat dilihat pada saat suhu konstan, arus yang dibangkitkan oleh foton secara langsung proporsional terhadap radiasi matahari. Pengaruh perubahan radiasi matahari pada kurva karakteristik  $V-I$  dapat dilihat pada Gambar 2.3,  $I_{SC}$  adalah arus pada saat terjadi hubung singkat, dan biasanya nilai tegangannya nol. Pada Gambar 2.3, yang dimaksud  $I_{SC}$  adalah pada saat nilai tegangannya nol.  $V_{OC}$  merupakan tegangan pada saat rangkaian terbuka, sehingga tidak ada arus yang mengalir. Pada Gambar 2.3, yang dimaksud  $V_{OC}$  adalah pada saat nilai arus nol. Radiasi matahari satu *sun* artinya sebesar  $1000 \text{ W/m}^2$ , dst. Jika radiasi matahari yang jatuh ke *sel photovoltaic* berkurang,  $I_{SC}$  dan  $V_{OC}$  juga berkurang, tetapi perubahan  $V_{OC}$  tidak terlalu signifikan seperti pada  $I_{SC}$  (Nema, Nema & Agnihotri, 2010).



Gambar 2.3. Karakteristik Sel *Photovoltaic* terhadap perbedaan radiasi

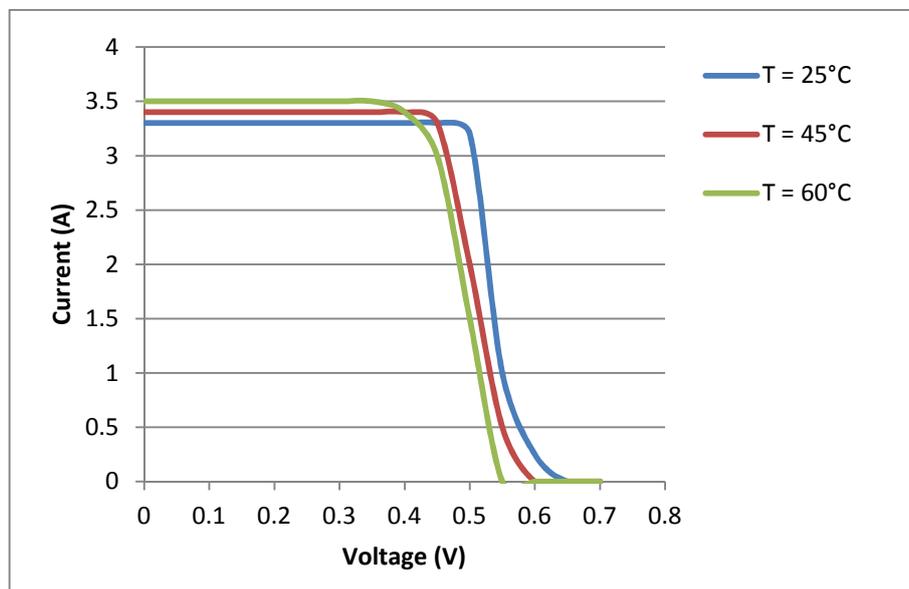
Suhu sel dapat mempengaruhi arus hubung singkat,  $I_{SC}$ , seperti diberikan oleh Persamaan (2.2) dan mengubah arus saturasi dioda dalam *sel photovoltaic* seperti diberikan oleh Persamaan (2.3).

$$I_s(T) = I_s \left[ \frac{T}{T_{nom}} \right]^3 \exp \left[ \left( \frac{T}{T_{nom}} - 1 \right) \frac{E_g}{NV_t} \right] \quad (2.3)$$

$T_{nom} = 273 K$ ,  $I_s$  adalah arus *reserve saturation*,  $E_g$  adalah *band gap energy* dari semikonduktor dan  $V_t$  adalah tegangan thermal pada suhu ruangan. Arus *reserve saturation* dapat diperoleh melalui persamaan berikut :

$$I_s = I_{SC} \left( \exp \frac{qV_{OC}}{NKT} - 1 \right) \quad (2.4)$$

$V_{OC}$  adalah tegangan rangkaian terbuka.



Gambar 2.4. Karakteristik Sel *Photovoltaic* Terhadap Perbedaan Suhu

Berdasarkan Persamaan (2.3), sangat jelas arus saturasi dari dioda *sel photovoltaic* bergantung pada suhu, arus saturasi meningkat seiring peningkatan suhu sel. Gambar 2.4. menunjukkan pengaruh suhu sel terhadap kurva karakteristik  $v-i$ , peningkatan arus saturasi akan memperkecil tegangan rangkaian terbuka,  $V_{OC}$ .

### 2.1.3. Modul Sel Surya.

Sebuah *sel photovoltaic* adalah unit dasar yang mampu menghasilkan tegangan antara 0,5 sampai 0,8 Volt bergantung pada teknologi yang digunakan. Tegangan yang kecil tersebut tidak cukup untuk digunakan secara komersial, oleh karena itu, *sel photovoltaic* diintegrasikan dan dihubungkan dalam suatu modul untuk menghasilkan tegangan yang paling tidak dapat digunakan untuk mengisi baterai 12 Volt.

Modul sel surya adalah kongregasi dari *sel photovoltaic* secara seri agar dapat menghasilkan tegangan yang cocok untuk mengisi baterai 12 Volt (Nema, Nema, & Agnihotri, 2010). Sebuah *sel photovoltaic* menghasilkan tegangan antara 0,5 – 0,6 Volt dan memiliki hubungan tegangan-arus yang *nonlineair* seperti pada Persamaan (2.1). Untuk model *photovoltaic* persamaannya diperoleh melalui modifikasi dari Persamaan (2.1) dengan mengabaikan  $R_S$  &  $R_{Sh}$ . Persamaan modul *photovoltaic* diberikan oleh Persamaan (2.5).

$$I = n_p I_{ph} - n_p I_s \left( \exp \frac{qV}{NKTn_s} - 1 \right) \quad (2.5)$$

Dimana  $n_p$  dan  $n_s$  adalah jumlah sel yang disusun paralel dan seri.

### 2.1.4. Faktor yang mempengaruhi tingkat operasional *photovoltaic*.

Dalam pengoperasiannya, kinerja *PV* sangat dipengaruhi oleh kondisi klimatologi daerah setempat (suhu lingkungan dan radiasi Matahari) dan parameter listriknya (short circuit current, open circuit voltage, suhu sel *PV*, *MPP*, dan sebagainya).

Kajian yang bersifat mendasar sangat diperlukan untuk dapat menjelaskan keterkaitan parameter-parameter tersebut terhadap Kinerja sistem *PV*. Evaluasi terhadap parameter energi sistem *PV* didasarkan pada hasil yang sudah dilakukan tidak cukup akurat dalam menjelaskan arah proses ketika panas ditransfer secara spontan ketika suhu meningkat, sehingga analisis terhadap parameter eksergi yang merupakan bentuk usaha maksimum sistem *PV* pada saat setimbang dengan lingkungannya perlu dilakukan dalam menjelaskan proses sistem secara detail. Efisiensi energi *PV* merupakan rasio antara energi yang dibangkitkan oleh sistem *PV* dan total radiasi Matahari yang sampai di permukaan *PV*, sehingga hanya energi listrik yang dibangkitkan oleh *PV* yang ditinjau, sedangkan parameter lainnya seperti suhu lingkungan, suhu sel *PV*, komponen potensial kimia dan kapasitas panasnya tidak diperhitungkan.

#### 2.1.4.1. Pengaruh suhu operasional pada panel surya

Sebuah modul *PV* bekerja secara maksimal untuk merubah energi surya menjadi energi matahari pada suhu  $25^{\circ} C$  dengan kapasitas produksi  $1 kW/m^2$ . Namun, ketika beroperasi di lapangan, panel surya biasanya akan beroperasi pada suhu yang lebih tinggi dan pada kondisi insolation sedikit lebih rendah.

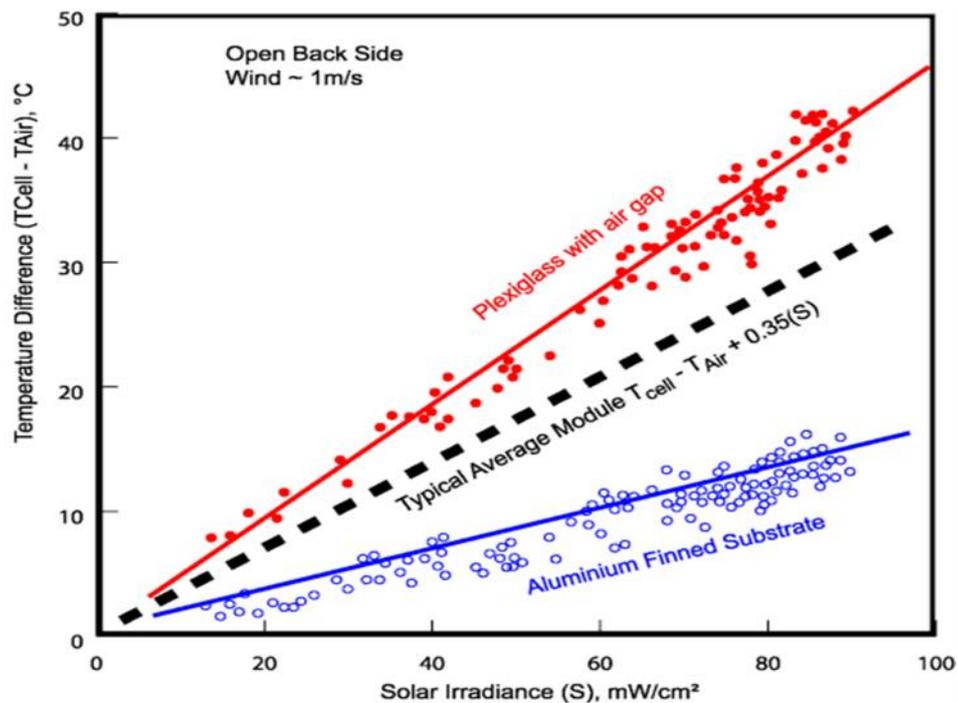
Insolation adalah radiasi matahari yang mencapai permukaan bumi. Hal ini diukur dengan jumlah energi matahari yang diterima per sentimeter persegi per menit.

Untuk menentukan output maksimal daya dari sel surya, sangat penting menentukan suhu operasi yang diharapkan dari modul *PV* atau *NOCT*. Nominal Sel Suhu Operasional (*NOCT*) didefinisikan sebagai suhu yang dicapai oleh sel hubung terbuka (*Voc*) sesuai dengan kondisi yang tercantum di bawah ini:

1. Radiasi pada permukaan sel =  $800 \text{ W/m}^2$
2. Temperatur udara =  $20^\circ\text{C}$
3. Kecepatan angin =  $1 \text{ m/s}$
4. Tipe penyangga panel surya = Terbuka dengan ventilasi

Relasi radiasi matahari dengan perbedaan suhu antara modul dan udara, menunjukkan bahwa konduksi dan kerugian konvektif yang terjadi dipengaruhi oleh insolation radiasi matahari dan kecepatan angin tertentu. Maksudnya pada kondisi tertentu angin dapat membantu membuang panas di panel surya, sehingga optimalisasi produksi tercapai.

Kondisi terbaik termasuk menambahkan desai sirip aluminium di bagian belakang modul yang berfungsi sebagai pendingin dan mengurangi tahanan panas dan meningkatkan luas permukaan untuk konveksi udara.



Gambar.2.5. Nominal Sel Suhu Operasional (NOCT)

Semakin tinggi suhu operasional atau *NOCT* maka tingkat produksi panel surya akan semakin menurun dan begitu juga sebaliknya. Oleh karena itu, untuk mendapatkan *NOCT* yang ideal dapat dilakukan dengan dua hal, yaitu desain modul dan desain penyangga modul. Pengaruh suhu operasional pada panel surya cukup besar untuk mempengaruhi kinerja panel itu sendiri.

#### 2.1.4.2. Desain Material Panel surya pada *NOCT*

Modul desain, termasuk bahan modul dan kepadatan kemasan, memiliki dampak besar pada *NOCT* tersebut. Misalnya, permukaan belakang dengan kepadatan material rendah akan menyebabkan tahanan panas berkurang, yang kemudian membuat perbedaan suhu  $5^{\circ}\text{C}$  atau lebih.

#### 2.1.4.3. Tipe penyangga panel surya pada *NOCT*

Perpindahan panas konduktif dan konvektif secara signifikan dipengaruhi oleh kondisi pemasangan panel surya. Pemasangan yang langsung pada permukaan atap, misalnya, dengan tanpa sirkulasi udara yang cukup, dapat menaikkan suhu hingga  $10^{\circ}\text{C}$ . Oleh karena itu penting untuk memastikan sirkulasi udara pada saat pemasangan penyangga panel surya.

## **2.2. Maximum Power Point Tracking (MPPT).**

Maximum Power Point Tracking atau sering disingkat dengan MPPT merupakan sebuah sistem elektronik yang dioperasikan pada sebuah panel photovoltaic (*PV*)

sehingga panel photovoltaic bisa menghasilkan power maksimum. Perlu diperhatikan, *MPPT* bukanlah sebuah sistem tracking mekanik yang digunakan untuk mengubah posisi modul terhadap posisi matahari sehingga mendapatkan energi maksimum matahari. *MPPT* benar-benar sebuah sistem elektronik yang bisa menelusuri titik power maksimum power yang bisa dikeluarkan oleh sebuah panel *PV*.

Tegangan dan arus keluaran sel surya memiliki karakteristik *nonlinear* seperti ditunjukkan Persamaan (2.1). Hal tersebut juga dapat dilihat pada plot kurva *P-V* hasil simulasi karakteristik sel surya pada Gambar 2.3 dan Gambar 2.4. Parameter kualitas keluaran sel surya dapat dilihat melalui parameter *Fill Factor* yang diberikan oleh Persamaan (2.6).

$$FF = \frac{V_{mp}I_{mp}}{V_{oc}I_{sc}} \quad (2.6)$$

Dimana  $V_{mp}$  dan  $I_{mp}$  merupakan titik kerja maksimum atau *Maximum Power Point (MPP)* dari tegangan dan arus sel surya (Green, 1982). Titik kerja maksimum sel surya berubah seiring perubahan radiasi matahari dan suhu sel.

Sel surya tidak akan secara otomatis bekerja pada titik kerja maksimumnya, melainkan harus dikendalikan. *Maximum Power Point Tracking (MPPT)* adalah metode yang digunakan untuk mencari titik kerja maksimum sel surya dan mempertahankan sel surya bekerja di titik tersebut.

Banyak jurnal yang membahas metode-metode *MPPT*. Terdapat 19 metode *MPPT* yang memiliki perbedaan mendasar seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1; Setiap

metode memiliki karakteristik yang berbeda (Esrarn & Chapman, 2007). Beberapa metode yang *robust* seperti *incremental conductance* dan *perturb & observation* (*P & O*) memiliki kelemahan pada waktu penjajakan dan osilasi pada *MPPT*. Metode yang telah disempurnakan oleh *fuzzy logic* mampu menunjukkan kualitas yang lebih baik.

Tabel 2.1. Karakteristik utama metode-metode *MPPT*. (Esrarn & Chapman, 2007).

Metode <i>MPPT</i>	<i>PV</i> Array Dependent	True <i>MPPT</i>	Analog/Digital	Periodic Tunning	Waktu	Kompleksitas Pemasangan	Sensor
<i>Hill-Climbing/P&amp;O</i>	No	Yes	Both	No	Varies	Low	<i>V,I</i>
<i>IncCond</i>	No	Yes	Digital	No	Varies	Med	<i>V,I</i>
Fractional $V_{OC}$	Yes	No	Both	No	Med	Low	<i>V</i>
Fractional $I_{SC}$	Yes	No	Both	No	Med	Med	<i>I</i>
Fuzzy Logic Control	Yes	Yes	Digital	No	Fast	High	Varies
Neural Network	Yes	Yes	Digital	Yes	Fast	High	Varies
RCC	No	Yes	Analog	No	Fast	Low	<i>V,I</i>
Current Sweep	Yes	Yes	Digital	Yes	Slow	High	<i>V,I</i>
DC Link Capacitor Drop Control	No	No	Both	No	Med	Low	<i>V</i>
Load <i>I</i> or <i>V</i> Maximization	No	No	Analog	No	Fast	Low	<i>V,I</i>
$dP/dV$ or $dP/dI$ Feedback Control	No	Yes	Digital	No	Fast	Med	<i>V,I</i>
Array Reconfiguration	Yes	No	Digital	Yes	Slow	High	<i>V,I</i>
Linear Current Control	Yes	No	Digital	Yes	Fast	Med	Irradiance
$I_{MPP}$ & $V_{MPP}$ Computation	Yes	Yes	Digital	Yes	N/A	Med	Irradiance Temperature
State based <i>MPPT</i>	Yes	Yes	Both	Yes	Fast	High	<i>V,I</i>
<i>OCCMPPT</i>	Yes	No	Both	Yes	Fast	Med	<i>I</i>
<i>BFV</i>	Yes	No	Both	Yes	N/A	Low	None
<i>LRCM</i>	Yes	No	Digital	No	N/A	High	<i>V,I</i>
Slide Control	No	Yes	Digital	No	Fast	Med	<i>V,I</i>

### 2.2.1. *Incremental Conductance.*

Metode *incremental conductance* (*ICM*) bekerja berdasarkan gradiens kurva *P-V* atau kurva *P-I* karakteristik sel surya (Esrarn & Chapman, 2007). Titik kerja maksimum sel surya terletak pada nilai tegangan yang berbeda untuk setiap kondisi lingkungan yang berbeda, disebut  $V_{MPP}$ .

*MPPT* memberikan  $V_{Ref}$  agar titik kerja sel surya terdapat di nilai  $V_{MPP}$  tersebut. *Flowchart* dari algoritma *ICM* ditunjukkan oleh Gambar 2.5. Karakteristik *P-V* sel surya merupakan fungsi daya terhadap tegangan, mencapai titik maksimum ketika gradient-nya bernilai nol.

$$\frac{\partial P}{\partial V} = 0 \quad (2.7)$$

Karena  $P = V.I$ , maka :

$$\frac{\partial(V.I)}{\partial V} = \frac{V.\partial I + \partial V.I}{\partial V} \quad (2.8)$$

$$V\frac{\partial I}{\partial V} + 1 = 0 \quad (2.9)$$

$$\frac{\partial I}{\partial V} = -\frac{I}{V} \quad (2.10)$$

Perubahan  $V_{Ref}$  yang diberikan *ICM* tetap untuk setiap iterasi. Besar perubahan  $V_{Ref}$  tersebut dipertimbangkan dari waktu penjajakan menuju nilai maksimum dan osilasi pada nilai maksimum. Kedua parameter tersebut memiliki hubungan terbalik, sehingga selalu terdapat kompensasi untuk setiap parameter yang ingin diperbaiki. Perubahan  $V_{Ref}$  yang besar akan mempercepat waktu penjajakan, namun sulit mencapai  $V_{MPP}$  dan menyebabkan osilasi di sekitar *MPP*. Oleh karena itu, modifikasi dari algoritma *ICM* yang telah berkembang selama ini adalah dengan membuat besar perubahan  $V_{Ref}$  bervariasi (Mei, Shan, Liu, & Guerrero, 2011).

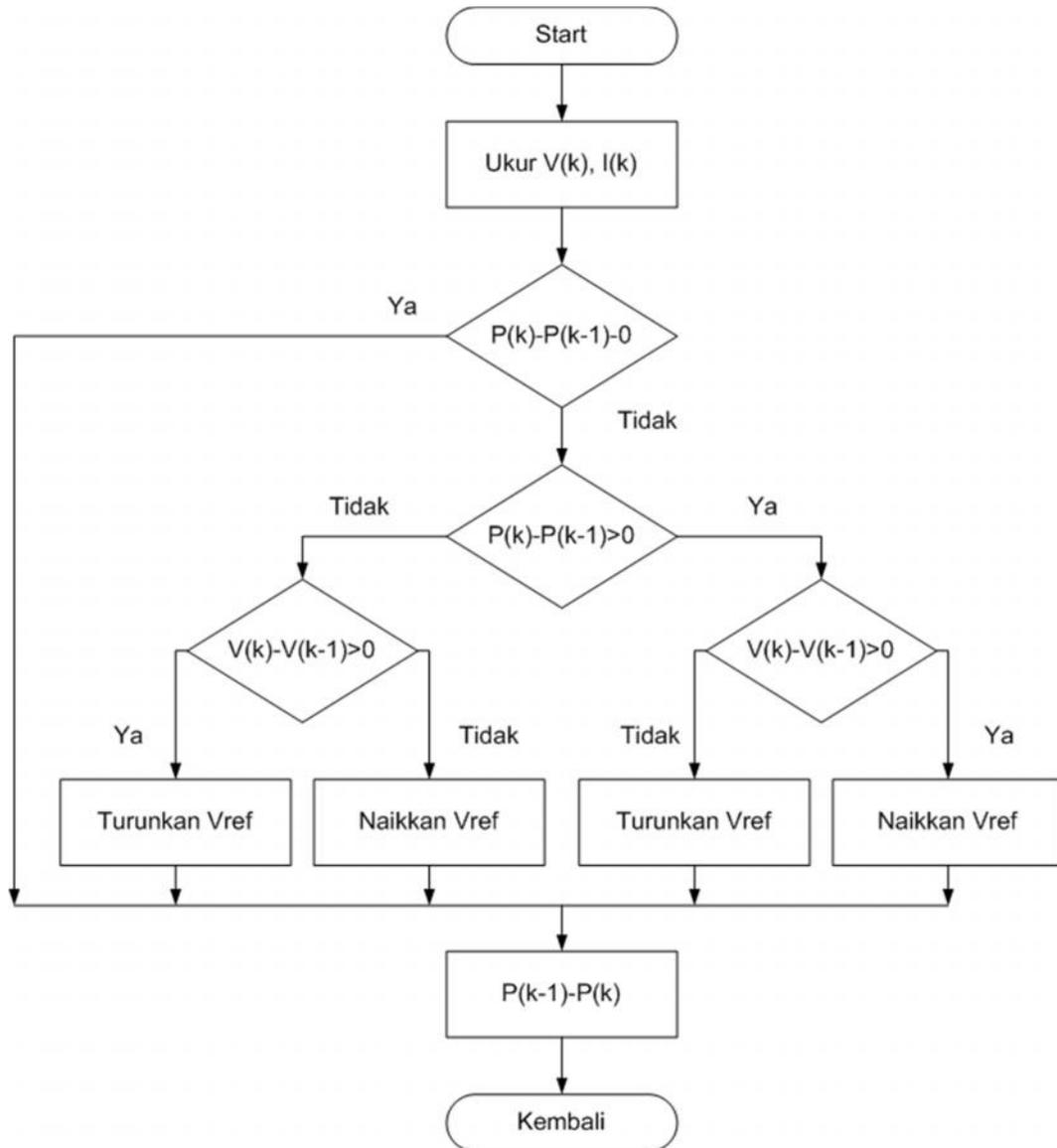
### 2.2.2. *Perturbation & Observation (P&O).*

Metode *Perturbation & Observation* terdiri dari dua tahap; *perturb* yaitu mengubah  $V_{ref}$  dan *observation* yaitu menghitung perubahan daya akibat aksi *perturb* sebelumnya. Jika perubahan daya positif maka *perturb* selanjutnya akan tetap pada arah yang sama, sedangkan jika perubahan daya negatif maka *perturb* akan dibalik (Esram & Chapman, 2007). Tabel 2.2, menjelaskan algoritma *perturbation* dan *observation*.

Tabel 2.2. Algoritma *P & O*.

<b>Perturbation</b>	<b>Perubahan Daya</b>	<b>Perturbation Selanjutnya</b>
Positif	Positif	Positif
Positif	Negatif	Negatif
Negatif	Positif	Negatif
Negatif	Negatif	Positif

Seperti halnya *ICM*, besar *perturb* yang diberikan tetap. Untuk itu, masalah waktu penjajakan dan osilasi *MPP* diselesaikan dengan menggunakan besar *perturbation* yang bervariasi (Peigari & Rizzo, 2010).



Gambar 2.6. Flowchart Algoritma P & O.

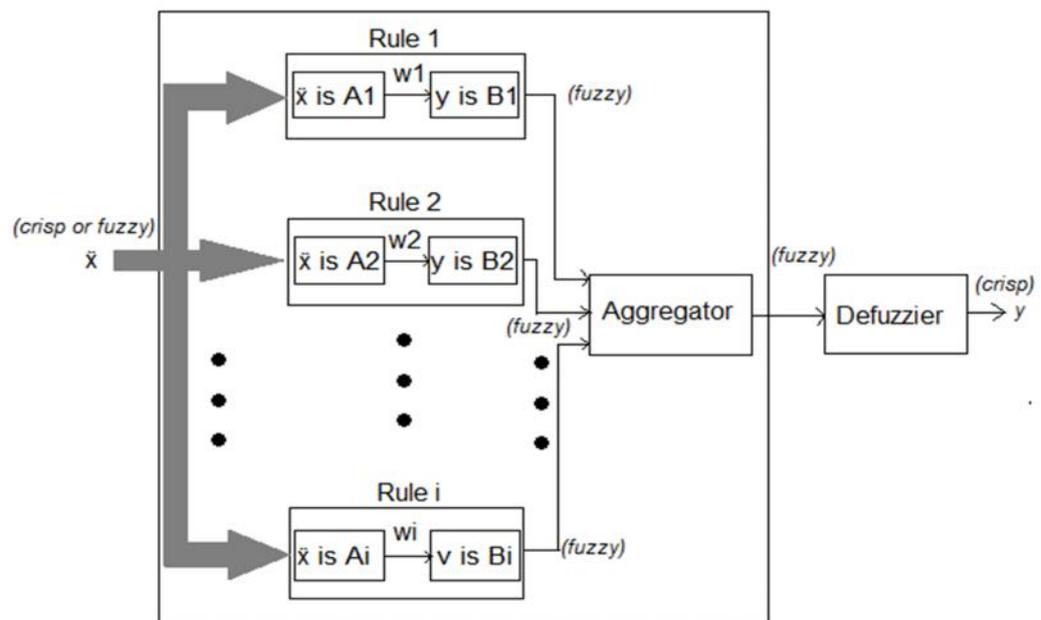
### 2.2.3. Fuzzy Logic.

Sistem *fuzzy* ditemukan pertama kali oleh Prof. Lotfi Zadeh pada pertengahan tahun 1960 di Universitas California. Sistem inferensi Fuzzy adalah sistem kerja komputer yang didasarkan pada konsep teori *Fuzzy*, aturan *Fuzzy if-then*, dan logika *Fuzzy*.

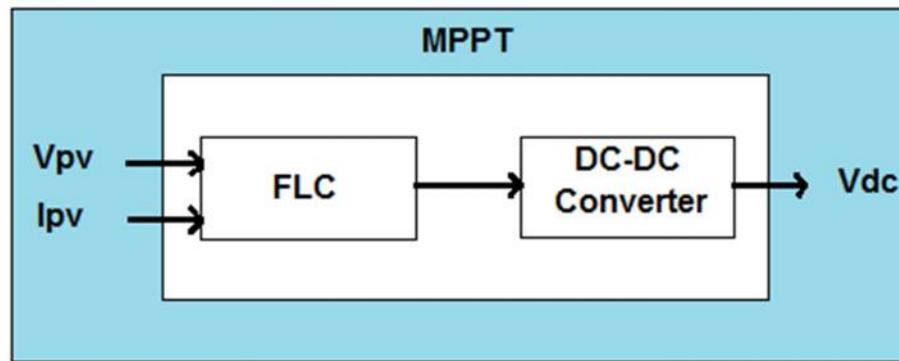
Struktur dasar dari sistem Inferensi *Fuzzy* terdiri dari :

1. Basis aturan berisi aturan *if-then*.
2. Basis data yang mendefinisikan fungsi keanggotaan dari himpunan *Fuzzy*.
3. Unit pengambilan keputusan yang menyatakan operasi inferensi aturan-aturan.
4. Fuzzifikasi yang mentransformasi masukan himpunan klasik (*crisp*) ke derajat tertentu yang sesuai dengan aturan besaran fungsi keanggotaan.
5. Defuzzifikasi yang mentransformasi hasil *fuzzy* ke bentuk keluaran yang *crisp*.

Blok diagram sistem inferensi *Fuzzy* terlihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Sistem inferensi *fuzzy*.



Gambar 2.8. Blok diagram sistem.

Melihat Gambar 2.8. Sebagai variable masukan dari *FLC* adalah tegangan dan arus solar sel, sedangkan variable keluaran *duty cycle*. Untuk masing-masing variable input memiliki tujuh *fuzzy set* yang ditunjukkan pada Tabel 2.3. Dengan nilai tegangan besar (*BN*), negative medium (*MN*), negative kecil (*SN*), nol (*Z*), positif besar (*BP*), positif medium (*MP*), dan positif kecil (*SP*).

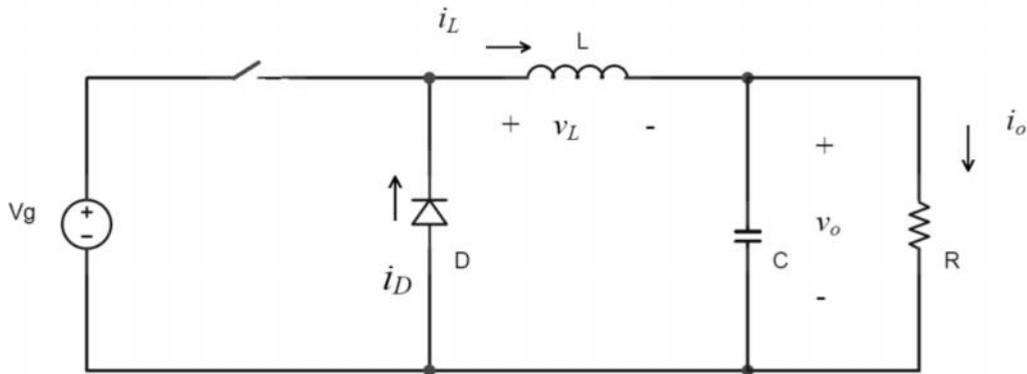
Tabel 2.3. Aturan *fuzzy*.

$\Delta V_{pv}/\Delta I_{pv}$	BN	MN	SN	Z	SP	MP	BP
BNBP	BP	MP	Z	MN	BN	BN	
MNBP	MP	SP	Z	SN	MN	BN	
SNMP	SP	SP	Z	SN	SN	MN	
ZBN	MN	SN	Z	SP	MP	BP	
SPMN	SN	SN	Z	SP	SP	MP	
MPBN	MN	SN	Z	SP	MP	BP	
BPBN	BN	MN	Z	MP	BP	BP	

### 2.3. Buck Converter

*Buck converter* adalah salah satu topologi DC-DC konverter yang digunakan untuk menurunkan tegangan DC. Prinsip kerja rangkaian ini adalah dengan kendali pensaklaran. Komponen utama pada topologi buck adalah penyaklar,

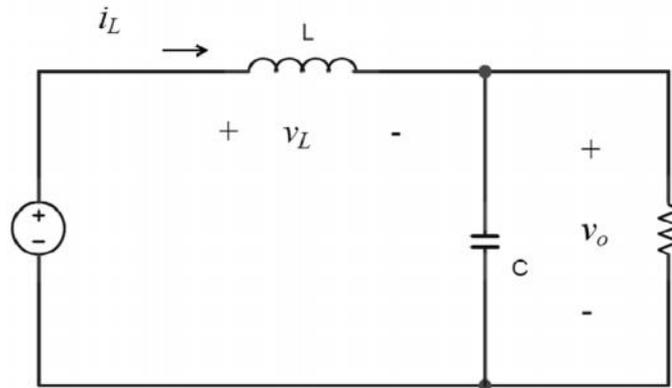
dioda *freewheel*, induktor, dan kapasitor. Pada Gambar 2.9, ditunjukkan topologi *buck* konverter yang masih dasar dengan nilai komponen yang masih belum diketahui.



Gambar 2.9. Topologi *buck* konverter.

Penyaklar dapat berupa transistor, mosfet, atau *IGBT*. Kondisi saklar terbuka dan tertutup ditentukan oleh isyarat *PWM*. Pada saat saklar terhubung, maka induktor, kapasitor, dan beban akan terhubung dengan sumber tegangan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10, Kondisi seperti ini disebut dengan keadaan *ON* (*ON State*). Saat kondisi *ON* maka dioda akan *reverse bias*. Sedangkan saat saklar terbuka maka seluruh komponen tadi akan terisolasi dari sumber tegangan seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.12, keadan ini disebut dengan kondisi *OFF* (*OFF State*). Saat kondisi *OFF* ini dioda menyediakan jalur untuk arus induktor. *Buck* konverter disebut juga *down* konverter karena nilai tegangan keluaran selalu lebih kecil dari inputnya.

Berikut ini adalah penjelasan mengenai kedua kondisi pada *buck* konverter.



Gambar 2.10. Keadaan *ON* (*ON State*).

Pada saat kondisi *ON* maka rangkaian *buck* konverter akan nampak seperti Gambar 2.10, dan dioda akan *reverse bias*. Dengan demikian tegangan pada induktor adalah

$$V_L = V_S - V_O = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.11)$$

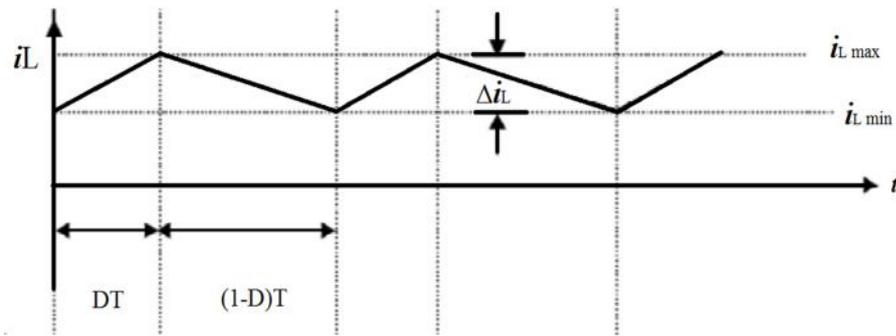
Sehingga diperoleh,

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{(V_S - V_O)}{L} \quad (2.12)$$

Selama nilai turunan dari arus adalah konstanta positif, maka arus akan bertambah secara linear seperti yang digambarkan pada Gambar 2.10, selama selang waktu 0 sampai dengan  $DT$ . Perubahan pada arus selama kondisi *ON* dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.12.

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{(V_S - V_O)}{L} \quad (2.13)$$

$$\Delta i_{L \text{ closed}} = \frac{(V_S - V_O)}{L} DT \quad (2.14)$$



Gambar 2.11. Arus induktor pada *buck* konverter.

Pada saat kondisi *OFF* atau saklar terbuka, maka dioda menjadi *forward bias* untuk menghantarkan arus induktor, dan rangkaian *buck* konverter akan nampak seperti Gambar 2.12, tegangan pada induktor saat saklar terbuka adalah

$$V_L = -V_O = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.15)$$

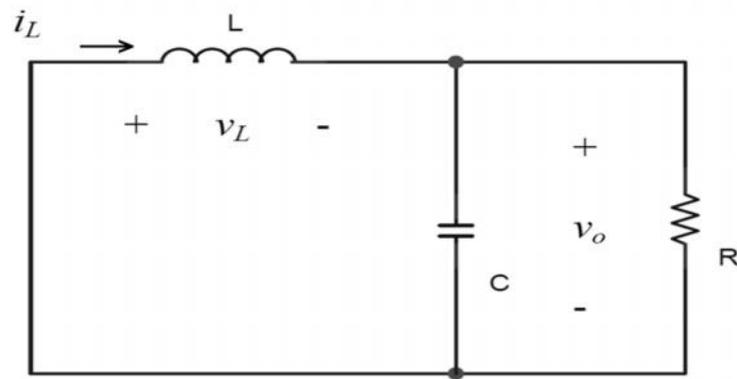
Sehingga diperoleh,

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{-V_O}{L} \quad (2.16)$$

Turunan dari arus di induktor adalah konstanta negatif, dan arus berkurang secara linear, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10, pada ruas  $(1-D)T$ . Perubahan pada arus induktor ketika saklar terbuka adalah,

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = -\frac{V_O}{L} \quad (2.17)$$

$$\Delta i_{L\,open} = -\frac{V_O}{L} (1-D)T \quad (2.18)$$

Gambar 2.12. Keadaan *OFF*.

Operasi keadaan tunak (*steady state*) terpenuhi jika arus pada induktor pada akhir siklus penyaklaran adalah sama dengan saat awal penyaklaran, artinya perubahan pada arus induktor selama satu periode adalah nol. Hal ini berarti

$$(\Delta i_L)_{\text{closed}} + (\Delta i_L)_{\text{open}} = 0$$

(2.19)

Berdasarkan persamaan  $(\Delta i_L)_{\text{closed}}$  dan  $(\Delta i_L)_{\text{open}}$  diperoleh,

$$\frac{V_S - V_O}{L} DT - \frac{V_O}{L} (1 - D)T = 0 \quad (2.20)$$

Dengan menyelesaikan  $V_O$  diperoleh hubungan,

$$V_O = V_S \cdot D \quad (2.21)$$

Yang sama dengan apabila menghitung nilai dari integral keluaran selama 1 periode,

$$\frac{1}{T} \int_0^T v_o(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{DT} 0 dt$$

$$\frac{1}{T} \int_0^T V_S(t) dt = \frac{1}{T} V_S(T - DT) = V_S \cdot D$$

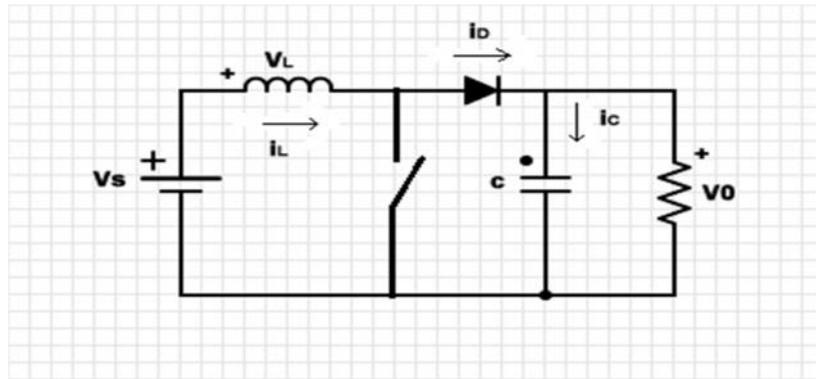
(2.22)

$$0 \leq D \leq 1$$

Berdasarkan pada Persamaan 2.21. dan Persamaan 2.22. karena nilai tegangan keluaran *buck* konverter sebanding dengan nilai *duty cycle*, maka untuk memperoleh nilai keluaran tegangan yang bervariasi, caranya adalah dengan mengubah nilai *duty cyclenya*.

#### **2.4. Boost Converter.**

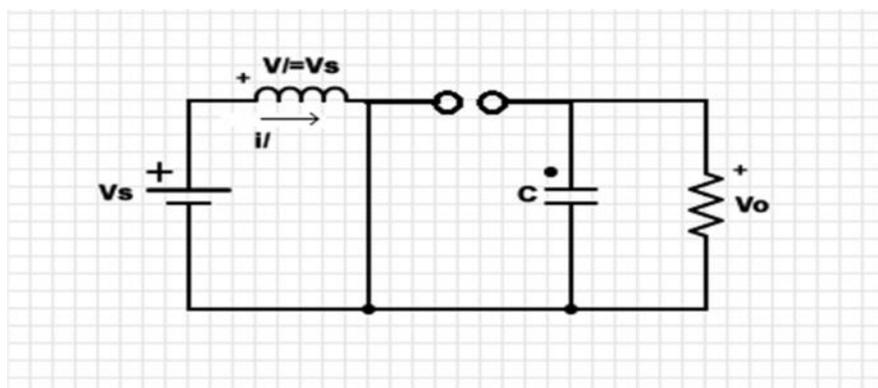
*Dc-dc converter* adalah rangkaian elektronika daya untuk mengkonversi level tegangan dc ke level tegangan dc yang berbeda. Salah satu jenis *dc-dc converter* adalah *boost converter* (Hart, 1997). *Boost converter* adalah suatu *dc-dc converter* yang memiliki arus masukan kontinyu dan arus keluaran diskontinyu (Xiao, Dunfort, Palmer, & Capel, 2007). Karakteristik tersebut membuat *boost converter* digunakan untuk sistem *MPPT*, sebab ketika arus terputus maka tegangan yang terukur akan sama dengan tegangan rangkaian terbuka. Gambar rangkaian *boost converter* ditunjukkan oleh Gambar 2.12. *Boost converter* bekerja dengan cara membuka dan menutup *switch* secara berkala.



Gambar 2.13. Rangkaian *Boost converter*.

Untuk menganalisis hubungan tegangan dan arus pada rangkaian boost converter digunakan beberapa asumsi, yaitu :

- Kondisi *steady-state* ada.
- Periode *switching* adalah  $T$ , dan *switch* tertutup untuk waktu  $DT$  dan terbuka untuk  $(1-D)T$ .
- Arus induktor kontinyu (selalu bernilai positif).
- Kapasitor sangat besar, dan tegangan keluaran konstan.
- Komponen ideal.



Gambar 2.14. Rangkaian *Boost converter* Saat *Switch* Tertutup.

Ketika *switch* tertutup, diode mengalami *reversed-bias*. Gambar 2.14. menunjukkan rangkaian *boost converter* ketika *switch* tertutup. Hukum tegangan *Kirchoff* untuk rangkaian *boost converter* ketika *switch* tertutup adalah

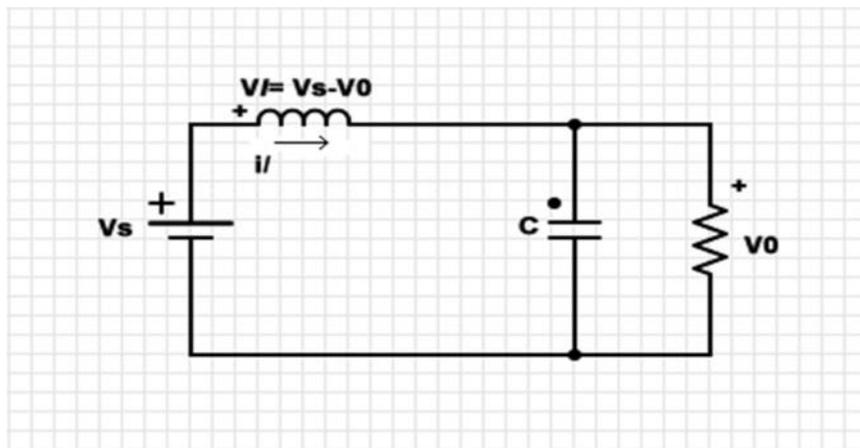
$$V_L = V_S = L \frac{di_L}{dt} \text{ atau } \frac{di_L}{dt} = \frac{V_S}{L} \quad (2.23)$$

Perubahan arus bernilai konstan, sehingga arus meningkat secara linear ketika *switch* tertutup. Perubahan arus induktor adalah

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_S}{L} \quad (2.24)$$

Solusi untuk  $\Delta i_L$  *switch* tertutup

$$(\Delta i_L)_{\text{closed}} = \frac{V_S DT}{L} \quad (2.25)$$



Gambar 2.15. Rangkaian *boost converter* saat *switch* terbuka.

Ketika *switch* terbuka, diode menjadi forward-bias. Dengan mengasumsikan tegangan keluaran  $V_0$  konstan, tegangan pada induktor adalah

$$V_L = V_S = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.26)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_S - V_0}{L} \quad (2.27)$$

Perubahan arus induktor konstan, sehingga arus berubah secara linear ketika *switch* terbuka. Perubahan arus induktor ketika *switch* terbuka adalah

$$\frac{\Delta i_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{V_S - V_0}{L} \quad (2.28)$$

Solusi untuk  $\Delta i_L$ ,

$$(\Delta i_L)_{open} = \frac{(V_S - V_0)(1-D)T}{L} \quad (2.29)$$

Jika bekerja sampai kondisi *steady-state*, total perubahan arus induktor sama dengan nol. Menggunakan Persamaan (2.25) dan Persamaan (2.29), dapat ditentukan hubungan antara masukan dan tegangan keluaran *boost converter*.

$$(\Delta i_L)_{closed} + (\Delta i_L)_{open} = 0 \quad (2.30)$$

$$\frac{V_S D T}{L} + \frac{(V_S - V_0)(1-D)T}{L} = 0 \quad (2.31)$$

Solusi untuk  $V_0$ ,

$$V_S(D + 1 - D) - V_0(1 - D) = 0 \quad (2.32)$$

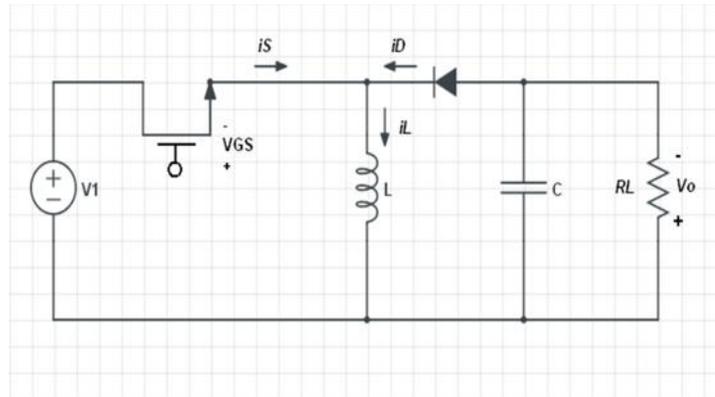
$$V_0 = \frac{V_s}{1-D} \quad (2.33)$$

Persamaan (2.33) menunjukkan ketika *switch* terbuka dan  $D$  sama dengan nol, keluaran sama dengan masukan. Ketika nilai *duty ratio* meningkat, keluaran lebih besar daripada masukan. *Boost converter* dapat menghasilkan tegangan keluaran lebih besar atau sama dengan tegangan masukan. (Hart,1997).

## 2.5. Buck Boost Converter

Adanya gangguan seperti partial shadow pada sistem photovoltaic juga sangat memengaruhi tegangan keluaran panel surya. Sehingga dibuatlah sebuah alat pengubah tegangan DC-DC yaitu *buck-boost converter*. Alat ini dapat mengubah tegangan DC ke DC menjadi lebih tinggi atau lebih rendah dari tegangan inputannya. Sehingga pengguna dapat memilih sendiri tegangan yang akan diaplikasikan ke beban yaitu lebih tinggi atau lebih rendah dari tegangan output photovoltaic. Buck-boost converter adalah sebuah rangkaian DC-DC konverter yang memiliki kelebihan yaitu tegangan keluaran dapat diatur lebih besar atau lebih kecil dari sumber.

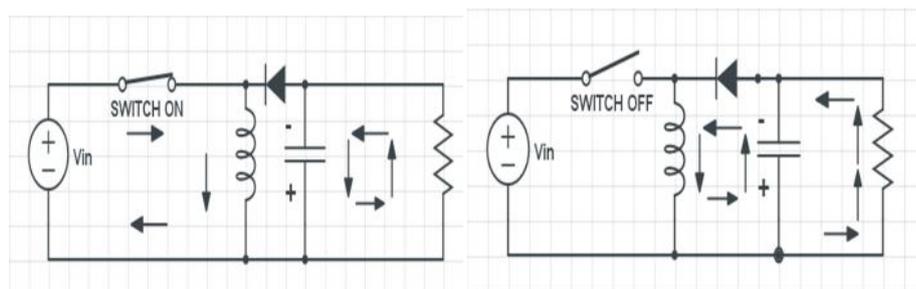
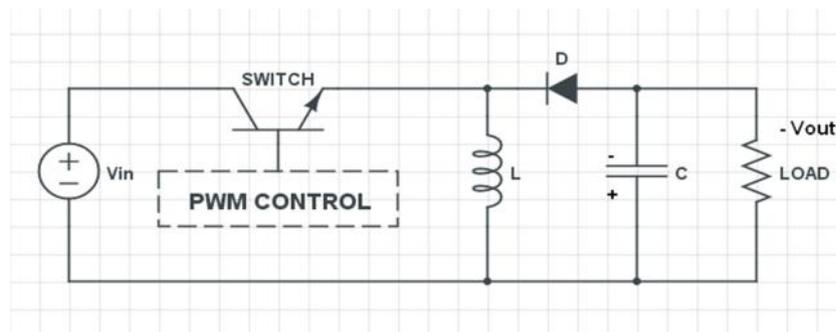
Pada Gambar 2.16, merupakan rangkaian dasar *buckboost* konverter yang terdiri dari power MOSFET sebagai switching komponen, induktor( $L$ ), dioda, kapasitor, filter( $C$ ), dan resistor sebagai beban ( $R_L$ ).



Gambar 2.16. *Buckboost* konverter

Induktor digunakan sebagai filter untuk mengurangi *ripple* arus, sedangkan kapasitor digunakan sebagai filter untuk mengurangi *ripple* tegangan. Dioda digunakan sebagai komponen *switching* yang bekerja pada keadaan *switch open*, sehingga arus tetap mengalir ke induktor.

Prinsip kerja rangkaian ini dibagi menjadi 2 mode yaitu mode 1 saat *switch* di-*ON*-kan dan mode 2 pada saat *switch* di-*OFF*-kan. Siklus kerja *buckboost* konverter terlihat seperti Gambar 2.17.



Gambar 2.17. Siklus kerja *buckboost* konverter pada saat *switch ON* dan *switch OFF*.

Saat *switch ON*, induktor mendapat tegangan dari input dan mengakibatkan adanya arus yang melewati induktor dan dalam waktu yang sama kapasitor dalam kondisi membuang (*discharge*) dan menjadi sumber tegangan dan arus pada beban.

Saat *switch OFF*, tegangan input terputus menyebabkan penurunan arus dan menyebabkan ujung dioda bernilai negatif dan induktor mensuplai kapasitor (*charge*) dan beban. Pada saat *switch ON* arus beban disuplai oleh kapasitor, namun pada saat *switch OFF* disuplai oleh induktor.

## **2.6. Parameter Kualitas Sistem MPPT.**

Kualitas sistem *MPPT* tentu perlu diukur agar performa dari sistem *MPPT* tersebut dapat diketahui. Pengukuran kualitas sistem *MPPT* juga berguna untuk proses pengembangan sistem *MPPT*.

Terdapat tiga parameter yang dapat menentukan kualitas sistem *MPPT* (Yi & Fa, 2009), yaitu :

1. Parametes dinamis. (  $t$  = waktu )

Merupakan waktu yang dibutuhkan oleh sistem *MPPT* untuk mencari titik daya maksimal ketika terjadi perubahan kondisi lingkungan (suhu sel atau radiasi matahari berubah). Semakin cepat waktu yang dibutuhkan, semakin baik sistem *MPPT* tersebut.

2. Parameter statis. (  $P <$  )

Merupakan fluktuasi nilai keluaran ketika titik daya maksimum sudah tercapai dan tidak terjadi perubahan kondisi lingkungan (suhu sel atau radiasi matahari tidak berubah). Semakin kecil fluktuasi yang terjadi, maka semakin baik algoritma *MPPT* tersebut.

3. Parameter daya aktual dan daya ideal

Merupakan perbandingan daya keluaran yang aktual dalam satu periode waktu dengan daya maksimum yang diukur pada kondisi kerja sel surya tersebut. Nilai parameter ini akan berkisar antara 0 sampai 100%. Rasio daya dapat diperoleh berdasarkan Persamaan 2.34. :

$$\text{Rasio Daya Output} = \frac{\text{Daya Aktual}}{\text{Daya Maksimum rating}} \times 100\% \quad (2.34)$$

Semakin besar nilai rasio ini, maka algoritma *MPPT* tersebut semakin baik.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1. Waktu dan Tempat**

##### 1. Waktu Penelitian

Penulis melakukan kegiatan penelitian tugas akhir ini dilakukan dari bulan April 2016- Desember 2016.

##### 2. Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan pada:

- Laboratorium Sistem Tenaga, Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

#### **3.2. Alat dan Bahan**

##### 1. Satu unit Laptop.

Laptop digunakan untuk menyimpan data gelombang output.

Tegangan output percobaan sebelumnya merupakan inputan dari percobaan yang akan dilakukan. Bentuk input merupakan tegangan yang dihasilkan pada osiloskop, dan akan diolah dengan menggunakan bantuan software Matlab. Spesifikasi Laptop Asus dengan spesifikasi *Intel Core i5 CPU A450L 2,7GHz* dan sistem operasi windows 8.

## 2. Software *Matlab*

*Matlab (Matrix Laboratory)* digunakan sebagai program perhitungan dan komputasi dari sampel data yang telah diambil, pembuatan grafik hasil pengujian dan analisis output pengujian.

### **3.3. Metode Penelitian**

Dalam penyelesaian penelitian tugas akhir ini ada beberapa langkah kegiatan yang dilakukan sebagai berikut:

#### 1. Studi Literatur

Merupakan tahapan di mana penulis mengumpulkan dan berbagai teori yang berkaitan dengan sistem *MPPT*. Studi literatur dimaksudkan untuk mempelajari berbagai sumber referensi atau teori (buku dan internet) yang berkaitan dengan penelitian tugas akhir sebagai dasar dalam mengerjakan tugas akhir ini.

Pada pengujian yang akan dilakukan, sumber data yang digunakan adalah sumber data yang telah didapat dari pengambilan data menggunakan *thermometer digital*.

2. Menggunakan struktur program pengujian pada software *MATLAB*.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan software *MATLAB R2010a*. Struktur program pengujian yang akan dipergunakan adalah proses simulasi *MPPT*.

3. Memproses sumber data ke dalam program yang telah dibuat.

Pada langkah ini merupakan pemrosesan sumber data ke dalam program pengujian pada simulasi *MATLAB*. Dari langkah ini akan didapat nilai dan bentuk gelombang keluaran.

4. Menampilkan hasil data pemrosesan yang telah dilakukan

Data yang telah diproses akan ditampilkan dalam wujud gambar plot dimana sumbu x merupakan waktu (t) dan sumbu y merupakan *magnitude* (p).

5. Studi Bimbingan

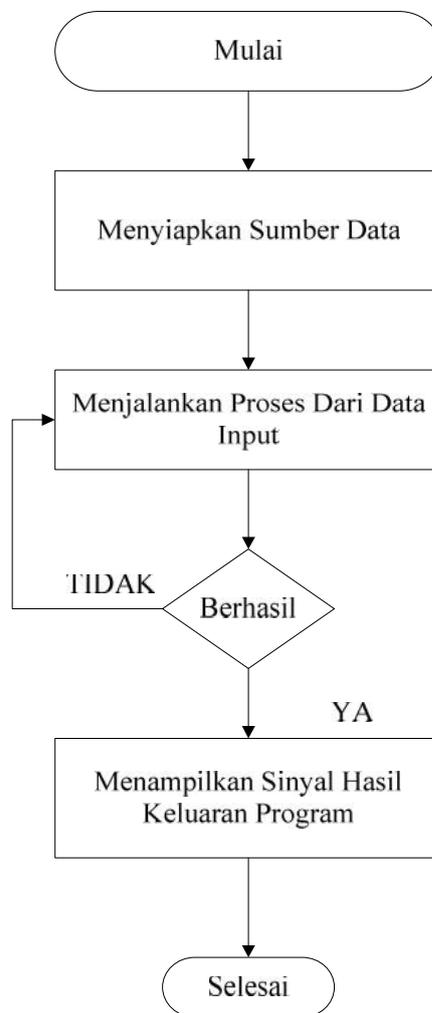
Berbentuk tanya jawab dan bimbingan dengan dosen pembimbing mengenai masalah-masalah yang timbul selama pengerjaan serta penulisan penelitian tugas akhir berlangsung.

6. Pengumpulan Data

Langkah selanjutnya yang dilakukan penulis adalah mengumpulkan data – data yang diperlukan dalam penulisan tugas akhir ini. Data – data yang dikumpulkan berasal dari dan Simulasi

### 3.4. Diagram Alir Program

Berikut merupakan diagram alir dari program tugas akhir yang penulis lakukan :



Gambar 3.4. Diagram alir prinsip kerja alat

## **BAB V**

### **SIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Simpulan**

Simpulan dari hasil analisis dan pembahasan adalah:

1. Simulasi ini pada saat *PV* (Modul surya) menghasilkan tegangan yang terlalu tinggi maka disaat itu pula *buck* konverter berkerja, begitu pula saat modul surya menghasilkan tegangan yang terlalu rendah saat itu *boost* konverter yang bekerja. Hal ini juga berlaku pada arus yang dihasilkan modul surya. Terlihat pada saat suhu 25°C-40°C, nilai arus bernilai 1,29A-1,31A dan begitu pula nilai tegangan bernilai 12,9V-13,1V. Terbukti bahwa *buck boost* konverter mampu menstabilkan dan meningkatkan daya keluaran panel surya sehingga masa guna baterai lebih lama.
2. Simulasi *MPPT* menggunakan *MATLAB R2010a* ini pada suhu 25°C-40°C nilai daya tanpa menggunakan *MPPT* yaitu 16,6 Watt-17,31 Watt, sedangkan nilai daya yang menggunakan *MPPT* meningkat dari 19,285 Watt-19,97 Watt. Sehingga simulasi ini juga mampu meningkatkan efisiensi pengisian daya pada baterai sebesar 18%.

## **5.2 Saran**

Untuk penelitian selanjutnya, alangkah baiknya simulasi ini diaplikasikan dalam bentuk alat untuk meningkatkan efisiensi pengisian baterai dan agar masa guna baterai lebih lama.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Eslin, J. (1990). Maximum Power Point Tracking: a Cost Saving Necessity in Solar Energy System. *Industrial Electronic Society, 1990. Iecon '90., 16TH Annual Conference of IEEE*, 1073-1077.
- [2] Esram, T., & Chapman, P. L. (2007). Comparasion of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques. *Energy Conversion, IEEE Transaction on*, 22 (2), 439-449.
- [3] Green, M. A. (1982). *Solar Cells Opertaing Principles, Technology and System Applications*. New Jersey: Prentice-Hall.
- [4] Hart, D. W. (1997). *Introduction to Power Electronics*. New Jersey: Prentics-Hall.
- [5] Hegedus, S., & Luque, A. (2003). *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. West Sussex: Jhon Wiley & Sons.
- [6] Nema, S., Nema, R. K., & Agnihotri, G. (2010). Matlab Simulink Based Study of Photovoltaic Cells Modules Array and Their Experimental Verification. *International Journal of Energy and Environment*, 1 (3), 487-500.

- [7] Plegari, L., & Rizzo, R. (2010). Adaptive perturb and observe algorithm for photovoltaic maximum power point tracking. *Renewable Power Generation, IET*, 4 (4), 317-328.
- [8] Xiao, W., Dunford, W. G., Palmer, P. R., & Capel, A. (2007). Regulation of Photovoltaic Voltage. *Industrial Electronics, IEEE Transaction on*, 54 (3), 1365-1374.
- [9] Widodo, R.T., Rugianto., Asmuniv., dan Sejati, P (2011). *Maximum Power Point Tracker Sel Surya Menggunakan Algoritma Perturb And Observe*. Politeknik Elektronika Negeri Surabaya-ITS, Surabaya, Indonesia.
- [10] Q. Mei,M., Shan,L., Liu,J.M., Guerrero. (2011). A novel improved variable step-size a novel improved variable step-size method for PV systems, *IEEE Trans. Ind. Electron*, 58 (2011), pp. 2427-2434.
- [11] Surojo., Ashari,M., Hery,P.M. (2010). Desain dan simulasi *maximum power point tracking (MPPT)* sel surya menggunakan *fuzzy logic control* untuk control *boost converter*. *7<sup>th</sup> Basic Science Nasional Seminar Proceeding* Malang. Institut teknologi Surabaya – ITS Paper, 11-65.
- [12] Nguyen, T.X. (2012). Simulation Solar Panel and trying MPPT algorithm, with P & O method. ho chi minh city university of polytechnology.
- [13] Fuady, A.B. (2010). Rancang Bangun *maximum power point tracking (MPPT)* pada panel surya dengan menggunakan metode *fuzzy*.

Institut teknologi Surabaya – ITS Paper.

- [14] Fadhilla, R.I., Kurniawan, E., Bani, K.A. (2011). Perancangan dan implementasi *maximum power point tracking* pada *photovoltaic* dengan kontroler logika *fuzzy*. Jurnal Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Telkom. Bandung-Indonesia.
  
- [15] Halet, D.N. (2013). Dasar teori *Buck konverter*. Jurnal Elektro Universitas Negeri Padang-Sumatera Barat
  
- [16] Firman, M.R. (2010). Karakterisrik sel surya. Modul Fisika Universitas Mataram-NTB.
  
- [17] Mochamad, S.H. (2010). Rancang bangun *buck boost* konverter. Jurnal Teknik Elektro Universitas Indonesia-Depok.
  
- [18] Ranjith, S. (2016). MPPT Using Buck Converter. Rajiv Gandhi Institute of Technology, Kottayam – India.