



TUGAS AKHIR - TF 141581

KOMBINASI *MAXIMUM POWER POINT TRACKING* (MPPT) DAN *SINGLE AXIS SOLAR TRACKER* PADA PEMBANGKIT LISTRIK SKALA KECIL MENGGUNAKAN METODE HYBRID PSO-FUZZY TYPE 2

TIKA LATHIFA GRAFFIT
NRP. 0231144000004

Dosen Pembimbing:
Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT - TF 141581

COMBINATION OF MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) AND SINGLE AXIS SOLAR TRACKER AT SMALL SCALE POWER PLANT USING HYBRID PSO- FUZZY TYPE 2 METHOD

TIKA LATHIFA GRAFFIT
NRP. 02311440000004

Supervisor:
Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.

ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Tika Lathifa Graffit
NRP : 023114410000004
Departemen/Prodi : Teknik Fisika/S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Kombinasi *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dan *Single Axis Solar Tracker* pada Pembangkit Listrik Skala Kecil Menggunakan Metode Hybrid PSO- Fuzzy Type 2” adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 9 Juli 2018
Yang membuat pernyataan,



Tika Lathifa Graffit
NRP. 0231144000004

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN I
TUGAS AKHIR

KOMBINASI MAXIMUM POWER POINT TRACKING
(MPPT) DAN SINGLE AXIS SOLAR TRACKER PADA
PEMBANGKIT LISTRIK SKALA KECIL
MENGUNAKAN METODE HYBRID PSO- FUZZY
TYPE-2

Oleh:

Tika Lathifa Graffit
NRP. 0231144000004

Surabaya, 9 Juli 2018

Menyetujui,
Dosen Pembimbing



Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.
NIPN. 19761006 199903 1 002

Mengetahui,
Kepala Departemen
Fisika FTI-ITS



Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.
NIPN. 19780902 200312 1 002

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KOMBINASI *MAXIMUM POWER POINT TRACKING* (MPPT) DAN *SINGLE AXIS SOLAR TRACKER* PADA PEMBANGKIT LISTRIK SKALA KECIL MENGGUNAKAN METODE HYBRID PSO- FUZZY TYPE-2

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

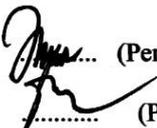
TIKA LATHIFA GRAFFIT
NRP. 0231144000004

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.

2. Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc

3. Ir. Zulkifli, M.Sc

 (Pembimbing)

..... (Penguji I)

 (Penguji II)

SURABAYA
JULI, 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KOMBINASI MAXIMUM POWER POINT TRACKING DAN SOLAR TRACKER SINGLE-AXIS DENGAN METODE HYBRID PSO- FUZZY TYPE2

Nama : Tika Lathifa Graffit
NRP : 0231144000004
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Imam Abadi S.T., M.T.

ABSTRAK

Photovoltaic (PV) memiliki efisiensi yang rendah. Untuk meningkatkan efisiensi dari PV maka diperlukan suatu sistem yang dapat meningkatkan daya dari PV. Sistem tersebut berupa pemasangan *single axis solar tracker* dan sistem *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). Sistem *solar tracker* yang dipasang pada PV dapat membantu PV untuk mendapatkan iradiasi yang maksimal dengan cara mengarahkan PV agar selalu menghadap matahari, sedangkan MPPT berfungsi untuk meningkatkan daya dari *Solar tracker* dengan bantuan kontroler dan konverter DC- DC. *Solar Tracker* dengan sistem MPPT menggunakan kontroler gabungan dari PSO dengan Fuzzy type 2 dengan $FOU \pm 0,3$ dapat membantu PV untuk meningkatkan efisiensi daya PV. Pembuatan kontroler PSO- Fuzzy type 2 diawali dengan pembuatan kontroler fuzzy kemudian dioptimasi dengan algoritma PSO setelah itu diubah menjadi Fuzzy tipe 2. Fungsi dari optimasi PSO adalah untuk mengubah *membership* fuzzy agar masukkan kontroler dapat menempati rentan *membership* yang baru. Sedangkan metode fuzzy type 2 membantu untuk mengatasi ketidakpastian yang tidak bisa diatasi oleh fuzzy type 1. Performansi dari MPPT kontroler PSO- Fuzzy type 2 yang diterapkan pada *solar tracker* memiliki nilai rise time pada 0,0056 detik, settling time pada 0,694 detik, nilai overshoot yang ditunjukkan adalah 2,820 % dan memiliki nilai *error steady state* sebesar 0,414%. *Solar tracker* mampu meningkatkan daya yang dihasilkan PV sebesar 18,580 % dari PV Fixed. Sedangkan uji kontroler pada *solar tracker* , didapatkan bahwa kontroler PSO- Fuzzy type 2 memiliki efisiensi yang paling baik dengan meningkatkan daya sebesar 62,135% dibandingkan dengan kontroler Fuzzy dan Fuzzy- PSO.

Kata Kunci : Fuzzy, Fuzzy type 2, *Maximum Power Point Tracking* (MPPT), *Solar tracker*, *Particle Swarm Optimization* (PSO), PV

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

COMBINATION OF MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) AND SINGLE AXIS SOLAR TRACKER AT SMALL SCALE POWER PLANT USING HYBRID PSO- FUZZY TYPE-2 METHOD

Name : Tika Lathifa Graffit
NRP : 0231144000004
Department : Teknik Fisika FTI-ITS
Supervisors : Dr.Imam Abadi, S.T., M.T.

ABSTRACT

Photovoltaic (PV) has low efficiency. For increase efficiency of PV was required systems who can increase power from PV. The systems are installation of single axis solar tracker and Maximum Power Point Tracking (MPPT). Installation of Solar tracker could make PV get maximal irradiation by directing PV to always face the sun while the function of MPPT is to increase power become maximal from solar tracker with the help of cotroller and DC-DC converter. Solar tracker with MPPT used combining of PSO and Fuzzy type 2 in FOU $\pm 0,3$ could help PV to increase the efficiency of power. The way to make PSO- Fuzzy type 2 controller begins with construction a controller from fuzzy, then was optimized by PSO, after that changed into fuzzy type 2. ht function of PSO is to change fuzzy membership in order to input of controller filled new membership function range fuzzy. While Fuzzy type 2 method could help to handle the uncertainties which fuzzy type 1 could not handle. Peformance from MPPT with PSO- Fuzzy type 2 controller in solar tracker have rise time value 0.0056 second, settling time at 0.694 second, the value of overshoot is 2.820 % and the number of error steady state is 0.414%. Solar tracker could increase power ouput around 18,58%. While experiment of controller, we knew that PSO- Fuzzy type controller has the best efficiency to increase power around 62,135 % comaparing with Fuzzy controller and Fuzzy – PSO controller.

Keywords: *Fuzzy, Fuzzy type 2, Maximum Power Point Tracking (MPPT), Solar tracker, Particle Swarm Optimization (PSO),PV*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya serta shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW sehingga dapat terselesaikannya tugas akhir beserta laporan tugas akhir yang berjudul **“Kombinasi Maximum Power Point Tracking (MPPT) dan Single Axis Solar Tracker pada Pembangkit Skala Kecil Menggunakan Metode Hybrid PSO-Fuzzy Type-2”**.

Penulis telah banyak memperoleh bantuan dari berbagai pihak dalam penyelesaian tugas akhir dan laporan tugas akhir ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Fisika ITS yang telah memberikan ilmu, bimbingan serta sarana dan prasarana selama menempuh pendidikan di Teknik Fisika ITS.
2. Bapak Dr. Imam Abadi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah dengan sabar memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
3. Bapak Prof. Dr. Ir Sekartedjo, M.Sc selaku dosen wali yang telah membimbing penulis selama perkuliahan dan memberikan ilmu serta nasihat yang sangat bermanfaat.
4. Seluruh dosen Teknik Fisika ITS atas segala ilmu, bimbingan, petunjuk, dan nasihat yang sangat bermanfaat.
5. Keluarga dan teman-teman seperjuangan, atas segala cinta, kasih sayang, doa, perhatian, serta dukungan moril dan materiil yang telah diberikan.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan. Namun, semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Fisika ITS khususnya, dan civitas akademika ITS pada umumnya.

Surabaya, 9 Juli 2018

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
COVER PAGE.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME.....	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN I	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN II	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK.....	xi
<i>ABSTRACT</i>	xiii
KATA PENGANTAR.....	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL.....	xxiii
DAFTAR NOTASI	xxv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Sistematika Laporan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Photovoltaic (PV).....	5
2.2 <i>Single-Axis Solar Tracker</i>	8
2.3 Maximum Power Point Tracking (MPPT).....	9
2.4 Algoritma MPPT Konvensional	10
2.5 MPPT dengan Metode Artificial Intelligence.....	13
2.6 Konverter DC-DC Buck Boost	17
2.7 Kontroler Hybrid PSO- Fuzzy Type 2	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	21
3.2 Perancangan Photovoltaic, Solar tracker single Axis dan Konverter DC- DC <i>buck boost</i>	23
3.3 Pengambilan data Primer	29
3.4 Perancangan Kontrol Hybrid PSO-Fuzzy Type-2	32
3.5 Simulasi Perancangan MPPT dengan metode PSO- Fuzzy type-2.....	45

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	46
4.1 Profile Data Iradiasi dan Temperatur	46
4.2 Simulasi Output dari PV Fixed dan Solar Tracker Single- Axis	47
4.3 Simulasi Uji MPPT PSO- Fuzzy type 2 pada PV fixed dan Solar Tracker	50
4.4 Simulasi Uji Kontroler Artificial Intelegent (PSO- Fuzzy Type 2) dengan Kontroler Konvensional (<i>Perturb and Observed</i>).....	51
4.5 Simulasi Uji Performansi Kontroler Fuzzy, Fuzzy- PSO dan PSO- Fuzzy Type 2 pada Solar <i>Tracker</i>	53
4.6 Simulasi Uji kontroler Fuzzy, Fuzzy-PSO dan PSO- Fuzzy type 2	60
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	66
5.1 Kesimpulan	66
5.2 Saran	66
DAFTAR PUSTAKA.....	68
LAMPIRAN A.....	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Rangkaian Ekuivalen Sel Photovoltaic (Soufi, Bachouat, & Kahla, 2016).....	5
Gambar 2.2	Pengaruh Temperatur terhadap iradiasi yang konstan (Soufi, Bachouat, & Kahla, 2016).....	6
Gambar 2.3	Pengaruh Iradiasi terhadap suhu yang konstan (Soufi, Bachouat, & Kahla, 2016).....	7
Gambar 2.4	Kurva Maximum Power Point Antara P (Watt) dan V (Volt).....	9
Gambar 2.5	Diagram Blok MPPT (Bhat & Balla, 2017)	10
Gambar 2.6	Variasi Daya dengan Tegangan (Danandeh & Mousavi, 2017)	12
Gambar 2.7	Skematik dari diagram Fuzzy Logic (Wu, 2012) ..	13
Gambar 2.8	FOU untuk fuzzy type-2 (Ozek & Akpolat, 2007)	15
Gambar 2.9	Diagram Alir PSO (Cheng, Peng, Liu, Cheng, & Huang, 2015)	16
Gambar 2.10	Structure dari <i>Buck Boost</i> (Hart, 2011)	17
Gambar 2.11	Proses Pembuatan Kontroler PSO- Fuzzy type 2	19
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	21
Gambar 3.2	Diagram Blok Sistem MPPT	23
Gambar 3.3	P-V pada PV	24
Gambar 3.4	Input Error dan Deltaerror <i>Solar Tracker</i>	26
Gambar 3.5	<i>Membership</i> Output Kontroler <i>Solar Tracker</i> ...	26
Gambar 3.6	Rangkaian <i>Single Axis Solar Tracker</i>	27
Gambar 3.7	Rancangan converter <i>Buck Boost</i>	28
Gambar 3.8	Respon Vout buck boost terhadap Vin.....	29
Gambar 3.9	Pengambilan Iradiasi Matahari.....	30
Gambar 3.10	Pengambilan data Kecepatan Angin.....	30
Gambar 3.11	Pengambilan data RH dan Temperatur.....	31
Gambar 3.12	<i>Membership</i> Input Error Kontroler Fuzzy	32
Gambar 3.13	<i>Membership</i> Input delta error Kontroler Fuzzy	33
Gambar 3.14	Output kontroler fuzzy	33

Gambar 3.15	<i>Membership</i> Input Error Kontroler Fuzzy-PSO	34
Gambar 3.16	<i>Membership</i> Input Deltaerror Kontroler Fuzzy-PSO.....	35
Gambar 3.17	Diagram Alir Optimasi Fuzzy dengan PSO	35
Gambar 3.18	<i>Membership</i> Input Error Pada Kontroler PSO-Fuzzy type 2 dengan FOU + 0,1	40
Gambar 3.19	<i>Membership</i> Input Delta Error Pada Kontroler PSO- Fuzzy type 2 dengan FOU + 0,1	41
Gambar 3.20	<i>Membership</i> Input Error Pada Kontroler PSO-Fuzzy type 2 dengan FOU + 0,3	41
Gambar 3.21	<i>Membership</i> Input Delta Error Pada Kontroler PSO- Fuzzy type 2 dengan FOU + 0,3	42
Gambar 3.22	<i>Membership</i> Input Error Pada Kontroler PSO-Fuzzy type 2 dengan FOU + 0,5	42
Gambar 3.23	<i>Membership</i> Input Delta Error Pada Kontroler PSO- Fuzzy type 2 dengan FOU + 0,5	43
Gambar 4.1	Profile Iradiasi Matahari pada PV <i>Fixed</i> dan Solar <i>Tracker</i>	46
Gambar 4.2	Temperatur Lingkungan pada PV <i>fixed</i> dan <i>solar tracker</i>	47
Gambar 4.3	Perbandingan Daya PV <i>Fixed</i> dan <i>Solar Tracker</i>	48
Gambar 4.4	Perbandingan Tegangan PV <i>fixed</i> dan <i>Solar Tracker</i>	49
Gambar 4.5	Perbandingan Arus PV <i>fixed</i> dan <i>Solar Tracker</i>	49
Gambar 4.6	Perbandingan Daya PV <i>Fixed</i> MPPT dengan <i>Solar Tracker</i> MPPT	50
Gambar 4.7	Grafik daya dari kontroler PSO- Fuzzy Type 2 dan kontroler PnO pada PV <i>Fixed</i>	51
Gambar 4.8	Grafik Daya dari <i>Solar Tracker</i> Kontroler PSO-Fuzzy Type 2 dan P&O.....	53
Gambar 4.9	Grafik Peformansi dari <i>Solar Tracker</i> dengan Kontroler Fuzzy pada Pukul 06.00.....	54
Gambar 4.10	Grafik Peformansi dari <i>Solar Tracker</i> dengan Kontroler Fuzzy pada Pukul 12.00.....	54

Gambar 4.11	Grafik Peformansi dari <i>Solar Tracker</i> dengan Kontroler Fuzzy pada Pukul 17.00.....	55
Gambar 4.12	Grafik Peformansi dari <i>Solar Tracker</i> dengan Kontroler Fuzzy- PSO pada Pukul 06.00	56
Gambar 4.13	Grafik Peformansi dari <i>Solar Tracker</i> dengan Kontroler Fuzzy- PSO pada Pukul 12.00	57
Gambar 4.14	Grafik Peformansi dari <i>Solar Tracker</i> dengan Kontroler Fuzzy- PSO pada Pukul 17.00	57
Gambar 4.15	Grafik Peformansi dari <i>Solar Tracker</i> dengan Kontroler PSO- Fuzzy type 2 pada Pukul 06.00	58
Gambar 4.16	Grafik Peformansi dari <i>Solar Tracker</i> dengan Kontroler PSO- Fuzzy type 2 pada Pukul 12.00	59
Gambar 4.17	Grafik Peformansi dari <i>Solar Tracker</i> dengan Kontroler PSO- Fuzzy type 2 pada Pukul 17.00	59
Gambar 4.18	Grafik Daya PV <i>Fixed</i> dengan Kontroler Fuzzy	61
Gambar 4.19	Grafik Daya PV <i>Fixed</i> dengan kontroler Fuzzy- PSO.....	61
Gambar 4.20	Grafik Daya PV <i>Fixed</i> dengan kontroler PSO- Fuzzy type 2.....	62
Gambar 4.21	Grafik Daya <i>Solar Tracker</i> dengan kontroler Fuzzy	63
Gambar 4.22	Grafik Daya <i>Solar Tracker</i> dengan kontroler Fuzzy-PSO.....	64
Gambar 4.23	Grafik Daya solar tracker dengan kontroler PSO- Fuzzy type 2.....	64

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi Modul PV	23
Tabel 3.2 Parameter Motor DC.....	25
Tabel 3.3 Rule Base Kontroler Solar tracker	27
Tabel 3.4 Parameter Perancangan <i>Buck Boost</i>	28
Tabel 3.7 Rule Base 5 MF	34
Tabel 3.8 Perubahan <i>Membership</i> Error	43
Tabel 3.9 Perubahan <i>Membership</i> deltaerror	44
Tabel 4. 1 Peformansi Kontroler Fuzzy Pada <i>Solar Tracker</i>	55
Tabel 4.2 Peformansi Kontroler Fuzzy-PSO Pada <i>Solar Tracker</i>	58
Tabel 4.3 Peformansi Kontroler PSO- Fuzzy type 2 Pada <i>Solar Tracker</i>	60

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR NOTASI

I	= Arus Beban (A)
I_{ph}	= Arus Photo (A)
I_d	= Arus Dioda (A)
I_{sh}	= Arus <i>Shunt</i> (A)
I_o	= Arus saturasi (A)
I_n	= Arus Refrensi (A)
I_{sc}	= Arus <i>Short Circuit</i> (A)
R_{pv}	= Hambatan PV (Ω)
S	= Radiasi yang terukur (W/m^2)
S_{ref}	= Radiasi Refrensi (W/m^2)
T	= Temperature ($^{\circ}C$)
T_{ref}	= Temperature Referensi ($^{\circ}C$)
V_{mpp}	= Voltage <i>Maximum Power Point</i> (V)
i	= 1, ..., n
n	= ukuran dari <i>swarm</i>
D	= dimensi dari <i>proble space</i>
k	= momentum atau inersia
p_i	= posisi terbaik sebelumnya pada setia partikel
V_o	= Output tegangan (V)
V_{in}	= Input tegangan (V)
D	= Duty Cycle
R	= Resistance (Ω)
L	= Induktor (Henry)
C	= Kapasitor (F)
V_a	=Tegangan masukan (V)
R_a	= Resistansi (Ohm)
I_a	= Arus (A)
L_a	= Induktansi (Henry)
ω	= Kecepatan angular motor DC (rad/sec)
J_m	= Inersia motor ($Nm.sec^2$)
K_t	= Konstanta torsi (Nm/A)
B	= <i>Viscous friction coefficient</i> (Nm.sec/rad)
W_1	= konstanta $T_{Ambient}$

W_2	= Konstanta Iradiasi
W_3	= Konstanta Kecepatan Angin
W_4	= Konstanta <i>Relative Humidity</i>
I_{max}	= Iradiasi Maksimum (W/m^2)
I_{eff}	= Iradiasi Efektive (W/m^2)
R	= Resistasi (Ω)
Θ	= Sudut Pitch
dp	= delta daya
dv	= delta tegangan
$e(k)$	= error kontroler
$de(k)$	= delta error kontroler
MSE	= <i>Mean Square Error</i>
$y(k)$	= nilai yang diinginkan
$y'(k)$	= nilai yang keluar dari pemodelan
N	= jumlah elemen

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini, penelitian dan pengembangan sumber energi baru seperti angin, air, geothermal dan energi solar di seluruh dunia terus ditingkatkan untuk membantu memenuhi kebutuhan energi di seluruh dunia. Dari semua sumber energi terbarukan yang telah ada, energi solar merupakan energi yang ramah lingkungan dan dapat menjadi salah satu energi alternatif untuk menggantikan sumber energi yang berasal dari fosil. Salah satu keuntungan dari penggunaan energi solar adalah sumber yang digunakan berupa radiasi matahari yang tersedia di seluruh dunia tanpa adanya ketergantungan dengan energi dari negara lain (Danandeh & Mousavi, 2017).

Energi solar menjadi sumber energi yang potensial untuk dikembangkan karena merupakan energi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Penelitian dengan menerapkan energi solar pada *photovoltaic* (PV) sedang dikembangkan untuk mendapatkan manfaat dari penerapannya. Namun, efisiensi konversi energi dari sistem PV masih rendah dan output dari rangkaian PV bergantung pada kondisi lingkungan serta sudut antara PV dan sinar matahari. Maka, diperlukan sistem *solar tracker* yang akan mengarahkan PV untuk menghadap matahari agar mendapatkan iradiasi matahari yang maksimal. Sistem solar tracker dapat diklasifikasikan menjadi *Single-Axis Solar Tracker* dan *Dual- Axis Solar Tracker*. *Single- Axis Solar Tracker* hanya dapat mengarahkan PV terhadap matahari pada satu sumbu saja. Sedang *Dual- Axis Solar Tracker* dapat mengarahkan PV ke matahari pada dua sumbu. Meskipun, efisiensi dari *Dual-Axis Solar Tracker* lebih tinggi daripada *Single- Axis Solar Tracker*, namun desain dari *Dual- Axis Solar Tracker* lebih rumit dan kompleks sehingga menyebabkan *Dual-Axis Solar Tracker* lebih mahal dan membutuhkan energi yang banyak (Lee, et al., 2017).

Selain *solar tracker*, sistem *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) juga dapat membantu PV dalam memperoleh daya

semaksimal mungkin. *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) tergantung pada kondisi iradiasi matahari, temperatur panel dan beban yang terhubung. Algoritma MPPT digunakan untuk mendapatkan *Maximum Power Point* dari sistem Photovoltaic (Soufi, Bachouat, & Kahla, 2016). Pada saat ini, teknik untuk sistem MPPT banyak dikembangkan berdasarkan algoritma dan konverter daya yang digunakan. Konverter daya memiliki pengaruh dalam kenaikan atau penurunan nilai *duty ratio* yang berhubungan dengan nilai daya yang keluar dari sistem solar panel berdasarkan dengan tegangan dengan kurva daya atau tegangan dengan kurva arus (Bhat & Balla, 2017).

Beberapa algoritma telah dikembangkan untuk mendapatkan daya yang maksimum dari sistem solar panel seperti algoritma *Perturb and Observe* (P&O), *Particle Swarm Optimization* (PSO) dan algoritma *Improved Pattern Search Methods* (IPSM). Dari hasil simulasi diketahui bahwa MPPT dengan menggunakan algoritma P&O memiliki kemampuan yang paling cepat untuk mendapatkan MPP, namun memiliki osilasi konstan di sekitar MPP yang menyebabkan hilangnya energi (*energy losses*) pada sistem. Sedangkan algoritma IPSM memiliki kemampuan lebih lambat untuk mendapatkan MPP namun tidak menyebabkan *energy losses* yang besar dari sistem (Tobon, et al., 2017). Pada literature lain, yang membandingkan MPPT menggunakan fuzzy dan PSO dengan teknik P&O menjelaskan bahwa metode MPPT dengan menggunakan fuzzy dan PSO menunjukkan hasil output daya yang lebih besar dan sangat cocok digunakan dengan keadaan atmosphere sebenarnya (Jouda, Elyes, Rabhi, & Abdelkader, 2017).

Algoritma fuzzy type-2 dapat diaplikasikan pada sistem yang nonlinier, tidak membutuhkan parameter system yang akurat, tidak memiliki pemodelan matematika yang kompleks untuk mengontrol MPPT, stabil dalam keadaan *steady state*, tidak terjadi osilasi dan mampu mengatasi ketidakpastian yang tidak dapat diatasi dengan fuzzy type 1 bila dibandingkan dengan teknik P&O (Khateb, Rahim, & Selvaraj, Type-2 Fuzzy Logic Approach of a Maximum Power Point, 2013). Namun, MPPT

berdasarkan *Fuzzy Logic Control* menggunakan error dan delta error sebagai inputnya sehingga dapat menyebabkan bertambahnya error dari pengukuran *noise* walaupun hanya sedikit. Pada desain input dan output pada *Membership Function* dibutuhkan optimasi. Optimasi yang digunakan dapat berupa *Genethic Algirithm (GA)*, *Artificial Neural Network (ANN)* dan *Particle Swarm Optimiziation (PSO)*. Dari semua teknik optimasi, PSO lebih mudah diaplikasikan karena dapat mengurangi *error steady state*, dapat mengurangi waktu untuk mencari matahari dan meningkatkan keakuratan pencarian arah datang sianr matahari (Cheng, Peng, Liu, Cheng, & Huang, 2015)

Pada penelitian ini dilakukan modifikasi metode yang digunakan untuk MPPT yaitu menggunakan metode Hybrid PSO-Fuzzy Type 2 yang diaplikasikan pada *single-axis solar tracker* untuk meningkatkan performansi dari pembangkit listrik skala kecil. Penggunaan metode Hybrid PSO- Fuzzy Type 2 untuk mengoptimalkan energi cahaya matahari yang didapatkan dengan menjaga posisi solar panel sesuai dengan datangnya sinar matahari.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka didapatkan permasalahan dalam tugas akhir ini sebagai berikut:

- a. Bagaimana menentukan parameter pada sistem MPPT menggunakan metode Hybrid PSO- Fuzzy Type 2?
- b. Bagaimana mendapatkan peningkatan perfomansi mobile PV dan *solar tracker* berbasis MPPT dengan menggunakan metode *Hybrid PSO- Fuzzy Type 2*?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah :

- a. Merancang MPPT pada *single axis solar traker* menggunakan metode Hybrid PSO- Fuzzy Type 2
- b. Mendapatkan peningkatan performa dari kombinasi *single axis solar tracker* dan MPPT menggunakan metode Hybrid PSO-Fuzzy Type 2.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

- a. PV yang digunakan adalah jenis *polycrystalline* single axis.
- b. Mobile PV berbasis single axis
- c. Menggunakan multi beban pada PV
- d. Metode MPPT konvensional yang digunakan adalah menggunakan *Perturb and Observed*
- e. Menggunakan input kontrol berupa daya dan tegangan.
- f. Jenis konverter yang digunakan *buck-boost converter*.
- g. Variable- variable yang mempengaruhi PV adalah temperature, iradiansi, kecepatan angin dan *relative humidity*.

1.5 Sistematika Laporan

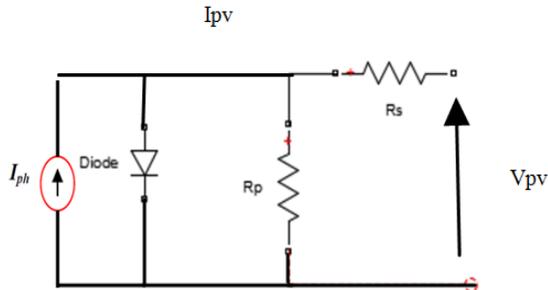
Sistematika penulisan laporan tugas akhir adalah sebagai berikut:

- a. **BAB I PENDAHULUAN**
Pada bab I ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, dan sistematika laporan.
- b. **BAB II TEORI PENUNJANG**
Pada bab II ini dibahas mengenai teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan, seperti teori PV, *solar tracker single axis*, MPPT, PSO, Fuzzy type2
- c. **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**
Pada bab III ini berisi mengenai rancangan dari penelitian yang dilakukan, metode, dan langkah-langkah dalam penelitian.
- d. **BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**
Pada bab IV ini berisi tentang analisis hasil perancangan sistem MPPT dan solar tracker..
- e. **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**
Pada bab V ini diberikan kesimpulan tentang tugas akhir yang telah dilakukan berdasarkan data-data yang diperoleh serta diberikan saran sebagai penunjang maupun pengembangan untuk tugas akhir yang selanjutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Photovoltaic (PV)

Model *Photovoltaic* (PV) disusun dari beberapa solar *cell* yang dirangkai secara seri maupun paralel untuk membentuk modul. Efisiensi dari PV tergantung pada iradiasi matahari dan temperatur solar panelnya dan kondisi beban pada PV. PV dapat mentransfer energi dari sinar matahari (foton) kedalam bentuk energy listrik. *Solar cell* dapat dikategorikan menjadi p-n *junction* semikonduktor, saat terkena cahaya maka arus DC akan bangkit (Soufi, Bachouat, & Kahla, 2016). Hubungan nonlinier dan eksponensial dari arus dan tegangan pada PV akan menghasilkan arus tergantung pada iradiasi matahari, temperatur dan arus beban. Konfigurasi dari rangkaian PV dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini:



Gambar 2.1 Rangkaian Ekuivalen Sel Photovoltaic (Soufi, Bachouat, & Kahla, 2016)

Arus yang keluar dari PV dapat dihitung dengan menggunakan hokum Kirchoff seperti:

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (2.1)$$

Secara ideal, nilai I_{sh} adalah nol ketika nilai $R_{sh} \approx \infty$ maka persamaan (2.1) dapat ditulis kembali menjadi :

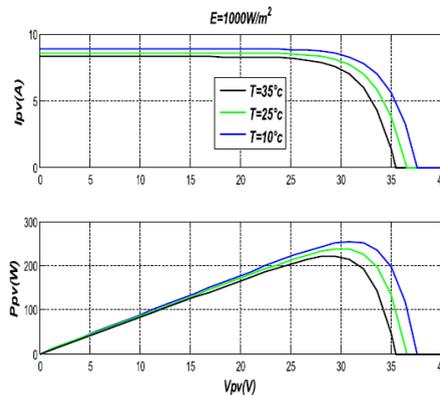
$$I = I_{ph} - I_d = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{V + IR_{pv}}{V_T}\right) - 1 \right] \quad (2.2)$$

Dalam bentuk lain, I dan V dapat juga dihitung dengan menggunakan fungsi radiasi dan temperature sebagai berikut (Abadi, Musyafa, & Soeprijanto, 2015)

$$I = \left[\left(\mu(T - T_{ref}) \left(\frac{S}{S_{ref}} \right) + \left(\frac{S}{S_{ref}} - 1 \right) \right) I_{sc} \right] + I_{mp} \quad (2.3)$$

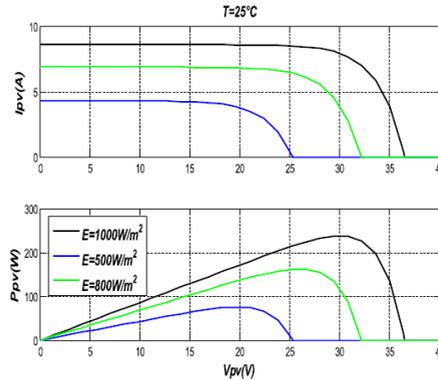
$$V = V_{mp} + \Phi(T - T_{ref}) + R_{PV} \Delta I \quad (2.4)$$

Temperatur dan iradiasi yang mengenai PV sangat berpengaruh dengan nilai V dan I dari PV. Nilai temperature yang mengenai PV mungkin sangat tinggi walaupun nilai iradiasi dari PV rendah akibat adanya *shading* dari awan. Ilustrasi dari pengaruh temperatur dan pengaruh iradiasi dapat ditunjukkan dengan gambar 2.2 dan gambar 2.3 (Soufi, Bachouat, & Kahla, 2016). Dari gambar 2.2 dapat diketahui bahwa kenaikan suhu pada iradiasi yang konstan akan berakibat pada penurunan tegangan dari PV yang menyebabkan daya yang keluar juga menurun dan berlaku sebaliknya .



Gambar 2.2 Pengaruh Temperatur terhadap iradiasi yang konstan (Soufi, Bachouat, & Kahla, 2016)

Suhu 35°C menghasilkan tegangan yang lebih besar daripada suhu 25°C dan suhu 10°C. Pada suhu 25°C menghasilkan tegangan yang lebih besar dari 10°C.



Gambar 2.3 Pengaruh Iradiasi terhadap suhu yang konstan (Soufi, Bachouat, & Kahla, 2016)

Pada gambar 2.3 ditunjukkan bahwa kenaikan iradiasi yang diterima oleh PV akan meningkatkan nilai Arus yang keluar dari PV yang berakibat meningkat pula daya yang keluar dari PV. Sebaliknya, bila iradiasi matahari menurun maka nilai arus dan daya yang keluar dari PV akan menurun.

Output dari PV selain dipengaruhi oleh iradiasi dan suhu, juga dipengaruhi oleh kecepatan angin dan *relative humidity* dengan persamaan:

$$T_{module} = w1 \times T_{ambient} + w2 \times Irradiance + w3 \times wind\ speed + w4 \times RH + Contant \quad (2.5)$$

$w1$, $w2$, $w3$, $w5$ dan constant dapat dilihat dari tabel koefisien parameter-parameter suhu akhir pada PV yang dilampirkan di bagian lampiran. Dari persamaan 2.5, dapat diketahui bahwa kecepatan angin dan RH berpengaruh pada temperatur PV. Semakin tinggi kecepatan angin maka temperatur akan semakin rendah dan berakibat daya yang dikeluarkan akan semakin tinggi. Namun, bila RH semakin tinggi maka temperatur

akan semakin tinggi dan menurunkan daya dari PV (Tamizhmani, Ji, Tang, & Petacci, 2003)

Untuk menentukan nilai w_1 , w_2 , w_3 , w_5 dan kontan, maka dipilih PV jenis *polycrystalline* dengan module *average* sesuai dengan jenis PV yang digunakan dalam penelitian.

2.2 *Single-Axis Solar Tracker*

Sinar matahari memiliki dua komponen yaitu pancaran sisa matahari langsung sekitar 90% dan sisanya adalah sinar matahari yang menyebar. Mayoritas energi yang berasal dari pancaran energi langsung, memaksimalkan sinar matahari langsung terkena PV sangat perlu untuk mendapatkan energi yang maksimal. Matahari bergerak sebanyak 360° dari timur menuju barat, namun hanya 180° saja yang secara prespektif matahari menyinari bumi atau sekitar setengah hari. Sebuah PV dalam keadaan *fixed* pada saat pagi dan petang hanya akan melihat 75° pada sisi lain dan akan mengakibatkan kehilangan sekitar 75% energi pada saat pagi dan sore hari. Sehingga memutar panel dari timur menuju timur akan membantu menangkap kembali energi yang hilang (Ray & Tripathi, 2016)

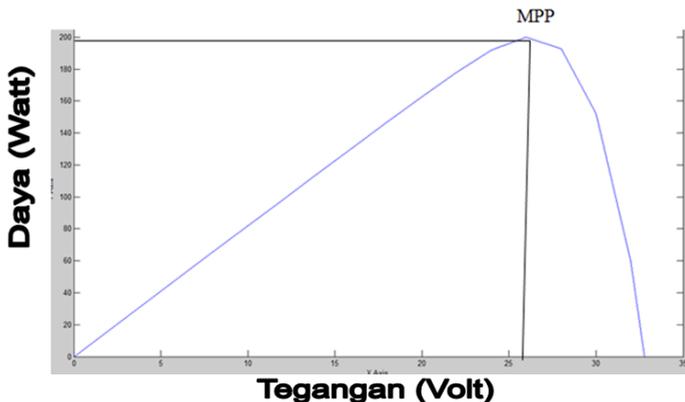
Solar tracker merupakan suatu perangkat yang digunakan untuk mengarahkan *Photovoltaic*, reflektor, lensa dan perangkat optik lainnya menghadap matahari secara tegak lurus. *Solar tracker* akan menambah efisiensi dari sistem dan mengurangi biaya per kWh. Ada beberapa jenis *solar tracker*. Dua kategori *solar tracker* adalah *single-axis solar tracker* dan *dual-axis solar tracker*. *Single-Axis solar tracker* mengikuti arah datang matahari dengan akurat sehingga dapat memaksimalkan output PV. *Single-Axis solar tracker* dapat memiliki sumbu horizontal maupun vertikal. Jenis horizontal digunakan di daerah tropis yang matahari dapat sangat tinggi pada siang hari namun memiliki hari yang pendek. Tipe vertikal digunakan di lintang tinggi yang matahari tidak terlalu tinggi, tetapi memiliki hari-hari musim panas yang panjang. *Dual-Axis Solar Tracker* bergerak dengan dua sumbu untuk mengarahkan langsung menuju matahari, dan memanfaatkan energi matahari secara maksimal. *Solar tracker* memiliki sumbu horizontal dan vertikal yang dapat melacak

gerakan matahari yang nyata hampir dimana saja (Moradi, Abtahi, & Messenger, 2016).

2.3 Maximum Power Point Tracking (MPPT)

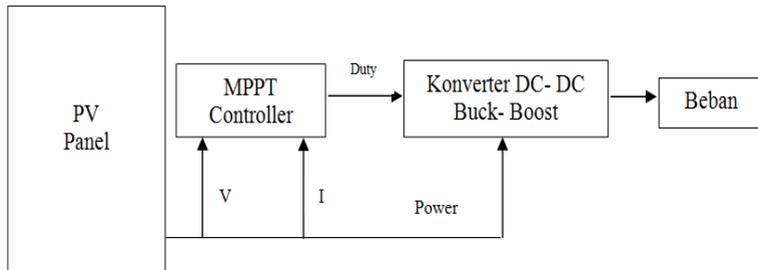
Maximum Power Point Tracking (MPPT) merupakan sistem elektronik yang beroperasi pada sistem modul PV untuk menghasilkan output yang semaksimal mungkin. MPPT tidak secara mekanik mengarahkan PV untuk menghadap langsung ke sinar matahari (Tiwari, Mayuri, Prajka, & Vrushall, 2016). MPPT bergantung secara keseluruhan pada pada sistem elektronik dan beberapa variasi elektrik pada modul sehingga modul- modul dapat memberikan energi sebesar mungkin.

Pada titik *Maximum Power Point* (MPP), PV menghasilkan daya maksimum karena menghasilkan nilai arus dan tegangan yang maksimum pula. Titik MPP ini akan berubah- ubah tempatnya berdasarkan iradiasi matahari dan temperatur permukaan PV. Namun, titik MPP dapat dicari dengan menggunakan suatu algoritma MPPT yang berfungsi menjadi kontroler untuk menjaga PV agar menghasilkan daya yang semaksimal mungkin. Kurva MPP dapat ditunjukkan pada gambar 2.4 dibawah ini:



Gambar 2.4 Kurva Maximum Power Point Antara P (Watt) dan V (Volt)

Pada gambar diatas, nilai MPP berarti nilai P pada keadaan maksimum. Sehingga, fungsi dari algoritma MPPT adalah agar menjaga PV tetap bekerja pada daerah titik MPP dengan mencari bentuk pesegi panjang yang terbesar dari kurva I-V yang biasa disebut dengan *fill factor*.



Gambar 2.5 Diagram Blok MPPT (Bhat & Balla, 2017)

MPPT merupakan *power converter* dengan mode *switch mode* yang digunakan untuk menghubungkan antara generator PV dan beban. Desain MPPT meliputi dua bagian yaitu pada bagian *hardware* berupa DC-DC konverter dan pada bagian *software* berupa algoritma MPPT. Algoritma MPPT berfungsi untuk mempertahankan modul tetap bekerja pada titik MPP .

Metode MPPT menggunakan suatu algoritma dan rangkaian listrik. Metode ini didasari dengan pencocokan impedansi antara beban dengan modul PV yang dibutuhkan untuk mentransfer daya yang maksimum.

2.4 Algoritma MPPT Konvensional

Beberapa klasifikasi metode MPPT, ada berdasarkan mode kontrolnya, berdasarkan jumlah variabelnya, berdasarkan hasil *trackingnya* dan klasifikasi berdasarkan cara *mentracking*. Berdasarkan klasifikasi tersebut, terdapat kelebihan dan kekurangan dari setiap metode (Danandeh & Mousavi, 2017). Berikut metode MPPT konvensional yang sering digunakan:

2.4.1 Perturbation and Observation (P&O)

Perturbation and Observation (P&O) merupakan salah satu algoritma yang banyak digunakan. Metode ini berdasarkan penerapan gangguan dan membandingkan suatu nilai dengan nilai sebelumnya.

Pada tahap awal, tegangan dan arus yang terukur dan daya yang terhitung (P_a) akan didefinisikan sebagai gangguan dengan ukuran tegangan (ΔV) atau arus (Δi) dan daya baru yang terukur (P_b). Setelah itu, nilai P_a dan nilai P_b dibandingkan. Apabila nilai P_b lebih besar dari pada P_a ($\Delta P > 0$), menandakan gangguan berada pada arah yang *true* sehingga gangguan lainnya akan diaplikasikan pada arah ini dan P_c akan dibandingkan dengan P_b . Apabila P_b lebih kecil daripada P_a ($\Delta P < 0$), menandakan gangguan pada arah yang salah sehingga gangguan lainnya akan diaplikasikan terbalik (*reversed*) dan P_d akan diukur dan dibandingkan. Tahap- tahap tersebut akan terus berulang sampai nilai MPP diperoleh. Sehingga metode ini dapat dikategorikan metode *trial and error*.

Keuntungan dari metode ini adalah dapat diaplikasikan secara *online*, lebih sederhana dan memiliki akurasi yang cukup bagus. Namun, kekurangan dari sistem ini adalah tidak cocok apabila digunakan pada kondisi cuaca yang berubah secara cepat dan terdapat osilasi di daerah MPP (Danandeh & Mousavi, 2017).

2.4.2 Incremental Conduction (INC)

Incremental Conduction merupakan salah satu metode yang umum digunakan untuk sistem MPPT karena dapat *tracking* lebih cepat, memiliki akurasi yang tinggi dan dapat beradaptasi dengan perubahan lingkungan. Pada titik MPP $\frac{dP}{dV}$ sama dengan nol, lebih besar dari 0 ketika berada sebelah kiri MPP dan lebih kecil dari 0 ketika berada di sebelah kanan MPP.

$$\frac{dP}{dV} < 0 \quad \text{berada sebelah kanan MPP}$$

$$\frac{dP}{dV} = 0 \quad \text{berada di MPP}$$

$$\frac{dP}{dV} > 0 \quad \text{berada pada sebelah kiri MPP} \quad (2.6)$$

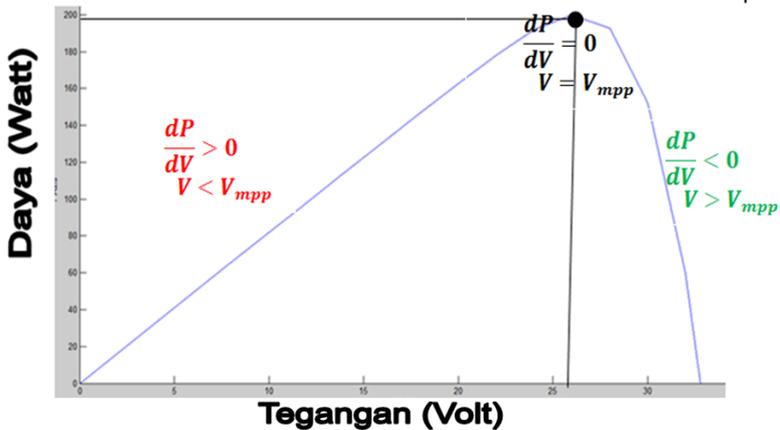
$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(VI)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} \cong I + V \frac{\Delta I}{\Delta V} \quad (2.7)$$

Dengan memasukan persamaan 2.6 ke persamaan 2.7 maka diperoleh:

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} < -\frac{I}{V} \quad \text{berada di sebelah kanan MPP}$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} = -\frac{I}{V} \quad \text{berada di MPP}$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} > -\frac{I}{V} \quad \text{berada di sebelah kiri MPP} \quad (2.8)$$



Gambar 2.6 Variasi Daya dengan Tegangan (Danandeh & Mousavi, 2017)

$\frac{I}{V}$ merupakan konduktansi seketika (*instantaneous conductance*) dan $\frac{\Delta I}{\Delta V}$ merupakan konduktansi tambahan (*incremental conductance*). Semakin besar ini *incremental conductance* maka akan semakin tinggi pula kecepatan tracking

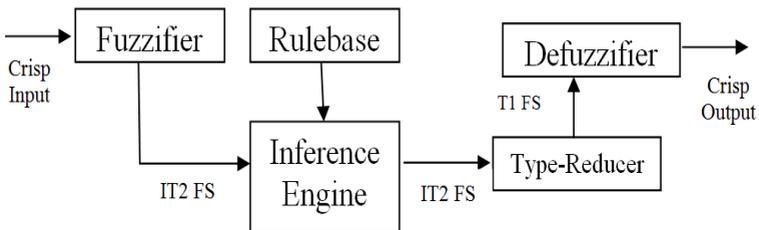
namun akan menurunkan akurasi sehingga tidak dapat *men-tracking* nilai MPP sebenarnya. Sebaliknya, apabila nilai *incremental conductance* lebih kecil akan meningkatkan akurasi namun namun menurunkan kecepatan untuk *men-tracking* (Danandeh & Mousavi, 2017).

2.5 MPPT dengan Metode Artificial Intelligence

Artificial Intelligence merupakan metode yang berdasarkan dengan tingkah laku yang terjadi di alam (*nature behavior*). Keuntungan dari sistem ini adalah memiliki kecepatan yang bagus, akurasi yang cukup bagus dan tidak banyak terdapat fluktuasi. Berikut beberapa kontrol MPPT berbasis Artificial Intelligence:

2.5.1 Fuzzy Type-2

Logika fuzzy diperkenalkan sebagai salah satu pilihan untuk mengurangi efek dari suatu ketidakpastian Fuzzy controller dapat digunakan untuk mengestimasi suatu fungsi yang tidak dikenal dalam suatu sistem. Kontroler fuzzy terdiri dari tiga bagian yaitu *fuzzifier*, *rule processing unit* dan *defuzzifier*. Pertama input berbentuk *crisp* diubah menjadi *fuzzy number* dalam *fuzzifier block* kemudian diproses di dalam unit *rule processing* dan yang terakhir diubah kembali dalam output *crisp* di bagian *defuzzifier*.



Gambar 2.7 Skematik dari diagram Fuzzy Logic (Wu, 2012)

Pada pengaplikasiannya, FLC akan menghadapi beberapa sumber dari ketidak pastian. Pengukuran dari sensor dapat

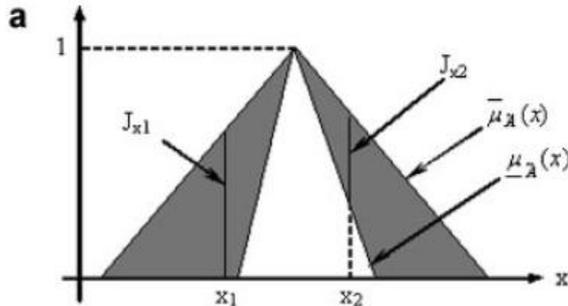
dipengaruhi oleh *high noise* dari berbagai sumber, selain itu juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti temperatur dan *humidiy*. *Type-1 Fuzzy Logic Controller* menggunakan *fuzzy sets* tipe 1, maka ketidakpastian dibatasi oleh ketidakpastian linguistic yang mengandung variable-variablenya dan tidak dapat ditangani secara langsung seperti ketidakpastian. *Type-2 Fuzzy Logic Controller* menggunakan *fuzzy sets* tipe 2 yang memiliki potensi untuk mengatasi keterbatasan dari tipe 1 dan menghasilkan generasi baru dari kontroler fuzzy dengan cara meningkatkan peformansi untuk segala aplikasi. *Fuzzy set Tipe 2* berguna ketika terdapat kesulitan untuk menentukan fungsi *membership* secara tepat dan memiliki kemampuan untuk memodelkan hubungan antara input-output yang lebih rumit.

Diagram blok dari fuzzy tipe 2 hampir sama dengan fuzzy tipe 1, perbedaannya terletak pada unit *defuzzifier* fuzzy tipe 1 digantikan dengan blok *output processing*. Blok *processing* terdiri dari tipe reduksi yang diikuti dengan *defuzzification*.

Fuzzy logic type-2 memiliki 4 tahapan. Tahap pertama adalah *Fuzzification* dengan cara menentukan variable input pada derajat *membership*. Tahap kedua yaitu *Inference* dengan cara memasukan *rule* yang mempengaruhi letak dari nilai MPP. Tahap ketiga yaitu *Defuzzification* yang berfungsi untuk merubah fuzzy menjadi domain real. Fungsi dari *membership* menunjukkan output yang digunakan untuk menghitung nilai *numeric* dari output. Tahap terakhir adalah *Type Reduction* yang berfungsi untuk mengubah output menjadi fuzzy set type -1. *Rules* dan *Membership functions* dari kontrol fuzzy type-2 hampir sama dengan kontrol fuzzy type-1 (El Khateb, Rahim, & Selvaraj, 2013).

Ketidakpastian dari *membership* fuzzy type-2 terdiri dari daerah yang terikat yang disebut *Foot of Uncertainty* (FOU). Seluruh *membership* primer di tuliskan:

$$FOU(\tilde{A}) = \cup_{x \in X} J_X \quad (2.6)$$



Gambar 2.8 FOU untuk fuzzy type-2 (Ozek & Akpolat, 2007)

Fungsi membership atas dan fungsi *membership* bawah adalah 2 fungsi *membership* fuzzy type-1 yang terikat pada FOU fuzzy set type-2. Fungsi *membership* atas terikat dengan batas FOU(\tilde{A}) atas dan fungsi *membership* bawah terikat dengan batas FOU(\tilde{A}) bawah (Ozek & Akpolat, 2007).

2.4.3 Particle Swarm Optimization (PSO)

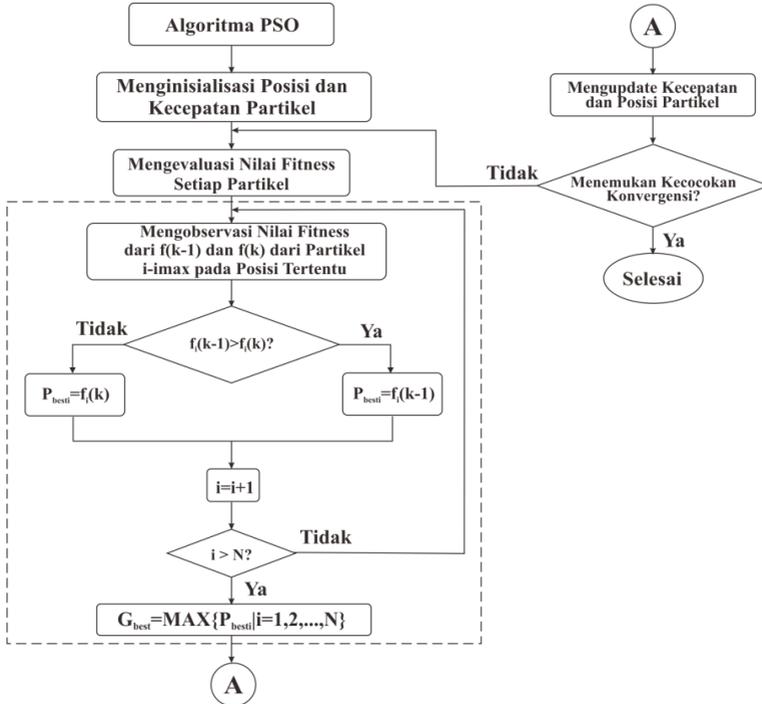
Particle Swarm Optimization (PSO) merupakan suatu algoritma yang dikembangkan menggunakan kepintaran dari *swarm* yang terinspirasi dari tingkah laku sekelompok burung. Pada algoritma ini, beberapa *agent* yang kooperatif akan bertukar informasi yang didapatkan selama proses pencarian. Setiap *agent* atau yang disebut partikel mengikuti dua aturan sederhana yaitu, mengikuti partikel yang bekerja baik dan bergerak menuju posisi terbaik yang ditemukan oleh partikel tersebut. Dengan aturan sederhana tersebut, maka setiap partikel akan mencapai solusi yang optimal atau mendekati nilai yang maksimal (Soufi, Bachouat, & Kahla, 2016). PSO menggunakan partikel untuk mendapatkan solusi yang terbaik.

$$v_{iD}^{t+1} = k \cdot v_{iD}^t + c_1 r_1 (P_{iD}^t - x_{iD}^t) + c_2 r_2 (g_i^t - x_{iD}^t) \quad (2.7)$$

$$x_{iD}^{t+1} = P_{iD}^t + v_{iD}^t \quad (2.8)$$

Setiap partikel akan terbang di suatu ruang pencarian (*search space*) dengan kecepatan tertentu yang dapat disesuaikan

dengan penerangan dan pengalaman terbang. Setiap posisi dari setiap partikel *swarm* dan kecepatan dari partikel tersebut berupa v_i pada iterasi $(t + 1)^{th}$.



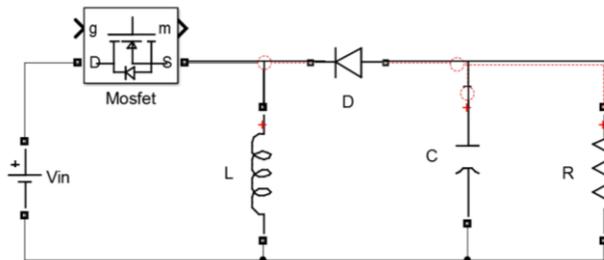
Gambar 2.9 Diagram Alir PSO (Cheng, Peng, Liu, Cheng, & Huang, 2015)

Sesuai dengan gambar 2.8, Metode PSO akan dibagi menjadi 5 tahapan. Tahap pertama adalah *PSO Initialitation*. Pada tahap ini *particle* akan berinisialisasi secara *random* mengikuti distribusi pada ruang pencarian (*search space*). Parameter-parameter yang ditentukan antara lain adalah jumlah partikel, koefisien *cognitive*, koefisien *social*, bobot inersia maksimum dan bobot inersia minimum, serta posisi dan kecepatan awal partikel. Kecepatan awal masih ditentukan dengan nilai 0. Tahap kedua yaitu *Fitness Evaluation* dengan cara mengevaluasi nilai *fitness*

dari setiap partikel. Tahap ketiga merupakan *update individual and Global Best Data* dengan cara membandingkan perhitungan nilai *fitness* yang baru dengan nilai *fitness* yang sebelumnya dan mengganti P_{best} dan G_{best} sesuai dengan nilai *fitness* yang ditunjukkan. Apabila nilai *fitness* yang muncul lebih kecil daripada nilai *fitness* sebelumnya, maka nilai P_{best} dan G_{best} akan diperbarui, namun apabila nilai *fitness* lebih besar dari nilai sebelumnya maka akan dilanjutkan dengan melakukan iterasi berikutnya. Tahap keempat adalah memperbarui kecepatan dan posisi setiap partikel menggunakan persamaan 5 dan persamaan 6 sesuai dengan nilai P_{best} dan G_{best} yang dihasilkan oleh fungsi *Fitness* yang paling kecil. Dan tahap terakhir adalah *Convergence Determination* dengan cara menge-check kriteria dari *convergence*. Terdapat dua konvergensi yang digunakan, yaitu apabila kecepatan dari semua partikel lebih kecil daripada threshold atau perhitungan telah sampai pada iterasi maksimum (Cheng, Peng, Liu, Cheng, & Huang, 2015).

2.6 Konverter DC-DC Buck Boost

DC-DC konverter merupakan rangkaian elektronika power untuk masukan tegangan dc menjadi tegangan dc keluaran dengan nilai yang lebih besar atau lebih kecil dari tegangan masukan. *Buck Boost* mengubah polaritas dari tegangan output terhadap tegangan input. Konverter *buck boost* terdiri tegangan input, controlled *switch*, induktor, kapasitor dan resistansi *load*.



Gambar 2.10 Structure dari *Buck Boost* (Hart, 2011)

Konverter *buck boost* merupakan konverter DC-DC yang mengubah input tegangan DC yang tidak teratur menjadi *output* tegangan yang teratur. Dalam perancangannya terdapat beberapa perhitungan untuk menentukan nilai duty, Resistansi, induktor dan kapasitor (Siddik, Musyafa, & Hantoro, 2014).

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{D}{1-D} \quad (2.9)$$

$$R = \frac{V_o}{I_o} \quad (2.10)$$

$$L_{min} = \frac{(1-D)^2}{2f} R \quad (2.11)$$

$$C = \frac{V_o \times D}{R \times f \times \Delta V_o} \quad (2.12)$$

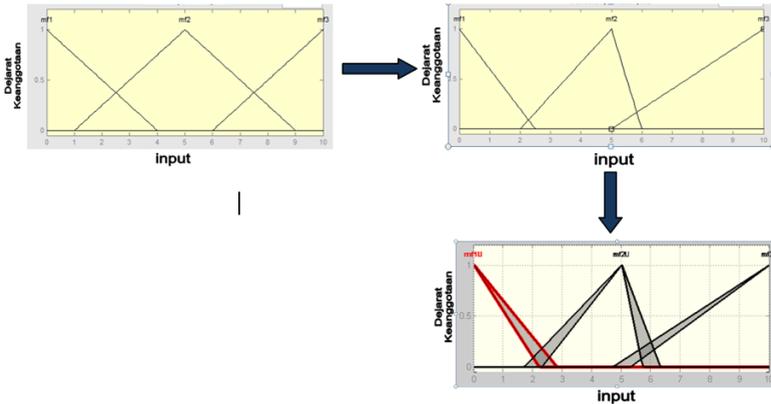
Ketika *switch* dalam kondisi *on*, input tegangan akan terhubung dengan induktor dan arus induktor akan meningkat dan diode mengalami bias balik sehingga kapasitor akan menghasilkan output tegangan. Ketika *switch* dalam kondisi *off*, diode akan mendapatkan bias *forward* dan dioda akan memberikan jalan untuk arus induktor. Induktor dihubungkan dengan resistansi *load* dan kapasitor. Sehingga energi akan berpindah dari induktor menuju kapasitor kemudian ke beban (Vigneshwaran & Vijayalakshmi, 2016).

2.7 Kontroler Hybrid PSO- Fuzzy Type 2

Dalam penggunaan kontroler berbasis logika fuzzy, hal yang sangat mendasar yang perlu diperhatikan adalah *membership* dari kontroler fuzzy tersebut selain dari *rule* yang dirancang. Namun, pendekatan yang digunakan untuk menentukan suatu *membership* fuzzy adalah berdasarkan pengalaman pembuatnya, belum ada suatu rumus empiris untuk menentukan rentang dari fuzzy tersebut (Abadi, Musyafa, & Soeprijanto, 2015).

Metode optimasi diperlukan untuk memodifikasi *membership* dari fuzzy agar mempunyai range fuzzy yang baik, salah satu metode optimasi adalah PSO yang akan mencari batas-

batas fuzzy berdasarkan MSE yang diperoleh dari kecepatan dan posisi partikel dalam suatu ruang pencarian.



Gambar 2. 11 Proses Pembuatan Kontroler PSO- Fuzzy type 2

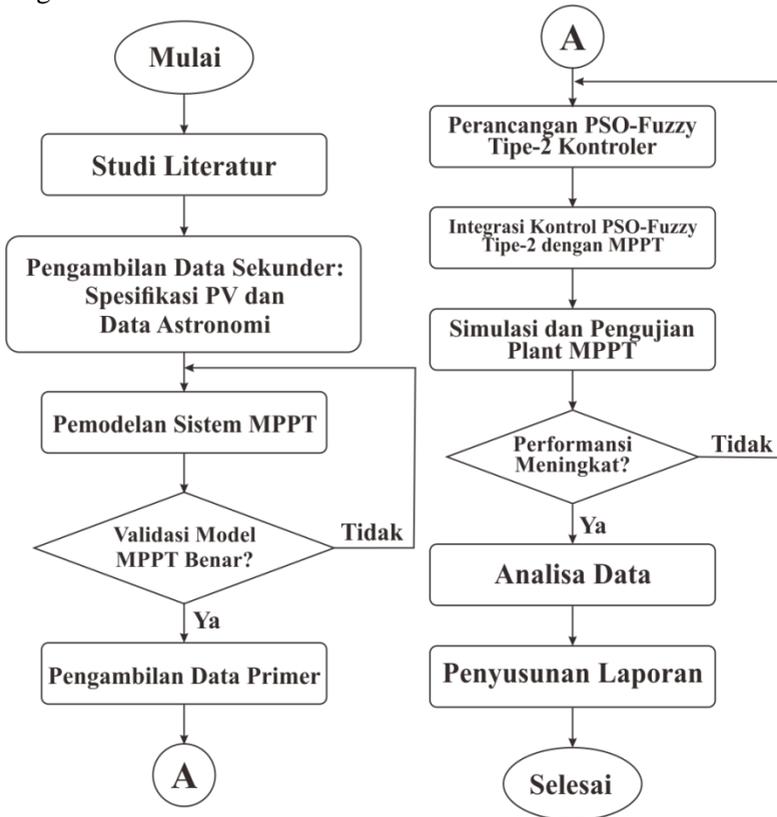
Proses pembuatan kontroler PSO- Fuzzy type 2 dengan cara membuat kontroler dalam bentuk fuzzy type 1. Kontroler fuzzy type 1 tersebut akan dioptimasi batas- batas *membership* fuzzy dengan nilai fungsi objektifnya adalah MSE. MSE (Mean Square Roots) merupakan estimator dari nilai sebenarnya dengan nilai yang dihasilkan. Setelah mendapatkan *membership* fuzzy baru hasil dari optimasi PSO, maka langkah selanjutnya adalah mengubah *membership* fuzzy type 1 menjadi fuzzy type 2. Kontroler fuzzy type 2 diperoleh dengan pendekatan Partial Dependent (PD). Pendekatan Partial Dependent diawali dengan pembuatan kontroler fuzzy type 1 yang digunakan sebagai dasar pembuatan kontroler fuzzy type 2.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian tugas akhir ini, dilakukan dalam beberapa tahapan. Tahapan- tahapan tersebut digambarkan dalam suatu diagram alir berikut :



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

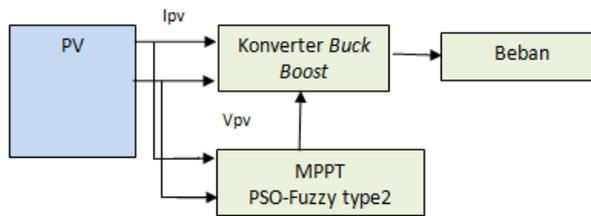
Pada penelitian kali ini dimulai dengan studi literature tentang topik yang diajukan dari *handbook*, jurnal dan laman internet dengan topic seputar *Photovoltaic*, *Fuzzy Type-2*, *PSO*, *Maximum Power Point Tracking*, *converter DC-DC* dan *solar tracker*.

Tahapan selanjutnya adalah pengambilan data sekunder seperti data spesifikasi modul PV dan konverter DC- DC sebagai *interface* antara PV dengan beban. Yang dibutuhkan dalam spesifikasi PV adalah *Maximum power* (P_{MPP}), *Maximum Voltage* (V_{MPP}), *Maximum Current* (I_{MPP}), *open circuit voltage* (V_{oc}), *short circuit current* (I_{sc}) pada keadaan *STC* (*Standar Test Condition*). Konverter yang digunakan adalah konverter *Buck Boost* dengan parameter yang dibutuhkan adalah nilai tegangan masukan (V_{in}), tegangan keluaran (V_{out}), arus keluaran (I_{out}), frekuensi penskalaran, nilai inductor, nilai kapasitor dan beban resistif normal.

Kemudian memodelkan sistem berupa pemodelan PV pada *software* MATLAB 2013a. Pemodelan PV dilakukan untuk mengetahui karakteristik modul PV pada iradiasi, suhu, kecepatan angin, dan *Relative Humidity* tertentu. Berikutnya pengambilan data primer berupa data iradiasi matahari PV Fixed dan PV mobile, temperatur, kecepatan angin, *relative humidity* pada pukul 06.00- 17.30. Pengambilan data dilakukan selama sehari dalam kondisi cuaca Surabaya yang cerah dan PV tidak terhalang apapun.

Selanjutnya dilakukan dengan perancangan MPPT menggunakan metode *Hybrid PSO-Fuzzy Type 2* yang dihubungkan dengan konverter *buck boost*. Kontroler dibuat dengan menggunakan *Fuzzy logic Control* yang kemudian dioptimasi menggunakan *PSO*. Setelah itu, di ubah dalam bentuk *fuzzy type2*. Keluaran yang diinginkan dari kontroler adalah *duty cycle* yang mempengaruhi ouputan dari berdasarkan masukan tegangan.

Penelitian dilanjutkan pada tahap uji eksperimen dengan membandingkan keluaran daya dari MPPT *solar tracker* dan MPPT *fixed*.



Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem MPPT

Gambar 3.2 menunjukkan sistem MPPT bekerja. Apabila semua pengujian telah selesai, maka penelitian akan dilanjutkan dengan pengambilan data akhir dan analisis.

3.2 Perancangan Photovoltaic, Solar tracker single Axis dan Konverter DC- DC *buck boost*

Komponen dalam sistem MPPT yang akan dirancang adalah *Photovoltaic*, *single axis solar tracker* dan konverter DC- DC *buck boost*.

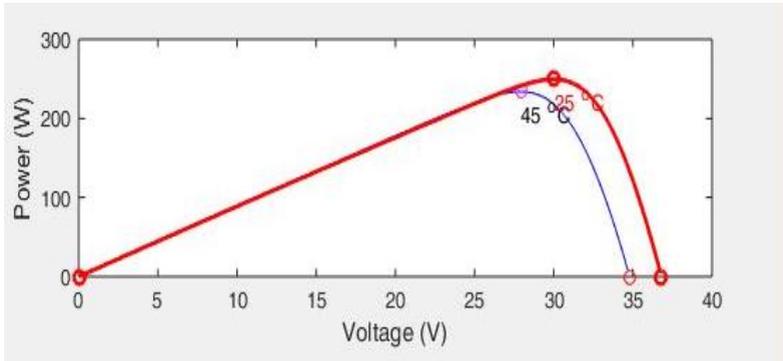
3.2.1 *Photovoltaic* (PV)

Modul PV yang digunakan adalah tipe ST Solar dengan daya maksimum 250 Watt. Spesifikasi PV ditampilkan dalam tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1 Spesifikasi Modul PV

Kategori	ST solar
<i>Maximum Power at STC</i> (P_{mpp})	250 W
<i>Maximum Power Voltage at STC</i> (V_{mpp})	30 V
<i>Maximum Power Current at STC</i> (I_{MPP})	8.34 A
<i>Open Circuit Voltage</i> (V_{oc})	36.8 V
<i>Short Circuit Current at STC</i>	9 A
<i>Temperature Coeff. of Short Circuit Current</i> (μ)	0.00053 A/°C
<i>Temperature Coeff. of Short Circuit Voltage</i> (Φ)	-0.0036 V/°C
<i>PV Internal Resistance</i> (R_{pv})	0.15603 Ohm

Setelah diberi nilai saat STC (Iradiasi= 1000 Watt/m² dan suhu 25°C) maka diperoleh grafik karakteristik seperti gambar 3.3.



Gambar 3.3 P-V pada PV

Setelah mendapatkan kurva P-V dan I-V pada saat STC (irradiasi= 1000 w/m² dan suhu 25°C) dibandingkan nilai yang keluar dari PV dengan nilai yang ditunjukkan pada kurva P-V dan I-V. Terlihat pada kurva P-V dan I-V nilai P_{MPP} sudah mendekati 250 W, nilai I_{MPP} juga mendekati 8,33 A dan nilai V_{MPP} juga mendekati nilai 30 Volt.

3.2.2 Single Axis Solar Tracker

Pemodelan *single axis solar tracker* dilakukan dengan menggunakan kontroler fuzzy. Jumlah *membership* fuzzy yang digunakan adalah 5 *membership*. Jenis solar tracker yang digunakan adalah *single axis* maka sudut yang digunakan adalah sudut altitude. Sehingga, *solar tracker* hanya bergerak pada satu sumbu saja untuk menggerakkan PV.

Pada pemodelan *solar tracker* dibutuhkan motor DC. Motor DC digunakan untuk menggerakkan panel PV agar menghadap tegak lurus dengan arah datangnya sinar matahari. Motor DC yang digunakan adalah motor DC 12 VDC. Pengambilan data motor DC dilakukan untuk mendapatkan

parameter- parameter berupa konstanta tegangan, konstanta torsi, inersia motor, resistansi motor, induktansi motor dan *viscous friction coefficient*. Setelah melakukan pengambilan data maka didapatkan parameter motor DC pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Parameter Motor DC

Parameter Motor DC	Nilai Paramater Motor DC
Ke	26.966 Volt.sec/rad
Kt	26.966 Nm/A
R	9.32 Ohm
L	0.0094 Henry
Jm	244.528 Nm.sec ²
Bm	0.6106 Nm. Sec/rad

Penyusun motor DC terdiri dari 2 elemen yaitu elektrik dan mekanik. Dari segi elektrik, motor DC diturunkan dari hukum Kirchoff dan dari sisi elektrik didapatkan dari hukum Newton. Maka akan didapatkan Transformasi Laplace sebagai berikut:

$$I_a = V_a(s) - Kb \cdot \omega(s) \cdot \frac{1}{(R_a + L_a s)} \quad (3.1)$$

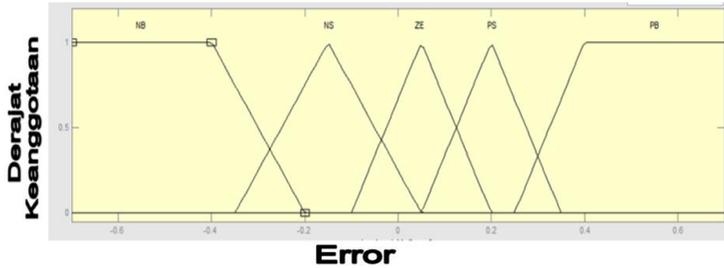
$$\omega(s) = K_t \cdot I_a \cdot \frac{1}{J_m s + B_m} \quad (3.2)$$

Setelah melakukan pemodelan motor DC, selanjutnya dilakukan pemodelan Sensor LDR. Input sensor LDR berupa intensitas cahaya yang diubah menjadi resistansi dan kemudian diubah menjadi tegangan dengan *voltage divider* dan akan masuk kedalam kontroler. Hubungan masukan dan keluaran dari sensor LDR dapat ditunjukkan dengan persamaan (3.3) dan untuk memperoleh intensitas cahaya efektif dapat digunakan persamaan (3.4):

$$\text{Log } R = -\frac{3}{4} \text{Log } I + 5 \quad (3.3)$$

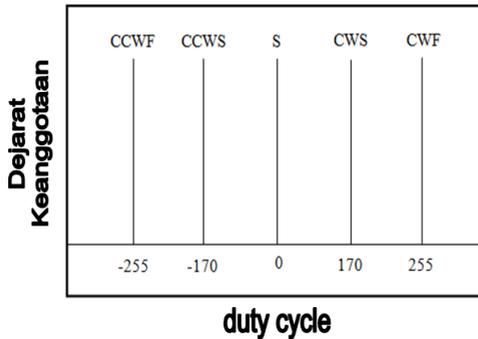
$$I_{eff} = I_{rmax} \sin \theta \quad (3.4)$$

I_{max} merupakan intensitas cahaya matahari maksimal yang dapat diterima oleh LDR. Setelah melakukan pemodelan sensor LDR, selanjutnya adalah pemodelan kontroler *solar tracker* yang menggunakan Fuzzy dengan 5 *membership*. Input dari kontroler fuzzy berupa error dan delta error serta output yang diinginkan adalah tegangan yang akan menuju motor DC.



Gambar 3.4 Input Error dan Deltaerror *Solar Tracker*

Output yang diinginkan dari kontroler *solar tracker* adalah sinyal PWM yang akan menjadi input motor DC dengan fungsi keanggotaan ditunjukkan pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 *Membership* Output Kontroler *Solar Tracker*

Rule base yang digunakan untuk kontroler fuzzy pada solar tracker ditunjukkan pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Rule Base Kontroler Solar tracker

Error	Deltaerror				
	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	CCWF	CCWF	CCWS	CCWS	CCWF
NS	CCWF	CCWS	CCWS	CCWS	CWS
ZE	S	S	S	S	S
PS	CWS	CWS	CWS	CWS	CWF
PB	CWF	CWS	CWS	CWF	CWF

Keterangan:

CCWF : *Counter Clockwise Fast*

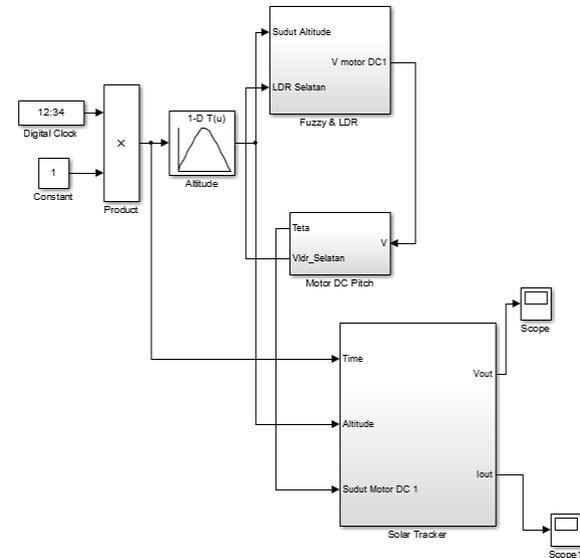
CCWS : *Counter Clockwise Slow*

S : *Stop*

CWF : *Clockwise Fast*

CWS : *Clockwise Slow*

Maka rangkaian *solar tracker single axis* seperti pada gambar 3.6.

**Gambar 3.6** Rangkaian *Single Axis Solar Tracker*

Pada subsystem Solar tracker, pemodelan akan membandingkan nilai sudut altitude dengan nilai sudut yang dihasilkan oleh motor DC. Sehingga, dengan kata lain sudut altitude harus sama dengan sudut yang dihasilkan oleh motor DC.

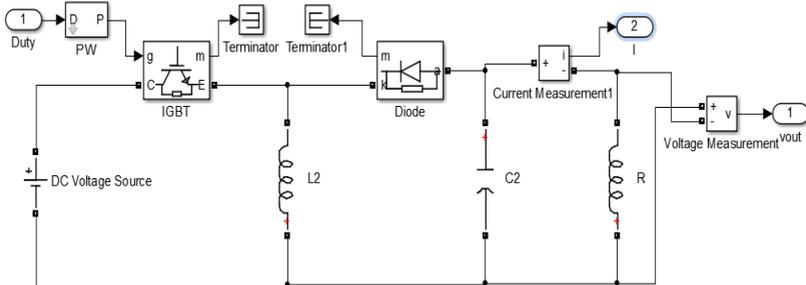
3.2.3 Konverter Buck Boost

Setelah melakukan pemodelan PV dan *solar tracker* selanjutnya adalah pemodelan konverter dc-dc *buck boost* menggunakan matlab simulink dengan parameter seperti pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Parameter Perancangan *Buck Boost*

Parameter	Nilai
Vin	28 V
Vout	30 V
Iout	8.33 A
Frekuensi Pensaklaran	30 kHz
Induktor	$2,916 \cdot 10^{-6}$ H
Kapasitor	$3,589 \cdot 10^{-3}$ F
Beban Resistif	4 Ω

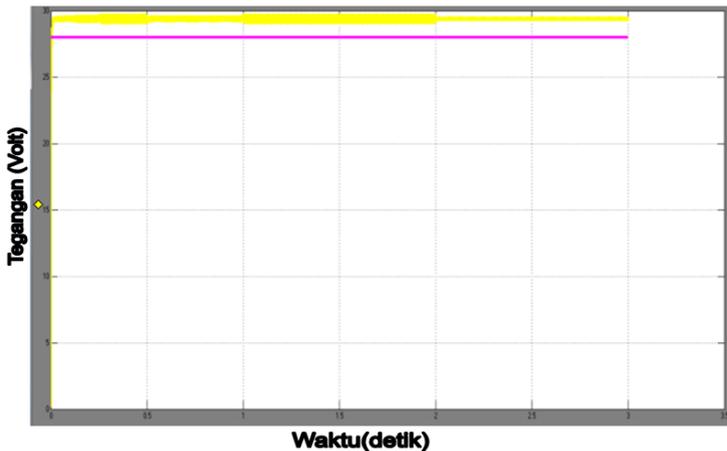
Parameter- parameter pada tabel 3.4 diperoleh dengan cara perhitungan menggunakan persamaan 2.9 ; 2.10; 2.11 dan persamaan 2.12. Pada gambar 3.7 ditunjukkan pemodelan konverter DC *Buck Boost* pada sistem MPPT.



Gambar 3.7 Rancangan converter *Buck Boost*

Nilai dari parameter- parameter tersebut kemudian dimasukkan dalam rangkaian konverter *buck boost* seperti pada gambar 3.7. Sedangkan nilai *duty cycle* akan diperoleh dari kontroler MPPT. Output yang diharapkan dari konverter *buck boost* adalah tegangan dan arus.

Setelah melakukan pemodelan konverter *buck boost*, maka dilakukan pengujian dengan cara memasukkan tegangan input 28 Volt kemudian dianalisa keluaran tegangan konverter.



Gambar 3.8 Respon V_{out} buck boost terhadap V_{in}

Dari gambar diketahui bahwa tegangan keluaran buck boost hampir mendekati tegangan input buck boost. Dengan input 28 volt, output tegangan yang dihasilkan sekitar 29 volt seperti yang ditunjukkan dengan garis berwarna kuning. Sehingga dapat dikatakan bahwa rancangan konverter *buck boost* dapat digunakan pada sistem MPPT ini.

3.3 Pengambilan data Primer

Pengambilan data dilakukan dengan tujuan mendapatkan profil irradiasi matahari, suhu, kecepatan angin dan *relative humidity* (RH) sebagai input PV dan *solar tracker*. Pengambilan data dilakukan secara mobile di daerah Surabaya pada tanggal 25

April 2018 pukul 06.00 hingga 17.00 Pengukuran iradiasi dilakukan dengan alat pirano meter, kecepatan angin diukur dengan anemometer dan *relative humidity* serta temperatur diukur dengan RH meter.



Gambar 3.9 Pengambilan Iradiasi Matahari

Pengambilan data Iradiasi dilakukan dengan menggunakan dua cara, yaitu cara pertama pengambilan data iradiasi matahari untuk PV *fixed* dengan cara meletakkan pirano tegak lurus dengan permukaan tanah. Cara kedua dengan meletakkan pirano dalam posisi miring sesuai dengan arah datang matahari.



Gambar 3.10 Pengambilan data Kecepatan Angin

Untuk pengambilan data kecepatan angin dengan cara meninggikan posisi anemometer untuk mengukur angin tanpa ada penghalang apapun.



Gambar 3.11 Pengambilan data RH dan Temperatur

Sedangkan untuk pengukuran RH dan temperatur menggunakan alat RH meter dengan cara men-*setting switch* pada RH meter agar sesuai dengan parameter yang ingin diukur kemudian di-*record* data yang ditunjukkan pada *display*.

Pada tabel data PV *Fixed* pada lampiran menampilkan hasil pengambilan data pada PV *Fixed mobile* yang dilakukan di area Surabaya pada tanggal 25 April 2018. Dari hasil diatas dapat dilihat bahwa hasil iradiasi tertinggi pada pukul 11.30 dengan nilai irradiasi $913,16 \text{ W/m}^2$ dan suhu panel tertinggi pada pukul 12.00 dengan suhu $35,9^\circ \text{C}$.

Selain data pada PV *fixed*, terdapat pula data pada PV *tracking* yang dilampirkan pada lampiran. Pada data PV *tracking* yang dilakukan di Surabaya pada tanggal 25 April 2018. Dari hasil diatas dapat dilihat bahwa hasil iradiasi tertinggi pada pukul 11.30 dengan nilai iradiasi 923.2 W/m^2 dan suhu panel tertinggi pada pukul 11.00 dengan suhu $35,8^\circ \text{C}$.

3.4 Perancangan Kontrol Hybrid PSO-Fuzzy Type-2

Perancangan Kontrol hybrid PSO- Fuzzy Type-2 terdiri dari 3 tahap. Tahap pertama membuat kontrol menggunakan fuzzy type-1 yang kemudian dioptimasi dengan PSO dan *diupgrade* menjadi fuzzy type-2. Input dari controller adalah error dan delta error dengan output *duty cycle*.

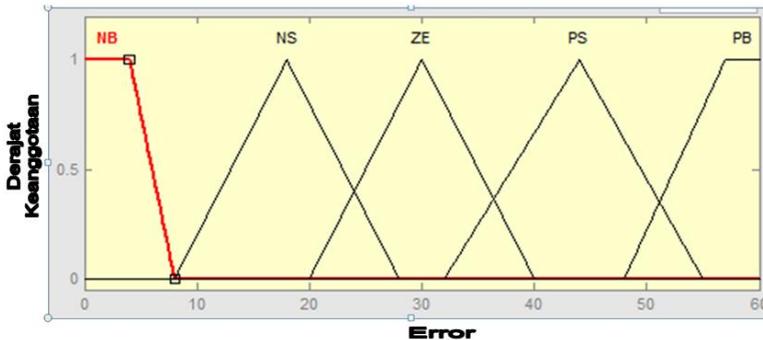
3.4.1 Perancangan kontroler fuzzy type-1

Pada perancangan kontrol fuzzy type-1 memiliki 4 elemen yaitu fuzzifikasi, *inference system*, *rule base* dan defuzzifikasi. Input yang digunakan adalah error dan delta error dengan persamaan :

$$e(k) = \frac{P(k)-P(k-1)}{V(k)-V(k-1)} \quad (3.1)$$

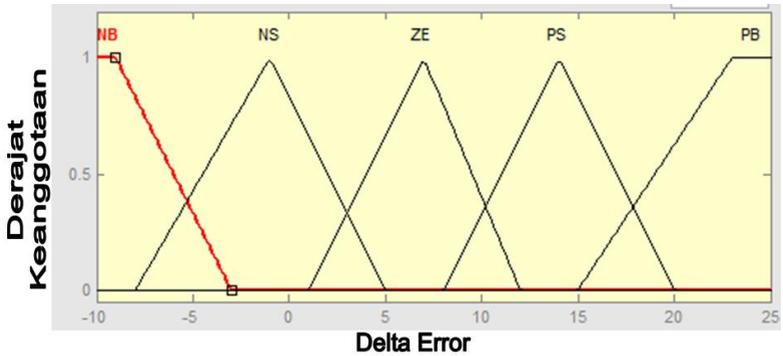
$$de(k) = e(k) - e(k - 1) \quad (3.2)$$

Tipe FIS yang digunakan adalah tipe sugeno karena lebih cocok untuk *plant nonlinier*. Fungsi keanggotaan pada input error yang digunakan adalah segitiga dan trapesium dengan jumlah 5 *membership* (MF). Seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.12.



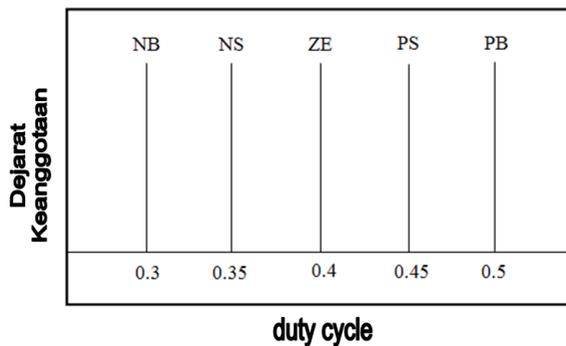
Gambar 3.12 *Membership* Input Error Kontroler Fuzzy

Pada input delta error, digunakan 5 *membership* seperti input error. Fungsi keanggotaan pada delta error yang digunakan berupa 3 buah segitiga dan 2 buah trapesium seperti pada gambar 3.13.



Gambar 3.13 Membership Input delta error Kontroler Fuzzy

Pada output kontroler fuzzy digunakan 5 buah *membership* dengan jenis *constant*. Seperti gambar 3.14.



Gambar 3.14 Output kontroler fuzzy

Keterangan:

- NB = *Negative Big*
- NS = *Negative Small*
- ZE = *Zero*
- PS = *Potive Small*
- PB = *Positive Big*

Nilai dari *output* fuzzy NB adalah 0.3; NS adalah 0.35; ZE adalah 0.4; PS adalah 0.45 dan PB adalah 0.5. Dasar

perancangan fuzzy dengan input error dan deltaerror serta *output duty* berdasarkan sistem *trial dan error*.

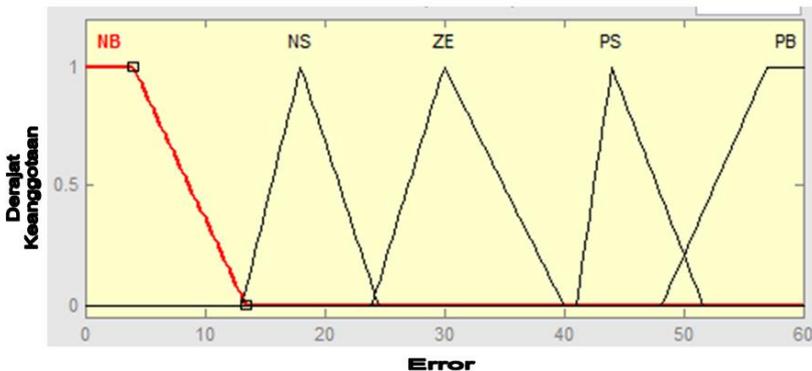
Tabel 3.5 Rule Base 5 MF

Error	Deltaerror					
		NB	NS	ZE	PS	PB
NB		PB	PB	PS	ZE	NS
NS		PB	PB	PB	PB	PB
ZE		PB	PB	PB	PB	PB
PS		NS	NS	ZE	PS	PB
PB		PB	NS	ZE	PS	PB

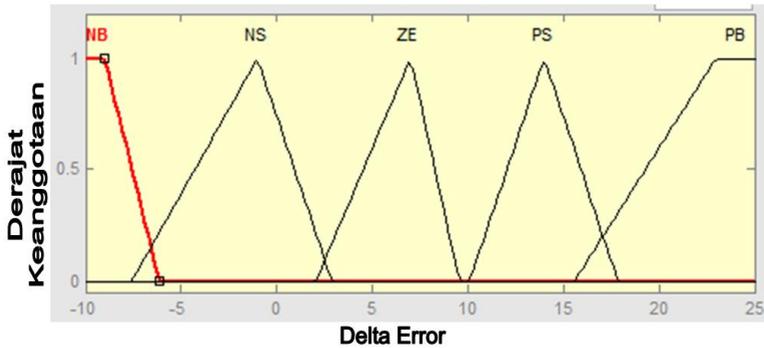
Dengan jumlah *membership* error 5 dan *membership* delta error 5 *membership* maka akan didapatkan 25 *rule base* yang juga berisikan 5 MF.

3.4.2 Perancangan kontrol fuzzy dengan PSO

Pemodelan PSO dilakukan dengan menggunakan *script* pada MATLAB. Batas- batas dari kontroler fuzzy, dioptimasi menggunakan algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO). Setelah dioptimasi, akan didapatkan batas- batas fuzzy baru berdasarkan nilai MSE (*Mean Square Error*) terkecil. Setelah dioptimasi maka *membership* berubah seperti pada gambar 3.15 dan 3.16.

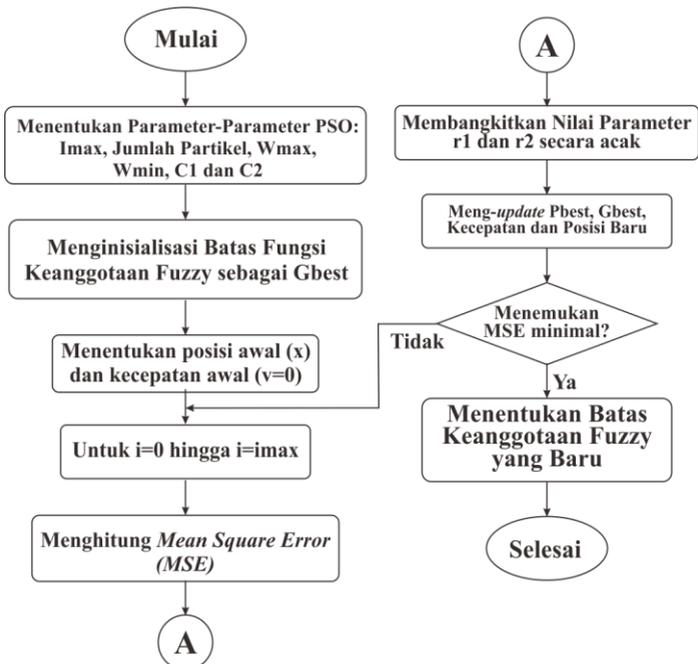


Gambar 3.15 Membership Input Error Kontroler Fuzzy-PSO



Gambar 3.16 *Membership* Input Deltaerror Kontroler Fuzzy-PSO

Terdapat beberapa tahap dalam mengoptimasi fuzzy dengan algoritma PSO yang ditunjukkan oleh gambar 3.17.



Gambar 3.17 Diagram Alir Optimasi Fuzzy dengan PSO

(Abadi, Musyafa, & Soeprijanto, 2015) *Membership* ZE pada input fuzzy error akan digunakan sebagai contoh perhitungan optimasi PSO. Batas-batas fungsi awal akan digunakan sebagai nilai dari G_{best} dengan istilah G_{best1} , G_{best2} , dan G_{best3} maka dapat dituliskan dengan :

$$G_{best1} = 20$$

$$G_{best2} = 30$$

$$G_{best3} = 40$$

Setelah menentukan G_{best} awal untuk perhitungan optimasi PSO, maka selanjutnya menentukan posisi dan kecepatan sesuai dengan persamaan (2.7) dan (2.8). Kecepatan awal partikel ditentukan dengan nilai 0. Karena sebagai contoh perhitungan, maka partikel yang digunakan hanya sebanyak 10 partikel. Dalam menentukan posisi awal dari partikel, harus diperhatikan bahwa posisi tersebut tidak boleh melanggar aturan batas yaitu titik *membership* sebelah kiri nilainya tidak boleh lebih besar dari titik *membership* bagian tengah dan titik kanan nilainya tidak boleh lebih kecil dari titik bagian tengah.

Bila A adalah titik bagian kiri, B adalah titik bagian tengah dan C adalah titik bagian kiri, maka posisi dapat ditentukan dengan:

$$X1 = B - [random \times (B - A)] \quad (3.2)$$

$$X2 = B \quad (3.3)$$

$$X3 = C - [random \times (C - A)] \quad (3.4)$$

Random merupakan angka acak dengan interval antara 0 hingga 1. Nilai X2 tetap sesuai dengan G_{best2} karena titik bagian tengah dari *membership* fuzzy tidak optimasi maka tidak akan ada perubahan posisi. Maka akan didapatkan posisi partikel pada setiap titik seperti:

<u>x 1</u>	<u>x 2</u>	<u>x 3</u>	<u>v 1</u>	<u>v 2</u>	<u>v 3</u>
29,641	30	39,641	0	0	0
24,002	30	34,002	0	0	0
23,468	30	33,468	0	0	0
22,217	30	32,217	0	0	0

25,557	30	35,557	0	0	0
21,877	30	31,877	0	0	0
26,106	30	36,106	0	0	0
23,487	30	33,487	0	0	0
28,101	30	38,101	0	0	0
27,614	30	37,614	0	0	0

Pada iterasi ke-0, kecepatan semua partikel pada setiap titik ditetapkan bernilai 0. Sedangkan nilai X_1 , X_2 dan X_3 digunakan sebagai P_{best} awal dari setiap partikel. Selanjutnya dilakukan perhitungan MSE. Dalam perhitungan MSE diperlukan derajat keanggotaan yang diinginkan dan derajat yang diperoleh dari perhitungan disimbolkan dengan μ . Nilai μ dari setiap partikel ditentukan dengan perhitungan:

$$\mu_1 = \frac{X_1 - A}{B - A} \quad (3.5)$$

$$\mu_2 = 1 \quad (3.6)$$

$$\mu_3 = \frac{C - X_3}{C - B} \quad (3.8)$$

Nilai μ_2 adalah 1 dikarenakan pada perhitungan MSE, nilai derajat keanggotaan dari titik B tidak akan mengalami perubahan. Setelah menemukan setiap nilai derajat keanggotaan pada setiap titik dan partikel maka dapat dilakukan perhitungan MSE sesuai dengan persamaan 3.1.

<u>μ_1</u>	<u>μ_2</u>	<u>μ_3</u>	<u>MSE</u>
0,9641	1	0,0359	0,3102
0,4002	1	0,5998	0,1733
0,3468	1	0,6532	0,1823
0,2217	1	0,7783	0,2183
0,5557	1	0,4443	0,1687
0,1877	1	0,8123	0,2316

0,6106	1	0,3894	0,1748
0,3487	1	0,6513	0,1819
0,8101	1	0,1899	0,2307
0,7614	1	0,2386	0,2122

Setelah mendapatkan MSE pada setiap titik dan partikel, maka selanjutnya dilakukan perhitungan bobot *inertia* pada iterasi ke-0 Nilai bobot inersia digunakan untuk menentukan kecepatan baru dari partikel. Setelah mendapatkan nilai kecepatan, maka akan dilanjutkan menghitung posisi baru. Perhitungan untuk menghitung nilai bobot inersia (ω) adalah :

$$\begin{aligned}\omega &= \omega_{max} - \frac{\omega_{max} - \omega_{min}}{iter_{max}} \times (iter - 1) \\ &= 0,9 - \frac{0,9 - 0,3}{10} \times (-1) \\ &= 0,96\end{aligned}$$

Selanjutnya adalah menentukan nilai random yang akan digunakan untuk kecepatan dan posisi baru dari partikel. Maka ditentukan nilai $r1 = 0,5567$ dan nilai $r2 = 0,5783$. Kemudian menentukan kecepatan dan posisi baru menggunakan P_{best} baru dari setiap partikel menggunakan persamaan 2.7 dan 2.8. Maka akan didapatkan kecepatan dan posisi baru seperti

<u>V1</u>	<u>X1</u>	<u>V3</u>	<u>X3</u>
-11,1508	18,4902	0,4152	40,0562
-4,6287	19,3732	6,9373	40,9392
-4,0110	19,4569	7,5549	41,0229
-2,5641	19,6528	9,0018	41,2188
-6,4272	19,1297	5,1387	40,6957
-2,1709	19,7060	9,3950	41,2720
-7,0622	19,0438	4,5038	40,6098
-4,0330	19,4539	7,5329	41,0199
-9,3696	18,7313	2,1964	40,2973

-8,8063 18,8076 2,7596 40,3736

Perhitungan yang ditampilkan hanya untuk titik A dan B saja, hal ini dikarenakan hanya titik A dan C saja yang membutuhkan optimasi. Sedangkan titik tengah atau titik B dari *membership* segitiga tidak dioptimasi, menyebabkan tidak akan ada perubahan yang terjadi pada nilai P_{best} dan nilai G_{best} . Setelah itu dilanjutkan untuk menghitung MSE iterasi berikutnya dengan nilai derajat keanggotaan (μ) yang baru sehingga didapatkan nilai P_{best1} , P_{best2} dan P_{best3} sebagai berikut:

<u>Pbest 1</u>	<u>Pbest 2</u>	<u>Pbest 3</u>	<u>MSE</u>
19,1178	30	39,8661	0,4057
15,8579	30	31,5198	0,4517
14,5988	30	30,7648	0,5703
11,6492	30	28,9961	0,9364
19,5242	30	33,7183	0,2349
10,8475	30	28,5154	1,0546
20,8187	30	34,4945	0,2834
14,6436	30	30,7917	0,5663
25,5225	30	37,3151	0,2933
24,3742	30	36,6266	0,2403

Berdasarkan nilai MSE yang ditunjukkan, dapat dilihat bahwa nilai MSE terkecil terletak pada partikel kelima dengan nilai MSE 0,2349. Sehingga, batas- batas *membership* yang baru didapatkan dari nilai P_{best} pada partikel tersebut. yaitu [19,5242 30 33,7183].

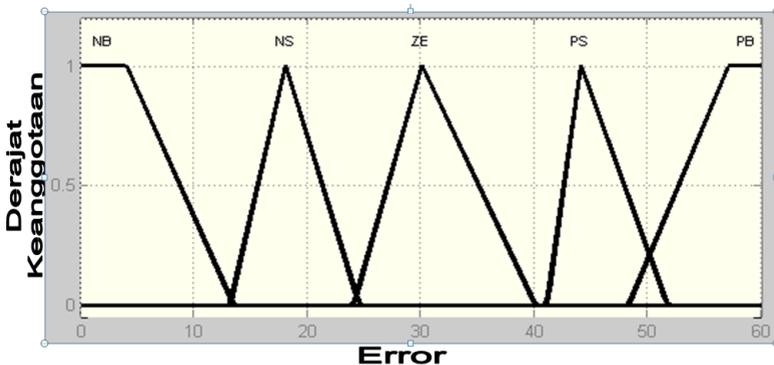
Pada optimasi menggunakan algoritma PSO, P_{best} merupakan posisi dari setiap individu dalam suatu populasi. Sedangkan G_{best} menggambarkan range dari fungsi *membership* fuzzy yang ditentukan berdasarkan nilai MSE paling kecil pada setiap iterasi.

Tingkat konvergensi dari suatu optimasi PSO ditentukan dengan nilai MSE yang ditunjukkan pada setiap optimasi. Apabila nilai MSE mayoritas berada dibawah $1e-2$ maka dapat dikatakan bahwa hasil yang ditunjukkan sudah konvergen.

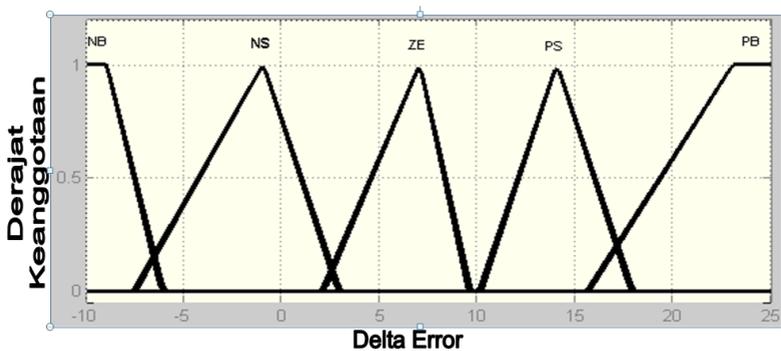
Perhitungan diatas merupakan contoh perhitungan optimasi menggunakan algoritma PSO pada Fuzzy secara perhitungan manual, sehingga iterasi yang digunakan hanya sampai iterasi ke-2. Optimasi *membership* fuzzy dapat dilakukan dengan menggunakan *script* yang dilampirkan pada Lampiran tugas akhir ini. Dengan menggunakan *software* MATLAB, maka dapat jumlah partikel dan iterasi dapat diatur sesuai dengan keinginan dan kebutuhan.

3.4.3 Memodelkan *Membership* fuzzy-PSO menjadi *membership* fuzzy type-2

Setelah melakukan optimasi dengan PSO pada fuzzy, maka selanjutnya adalah memodelkan kontroler fuzzy-PSO menjadi kontroler PSO-Fuzzy type-2 dengan bantuan IT2FL atau *toolbox* fuzzy khusus untuk fuzzy type-2. Dalam pemodelan ini penulis melakukan percobaan dengan 3 variansi nilai FOU (*Footprint of Uncertainty*), yaitu $\pm 0,1$, $\pm 0,3$ dan $\pm 0,5$. *Membership* fuzzy type 2 dengan FOU $\pm 0,1$ pada input error dan delta error ditunjukkan pada gambar 3.18 dan 3.19.

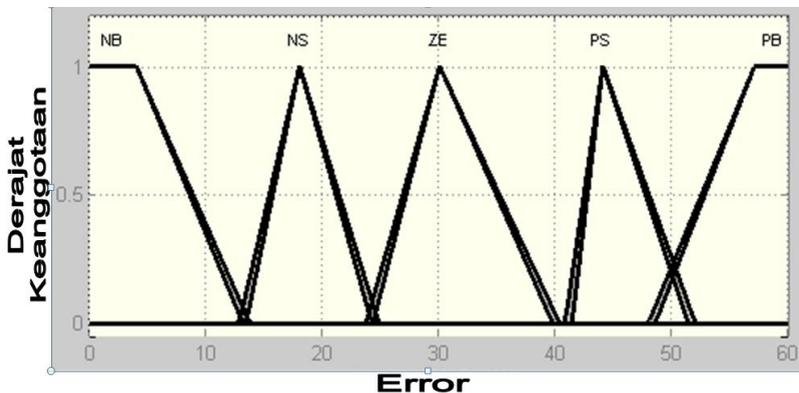


Gambar 3.18 *Membership* Input Error Pada Kontroler PSO-Fuzzy type 2 dengan FOU $\pm 0,1$

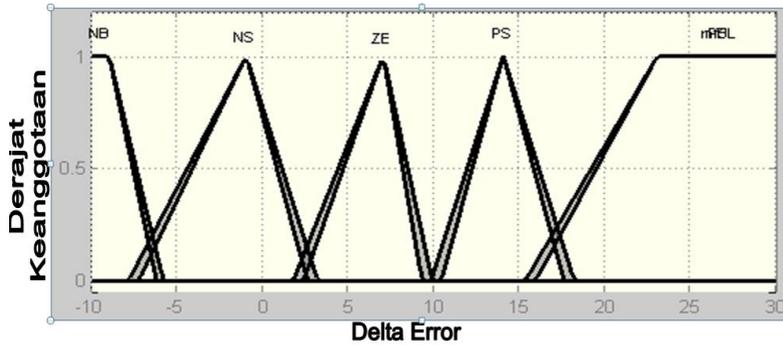


Gambar 3.19 *Membership* Input Delta Error Pada Kontroler PSO- Fuzzy type 2 dengan FOU $\pm 0,1$

Terlihat pada kontroler PSO- Fuzzy type 2 dengan FOU $\pm 0,1$ memiliki luas daerah yang kecil. Variasi nilai FOU selanjutnya adalah $\pm 0,3$. Sehingga *membership* kontroler PSO- Fuzzy type 2 menjadi seperti pada gambar 3.20 dan 3.21.

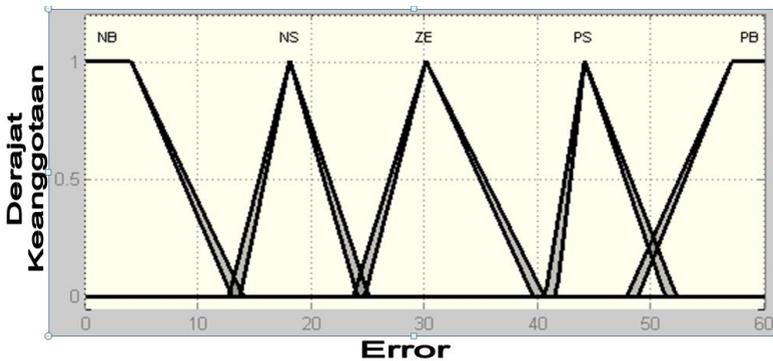


Gambar 3.20 *Membership* Input Error Pada Kontroler PSO- Fuzzy type 2 dengan FOU $\pm 0,3$

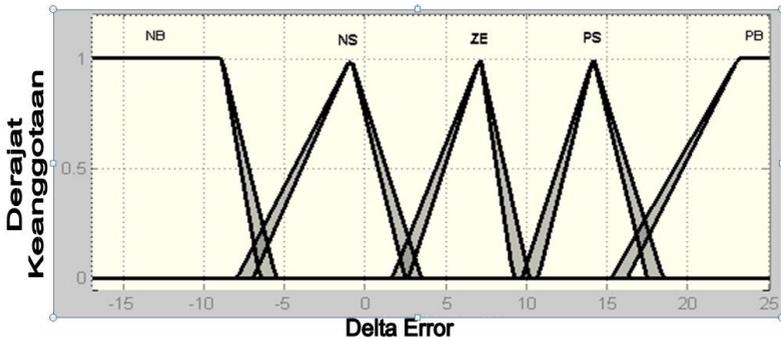


Gambar 3.21 *Membership* Input Delta Error Pada Kontroler PSO- Fuzzy type 2 dengan FOU $\pm 0,3$

Pada kontroler PSO- Fuzzy type 2 terlihat bahwa daerah FOU dari Fuzzy type 2 lebih luas bila dibandingkan dengan FOU $\pm 0,3$. Nilai FOU selanjutnya sebagai variasi adalah $\pm 0,5$ seperti pada gambar 3.22 dan 3.23



Gambar 3.22 *Membership* Input Error Pada Kontroler PSO- Fuzzy type 2 dengan FOU $\pm 0,5$



Gambar 3.23 *Membership* Input Delta Error Pada Kontroler PSO- Fuzzy type 2 dengan FOU $\pm 0,5$

FOU $\pm 0,5$ memiliki domain *uncertainties* paling besar dari pada dengan kontroler Fuzzy type 2 yang memiliki FOU $\pm 0,1$ dan FOU $\pm 0,3$. Dari ketiga FOU tersebut, dipilih nilai FOU $\pm 0,3$ karena menunjukkan performa yang lebih baik dilihat dari *duty cycle* yang dihasilkan seperti pada gambar yang dilampirkan. Dengan nilai FOU $\pm 0,3$, nilai *duty cycle* yang mencapai nilai maksimum pada seluruh titik.

Pada tabel 3.8 ditampilkan perubahan *membership* dari kontroler fuzzy, fuzzy- PSO dan PSO- Fuzzy type 2 dengan FOU $\pm 0,3$. Pada *membership* NB terdapat nilai minimum *membership* trapesium berupa $(-\text{inf})$ sedangkan PB memiliki nilai maksimum berupa $(+\text{inf})$. Nilai minimum dan maksimum pada *membership* NB dan PB diberikan $(-\text{inf})$ dan $(+\text{inf})$ untuk mencegah tidak masuknya error dan deltaerror dari PV ke daerah *membership* fuzzy. Pada jenis fuzzy type 2, terdapat 2 jenis batas yang digunakan yaitu batas atas dan batas bawah dan daerah diantaranya merupakan FOU fuzzy type 2.

Tabel 3.6 Perubahan *Membership* Error

Kategori	Fuzzy	Fuzzy-PSO	PSO-Fuzzy type- 2 dengan FOU $\pm 0,3$
NB	$[-\text{inf} \ 1 \ 4 \ 15]$	$[-\text{inf} \ -1 \ 4 \ 13,44]$	U: $[-\text{inf} \ -1 \ 4$

			13,74 1]
			L: [-inf -1 4 13,14 1]
NS	[8 18 28]	[13.1 18 24,5]	U: [12,8 18 24,8 1]
			L: [13,4 18 24,2 1]
ZE	[20 30 40]	[23,98 30 40,5]	U: [23,68 30 40,8 1]
			L: [24,28 30 40,2 1]
PS	[32 44 55]	[41,44 51,63]	U: [41,7 44 51,93 1]
			L: [41,7 44 51,33 1]
PB	[48 57 830 inf]	[48,18 57 830 inf]	U: [47,88 57 830 830 1]
			L: [48,48 57 830 inf 1]

Selain input error, input delta error juga mengalami perubahan dari fuzzy kemudian dioptimasi menggunakan algoritma PSO (*Particle Swarm Optimization*) dan kemudian di-*upgrade* menjadi PSO- fuzzy type 2 dengan FOU (*Footprint of Uncertainty*) sekitar $\pm 0,3$ seperti pada tabel 3.9

Tabel 3.7 Perubahan *Membership* deltaerror

Kategori	Fuzzy	Fuzzy-PSO	PSO-Fuzzy type- 2 dengan FOU $\pm 0,3$
NB	[-inf -800 -9 -3]	[-inf -800 -9 - 6,134]	U: [-inf -800 -9 -5,834 1] L: [-inf -800 -9 - 6,234 1]
NS	[-8 1 5]	[-7,571 -1 2,873]	U: [-7,871 -1 3,173 1]

			L: [-7,271 -1 2,573 1]
ZE	[1 7 12]	[2,043 7 9,555]	U: [1,743 7 9,855 1]
			L: [2,343 7 9,255 1]
PS	[8 14 20]	[10,08 14 17,84]	U: [9,78 14 18,14 1]
			L: [10,38 14 17,54 1]
PB	[15 23 800 inf]	[15,58 23 800 inf]	U: [15,28 23 800 800 1]
			L: [15,88 23 800 inf 1]

Pada input delta error, nilai batas *membership* NB dan PB juga diberi nilai (-inf) untuk NB dan (+inf) untuk PB agar mencegah input delta error tidak masuk dalam himpunan fuzzy.

3.5 Simulasi Perancangan MPPT dengan metode PSO-Fuzzy type-2

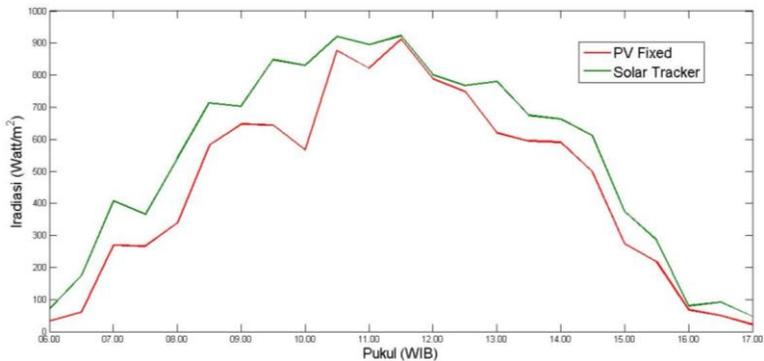
Simulasi seluruh pemodelan dilakukan dengan *software* MATLAB 2013a . Pemodelan yang disimulasi terdapat 2 jenis, yaitu PV *Fixed* dan *Single Axis Solar Tracker*. Dari kedua jenis pemodelan tersebut, masing- masing digabungkan dengan pemodelan MPPT dengan jenis kontroler yang berbeda untuk mengetahui peformansinya. Kontroler yang digunakan adalah fuzzy, fuzzy- PSO dan PSO- Fuzzy type 2.

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

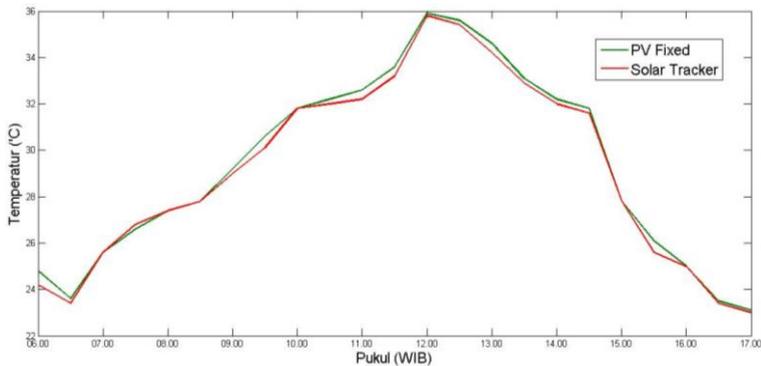
4.1 Profile Data Iradiasi dan Temperatur

Pada saat simulasi, data yang digunakan sebagai input dari *plant* adalah data iradiasi dan temperatur modul. Temperatur modul pada kali ini dipengaruhi oleh iradiasi, temperatur ambient, *relative humidity*, dan kecepatan angin. Pengambilan data dilakukan selama 11 jam, dimulai pada pukul 06.00 hingga 17.00. Profil dari iradiasi dan temperatur pada PV *fixed* dan *solar tracker* ditunjukkan oleh gambar 4.1 dan 4.2.



Gambar 4.1 Profile Iradiasi Matahari pada PV *Fixed* dan Solar *Tracker*

Terlihat dari gambar yang ditunjukkan oleh gambar 4.1, nilai iradiasi matahari yang mengenai *solar tracker* selalu lebih besar dari pada iradiasi pada yang mengenai PV *fixed*. Hal ini dikarenakan *solar tracker* selalu mengarahkan PV ke arah matahari agar memperoleh iradiasi yang tegak lurus dengan PV. Namun, pada waktu siang hari yaitu pukul 12.00 hingga 12.30 nilai iradiasi yang ditunjukkan memiliki nilai yang sama. Hal itu, dikarenakan pada saat itu, PV sama- sama menghadap keatas karena letak matahari berada tepat diatas PV. Selain iradiasi matahari, PV juga dipengaruhi oleh temperatur.

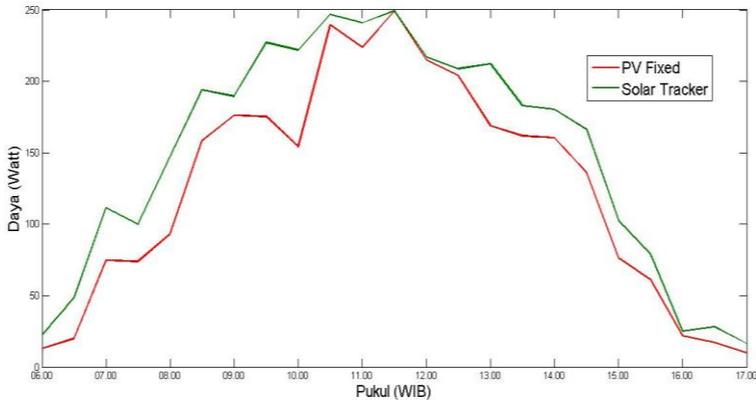


Gambar 4.2 Temperatur Lingkungan pada PV *fixed* dan *solar tracker*

Temperatur lingkungan memiliki pengaruh pada nilai tegangan dan nilai arus yang dihasilkan oleh PV maupun *solar tracker*. Pada profil temperatur yang ditunjukkan, dapat diketahui bahwa pada pukul 12.00 memiliki temperatur lingkungan paling tinggi pada PV *fixed* maupun pada *solar tracker*. Pada PV *fixed*, temperatur tertinggi bernilai 35,9 °C dan pada *solar tracker* nilai temperatur tertinggi adalah 35,8 °C.

4.2 Simulasi Output dari PV Fixed dan Solar Tracker Single- Axis

Simulasi dilakukan pada PV *Fixed mobile* dan *Solar tracker single axis mobile* untuk membandingkan hasil keluaran dari keduanya. Perbedaan antara keduanya secara teknis, *Solar tracker* akan mengarahkan PV untuk menghadap matahari secara tegak lurus sehingga akan mendapatkan nilai iradiasi yang maksimal. Sedangkan PV *fixed* hanya diam menghadap atas dan tegak lurus terhadap permukaan. Pengambilan data dilakukan pada pukul 06.00 hingga 17.00 sore.

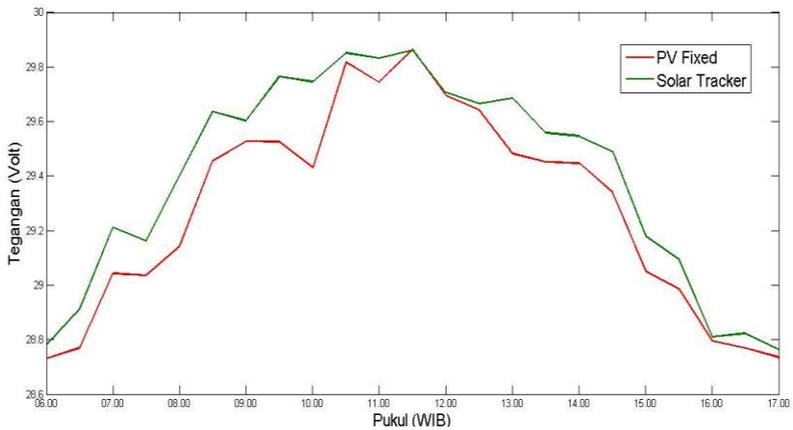


Gambar 4.3 Perbandingan Daya PV *Fixed* dan *Solar Tracker*

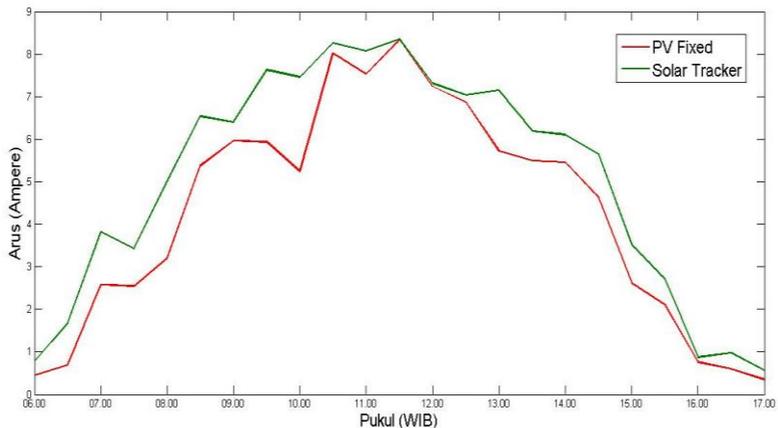
Gambar 4.3 menunjukkan daya yang dihasilkan dari keduanya selama 11 jam. Dari hasil grafik yang ditunjukkan, daya keluaran *solar tracker* lebih tinggi daripada PV *fixed*. Pada pukul 11.30, 12.00 dan 12.30 hasil yang ditunjukkan hampir sama atau hampir berhimpit pada grafik. Hal ini dikarenakan pada pukul tersebut PV pada keadaan *fixed* maupun *tracking* sama-sama menghadap ke atas karena posisi matahari berada tepat diatas PV.

Daya yang dihasilkan oleh PV *fixed* sebesar 2881,952 Watt selama 11 jam. Sedangkan daya yang dihasilkan oleh *solar tracker* sebesar 3417,435 Watt. Dari hasil yang didapat, maka dapat diketahui bahwa *solar tracker* mampu menaikkan daya sebesar 18, 580 %. Pada pukul 11.30 , 12.00 dan 12.30 siang, terjadi kenaikan dan penurunan iradiasi yang kecil, hal ini dikarenakan pada saat itu PV *Fixed* maupun *solar tracker* sama-sama menghadap ke atas karena matahari berada tepat diatas.

Tegangan dan arus dari PV *fixed* dan *solar tracker* akan menjadi *input* sistem MPPT. Tegangan akan mempengaruhi keluaran sistem MPPT , karena input dari konverter DC- DC adalah tegangan yang berasal dari PV dan *solar tracker* dan juga *duty cycle* yang berasal dari kontroler MPPT.



Gambar 4.4 Perbandingan Tegangan PV *fixed* dan *Solar Tracker*

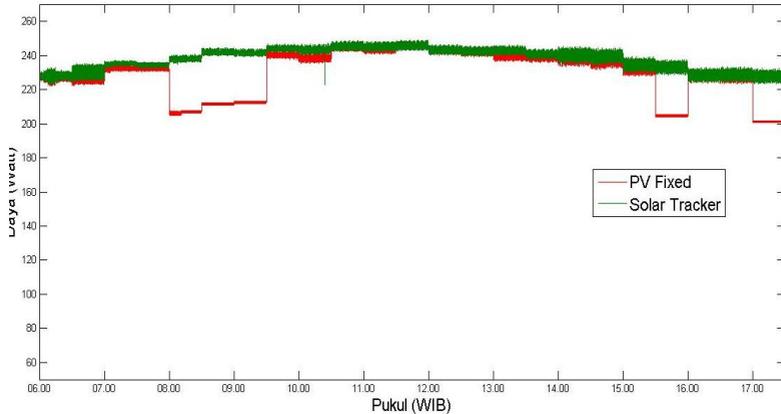


Gambar 4.5 Perbandingan Arus PV *fixed* dan *Solar Tracker*

Tegangan yang dihasilkan memiliki nilai yang tidak variatif. Nilai tegangan yang dihasilkan hanya berkisar antara 28 volt hingga 30 volt. Hal ini berbeda dengan nilai arus dari PV *fixed* dan *Solar Tracker*. Hasil yang ditunjukkan lebih variatif berdasarkan nilai iradiasi matahari sebagai input.

4.3 Simulasi Uji MPPT PSO- Fuzzy type 2 pada PV fixed dan Solar Tracker

Simulasi uji MPPT PSO- Fuzzy type 2 ini dilakukan untuk mengetahui performa dari kontroler PSO-Fuzzy type 2 yang diaplikasikan pada PV *fixed* dan *single axis solar tracker*. Maka diperoleh perbandingan energi seperti gambar 4.6.



Gambar 4.6 Perbandingan Daya PV *Fixed* MPPT dengan *Solar Tracker* MPPT

Dari grafik gambar 4.2, diketahui bahwa *output* daya yang dihasilkan oleh PV *fixed* lebih rendah dari daya yang dihasilkan oleh *solar tracker*. Hal ini dikarenakan daya yang dihasilkan oleh *solar tracker* lebih besar. Apabila diberikan kontroler MPPT PSO- Fuzzy type 2 yang sama maka menunjukkan hasil seperti pada gambar 4.6. Pada siang hari, daya yang dikeluarkan oleh PV *fixed* maupun *solar tracker* mengalami sedikit perbedaan, karena input daya PV *Fixed* dan *solar tracker* tanpa MPPT hampir sama sebagai input dari konverter *buck boost*.

PV *fixed* dengan MPPT menghasilkan daya sebesar 5213,228 Watt. Sedangkan daya yang dihasilkan oleh *solar tracker* dengan MPPT sebesar 5540,850 Watt. Perbedaan daya yang dihasilkan oleh PV *fixed* dan *solar tracker* adalah sebesar 6,284 %. Pada pukul 11.30 dan 12.00, nilai daya dari PV dan *solar tracker* tidak menunjukkan perbedaan yang besar, karena PV

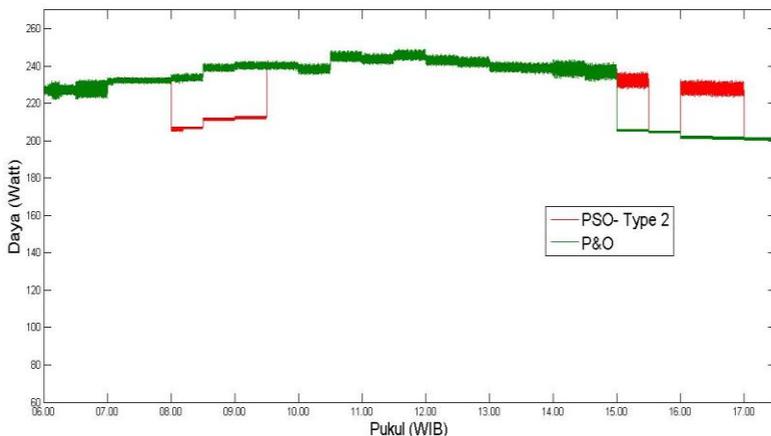
sama- sama menghadap keatas saat matahari tepat diatas PV. Pada PV *fixed* terjadi penurunan daya di beberapa titik, tidak seperti *solar tracker* yang selalu pada titik optimumnya. Maka dapat dikatakan kontroler PSO- Fuzzy type 2 cocok digunakan untuk solar tracker, tetapi kurang cocok digunakan untuk PV *fixed*.

4.4 Simulasi Uji Kontroler Artificial Intelgent (PSO-Fuzzy Type 2) dengan Kontroler Konvensional (*Perturb and Observed*)

Simulasi Uji ini dilakukan untuk membandingkan peforma kontroler dengan jenis *Artificial Intellegent* dengan kontroler konvensional berupa *Perturb and Observed* (P&O).

4.3.1 PV *fixed Mobile*

Simulasi ini bertujuan untuk membandingkan nilai daya yang keluar dari PV *Fixed* dengan kontroler PSO- Fuzzy type 2 dengan PV *Fixed* dengan kontroler MPPT PnO.



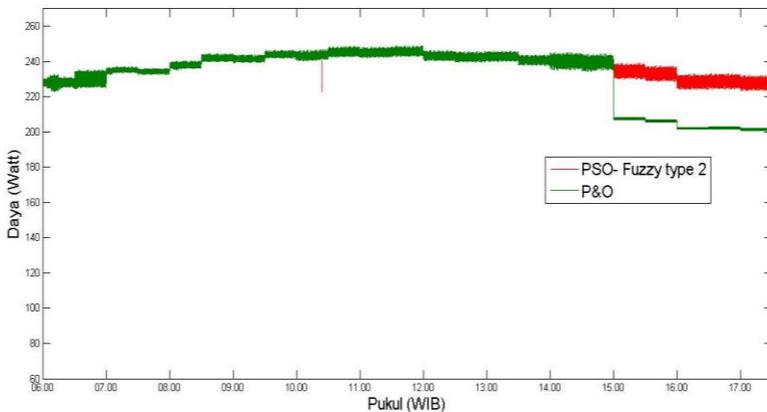
Gambar 4.7 Grafik daya dari kontroler PSO- Fuzzy Type 2 dan kontroler PnO pada PV *Fixed*

Grafik pada gambar 4.7 menunjukkan bahwa performa dari kontroler P&O lebih baik bila dibandingkan dengan kontroler PSO- Fuzzy type 2. Kontroler P&O menunjukkan penurunan performa pada pukul 15.00 hingga 17.00. Daya yang dihasilkan oleh PV dengan kontroler MPPT PnO tidak bisa mempertahankan titik optimumnya pada saat perubahan iradiasi yang ekstrem sebagai input dari PV. Sedangkan PV *Fixed* dengan kontroler PSO- Fuzzy type 2 mengalami kenaikan dan penurunan sesuai dengan nilai *duty cycle* yang dihasilkan oleh kontroler.

Kontroler MPPT PSO- Fuzzy type 2 pada PV fixed mampu menghasilkan daya sebesar 5213,228 Watt, sedangkan PV fixed dengan kontroler PnO menghasilkan daya sebesar 5254,002 Watt. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa Kontroler PSO- Fuzzy type 2 mampu meningkatkan daya PV *fixed* sebesar 80,892 %, sedangkan kontroler PnO dapat meningkatkan daya PV *fixed* sebesar 82,307 %. Maka bila dibandingkan, kontroler P&O lebih baik performa daripada kontroler PSO- Fuzzy type 2.

4.3.2 Solar Tracker Single Axis

Pada *Plant solar tracker* diperlakukan dua kontroler yaitu P&O dan PSO- Fuzzy type 2. Dari kedua kontroler tersebut diperoleh *ouput* daya seperti ditunjukkan pada grafik pada gambar 4.8 :



Gambar 4.8 Grafik Daya dari *Solar Tracker* Kontroler PSO-Fuzzy Type 2 dan P&O

Dari grafik yang ditunjukkan, dapat diketahui bahwa kontroler PSO Fuzzy type 2 lebih baik peformanya dibandingkan dengan menggunakan kontroler P&O pada *solar tracker*. Terdapat penurunan daya pada kontroler PnO pada pukul 15.00 hingga 17.00. Kontroler PnO tidak mampu mengatasi perubahan iradiasi yang signifikan. Pada pukul 14.30 iradiasi *solar tracker* sebesar 610,8 Watt/m², sedangkan pada pukul 15.00 iradiasi dari *solar tracker* sebesar 374,8 Watt/m². Selisih iradiasi yang besar tersebut mengakibatkan penurunan daya pada *solar tracker* dengan kontroler P&O. *Solar tracker* dengan kontroler PSO- Fuzzy type 2 mampu mempertahankan peformanya dari pagi hingga sore hari.

Daya yang keluar dari *solar tracker* sekitar 3391,057 Watt. Pada *solar tracker* dengan kontroler P&O mampu menghasilkan daya sekitar 5390,352 Watt, sedangkan *solar tracker* dengan kontroler PSO- Fuzzy type 2 mampu menghasilkan daya sekitar 5540,850 Watt. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa kontroler P&O mampu menaikkan daya sekitar 57,731% sedangkan kontroler PSO- Fuzzy type 2 mampu menaikkan daya sekitar 62,135 % dari daya *solar tracker* tanpa MPPT. Hal ini membuktikan bahwa *solar tracker* lebih cocok menggunakan kontroler PSO- Fuzzy type 2 dibandingkan dengan kontroler P&O.

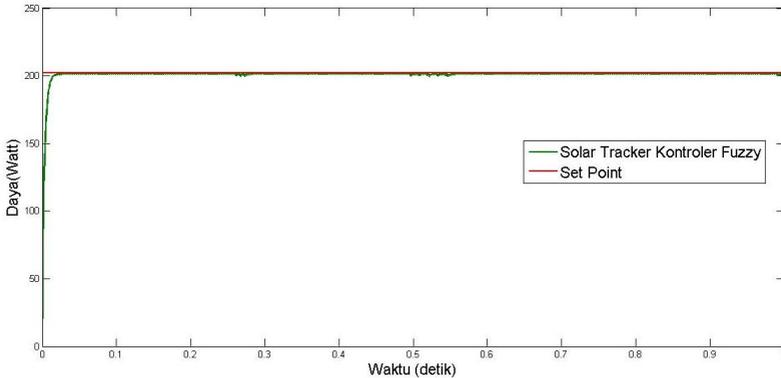
4.5 Simulasi Uji Performansi Kontroler Fuzzy, Fuzzy- PSO dan PSO- Fuzzy Type 2 pada Solar Tracker

Simulasi uji set point ini dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja dari kontroler fuzzy, fuzzy- PSO dan PSO- fuzzy type 2 pada *Solar Tracker*.

4.5.1 Uji Kontroler Fuzzy pada Solar Tracker saat Pagi, Siang dan Sore Hari

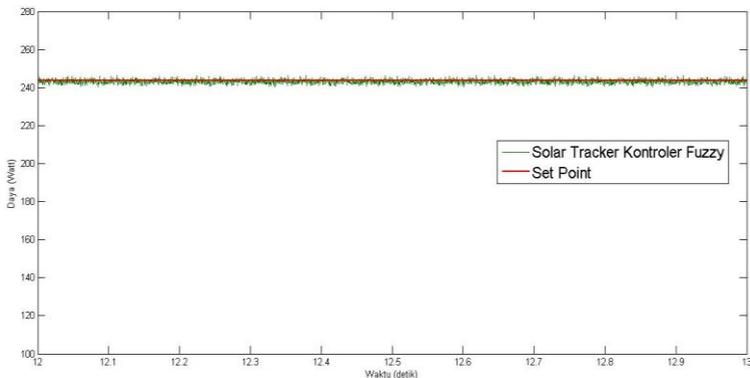
Uji peformansi kontroler fuzzy dengan membandingkan nilai daya yang keluar dari *plant* dengan *set point* yang telah

ditetapkan. Selain melihat daya yang keluar, uji kontroler juga melihat performansi dari kontroler fuzzy dan *solar tracker*. Performansi yang dilihat adalah pada pagi hari yaitu pukul 06.00, siang hari yaitu pukul 12.00 dan sore hari pada pukul 17.00.



Gambar 4.9 Grafik Peformansi dari *Solar Tracker* dengan Kontroler Fuzzy pada Pukul 06.00

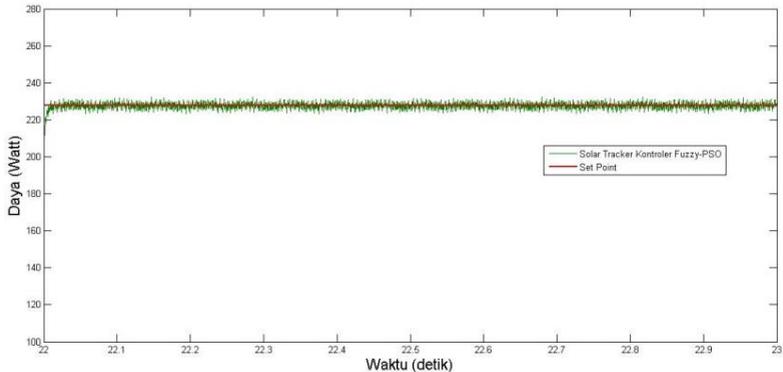
Dengan *set point* sebesar 202 volt seperti yang ditunjukkan dengan garis merah pada gambar 4.15, performansi dari kontroler fuzzy pada pagi hari menunjukkan kenaikan dari 0 Watt dan terus naik hingga mencapai nilai daya sekitar 201 Watt hingga 202 Watt pada keadaan *steady*.



Gambar 4.10 Grafik Peformansi dari *Solar Tracker* dengan

Kontroler Fuzzy pada Pukul 12.00

Dari gambar 4.10 dapat diketahui performansi dari kontroler fuzzy pada siang hari. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa, daya yang dihasilkan pada siang hari memiliki *ripple* yang yang besar dengan set point 243,5 Watt.



Gambar 4.11 Grafik Peformansi dari *Solar Tracker* dengan Kontroler Fuzzy pada Pukul 17.00

Pada gambar 4.11 menunjukkan performansi kontroler fuzzy pada *solar tracker* pada pukul 17.00. Dapat diketahui bila daya mengalami kenaikan lalu mulai stabil di daerah sekitar set point. Namun, daya yang dihasilkan juga memiliki *ripple* yang besar seperti pada siang hari. Dari grafik tersebut didapatkan performansi dari *solar tracker* dengan kontroler Fuzzy seperti tabel 4.1 :

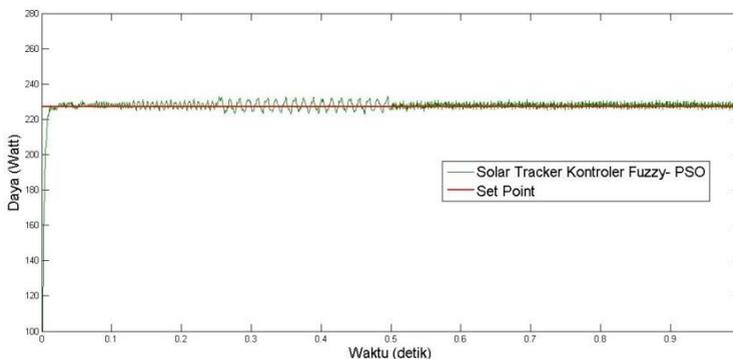
Tabel 4. 1 Peformansi Kontroler Fuzzy Pada *Solar Tracker*

Kategori	Pukul		
	06.00	12.00	17.00
<i>Rise Time</i>	0,0070	$5,622 \cdot 10^{-4}$	0, 0047
<i>Settling Time</i>	0,0126	12, 996	22, 992
<i>Overshoot</i>	0, 5591	0, 9975	1, 5285
<i>Error Steady State</i>	0.188 %	0.113 %	0, 127%
<i>Set Point (Watt)</i>	202	243,5	228

Pada tabel 4.1 menunjukkan peformansi dari kontroler fuzzy pada pagi, siang dan sore hari. Dapat terlihat, nilai *rise time* yang paling kecil terjadi pada siang hari. Hal ini dikarenakan pada daya yang dihasilkan sebelum pukul 12.00 juga bernilai besar, sehingga tidak ada terjadinya penurunan daya. Sedangkan, waktu *settling time* pada siang hari dan sore hari terjadi hampir diakhir waktu data yang digunakan untuk *sample*. Selisih nilai *settling* antara maximum dan minimum pada pagi hari bernilai 21, 063 Watt, pada siang hari memiliki selisih sekitar 6, 323 watt sedangkan pada sore hari selisih nilai *settling* adalah 9,051 Watt. Pada pagi hari memiliki selisih besar dikarenakan, *plant* baru saja melakukan operasinya dari daya 0 watt. Sedangkan nilai overshoot paling besar terjadi pada sore hari sekitar 1,529 %. Pada nilai *error steady state* paling besar terjadi pada pagi hari sekitar 0, 188% sedangkan pada siang hari *error steady state* bernilai 0,113 % sedangkan pada sore hari *error steady state* bernilai 0,127%.

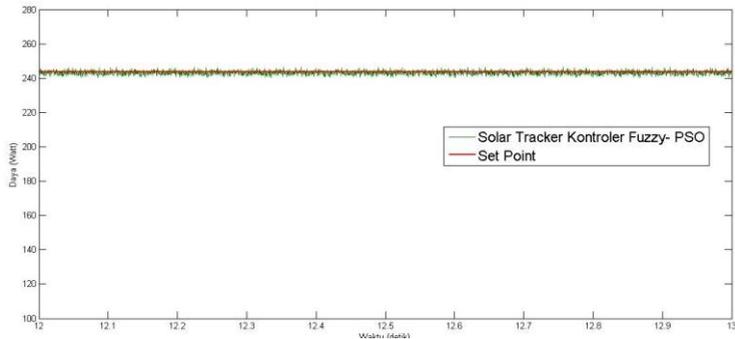
4.5.2 Uji Kontroler Fuzzy- PSO pada Solar Tracker saat Pagi, Siang dan Sore Hari

Untuk mengetahui peformansi dari kontroler Fuzzy- PSO, maka dilakukan uji kontroler dengan mengambil waktu *sample* pada pukul 06.00, 12.00 dan 15.00.



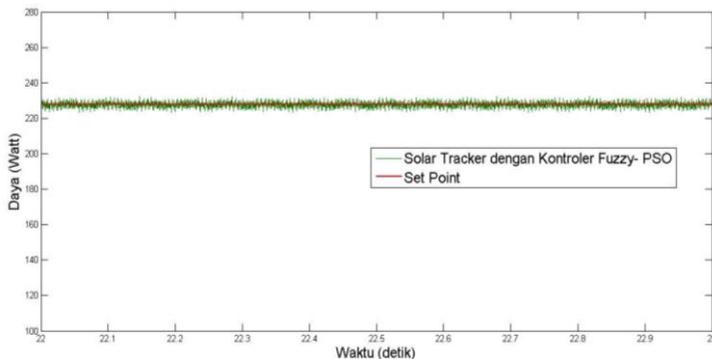
Gambar 4.12 Grafik Peformansi dari *Solar Tracker* dengan Kontroler Fuzzy- PSO pada Pukul 06.00

Pada gambar 4.12 dapat dilihat, *ripple* daya yang dihasilkan oleh kontroler fuzzy-PSO pada *solar tracker* memiliki jenis- jenis yang berbeda- beda seperti kontroler Fuzzy- PSO.



Gambar 4.13 Grafik Peformansi dari *Solar Tracker* dengan Kontroler Fuzzy- PSO pada Pukul 12.00

Uji kontroler Fuzzy- PSO pada siang hari menunjukkan hasil yang stabil, walaupun terdapat *ripple* daya yang disebabkan oleh adanya *ripple* tegangan dan arus.



Gambar 4.14 Grafik Peformansi dari *Solar Tracker* dengan Kontroler Fuzzy- PSO pada Pukul 17.00

Pada pukul 17.00, dengan set point 228, ditunjukkan oleh gambar 4.14 peformansi dari kontroler Fuzzy- PSO pada *solar*

tracker. Terlihat dari grafik karakteristik pada saat sore hari hampir sama dengan peformansi pada siang hari.

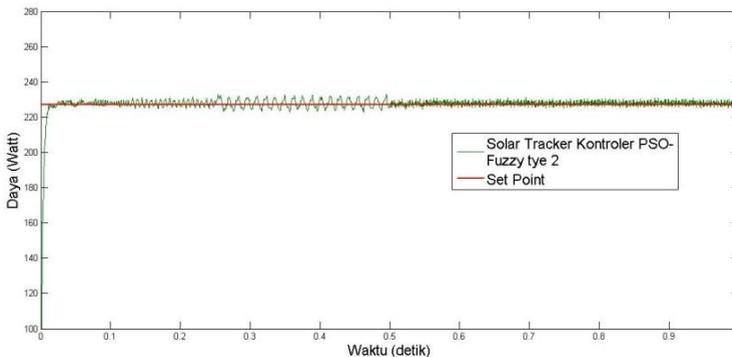
Tabel 4.2 Peformansi Kontroler Fuzzy-PSO Pada *Solar Tracker*

Kategori	Pukul		
	06.00	12.00	17.00
<i>Rise Time</i>	0,0057	$1,913 \cdot 10^{-4}$	$7,368 \cdot 10^{-4}$
<i>Settling Time</i>	0,496	12,9996	22,995
<i>Overshoot</i>	2,4978	0,9975	1,5285
<i>Error Steady State</i>	0.416 %	0.113 %	0,089 %
<i>Set Point (Watt)</i>	227	243,5	228

Dari tabel 4.2 diketahui bahwa nilai *rise time* yang paling besar pada *Solar tracker* dengan kontroler Fuzzy- PSO terjadi pada pagi hari. Karena, *plant* baru beroperasi pada pukul 06.00, sehingga diperlukan waktu mencapai keadaan *steady* dari daya 0 watt. *Peak* pada siang hari menunjukkan nilai yang paling besar, dikarenakan pada siang hari, Iradiasi yang diterima PV lebih besar bila dibandingkan dengan pagi hari dan sore hari.

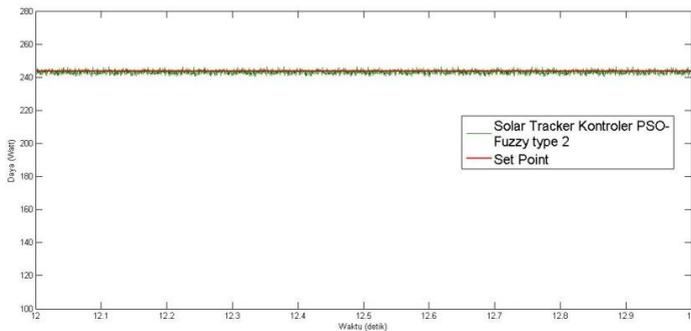
4.5.3 Uji Kontroler PSO- Fuzzy type 2 pada *Solar Tracker* saat Pagi, Siang dan Sore Hari

Agar mengetahui peformansi dari kontroler PSO- Fuzzy type 2, maka dilakukan uji peformansi pada pagi, siang dan sore hari untuk mengetahui perbandingannya.



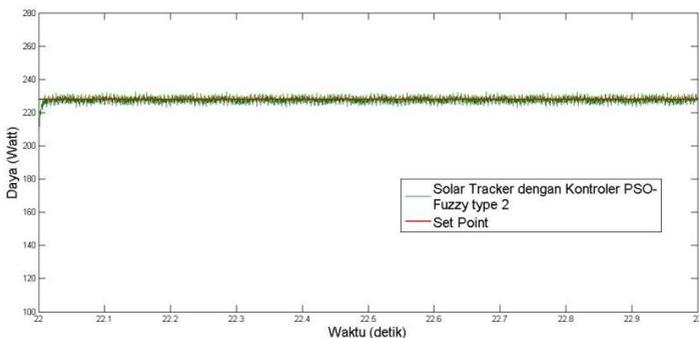
Gambar 4.15 Grafik Peformansi dari *Solar Tracker* dengan Kontroler PSO- Fuzzy type 2 pada Pukul 06.00

Pada pagi hari diketahui bahwa daya yang dihasilkan memiliki karakteristik berbeda- beda. Pada pukul 06.00, sistem baru beroperasi, maka terdapat daya yang tercipta dari nilai 0 Watt hingga mencapai nilai yang lebih stabil didaerah *set point* yaitu sekitar 227 Watt. Pada daerah daya yang responnya renggang memiliki nilai daya yang paling flukuatif bila dibandingkan dengan daerah lainnya.



Gambar 4.16 Grafik Peformansi dari *Solar Tracker* dengan Kontroler PSO- Fuzzy type 2 pada Pukul 12.00

Iradiasi yang mengenai PV pada siang hari lebih besar dibandingkan dengan sore hari. Sehingga, rata- rata daya yang dihasilkan juga tinggi sekitar 243,16 Watt. Dari grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.22, daya yang dihasilkan pada siang hari juga memiliki *ripple* walaupun terlihat stabil.



Gambar 4.17 Grafik Peformansi dari *Solar Tracker* dengan

Kontroler PSO- Fuzzy type 2 pada Pukul 17.00

Dari gambar 4.17 dapat diketahui bahwa daya yang dihasilkan pada sore hari memiliki *ripple* yang lebih besar bila dibandingkan dengan siang hari dengan rata- rata tegangan yang dihasilkan adalah 227,737 Watt.

Tabel 4.3 Peformansi Kontroler PSO- Fuzzy type 2 Pada *Solar Tracker*

Kategori	Pukul		
	06.00	12.00	17.00
<i>Rise Time</i>	0,0056	$5.828 \cdot 10^{-4}$	$7,368 \cdot 10^{-4}$
<i>Settling Time</i>	0,6939	12,9996	22, 995
<i>Overshoot</i>	2, 821	0, 9975	1, 5285
<i>Error Steady State</i>	0.414 %	0.1167 %	0, 115 %
<i>Set Point (Watt)</i>	227	243,5	228

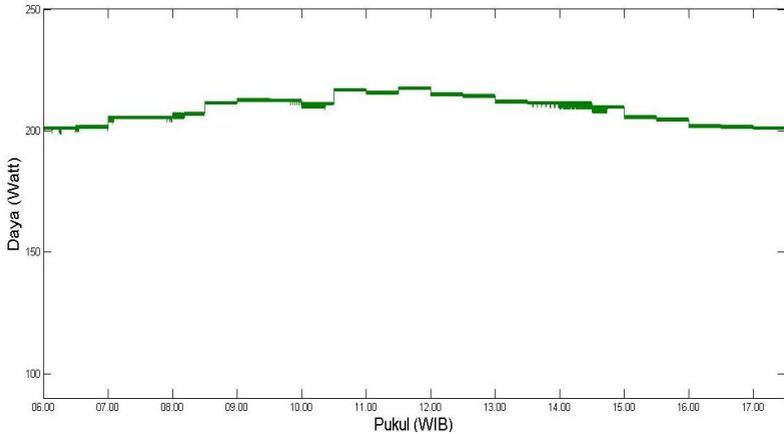
Dari peformansi yang ditunjukkan dari kontroler PSO- Fuzzy type 2, dapat diketahui nilai *overshoot* paling rendah terjadi pada siang hari dengan nilai 0,9975%. Pada sore hari terjadi *ripple* daya yang besar bila dibandingkan dengan siang hari. Nilai *overshoot* paling rendah terjadi pada siang hari yaitu dengan *overshoot* sebesar 0.9975. Sedangkan, waktu *settling time* pada siang hari dan sore hari terjadi hampir diakhir waktu data yang digunakan untuk *sample*, hal ini dikarenakan *ripple* yang dihasilkan oleh keduanya besar sehingga sulit untuk menentukan keadaan steady dari respon.

4.6 Simulasi Uji kontroler Fuzzy, Fuzzy-PSO dan PSO- Fuzzy type 2

Simulasi uji daya dari kontroler Fuzzy, Fuzzy- PSO dan PSO- Fuzzy type 2 bertujuan untuk mengetahui peforma dari setiap kontroler terhadap keluaran daya PV *fixed* yang dihasilkan.

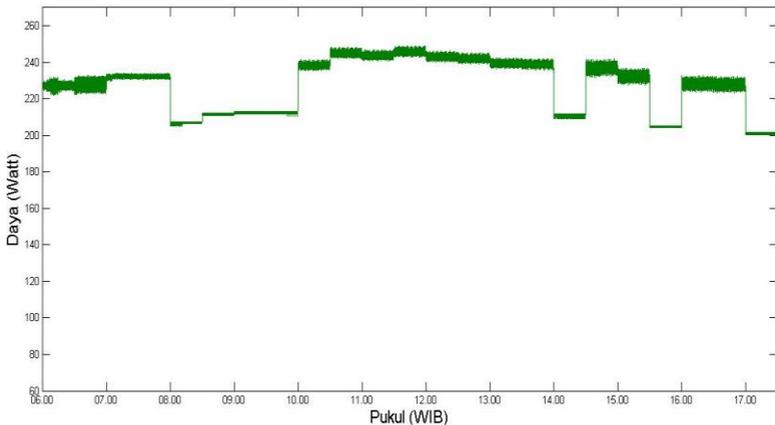
4.6.1 PV *fixed Mobile*

PV *fixed* diberikan 3 jenis kontroler yaitu fuzzy, fuzzy-PSO dan PSO- Fuzzy type 2 yang tergabung dalam sistem MPPT.



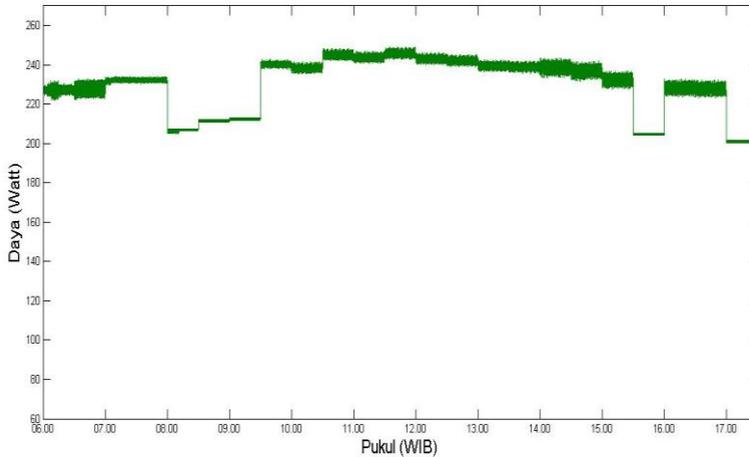
Gambar 4.18 Grafik Daya PV *Fixed* dengan Kontroler Fuzzy

Pada gambar 4.18 ditunjukkan bahwa daya yang dihasilkan oleh kontroler Fuzzy masih mengalami naik turun dan tidak stabil. PV *fixed* dengan kontroler MPPT menggunakan fuzzy mampu menghasilkan daya sekitar 4799,558 Watt dan mampu menaikkan daya PV *fixed* sebesar 66,538 %.



Gambar 4.19 Grafik Daya PV *Fixed* dengan kontroler Fuzzy-PSO

Kontroler Fuzzy-PSO menunjukkan peningkatan daya daripada kontroler fuzzy. Kontroler Fuzzy- PSO pada PV *fixed* mampu menghasilkan daya sekitar 5164,227 Watt. Sehingga kontroler Fuzzy- PSO mampu menaikkan daya sekitar 79,192% dari daya yang dihasilkan PV *fixed* tanpa MPPT.



Gambar 4.20 Grafik Daya PV *Fixed* dengan kontroler PSO-Fuzzy type 2

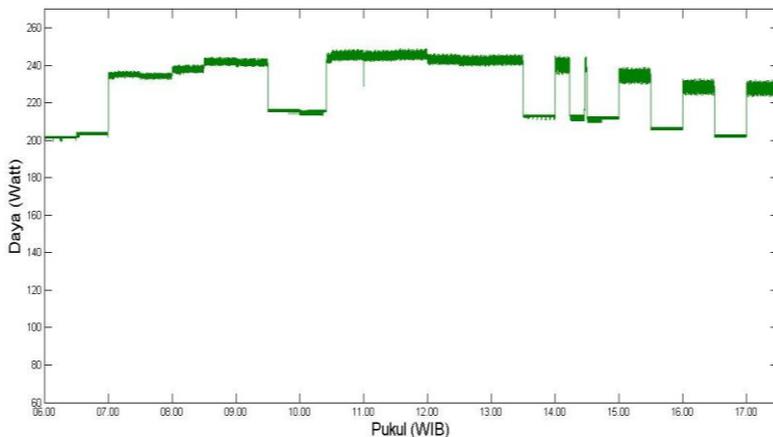
Performansi dari kontroler PSO- Fuzzy type 2 lebih baik bila dibandingkan dengan kontroler fuzzy- PSO dan fuzzy. Kontroler PSO- Fuzzy type 2 pada PV *fixed* mampu menghasilkan daya sekitar 5213,228 Watt dan menaikkan daya sekitar 80,892%.

Dari hasil yang ditunjukkan dapat dikatakan bahwa kontroler PSO- Fuzzy type 2 lebih cocok digunakan oleh PV *fixed* dari pada kontroler Fuzzy dan kontroler Fuzzy PSO. Walaupun hasil dari kontroler PSO- fuzzy type 2 hampir sama dengan *solar tracker* menggunakan kontroler Fuzzy- PSO. Hal ini membuktikan bahwa PSO mampu memperbaiki *membership* dari kontroler fuzzy untuk memperoleh output *duty cycle* yang lebih baik. Selain itu PSO membantu mencari MPP pada keadaan lingkungan yang ekstrem atau lingkungan yang mengalami

perubahan iradiasi dan temperatur dengan cepat. Sedangkan kontroler Fuzzy type-2 mampu membantu mengatasi ketidakpastian (*Uncertainties*) yang tidak mampu diatasi oleh kontroler fuzzy type 1.

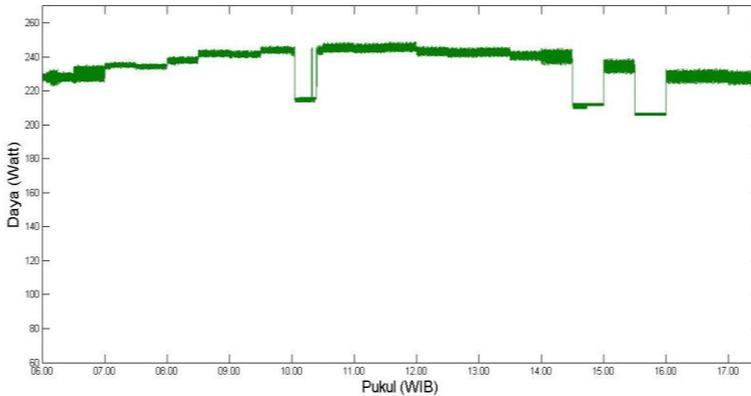
4.6.1 *Single Axis Solar Tracker*

Pada *Single Axis solar tracker* diberlakukan 3 jenis kontroler yaitu fuzzy, fuzzy-PSO dan PSO- Fuzzy type 2. *Rule* dari setiap kontroler sama hanya berbeda *membership function* saja.



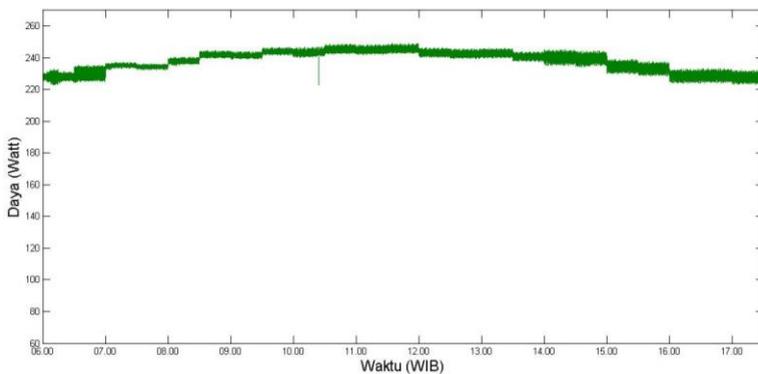
Gambar 4.21 Grafik Daya *Solar Tracker* dengan kontroler Fuzzy

Pada gambar 4.21 ditunjukkan bahwa daya yang dihasilkan oleh kontroler Fuzzy masih mengalami tidak stabil. *Solar tracker* dengan kontroler MPPT fuzzy mampu menghasilkan daya sebesar 5291,012 Watt dengan kenaikan sebesar 54,824 % dari daya yang dihasilkan *solar tracker* tanpa MPPT. Selain itu, terlihat pula adanya ketidak stabilan dari daya yang keluar pada pukul 14.00 hingga 15.00. Hal ini mungkin dikarenakan error yang dihasilkan berada pada *membership* yang berbeda-beda sehingga menyebabkan daya yang keluar tidak stabil dalam satu waktu.



Gambar 4.22 Grafik Daya *Solar Tracker* dengan kontroler Fuzzy-PSO

Kontroler Fuzzy-PSO menunjukkan peningkatan performa lebih baik daripada kontroler fuzzy. Daya yang dihasilkan oleh *Solar tracker* dengan kontroler MPPT fuzzy- PSO sebesar 5448,795 Watt dengan kenaikan sebesar 59,441%. Namun, masih menunjukkan beberapa titik yang belum mencapai daya maksimal dari *solar tracker*. Dari grafik gambar 4. 22 menunjukkan bahwa *ripple* daya pada *solar tracker* sudah berkurang dari pada dengan kontroler fuzzy saja.



Gambar 4.23 Grafik Daya solar tracker dengan kontroler PSO-Fuzzy type 2

Dari gambar 4.23 dapat dilihat bahwa kontroler PSO- Fuzzy type 2 memiliki output yang stabil dari pagi hari hingga sore hari. Seluruh keluaran kontroler PSO- Fuzzy type 2 lebih besar daripada *solar tracker* tanpa MPPT. Kontroler PSO- Fuzzy type 2 pada *solar tracker* menghasilkan daya sebesar 5540,850 Watt dengan kenaikan 62,135% dari *solar tracker* tanpa MPPT.

Dari hasil yang ditunjukkan pada gambar 4.12, 4.13 dan 4.14 menunjukkan bahwa performa dari kontroler PSO- Fuzzy type 2 merupakan kontroler yang paling cocok untuk *single axis solar tracker*. Hal ini dikarenakan fuzzy yang telah dioptimasi oleh PSO mengalami perubahan *membership function* sehingga input error dan delta error sebagai masukan kontroler menempati rentang *membership function* fuzzy yang baru. PSO juga membantu *solar tracker* untuk *men-tracking* MPP agar mendapatkan daya yang optimum. Sedangkan metode fuzzy type 2 membantu kontroler dalam bentuk fuzzy type 1 untuk mengatasi ketidakpastian (*uncertainties*) yang tidak bisa diatasi oleh fuzzy type 1. Hal ini dikarenakan FOU yang terdapat pada fuzzy type-2 mampu menutupi (*to cover*) domain input dan output fuzzy. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kontroler PSO- Fuzzy type 2 lebih bagus performanya dibandingkan dengan kontroler fuzzy dan PSO- fuzzy type 2 pada *single axis solar tracker*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data yang telah dilakukan maka didapatkan kesimpulan dari tugas akhir mengenai kombinasi *maximum power point tracking* dan *single axis solar tracker* menggunakan metode hybrid PSO- Fuzzy type 2 adalah sebagai berikut :

1. Parameter yang berpengaruh dalam perancangan MPPT pada *single axis solar tracker* dengan metode PSO -Fuzzy type 2 yaitu irradiasi matahari dengan nilai 923,2 Watt/m², temperatur sebesar 33,2 °C, kecepatan angin bernilai 0,1 m/s² dan RH bernilai 14,1 % yang mengenai PV serta nilai FOU fuzzy type 2 yaitu $\pm 0,3$ menghasilkan daya sebesar 247,478 Watt.
2. *Solar Tracker* dengan kontroler fuzzy mampu menghasilkan daya sekitar 5291,012 watt, dengan kontroler fuzzy- PSO mampu menghasilkan daya sekitar 5448,795 watt, sedangkan dengan kontroler PSO- Fuzzy type 2 5540,850 watt. Sehingga, kontroler Fuzzy mampu meningkatkan daya sebesar 54,824 % , kontroler fuzzy- PSO mampu meningkatkan daya sebesar 59,441%, sedangkan PSO- fuzzy type 2 mampu meningkatkan daya sebesar 62,135 % terhadap *Solar tracker* tanpa MPPT.

5.2 Saran

Saran yang diberikan untuk pengembangan tugas akhir pada penelitian ini adalah:

- a. Mengganti jenis error yang akan digunakan untuk input kontroler pada MPPT untuk mengurangi *ripple* pada tegangan dan arus.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, I., Musyafa, A., & Soeprijanto, A. (2015). Design and Implementation of Active Axes Solar Tracking System Using Particle Swarm Optimization Based Fuzzy Logic Controller. *International Review on Modelling Simulations*, 640-652.
- Bhat, S., & Balla, R. (2017). Fuzzy Logic Based Particle Swarm Optimization MPPT Technique for Power Conditioning System. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 57-66.
- Castillo, O., & Melin, P. (2008). *Type-2 Fuzzy Logic : Theory and Applications*. Tijuana: Springer.
- Cheng, P.-C., Peng, B.-R., Liu, Y.-H., Cheng, Y.-S., & Huang, J.-W. (2015). Optimization of a Fuzzy-Logic-Control-Based MPPT Algorithm Using the Particle Swarm Optimization Technique. *Energies*, 5338-5360.
- Danandeh, M., & Mousavi, S. (2017). Comparative and comprehensive review of maximum power point tracking. *Renewable and Sustainable Energy*, 1-25.
- El Khateb, A., Rahim, N. A., & Selvaraj, J. (2013). Type-2 Fuzzy Logic Approach of a Maximum Power Point Tracking Employing SEPIC Converter for Photovoltaic. *Journal of Clean Energy Technologies*, 41-44.
- G.Rigatos, G. (2007). *Adaptive fuzzy control of DC motors using state and output feedback*. IEEE.
- Hart, D. W. (2011). *Power Electronics*. New York, America: McGraw- Hill.
- Jouda, A., Elyes, F., Rabhi, A., & Abdelkader, M. (2017). Optimization of Scaling Factors of Fuzzy-MPPT Controller for Stand-alone Photovoltaic System by Particle Swarm Optimization. *8th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings* (pp. 954-963). Turin: Elsevier.
- Khateb, A. H., Rahim, N. A., & Selvaraj, J. (2013). Type-2 Fuzzy

- Logic Approach of a Maximum Power Point. *Journal of Clean Energy Technologies*, 41-44.
- Lee, K. Y., Chung, C. Y., Huang, B.-J., Kuo, T.-J., Yang, H.-W., Cheng, H.-Y., . . . Li, K. (2017). A novel Algorithm for Single- Axis Maximum Power Point Generation Sun Trackers. *Energy Conversion and Management*, 544-552.
- Moradi, H., Abtahi, A., & Messenger, R. (2016). Annual Performance Comparison Between Tracking and Fixed Photovoltaic Arrays. *IEEE*, 3179-3183.
- Ozek, M. B., & Akpolat, Z. H. (2007). A Software Tool: Type-2 Fuzzy Logic Toolbox. 137-145.
- P.C, K. (2002). Analysis of electric machinery and drive systems. *IEEE Press*.
- Ray, S., & Tripathi, A. K. (2016). Design and Development of Tilted Single Axis and Azimuth- Altitude Dual Axis Solar Tracking Systems. *Intelligent Control and Energy Systems*, 1-6.
- Siddik, D., Musyafa, A., & Hantoro, R. (2014). Rancang Bangun Buck-Boost Converter Pada Panel Surya Menggunakan Metode Kontrol PI Dan PID Berbasis Mikrokontroler ATmega 8535. *ITS paper*, 1-6.
- Soufi, Y., Bachouat, M., & Kahla, S. (2016). Fuzzy- PSO Controller design for Maximum Power Point Tracking in Photovoltaic System. *Hydrogen Energy*, 1-9.
- Tamizhmani, G., Ji, L., Tang, Y., & Petacci, L. (2003). PHOTOVOLTAIC MODULE THERMAL/WIND PERFORMANCE: Long-Term Monitoring and Model Development for Energy Rating. *NCPV and Solar Program Review*, 936-939.
- Tiwari, A., Mayuri, V., Prajka, S., & Vrushal, W. (2016). Sun Tracking with Maximum Power Point Tracking. *International Journal of Engineering Science and Computing*, 2451-2454.
- Tobon, A., Palez-Restrepo, J., Villegas-Ceballos, J. P., Serna-Garces, S. I., Herrera, J., & Ibeas, A. (2017). Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic. *Energies*, 1-15.

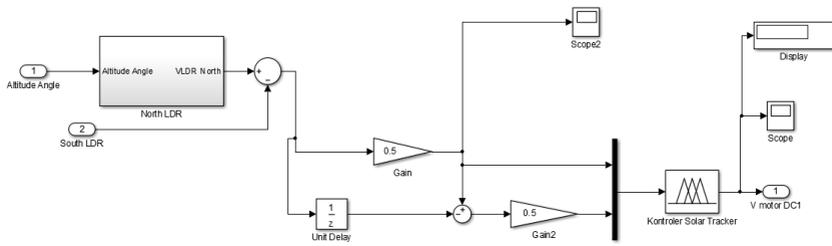
- Tobon, A., Pelaez-Restrepo, J., Villegas-Ceballos, J. P., Serna-Garces, S. I., Herrera, J., & Ibeas, A. (2017). Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic Panels by Using Improved Pattern Search. *Energies*, 1-15.
- Vigneshwaran, S., & Vijayalakshmi, R. (2016). High Efficiency DC/DC Buck Boost Converters for High Power DC System Using Adaptive Control. *American- Eurasian Journal of Scientific Reserch*, 381-389.
- Wu, D. (2012). Approaches for Reducing the Computational Cost of Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems: Overview and Comparisons. *Global Research*, 1-19.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

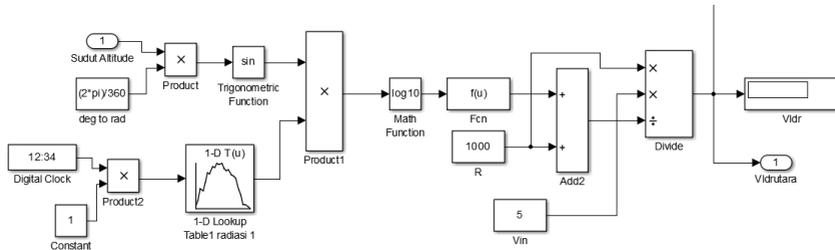
LAMPIRAN A

SUBSYSTEM *SIMULINK* MATLAB R2013a

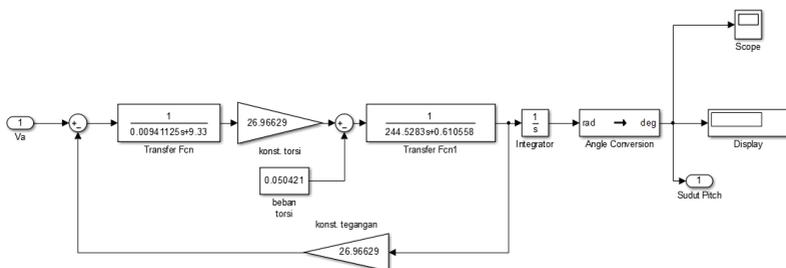
a. Design Kontroler *Single Axis Solar tarcker*



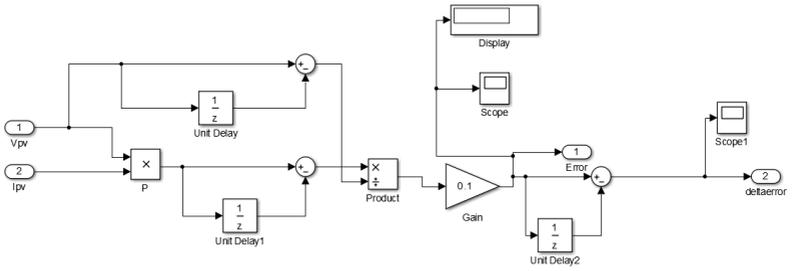
b. LDR *Single Axis Solar Tracker*



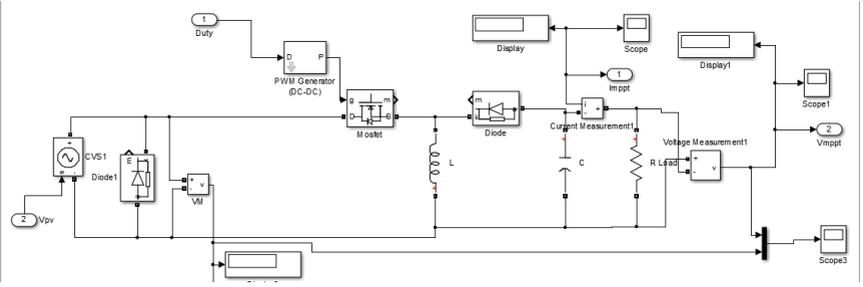
c. Motor DC *single axis solar tracker*



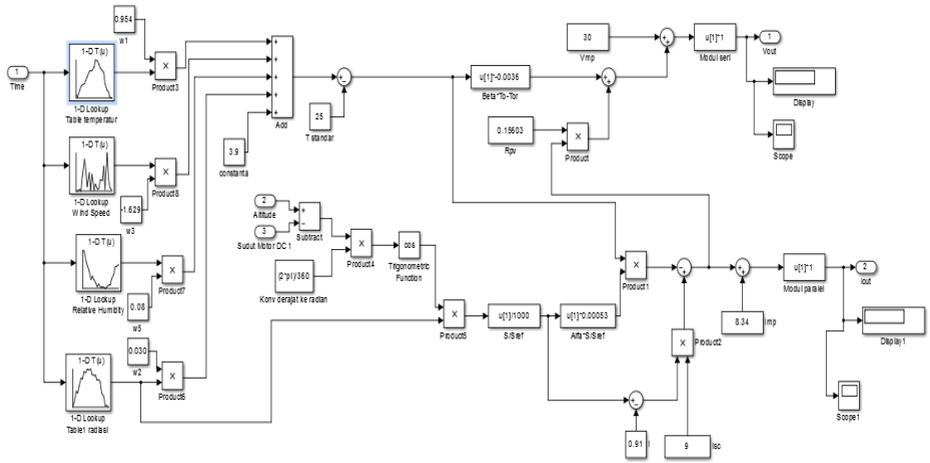
d. Perhitungan input Error dan delta error



e. Konverter DC-DC Buck Boost



f. Pemodelan PV

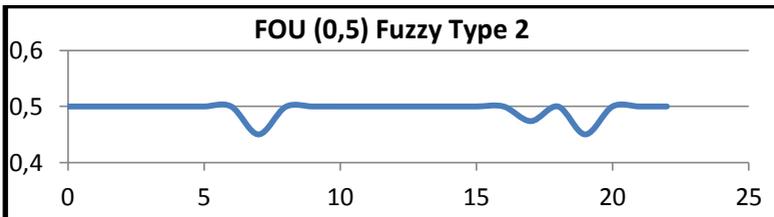
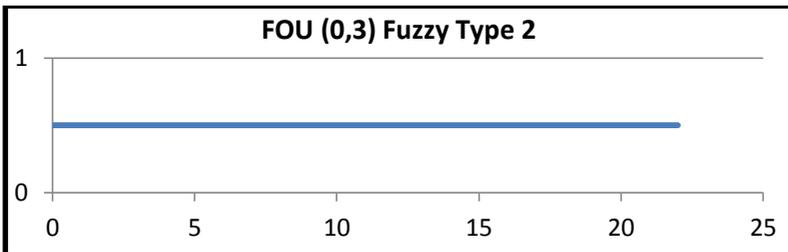
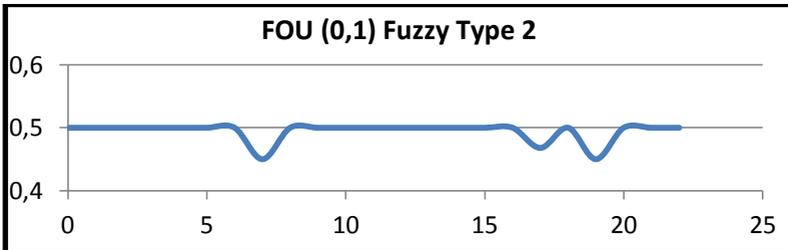


“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN B

FOU Fuzzy Type 2

- a. Perbandingan Kontroler PSO- Fuzzy Type 2 dengan FOU ± 0.1 , ± 0.3 dan ± 0.5 berdasarkan nilai duty cycle



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN C

Tabel Data

a. Tabel Parameter- Parameter T akhir untuk PV

Technology	Module	T pv	Irradia nce	Wind Speed	Humi dity	Const (°C)
		w1	w2 (°C/W m ^{^-2})	w3 (°C/W m ^{^-1})	w4 (°C/RH %)	
Amorhous	1 PTL	0,945	0,025	-1,255	0,181	-2,1
	2 PTL	0,946	0,025	-1,304	0,58	-1,8
	3 PTL	0,981	0,028	-1,647	0,102	3,1
	4 PTL	0,993	0,028	-1,697	0,09	4,7
	5 NREL	0,979	0,023	-1,28	0,018	3,2
	6 NREL	0,959	0,029	-1,433	0,006	5,7
	7 NREL	0,947	0,026	-1,222	0,015	4,6
	Averang e	0,964	0,026	-1,406	0,082	2,5
Monocrysta line Si	1 PTL	0,959	0,03	-1,537	0,157	0,1
	2 PTL	0,955	0,031	-1,518	0,164	0,1
	3 NREL	0,969	0,025	-1,315	0,007	4,5
	Averang e	0,961	0,029	-1,457	0,109	1,57
Copper indumdisele nide	1 PTL	0,95	0,03	-1,611	0,089	1,4
	2 PTL	0,987	0,028	-1,414	0,128	1,3
	3 NREL	0,968	0,029	-1,373	-0,01	6
	Averang e	0,969	0,029	-1,466	0,069	2,9
EPG - Polycrystali ne Si	1 PTL	0,949	0,028	-1,571	0,103	2,7
	2 PTL	0,961	0,029	-1,564	0,128	2,5
	3 NREL	0,969	0,022	-1,224	0,006	4,9
	Averang e	0,96	0,026	-1,453	0,079	3,4
Polycrystall ine Si	1 PTL	0,944	0,031	-1,713	0,127	27
	2 PTL	0,957	0,031	-1,789	0,125	3,5
	3 NREL	0,961	0,028	-1,384	0,012	5,5

	Average	0,954	0,03	-1,629	0,088	3,9
Cadmumtelluride	1 PTL	0,976	0,033	-1,786	0,091	3,3
	2PTL	1,012	0,033	-1,72	0,126	3,4
	3 NREL	0,935	0,027	-1,385	0,002	6,7
	Average	0,975	0,031	-1,631	0,073	4,1

b. Data Irradiasi, kecepatan angin, *Relative Humidity* dan suhu pada PV Fixed Mobile

Waktu	Kecepatan Angin (m/s ²)	Temperatur (°C)	Kelembapan (%)	Intensitas Radiasi (Watt/m ²)
6:00	0,1	24,8	85,3	32,7
6:30	0	23,6	85,5	60,3
7:00	0	25,6	57	269,6
7:30	0	26,6	54,5	266,4
8:00	1,8	27,4	42	338,6
8:30	2	27,8	38,1	581,2
9:00	0,7	29,2	36,1	646,7
9:30	1,5	30,6	33,1	644,2
10:00	2,5	31,8	21,8	566,4
10:30	0,1	32,2	15,9	877,2
11:00	0,4	32,6	22,9	821
11:30	1,1	33,6	16	912,5
12:00	0,8	35,9	16,7	789,4
12:30	0,2	35,6	14	749,4
13:00	0,6	34,6	12	620,2
13:30	0,6	33,1	17,1	594,2
14:00	0,5	32,2	21,4	590
14:30	2,1	31,8	21,1	497,7

15:00	0	27,8	28,3	274,6
15:30	1,4	26,1	40,1	217,2
16:00	2	25	52,7	67,5
16:30	0,4	23,5	54,5	50
17:00	1	23,1	57,3	21,1

c. Data Iradiasi, kecepatan angin, *Relative Humidity* dan suhu pada Solar Tracker Mobile

Waktu	Kecepatan Angin (m/s ²)	Temperatur (°C)	Kelembapan (%)	Intensitas Radiasi (Watt/m ²)
6:00	0	24,2	85,8	69,4
6:30	0	23,4	83,3	174,5
7:00	0,2	25,6	62,4	407,8
7:30	0	26,8	54,7	363,1
8:00	1,8	27,4	46,3	536,3
8:30	3,7	27,8	30	711,6
9:00	2,5	29	35,9	702,2
9:30	0,5	30,1	29,6	846,2
10:00	2,2	31,8	23,1	833,2
10:30	0,1	32	16	920,4
11:00	2	32,2	21,1	894,9
11:30	0,1	33,2	14,1	923,2
12:00	0,8	35,8	16,9	804,5
12:30	0,2	35,4	13,6	769,4
13:00	0,3	34,2	12,6	779,4
13:30	1,4	32,9	16,7	672,3
14:00	1,2	32	19,4	661,2
14:30	2,9	31,6	19,2	610,8
15:00	0,2	27,8	31,4	373,8
15:30	4,5	25,6	40,2	285,1

16:00	1,5	25	52,4	79,9
16:30	0,4	23,4	54,2	91,4
17:00	0,1	23	57,3	46,1

d. Perbandingan Daya PV *Fixed* dengan Daya *Solar tracker*

Waktu	PV <i>Fixed</i>			<i>Solar Tracker</i>		
	P(Watt)	V(Volt)	I (A)	P(Watt)	V(Volt)	I (A)
6:00	12,760	28,731	0,444	22,347	28,780	0,777
6:30	19,920	28,771	0,692	48,454	28,913	1,676
7:00	74,760	29,043	2,574	111,504	29,212	3,817
7:30	73,904	29,036	2,545	100,104	29,163	3,433
8:00	93,093	29,141	3,195	147,056	29,400	5,002
8:30	158,290	29,456	5,374	193,901	29,636	6,543
9:00	176,010	29,528	5,961	189,368	29,603	6,397
9:30	175,335	29,526	5,939	227,064	29,764	7,629
10:00	154,227	29,430	5,240	221,845	29,746	7,458
10:30	239,366	29,818	8,028	246,747	29,851	8,266
11:00	223,774	29,744	7,523	240,846	29,833	8,073
11:30	249,196	29,865	8,344	249,474	29,861	8,355
12:00	214,971	29,696	7,239	217,155	29,706	7,310
12:30	203,945	29,642	6,880	208,758	29,666	7,037
13:00	168,688	29,482	5,722	212,155	29,686	7,147
13:30	161,654	29,452	5,489	182,887	29,558	6,187
14:00	160,525	29,448	5,451	180,398	29,547	6,105
14:30	135,647	29,339	4,623	166,314	29,492	5,639
15:00	76,085	29,050	2,619	102,594	29,180	3,516
15:30	60,973	28,986	2,104	78,967	29,094	2,714
16:00	21,807	28,796	0,757	25,026	28,810	0,869
16:30	17,25	28,769	0,600	28,008	28,823	0,972

17:00	9,766	28,736	0,340	16,463	28,764	0,572
jumlah	2881,952			3417,435		

e. Perbandingan daya PV *Fixed* MPPT dengan Solar Tracker MPPT

Waktu	Daya PV Fixed MPPT (Watt)	Daya Solar Tracker MPPT (Watt)
6:00	222,077	230,850
6:30	222,361	234,276
7:00	225,332	236,741
7:30	230,556	236,285
8:00	205,000	239,780
8:30	207,860	244,026
9:00	211,328	242,976
9:30	238,947	246,279
10:00	236,323	245,490
10:30	239,216	248,157
11:00	242,294	247,616
11:30	243,514	247,780
12:00	240,876	245,883
12:30	240,769	245,073
13:00	237,390	245,800
13:30	237,138	243,405
14:00	233,960	244,691
14:30	222,569	243,145
15:00	228,798	239,214
15:30	204,127	237,096
16:00	218,918	232,861
16:30	223,325	232,392

17:00	200.5514523	231.033
Jumlah	5213,228	5540,850

f. Daya pada PV *fixed*, PV *fixed* dengan Fuzzy, PV *fixed* dengan Fuzzy- PSO, PV *fixed* PSO- Fuzzy type 2 dan PV *Fixed* dengan P&O

Waktu	Daya PV <i>Fixed</i> (Watt)	Daya PV <i>Fixed</i> Fuzzy (Watt)	Daya PV <i>Fixed</i> fuzzy- PSO (Watt)	Daya PV <i>Fixed</i> PSO- Fuzzy type 2 (Watt)	Daya PV <i>Fixed</i> PNO (Watt)
6:00	12,760	201,591	222,077	222,077	222,077
6:30	19,920	201,750	222,361	222,361	222,361
7:00	74,760	205,513	225,332	225,332	225,332
7:30	73,904	205,413	230,556	230,556	230,556
8:00	93,093	205,000	205,000	205,000	231,890
8:30	158,290	207,860	207,860	207,860	237,624
9:00	176,010	211,328	211,328	211,328	239,960
9:30	175,335	212,577	212,577	238,947	238,947
10:00	154,227	211,594	236,323	236,323	236,323
10:30	239,366	217,498	239,216	239,216	239,216
11:00	223,774	216,394	242,294	242,294	242,294
11:30	249,196	218,193	243,514	243,514	243,514
12:00	214,971	215,679	240,876	240,876	240,876
12:30	203,945	214,888	240,769	240,769	240,769
13:00	168,688	212,519	237,390	237,390	237,390
13:30	161,654	210,900	237,138	237,138	237,138
14:00	160,524	209,298	211,329	233,960	233,960
14:30	135,647	207,728	222,569	222,569	222,569
15:00	76,085	205,617	228,798	228,798	206,211

15:30	60,973	204,698	204,127	204,127	204,127
16:00	21,807	201,962	218,918	218,918	218,918
16:30	17,256	201,007	223,325	223,325	201,399
17:00	9,766	200,552	200,552	200,552	200,552
Jumlah	2881,952	4799,558	5164,227	5213,228	5254,002

g. Data Daya pada *Solar Tracker* , *Solar tracker* dengan kontroler fuzzy, *solar tracker* dengan kontroler Fuzzy- PSO dan *solar tracker* dengan kontroler PSO- fuzzy type 2

Waktu	Daya <i>Solar Tracker</i> (Watt)	Daya <i>Solar Tracker</i> Fuzzy (Watt)	Daya <i>Solar Tracker</i> Fuzzy- PSO (Watt)	Daya <i>Solar Tracker</i> PSO- Fuzzy type 2 (Watt)	Daya <i>Solar Tracker</i> P&O (Watt)
6:00	22,347	201,753	230,850	230,850	230,850
6:30	48,454	204,284	234,276	234,276	234,276
7:00	111,504	236,741	236,741	236,741	236,741
7:30	100,104	236,285	236,285	236,285	236,285
8:00	147,056	239,780	239,780	239,780	239,780
8:30	193,901	244,026	244,026	244,026	244,026
9:00	189,368	242,976	242,976	242,976	242,976
9:30	227,064	215,397	246,279	246,279	246,279
10:00	221,845	216,012	214,781	245,490	245,490
10:30	246,747	248,157	248,157	248,158	248,157
11:00	240,846	247,616	247,616	247,616	247,616
11:30	249,474	247,781	247,781	247,781	247,780
12:00	217,156	245,883	245,883	245,883	245,883
12:30	208,758	245,073	245,073	245,073	245,073
13:00	212,155	245,801	245,801	245,801	245,801

13:30	182,887	213,084	243,405	243,405	243,405
14:00	180,398	244,691	244,691	244,691	244,691
14:30	166,314	211,346	212,046	243,145	243,145
15:00	102,594	239,214	239,214	239,214	208,074
15:30	78,967	205,698	206,850	237,096	206,278
16:00	25,026	232,861	232,861	232,861	202,735
16:30	28,008	201,800	232,392	232,392	202,928
17:00	16,463	224,754	231,033	231,033	202,083
Jumlah	3417,435	5291,012	5448,795	5540,850	5390,352

LAMPIRAN D
LISTING PROGRAM MATLABR2013a m.file
Fuzzy- PSO

```
clc;
clear;
close all;

% step1:Menentukan parameter-parameter PSO
% jumlah partikel(n), iterasi maks(imax), inersia
awal(wmax), inersia akhir
% (wmin), konstanta pemberat(c1), konstanta
pemberat(c2)
imax=100;           %iterasi maks(imax)
n=30;              %jumlah partikel
wmax=0.9;          %inersia awal(wmax)
wmin=0.3;          %inersia akhir(wmin)
c1=2;              %konstanta pemberat
c2=2;              %konstanta pemberat

for i=1
    % step2:
    % Inisialisasi batas fungsi keanggotaan yang
    sudah ditentukan sebelumnya
    % yang akan digunakan sebagai gbest awal

    % NB MF : a=batas kiri=(tetap); b=batas
    tengah(tetap); c=batas kanan=gbest1
    % negative big membership function (trapesium)
    a(:,i)=-1;
    b(:,i)=4;
    c(:,i)=15;
    % NS MF : d=batas kiri=gbest2; e=batas
    tengah(tetap); f=batas kanan=gbest3
    % negative small - function (segitiga)
    d(:,i)=8;
    e(:,i)=18;
    f(:,i)=28;
    % ZE MF : g=batas kiri=gbest4; h=batas
    tengah(tetap); j=batas kanan=gbest5
```

```

% zero membership function (segitiga)
g(:,i)=20;
h(:,i)=30;
j(:,i)=40;
% PS MF : k=batas kiri=gbest6; l=batas
tengah(tetap); m=batas kanan=gbest7
% positive small membership function (segitiga)
k(:,i)=32;
l(:,i)=44;
m(:,i)=55;
% PB MF : n=batas kiri=gbest8; o=batas
tengah(tetap); p=batas kanan=(tetap)
% positive big membership function (trapesium)
o(:,i)=48;
p(:,i)=57;
q(:,i)=830;

% step3:
% Inialisasi posisi awal (x) secara acak untuk
tiap dimensi dan juga
% kecepatan awal (v=0) untuk tiap partikel pada
tiap dimensi
% NB:
x1(:,i)=(c(:,i)-(rand(n,1)*(c(:,i)-b(:,i))));
%constraint: b<=x1<=c
v1(:,i)=zeros(n,1);
% NS:
x2(:,i)=(e(:,i)-(rand(n,1)*(e(:,i)-d(:,i))));
%constraint: d<=x2<=e
v2(:,i)=zeros(n,1);
x3(:,i)=(f(:,i)-(rand(n,1)*(f(:,i)-e(:,i))));
%constraint: e<=x3<=f
v3(:,i)=zeros(n,1);
% ZERO:
x4(:,i)=(h(:,i)-(rand(n,1)*(h(:,i)-g(:,i))));
%constraint: g<=x4<=h
v4(:,i)=zeros(n,1);
x5(:,i)=(j(:,i)-(rand(n,1)*(j(:,i)-h(:,i))));
%constraint: h<=x5<=j
v5(:,i)=zeros(n,1);
% PS:

```

```

x6(:,i)=(l(:,i)-(rand(n,1)*(l(:,i)-k(:,i))));
%constraint: k<=x6<=l
v6(:,i)=zeros(n,1);
x7(:,i)=(m(:,i)-(rand(n,1)*(m(:,i)-l(:,i))));
%constraint: l<=x7<=m
v7(:,i)=zeros(n,1);
% PB:
x8(:,i)=(p(:,i)-(rand(n,1)*(p(:,i)-o(:,i))));
%constraint: o<=x8<=p
v8(:,i)=zeros(n,1);

% step4:
% Menghitung MSE[mean square error] yang
dihasilkan oleh setiap partikel
% (per baris)yaitu dengan menghitung nilai "myu"
[derajat keanggotaan] tiap dimensi
myu1(:,i)=1; % myu1=derajat keanggotaan
PB batas kiri (a) (tetap)
myu2(:,i)=1; % myu2=derajat keanggotaan
PB batas tengah (b) (tetap)
myu3(:,i)=(c(:,i)-x1(:,i))/(c(:,i)-b(:,i)); %
myu3=derajat keanggotaan PB batas kanan (c)
y1=1; % y1=derajat keanggotaan
ideal PB batas kiri (a) adalah 1 (tetap)
y2=1; % y2=derajat keanggotaan
ideal PB batas tengah (b) adalah 1 (tetap)
y3=0; % y3=derajat keanggotaan
ideal PB batas kanan (c) adalah 0
myu4(:,i)=(x2(:,i)-d(:,i))/(e(:,i)-d(:,i)); %
myu4=derajat keanggotaan PS batas kiri (d)
myu5(:,i)=1; % myu5=derajat keanggotaan
PS batas tengah (e) (tetap)
myu6(:,i)=(f(:,i)-x3(:,i))/(f(:,i)-e(:,i)); %
myu6=derajat keanggotaan PS batas kanan (f)
y4=0; % y4=derajat keanggotaan
ideal PS batas kiri (d) adalah 0
y5=1; % y5=derajat keanggotaan
ideal PS batas tengah (e) adalah 1 (tetap)
y6=0; % y6=derajat keanggotaan
ideal PS batas kanan (f) adalah 0

```

```

myu7(:,i)=(x4(:,i)-g(:,i))/(h(:,i)-g(:,i)); %
myu7=derajat keanggotaan ZE batas kiri (g)
myu8(:,i)=1; % myu8=derajat keanggotaan
ZE batas tengah (h) (tetap)
myu9(:,i)=(j(:,i)-x5(:,i))/(j(:,i)-h(:,i)); %
myu9=derajat keanggotaan ZE batas kanan (j)
y7=0 % y7=derajat keanggotaan
ideal ZE batas kiri (g) adalah 0
y8=1; % y8=derajat keanggotaan
ideal ZE batas tengah (h) adalah 1 (tetap)
y9=0; % y9=derajat keanggotaan
ideal ZE batas kanan (j) adalah 0
myu10(:,i)=(x6(:,i)-k(:,i))/(l(:,i)-k(:,i)); %
myu10=derajat keanggotaan PS batas kiri (k)
m % myu11=derajat keanggotaan
PS batas tengah (l) (tetap)
myu12(:,i)=(m(:,i)-x7(:,i))/(m(:,i)-l(:,i)); %
myu12=derajat keanggotaan PS batas kanan (m)
y10=0; % y10=derajat keanggotaan
ideal PS batas kiri (k) adalah 0
y11=1; % y11=derajat keanggotaan
ideal PS batas tengah (l) adalah 1 (tetap)
y12=0; % y12=derajat keanggotaan
ideal PS batas kanan (m) adalah 0
myu13(:,i)=(x8(:,i)-o(:,i))/(p(:,i)-o(:,i)); %
myu13=derajat keanggotaan PB batas kiri (o)
myu14(:,i) % myu14=derajat keanggotaan
PB batas tengah (p) (tetap)
myu1 % myu15=derajat keanggotaan
PB batas kanan (q) (tetap)
y13=0; % y13=derajat keanggotaan
ideal PB batas kiri (o) adalah 0
y14=1; % y14=derajat keanggotaan
ideal PB batas tengah (p) adalah 1 (tetap)
y15=1; % y15=derajat keanggotaan
ideal PB batas kanan (q) adalah 1 (tetap)

mse(:,i)=((y1-myul(:,i)).^2)+((y2-
myu2(:,i)).^2)+((y3-myul3(:,i)).^2)+((y4-
myu4(:,i)).^2)+((y5-myul5(:,i)).^2)+...

```

```

((y6-my6(:,i)).^2)+((y7-
myu7(:,i)).^2)+((y8-my8(:,i)).^2)+((y9-
myu9(:,i)).^2)+((y10-my10(:,i)).^2)+((y11-
myu11(:,i)).^2)+...
((y12-my12(:,i)).^2)+((y13-
myu13(:,i)).^2)+((y14-my14(:,i)).^2)+((y15-
myu15(:,i)).^2))/15;
% step5:
% Menghitung Inersia, fungsi inersia adalah
untuk mengurangi kecepatan
% perhitungan nilai minimum fungsi obyektif pada
iterasi berikutnya supaya
% lebih teliti sehingga tidak ada nilai yang
terlewatkan
w(:,i)=wmax-((wmax-wmin)/imax)*(i-1);

% step6:Membangkitkan nilai parameter r1 dan r2
secara acak
r1(:,i)=rand();
r2(:,i)=rand();

% step7:Menghitung kecepatan terbaru partikel
(update kecepatan)
pbest1(:,i)=x1(:,i);
gbest1(:,i)=c(:,i);
v1(:,i+1)=(w(:,i)*v1(:,i))+(c1*r1(:,i)*(pbest1(:,i)-x1(:,i)))+(c2*r2(:,i)*(gbest1(:,i)-x1(:,i)));

pbest2(:,i)=x2(:,i);
gbest2(:,i)=d(:,i);
v2(:,i+1)=(w(:,i)*v2(:,i))+(c1*r1(:,i)*(pbest2(:,i)-x2(:,i)))+(c2*r2(:,i)*(gbest2(:,i)-x2(:,i)));

pbest3(:,i)=x3(:,i);
gbest3(:,i)=f(:,i);
v3(:,i+1)=(w(:,i)*v3(:,i))+(c1*r1(:,i)*(pbest3(:,i)-x3(:,i)))+(c2*r2(:,i)*(gbest3(:,i)-x3(:,i)));

```

```

pbest4(:,i)=x4(:,i);
gbest4(:,i)=g(:,i);
v4(:,i+1)=(w(:,i)*v4(:,i))+(c1*r1(:,i)*(pbest4(:,i)-x4(:,i)))+(c2*r2(:,i)*(gbest4(:,i)-x4(:,i)));
pbest5(:,i)=x5(:,i);
gbest5(:,i)=j(:,i);
v5(:,i+1)=(w(:,i)*v5(:,i))+(c1*r1(:,i)*(pbest5(:,i)-x5(:,i)))+(c2*r2(:,i)*(gbest5(:,i)-x5(:,i)));

pbest6(:,i)=x6(:,i);
gbest6(:,i)=k(:,i);
v6(:,i+1)=(w(:,i)*v6(:,i))+(c1*r1(:,i)*(pbest6(:,i)-x6(:,i)))+(c2*r2(:,i)*(gbest6(:,i)-x6(:,i)));
pbest7(:,i)=x7(:,i);
gbest7(:,i)=m(:,i);
v7(:,i+1)=(w(:,i)*v7(:,i))+(c1*r1(:,i)*(pbest7(:,i)-x7(:,i)))+(c2*r2(:,i)*(gbest7(:,i)-x7(:,i)));

pbest8(:,i)=x8(:,i);
gbest8(:,i)=o(:,i);
v8(:,i+1)=(w(:,i)*v8(:,i))+(c1*r1(:,i)*(pbest8(:,i)-x8(:,i)))+(c2*r2(:,i)*(gbest8(:,i)-x8(:,i)));

% step8:Menghitung posisi terbaru partikel
(update posisi)
x1(:,i+1)=x1(:,i)+v1(:,i+1);
x2(:,i+1)=x2(:,i)+v2(:,i+1);
x3(:,i+1)=x3(:,i)+v3(:,i+1);
x4(:,i+1)=x4(:,i)+v4(:,i+1);
x5(:,i+1)=x5(:,i)+v5(:,i+1);
x6(:,i+1)=x6(:,i)+v6(:,i+1);
x7(:,i+1)=x7(:,i)+v7(:,i+1);
x8(:,i+1)=x8(:,i)+v8(:,i+1);

```

```

% step9:Mencari batas baru a dan c berdasarkan
nilai minimum MSE;
[value(:,i),index(:,i)]=min(mse(:,i));
a(:,i+1)=a(:,i);
b(:,i+1)=b(:,1);
c(:,i+1)=pbest1(index(:,i));

d(:,i+1)=pbest2(index(:,i));
e(:,i+1)=e(:,1);
f(:,i+1)=pbest3(index(:,i));

g(:,i+1)=pbest4(index(:,i));
h(:,i+1)=h(:,1);
j(:,i+1)=pbest5(index(:,i));

k(:,i+1)=pbest6(index(:,i));
l(:,i+1)=l(:,1);
m(:,i+1)=pbest7(index(:,i));

o(:,i+1)=pbest8(index(:,i));
p(:,i+1)=p(:,1);
q(:,i+1)=q(:,1);

end

for i=2:imax
    myu1(:,i)=1;          % myu1=derajat keanggotaan
PB batas kiri (a) (tetap)
myu2(:,i)=1;          % myu2=derajat keanggotaan
PB batas tengah (b) (tetap)
myu3(:,i)=(c(:,i)-x1(:,i))/(c(:,i)-b(:,i)); %
myu3=derajat keanggotaan PB batas kanan (c)
y1=1;                % y1=derajat keanggotaan
ideal PB batas kiri (a) adalah 1 (tetap)
y2=1;                % y2=derajat keanggotaan
ideal PB batas tengah (b) adalah 1 (tetap)
y3=0;                % y3=derajat keanggotaan
ideal PB batas kanan (c) adalah 0
myu4(:,i)=(x2(:,i)-d(:,i))/(e(:,i)-d(:,i)); %
myu4=derajat keanggotaan PS batas kiri (d)

```

```

myu5(:,i)=1; % myu5=derajat keanggotaan
PS batas tengah (e) (tetap)
myu6(:,i)=(f(:,i)-x3(:,i))/(f(:,i)-e(:,i)); %
myu6=derajat keanggotaan PS batas kanan (f)
y4=0 % y4=derajat keanggotaan
ideal PS batas kiri (d) adalah 0
y5=1; % y5=derajat keanggotaan
ideal PS batas tengah (e) adalah 1 (tetap)
y6=0; % y6=derajat keanggotaan
ideal PS batas kanan (f) adalah 0
myu7(:,i)=(x4(:,i)-g(:,i))/(h(:,i)-g(:,i)); %
myu7=derajat keanggotaan ZE batas kiri (g)
myu8(:,i)=1; % myu8=derajat keanggotaan
ZE batas tengah (h) (tetap)
myu9(:,i)=(j(:,i)-x5(:,i))/(j(:,i)-h(:,i)); %
myu9=derajat keanggotaan ZE batas kanan (j)
y7=0; % y7=derajat keanggotaan
ideal ZE batas kiri (g) adalah 0
y8=1; % y8=derajat keanggotaan
ideal ZE batas tengah (h) adalah 1 (tetap)
y9=0; % y9=derajat keanggotaan
ideal ZE batas kanan (j) adalah 0
myu10(:,i)=(x6(:,i)-k(:,i))/(l(:,i)-k(:,i)); %
myu10=derajat keanggotaan PS batas kiri (k)
myu11(:,i)=1; % myu11=derajat keanggotaan
PS batas tengah (l) (tetap)
myu12(:,i)=(m(:,i)-x7(:,i))/(m(:,i)-l(:,i)); %
myu12=derajat keanggotaan PS batas kanan (m)
y10=0; % y10=derajat keanggotaan
ideal PS batas kiri (k) adalah 0
y11=1; % y11=derajat keanggotaan
ideal PS batas tengah (l) adalah 1 (tetap)
y12=0; % y12=derajat keanggotaan
ideal PS batas kanan (m) adalah 0
myu13(:,i)=(x8(:,i)-o(:,i))/(p(:,i)-o(:,i)); %
myu13=derajat keanggotaan PB batas kiri (o)
myu14(:,i) % myu14=derajat keanggotaan
PB batas tengah (p) (tetap)
myu15(:,i)= % myu15=derajat keanggotaan
PB batas kanan (q) (tetap)

```

```

y13=0; % y13=derajat keanggotaan
ideal PB batas kiri (o) adalah 0
y14=1; % y14=derajat keanggotaan
ideal PB batas tengah (p) adalah 1 (tetap)
y15=1; % y15=derajat keanggotaan
ideal PB batas kanan (q) adalah 1 (tetap)

```

```

mse(:,i) = (((y1-myu1(:,i)).^2) + ((y2-
myu2(:,i)).^2) + ((y3-myu3(:,i)).^2) + ((y4-
myu4(:,i)).^2) + ((y5-myu5(:,i)).^2) + ...
((y6-myu6(:,i)).^2) + ((y7-
myu7(:,i)).^2) + ((y8-myu8(:,i)).^2) + ((y9-
myu9(:,i)).^2) + ((y10-myu10(:,i)).^2) + ((y11-
myu11(:,i)).^2) + ...
((y12-myu12(:,i)).^2) + ((y13-
myu13(:,i)).^2) + ((y14-myu14(:,i)).^2) + ((y15-
myu15(:,i)).^2)) / 15;

```

```

w(:,i) = wmax - ((wmax-wmin) / imax) * (i-1);
r1(:,i) = rand();
r2(:,i) = rand();

```

```

% cek pbest

```

```

pbest1(:,i) = ((mse(:,i) < mse(:,i-1)) .* x1(:,i)) + ((mse(:,i-1) < mse(:,i)) .* x1(:,i-1));
pbest2(:,i) = ((mse(:,i) < mse(:,i-1)) .* x2(:,i)) + ((mse(:,i-1) < mse(:,i)) .* x2(:,i-1));
pbest3(:,i) = ((mse(:,i) < mse(:,i-1)) .* x3(:,i)) + ((mse(:,i-1) < mse(:,i)) .* x3(:,i-1));
pbest4(:,i) = ((mse(:,i) < mse(:,i-1)) .* x4(:,i)) + ((mse(:,i-1) < mse(:,i)) .* x4(:,i-1));
pbest5(:,i) = ((mse(:,i) < mse(:,i-1)) .* x5(:,i)) + ((mse(:,i-1) < mse(:,i)) .* x5(:,i-1));

```

```

pbest6(:,i)=(mse(:,i)<mse(:,i-1)).*x6(:,i)+(mse(:,i-1)<mse(:,i)).*x6(:,i-1));
pbest7(:,i)=(mse(:,i)<mse(:,i-1)).*x7(:,i)+(mse(:,i-1)<mse(:,i)).*x7(:,i-1));
pbest8(:,i)=(mse(:,i)<mse(:,i-1)).*x8(:,i)+(mse(:,i-1)<mse(:,i)).*x8(:,i-1));

```

```

gbest1(:,i)=c(:,i);
gbest2(:,i)=d(:,i);
gbest3(:,i)=f(:,i);
gbest4(:,i)=g(:,i);
gbest5(:,i)=j(:,i);
gbest6(:,i)=k(:,i);
gbest7(:,i)=m(:,i);
gbest8(:,i)=o(:,i);

```

```

v1(:,i+1)=(w(:,i)*v1(:,i))+(c1*r1(:,i)*(pbest1(:,i)-x1(:,i)))+(c2*r2(:,i)*(gbest1(:,i)-x1(:,i)));
v2(:,i+1)=(w(:,i)*v2(:,i))+(c1*r1(:,i)*(pbest2(:,i)-x2(:,i)))+(c2*r2(:,i)*(gbest2(:,i)-x2(:,i)));
v3(:,i+1)=(w(:,i)*v3(:,i))+(c1*r1(:,i)*(pbest3(:,i)-x3(:,i)))+(c2*r2(:,i)*(gbest3(:,i)-x3(:,i)));
v4(:,i+1)=(w(:,i)*v4(:,i))+(c1*r1(:,i)*(pbest4(:,i)-x4(:,i)))+(c2*r2(:,i)*(gbest4(:,i)-x4(:,i)));
v5(:,i+1)=(w(:,i)*v5(:,i))+(c1*r1(:,i)*(pbest5(:,i)-x5(:,i)))+(c2*r2(:,i)*(gbest5(:,i)-x5(:,i)));
v6(:,i+1)=(w(:,i)*v6(:,i))+(c1*r1(:,i)*(pbest6(:,i)-x6(:,i)))+(c2*r2(:,i)*(gbest6(:,i)-x6(:,i)));
v7(:,i+1)=(w(:,i)*v7(:,i))+(c1*r1(:,i)*(pbest7(:,i)-x7(:,i)))+(c2*r2(:,i)*(gbest7(:,i)-x7(:,i)));

```

```
v8(:, i+1) = (w(:, i) * v8(:, i)) + (c1 * r1(:, i) * (pbest8(:, i) - x8(:, i))) + (c2 * r2(:, i) * (gbest8(:, i) - x8(:, i)));
```

```
x1(:, i+1) = x1(:, i) + v1(:, i+1);  
x2(:, i+1) = x2(:, i) + v2(:, i+1);  
x3(:, i+1) = x3(:, i) + v3(:, i+1);  
x4(:, i+1) = x4(:, i) + v4(:, i+1);  
x5(:, i+1) = x5(:, i) + v5(:, i+1);  
x6(:, i+1) = x6(:, i) + v6(:, i+1);  
x7(:, i+1) = x7(:, i) + v7(:, i+1);  
x8(:, i+1) = x8(:, i) + v8(:, i+1);
```

```
[value(:, i), index(:, i)] = min(mse(:, i));  
a(:, i+1) = a(:, i);  
b(:, i+1) = b(:, 1);  
c(:, i+1) = pbest1(index(:, i));
```

```
d(:, i+1) = pbest2(index(:, i));  
e(:, i+1) = e(:, 1);  
f(:, i+1) = pbest3(index(:, i));
```

```
g(:, i+1) = pbest4(index(:, i));  
h(:, i+1) = h(:, 1);  
j(:, i+1) = pbest5(index(:, i));
```

```
k(:, i+1) = pbest6(index(:, i));  
l(:, i+1) = l(:, 1);  
m(:, i+1) = pbest7(index(:, i));
```

```
o(:, i+1) = pbest8(index(:, i));  
p(:, i+1) = p(:, 1);  
q(:, i+1) = q(:, 1);
```

```
z(:, i) = min(mse(:, i));  
end
```

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN E
LISTING PROGRAM MATLABR2013a m.file
Perturb and Observed

```
function D = PO(V, I, T)
persistent Pn Po dP d dd n;
if isempty(V)
    V=30;
end
if isempty(I)
    I=0;
end
if isempty(Po)
    Po=0;
end
if isempty(Pn)
    Pn=0;
end
if isempty(dP)
    dP=0;
end
if isempty(d)
    d=1;
end
if isempty(dd)
    dd=0;
end
if isempty(n)
    n=1;
end

if (T>n*0.02)
    n=n+1;
    Po=Pn;
    Pn=V*I;
    dP=Pn-Po;

    if (dd==0) % to avoid
dP/dd=inf
        if dP>1
```

```

        dd=0.01;
        d=d+dd;
    else
        if (dP<-1)
            dd=-0.01;
            d=d+dd;
        else
            dd=0;
        end
    end
else
    if ((dP<1) && (dP>-1)) % leave little
margin
        dd=0;
        d=d+dd;
    else
        if ((dP/dd)>0) % positive slop
            dd=0.01;
            d=d+dd;
        else % negative and zero
slop
            dd=-0.01;
            d=d+dd;
        end
    end
end
end

D=d/(d+1); % calculate duty

% code to avoid duty less than 0.1 and more than
0.9
if (D<0.1)
    D=0.1;
    d=D/(1-D);
else
    if (D>0.9)
        D=0.9;
        d=D/(1-D);
    else

```

```
    end  
end  
end
```

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Nama penulis yaitu Tika Lathifa Graffit. Penulis lahir di Madiun, 30 Juli 1995. Pada tahun 2008 penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD Negeri 04 Madiun Lor, pada tahun 2011 menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Madiun, Pada tahun 2014 menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 3 Madiun.

Pada tahun 2014 pula penulis terdaftar sebagai Mahasiswa di Departemen Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Konsentrasi yang didalami pada tugas akhir adalah bidang Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol. Pada bulan Juli 2018 penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan Judul **Kombinasi *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dan *Single Axis Solar Tracker* pada Pembangkit Listrik Skala Kecil Menggunakan Metode Hybrid PSO- Fuzzy Type 2.**

Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, anda dapat menghubungi melalui email: lathifagraffitika@gmail.com.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”