



KOMPARASI MPPT *FUZZY LOGIC* BERBASIS *INCREMENTAL CONDUCTANCE* DAN *PERTURB AND OBSERVE*

(Simulasi Pada Sel Surya)

SKRIPSI

Oleh

**Faiqotul Azmi Kholilah S
NIM 141910201074**

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



**KOMPARASI MPPT *FUZZY LOGIC* BERBASIS *INCREMENTAL CONDUCTANCE* DAN *PERTURB AND OBSERVE*
(Simulasi Pada Sel Surya)**

SKRIPSI

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

oleh

Faiqotul Azmi Kholilah S.
NIM 141910201074

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

PERSEMBAHAN

Dengan segala kerendahan hati saya persembahkan skripsi ini kepada:

1. Allah S.W.T yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, karena berkat rahmat dan hidayahNya saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan sebaik – baiknya.
2. Nabi besar Rasulullah Muhammad S.A.W, yang menjadi suri tauladan bagi seluruh ummat.
3. Orangtuaku, Saifulloh dan Supriani yang senantiasa memanjatkan doa dan mencurahkan kasih sayangnya yang luar biasa kepadaku sepanjang masa.
4. Adikku Raudhotul Ilfi R. Z. S. Yang kusayangi.
5. Bapak dosen pembimbing, bapak Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T. dan bapak Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. yang bersedia meluangkan waktu dan pikiran untuk membimbing dan memberi nasihat untuk saya.
6. Semua guru – guru saya dari TK, MI, SMP dan SMA serta seluruh dosen Teknik Elektro Universitas Jember yang telah memberikan ilmu tanpa pamrih dan penuh kasih.
7. Rizky Dwi Prawira sebagai orang terdekat saya yang selalu memberi dukungan dan motivasi dan juga meluangkan waktu untuk membantu saya.
8. Teman – temanku keluarga besar KETEK UJ 2014, yang telah menemani dan membantu dan memberi arti kekeluargaan yang tidak dapat tergantikan oleh siapapun.
9. Grup Pemburu S.T., Roro Rahmawati, Mutiara Nurwidyaning, Hanifatus Sa'diyah dan Nuharizka Intan yang telah berbagi suka dan duka dan menemani saya untuk berjuang selama 4 tahun ini.
10. Mas Cries Avian yang bersedia meluangkan waktu dan pikiran untuk membantu saya dalam pengerjaan skripsi ini.
11. Keluarga Lab Konversi Energi Listrik yang telah memberikan banyak pelajaran dan pengalaman.

MOTTO

“Barang siapa memberi pertolongan dengan pertolongan yang baik, niscaya dia akan memperoleh bagian dari (pahala)Nya...”

(Q.S. An – Nisaa 4;85)

“Barang siapa yang menghendaki kehidupan dunia, maka wajib baginya memiliki ilmu, dan barang siapa yang menghendaki kehidupan akhirat, maka wajib baginya memiliki ilmu, dan barang siapa menghendaki keduanya maka wajib baginya memiliki ilmu “

(HR. Turmudzi)

“The world is not dangerous because of those who do harm but because of those who look at it without doing anything “

(Albert Einstein)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Faiqotul Azmi Kholilah Saifulloh

NIM : 141910201074

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis yang berjudul “Komparasi Mppt *Fuzzy Logic* Berbasis *Incremental Conductance* Dan *Perturb And Observe* (Simulasi Pada Sel Surya)” 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 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 di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 24 Juli 2018

Yang menyatakan,

Faiqotul Azmi Kholilah S

NIM. 141910201074

SKRIPSI

**KOMPARASI MPPT *FUZZY LOGIC* BERBASIS *INCREMENTAL*
CONDUCTANCE DAN *PERTURB AND OBSERVE*
(Simulasi Pada Sel Surya)**

Oleh

Faiqotul Azmi Kholilah Saifulloh

NIM 141910201074

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T.

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

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Komparasi Mppt *Fuzzy Logic* Berbasis *Incremental Conductance* Dan *Perturb And Observe* (Simulasi Pada Sel Surya)” telah diuji dan disahkan pada :

hari, tanggal : Jumat, 27 Juli 2018

tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

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

NIP 19710614 199702 1 001

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

NIP 19700826 199702 1 001

Penguji I

Penguji II

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

NIP 19690608 199903 1 002

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

NIP 19631201 199402 1 002

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM

NIP 19661215 199503 2 001

SUMMARY

Komparasi Mppt Fuzzy Logic Berbasis Incremental Conductance Dan Perturb And Observe (Simulasi Pada Sel Surya); Faiqotul Azmi Kholilah Saifulloh, 141910201074, 2018; xx halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Photovoltaic (PV) ialah sebuah peralatan yang digunakan untuk mengkonversi energi terbarukan yang bersumber dari sinar matahari yang memiliki banyak keuntungan. Secara normal, sebuah sel surya tidak dapat dihubungkan secara langsung pada beban disebabkan efisiensi konversi energi yang rendah dan tegangan keluaran yang rendah pula. Oleh sebab itu, perlu dirancang sebuah sistem yang dapat melacak dan mengoptimalkan daya keluaran dari sebuah panel surya. Untuk mencapai hal tersebut maka digunakan metode *Maximum Power Point Tracking* (MPPT).

Maximum Power Point Tracker (MPPT) ialah sebuah metode untuk menentukan titik dimana daya maksimum dihasilkan oleh panel surya. Banyak algoritma MPPT yang umum secara luas digunakan, namun pada penelitian ini memfokuskan pada desain dari algoritma MPPT sel *photovoltaic* dengan menggunakan 2 macam algoritma, yakni *perturb and observe* dan *incremental conductance* berbasis kontrol fuzzy logic.

Penelitian dilakukan dengan simulasi menggunakan *simulink* MATLAB 2013a. Kontrol fuzzy menggunakan *toolbox* fuzzy metode mamdani. Karena menggunakan 2 algoritma, variable *input* dan *output* fuzzy masing – masing algoritma berbeda. Pada *perturb and observe* variable input yang digunakan ialah ΔP_{pv} dan ΔV_{pv} dan *duty ratio* sebagai variable *output*nya. Sedangkan pada algoritma *Incremental Conductance* yang digunakan sebagai variable *input* ialah *Error* dan *Change of Error*, dimana *Error* merupakan jumlah nilai konduktansi dan kenaikan konduktansi. Dan pada variable *output*nya ialah *duty ratio*. *duty ratio* inilah yang digunakan untuk men-switch MOSFET pada *buckboost converter*. Namun *duty ratio* dari fuzzy tidak langsung menjadi masukan untuk MOSFET, akan tetapi akan mengalami penjumlahan dengan nilai *duty* sebelumnya dan proses ini berlangsung secara terus – menerus (*looping*) hingga sistem mampu mencapai MPP nya.

Pengujian dilakukan menggunakan panel surya 50 wp *polycrystalline*. Dengan masukan iradiasi sebesar 200 W/m², 400 W/m², 600 W/m², 800 W/m² dan 1000 W/m².

Pengujian juga menggunakan variasi beban resistansi, yakni 6Ω , 12Ω , 18Ω dan 24Ω . Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk : Merancang dan membangun *simulink* sistem kontrol PV MPPT menggunakan kontrol fuzzy *logic*, Mengetahui perbandingan kecepatan waktu dalam mencapai titik daya maksimum antara kedua algoritma dan Mengetahui perbandingan kestabilan algoritma *perturb and observe* dengan algoritma *incremental conductance* dalam proses mempertahankan daya maksimum.

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, algoritma yang mampu bekerja lebih baik ialah algoritma *Incremental Conductance*. Algoritma ini mampu menjajak titik daya maksimum dengan setting time lebih cepat dibandingkan algoritma *Perturb and Observe*. Titik daya maksimum modul yang dihasilkan juga lebih tinggi, yakni 50,3 W dan dengan daya *output* beban 47,25 W. Sedangkan algoritma *Perturb and Observe* mencapai titik daya maksimum modul sebesar 50,18 W dan daya *output* beban sebesar 47,13 W.

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, yang telah memberikan kemudahan, kesempatan dan kelancaran sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Komparasi Mppt *Fuzzy Logic* Berbasis *Incremental Conductance* Dan *Perturb And Observe* (Simulasi Pada Sel Surya)”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Program Studi Strata Satu (S1) Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

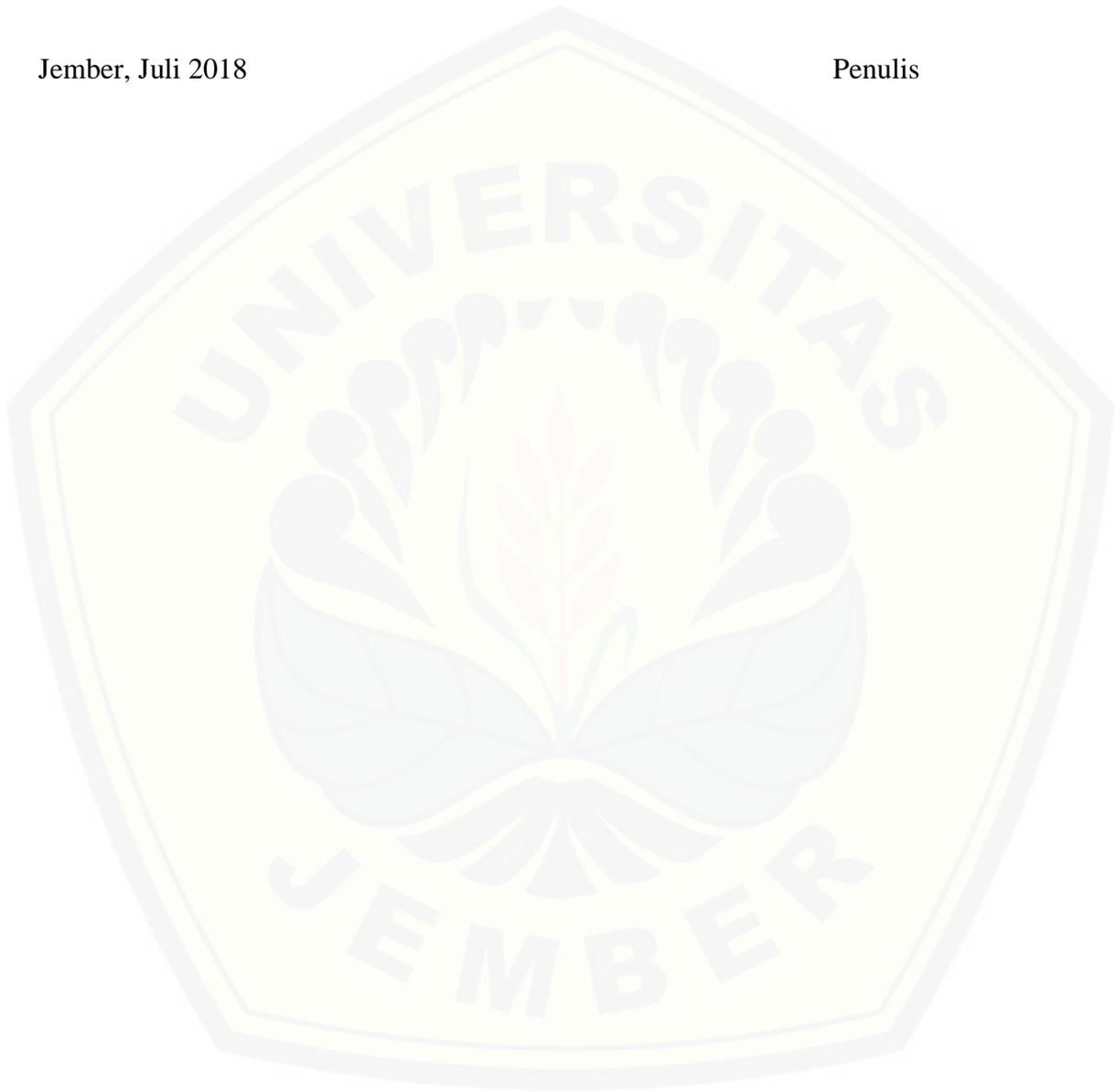
Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu tersusunnya skripsi ini, khususnya kepada:

1. Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember.
3. Bapak Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing utama dan bapak Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing anggota yang bersedia meluangkan waktu dan pikiran untuk membimbing dan memberi nasihat untuk saya.
4. Bapak H.R.B. Moch. Gozali S.T., M.T. dan bapak Prof. Ir. Bambang Sujanarko, M.M. selaku Tim Penguji Skripsi yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan pengarahan dan koreksi demi terselesaikannya penulisan skripsi ini.
5. Ayahanda Saifulloh dan Ibunda Suprianik yang senantiasa memanjatkan doa dan mencurahkan kasih sayang yang luar biasa kepadaku sepanjang masa.
6. Keluarga besar Elektro UNEJ, Laboratorium Konversi Energi Listrik, bersama kalian semua merupakan kenangan dan pengalaman yang tak akan pernah terlupakan.
7. Dan rekan-rekan seperjuangan KETEK UJ 2014 yang telah banyak membantu selama saya kuliah disini.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis menyadari masih banyak kekurangan, kritik dan saran tetap diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat. Aamiin

Jember, Juli 2018

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTTO	iii
PERNYATAAN	iv
SKRIPSI	v
LEMBAR PENGESAHAN	vi
SUMMARY	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sel Surya	5
2.2 Karakteristik <i>Photovoltaic</i>	8
2.3 DC – DC Converter	11
2.4 <i>Maximum Power Point Tracking</i> (MPPT)	14
2.5 Logika <i>Fuzzy</i>	19
2.6 <i>Pulse Width Modulation</i> (PWM)	21
BAB 3. METODE PENELITIAN	23
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	23
3.2 Prosedur Penelitian	23
3.3 Diagram Alir Penelitian	25

3.4 Blok Diagram Sistem	28
3.5 DC – DC Converter	29
3.6 Solar Power Modul	31
3.7 Fuzzy Algoritma MPPT	32
3.8 Blok Diagram Sistem Fuzzy	39
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	40
4.1 Pengujian Modul Surya	40
4.2 Pengujian Buck – Boost Converter	44
4.3 Perancangan Sistem Kontrol Fuzzy Logic	50
4.4 Pengaruh Masukan Iradiasi Terhadap Daya MPPT	66
4.5 Pengaruh Resistansi Beban Terhadap Daya MPPT	68
4.6 Perbandingan Hasil Simulasi Dari Kedua Algoritma	71
BAB 5. PENUTUP.....	75
5.1 Kesimpulan	75
5.2 Saran	76
DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN.....	78

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Prinsip Kerja <i>Photovoltaic</i>	8
Gambar 2.2 Kurva Karakteristik PV Panel	9
Gambar 2.3 Kurva Karakteristik V-I Terhadap Perubahan Suhu	11
Gambar 2.4 Rangkaian <i>Buck-Boost Converter</i>	12
Gambar 2.5 Siklus Kerja <i>Buck – Boost Converter</i> Saat <i>Switch ON</i> dan <i>OFF</i>	13
Gambar 2.6 Pengaruh Pembebanan Terhadap Kurva V-I Panel Surya	15
Gambar 2.7 Pengaruh Perubahan Daya Terhadap Perubahan Tegangan ...	16
Gambar 2.8 <i>Flowchart</i> Algoritma <i>Perturb and Observe</i>	17
Gambar 2.9 <i>Flowchart</i> Algoritma <i>Incremental Conductance</i>	18
Gambar 2.10 Sinyal PWM	21
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 3.2 Diagram Alir Algoritma <i>Perturb and Observe</i>	26
Gambar 3.3 Diagram Alir Algoritma <i>Incremental Conductance</i>	27
Gambar 3.4 Blok Diagram Sistem PV MPPT	28
Gambar 3.5 Rangkaian <i>Buck – Boost Converter</i>	29
Gambar 3.6 Karakteristik PV Panel	32
Gambar 3.7 <i>Fuzzy Rules</i> dan Grafik <i>Region</i>	33
Gambar 3.8 <i>Membership Function</i> Algoritma P&O	34
Gambar 3.9 <i>Fuzzy Rules</i> dan Grafik <i>Region IC</i>	37
Gambar 3.10 <i>Membership Function</i> Dari Algoritma IC	38
Gambar 3.11 Blok Diagram Sistem <i>Fuzzy</i> MPPT	39
Gambar 4.1 Kurva Karakteristik V – I Modul Surya GH 50P – 18	43
Gambar 4.2 Kurva Karakteristik P – V Modul Surya GH 50P – 18	44

Gambar 4.3 Pengaruh <i>Duty cycle</i> Terhadap Tegangan Keluaran	49
Gambar 4.4 Pengaruh <i>Duty cycle</i> Terhadap Arus Keluaran <i>Converter</i>	49
Gambar 4.5 Pengaruh <i>Duty cycle</i> Terhadap Daya Keluaran <i>Converter</i>	50
Gambar 4.6 Blok <i>Fuzzy Logic Controller</i> Pada <i>Simulink</i> Matlab	50
Gambar 4.7 Blok <i>Input Fuzzy</i> Algoritma <i>Perturb and observe</i>	52
Gambar 4.8 Plot <i>Membership Function</i> Variable ΔP_{pv}	53
Gambar 4.9 Plot <i>Membership Function</i> Variable ΔV_{pv}	53
Gambar 4.10 Plot <i>Membership Function</i> Variable <i>Duty ratio</i>	54
Gambar 4.11 Grafik <i>Input Fuzzy</i> Algoritma <i>Perturb and observe</i>	56
Gambar 4.12 Blok <i>Input Fuzzy</i> Algoritma <i>Incremental conductance</i>	57
Gambar 4.13 Plot <i>Membership Function</i> Variable <i>Input</i>	58
Gambar 4.14 Plot <i>Membership Function</i> Variable <i>Duty ratio</i>	59
Gambar 4.15 Grafik Blok <i>Input Fuzzy</i> Algoritma IC	60
Gambar 4.16 Grafik Tegangan, Arus dan Daya <i>Output</i> Terhadap Waktu Pada Resistansi beban 6Ω Algoritma <i>Perturb and observe</i>	62
Gambar 4.17 Grafik Tegangan, Arus dan Daya <i>Output</i> Terhadap Waktu Pada Resistansi beban 6Ω Algoritma <i>Incremental Conductance</i>	64
Gambar 4.18 Perbandingan Grafik Tegangan, Arus dan Daya <i>Output</i> Terhadap Waktu Pada Resistansi beban 6Ω Pada Kedua Algoritma	66
Gambar 4.19 Hubungan Antara Tegangan (V_{mpp}), Arus (I_{mpp}) dan Daya (P_{mpp}) Terhadap Masukan Iradiasi Algoritma P&O	68
Gambar 4.20 Hubungan Antara Tegangan (V_{mpp}), Arus (I_{mpp}) dan Daya (P_{mpp}) Terhadap Masukan Iradiasi Algoritma IC	68
Gambar 4.21 Hubungan Antara Tegangan (V_{mpp}), Arus (I_{mpp}) dan Daya (P_{mpp}) Terhadap Resistansi Beban Algoritma P&O	70
Gambar 4.22 Hubungan Antara Tegangan (V_{mpp}), Arus (I_{mpp}) dan Daya (P_{mpp}) Terhadap Resistansi Beban Algoritma IC	70
Gambar 4.23 Grafik Masukan Iradiasi Terhadap Waktu	72
Gambar 4.24 Grafik Daya <i>Output</i> Terhadap Jam Pengujian.....	72
Gambar 4.25 Grafik Daya <i>Output</i> Terhadap <i>Setting Time</i>	72
Gambar 4.26 Grafik Efisiensi Daya Algoritma P&O dan IC	73

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian	23
Tabel 3.2 Spesifikasi <i>Buck – Boost Converter</i>	29
Tabel 3.3 Spesifikasi Modul Surya	31
Tabel 4.1 Data Pengujian Modul Surya	41
Tabel 4.2 Tegangan Voc dan Arus Isc Modul Surya GH 50P – 18	42
Tabel 4.3 Data Tegangan, Arus dan Daya Maksimum Modul Surya GH 50P – 18	43
Tabel 4.4 Data Pengujian <i>Buck – Boost Converter</i> Pada Beban 6Ω	45
Tabel 4.5 Data Pengujian <i>Buck – Boost Converter</i> Pada Beban 12Ω	46
Tabel 4.6 Data Pengujian <i>Buck – Boost Converter</i> Pada Beban 18Ω	47
Tabel 4.7 <i>Rule Base</i> Algoritma <i>Perturb And Observe</i>	55
Tabel 4.8 <i>Rule base</i> Algoritma <i>Incremental Conductance</i>	60
Tabel 4.9 Pengambilan Data Per Step Pada Resistansi Beban 6Ω	61
Tabel 4.10 Pengambilan Data Per Step Pada Resistansi Beban 12Ω	62
Tabel 4.11 Pengambilan Data Per Step Pada Resistansi Beban 6Ω	63
Tabel 4.12 Pengambilan Data Per <i>Step</i> Pada Resistansi Beban 12Ω	64
Tabel 4.13 Data Pengujian Pengaruh Iradiasi Pada Algoritma <i>Perturb and observe</i>	66
Tabel 4.14 Data Pengujian Pengaruh Iradiasi Pada Algoritma <i>Incermental Conductance</i>	67
Tabel 4.15 Data Pengujian Pengaruh Resistansi Beban Pada Algoritma <i>Perturb and Observe</i>	69
Tabel 4.16 Data Pengujian Pengaruh Resistansi Beban Pada Algoritma <i>Incremental Conductance</i>	69
Tabel 4.17 Kesimpulan Dari Hasil Simulasi	74

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Photovoltaic (PV) ialah sebuah peralatan yang digunakan untuk mengkonversi energi terbarukan yang bersumber dari sinar matahari. PV menawarkan banyak keuntungan seperti minimnya polusi dan emisi serta memiliki biaya perawatan yang relatif murah. PV memiliki potensi yang besar untuk diaplikasikan di area yang banyak terpapar radiasi matahari, seperti negara Indonesia yang beriklim tropis dan terkena paparan sinar matahari sepanjang tahun. Akan tetapi, PV hanya memiliki efisiensi kurang dari 30 persen dari jumlah energi yang diterimanya. Efisiensi PV dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari dan temperatur permukaan PV. (Zuliari, 2017)

Secara normal, sebuah sel surya tidak dapat dihubungkan secara langsung pada beban disebabkan efisiensi konversi energi yang rendah dan tegangan keluaran yang rendah pula. Lebih jauh lagi, arus tegangan yang dihasilkan dipengaruhi oleh beberapa besaran fisis, yakni seperti intensitas cahaya (iradiasi) dan temperatur modul. Semakin besar intensitas cahaya yang mengenai modul, maka arus yang dihasilkan akan semakin besar pula (Putra, 2013).

Oleh sebab itu, perlu dirancang sebuah sistem yang dapat melacak dan mengoptimalkan daya keluaran dari sebuah panel surya. Untuk mencapai hal tersebut maka digunakan metode *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) sebagai metode untuk mencapai tujuan tersebut. *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) adalah teknik dasar yang digunakan untuk mencari titik daya maksimum panel surya dengan konstan (Bawa, 2013).

Maximum Power Point Tracker (MPPT) ialah sebuah metode untuk menentukan titik dimana daya maksimum dihasilkan oleh panel surya. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Priananda dan Sulistyowati. Salah satu keuntungan penggunaan MPPT adalah cepat terpenuhinya kondisi *equilibrium photovoltaic* untuk kondisi yang diperlukan oleh beban dan yang dapat dipenuhi panel surya. (Utami, 2017)

Banyak algoritma yang umum secara luas digunakan semisal *Perturb and Observe* (P&O), *incremental Conductance*, metode algoritma numerik dan pendekatan *metaheuristik* seperti *Artificial Intelligent* (AI). PV adalah peralatan yang menghasilkan kurva tegangan dan arus DC, sehingga diperlukan konverter DC-DC ataupun konverter DC-AC apabila akan diinjeksikan dan disinkronkan pada *grid*. (Zuliari, 2017)

Penelitian ini menggunakan simulasi untuk menunjukkan bahwa algoritma ini memiliki kemampuan untuk memfasilitasi MPP dan meminimalkan variasi tegangannya. menggunakan *Simulink* Matlab dengan memberikan nilai radiasi matahari yang berbeda. Simulasi lain juga dilakukan oleh Chaitanya dkk dengan memberikan fungsi *self-tuning* yang akan menambahkan tegangan referensi *array* nilai tegangan untuk *step size*-nya dalam mencapai nilai *maximum power point* (MPP)-nya. Simulasi juga digunakan oleh Yatimi dan Aroudani untuk memodelkan dan mengevaluasi performansi *stand-alone photovoltaic system* yang disimulasikan menggunakan *Simulink*. (Utami, 2017)

Kontrol *Fuzzy Logic* digunakan untuk mengoptimasi daya keluaran solar cell menggunakan *buck-boost converter*. Pada penelitian ini, memfokuskan pada desain dari algoritma MPPT sel *photovoltaic* dengan menggunakan 2 macam algoritma, yakni *perturb and observe* dan *incremental conductance* berbasis kontrol *fuzzy logic*. Yang nantinya hasil dari *power tracking* dari kedua algoritma akan dibandingkan. Sehingga akan diketahui algoritma manakah yang paling efektif dalam mencapai MPPT. Simulasi dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* Matlab R2013a yang dibangun untuk menguji algoritma MPPT berbasis kontrol *fuzzy* tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana merancang dan membangun sistem kontrol PV MPPT menggunakan kontrol *fuzzy logic* ?

2. Bagaimana perbandingan kecepatan waktu dalam mencapai titik daya maksimum antara algoritma *perturb and observe* dengan algoritma *incremental conductance*?
3. Bagaimana perbandingan kestabilan algoritma *perturb and observe* dengan algoritma *incremental conductance* dalam proses mempertahankan daya maksimum ?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Tidak membahas pengaruh suhu, kelembaban dan kemiringan panel surya.
2. Pengujian pada buck – boost converter menggunakan variasi beban resistif resistor.
3. Panel surya yang digunakan hanya sebesar 50 wp *polycrystalline*.
4. Dilakukan dengan simulasi menggunakan MATLAB.
5. Parameter *output* yang dibandingkan dari kedua algoritma MPPT adalah waktu untuk mencapai titik *steady state* pada MPP modul surya.

1.4 Tujuan Penelitian

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

1. Merancang dan membangun *simulink* sistem kontrol PV MPPT menggunakan kontrol *fuzzy logic*
2. Mengetahui perbandingan kecepatan waktu dalam mencapai titik daya maksimum antara algoritma *perturb and observe* dengan algoritma *incremental conductance*
3. Mengetahui perbandingan kestabilan algoritma *perturb and observe* dengan algoritma *incremental conductance* dalam proses mempertahankan daya maksimum.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah optimalisasi konversi energi pada PV, dan untuk mengetahui algoritma MPPT manakah yang dapat melakukan *tracking* daya lebih baik.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sel Surya

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

Semakin besar intensitas cahaya matahari yang masuk, arus yang dihasilkan akan semakin besar pula. Oleh karena itu faktor cuaca adalah penting mengingat intensitas cahaya matahari ketika cuaca mendung dan cerah tidaklah sama. Di bawah ini adalah beberapa faktor yang mempengaruhi kerja dari sel surya agar pengoperasiannya dapat mencapai nilai maksimum (Putra, 2013):

- a) suhu permukaan panel surya,
- b) radiasi solar matahari (iradiasi),
- c) kecepatan angin bertiup,
- d) keadaan atmosfer bumi,
- e) orientasi panel surya, dan

f) posisi letak panel surya terhadap matahari (*tilt angle*).

2.1.1 Prinsip Kerja Sel Surya

Susunan sebuah sel surya sama dengan sebuah dioda, terdiri dari lapisan yang dinamakan *p-n junction*. *P-n junction* itu diperoleh dengan jalan menambahkan sebatang bahan semikonduktor silikon murni (valensinya 4) dengan impuriti yang bervalensi 3 pada bagian sebelah kiri, dan yang disebelah kanan ditambahkan dengan impuriti bervalensi 5. Sehingga pada bagian kiri terbentuk silikon yang tidak murni lagi dan dinamakan silikon jenis *n*. Didalam silikon murni terdapat dua macam pembawa muatan listrik yang seimbang. Pembawa muatan listrik yang positif dinamakan *hole*, sedangkan yang negatif dinamakan elektron. Didalam silikon jenis *p* terbentuk *hole* (pembawa muatan listrik positif) dalam jumlah yang sangat besar dibandingkan dengan elektronnya. Oleh karena itu didalam silikon jenis *p* *hole* merupakan pembawa muatan mayoritas, sedangkan elektron merupakan pembawa muatan minoritas. Sebaliknya di dalam silikon jenis *n* terbentuk elektron dalam jumlah yang sangat besar sehingga disebut pembawa muatan mayoritas dan *hole* disebut pembawa muatan minoritas.

Pada batang silikon itu terjadi pertemuan antara bagian *p* dan bagian *n*. Oleh karena itu dinamakan *p-n junction*. Bila sekarang, bagian *p* dihubungkan dengan kutub positif dari sebuah baterai, sedangkan kutub negatifnya dihubungkan dengan bagian *n*, maka terjadi hubungan yang dinamakan *forward bias*. Dalam keadaan itu, didalam rangkaian itu timbul arus listrik yang disebabkan oleh kedua macam pembawa muatan. Jadi arus listrik yang mengalir di dalam *p-n junction* disebabkan oleh gerakan *hole*, tapi berlawanan arah dengan gerakan elektron. Elektron yang bergerak di dalam bahan konduktor dapat menimbulkan energi listrik. Dan energi listrik inilah yang disebut sebagai arus listrik yang mengalir berlawanan arah dengan gerakan elektron.

Apabila bagian *p* dihubungkan dengan kutub negatif dari baterai dan bagian *n* dihubungkan dengan kutub positifnya, maka sekarang terbentuk hubungan yang dinamakan *reverse bias*. Dengan keadaan seperti ini maka *hole*

(pembawa muatan positif) dapat tersambung langsung ke kutub positif, sedangkan elektron juga langsung ke kutub positif. Jadi, jelas di dalam *p-n junction* tidak ada gerakan pembawa muatan mayoritas baik yang *hole* maupun *p* bergerak berusaha untuk mencapai kutub positifnya baterai, demikian pula pembawa muatan minoritas (*hole*) didalam bagian *n* juga bergerak berusaha mencapai kutub negatif. Karena itu dalam keadaan *reverse bias* didalam *p-n junction* ada juga arus yang timbul meskipun dalam jumlah yang sangat kecil (mikro ampere). Arus ini sering disebut dengan *reverse saturation current* atau *leakage current* (arus bocor). Bila suhu *p-n junction* tersebut dinaikkan ternyata dapat memperbesar arus bocor yang timbul itu. Berarti bila diberi energi (panas), pembawa muatan minoritas di dalam *p-n junction* bertambah banyak. Karena cahaya itu merupakan salah satu bentuk energi, maka bila ada cahaya yang menimpa suatu *p-n junction* dapat juga menghasilkan pembawa muatan. Gejala seperti ini dinamakan fotokonduktif. Berdasarkan gejala fotokonduktif itu maka dibuat komponen elektronik fotodioda dari *p-n junction* itu.

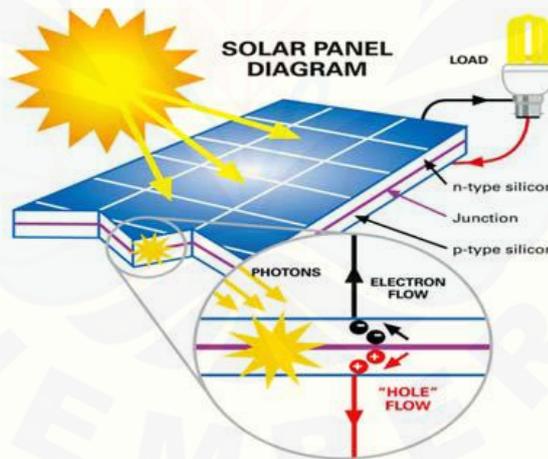
Dalam keadaan *reverse bias* dengan memperbesar intensitas cahaya yang menimpa fotodioda dapat meningkatkan arus-arus bocornya. Arus bocor dapat juga diperbesar dengan memperbesar tegangan baterai (tegangan *reverse*), tapi penambahan arus bocornya itu tidak signifikan. Bila baterai dalam rangkaian *reverse bias* itu dilepas dan diganti dengan bahan tahanan, maka pemberian cahaya itu dapat menimbulkan pembawa muatan baik *hole* maupun elektron. Jika iluminasi cahaya itu ditingkatkan ternyata arus yang timbul semakin besar. Gejala seperti ini dinamakan *photovoltaic*. Cahaya dapat meneruskan energi yang cukup besar untuk memperbesar jumlah *hole* pada bagian *p* dan jumlah elektron pada bagian *n*. Berdasarkan gejala fotovoltaiik ini maka dapat diciptakan komponen elektronik sel fotovoltaiik karena biasanya matahari sebagai sumber cahaya maka sel fotovoltaiik sering juga disebut sel surya atau *solar energi converter*.

Jadi sel surya itu pada dasarnya sebuah foto dioda yang besar dan dirancang dengan mengacu pada gejala fotovoltaiik sedemikian rupa sehingga dapat menghasilkan daya yang sangat besar mungkin. Silikon jenis *p* merupakan lapisan permukaan yang dibuat sangat tipis supaya cahaya matahari dapat

menembus langsung mencapai *junction*. Bagian *p* ini diberi lapisan nikel yang berbentuk cincin, sebagai terminal keluaran positif. Dibawah bagian *p* terdapat bagian jenis *n* yang dilapisi dengan nikel juga sebagai terminal keluaran negatif. Untuk mendapatkan daya yang cukup besar diperlukan banyak sel surya biasanya sel-sel surya itu sudah disusun sehingga berbentuk panel dan dinamakan panel fotovoltaik (PV) (Ginting, 2010).

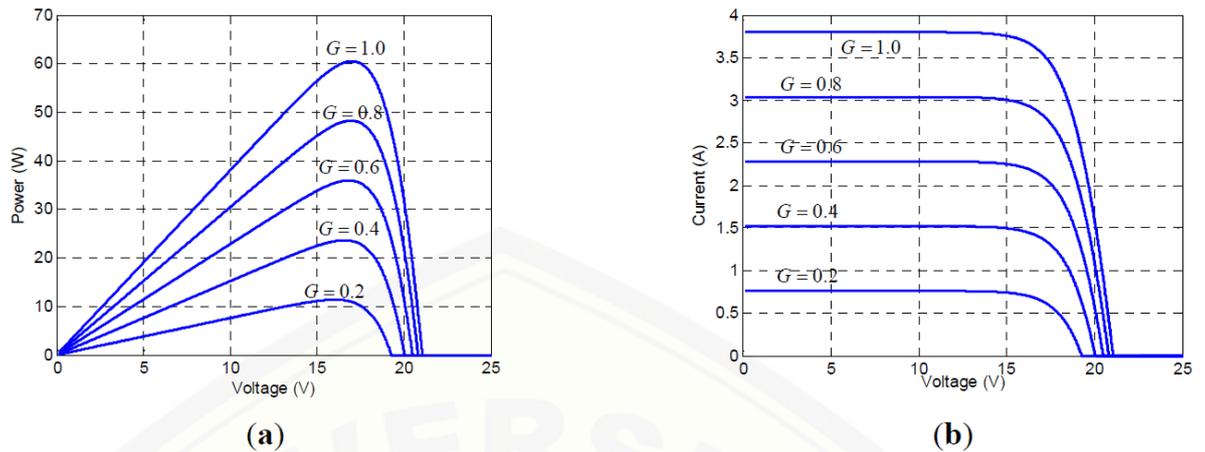
2.2 Karakteristik *Photovoltaic*

Photovoltaic silikon adalah sebuah dioda yang dibentuk dari tiga buah layer tipe-n dibagian atas dan sebuah layer tipe-p dibagian bawah. Elektron bebas digerakkan oleh tumbukan jutaan photon yang didapat dari paket radiasi sinar matahari yang memapar layer *interface* yang menyebabkan arus listrik mengalir. Setiap sel *photovoltaic* seluas 1cm² menghasilkan tegangan listrik sekitar 500-600mV dengan arus sekitar 30mA pada radiasi sinar matahari sebesar 1000watt/m². Gambar 2.1 menunjukkan prinsip kerja dari *photovoltaic*.



Gambar 2.1 Prinsip Kerja *Photovoltaic*

Kemudian untuk kurva karakteristik PV ditunjukkan pada gambar 2.2. Gambar 2.2a menunjukkan gambar kurva karakteristik PV tegangan terhadap daya, sedangkan gambar 2.2b adalah gambar kurva karakteristik PV tegangan terhadap arus yang dipengaruhi oleh beberapa variabel radiasi sinar matahari yang mengenai permukaannya.



Gambar 2.2 Kurva Karakteristik PV Panel (a) Tegangan dan Daya (b) Tegangan dan Arus.

Pada kurva V-I dioda, cahaya mengakibatkan kurva tersebut turun dari kuadran pertama ke kuadran empat dimana daya dapat dihasilkan dari dioda melalui arus bocor pada kuadran keempat (Diputra, 2008). Persamaan sel surya dapat diambil dari persamaan dioda yaitu sebagai berikut.

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{nKT}\right) - 1 \right] - I_L \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

I = Arus pada terminal sel surya (A)

I_0 = Arus saturasi dioda (A)

I_L = Arus yang dihasilkan oleh cahaya (A)

q = Muatan elektron, $1,6 \times 10^{-19}$ C

V = Tegangan terminal sel surya (V)

n = Diode quality factor (dengan nilai antara 1–2)

k = Konstanta Boltzmann, $1,38 \times 10^{-23}$ J/K

T = Temperatur ambien (K)

Arus hubung singkat (I_{sc}) adalah arus yang mengalir pada saat tegangan sel surya sama dengan nol. I_{sc} sama dengan I_L saat kondisi ideal tanpa rugi-rugi daya. Arus hubung singkat bergantung linier terhadap iradiasi serta dipengaruhi hal-hal lain seperti luas area sel, spektrum cahaya, dan parameter optik lainnya. Tegangan hubung terbuka tegangan maksimum dari sel surya dapat terjadi ketika arus sel surya sebesar nol. Tegangan ini adalah kondisi pijar maju pada *junction*

sel surya. Persamaan berikut digunakan untuk menentukan tegangan hubung terbuka untuk nilai arus sama dengan nol (Diputra, 2008).

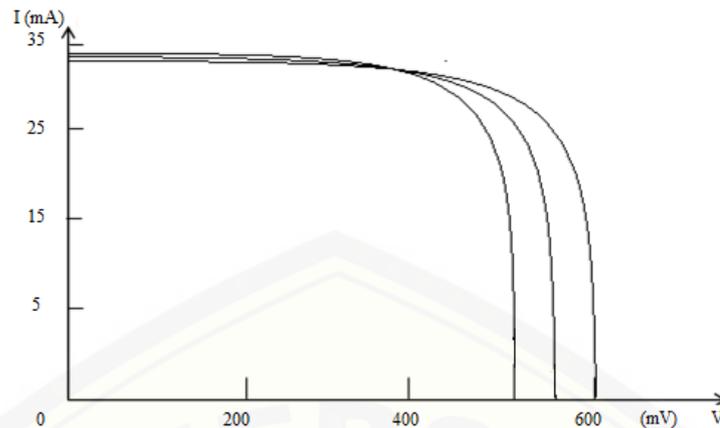
$$V_{oc} = \left(\frac{nKT}{q}\right) \ln\left(\frac{I_L}{I_0} + 1\right) \dots\dots\dots(2.2)$$

Posisi matahari yang diterima bumi terdistribusi menjadi beberapa batasan panjang gelombang mulai dari 300 nm sampai dengan 4 mikron. Sebagian dari radiasi mengalami refleksi di atmosfer dan sisanya dapat sampai ke permukaan bumi. Kedua radiasi ini dipakai untuk mengukur radiasi yang diterima sel surya. Besaran-besaran untuk mengukurnya ialah sebagai berikut (Diputra, 2008).

- a) *Spectral irradiance* I_λ yaitu daya yang diterima oleh satuan unit area dalam bentuk diferensial panjang gelombang $d\lambda$ dengan satuan $W/m^2 \mu m$.
- b) Iradiasi atau *irradiance* adalah integral dari *spectral irradiance* untuk keseluruhan panjang gelombang dengan satuan W/m^2 .
- c) Radiansi adalah integral waktu dari iradiasi untuk jangka waktu tertentu. Satuan dari radiansi adalah J/m^2 -hari, J/m^2 -bulan, atau J/m^2 -tahun.

Diantara ketiga besaran tersebut, iradiasi adalah yang akan dipakai karena besaran ini biasa dipakai dalam *datasheet* sel surya.

Iradiasi bukanlah satu-satunya parameter eksternal yang mempengaruhi kurva tegangan dan arus, parameter lain yaitu suhu. Suhu memiliki peranan penting dalam memprediksi kurva tersebut. Komponen semikonduktor semisal dioda sensitif terhadap perubahan suhu begitu pula dengan sel surya yang termasuk bahan semikonduktor. Pada Gambar 2.3 terlihat bahwa suhu mempengaruhi besarnya tegangan hubung terbuka daripada arus hubung singkat. Kenaikan suhu mengurangi nilai tegangan hubung terbuka karena peningkatan suhu menurunkan *band group* semikonduktor.



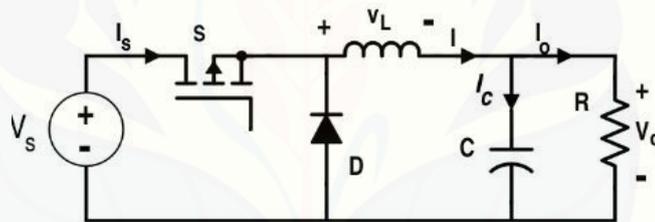
Gambar 2.3 Kurva karakteristik V-I terhadap perubahan suhu (Diputra, 2008)

Karakteristik V-I sel surya adalah nonlinier dan berubah terhadap radiasi dan suhu permukaan sel surya. Secara umum, terdapat titik yang unik pada kurva V-I atau kurva V-P, yang dinamakan *Maximum Power Point* (MPP). Dimana pada titik tersebut, sel surya bekerja pada efisiensi maksimum dan menghasilkan daya keluaran paling besar. Letak dari MPP tidak dapat diketahui, tetapi dapat dicari, dengan menggunakan perhitungan atau algoritma penjejak. Oleh karena itu, algoritma *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dibutuhkan untuk menjaga titik kerja sel surya agar tetap pada titik daya maksimum.

2.3 DC – DC Converter

DC-DC converter merupakan *device* elektronik yang merubah tegangan DC ke tegangan DC lain yang berbeda level dan biasanya mengeluarkan *output* teregulasi. Model *switch DC-DC converter* beroperasi dengan menyimpan energi *input* sementara kemudian melepaskannya dalam bentuk tegangan atau arus di dalam level yang tidak sama. Konverter ini dapat dibandingkan dengan *transformer* karena keduanya memiliki karakteristik yang mirip dalam merubah energi *input* dan menjadikannya berbeda dalam level impedansinya. Konverter ini biasanya ditemukan dalam peralatan elektronik seperti *handphone* atau *notebook*. Dalam penelitian ini konverter ini bertindak sebagai *load* elektrik yang dapat memvariasikan keluarannya. Variasi beban ini dapat menyebabkan perubahan titik operasi sel surya (karakteristik arus tegangannya) sehingga dapat menghasilkan nilai keluaran maksimum. (Utami, 2017)

Buck – Boost Converter merupakan salah satu jenis dari *DC to DC Converter* yang berfungsi untuk mengubah level tegangan DC baik ke level yang lebih tinggi maupun ke level yang lebih rendah dari input. Berbeda dengan konverter *Buck-boost* pada umumnya yang merupakan kombinasi dari konverter buck dengan konverter *Boost*, tetapi konverter *Buck-Boost* pada penelitian ini merupakan kombinasi dari konverter KY dan konverter *Buck*. Sama halnya dengan konverter *Buck-Boost* pada umumnya, namun konverter ini tidak mengubah polaritas tegangan *output* terhadap tegangan input. Dengan menggunakan saklar daya yang sama, memiliki tegangan output positif, konverter ini selalu beroperasi di CCM (*Continuous Conduction Mode*) sehingga menyebabkan *duty cycle* seluruh beban bervariasi. Karena memiliki *output* induktor sendiri konverter ini memiliki arus keluaran nonpulsating sehingga tidak hanya mengurangi arus *stress* pada *output* kapasitor tetapi juga mengurangi *ripple* pada tegangan *output*. (Akbar, 2016)

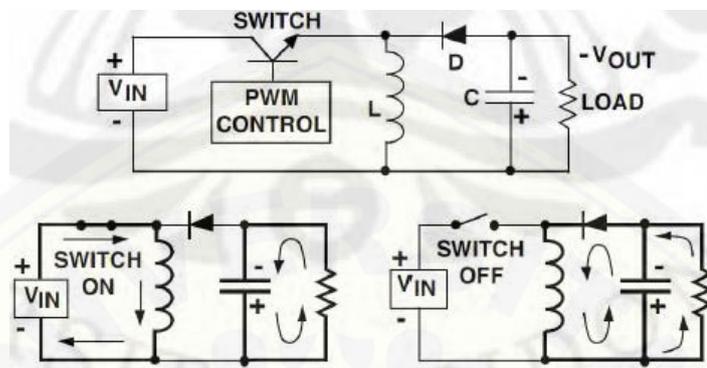


Gambar 2.4 Rangkaian *Buck-Boost Converter*

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.

Buck-boost converter dapat dioperasikan dengan dua mode yaitu *continuous current mode* (CCM) dan *discontinuous current mode* (DCM). *Continuous current mode* ditandai oleh arus yang mengalir secara terus – menerus pada induktor selama *switching cycle*-nya pada keadaan *steady state*. Sehingga pada CCM, tegangan *output* dapat diatur dengan mengubah *duty cycle* pada range 0 – 0,65. Selain itu, mode CCM tidak tergantung dari nilai induktor dan kapasitor. Sedangkan *discontinuous current mode* ditandai dengan arus induktor menjadi nol pada setiap *switching cycle*-nya. Untuk mode DCM, tegangan *output* tergantung

pada nilai induktor dan besarnya *duty cycle*. Prinsip kerja *buck – boost converter* dibagi menjadi 2 mode yaitu mode 1 saat *switch* di-ON-kan dan mode 2 saat *switch* di-OFF-kan. Siklus kerja *buck – boost converter* terlihat seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.5 Siklus Kerja *Buck – Boost Converter* baik pada saat *switch ON* dan *OFF* (Hidayat, 2010)

Saat *switch on*, induktor mendapat tegangan dari *input* dan mengakibatkan adanya arus yang melewati induktor berdasarkan waktu 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 mulainya penurunan arus dan menyebabkan ujung dioda bernilai negatif dan induktor mensuplai kapasitor (*charge*) dan beban. Jadi pada saat *switch on* arus beban disuplai oleh kapasitor, namun pada saat *switch off* disuplai oleh induktor.

Besar dan kecilnya nilai tegangan *output* diatur berdasarkan *duty cycle* (D) PWM pada *switch*. Bila $D > 0,5$ maka *output* akan lebih besar dari *input*. Sedangkan bila $D < 0,5$ maka *output* akan lebih kecil dari *input* dan $V_{in} = V_{out}$ saat $D = 0,5$. (Hidayat, 2010)

Untuk menentukan nilai *duty cycle* dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini :

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{D}{(1-D)} \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana

V_o = Tegangan *Output*

V_{in} = Tegangan *Input*

D = *Duty Cycle*

Selanjutnya untuk penentuan nilai komponen (Resistor, Induktor dan Kapasitor) didapatkan dari persamaan dibawah:

$$R = \frac{V_o}{I_o} \dots \dots \dots (2.4)$$

$$L_{min} = \frac{(1-D)^2}{2xf} \times R \dots \dots \dots (2.5)$$

- Arus Induktor

$$I_L = I_{out} \left(\frac{V_{in} + V_o + V_f}{V_{in}} \right) \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana

R = Resistansi (Ω)

L = Induktansi (H)

f = Frekuensi *switching* (Hz)

I_L = Arus Induktor (A)

- Penentuan nilai kapasitor

$$\Delta V_o = \frac{V_o \times D}{R \times C \times f} \dots \dots \dots (2.7)$$

$$C = \frac{V_o \times D}{R \times \Delta V_o \times f}$$

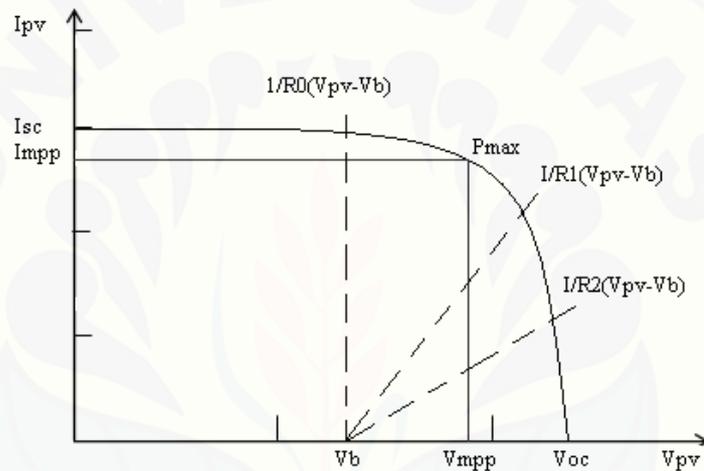
2.4 MPPT (*Maximum Power Point Tracking*)

Maximum Power Point Tracking (MPPT) merupakan sistem elektronik yang dapat dimanfaatkan untuk mengontrol sistem panel surya agar dapat beroperasi pada daya maksimum. MPPT adalah kontrol elektronis yang terkonsentrasi pada titik poin karakteristik tegangan dan arus pada panel surya, bukan sistem pelacakan mekanis.

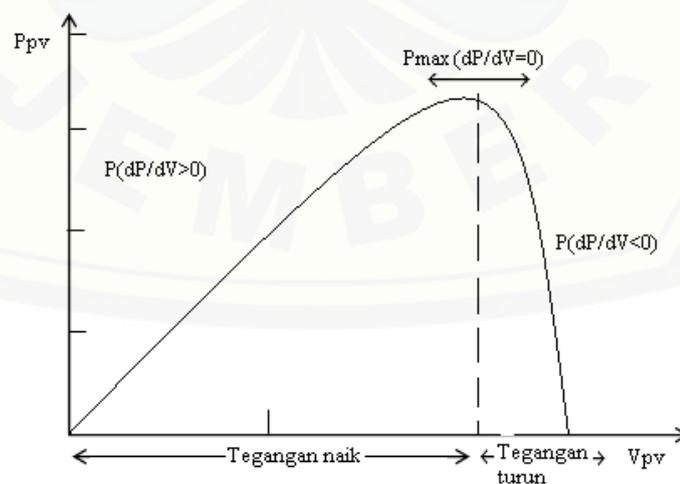
Banyak sekali faktor yang mempengaruhi kinerja panel surya ketika beroperasi diantaranya suhu yang mempengaruhi besar tegangan, intensitas cahaya matahari yang mempengaruhi titik kerja arus yang dihasilkan, dsb. Sistem MPPT memungkinkan kondisi yang bervariasi itu dapat dilacak daya maksimumnya pada waktu dan saat tertentu.

Sistem MPPT diimplementasikan ke dalam suatu alat elektronik. Bekerja dengan cara menstabilkan panel surya agar bekerja pada titik maksimumnya, agar daya yang diberikan ke beban adalah daya maksimal. Hasil keluaran alat elektronik tersebut berupa *duty ratio* (D) yang selanjutnya digunakan untuk *switching* MOSFET pada DC-DC *converter*. Sehingga dengan mengatur nilai D diharap dapat menemukan titik daya maksimum dari panel surya.

Gambar 2.6 menampilkan pengaruh pembebanan terhadap kurva V-I. Pembebanan akan menentukan pada posisi manakah daya beban berada pada kurva V-I panel surya.



Gambar 2.6 Pengaruh Pembebanan Terhadap Kurva V-I Panel Surya



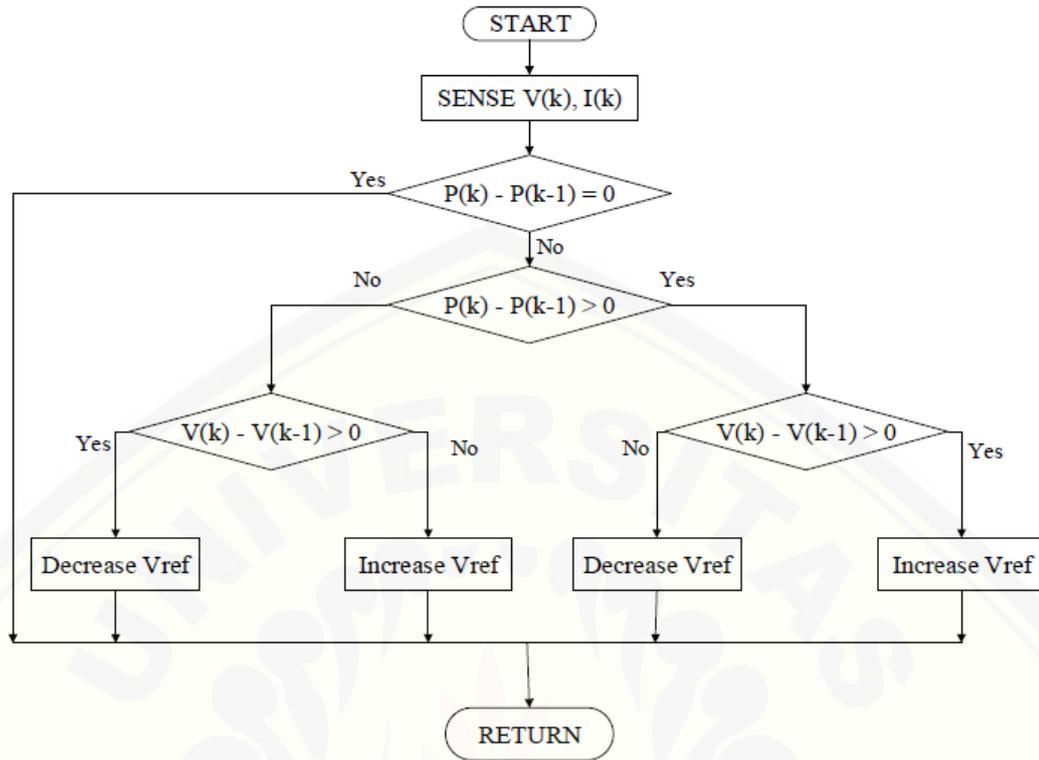
Gambar 2.7 Pengaruh Perubahan Daya Terhadap Perubahan Tegangan (Cheikh, 2007)

Beban akan menggeser titik daya kurva, apakah berada di belakang, di depan, atau bahkan berada tepat di titik daya maksimum. Pada saat beban dipasangkan kepada panel surya, tentunya daya yang dapat disalurkan akan mengalami perubahan. Perubahan tersebut biasanya muncul apabila panel surya dihubungkan secara langsung dengan beban. Dengan kata lain hal ini berlaku seperti sebuah sumber arus searah yang dirangkai seri dengan beban, sehingga perubahan daya akan sangat terlihat.

Jika tegangan kerja panel surya diganggu (*perturbed*) saat perubahan daya terhadap perubahan tegangan lebih besar daripada nol, hal tersebut dilakukan agar pengganggu dapat memindahkan tegangan kerja panel surya maju ke arah titik daya maksimum. Apabila tegangan kerja panel surya diganggu saat perubahan daya terhadap perubahan tegangan lebih kecil daripada nol, pengganggu bertujuan untuk memindahkan tegangan kerja panel surya mundur ke arah titik daya maksimum. (Loka, 2016)

2.4.1 Algoritma *Perturb and Observe* (P&O)

Perturb and Observe merupakan salah satu algoritma *maximum power point tracking*. *Perturb and Observe* adalah algoritma yang banyak digunakan secara luas untuk mencari nilai optimal dari PV, karena hanya menggunakan sedikit parameter yang dituning dan struktur algoritma yang sederhana. Untuk kondisi praktikal, algoritma ini cukup handal digunakan dan memiliki respon yang selalu beresilasi didekat nilai optimalnya (MPP). Metode P&O ini bekerja berdasarkan teknik gangguan (*perturbation*) pada sistem dengan cara menambah atau mengurangi tegangan referensi (V_{ref}) sesuai dengan responnya yang diubah melalui parameter *dutycycle* kemudian dilakukan pengamatan (*observation*) terhadap respon daya yang keluar dari modul PV. Ketika besarnya nilai daya saat ini $P(K)$ dari modul PV lebih besar daripada besarnya daya sebelumnya $P(K-1)$ maka arah dari parameter gangguan akan tetap dijaga, namun jika tidak maka arah dari parameter gangguan akan bergerak terbalik dari arah sebelumnya. Gambar 2.8 menunjukkan cara dari algoritma P&O.



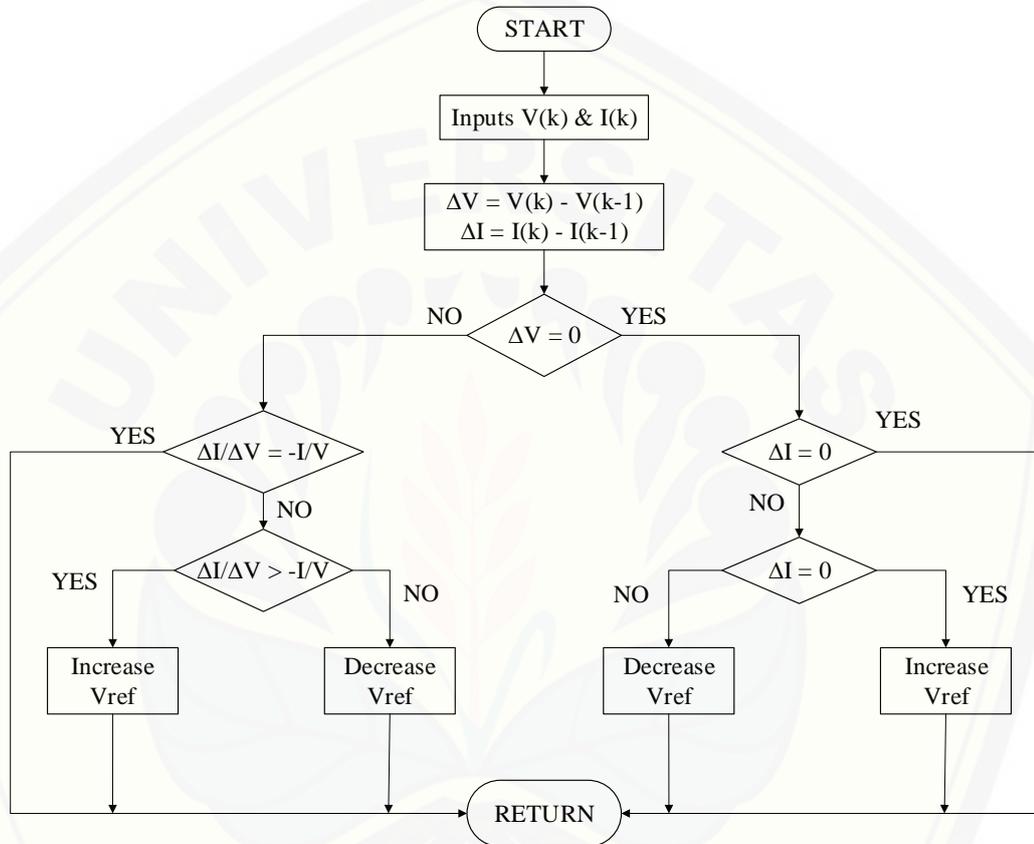
Gambar 2.8 Flowchart Algoritma *Perturb and Observe*.(Zuliari, 2017)

Algoritma ini dimulai dengan pengukuran nilai tegangan arus dari panel surya sehingga akan diperoleh nilai dayanya. Nilai daya pengukuran saat ini dibandingkan dengan pengukuran daya sebelumnya. Jika selisih kedua pengukuran ini = 0 maka nilai tegangan, arus dan dayanya akan dijadikan nilai terbaru (*update*). Tetapi jika nilai selisih dayanya tidak sama dengan 0 maka akan diberikan penambahan dan pengurangan tegangan sesuai dengan tegangan referensi yang ditentukan. Dari perturb tegangan ini akan didapatkan nilai daya terbaru.

2.4.2 Algoritma *Incremental Conductance*

Metode *Incremental Conductance* (IC) bekerja berdasarkan *gradien* 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 juga V_{MPP} . MPPT memberikan V_{ref} agar titik kerja sel surya terdapat nilai V_{MPP} tersebut.

Algoritma *Incremental Conductance* digunakan untuk mengatasi masalah yang ditimbulkan oleh algoritma P&O. Dasar algoritma ini adalah kurva kemiringan P-V. Pengontrolan dilakukan dengan menaikkan atau menurunkan tegangan MPPT. Gambar 2.9 menunjukkan *flowchart* algoritma *Incremental Conductance*.



Gambar 2.9 *Flowchart* Algoritma *Incremental Conductance*

Karakteristik P – V sel surya merupakan fungsi daya terhadap tegangan, mencapai titik maksimum ketika *gradien*-nya bernilai nol.

$$\frac{dP}{dV} = 0 \dots\dots\dots(2.8)$$

Karena $P = V.I$, maka :

$$\frac{d(V \cdot I)}{dV} = \frac{V \cdot dI + dV \cdot I}{dV} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$V \frac{dI}{dV} + 1 = 0 \dots\dots\dots(2.10)$$

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \dots\dots\dots(2.11)$$

Perubahan V_{ref} yang diberikan IC 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. 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 IC yang telah berkembang selama ini adalah dengan membuat besar perubahan V_{ref} bervariasi. (Mei, Shan, Liu & Guerrero, 2011)

2.5 Logika Fuzzy

Prof. Lofti Zadeh mengembangkan teori himpunan logika samar atau *fuzzy* pada tahun 1965. Beliau berpendapat bahwa logika benar dan salah dalam logika konvensional tidak dapat mengatasi masalah gradiasi di dunia nyata. Sebagai solusi dalam mengatasi masalah gradiasi yang tidak terhingga tersebut, Prof. Lotfi Zadeh mengembangkan sebuah himpunan *fuzzy*. Logika *fuzzy* memiliki nilai yang kontinyu tidak seperti logika boolean. *Fuzzy* dinyatakan dalam derajat dari suatu keanggotaan dan derajat kebenaran. Oleh karena itu, sesuatu dapat dikatakan sebagian benar dan sebagian salah dalam waktu yang sama (Fauzi, 2014).

2.5.1 Himpunan Fuzzy

Sekumpulan objek x dimana masing-masing objek memiliki nilai keanggotaan atau *membership function* “ μ ” atau nilai kebenaran disebut sebagai himpunan *fuzzy*. Menurut Kusumadewi (2002), logika *fuzzy* adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang *input* ke dalam suatu ruang *output*. Titik-titik data *input* dipetakan ke dalam sebuah kurva yang disebut sebagai fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik *input data* ke dalam nilai keanggotaannya (sering juga disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara nol sampai satu.

2.5.2 Struktur Dasar Logika Fuzzy

Struktur logika *fuzzy*, pada dasarnya memiliki 4 bagian diantaranya sebagai berikut.

1. Basis Pengetahuan

Basis pengetahuan terdiri atas basis data dan aturan dasar yang mendefinisikan himpunan *fuzzy* atau daerah-daerah masukan dan keluaran dan menyusunnya dalam perangkat aturan. Basis pengetahuan terdiri atas fakta (*data base*), dan kaidah atur (*rule base*). *Data base* atau fakta merupakan bagian pengetahuan yang memuat informasi tentang objek, peristiwa, atau situasi. Pada umumnya, fakta menyatakan kondisi statik dari objek. Disamping itu, kaidah atur atau *rule base* berisi informasi tentang tata cara membangkitkan fakta baru atau hipotesa fakta yang sudah ada.

Basis data memiliki fungsi untuk mendefinisikan himpunan-himpunan *fuzzy* dari sinyal masukan dan keluaran agar dapat digunakan oleh variabel linguistik dalam batas aturan. Dalam pendefinisian tersebut, biasanya dilakukan secara subjektif menggunakan pendekatan heuristik dan berdasar pada pengalaman serta pertimbangan yang menyangkut kerekayasaan, sehingga bergantung penuh pada perancang basis data.

2. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi berfungsi untuk mentransformasikan sinyal masukan yang bersifat bukan *fuzzy* (*crisp*) ke himpunan *fuzzy* menggunakan operator fuzzifikasi.

3. Logika Pengambilan Keputusan

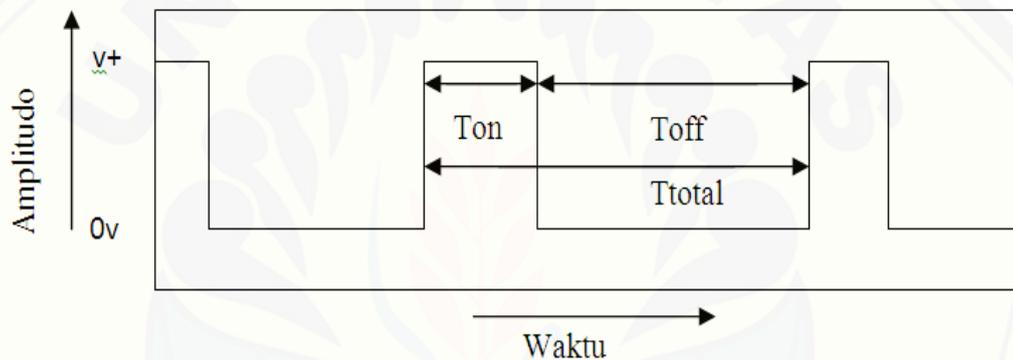
Logika pengambilan keputusan merupakan inti dari logika *fuzzy* yang memiliki kemampuan seperti manusia dalam pengambilan keputusan. Aksi *fuzzy rule* disimpulkan menggunakan implikasi *fuzzy* dan mekanisme inferensi *fuzzy*.

4. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi digunakan untuk mentransformasikan kesimpulan tentang aksi *rule* yang bersifat *fuzzy* menjadi sinyal sebenarnya yang bersifat *crisp* dengan menggunakan operator defuzzifikasi (Fauzi, 2014).

2.6 Pulse Width Modulation (PWM)

Pulse Width Modulation (PWM) ialah sebuah teknik memanipulasi lebar pulsa dalam periode sinyal yang konstan untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. Singkatnya, PWM adalah teknik untuk membangkitkan sinyal pulsa. Pada umumnya, sinyal PWM memiliki amplitudo dan frekuensi dasar yang tetap, tetapi memiliki lebar pulsa yang bervariasi. Lebar pulsa tersebut berbanding lurus dengan sinyal asli yang belum termodulasi. Maka dapat dikatakan bahwa sinyal PWM memiliki frekuensi gelombang yang tetap namun *duty cycle* bervariasi (antara 0 % hingga 100 %). Gambar 2.10 berikut ini merupakan sinyal PWM.



Gambar 2.10 Sinyal PWM

Besarnya total waktu atau perioda dari sebuah sinyal PWM adalah penjumlahan dari waktu saat sinyal mati dan menyala. Besar total waktu ditentukan oleh persamaan berikut ini.

$$T_{total} = T_{on} + T_{off} \dots\dots\dots(2.12)$$

Besarnya tegangan keluaran adalah :

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

Sedangkan besarnya *duty cycle* adalah:

$$D = \frac{T_{on}}{T_{total}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.14)$$

Sehingga persamaan dari tegangan keluaran untuk sinyal PWM di atas dapat dituliskan seperti pada persamaan berikut.

$$V_o = \frac{T_{on}}{T_{total}} \times V_{in} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana,

V_o : Tegangan keluaran (volt)

V_{in} : Tegangan masukan (volt)

T_{on} : Waktu pulsa *high* (detik)

T_{total} : Waktu total/periode pulsa (detik)

T_{off} : Waktu pulsa *low* (detik)



BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat Penelitian

Adapun tempat dan waktu penelitian, pengujian serta analisis secara umum dilakukan di :

Tempat : Laboratorium Konversi Energi Listrik

Alamat : Jl. Slamet Riyadi No. 62 Patrang. Jember 68111.

3.1.2 Waktu Penelitian

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian

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

3.2 Prosedur Penelitian

Dalam metodologi penelitian ini, dibuat langkah-langkah dalam melaksanakan penelitian sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Studi Literarur dilakukan yaitu dengan mengambil materi dari beberapa buku, judul jurnal, *paper* maupun skripsi-skripsi yang telah ada sebelumnya, dijadikan acuan maupun referensi penelitian untuk dikembangkan lebih lanjut untuk melakukan penelitian.

2. Perancangan Sistem

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

3. Pengolahan Data

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

4. Analisa Hasil

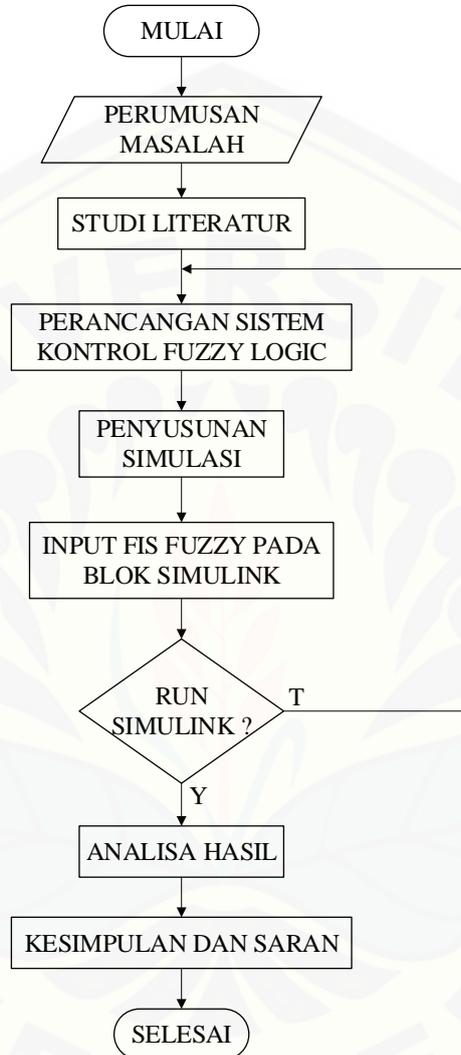
Data – data yang sudah didapat, selanjutnya akan dianalis dan dibandingkan. Sehingga akan diketahui perbandingan dari algoritma *perturb and observe* dan *incremental conductance*. Dan akan diketahui algoritma manakah yang memiliki kinerja lebih baik dalam memaksimalkan daya keluaran dari PV.

5. Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini dilakukan pengambilan kesimpulan berdasarkan hasil perhitungan dan perbandingan serta analisis. Dan juga pemberian saran yang dimaksud untuk pertimbangan atas pengembangan selanjutnya. Pengambilan kesimpulan dan saran dilakukan setelah menganalisa data yang telah didapat.

3.3 Diagram Alir Penelitian

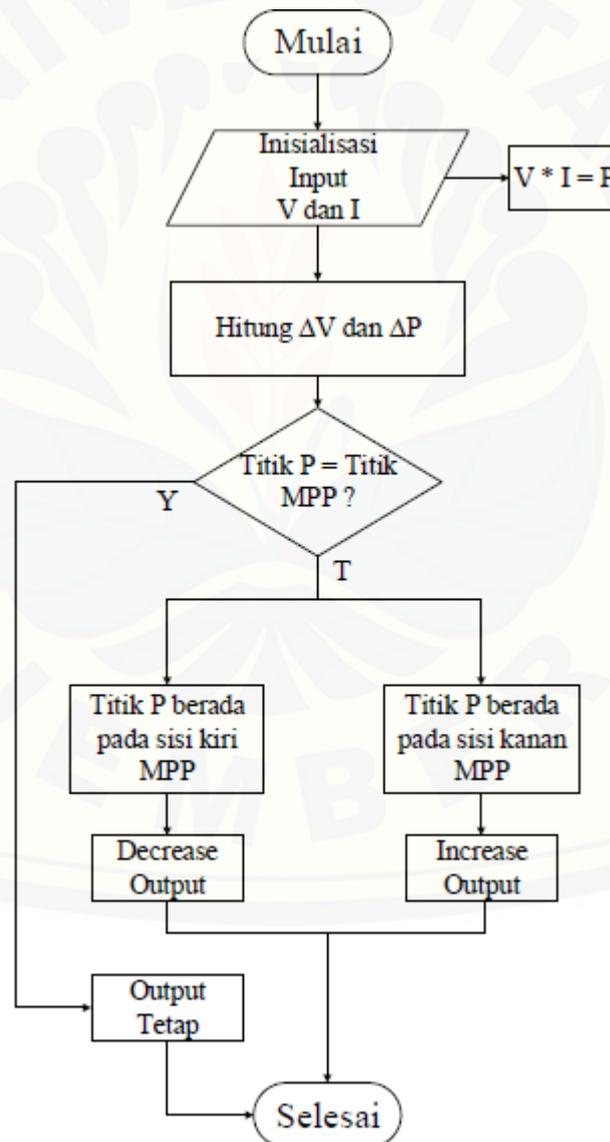
Diagram alir keseluruhan dari penelitian ini yaitu ditampilkan pada gambar 3.1 dibawah ini.



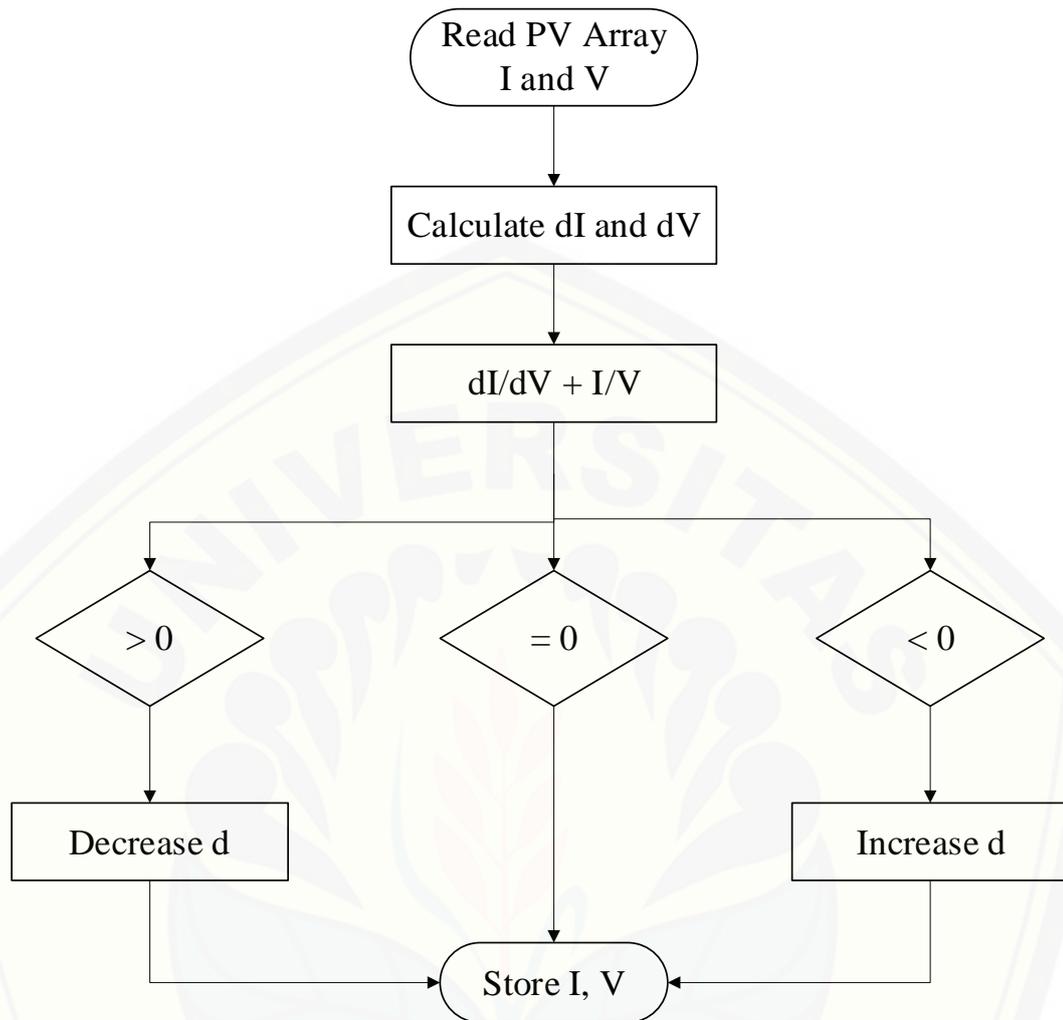
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Penjelasan dari diagram alir penelitian diatas ialah sebagai berikut, dimulai dengan perumusan masalah, kemudian melakukan studi literatur terhadap topik penelitian, yakni mengenai algoritma MPPT *Perturb and Observe* dan *Incremental Conductance* yang diterapkan pada PV sistem. Kemudian tahap selanjutnya, merancang sistem kontrol berbasis *fuzzy logic*, yang mana disini menggunakan 2 algoritma yakni algoritma *perturb and observe* dan *incremental conductance*. Setelah itu tahap selanjutnya ialah menyusun simulasi pada *Simulink*

Matlab. Adapun data yang diambil diantaranya ialah nilai karakteristik panel surya dan nilai komponen pada sistem *buck – boost converter*. Setelah itu, menjalankan simulink dengan mengklik *run*, untuk melihat apakah simulasi dapat berjalan atau tidak. Jika simulasi tidak berjalan maka *flowchart* kembali ke tahap penyusunan simulasi, namun jika simulasi berhasil, *flowchart* langsung menuju tahap selanjutnya. Yakni menganalisa data yang telah diperoleh dan membandingkan hasil *tracking* pada kedua algoritma *perturb and observe* dan *incremental conductance*. Kemudian tahap yang terakhir membuat kesimpulan dan memberi saran untuk penelitian selanjutnya.

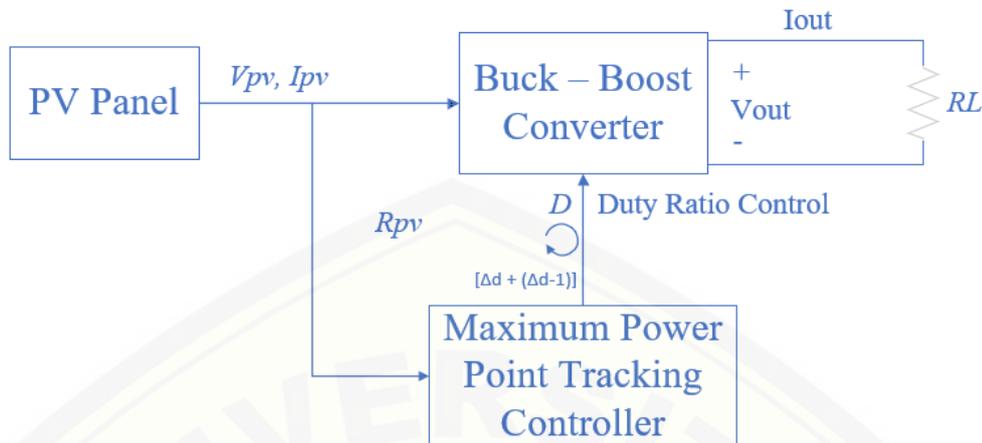


Gambar 3.2 Diagram Alir Algoritma *Perturb and Observe*



Gambar 3.3 Diagram Alir Algoritma *Incremental Conductance*

3.4 Blok Diagram Sistem



Gambar 3.4 Blok Diagram Sistem PV MPPT.

Gambar 3.4 menunjukkan blok diagram dari sistem MPPT yang digunakan pada penelitian ini. Sistem MPPT tersebut terdiri dari, PV panel, sebuah *buck – boost converter*, dan sebuah kontrol MPPT. Beban resistif juga digunakan pada penelitian ini. *Buck – boost converter* digunakan untuk mengontrol aliran daya dari PV panel ke beban. Tegangan terminal dari sistem PV V_{PV} , sangat sensitif terhadap variasi dari nilai *duty ratio*, output dari MPPT controller yang berupa perubahan nilai *duty ratio* tidak langsung menjadi masukan untuk *converter*, namun mengalami proses penjumlahan dengan hasil sebelumnya, hal ini berlangsung terus menerus hingga sistem mencapai titik maksimumnya. Resistansi internal dari komponen diabaikan sesuai dengan persamaan 3.1 pada hubungan antara tegangan *input* dan tegangan *output* konverter pada keadaan *steady state* :

$$V_{out} = \frac{D}{1-D} V_{PV} \dots \dots \dots (3.1)$$

Dengan mengansumsikan bahwa konverter beroperasi pada tingkat efisiensi 100% dan beban resistif R_L , daya yang dikirim dari PV sistem adalah :

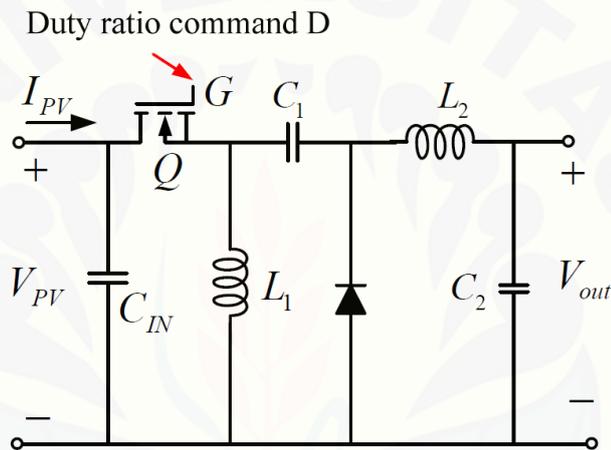
$$P_{PV} = \left(\frac{D}{1-D} \right)^2 \frac{V_{PV}^2}{R_L} \dots \dots \dots (3.2)$$

Penelitian ini menggunakan teori *fuzzy logic* untuk mendesain kontrol MPPT. *Fuzzy* MPPT controller akan membangkitkan variable *input fuzzy* yang diperlukan dengan membaca sinyal tegangan dan arus dari sel *photovoltaic*. Variable *input fuzzy* akan dapat digunakan untuk menghitung *duty ratio* untuk

mengatur titik operasi dari sel *photovoltaic* dengan tujuan untuk memaksimalkan daya keluaran.

3.5 DC – DC Converter

Pada penelitian ini digunakan DC – DC konverter jenis *buck – boost converter*, yang mana nantinya tegangan dari panel surya dapat diturunkan dan dinaikkan dalam mencapai daya *output* maksimum (MPPT). *Buck – boost converter* seperti pada gambar 3.3 digunakan untuk mengontrol aliran daya dari PV panel menuju ke beban.



Gambar 3.5 Rangkaian *Buck – Boost Converter* (Shiau, 2015)

Pada gambar 3.5 merupakan gambar rangkaian dasar DC-DC *buck – boost converter*, dalam rangkaian ini terdapat beberapa komponen dasar yaitu induktor, kapasitor, dioda dan mosfet. Untuk menentukan spesifikasi dari *buck – boost converter* disesuaikan dengan karakteristik dari panel surya yang digunakan. Berikut ini spesifikasi DC-DC *buck – boost converter* yang akan dibuat :

Tabel 3.2 Spesifikasi *buck – boost converter*

Spesifikasi	Keterangan
Tegangan Masukan	15 – 17 Volt
Tegangan Keluaran	1.5 – 30 Volt
Tegangan Nominal	12 Volt
Arus Keluaran Maksimum	2.5 A
Frekuensi Switching	30000 Hz

Persamaan untuk menentukan nilai duty cycle

- Duty cycle minimum

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{D}{(1-D)} \dots\dots\dots(3.3)$$

$$\frac{1.5}{15} = \frac{D}{(1-D)}$$

$$0.1 = \frac{D}{(1-D)}$$

$$0.1 - 0.1 D = D$$

$$0.1 = 1.1D$$

$$D = 0.09$$

- Duty cycle maksimum

$$\frac{V_o \text{ max}}{V_{in \text{ max}}} = \frac{D}{(1-D)} \dots\dots\dots(3.4)$$

$$\frac{30}{17} = \frac{D}{(1-D)}$$

$$1,76 = \frac{D}{(1-D)}$$

$$1,76 - 1,76D = D$$

$$D = 0,637$$

Penentuan nilai resistor

$$R = \frac{V_o}{I_o} \dots\dots\dots(3.5)$$

$$R = \frac{30}{2,5}$$

$$R = 12\Omega$$

Sedangkan untuk parameter komponen dasar yang digunakan adalah, nilai L₁ sebesar 26 mH L₂ sebesar 250 μH, C_{IN} sebesar 4400 C₁ μF dan C₁ sebesar 2,4 μF, C₂ sebesar 560 μF.

3.6 Solar Power Modul

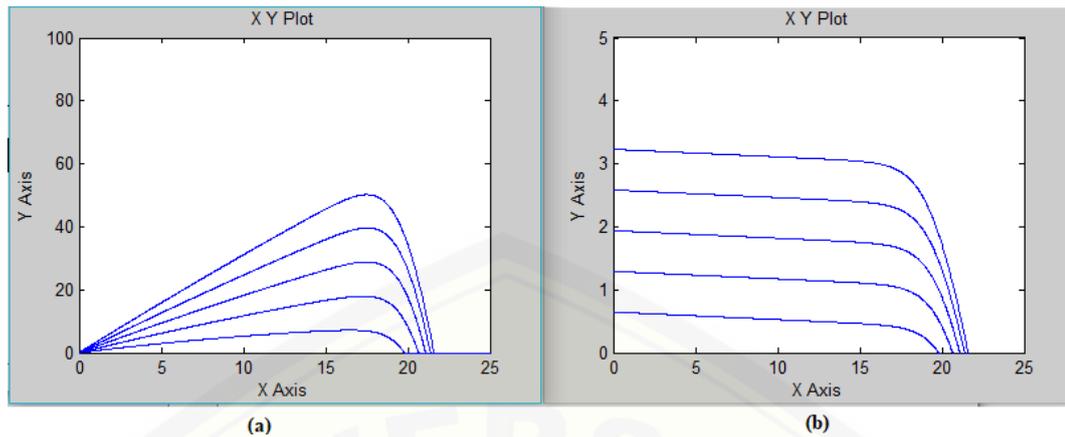
Penentuan parameter-parameter modul surya yang digunakan dalam simulasi berdasarkan spesifikasi salah satu modul surya yakni model GH 50P - 18. Sel surya yang digunakan berjenis monokristal. Spesifikasi lengkap modul surya yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Spesifikasi Modul Surya

<i>Model</i>	GH 50P - 18
<i>Maximum Power (P, Max)</i>	50 Watt Peak
<i>Type Cell</i>	<i>Polycrystalline</i>
<i>Voltage at P, Max (V_{mp})</i>	17,5 V
<i>Current at P, Max (I_{mp})</i>	2,87 A
<i>Short Circuit Current (Isc)</i>	3,25 A
<i>Open Circuit Voltage (Voc)</i>	21,6 V
<i>Maximum System Voltage</i>	1000Vdc

Intensitas cahaya matahari atau iradiasi dengan satuan W/m² berkisar pada nilai 0 W/m²–1000 W/m² sesuai dengan iradiasi yang diterima oleh modul surya. Tegangan panel merupakan keluaran yang dapat terhubung sebagai pengukur tegangan modul surya, besarnya tegangan ini dipengaruhi oleh parameter-parameter eksternal dan internal modul surya itu sendiri. Dan yang terakhir ialah arus keluaran panel surya, keluaran inilah yang akan terhubung dengan sistem atau beban secara langsung.

Adapun kurva karakteristik PV modul GH 50P – 18 adalah seperti Gambar 3.6 dibawah ini,



Gambar 3.6 Karakteristik PV Panel. (a) Tegangan dan Daya; (b) Arus dan Tegangan

3.7 Fuzzy Algoritma MPPT

Pada penelitian ini membuat pengujian terhadap variable *input fuzzy logic* berdasarkan pada algoritma MPPT dengan meninjau karakteristik dari sel *photovoltaic* dan literatur terdahulu dari desain kontrol *fuzzy MPPT*.

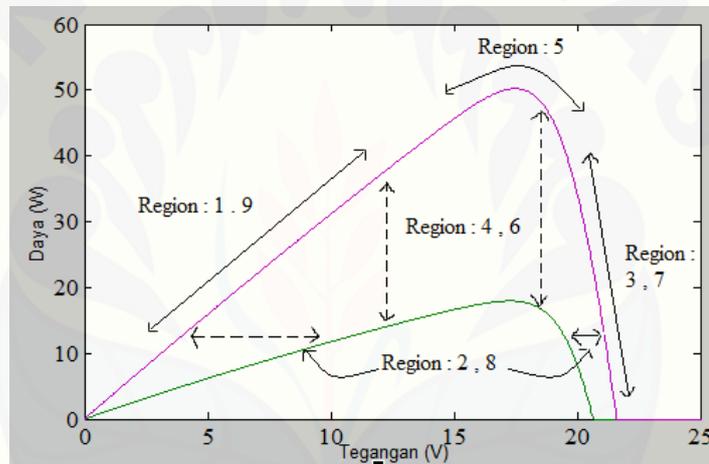
3.7.1 Algoritma (i) *Perturb And Observe* (Variasi Dari *Input* Tegangan Dan Daya)

Algoritma (i) pada sistem *fuzzy logic* MPPT menggunakan variasi dari daya keluaran sel *photovoltaic* (ΔP_{PV}) dan variasi dari tegangan (ΔV_{PV}) sebagai *variable input fuzzy*. Gambar 3.7 (a) menunjukkan desain *fuzzy rules* sebagai *variable input fuzzy*. Konsep dasar dari algoritma ini diturunkan dari metode *Perturb and Observe*. Gambar 3.8 menunjukkan *Membership Function* yang sesuai dan relevan sebagai *input* dan *output*.

Fuzzy Rule		Region 1		Region 2	Region 3	
		<u>NB</u>	<u>NS</u>	<u>ZE</u>	<u>PS</u>	<u>PB</u>
ΔV	<u>NB</u>	NB	NS	ZE	PS	PB
	<u>NS</u>	NS	NS	ZE	PS	PS
	<u>ZE</u>	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE
	<u>PS</u>	PS	PS	ZE	NS	NS
	<u>PB</u>	PB	PS	ZE	NS	NB

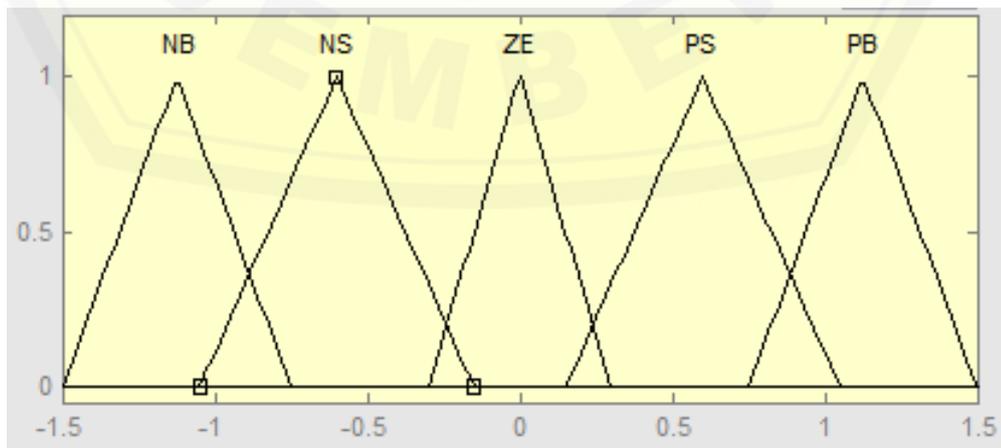
Region 7 Region 8 Region 9
 Region 4 Region 5 Region 6

(a)

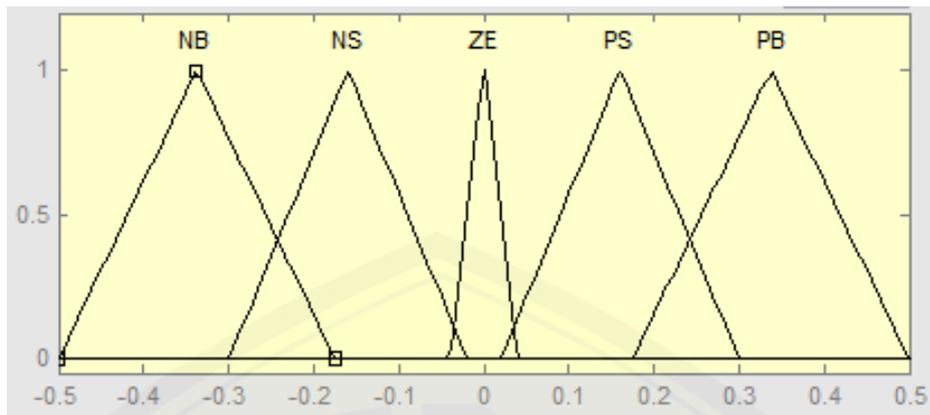


(b)

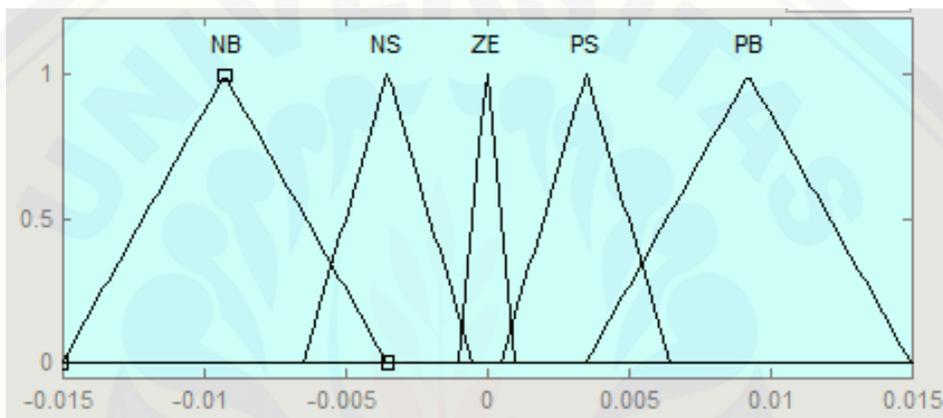
Gambar 3.7 (a) Fuzzy Rules (b) Grafik Region Karakteristik PV. (Shiau, 2015)



(a)



(b)



(c)

Gambar 3.8 *Membership Function* Algoritma P&O: (a) *Membership Function P – V Slope*. (b) *Membership Function Changes of Slope*. (c) *Membership Function Untuk Duty ratio*. (Shiau, 2015)

Fuzzy rules database dibagi menjadi 9 daerah (region) berdasarkan pada karakteristik dari kurva sel *photovoltaic*.

Region 1. Ketika kedua kurva daya dan tegangan menurun pada waktu dan iradiasi matahari yang sama, titik operasi berada di sisi kiri dari MPP. Variasi dari daya dan tegangan digunakan untuk menentukan *magnitude* dari menurunnya *duty ratio*.

Region 2. Nilai daya tetap tidak berubah, tetapi tegangan menurun. Pada kondisi tersebut, dapat diasumsikan bahwa titik operasi berada pada titik MPP, hal itu memberikan *output* berupa ZE. Algoritma ini dapat digunakan untuk menentukan apakah iradiasi dapat meningkat atau menurun ketika nilai iradiasi

telah berubah – ubah. *Output* juga akan di-set pada ZE dengan tujuan untuk mencegah kontradiksi.

Region 3. Region dimana iradiasi tetap tidak berubah, daya meningkat dan tegangan menurun. Titik operasi berada pada sisi kanan MPP. Pada waktu tersebut, variasi dari daya dan tegangan dapat digunakan untuk menentukan magnitude dari kenaikan *duty ratio*. Bagaimanapun, jika *duty ratio* mengalami kenaikan yang terlalu tinggi dikarenakan titik operasi berada dari sisi kanan MPP menuju ke sisi kiri seperti yang terlihat pada gambar 3.5 (berjalan dari titik 4 ke titik 2), kemudian parameter yang bertentangan dapat ditampilkan. Dibawah beberapa kondisi, daya diharuskan meningkat dan tegangan diharuskan jatuh (*drop*). Akan tetapi, setelah pengaruh *duty ratio*, titik operasi berada pada sisi kiri dari MPP, yang mana berarti bahwa nilai *duty ratio* harus dikurangi dalam proses MPPT, kontradiksi dari kenaikan *duty ratio* pada *fuzzy rules database*.

Region 4. Region ini ditunjukkan dengan tidak merubah tegangan namun mengurangi daya. Dibawah beberapa kondisi, jika iradiasi tidak berubah, sistem tidak akan dapat untuk menentukan apakah titik operasi berada pada sisi kiri atau kanan dari MPP. Oleh sebab itu, *output* dari region ini di-set pada ZE. Ketika iradiasi berubah, algoritma juga dapat digunakan untuk menentukan apakah titik operasi berada pada sisi kiri atau kanan dari MPP. Mengatur keluaran pada ZE dapat mencegah kontradiksi.

Region 5. Ketika kedua dari daya dan tegangan tidak banyak berubah, hal itu berarti bahwa sistem telah mengatur untuk *men-track* dan mencapai pada MPP. *Duty ratio* tidak dapat banyak berubah. Keluaran dari region ini ditetapkan pada ZE.

Region 6. Pada region ini, daya meningkat ketika besar tegangan tetap tidak berubah. Ketika iradiasi tidak berubah, sistem tidak dapat menentukan apakah titik operasi berada pada sisi kiri atau kanan dari MPP. Oleh sebab itu, *output* dari region ini ditetapkan pada ZE. Ketika level iradiasi berubah, algoritma tetap dapat digunakan untuk menentukan apakah titik operasi berada pada sisi kiri atau sisi kanan dari MPP.

Region 7. Pada kondisi iradiasi tidak berubah, daya jatuh (*drop*) dan tegangan meningkat. Kondisi ini mengindikasikan bahwa titik operasi berada pada sisi kanan dari kurva. Kenaikan yang relevan pada *duty ratio* dapat diimplementasikan berdasarkan perubahan dari daya dan tegangan.

Region 8. Pada region ini, besar daya tetap tidak berubah ketika tegangan meningkat. Ketika iradiasi tetap tidak berubah, MPP diasumsikan dapat tercapai. Oleh sebab itu, *output* ditetapkan pada ZE. Jika iradiasi berubah, region ini tetap dapat digunakan untuk menentukan apakah iradiasi mengalami peningkatan atau penurunan.

Region 9. Ketika kedua dari daya dan tegangan meningkat pada waktu dan iradiasi yang sama, hal tersebut berarti bahwa titik operasi berada pada sisi kiri dari MPP. Perubahan pada daya dan tegangan digunakan untuk menentukan magnitudo dari penurunan *duty ratio*. Akan tetapi, ketika *duty ratio* sebelumnya mengalami penurunan secara berlebihan, titik operasi dapat berpindah dari titik 1 menuju titik 3, seperti pada gambar 7.16. Setelah itu, kedua dari daya dan tegangan harus meningkat, tetapi untuk kali ini titik operasi berada pada sisi kanan dari MPP, yang berarti bahwa *duty ratio* harus meningkat untuk dapat *track* MPP. (Shiau, 2015)

3.7.2 Algoritma (ii) Penjumlahan Dari Konduktansi Dan Kenaikan Konduktansi Sebagai *Input (Incremental Conductance)*

Berdasarkan pada kurva karakteristik P – V , turunan dari daya dan tegangan akan bernilai nol pada saat kondisi MPP (Maximum Power Point):

$$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} = 0 \Rightarrow I_{PV} + V_{PV} \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} = 0 \Rightarrow \frac{I_{PV}}{V_{PV}} + \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} = 0 \dots \dots \dots (3.6)$$

Ciri dari algoritma ini ialah ketika $I_{PV}/V_{PV} + dI_{PV}/dV_{PV} > 0$, titik operasi akan berada pada sisi kiri MPP. Dengan kata lain, ketika tegangan *output* terlalu rendah, maka sistem harus mengurangi *duty ratio* dengan tujuan untuk meningkatkan tegangan *output* sel PV. Jika $I_{PV}/V_{PV} + dI_{PV}/dV_{PV} < 0$, titik operasi akan berada pada sisikanan MPP. Dengan kata lain, ketika tegangan *output* PV terlalu tinggi, maka sistem harus meningkatkan *duty ratio* yang bertujuan untuk mengurangi tegangan *output* sel PV.

Pada algoritma ini, menggunakan 2 buah variable input fuzzy , yakni E dan CE, dimana :

$$E = \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} + \frac{I_{PV}}{V_{PV}} \dots \dots \dots (3.7)$$

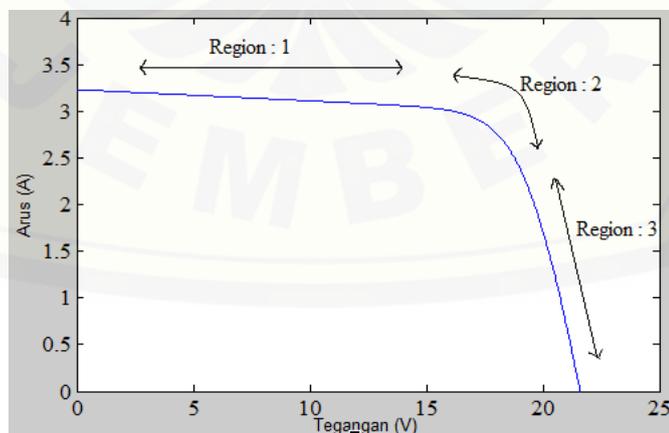
$$CE = E(k) - E(k - 1) \dots \dots \dots (3.8)$$

Disini, E (*Error*) dibuat sedemikian rupa sehingga dapat mendeskripsikan kondisi kenaikan konduktansi menjadi nol disaat MPP telah dicapai (pada persamaan 3.7). Sedangkan E(k) dan E(k-1) merupakan besar *error* saat ini dan *error* saat sebelumnya, yang mana jika dikurangkan akan menjadi perubahan dari besar *error* (*change of error*).

Gambar 3.9 menunjukkan desain *fuzzy rules* database yang digunakan. Dan kurva *Membership Function* yang sesuai dari *input* dan *output* ditunjukkan pada gambar 3.10.

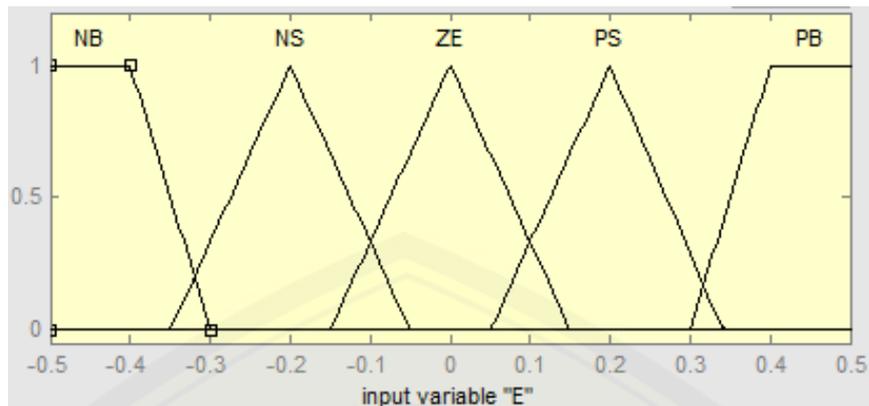
Fuzzy Rules		CE				
		NB	NS	ZE	PS	PB
E	NB	PB	PB	NB	PB	PB
	NS	PB	PB	NS	PB	PB
	ZE	PB	NB	NB	NB	NB
	PS	NB	NB	PS	NB	NB
	PB	NB	NB	NB	PB	NB

(a)

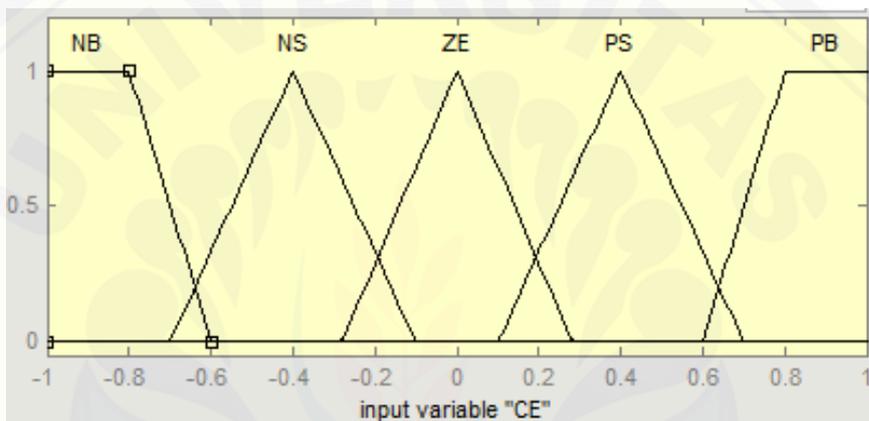


(b)

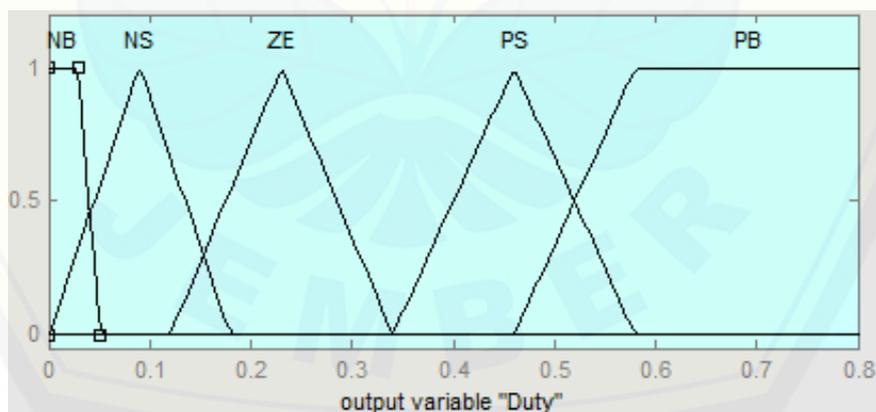
Gambar 3.9 (a) *Fuzzy Rules* Dari Algoritma (ii); (b) Kurva Region Arus Dan Tegangan. (Shiau, 2015)



(a)



(b)



(c)

Gambar 3.10 *Membership Function* Dari Algoritma (ii): (a) *Membership Function* untuk E; (b) *Membership Function* untuk CE; (c) *Membership Function* untuk *Duty Ratio*.

Algoritma (ii) memperbolehkan sistem untuk mengidentifikasi secara langsung lokasi dari titik operasi yang sesuai dengan MPP tidak seperti pada

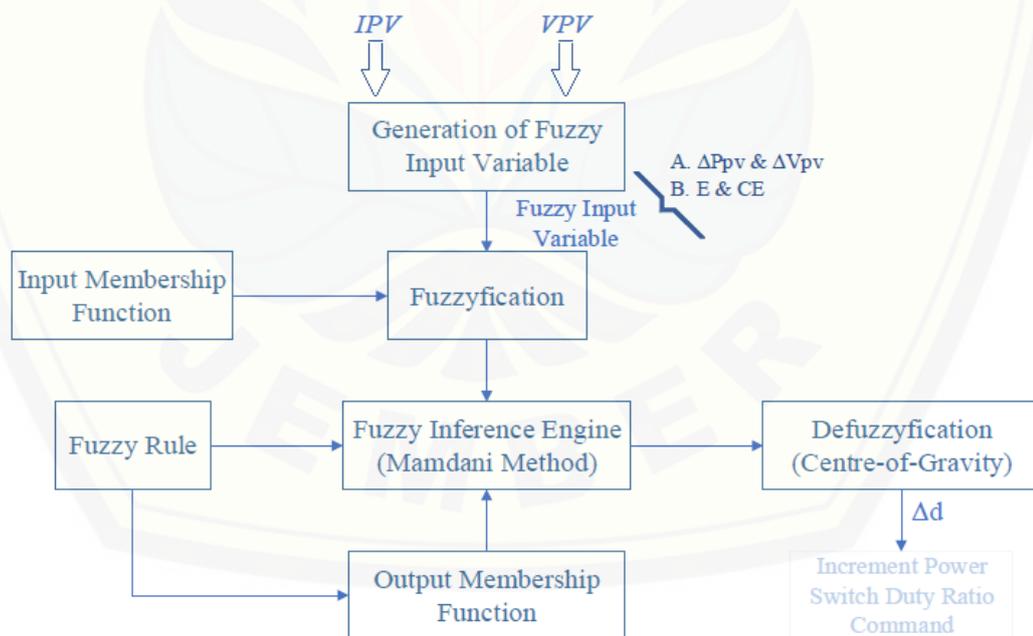
algoritma (i) yang mana variasi dari nilai parameter luar digunakan untuk mengestimasi apakah sistem telah menjejak titik operasi pada MPP. Oleh sebab itu, kegunaan dari algoritma ini adalah untuk mendesain domain keluaran yang mengizinkan ukuran nilai *duty ratio* yang lebih besar untuk meningkatkan efisiensi dari proses MPPT. Rules database untuk algoritma ini digabi menjadi 3 region.

Region 1. Titik operasi berada pada sisi kiri MPP. Daerah didekat titik operasi dari MPP digunakan untuk menentukan derajat dari penurunan *duty ratio* untuk proses MPPT tersebut.

Region 2. Titik operasi berada tepat pada MPP. *Output* ditetapkan pada ZE.

Region 3. Titik operasi berada pada sisi kanan dari MPP. Daerah didekat titik operasi dari MPP digunakan untuk menentukan derajat dari kenaikan *duty ratio* untuk proses MPPT tersebut. (Shiau, 2015)

3.8 Blok Diagram Sistem *Fuzzy*



Gambar 3.11 Blok Diagram Sistem *Fuzzy* MPPT. (Shiau, 2015)

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian pada simulink dan analisa data yang telah dilakukan pada penelitian ini, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Pada pengujian karakteristik modul surya, nilai tegangan *open circuit* (V_{oc}) dan arus *short circuit* (I_{sc}) terkecil pada modul surya diperoleh ketika masukan iradiasi sebesar 200 W/m^2 , yakni sebesar 19,79 V dan 0,646 A, dan nilai tegangan *open circuit* dan arus *short circuit* terbesar diperoleh ketika masukan iradiasi sebesar 1000 W/m^2 , yakni sebesar 21,6 V dan 3,231 A.
2. Semakin tinggi nilai masukan iradiasi yang digunakan pada modul surya, maka nilai arus I_{sc} dan tegangan V_{oc} pada modul semakin tinggi pula, begitu pun dengan nilai daya maksimumnya.
3. Pada pengujian karakteristik data maksimum modul surya, nilai P_{mpp} (Daya pada titik maksimum) modul terbesar ialah sebesar 50,22 W, dengan V_{mpp} 17,5 V dan I_{mpp} 2,87 A pada masukan iradiasi sebesar 1000 W/m^2 .
4. Berdasarkan data pengujian pada *buck – boost converter*, daya *output* terbesar diperoleh ketika pengujian menggunakan beban 6Ω pada *duty cycle* 70% yakni sebesar 44,63 W. Dan *daya output* terkecil diperoleh ketika pengujian menggunakan beban 6Ω pada *duty cycle* 10% yakni sebesar 2,087 W.
5. Pada algoritma *perturb and observe*, sistem PV mampu mencapai titik daya maksimumnya (MPPT) sebesar 50,18 W dengan daya *output* beban 47,13 W. Sedangkan pada algoritma *incremental conductance*, titik daya maksimum (MPPT) yang dicapai lebih besar, yakni sebesar 50,3 W dengan daya *output* beban 47,25 W.
6. Semakin besar nilai resistansi beban maka nilai tegangan keluaran yang dihasilkan akan semakin besar pula, akan tetapi tidak dengan arus keluarannya, arus keluaran bernilai semakin kecil seiring meningkatnya resistansi beban.
7. Berdasarkan hasil simulasi, dibawah perubahan masukan iradiasi dapat dikatakan bahwa semakin rendah masukan iradiasi yang diterima, *setting time* yang dibutuhkan untuk menjajak MPPT akan semakin lama.

8. Algoritma *incremental conductance* mampu menjalankan proses MPPT dan mencapai titik operasi yang stabil dengan *setting time* lebih cepat dibandingkan dengan algoritma *perturb and observe*
9. Algoritma *incremental conductance* memiliki nilai efisiensi daya yang lebih tinggi dibanding dengan algoritma *perturb and observe*, sehingga dapat dikatakan bahwasanya algoritma IC dapat bekerja lebih baik dibandingkan *perturb and observe*.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian ini, ada beberapa saran yang dapat digunakan untuk pengembangan penelitian yang selanjutnya. Beberapa saran tersebut antara lain sebagai berikut.

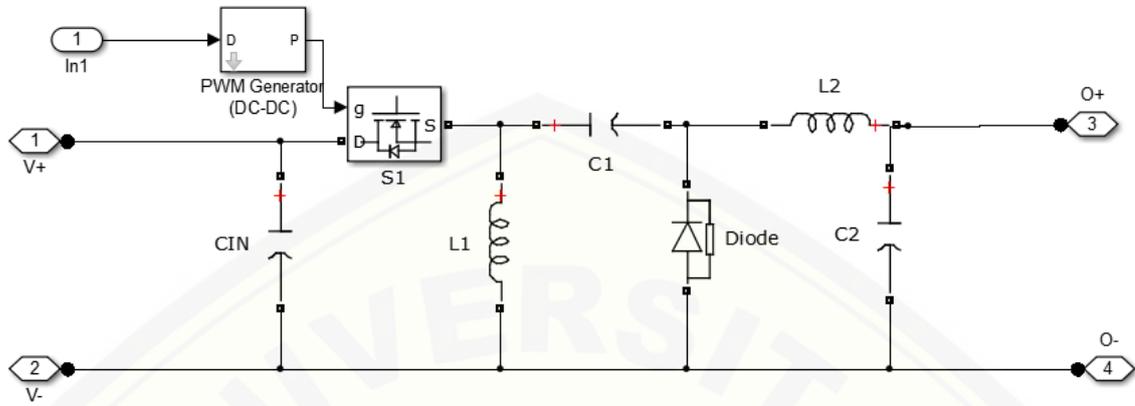
1. Dapat dilakukan implementasi sistem pada *hardware* (alat) agar didapatkan hasil yang *real* pada keluaran modul surya.
2. Karena metode pembanding pada penelitian ini hanya menggunakan 1 sistem kontrol (Fuzzy), di penelitian selanjutnya tidak menutup kemungkinan dapat menggunakan metode pembanding dengan sistem kontrol lainnya, misalkan *Neural Network* (NN) atau bahkan ANFIS.

DAFTAR PUSTAKA

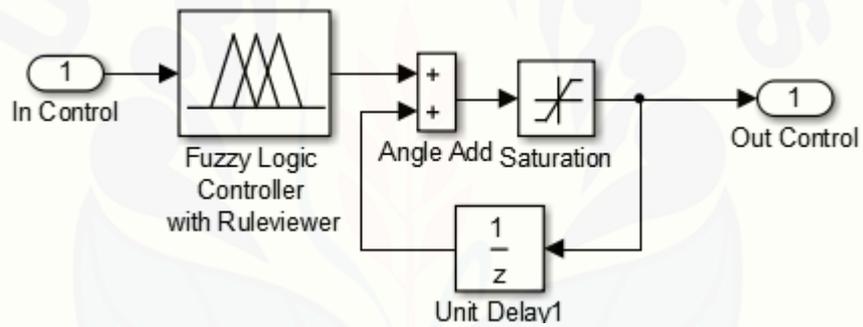
- Agary, Agan dan Harlianto Tanudjaja. 2015. Perancangan Sistem *Maximum Power Point Tracking Converter* Berbasis Mikrokontroler Atmega 328. *Jurnal Teknik dan Ilmu Komputer*. 4(16) : 353 – 365.
- Akbar, Ridwanyah M., Hidayat, I. dan Adam, K. B. 2016. Rancang Bangun Dan Implementasi *Buck Boost Converter* Dengan *Maximum Power Point Tracking* Menggunakan Metode *Perturb And Observe*. *E-Proceeding*. 3(3) : 4178 – 4184. ISSN : 2355-9365.
- Bounechba, H., Bouzid, A., Snani, H. dan Lashab, A. 2016. *Real time simulation of MPPT algorithms for PV energy system*. *Electrical Power and Energy Sys*. 83(2016) : 67 – 78.
- Deopare, Harshal dan Deshpande, Amruta. Fuzzy Based Incremental Conductance Algorithm For PV. *IEEE, International Conference on Automatic Control And Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT)*. 2016. pp. 683 – 687.
- Hasan, Fendik Hidayat. 2017. Rancang Bangun Mppt Dengan Dc-Dc *Buck Converter* Pada Panel Surya Dengan Beban Pompa Air Dc. Skripsi. UNEJ.
- Kini, Roshan, Narayanan, G. dan Dalvi, Aditya. 2014. *Comparative Study And Implementation Of Incremental Conductance Method And Perturb And Observe Method With Buck Converter By Using Arduino*. *IJRET*. 3(1) : 461 – 469. eISSN: 2319-1163. pISSN: 2321-7308.
- Loka, Agus Hariana. 2016. Rancang Bangun Sistem Kontrol Sepic *Converter* Pada Panel Surya Berbasis *Fuzzy Logic*. Skripsi. UNEJ.
- Shiau, Jaw – Kuen, Wei, Yu – Chen dan Lee, Min – Yi. 2015. *Fuzzy Controller for a Voltage-Regulated Solar-Powered MPPT System for Hybrid Power System Applications*. *Energies*. 8 : 3292-3312. ISSN 1996-1073.
- Shiau, Jaw – Kuen, Wei, Yu – Chen dan Lee, Min – Yi. 2015. *A Study on the Fuzzy-Logic-Based Solar Power MPPT Algorithms Using Different Fuzzy Input Variables*. *Algorithms*. 8 : 100 – 127. ISSN 1999-4893.
- Utami, Sri. 2017. Implementasi Algoritma *Perturb and Observe* untuk mengoptimasi Daya Keluaran *Solar Cell* Menggunakan MPPT. *Jurnal Infotel*. 9(1) : 92 – 99. ISSN : 2085-3688; e-ISSN : 2460-0997.
- Zuliari, Efrita A., Priananda, Ciptian W. Dan Haryudo, Subuh I. 2017. Penggunaan Algoritma *Perturb And Observe* (Pno) dalam Studi Penggunaan Sepic dan Zeta Konverter untuk *Maximum Power Point Tracker* (Mppt) pada *Photovoltaic* Statis. *JIEET*. 1(1) : 27 – 31. ISSN : 2549-869X.

LAMPIRAN

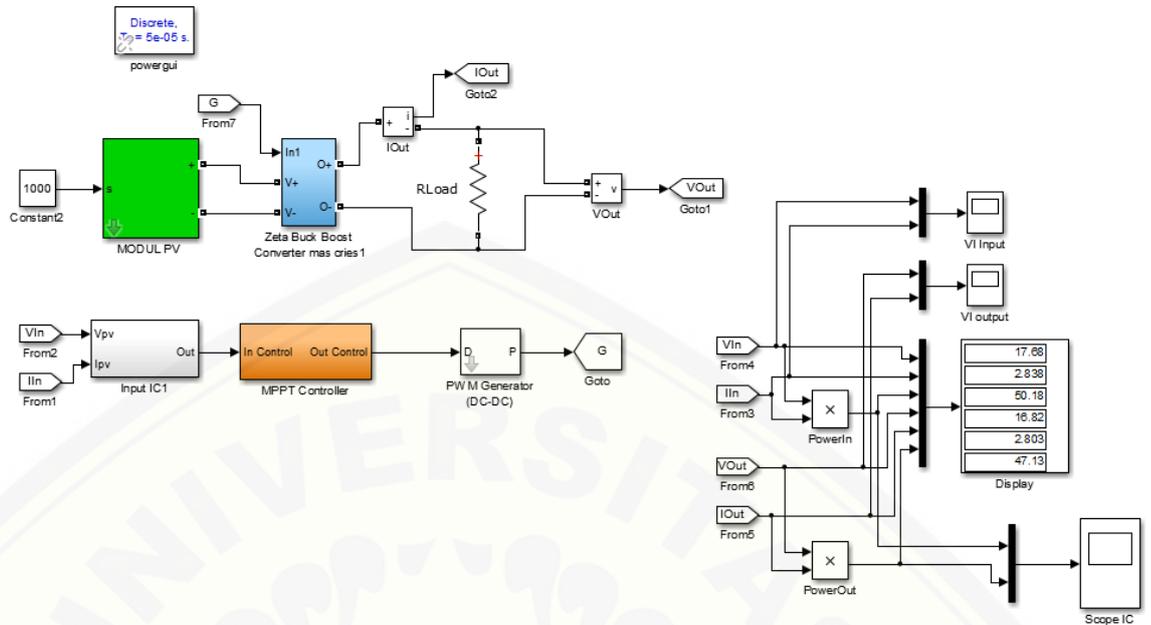
A. Gambar Pada Simulink Matlab



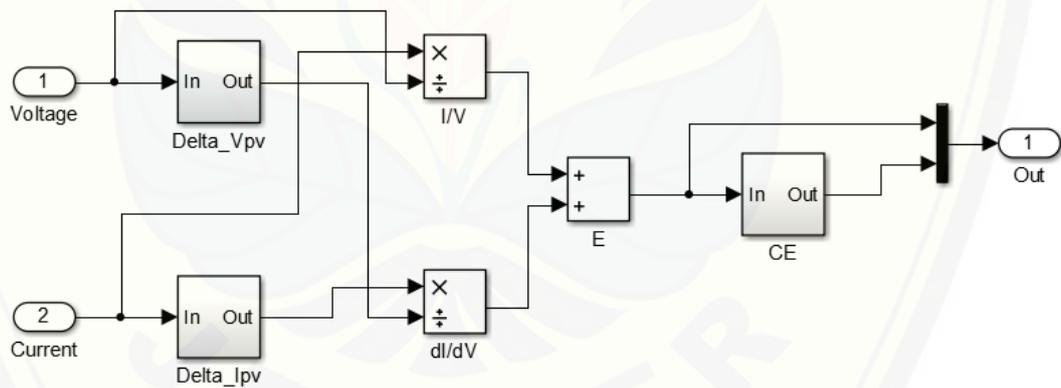
Gambar 1. Rangkaian *Buck – Boost Converter*



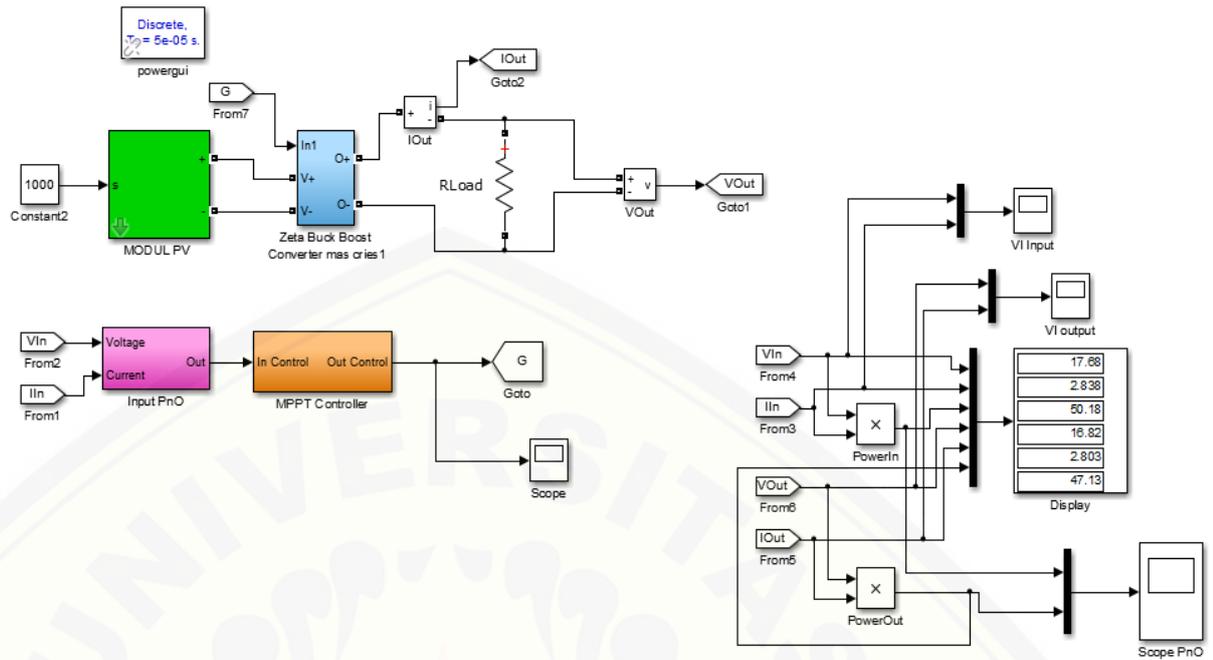
Gambar 2. Sub Blok *Fuzzy Logic Controller*



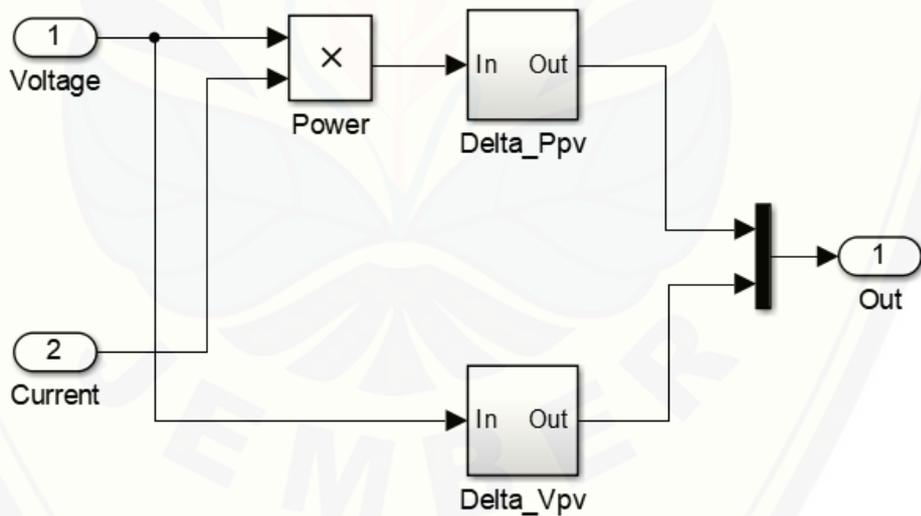
Gambar 3. Blok Simulink Sistem *Fuzzy* Mppt Algoritma *Incremental Conductance*



Gambar 4. Sub Blok Input *Fuzzy* MPPT Algoritma *Incremental Conductance*

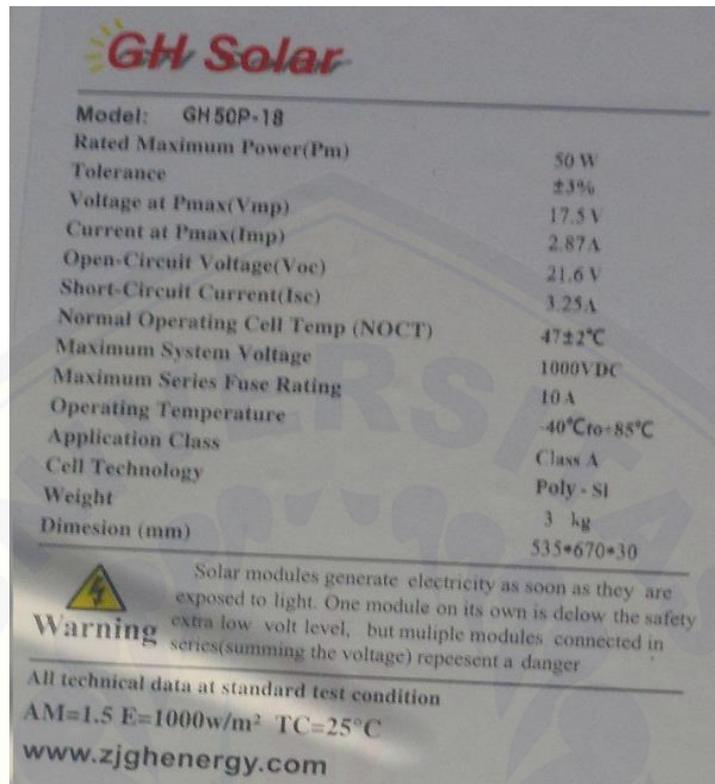


Gambar 5. Blok Simulink Sistem *Fuzzy* Mppt Algoritma *Perturb and Observe*



Gambar 6. Sub Blok Input *Fuzzy* MPPT Algoritma *Perturb And Observe*

B. Data Modul Surya



Gambar 7. Data Spesifikasi Modul Surya GH 50P – 18
(Sumber : www.zjghenergy.com)

Tabel 1. Data PV Langsung Ke Beban

	Beban (Ω)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
Iradiasi 1000 W/m ²	6	17,35	2,892	50,2
	12	20,05	1,617	33,52
	18	20,61	1,145	23,6
	24	20,87	0,8696	18,18
Iradiasi 800 W/m ²	6	14,44	2,407	34,75
	12	19,53	1,627	31,78
	18	20,24	1,125	22,77
	24	20,55	0,8564	17,6
Iradiasi 600	6	10,85	1,808	19,61

W/m ²	12	18,35	1,529	28,07
	18	19,64	1,091	21,42
	24	20,07	0,8362	16,78
Iradiasi 400 W/m ²	6	7,232	1,205	8,716
	12	13,54	1,128	15,28
	18	17,88	0,9931	17,75
	24	19,03	0,7931	15,1
Iradiasi 200 W/m ²	6	3,616	0,6026	2,179
	12	6,775	0,5646	3,825
	18	9,558	0,531	5,075
	24	12,03	0,5011	6,027