

+



**TUGAS AKHIR - TF 181801**

**PERANCANGAN *CASCADE CLOSE LOOP*  
*CONTROL* PADA *SOLAR TRACKER* BERBASIS  
*PSO-MODIFIED FUZZY ALGORITHM***

NADIA AISYAH  
NRP. 02311745000014

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

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



**FINAL PROJECT - TF181801**  
**DESIGN CASCADE CLOSE LOOP CONTROL IN**  
**SOLAR TRACKER BASED ON PSO-MODIFIED**  
**FUZZY ALGORITHM**

NADIA AISYAH  
NRP.02311745000014

*Supervisors*  
Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.

*DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS*  
*Faculty of Industrial Technology*  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019

***Halaman ini sengaja dikosongkan***

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Nadia Aisyah  
NRP : 02311745000014  
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir saya berjudul Perancangan *Cascade Close Loop Control* pada *Solar Tracker* Berbasis *PSO-Modified Fuzzy Algorithm* adalah bebas dari plagiasi. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 08 Juli 2019  
Yang membuat pernyataan,



Nadia Aisyah  
NRP. 02311745000014

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR**

**“PERANCANGAN *CASCADE CLOSE LOOP CONTROL*  
PADA *SOLAR TRACKER* BERBASIS *PSO-MODIFIED*  
*FUZZY ALGORITHM*”**

**TUGAS AKHIR**

Oleh :

**Nadia Aisyah**  
**NRP. 02311745000014**

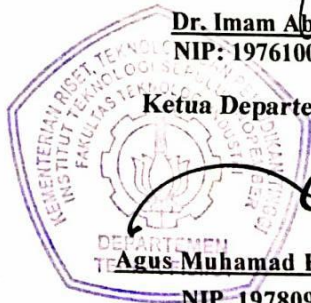
Surabaya, Juli 2019  
Mengetahui/Menyetujui,

Pembimbing



**Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.**  
**NIP: 19761006199903 1 002**

**Ketua Departemen Teknik Fisika**



**Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si, Ph.D**  
**NIP: 19780902 200312 1 002**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



**PERANCANGAN *CASCADE CLOSE LOOP CONTROL*  
PADA *SOLAR TRACKER* BERBASIS *PSO-MODIFIED*  
*FUZZY ALGORITHM***

**TUGAS AKHIR**

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

Oleh :

**Nadia Aisyah**

**NRP. 02311745000014**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

1. Dr. Imam Abadi, S.T., M.T. ....(Pembimbing I)
2. Dr.Ir. Ali Musyafa', M.Sc .....(Ketua Penguji)
3. Dr.Ir. Ronny Dwi Noriyanti, M.Kes .....(Penguji )

**SURABAYA**

**8 JULI 2019**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**PERANCANGAN *CASCADE CLOSE LOOP CONTROL*  
PADA *SOLAR TRACKER* BERBASIS *PSO-MODIFIED*  
*FUZZY ALGORITHM***

**Nama Mahasiswa** : Nadia Aisyah  
**NRP** : 02311745000014  
**Program Studi** : S1 Teknik Fisika  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Imam Abadi, ST. MT.

**ABSTRAK**

*Solar tracker* terbagi menjadi 2 tipe berdasarkan pergerakannya yaitu berbasis pasif dan aktif. Pada aktif *tracker* mengukur intensitas cahaya matahari dengan menggunakan sensor cahaya untuk mengetahui matahari berada pada suatu titik, sedangkan pasif *tracker* tidak menggunakan pengukuran langsung melainkan berdasarkan perhitungan astronomi. Kontrol yang digunakan pada sistem *solar tracker* kali ini ialah *cascade close loop* berbasis *PSO-modified fuzzy algorithm* yang kemudian akan dibandingkan dengan *solar tracker* menggunakan kontrol fuzzy. Setelah dilakukan pengujian *set point* didapatkan hasil terbaik pada kontrol fuzzy yang telah dioptimasi dengan *particle swarm optimization* (PSO) dengan menggunakan *membership function* 5 pada sudut *pitch* 80° dengan indeks performansi yaitu *maximum overshoot* 0%, *rise time* 0,2564 s, *settling time* 0,4755 s, dan *error steady state* 0,0002%. Sedangkan pada *membership function* 5 pada sudut *yaw* 90° dengan indeks performansi yaitu *maximum overshoot* 0%, *rise time* 0,5749 s, *settling time* 0,9785 s, *error steady state* 0,0004%. Kenaikan pada efisiensi gross energi gain sebesar 70,75 Wh atau sebesar 86,03% dan nilai efisiensi netto energi gain sebesar 78,52% dari *photovoltaic fixed*

**Kata kunci** : *Solar Tracker, Cascade, Fuzzy, Particle Swarm Optimization*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**DESIGN CASCADE CLOSE LOOP CONTROL IN SOLAR  
TRACKER BASED ON PSO-MODIFIED FUZZY  
ALGORITHM**

**Name** : Nadia Aisyah  
**NRP** : 02311745000014  
**Study Program** : *Engineering Physics*  
**Supervisor** : Dr. Imam Abadi, ST. MT.

**ABSTRACT**

*Solar tracker is divided to 2 types based on the movement that is passive and active. The active tracker measure the intensity of sun by using a light sensor to find the point of sun, while passive tracker doesn't use direct measurements but based on astronomical calculations. In this research, the control used in the solar tracker system is the cascade close loop based on PSO-modified fuzzy algorithm which will then be compared with the solar tracker using fuzzy control. After testing the set point, the best results were obtained on fuzzy control which was optimized by particle swarm optimization (PSO) by using membership function 5 at a pitch angle of 80o with a performance index of maximum overshoot 0%, rise time 0.2564 s, settling time 0,4755 s, and steady state error 0,0002%. Whereas at membership function 5 at yaw 90o angle with performance index that is maximum overshoot 0%, rise time 0.5749 s, settling time 0.9785 s, error steady state 0.0004%. The increase in the efficiency of gross energy gain is 70.75 Wh or equal to 86.03% and the net energy efficiency gain of 78.52% from photovoltaic fixed*

**Keyword** : *Solar Tracker, Cascade, Fuzzy, Particle Swarm Optimization*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kami ucapkan kehadirat Allah SWT, berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis diberikan kesehatan dan kelancaran dalam menyusun laporan tugas akhir. Tidak lupa juga penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada keluarga dan para sahabat. Oleh karena dukungan mereka, penulis mampu menyusun laporan tugas akhir ini. Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademik yang harus dipenuhi dalam Program Studi S-1 Teknik Fisika FTI-ITS. Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Agus Muhamad Hatta, ST, MSi, Ph.D. selaku ketua departemen Teknik Fisika ITS.
2. Dr. Imam Abadi, S.T, M.T.. selaku dosen pembimbing tugas akhir ini, yang selalu memberikan semangat dan masukan-masukan kepada penulis.
3. Dr.Ir. Ali Musyafa', M.Sc dan Dr.Ir. Ronny Dwi Noriyanti, M.Kes selaku penguji yang telah memberikan banyak masukan penting dalam perbaikan penyusunan tugas akhir ini
4. Segenap Bapak/Ibu dosen pengajar di Departemen Teknik Fisika - ITS.
5. Orang tua saya tercinta, terima kasih atas segala dukungan dan kepercayaan baik moril, spiritual dan material. Semoga selalu dilimpahkan rahmat dan hidayahnya.
6. Segenap keluarga yang telah memberikan dukungan penuh dalam penyelesaian tugas akhir ini.
7. Ahmad Zaky, Amd yang telah membantu dan meluangkan waktunya baik secara fisik maupun batin.
8. Rekan-rekan perkuliahan diantaranya Atika Diyanasari, Amd , Anak Agung Yuniartha, Amd, Zulfa Anis Labiba, Amd , Putri Merlisa, Amd, dan Tirtawati Prabaningtrias Amd yang telah memberikan semangat serta pelajaran.
9. Rekan-rekan sekolah diantaranya Laily Fauziyatun Nisa' S.Farm., Apt , Astri Herdianita, S.Pi, Indana Else, ST, Annisa

Nabilah, S.Ak, Amyra Sekarayu Nintiyas, S.Pi, dan Zakiyah Sekar Firdausi, S.Ak yang telah memberikan semangat.

10. Rekan-rekan seperjuangan tim *solar tracker* diantaranya Ajeng Ayu F, Yesika Eka S A, Dwi Nur Fitriyanah S.T, Jauharotul Maknunah S.T, Kevin Gica E, Muh. Jaza'al Aufa dan Wahyu Zulfikar P yang telah memberikan bantuan-bantuan dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini.
11. Alumni Departemen Teknik Fisika ITS diantaranya Kiki Putri S.T , Nadia Fasa S.T , Moh. Danni A S.T, M. Khalil S.T dan Syahrul Munir S.T yang telah memberikan bantuannya.
10. Rekan-rekan Lintas Jalur TF 2017 yang senantiasa memberikan motivasi.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan Tugas Akhir ini tidaklah sempurna. Oleh karena itu sangat diharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sehingga mencapai sesuatu yang lebih baik lagi kedepannya. Penulis juga berharap semoga laporan ini dapat menambah wawasan yang bermanfaat bagi yang membacanya.

Surabaya, 08 Juli 2019

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....</b>	<b>v</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>vii</b>
<b>TUGAS AKHIR .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xiii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xix</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xxiii</b>
<b>DAFTAR SIMBOL .....</b>	<b>xxv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan .....	4
1.4 Sistematika Laporan .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>7</b>
2.1 <i>Cascade Control</i> .....	7
2.2 <i>Photovoltaic</i> .....	10
2.3 Motor DC .....	11
2.4 Posisi Matahari .....	14
2.5 Solar Tracker .....	17
2.6 <i>PSO – Modified Fuzzy Algorithm</i> .....	19
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>27</b>
3.1 Diagram Alir.....	27
3.2 Studi literatur .....	28
3.3 Pengambilan Data.....	28
3.4 Pemodelan Solar Tracker PSO-Modified Fuzzy Algorithm .....	33
3.5 Validasi Solar Tracker PSO-Modified Fuzzy Algorithm	38
3.6 Perancangan Sistem Kontrol <i>Cascade Close Loop</i> Berbasis <i>PSO-Modified Fuzzy Algorithm</i> .....	42
3.7 Sistem Solar Tracker Kontrol Fuzzy .....	43

3.8	Sistem Solar Tracker Kontrol Cascade Close Loop PSO-Modified Fuzzy Algorithm .....	47
<b>BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>55</b>
4.1	Uji <i>Set Point</i> .....	55
4.2	Uji Tracking .....	67
4.3	Uji Performansi <i>Photovoltaic</i> .....	69
<b>BAB V PENUTUP .....</b>		<b>73</b>
5.1	Kesimpulan.....	73
5.2	Saran.....	73
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>75</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>79</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b>	Diagram Blok <i>Cascade Control</i> .....	7
<b>Gambar 2. 2</b>	Diagram Blok <i>Cascade Control</i> Fungsi Alih .....	8
<b>Gambar 2. 3</b>	Diagram Blok <i>Slave Loop Cascade Control</i> .....	8
<b>Gambar 2. 4</b>	Diagram Blok <i>Master Loop Cascade Control</i> .....	9
<b>Gambar 2. 5</b>	Diagram Blok Akhir <i>Cascade Control System</i> .....	9
<b>Gambar 2. 6</b>	Struktur Sel Surya .....	10
<b>Gambar 2. 7</b>	Motor DC .....	11
<b>Gambar 2. 8</b>	Model Motor DC .....	12
<b>Gambar 2. 9</b>	Garis Lintang dan Bujur terhadap Bumi .....	14
<b>Gambar 2. 10</b>	Sistem Koordinat Horizon .....	15
<b>Gambar 2. 11</b>	<i>Solar Tracker</i> dua sumbu .....	17
<b>Gambar 2. 12</b>	Sistematika Fuzzy Logic Controller .....	20
<b>Gambar 2. 13</b>	Sistematika <i>IF-THEN</i> .....	23
<b>Gambar 2. 14</b>	Diagram Alir Optimasi PSO .....	25
<b>Gambar 3. 1</b>	<i>Flow Chart</i> pengerjaan tugas akhir .....	27
<b>Gambar 3. 2</b>	Pengambilan data .....	28
<b>Gambar 3. 3</b>	Lintang dan Bujur dengan <i>Suncalcorg</i> .....	29
<b>Gambar 3. 4</b>	Pengambilan data motor DC .....	30
<b>Gambar 3. 5</b>	<i>Set up</i> pengukuran arus dan tegangan <i>photovoltaic</i> .....	33
<b>Gambar 3. 6</b>	Model simulasi posisi matahari .....	34
<b>Gambar 3. 7</b>	Model simulasi motor DC .....	36
<b>Gambar 3. 8</b>	Rangkaian listrik pada <i>photovoltaic</i> .....	36
<b>Gambar 3. 9</b>	Model simulasi <i>photovoltaic</i> .....	38
<b>Gambar 3. 10</b>	Validasi sudut <i>altitude</i> .....	39
<b>Gambar 3. 11</b>	Validasi sudut <i>azimuth</i> .....	39
<b>Gambar 3. 12</b>	Validasi motor DC .....	40
<b>Gambar 3. 13</b>	Validasi arus output PV .....	41
<b>Gambar 3. 14</b>	Validasi tegangan output PV .....	41
<b>Gambar 3. 15</b>	Diagram blok pengendalian <i>solar tracker</i> .....	42

<b>Gambar 3. 16</b>	MF 3 sudut <i>pitch error</i> .....	44
<b>Gambar 3. 17</b>	MF 3 sudut <i>pitch delta error</i> .....	44
<b>Gambar 3. 18</b>	MF 5 sudut <i>pitch error</i> .....	44
<b>Gambar 3. 19</b>	MF 5 sudut <i>pitch delta error</i> .....	45
<b>Gambar 3. 20</b>	MF 3 sudut <i>yaw error</i> .....	45
<b>Gambar 3. 21</b>	MF 3 sudut <i>yaw delta error</i> .....	45
<b>Gambar 3. 22</b>	MF 5 sudut <i>yaw error</i> .....	46
<b>Gambar 3. 23</b>	MF 5 sudut <i>yaw delta error</i> .....	46
<b>Gambar 3. 24</b>	Defuzzifikasi pada sudut <i>pitch</i> dan <i>yaw</i> MF3 .....	46
<b>Gambar 3. 25</b>	Defuzzifikasi pada sudut <i>pitch</i> dan <i>yaw</i> MF 5 .....	47
<b>Gambar 3. 26</b>	Fungsi keanggotaan <i>error altitude</i> .....	48
<b>Gambar 3. 27</b>	Fungsi keanggotaan <i>error azimuth</i> .....	48
<b>Gambar 3. 28</b>	Defuzzifikasi pada fuzzy – posisi matahari sudut <i>altitude</i> .....	49
<b>Gambar 3. 29</b>	Defuzzifikasi pada fuzzy – posisi matahari sudut <i>azimuth</i> .....	49
<b>Gambar 3. 30</b>	MF 3 <i>Fuzzy-PSO</i> sudut <i>pitch error</i> .....	50
<b>Gambar 3. 31</b>	MF 3 <i>Fuzzy-PSO</i> sudut <i>pitch delta error</i> .....	50
<b>Gambar 3. 32</b>	MF 5 <i>Fuzzy-PSO</i> sudut <i>pitch error</i> .....	50
<b>Gambar 3. 33</b>	MF 5 <i>Fuzzy-PSO</i> sudut <i>pitch delta error</i> .....	51
<b>Gambar 3. 34</b>	MF 3 <i>Fuzzy-PSO</i> sudut <i>yaw error</i> .....	51
<b>Gambar 3. 35</b>	MF 3 <i>Fuzzy-PSO</i> sudut <i>yaw delta error</i> .....	51
<b>Gambar 3. 36</b>	MF 5 <i>Fuzzy-PSO</i> sudut <i>yaw error</i> .....	52
<b>Gambar 3. 37</b>	MF 5 <i>Fuzzy-PSO</i> sudut <i>yaw delta error</i> .....	52
<b>Gambar 4. 1</b>	Model uji set point pada simulasi matlab .....	56
<b>Gambar 4. 2</b>	Respon uji <i>set point</i> sudut <i>altitude</i> dengan <i>membership function</i> 3 pada sudut (a) 40° (b) 60° (c) 80° .....	58
<b>Gambar 4. 3</b>	Respon uji <i>set point</i> sudut <i>altitude</i> dengan <i>membership function</i> 5 pada sudut (a) 40° (b) 60° (c) 80° .....	60

<b>Gambar 4. 4</b> Respon uji <i>set point</i> sudut <i>azimuth</i> dengan <i>membership function</i> 3 pada sudut (a) 30° (b) 60° (c) 280° .....	63
<b>Gambar 4. 5</b> Respon uji <i>set point</i> sudut <i>azimuth</i> dengan <i>membership function</i> 5 pada sudut (a) 30° (b) 60° (c) 280° .....	65
<b>Gambar 4. 6</b> Respon uji <i>tracking</i> sudut <i>altitude</i> terhadap sudut <i>pitch</i> .....	67
<b>Gambar 4. 7</b> Respon uji <i>tracking</i> sudut <i>azimuth</i> terhadap sudut <i>yaw</i> .....	68
<b>Gambar 4. 8</b> Model <i>solar tracker</i> pada simulasi Matlab .....	69
<b>Gambar 4. 9</b> Hasil keluaran tegangan .....	70
<b>Gambar 4. 10</b> Hasil keluaran arus .....	70
<b>Gambar 4. 11</b> Hasil keluaran daya .....	71

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Tabel nilai n hari dalam setahun .....	16
<b>Tabel 2. 2</b> Fungsi Keanggotaan Fuzzy .....	21
<b>Tabel 2. 3</b> Fungsi Keanggotaan Fuzzy lanjutan .....	22
<b>Tabel 3. 1</b> Nilai parameter-parameter motor DC .....	32
<b>Tabel 3. 2</b> Spesifikasi <i>Photovoltaic</i> .....	33
<b>Tabel 3. 3</b> <i>Rule Base</i> MF 3 .....	47
<b>Tabel 3. 4</b> <i>Rule Base</i> MF 5 .....	47
<b>Tabel 3. 5</b> <i>Rule base</i> fuzzy – posisi matahari sudut <i>altitude</i> .....	49
<b>Tabel 3. 6</b> <i>Rule base</i> fuzzy – posisi matahari sudut <i>azimuth</i> .....	49
<b>Tabel 4. 1</b> Tabel indeks performansi respon sudut <i>pitch</i> dengan <i>membership function</i> .....	3 58
<b>Tabel 4. 2</b> Tabel indeks performansi respon sudut <i>pitch</i> dengan <i>membership function 5</i> .....	61
<b>Tabel 4. 3</b> Tabel indeks performansi respon sudut <i>yaw</i> dengan <i>membership function 3</i> .....	63
<b>Tabel 4. 4</b> Tabel indeks performansi respon sudut <i>yaw</i> dengan <i>membership function 5</i> .....	66

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## DAFTAR SIMBOL

$\alpha$	= Azimuth (derajat)
$\beta$	= Sudut pitch (derajat)
$\gamma$	= Altitude (derajat)
$\gamma_s$	= Sudut yaw (derajat)
$\delta$	= sudut deklinasi (derajat)
$\omega$	= sudut jam (derajat)
$\emptyset$	= Latitude (derajat)
$\theta_z$	= Sudut zenith (derajat)
$\theta_i$	= Sudut datang (derajat)
V	= Tegangan <i>input</i> motor (V)
Ra	= Resistansi Armatur (R)
La	= Induktansi Armatur (H)
Ia	= Arus Armatur (A)
Eb	= <i>Electro motor force</i> e.m.f (V)
$\omega$	= Kecepatan Angular (rad/s)
Tm	= Torsi Motor DC (Nm)
Jm	= Inersia Motor DC (Nm.s <sup>2</sup> )
Bm	= Konstanta Peredaman (Nm.sec/rad)
Kt	= Konstanta Torsi motor DC (Nm/A)
Kb	= Konstanta e.m.f motor DC (Vs/rad)
Va	= Tegangan Masukan (V)
Ra	= Resistansi Elektrik (Ohm)
Ia	= Arus (A)
La	= Induktansi Elektrik (H)
$\omega$	= Kecepatan Angular Motor DC (rad/sec)
Jm	= Inersia Motor (Nm.sec <sup>2</sup> )
Kt	= Konstanta Torsi Motor (N.m/Amp)
B	= <i>Viscous Friction</i> (Nm.sec/rad)
I	= Arus yang keluar dari <i>photovoltaic</i> (A)
I <sub>ph</sub>	= <i>Photocurrent</i> (A)
I <sub>d</sub>	= Arus dioda
I <sub>sh</sub>	= Arus shunt
I <sub>sc</sub> , V <sub>oc</sub>	= Arus <i>short-circuit</i> , tegangan <i>open-circuit</i>

***Halaman ini sengaja dikosongkan***

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Perkembangan zaman serta meningkatnya populasi manusia akan menyebabkan meningkatnya kebutuhan energi di dunia. Peningkatan energi tersebut meliputi konsumsi energi listrik. Pada rentang tahun 2000 hingga 2014, konsumsi listrik mengalami peningkatan sebesar 6,8% pertahunnya [1]. Pada saat ini sebagian listrik di Indonesia diproduksi oleh pembangkit listrik dengan memanfaatkan berbagai sumber daya yang telah tersedia contohnya Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), dan lain-lain. Namun pemanfaatan sumber daya alam untuk pembangkit tenaga listrik masih menggunakan konsumsi energi fosil yang merupakan sumber daya yang tidak dapat diperbaharui maka dari itu pemanfaatan tersebut belum dapat mencukupi kebutuhan listrik sehari-hari. Sehingga perlu adanya sumber energi terbarukan guna mencukupi kebutuhan konsumsi listrik yang terus berkembang. Salah satu energi terbarukan tersebut adalah konversi energi surya (matahari), matahari merupakan sumber energi yang tidak terbatas. Hal tersebut didukung dengan letak geografis Indonesia yang terletak di daerah ekuator tepatnya pada  $6^{\circ}$  LU- $11^{\circ}$  LS dan  $141^{\circ}$  BB- $95^{\circ}$ BT menyebabkan Indonesia menjadi salah satu daerah yang menerima radiasi matahari yang tinggi sepanjang tahun dengan daya rata-rata mencapai  $4,8 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$  [2]. Energi surya atau matahari memiliki berbagai keuntungan diantaranya sumber energi tak terbatas yang diperoleh secara bebas, bersih, dan ekonomis. Namun pemanfaatan energi tenaga surya juga memiliki kelemahan yang diakibatkan oleh tidak menentunya radiasi matahari dan intensitas matahari yang berubah-ubah setiap harinya. Selain itu keterbatasan waktu antara matahari terbit dan terbenam juga menjadi kelemahan dari pemanfaatan energi tenaga surya [3].

Salah satu upaya mengatasi kelemahan tersebut maka dilakukan upaya pemanfaatan energi surya secara maksimal

dengan teknologi yang dapat mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Teknologi tersebut biasa disebut dengan *solar cell (Photovoltaic)*. *Photovoltaic (PV)* merupakan sumber energi alternatif untuk masa depan karena merupakan salah satu sumber daya alam yang mudah untuk diperbaharui [4]. Beberapa tahun ini telah dikembangkan penelitian yang mengupayakan *photovoltaic* bekerja secara maksimal dengan metode *solar tracker*. *Solar tracker* adalah suatu metode yang bertujuan menjaga *photovoltaic (PV)* dalam posisi optimal yaitu tegak lurus terhadap sinar matahari sejak terbitnya matahari hingga terbenamnya matahari [5]. Hal tersebut dengan tujuan meningkatkan energi yang terkumpul dengan menerima intensitas cahaya matahari yang masuk pada *photovoltaic* selalu dalam keadaan maksimum [6]. Pada umumnya, *solar tracker* mempunyai dua tipe yaitu aktif dan pasif. *Solar tracker* aktif memiliki prinsip kerja berdasarkan posisi matahari melalui sensor *Light Dependent Resistor (LDR)* yang terdapat pada *photovoltaic*. *Solar tracker active* satu sumbu merupakan jenis sel surya yang dapat melacak arah pergerakan matahari dari Timur ke Barat menggunakan dua sensor *Light Dependent Resistor (LDR)*, sedangkan *solar tracker active* dua sumbu merupakan jenis sel surya yang dapat melacak pergerakan matahari dari Timur ke Barat dan dari Utara ke Selatan menggunakan empat sensor LDR [7]. Namun *solar tracker active* memiliki kelemahan yaitu rentan terhadap cahaya yang menyebar sehingga menjadi gangguan pada pembacaan sensor LDR tersebut dan di pengaruhi oleh cuaca yang berawan. Sedangkan *solar tracker passive* dapat berfungsi pada kondisi tersebut dimana sistem pasif ini menggunakan menentukan pergerakan posisi matahari. Metode pasif adalah metode yang proses penjejakannya tidak melakukan pengukuran langsung terhadap besaran fisis dari objek atau teknik penjejakan didasarkan atas perhitungan astronomi, sedangkan metode penjejak aktif adalah metode yang proses penjejakannya menggunakan langsung terhadap objek, biasanya menggunakan sebuah sensor [8].

Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan, seperti R. Garrido mengusulkan algoritma kontrol *cascade PI*

dengan NP-PI yang mampu mengoreksi kesalahan *solar tracker* pada *photovoltaic* konsentrasi tinggi, kemudian I. Abadi dan kawan-kawan pada sistem *solar tracker* sumbu tunggal yang diusulkan menawarkan proses konversi energi matahari secara optimal menjadi listrik dengan menggunakan *photovoltaic* (PV) dengan posisi yang mengikuti gerak matahari dengan kontroler logika fuzzy [9], serta W. Batayneh dan kawan-kawan pada desain kontroler fuzzy untuk sistem *solar tracker* dua sumbu [10]. Penggunaan pendekatan *Fuzzy Logic* dapat meningkatkan kinerja sistem dan menyederhanakan aplikasi maka dari itu dalam kinerja yang dilakukan menggunakan metode *cascade close loop control* diharapkan mampu meningkatkan akurasi pelacakan dibandingkan dengan kontrol fuzzy saja. Pada penelitian ini akan dilakukan perancangan *Cascade Close Loop Control* pada *Solar Tracker* berbasis *PSO-Modified Fuzzy Algorithm* menggunakan *software* MATLAB/SIMULINK

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka didapatkan permasalahan pada tugas akhir ini sebagai berikut :

- a. Bagaimana menentukan parameter pada *cascade close loop control* *PSO-Modified Fuzzy Algorithm*?
- b. Apakah sistem *cascade close loop control* *PSO-Modified Fuzzy Algorithm* mampu mengoptimalkan sistem yang berdampak pada peningkatan performansi *photovoltaic* (PV)?

## 1.1 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas ini adalah :

- a. Variable proses yang dikendalikan yaitu sudut pitch-yaw
- b. Sensor posisi yang digunakan yaitu CMPS 10
- c. Aktuator yang digunakan yaitu motor DC 12V
- d. *Software* yang digunakan yaitu Matlab
- e. Kalkulasi perhitungan astronomi menggunakan model geometri
- f. Kapasitas PV yang digunakan sebesar 250 W
- g. Lokasi pengambilan data dilakukan di Teknik Fisika ITS

- h. Pertimbangan konsumsi daya yang digunakan adalah pendekatan *gross* dan *netto* energi *gain*.

### 1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah :

- a. Menentukan parameter pada *cascade close loop control PSO-Modified Fuzzy Algorithm*
- b. Meningkatkan performansi *photovoltaic* (PV) berbasis *cascade close loop control PSO-Modified Fuzzy Algorithm*

### 1.4 Sistematika Laporan

Dalam penyusunan tugas akhir ini, sistematika laporan disusun secara sistematis dan terbagi dalam beberapa bab, yaitu dengan perincian sebagai berikut :

#### **BAB I                   Pendahuluan**

Bab ini berisi tentang penjelasan latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat tugas akhir dan sistematika laporan.

#### **BAB II                   Tinjauan Pustaka**

Pada bab ini berisi tentang teori-teori penunjang tugas akhir, antara lain teori tentang *photovoltaic*, *solar tracker*, posisi matahari, motor DC, *fuzzy logic controller* dan *particle swarm optimization*

#### **BAB III                Metodologi**

Dalam bab ini akan dijelaskan secara detail mengenai langkah-langkah yang harus dilalui untuk mencapai tujuan dan simpulan akhir dari penelitian. Produk akhir dari tahap ini adalah perancangan dan model yang siap untuk dibuat, diuji, dan dianalisa

#### **BAB IV                Analisa Data dan Pembahasan**

Pada bab ini merupakan tindak lanjut dari Bab III, dimana pengujian yang telah dilakukan dan akan didapatkan data, baik data berupa grafik maupun tabulasi, kemudian akan dilakukan analisa dan pembahasan.

**BAB V****Penutup**

Dalam bab ini adalah berisi mengenai kesimpulan pokok dari keseluruhan rangkaian penelitian yang telah dilakukan serta saran yang dapat dijadikan rekomendasi sebagai pengembangan penelitian selanjutnya.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



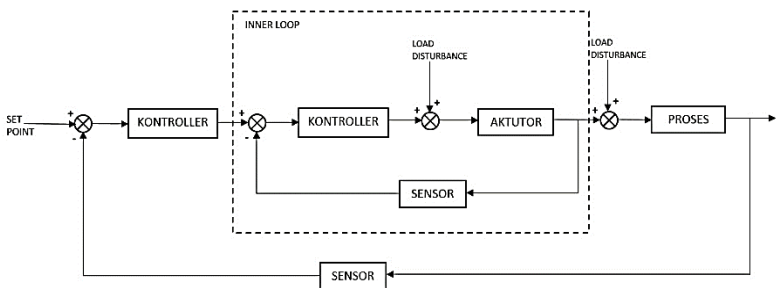
## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian sistem *solar tracker* telah dikembangkan oleh beberapa peneliti baik secara simulasi maupun *prototype*. Penelitian-penelitian tersebut pun dikembangkan berdasarkan beberapa segi diantaranya segi mekanisme *tracking*, jumlah sumbu rotasi, dan penggunaan sistem kontrol. Penelitian ini dilakukan dengan merujuk pada penelitian yang telah dilakukan oleh Imam Abadi (Abadi, Musyafa dan Soeprijanto, 2015). Sistem *solar tracker* yang dikembangkan pada penelitian ini menggunakan sistem *tracking* aktif dengan sistem kontrol *cascade*, oleh karena itu diperlukan beberapa tinjauan pustaka yang menunjang penelitian dibahas pada bab ini.

### 2.1 *Cascade Control*

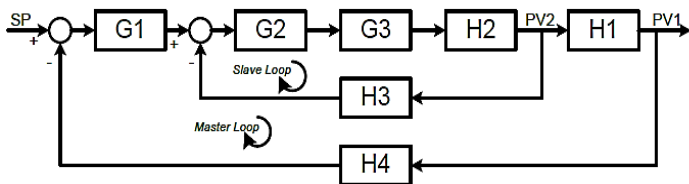
*Cascade control* merupakan teknik kontrol yang sering digunakan karena memungkinkan untuk memperoleh performansi kontroler yang lebih baik bila dibandingkan dengan kontroler tunggal (*single controller*) [11]. *Cascade control* memiliki dua tujuan diantaranya sebagai berikut :

- Untuk mengeliminasi pengaruh gangguan
- Untuk memperbaiki atau meningkatkan performansi *control loop*



**Gambar 2. 1** Diagram Blok *Cascade Control* [11]

Diagram blok sistem *cascade control* diilustrasikan pada gambar 2.1. Kontroler yang terdapat pada *outer loop* disebut sebagai *master* atau *primary controller* sedangkan yang terdapat pada *inner loop* disebut sebagai *auxiliary* atau *secondary controller*. *Cascade control* dapat diilustrasikan memiliki karakteristik dasar yaitu konfigurasi dari dua kontroler dengan satu aktuator, dimana *output* kontroler pertama merupakan *setpoint* untuk kontroler berikutnya. Representasi diagram blok dapat dicari formula fungsi alihnya dengan diagram blok pada gambar 2.2.



**Gambar 2. 2** Diagram Blok *Cascade Control* Fungsi Alih [11]

Keterangan :

$G1$  = *Master Control*

$G2$  = *Slave Control*

$G3$  = *Actuator*

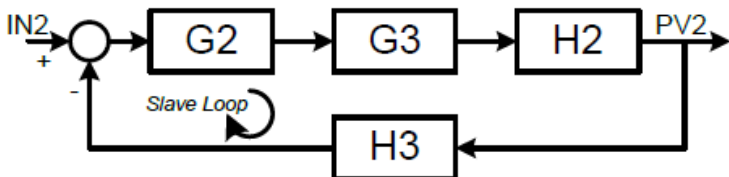
$H2$  = *Proses Slave Loop*

$H1$  = *Proses Master Loop*

$H3$  = *Sensor Slave Loop*

$H4$  = *Sensor Master Loop*

Jika diperhatikan pada *slave loop* didapatkan fungsi alih pertama atau fungsi transfer seperti pada gambar 2.3.

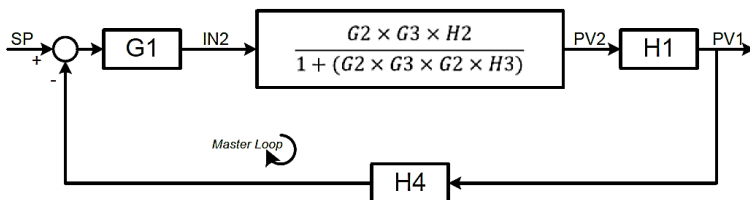


**Gambar 2. 3** Diagram Blok *Slave Loop Cascade Control* [11]

Berdasarkan diagram blok pada gambar 2.3 diperoleh fungsi alih sebagai berikut :

$$TF1 = \frac{PV2}{IN2} = \frac{G2 \times G3 \times H2}{1 + (G2 \times G3 \times G2 \times H3)} \quad (2.1)$$

Setelah diperoleh fungsi alih pertama pada TF1 maka diagram blok sistem keseluruhan dapat diringskas seperti gambar 2.4.

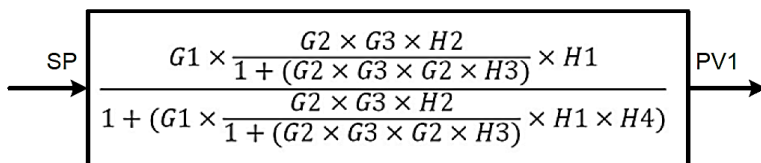


**Gambar 2. 4** Diagram Blok *Master Loop Cascade Control* [11]

Pada gambar 2.4 diperoleh fungsi alih kedua pada TF2 sebagai berikut :

$$TF2 = \frac{PV1}{SP} = \frac{G1 \times TF1 \times H1}{1 + (G1 \times TF1 \times H1 \times H4)} \quad (2.2)$$

$$TF2 = \frac{G1 \times \frac{G2 \times G3 \times H2}{1 + (G2 \times G3 \times G2 \times H3)} \times H1}{1 + (G1 \times \frac{G2 \times G3 \times H2}{(G2 \times G3 \times G2 \times H3)} \times H1 \times H4)} \quad (2.3)$$



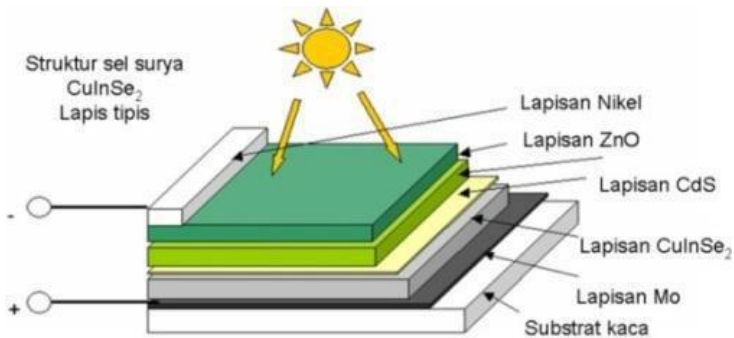
**Gambar 2. 5** Diagram Blok Akhir *Cascade Control System* [11]

Berdasarkan persamaan 2.2 dan persamaan 2.3 didapatkan fungsi alih atau fungsi transfer pada diagram blok akhir sebagaimana pada gambar 2.5.

## 2.2 Photovoltaic

*Photovoltaic* merupakan alat yang terdiri atas sel surya yang mengubah cahaya menjadi listrik. *Photovoltaic* di sebut demikian karena matahari merupakan sumber cahaya terkuat yang dapat dimanfaatkan. Sel surya bergantung pada efek *photovoltaic* untuk menyerap energi matahari dan menyebabkan arus mengalir antara dua lapisan bermuatan yang berlawanan. Berikut merupakan beberapa faktor yang mempengaruhi kerja dari sel surya agar pengoperasiannya dapat mencapai nilai maksimum [12]:

- Suhu permukaan *photovoltaic*
- Radiasi solar matahari (iradiasi)
- Kecepatan angin bertiup
- Keadaan atmosfer bumi
- Orientasi panel atau array OV
- Posisi letak sel surya terhadap matahari



**Gambar 2. 6** Struktur Sel Surya [13]

Sel surya bekerja berdasarkan prinsip dari *photovoltaic*. Penyerapan energi foton matahari pada lapisan deplesi menghasilkan pasangan elektron hole. Pasangan ini akan dihasilkan apabila energi foton matahari lebih besar dari energi gap

material sel surya. Kemudian elektron mengalir melewati *front electrical contact* (konduktor atas) sedangkan pembawa muatan minoritas (*hole*) akan melewati lapisan deplesi menuju ke semikonduktor tipe P. Setelah melewati beban (seperti lampu dan sebagainya) maka elektron akan menuju ke *back electrical contact* dan kembali bertemu dengan *hole* yang disebut dengan rekombinasi. Proses rekombinasi itu sendiri yang nantinya akan membuat sel surya menghasilkan listrik. Proses selanjutnya energi foton diserap lagi dan seterusnya akan berulang membentuk siklus aliran elektron di sel surya [14].

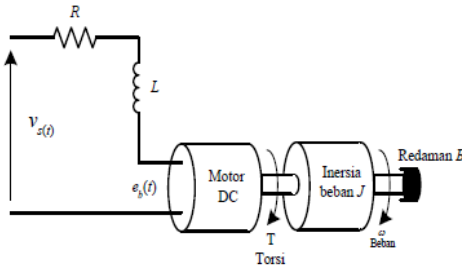
### 2.3 Motor DC

Motor DC merupakan salah satu komponen yang digunakan pada *solar tracker system*. Motor berfungsi sebagai penggerak *photovoltaic* pada satu sumbu maupun dua sumbu. Motor DC mempunyai kelebihan yaitu rpm yang besar, torsi cukup besar (tergantung tipe), aplikasi daya rendah dan performansi yang linier [15].



**Gambar 2. 7** Motor DC [15]

Sebuah kumparan motor dapat dimodelkan sebagai resistor secara seri dengan induktor seperti pada gambar 2.8. Kecepatan motor bernilai nol ketika tagangan yang dihasilkan yaitu tegangan EMF. Tegangan EMF proporsional dengan kecepatan.



**Gambar 2. 8** Model Motor DC [16]

Menurut hukum Tegangan Kirchoff [16] :

$$V(t) = R_a \cdot I_a(t) + L_a \cdot \frac{dI_a(t)}{dt} + E_b(t) \quad (2.4)$$

Dimana  $V$  adalah tegangan yang diaplikasikan ke motor

$$E_b(t) = K_b \cdot \omega(t) \quad (2.5)$$

Torsi yang dihasilkan oleh motor sebanding dengan arus. Menurut Hukum Newton Kedua (rotasi) :

$$T_m(t) = J \frac{d\omega(t)}{dt} + B_m \cdot \omega(t) \quad (2.6)$$

Dimana  $T_m$  adalah torsi motor

$$T(t) = K_t \cdot I_a(t) \quad (2.7)$$

Dimana :

$V_a$  = Tegangan Armatur (V)

$R_a$  = Resistansi Armatur (R)

$L_a$  = Induktansi Armatur (H)

$I_a$  = Arus Armatur (A)

$E_b$  = Back EMF (V)

$\omega$  = Kecepatan Angular (rad/s)

$T_m$  = Torsi Motor (Nm)

$\Theta$  = Posisi Angular Shaft Rotor (rad)

$J_m$  = Inersia Motor (Nm.s<sup>2</sup>)

$B_m$  = Viscous Friction Coefficient (Nm.sec/rad)

$K_t$  = Konstanta Torsi (Nm/A)  
 $K_b$  = *Back EMF Constant* (Vs/rad)

Persamaan 2.4 dan 2.6 menggambarkan perilaku dinamis dari motor. Persamaan (2.4), (2.5), (2.6) dan (2.7) dapat diatur kembali yaitu pada persamaan (2.8) dan (2.9) untuk pembuatan blok diagram.

$$V_a(t) = R_a \cdot I_a(t) + L_a \frac{dI_a(t)}{dt} + K_b \cdot \omega(t) \quad (2.8)$$

$$K_t \cdot I_a(t) = J_m \frac{d\omega(t)}{dt} + B_m \cdot \omega(t) \quad (2.9)$$

Transformasi *Laplace* dari persamaan (2.8) dan (2.9) yaitu

$$V_a(s) = R_a \cdot I_a(s) + L_a \cdot I_a(s)S + K_b \cdot \omega(s) \quad (2.10)$$

$$K_t \cdot I_a(s) = J_m \cdot \omega(s)S + B_m \cdot \omega(s) \quad (2.11)$$

Jika arus didapatkan dari persamaan (2.10) dan disubstitusikan ke persamaan (2.11) maka

$$V_a(s) = \omega(s) \cdot \frac{1}{K_t} \cdot [L_a \cdot J_m \cdot S^2 + (R_a \cdot J_m + L_a \cdot B_m)S + (R_a \cdot B_m + K_b \cdot K_t)] \quad (2.12)$$

Hubungan antara kecepatan *shaft* rotor dan tegangan *armature* kemudian dapat direpresentasikan dalam fungsi transfer berikut ini

$$\frac{\omega(s)}{V_a(s)} = \frac{K_t}{[L_a \cdot J_m \cdot S^2 + (R_a \cdot J_m + L_a \cdot B_m)S + (R_a \cdot B_m + K_b \cdot K_t)]} \quad (2.13)$$

Hubungan antara posisi dan kecepatan yaitu :

$$\theta(s) = \frac{1}{s} \omega(s) \quad (2.14)$$

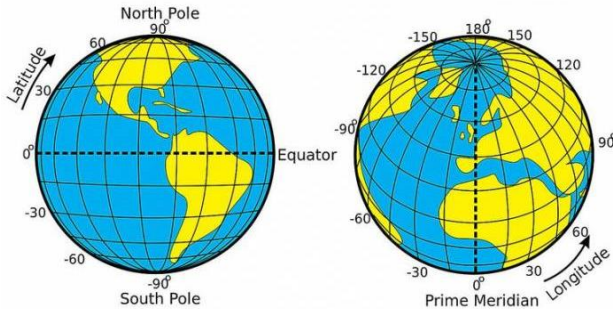
Fungsi transfer antara posisi *shaft* dan tegangan *armature* pada saat tidak terdapat beban yaitu :

$$\frac{\theta(s)}{V_a(s)} = \frac{K_t}{[L_a \cdot J_m \cdot S^2 + (R_a \cdot J_m + L_a \cdot B_m)S + (R_a \cdot B_m + K_b \cdot K_t)]} \quad (2.15)$$

Berdasarkan persamaan (2.13) dapat digambarkan ke dalam model Matlab/Simulink untuk Motor DC yaitu sebagaimana pada gambar 2.9

## 2.4 Posisi Matahari

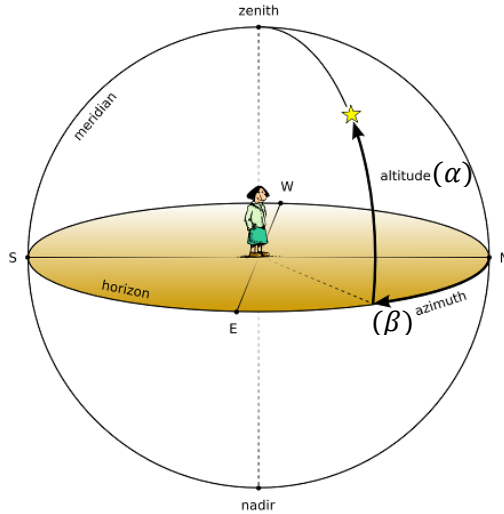
Posisi Matahari ditentukan dengan menggunakan sistem koordinat horizon [17]. Koordinat horizon adalah bidang datar yang menjadi batas antara belahan langit yang dapat diamati dengan belahan langit yang tidak dapat diamati. Sistem koordinat horizon menggunakan pusat koordinat yang berada pada posisi pengamat garis bujur dan garis lintang. Garis bujur adalah garis yang membujur membagi bola bumi menjadi dua bagian yaitu bumi bagian barat dan bagian timur, hal tersebut yang menghubungkan kedua kutub yang melewati kota Greenwich, Inggris. Garis lintang adalah garis khayal yang digunakan untuk menentukan lokasi di bumi terhadap garis khatulistiwa yang mewakili utara dan selatan. Garis khatulistiwa adalah garis yang melintasi bumi dan membagi bumi menjadi dua bagian. Garis khatulistiwa ini merupakan garis 0 pada posisi lintang utara dan lintang selatan, sedangkan kutub utara adalah titik  $90^\circ$  lintang utara dan kutub selatan adalah  $90^\circ$  lintang selatan.



**Gambar 2. 9** Garis Lintang dan Bujur terhadap Bumi [18]

Garis koordinat tersebut dipengaruhi oleh 3 buah sudut yaitu sudut *azimuth*, sudut *altitude* dan sudut *zenith*. Sebagaimana yang tertera pada gambar 2.11 dapat diketahui bahwa sudut *azimuth* ( $\beta$ ) merupakan sudut mendatar yang diukur dari arah  $0^\circ$  searah dengan jarum jam, sedangkan sudut *altitude* ( $\alpha$ ) merupakan ketinggian suatu objek diukur dari garis horizon, dan sudut *zenith* titik teratas tempat pengamat mengamati langit.





**Gambar 2. 10** Sistem Koordinat Horizon [18]

Sudut *azimuth* ( $\beta$ ) dan altitude ( $\alpha$ ) dapat diketahui dengan persamaan (2.17) dan (2.18)

$$\theta_z = \cos^{-1}(\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \omega \cos \phi) \quad (2.16)$$

$$\alpha = 90 - \theta_z \quad (2.17)$$

$$\beta = \mu_{ew} \mu_{ns} \beta_{so} + \left[ \frac{1 - \mu_{ew} \mu_{ns}}{2} \right] \mu_w \quad (2.18)$$

$$\beta_{so} = \sin^{-1} \left[ \frac{\sin \omega \cos \delta}{\sin \alpha} \right] \quad (2.19)$$

$$\mu_{ew} = \begin{cases} 1 \rightarrow |\omega| < \eta_{ew} \\ -1 \rightarrow |\omega| \geq \eta_{ew} \end{cases} \quad (2.20)$$

$$\eta_{ew} = \cos^{-1}(\tan \phi \tan \delta) \quad (2.21)$$

$$\mu_{ns} = \begin{cases} 1 \rightarrow \phi(\phi - \delta) \geq 0 \\ -1 \rightarrow \phi(\phi - \delta) < 0 \end{cases} \quad (2.22)$$

Dimusim panas matahari akan menyinari sebagian besar daerah yang terletak pada bumi bagian utara sehingga membentuk sudut  $23,5^\circ$  terhadap bidang equator. Sudut tersebut disebut dengan sudut deklinasi yang merupakan sudut yang dibentuk oleh berkas sinar matahari apabila diteruskan menuju pusat bumi dan bidang equator. Sudut deklinasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.23).

$$\delta = 23.45 \sin \left[ 360 \frac{(284+n)}{365} \right] \quad (2.23)$$

Pada persamaan 2.23 terdapat  $n$  yang merupakan bilangan hari dalam satu tahun. Nilai  $n$  dapat diketahui dengan menggunakan tabel 2.1.

Jika parameter pada permukaan tracking ialah sudut datang ( $\theta_i$ ), sudut *pitch* ( $\beta$ ) dan sudut *yaw* ( $\gamma_s$ ), dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.21).

$$\theta_i = \cos^{-1}(\cos \theta_z \cos \beta + \sin \theta_z \sin \beta \cos(\gamma_s - \gamma)) \quad (2.24)$$

$$\beta = \theta_z$$

$$\gamma = \gamma_s$$

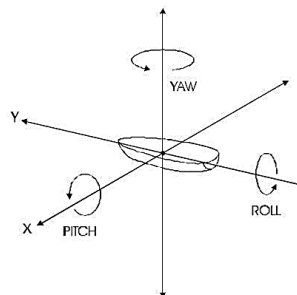
**Tabel 2. 1** Tabel nilai  $n$  hari dalam setahun [17]

Bulan	$n$ (tanggal- $i$ )
Januari	$I$
Februari	$31 + i$
Maret	$59 + i$
April	$90 + i$
Mei	$120 + i$
Juni	$151 + i$
Juli	$181 + i$
Agustus	$212 + i$
September	$243 + i$
Oktober	$273 + i$
Nopember	$304 + i$
Desember	$334 + i$

## 2.5 Solar Tracker

*Solar tracker* atau penjejak matahari adalah gabungan suatu system yang terdiri atas komponen-komponen penyusun. Komponen-komponen penyusun tersebut seperti sensor, actuator, logika control dan *photovoltaic* (PV). *Solar tracker* dirancang dengan tujuan dapat mendeteksi dan mengikuti arah gerak matahari yang berakibat *photovoltaic* (PV) selalu dalam kondisi tegak lurus dengan matahari, apabila posisi *photovoltaic* (PV) selalu dalam kondisi tegak lurus dengan matahari maka daya yang didapatkan selalu optimal. *Solar tracker* memiliki beberapa jenis, berdasarkan jenis tersebut dapat diklasifikasikan menurut jumlah sumbu rotasi. *Solar tracker* berdasarkan sumbu rotasi terbagi menjadi dua yaitu satu sumbu dan dua sumbu [19].

*Solar tracker* satu sumbu dapat memiliki salah satu sudut horizontal ataupun sudut vertical. Sudut horizontal digunakan di daerah tropis yaitu yang mendapatkan matahari sangat banyak di siang hari namun harinya singkat, sedangkan pada sudut vertical digunakan pada yang memiliki garis lintang lebih besar dimana matahari sangat sedikit namun pada saat musim panas dapat sangat panjang. *Solar tracker* dua sumbu dapat memiliki sudut horizontal dan sudut vertical sehingga dapat menjejak matahari dari timur ke barat dan utara ke selatan sehingga dapat digunakan dengan jelas dimanapun belahan dunia. Pada *solar tracker* satu sumbu sudut yang dikendalikan ialah sudut *pitch*, sedangkan pada *solar tracker* dua sumbu sudut yang dikendalikan ialah sudut *pitch* dan sudut *yaw* seperti pada gambar 2.7.



**Gambar 2. 11** *Solar Tracker* dua sumbu [19]

Pergerakan solar tracker dapat terbagi menjadi 2 tipe utama yaitu berbasis *passive tracker* dan *active tracker*. *Active tracker* mengukur intensitas cahaya dari matahari dengan menggunakan sensor cahaya untuk mengetahui matahari berada pada suatu titik tersebut [8]. Salah satu sensor yang sering digunakan ialah *Light Dependent Resistor (LDR)* yang mengubah intensitas cahaya menjadi nilai resistansi. Nilai resistansi tersebut akan diproses oleh rangkaian *voltage divider* menjadi nilai tegangan kemudian akan menjadi masukan dari *controller*. *Controller* tersebut akan menghasilkan keluaran berupa sinyal kontrol yang akan mengendalikan perputaran dari motor listrik. Motor listrik berlaku sebagai penggerak PV agar tegak lurus dengan sinar matahari. Imam A [20] telah mengusulkan desain dan pelaksanaan *solar tracker* aktif dua sumbu dengan kontrol fuzzy berbasis PSO. Sistem yang diusulkan menggunakan sensor cahaya untuk mendeteksi posisi matahari dengan keluaran yang digunakan sebagai masukan kontrol dalam menggerakkan PV sesuai dengan posisi matahari. Sebelum sistem diimplementasikan sebagai alat terlebih dahulu dimodelkan menggunakan simulink MATLAB dengan tujuan simulasi sehingga kinerja kontrol dapat diamati. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa memiliki hasil yang menyerupai antara simulasi dan alat.

*Passive trackers* menggunakan metode yang proses penjejakannya tidak melakukan pengukuran langsung terhadap besaran fisis dari objek atau teknik penjejukan didasarkan atas perhitungan astronomi. Perhitungan astronomi tersebut merupakan *set point* yang diinginkan pada sistem. Hasil perhitungan astronomi tersebut akan dibandingkan dengan menggunakan sensor posisi matahari. Sensor posisi matahari yang sering digunakan ialah CMPS 10. Setelah dibandingkan maka akan menghasilkan *error* dan *delta error* yang kemudian menjadi masukan dari *controller*. *Controller* akan menghasilkan sinyal kontrol yang kemudian akan mengendalikan perputaran dari motor listrik. Motor listrik yang berlaku sebagai aktuator akan menggerakkan PV sesuai dengan

*set point* dari posisi matahari sehingga posisi PV akan tegak lurus dengan arah datang sinar matahari. Imam A [21] telah mengusulkan pengembangan *solar tracker* pasif dua sumbu menggunakan *interval type-2 fuzzy logic controller*. Sistem yang diusulkan menggunakan perhitungan geometri matahari-bumi atau perhitungan astronomi sebagai pemandu kerja dari *solar tracker*. Pada sistem tersebut dilakukan penentuan sudut *azimuth* dan sudut *altitude* menggunakan perhitungan astronomi kemudian divalidasi dengan aplikasi *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Setelah itu dilakukan umpan balik untuk membandingkan posisi PV yang dideteksi melalui sensor posisi.

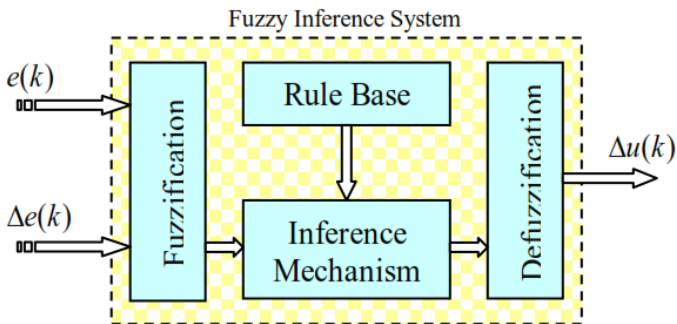
## 2.6 PSO – *Modified Fuzzy Algorithm*

Pada sistem *photovoltaic* menggunakan controller dengan metode *Particle Swarm Optimization-Fuzzy* (PSO-Fuzzy). Controller dengan metode *Particle Swarm Optimization-Fuzzy* (PSO-Fuzzy) merupakan gabungan antara metode *Fuzzy Logic Controller* dengan *Particle Swarm Optimization* (PSO). Penggabungan 2 metode tersebut berfungsi untuk mengoptimasi fungsi keanggotaan (*membership function*) *input* dan *output fuzzy*. Berikut penjelasan mengenai *Fuzzy Logic Controller*, *Particle Swarm Optimization* (PSO), dan *Particle Swarm Optimization-Fuzzy* (PSO-Fuzzy) [20].

### 2.6.1 Fuzzy Logic Controller

Logika fuzzy adalah cabang dari sistem kecerdasan buatan (*Artificial Inteligent*) yang mengemulasi kemampuan manusia dalam berfikir ke dalam bentuk algoritma yang kemudian dijalankan oleh mesin. Algoritma ini digunakan dalam berbagai aplikasi pemrosesan data yang tidak dapat direpresentasikan dalam bentuk biner. Logika fuzzy menginterpretasikan statemen yang samar menjadi sebuah pengertian yang logis. Logika fuzzy memiliki 3 tipe diantaranya logika fuzzy murni, logika fuzzy takagi sugeno, dan logika fuzzy mamdani. Ketiga tipe tersebut dibedakan berdasarkan masukan maupun keluarannya. Pada

logika fuzzy murni memiliki masukan berupa linguistik dan keluaran berupa linguistik pula. Pada logika fuzzy takagi dan sugeno memiliki masukan berupa linguistik dan keluaran berupa numerik. Sedangkan pada logika fuzzy mamdani memiliki masukan berupa numerik dan keluaran berupa numerik pula. Pada dasarnya struktur logika fuzzy dapat digambarkan seperti berikut [21] :



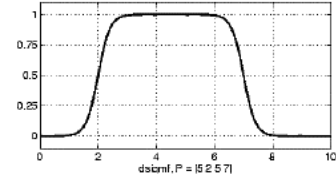
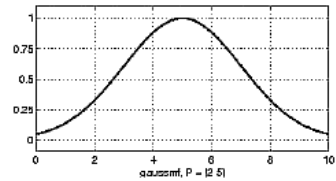
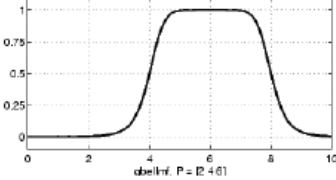
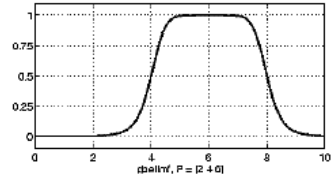
**Gambar 2. 12** Sistematika Fuzzy Logic Controller [22]

Fungsi dari bagian-bagian diatas adalah sebagai berikut :

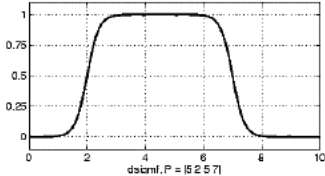
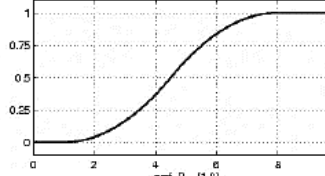
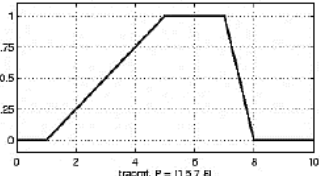
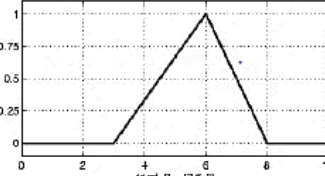
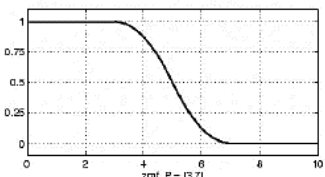
- a. *Input*  
Masukkan pada fuzzy logic berupa *crisp* (variabel fisis) atau bilangan *real*.
- b. Fuzzifikasi  
Himpunan fuzzy merupakan suatu pengembangan lebih lanjut tentang konsep himpunan dalam matematika. Himpunan *fuzzy* adalah rentang nilai-nilai. Masing-masing nilai mempunyai derajat keanggotaan (*membership*) antara 0 sampai dengan 1. Pada kolom fuzzifikasi mengkonversi *crisp* (variabel fisis) menjadi suatu bilangan fuzzy (variable linguistik) menggunakan operator fuzzifikasi. Bagian fuzzifikasi yang berguna untuk memetakan adalah fungsi keanggotaan (*membership function*) yang terdiri dari beberapa segitiga. Semakin banyak jumlah dari *membership*

*function* yang ditentukan maka akan semakin bagus yang akan diperoleh namun untuk melakukan eksekusi memerlukan waktu yang lama dan data yang lebih banyak [23]. Berikut merupakan beberapa macam fungsi keanggotaan :

**Tabel 2. 2** Fungsi Keanggotaan Fuzzy [23]

Fungsi Keanggotaan :	Tipe
Two Sigmoid	
Gaussian	
Generalized bell-shaped	
Generic membership function	

**Tabel 2. 3** Fungsi Keanggotaan Fuzzy lanjutan

Fungsi Keanggotaan :	Tipe
Two Sigmoid	 <p>dsigmf, P = [5 2 5 7]</p>
S-shaped	 <p>smf, P = [1 8]</p>
Trapezoidal-shaped	 <p>trapezmf, P = [1 5 7 8]</p>
Triangular-shaped	 <p>trimf, P = [3 6 8]</p>
Z-shaped	 <p>zmf, P = [3 7]</p>

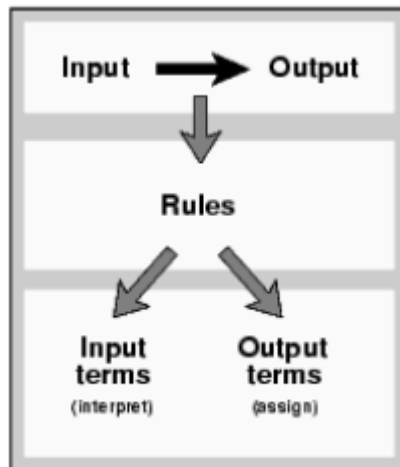
c. *Rule Base dan Fuzzy Inference System*

Berisi aturan-aturan dasar yang mendefinisikan himpunan fuzzy atas daerah-daerah masukan dan



keluaran serta sebagai acuan sistem. Aturan dasar ini menggunakan persamaan *IF – THEN*. *IF-THEN* dalam logika fuzzy akan melakukan pemetaan dari himpunan fuzzy *input* ke himpunan fuzzy *output*. Untuk mendapatkan aturan “*IF-THEN*” ada dua cara utama :

1. Menanyakan ke operator manusia yang dengan cara manual telah mampu mengendalikan sistem tersebut, dikenal dengan “*human expert*”.
2. Dengan menggunakan algoritma pelatihan berdasarkan data-data masukan dan keluaran.



**Gambar 2. 13** Sistematika *IF-THEN* [24]

d. Defuzzifikasi

Keputusan yang dihasilkan dari proses penalaran masih dalam bentuk fuzzy, yaitu berupa derajat keanggotaan keluaran. Hasil ini harus diubah kembali menjadi variabel numerik non fuzzy (crisp) melalui proses defuzzifikasi [24].

### 2.6.2 Particle Swarm Optimization (PSO)

*Particle Swarm Optimization* (PSO) optimasi evolusi teknik berdasarkan pada gerakan dan kecerdasan kawanan.

Perilaku tersebut terdiri dari tindakan individu dan pengaruh dari individu-individu lain dalam suatu kelompok. Dalam konteks optimasi multivariabel, kawanan diasumsikan mempunyai ukuran tertentu atau tetap dengan setiap partikel posisi awalnya terletak di suatu lokasi yang acak dalam ruang multidimensi. Setiap partikel diasumsikan memiliki dua karakteristik: posisi dan kecepatan. Setiap partikel bergerak dalam ruang/space tertentu dan mengingat posisi terbaik yang pernah dilalui atau ditemukan terhadap sumber makanan atau nilai fungsi objektif. Setiap partikel menyampaikan informasi atau posisi bagusnya kepada partikel yang lain dan menyesuaikan posisi dan kecepatan masing-masing berdasarkan informasi yang diterima mengenai posisi yang bagus tersebut [25].

*Particle Swarm Optimization* (PSO) dikenal beberapa istilah untuk menjelaskan konsep dasar dan prinsip kerja dari metode ini yaitu :

- a. *Swarm* menyatakan kelompok individu (populasi) dari algoritma
- b. *Particle* adalah individu di dalam sebuah populasi yang bergerak bersama-sama dengan individu-individu lainnya menuju tujuan yang sama
- c. *Generation* merupakan keadaan dari sebuah populasi yang dievaluasi dan diperbaharui berdasarkan fungsi objektifnya (*fitness*).
- d. *Fitness* adalah sebuah fungsi yang menyatakan jejak-jejak posisi di dalam ruang pencarian sebagai solusi nilai terbaik
- e. *Pbest* adalah nilai terbaik dari sebuah individu
- f. *Gbest* menyatakan nilai terbaik untuk semua individu di dalam sebuah populasi.

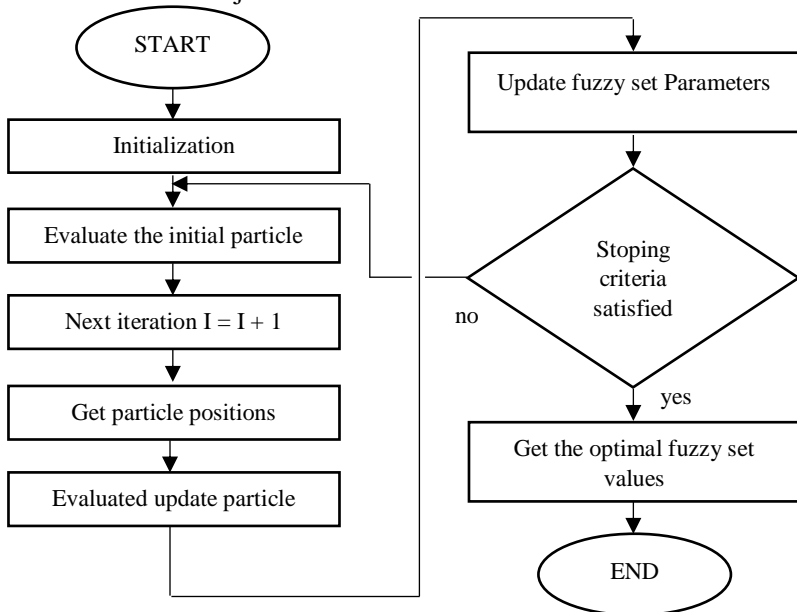
Beberapa kriteria terkait perkembangan *Particle Swarm Optimization* adalah sebagai berikut :

- a. Pada saat sebuah partikel mendekati target (bisa berupa minimum atau maksimum dari suatu fungsi objektif) secara cepet maka dia akan mengirim informasi kepada partikel-partikel lain dalam kelompok tersebut.

- b. Berdasarkan informasi ini, partikel-partikel lain akan bergerak menuju target walaupun tidak secara langsung
- c. Memori terkait apa yang sudah dilewati oleh partikel pada saat sebelumnya menjadi faktor utama dalam menentukan posisi dan kecepatan menuju target.

### 2.6.3 Optimisasi Fuzzy dengan PSO

Optimasi pada fungsi keanggotaan logika fuzzy dapat dilihat pada gambar 2.14. Proses dimulai dengan melakukan inisialisasi letak sumber dan kecepatan partikel. Setelah itu ditentukan kecepatan dari masing-masing partikel hingga didapatkan posisi dari yang dicari. Proses tersebut akan berlanjut hingga didapatkan posisi terbaik dan akan berhenti setelah iterasi maksimum tercapai, sebelum iterasi maksimum tercapai maka proses pencarian posisi baru dan proses perkembangan *velocity* akan terus berlanjut.



**Gambar 2. 14** Diagram Alir Optimasi PSO [26]

Optimalisasi fungsi keanggotaan dilakuakn dengan membeti nilai awal dari parameter-parameter dan menjalankan fungsi *fitness* untuk memperoleh nilai awal dari parameter-parameter dan menjalankan fungsi *fitness* untuk memperoleh nilai baru pada parameter fungsi keanggotaan. Nilai baru ini akan digunakan dalam pada *membership function* fuzzy. Dimenasi ruang partikel ini mewakili nilai parameter fungsi keanggotaan fuzzy. Kolom pertama menunjukkan variabel *input* dan variabel *output*. Semua *input* dan *output* dari *membership function* menjadi berbeda, hal tersebut bergantung pada posisi baru mereka. [26]

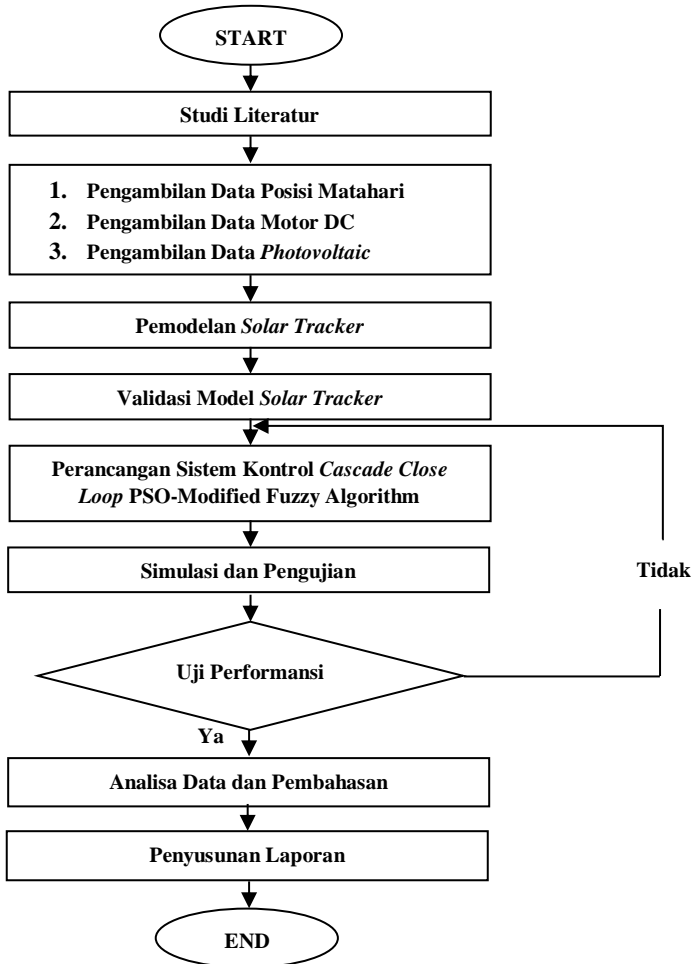
Pada PSO-Fuzzy, partikel yang dioptimasi yaitu *range membership function* pada fuzzy untuk mendapatkan batas-batas *membership function* dengan optimal. Prosedur kerja PSO sebagai berikut :

- a. Menginisialisasi parameter-parameter PSO seperti *swarm*, *iteration*, *inertia*, dan *C*.
- b. Diperlukan fungsi objektif dan *constrain*
- c. Ketika sudah ditetapkan maka PSO dapat dijalankan untuk mendapatkan nilai *pbest* dan *gbest*.
- d. Setelah mendapatkan nilai *pbest* dan *gbest* kemudian di *update range membership function* fuzzy dengan nilai *pbest* dan *gbest* yang didapat.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir

Rancangan penelitian dilakukan melalui beberapa tahap yang dijelaskan pada diagram alir pada Gambar 3.1 sebagai berikut :



**Gambar 3. 1** *Flow Chart* pengerjaan tugas akhir

### 3.2 Studi literatur

Studi literatur merupakan suatu langkah yang ditujukan agar memahami dengan baik secara teoritis yang bersumber dari beberapa literatur dari referensi *text book*, *manual book*, ataupun jurnal-jurnal ilmiah nasional maupun internasional yang memuat materi-materi berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Studi literatur mengenai sistem *photovoltaic* sumbu *pitch* dan *yaw* dengan metode *PSO-Modified Fuzzy Algorithm*.

### 3.3 Pengambilan Data

Pengambilan data pada mengenai sistem *photovoltaic* sumbu *pitch* dan *yaw* dengan metode *PSO-Modified Fuzzy Algorithm* ini digunakan untuk pemodelan dan simulasi system pada software Matlab. Pengambilan data tersebut dapat dikatakan sebagai data sekunder maupun eksperimen yang meliputi pengambilan data posisi matahari (lintang dan bujur), pengambilan data motor DC dan pengambilan data *photovoltaic*.

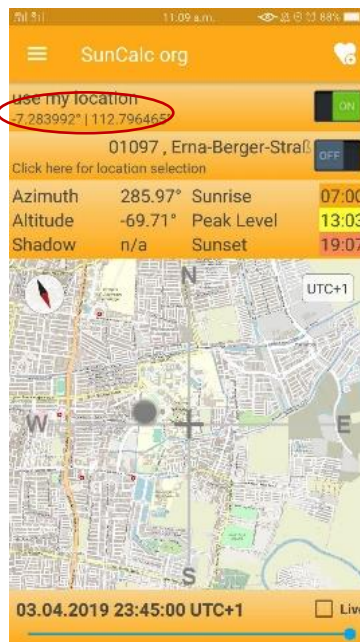


**Gambar 3. 2** Pengambilan data

#### 3.3.1 Pengambilan Data Posisi Matahari

Pengambilan data posisi matahari dilakukan guna mengetahui posisi dari suatu lokasi. Posisi suatu lokasi tersebut mewakili nilai lintang dan bujur, tanggal dan waktu lokasi. Pada perancangan *cascade close loop control solar tracker* berbasis *PSO-modified fuzzy algorithm* kali ini, pengambilan data dilakukan

di jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember tepatnya di lantai 3 Gedung S2 Departemen Fisika ITS pada tanggal 3 April 2019 sejak pukul 06.00 WIB hingga pukul 17.00. Seiring dengan perubahan waktu akan mempengaruhi nilai dari sudut *altitude* dan sudut *azimuth* yang merupakan masukan dari *solar tracker*. Nilai lintang dan bujur dapat diketahui dengan aplikasi *suncalc.org*.

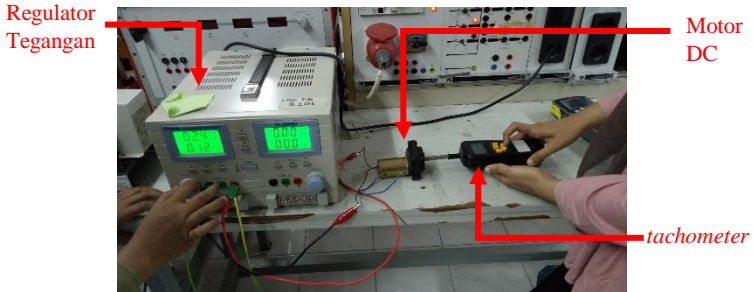


**Gambar 3. 3** Lintang dan Bujur dengan *Suncalc.org*

### 3.3.2 Pengambilan Data Motor DC

Sistem *solar tracker* berbasis *PSO-modified fuzzy algorithm* kali ini digunakan 2 buah motor DC. Motor DC yang digunakan adalah motor DC 12 VDC yang identik. Motor DC tersebut masing-masing digunakan untuk menggerakkan *photovoltaic* (PV) sesuai dengan sudut *pitch* dan sudut *yaw*. Data motor DC

didapatkan dengan mengambil beberapa nilai kemudian dihitung untuk mengetahui parameter motor. Setelah itu parameter motor akan digunakan pada pemodelan sistem *solar tracker*. Parameter-parameter yang diambil diantaranya ialah Konstanta Tegangan ( $K_e$ ), Konstanta Torsi ( $K_t$ ), Inersia Motor ( $J_m$ ), Resistansi Motor ( $R$ ), Induktansi Motor ( $L$ ), dan *Viscous Friction Coefficient* ( $B_m$ ).



**Gambar 3. 4** Pengambilan data motor DC

Pengambilan data motor DC secara langsung di laboratorium konversi energi Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Alat yang digunakan pada pengambilan data motor DC adalah *tachometer*, regulator tegangan DC, *avo meter*, *lcr meter* dan *stopwatch*. Pengambilan data dilakukan dimana nilai tegangan (*volt*) dengan rentang 2 *volt* hingga 12 *volt* kemudian didapatkan nilai rpm berdasarkan setiap perubahan tegangan yang diberikan. Setelah data didapatkan maka digunakan untuk menghitung parameter-parameter motor DC dengan beberapa persamaan sebagai berikut :

- Konstanta Tegangan ( $K_e$ )

Konstanta Tegangan motor DC didapatkan dengan diberikan masukan berupa nilai tegangan (2 VDC - 12 VDC) yang dihubungkan dengan regulator tegangan DC dan tachometer untuk mengetahui nilai rpm yang dihasilkan motor DC dan berubah seiring dengan perubahan masukan tegangan yang diberikan. Pengambilan data rpm dilakukan sebanyak 5 kali pada setiap perubahan masukan tegangan yang diberikan.



$$Ke \left[ \frac{\text{Volt} \cdot \text{sec}}{\text{rad}} \right] = \frac{\text{Volt (V)}}{\text{speed}(\text{rad}/\text{sec})} \quad (3.1)$$

- Konstanta Torsi (Kt)

Konstanta torsi (Kt) dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Kt \left[ \frac{\text{Nm}}{\text{A}} \right] = \frac{Ke}{0,011827} \quad (3.2)$$

- Inersia Motor (Jm)

Inersia motor (Jm) dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Jm \left[ \text{Nm} \cdot \text{sec}^2 \right] = \frac{\text{akselerasi torsi}}{\text{akselerasi}} \quad (3.3)$$

Nilai akselerasi torsi dan akselerasi dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Akselerasi (a)} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} \quad (3.4)$$

$$\text{Akselerasi torsi (Tm)} = (Kt \times I_{max}) - (Kt \times I_{min}) \quad (3.5)$$

Pengambilan data inersia motor DC dilakukan dengan menghubungkan motor DC dengan regulator tegangan dan tachometer untuk mengetahui nilai rpm yang dihasilkan motor DC dan berubah seiring dengan perubahan masukan tegangan yang diberikan kemudian *stopwatch* digunakan untuk mengetahui waktu yang dihasilkan ketika mencapai rpm tertentu dan dilakukan sebanyak 5 kali.

- Resistansi Motor (R) dan Induktansi Motor (L)

Resistansi motor dan induktansi motor didapatkan melalui pengukuran. Pengukuran dilakukan dengan cara menghubungkan kutub positif dan kutub negatif dari motor DC dengan LCR meter. Pengambilan data dilakukan sebanyak 10 kali setelah itu di rata-rata.

- *Viscous Friction Coefficient (Bm)*

*Viscous Friction Coefficient* dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Jm \frac{d\omega(t)}{dt} + B\omega = Tm(t) \quad (3.6)$$

Dimana :

$Jm$  = Inersia Motor (Nm.sec<sup>2</sup>)

$B$  = *Viscous Friction* (Nm.sec/rad)

$\omega$  = Kecepatan Angular Motor DC (rad/sec)

$Tm$  = Torsi Motor (N.m)

Berdasarkan persamaan 3.1 sampai dengan persamaan 3.6 akan didapatkan nilai parameter-parameter motor DC ialah sebagai berikut :

**Tabel 3. 1** Nilai parameter-parameter motor DC

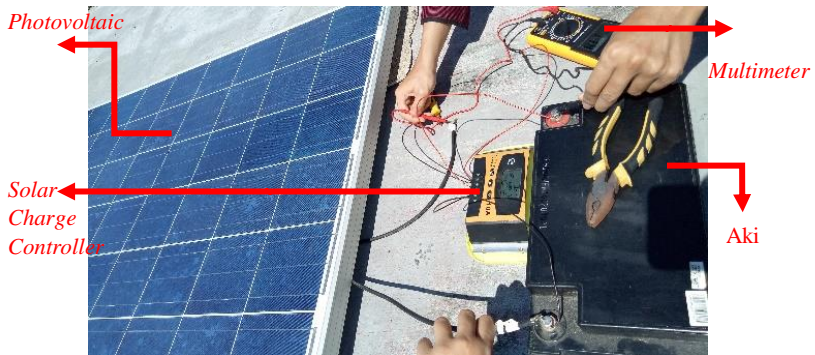
PARAMETER	MOTOR DC
Resistansi (R) Ohm	2,055
Induktasnsi (L) Henry	0,005833
konstanta tegangan (Ke) Vol.sec/rad	28,52839
Konstanta Torsi (Kt) Nm/A	28,52839
Momen Inesia (J) Nms <sup>2</sup>	45,66596
Koefisien Gesekan (B) Nms/rad	0,678999

### 3.3.3 Pengambilan Data *Photovoltaic*

*Photovoltaic* memiliki masukan berupa iradiasi dan suhu. Iradiasi dan suhu didapatkan dengan pengukuran langsung pada *photovoltaic*. Selain melalui pengukuran langsung, data *photovoltaic* yang digunakan pada pemodelan di software MATLAB didapatkan melalui *datasheet* yang tertera pada spesifikasi *photovoltaic*. Parameter yang tertera pada spesifikasi *photovoltaic* adalah sebagai berikut :

**Tabel 3. 2** Spesifikasi *Photovoltaic*

PARAMETER	NILAI
<i>Temperature Coeff of Short Circuit Voltage</i> ( $\Phi$ )	-0.0036V/°C
<i>Temperature Coeff of Short Circuit Curent</i> ( $\mu$ )	0.00053 A/°C
<i>Maximum Power</i> (Pmax)	250 W
<i>Maximum Power Current</i> (Imp)	8.34 A
<i>Maximum Power Voltage</i> (Vmp)	30 V
<i>Open Circuit Voltage</i> (Voc)	36.8 V
<i>Short Circuit Current</i> (Isc ++)	9 A

**Gambar 3. 5** Set up pengukuran arus dan tegangan *photovoltaic*

### 3.4 Pemodelan Solar Tracker PSO-Modified Fuzzy Algorithm

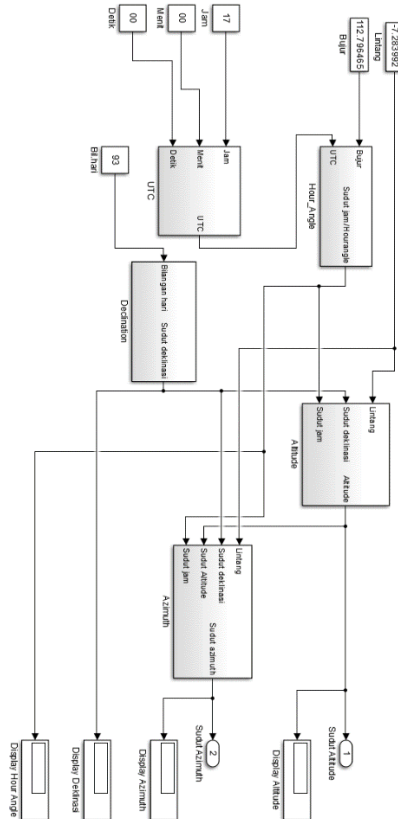
Penurunan metode pada hukum-hukum fisika digunakan untuk pemodelan komponen-komponen yang terdapat pada *solar tracker PSO-Modified Fuzzy Algorithm*. Setelah itu dilakukan validasi melalui eksperimen maupun software. Pemodelan tersebut mewakili komponen-komponen yang ada pada *solar tracker PSO-Modified Fuzzy Algorithm* yang meliputi posisi matahari, motor DC, serta *photovoltaic* dan selanjutnya akan diterapkan pada software MATLAB.

#### 3.4.1 Pemodelan Posisi Matahari

Pemodelan posisi matahari telah lama dikembangkan oleh J.E Braun dan Sproul. Pemodelan posisi matahari yang digunakan

pada persamaan 2.16 hingga 2.24 kemudian divalidasi dengan menggunakan software *National Oceanic and Atmosphere Administration (NOAA)*.

Posisi matahari dapat diketahui berdasarkan beberapa masukan diantaranya berupa waktu lokal (jam, menit, dan detik), posisi lintang, posisi bujur, perbedaan waktu GMT dan bilangan hari. Pemodelan posisi matahari memiliki keluaran berupa sudut *azimuth* dan sudut *altitude* yang akan mengalami perubahan seiring berjalannya waktu lokal. Sudut *azimuth* dan sudut *altitude* tersebut akan menjadi masukan pada sistem *solar tracker*



**Gambar 3. 6** Model simulasi posisi matahari

### 3.4.2 Pemodelan Motor DC

Pemodelan motor DC dapat ditinjau secara elektrik maupun mekanik. Jika secara elektrik menggunakan Hukum Kirchoff tentang tegangan sedangkan jika secara mekanik, motor DC. Fungsi transformasi *laplace* berdasarkan Hukum Tegangan Kirchof II dan Hukum Newton II sebagai berikut :

$$V(s) = R_a \cdot I_a(s) + L_a \cdot I_a(s)S + K_b \cdot \omega(s) \quad (3.7)$$

$$V_a(s) - K_b \cdot \omega(s) = I_a(s)(R_a + L_a S) \quad (3.8)$$

$$I_a = \frac{V_a(s) - K_b \cdot \omega(s)}{(R_a + L_a S)} \quad (3.9)$$

$$I_a = V_a(s) - K_b \cdot \omega(s) \frac{1}{(R_a + L_a S)} \quad (3.10)$$

$$K_t \cdot I_a(s) = J_m \cdot \omega(s)S + B_m \cdot \omega(s) \quad (3.11)$$

$$\omega(s) = \frac{K_t \cdot I_a}{J_m \cdot s + B_m} \quad (3.12)$$

$$\omega(s) = K_t \cdot I_a \frac{1}{J_m \cdot s + B_m} \quad (3.13)$$

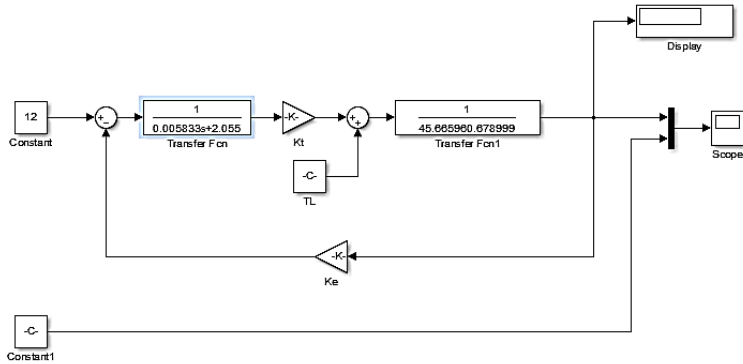
Motor DC memiliki *torsi load* yang dapat mempengaruhi kecepatan angular motor DC tersebut. *Torsi load* pada motor dc sudut *pitch* dan *yaw* memiliki perbedaan persamaan sebagai berikut :

Torsi Yaw

$$\begin{aligned} \tau &= F \sin \theta x r \\ &= m x g x \sin \theta x r \end{aligned} \quad (3.14)$$

Torsi Pitch

$$\begin{aligned} \tau &= m \frac{\omega^2}{r} x r \\ &= m \omega^2 \end{aligned} \quad (3.15)$$

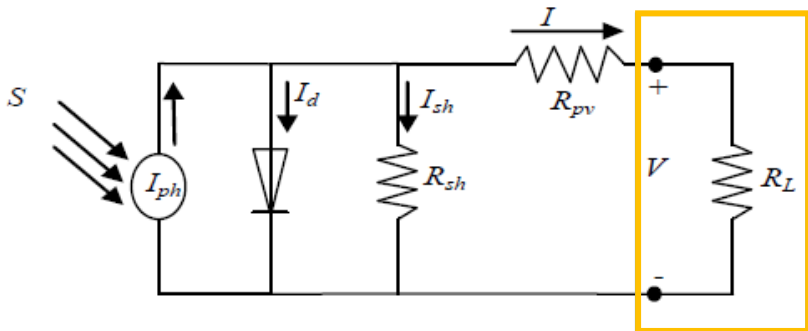


**Gambar 3. 7** Model simulasi motor DC

### 3.4.3 Pemodelan Photovoltaic

Pemodelan *photovoltaic* ini digunakan data berupa radiasi dan suhu. Radiasi dan suhu merupakan masukan bagi *photovoltaic* dan menghasilkan keluaran listrik berupa tegangan dan arus. Pengambilan data radiasi dan suhu dilakukan selama 11 jam dari pukul 06.00 WIB hingga 17.00 WIB dengan rentang waktu 1 jam pada tiap pengambilan datanya. Alat yang digunakan untuk mengambil data radiasi ialah *pyranometer*, sedangkan alat yang digunakan untuk mengambil data suhu ialah *thermometer digital*.

Pemodelan *photovoltaic single diode* didasari pada Hukum Kirchoff sehingga didapatkan keluaran arus dari *photovoltaic*.



**Gambar 3. 8** Rangkaian listrik pada *photovoltaic* [14]

Pada gambar 3.8 merupakan gambar rangkaian listrik pada *photovoltaic* berdasarkan hukum Kirchoff didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (3.16)$$

Pada kondisi ideal  $I_{sh} = 0$  dan  $R_{sh} \approx \infty$ . Sehingga persamaan menjadi seperti berikut :

$$I = I_{ph} - I_o \left[ \exp\left(\frac{V+IR_{pv}}{V_T}\right) - 1 \right] \quad (3.17)$$

$$I = \left[ \mu \left( \frac{s}{s_{ref}} \right) \left( (T - T_{ref}) + \left( \frac{s}{s_{ref}} - 1 \right) \right) - I_{sc} \right] + I_{mp} \quad (3.18)$$

$$V = \Phi(T - T_{ref}) + R_{pv}(I - I_n) + V_{mp} \quad (3.19)$$

$$\Phi_{ref} = \frac{2V_{mp} - V_{oc}}{\frac{I_{sc}}{I_{sc} - I_{mp}} + \ln\left(1 - \frac{I_{mp}}{I_{sc}}\right)} \quad (3.20)$$

$$R_{pv} = \frac{\Phi_{ref} \ln\left(1 - \frac{I_{mp}}{I_{sc}}\right) + V_{oc} - V_{mp}}{I_{mp}} \quad (3.21)$$

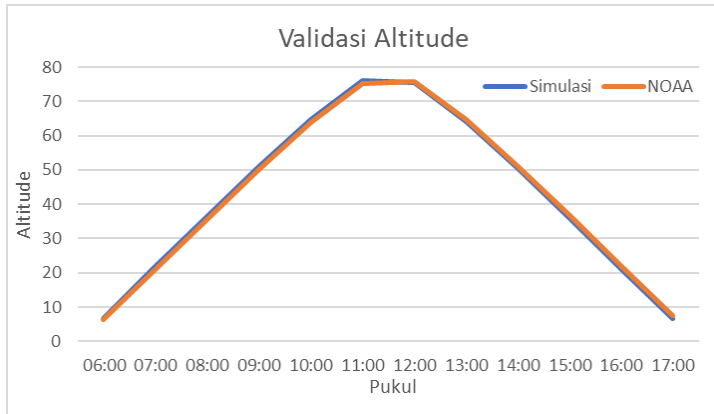
Nilai I dan V merupakan gambaran sebagai fungsi radiasi dan suhu sedangkan nilai  $S_{ref} = 1000\text{W/m}^2$ ,  $T_{ref} = 25^\circ\text{C}$ , nilai  $R_{pv}$  didapatkan dari persamaan 3.21, serta beberapa parameter lainnya diantaranya  $I_{sc}$ ,  $I_{mp}$ ,  $V_{oc}$ ,  $V_{mp}$ ,  $\mu$ ,  $\Phi$ ,  $W_p$  yang didapatkan dari spesifikasi *photovoltaic* yang terdapat pada tabel 3.2.

Berdasarkan parameter dan persamaan yang telah didapatkan, maka *photovoltaic* dapat dimodelkan pada *software simulink* MATLAB seperti pada gambar 3.9.

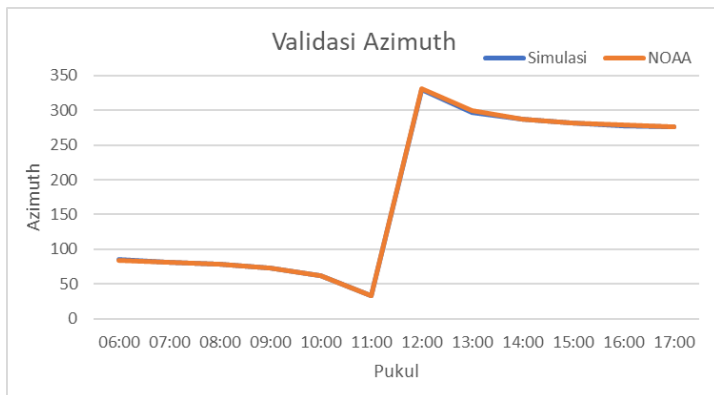




*Numeric Administration* (NOAA) sebagai standar. Kemudian standar NOAA dibandingkan dengan hasil pada simulasi yang telah dirancang pada gambar 3.6. Hasil yang dibandingkan pada pemodelan posisi matahari ialah sudut *altitude* dan sudut *azimuth*.



**Gambar 3. 10** Validasi sudut *altitude*



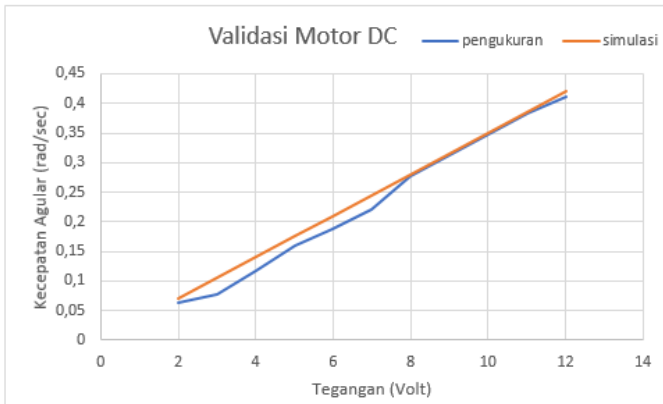
**Gambar 3. 11** Validasi sudut *azimuth*

Hasil validasi posisi matahari yang terdiri atas sudut *azimuth* dan sudut *altitude* dapat dilihat pada gambar 3.10 dan gambar 3.11.

Hasil validasi sudut *altitude* menunjukkan bahwa *error* tertinggi sebesar 0,92 sedangkan pada sudut *azimuth* menunjukkan bahwa *error* tertinggi sebesar 0,81. Hasil validasi posisi matahari menunjukkan bahwa model telah memenuhi syarat menjadi masukan pada uji *tracking* maupun uji *setpoint* pada kontroler.

### 3.5.2 Validasi Pemodelan Motor DC

Validasi pemodelan motor DC dilakukan dengan diberikan masukan berupa tegangan bernilai 2 volt hingga 12 volt kemudian dilihat hasil keluaran berupa kecepatan angular dari motor.



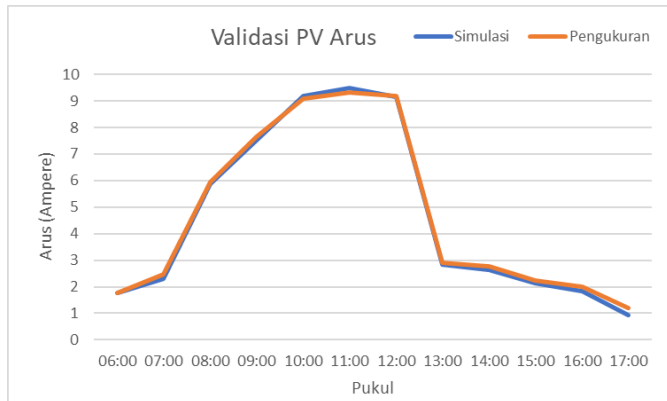
**Gambar 3. 12** Validasi motor DC

Hasil validasi motor DC dapat dilihat pada gambar 3.12. Hasil validasi motor DC menunjukkan bahwa keluaran yang dihasilkan berdasarkan simulasi dengan keluaran berdasarkan pengukuran langsung memiliki *error* tertinggi sebesar 0,02 rad/s. Berdasarkan kecilnya nilai *error* maka dapat dikatakan bahwa model memiliki kesesuaian dengan pengukuran langsung sehingga dapat diimplementasikan pada pemodelan sistem *solar tracker*.

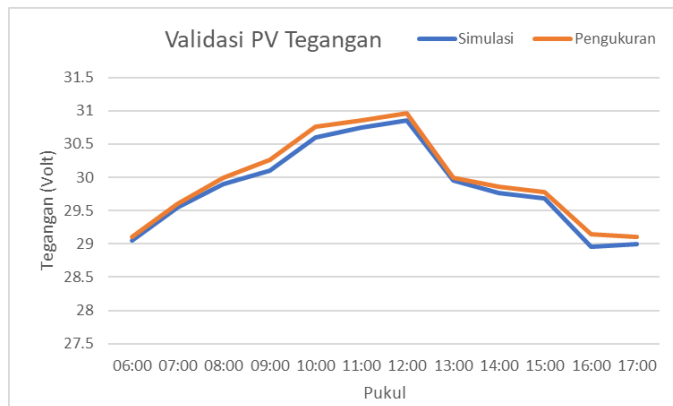
### 3.5.3 Validasi *Photovoltaic*

Validasi *photovoltaic* dilakukan dengan membandingkan hasil antara simulasi dan hasil pengukuran langsung pada keluaran

berupa tegangan dan arus dengan memberikan masukan berupa radiasi dan suhu.



**Gambar 3. 13** Validasi arus output PV



**Gambar 3. 14** Validasi tegangan output PV

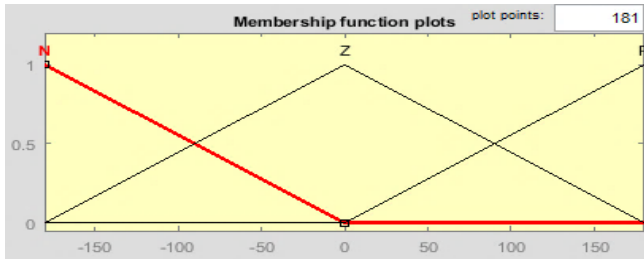
Berdasarkan gambar 3.13 dan gambar 3.14 hasil validasi dilakukan pengukuran langsung dimulai pukul 06.00 hingga 17.00. Hasil validasi dapat dilihat bahwa hasil simulasi dan pengukuran memiliki kesesuaian antara tegangan dan arus. Pada validasi kali ini terdapat nilai puncak tertinggi dari pengukuran langsung pada



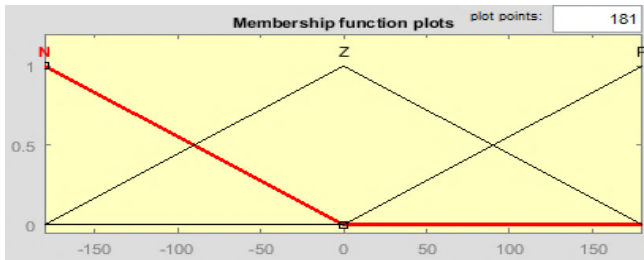
*azimuth* dan sudut *altitude* dari *National Ocean and Numeric Administration* (NOAA) sebagai standar dengan tujuan agar dapat memperhalus *error* yang ada. Kemudian keluaran dari *primary loop (master)* berupa sudut *azimuth* dan sudut *altitude* yang menjadi *set point* bagi *secondary loop (slave)*. Pada *secondary loop (slave)* digunakan sensor posisi yaitu CMPS 10 yang berfungsi untuk mengindera perubahan yang terjadi pada sudut *yaw* dan sudut *pitch* dari *photovoltaic (PV)* dengan mengukur posisi aktual dari *photovoltaic (PV)* kemudian mengkonversinya menjadi bilangan decimal berupa sudut putar. Apabila terdapat perbedaan sudut *yaw* pada *photovoltaic (PV)* dengan *set point azimuth* matahari maka akan menghasilkan *error azimuth*. Hal tersebut berlaku pula apabila terdapat perbedaan sudut *pitch* pada *photovoltaic (PV)* dengan *set point altitude* matahari maka akan menghasilkan *error altitude*. Nilai *error azimuth*, *error altitude*, *delta error azimuth*, serta *delta error altitude* menjadi masukan pada kontroler berupa algoritma fuzzy yang kemudian akan menghasilkan keluaran fuzzy berupa sinyal pwm. Hasil keluaran sinyal pwm tersebut kemudian dikalikan dengan *gain* yang sesuai sehingga dapat menghasilkan tegangan yang merupakan masukan bagi motor DC. Tegangan tersebut akan menggerakkan motor DC yang kemudian menggerakkan *photovoltaic (PV)* sehingga menghasilkan sudut putar *pitch* dan sudut putar *yaw*. Pada penelitian kali ini digunakan teknik optimasi *particle swarm optimization* (PSO) yang bertujuan untuk menghasilkan nilai batas yang optimal pada fungsi keanggotaan fuzzy.

### **3.7 Sistem Solar Tracker Kontrol Fuzzy**

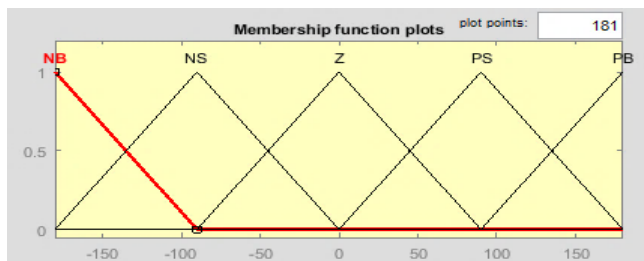
Sistem *solar tracker* digunakan fuzzy dengan metode penyelesaian sugeno. Pada fuzzy sugeno digunakan dua *input* yaitu *error* pada sudut *pitch* dan sudut *yaw* serta *delta error* baik pada sudut *pitch* maupun sudut *yaw*. Pada penelitian ini digunakan fungsi keanggotaan *membership function* ialah 3 dan 5 yang berfungsi mengetahui performansi terbaik pada sistem *solar tracker*. Pada sudut *pitch* range yang digunakan yaitu  $-180^{\circ}$  hingga  $180^{\circ}$ .



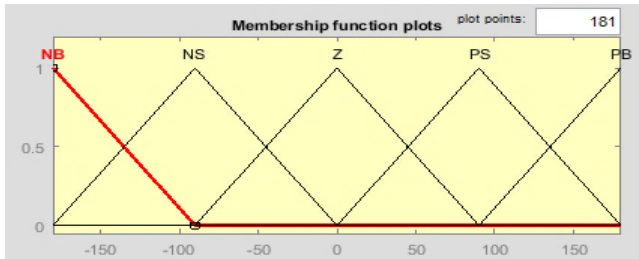
**Gambar 3. 16** MF 3 sudut *pitch error*



**Gambar 3. 17** MF 3 sudut *pitch delta error*

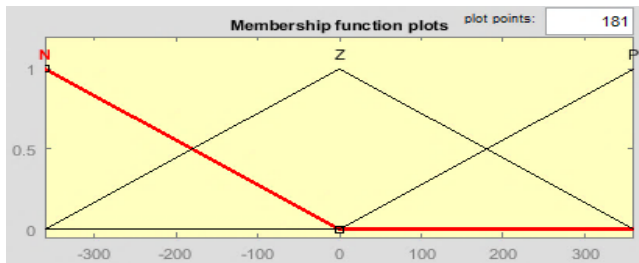


**Gambar 3. 18** MF 5 sudut *pitch error*

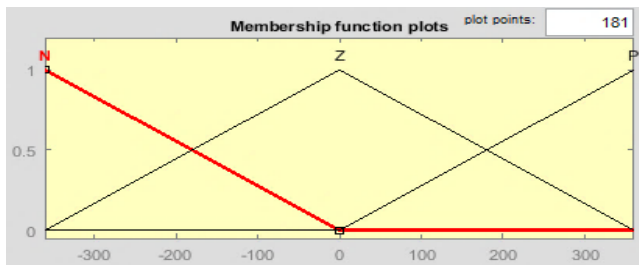


**Gambar 3. 19** MF 5 sudut *pitch delta error*

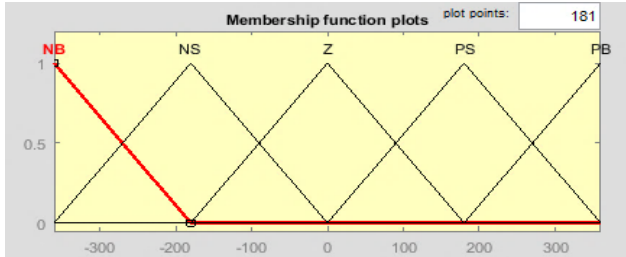
Sedangkan pada sudut *yaw* range yang digunakan ialah -360° hingga 360°.



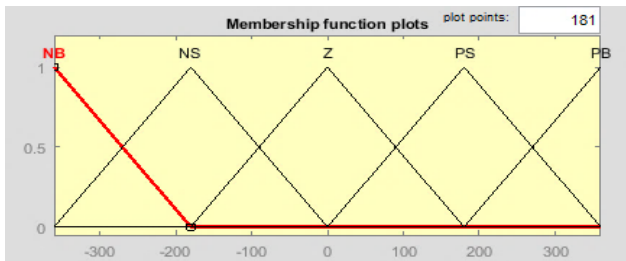
**Gambar 3. 20** MF 3 sudut *yaw error*



**Gambar 3. 21** MF 3 sudut *yaw delta error*

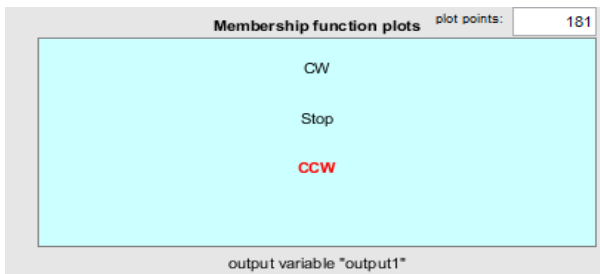


**Gambar 3. 22** MF 5 sudut yaw *error*



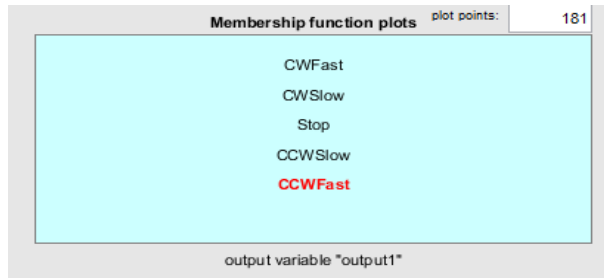
**Gambar 3. 23** MF 5 sudut yaw *delta error*

*Output* yang dihasilkan *solar tracker* pada fungsi keanggotaan 3 dibagi menjadi 3 kategori yaitu CW, Stop, dan CCW. Sedangkan pada fungsi keanggotaan 5 maka dibagi menjadi 5 kategori yaitu CWFast, CWSlow, Stop, CCWSlow, dan CCWFast. Masing-masing output berdasarkan fungsi keanggotaan memiliki range -255 hingga 255. Nilai (-) mengindikasikan arah putaran motor DC



**Gambar 3. 24** Defuzzifikasi pada sudut *pitch* dan yaw MF3





**Gambar 3. 25** Defuzzifikasi pada sudut *pitch* dan *yaw* MF 5

**Tabel 3. 3** Rule Base MF 3

e	N	Z	P
$\Delta e$			
N	CCW	CCW	Stop
Z	CCW	Stop	CW
P	Stop	CW	CW

**Tabel 3. 4** Rule Base MF 5

e	NB	NS	Z	PS	PB
$\Delta e$					
NB	CCWFast	CCWFast	CCWSlow	CCWSlow	Stop
NS	CCWFast	CCWSlow	CCWSlow	Stop	CWSlow
Z	CCWSlow	CCWSlow	Stop	CCWSlow	CWSlow
PS	CCWSlow	Stop	CWSlow	CCWSlow	CWFast
PB	Stop	CWSlow	CWSlow	CWFast	CWFast

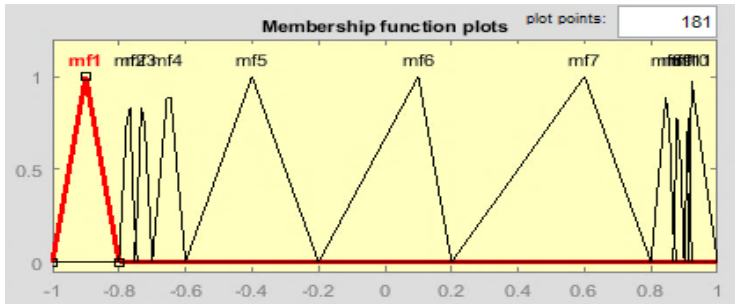
### 3.8 Sistem Solar Tracker Kontrol Cascade Close Loop PSO-Modified Fuzzy Algorithm

Sistem *solar tracker* dengan menggunakan kontrol *cascade close loop* PSO-Modified Fuzzy Algorithm memiliki dua loop yaitu *primary loop* sebagai *master* dan *secondary loop* sebagai *slave*. Pada *primary loop* digunakan kontrol fuzzy terhadap posisi

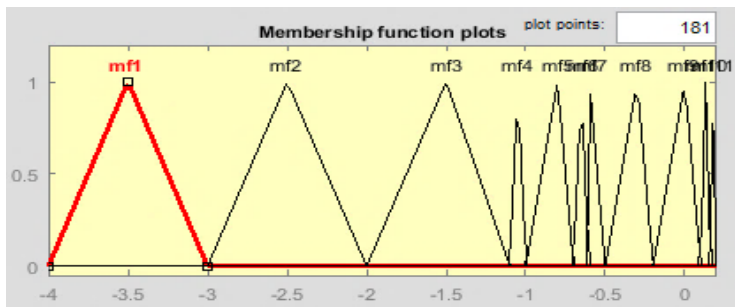
matahari, sedangkan pada *secondary loop* digunakan kontrol Fuzzy-PSO.

### 3.8.1 Primary Loop Fuzzy Control

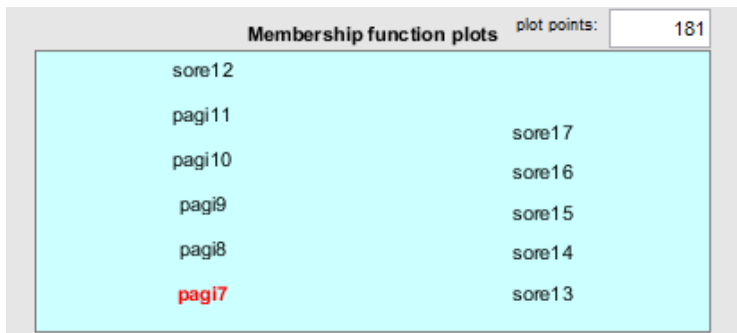
*Primary loop fuzzy control* ini bertujuan agar memperkecil *error* yang ada pada posisi matahari. Pada penelitian kali ini model fuzzy yang digunakan ialah fuzzy sugeno dengan fungsi keanggotaan 11. Pada sudut *azimuth* dan sudut *altitude* fungsi keanggotaan yang digunakan ialah mf1, mf2, mf3, mf4, mf5, mf6, mf7, mf8, mf9, mf10, dan mf11 dengan bentuk fungsi keanggotaan segitiga.



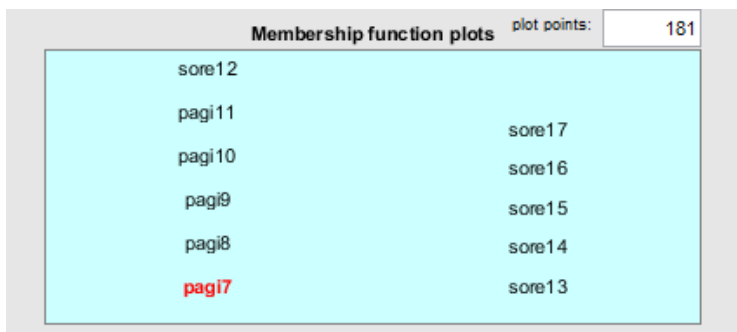
**Gambar 3. 26** Fungsi keanggotaan *error* altitude



**Gambar 3. 27** Fungsi keanggotaan *error* azimuth



**Gambar 3. 28** Defuzzifikasi pada fuzzy – posisi matahari sudut *altitude*



**Gambar 3. 29** Defuzzifikasi pada fuzzy – posisi matahari sudut *azimuth*

Rule base yang digunakan ialah sebagai berikut :

**Tabel 3. 5** Rule base fuzzy – posisi matahari sudut *altitude*

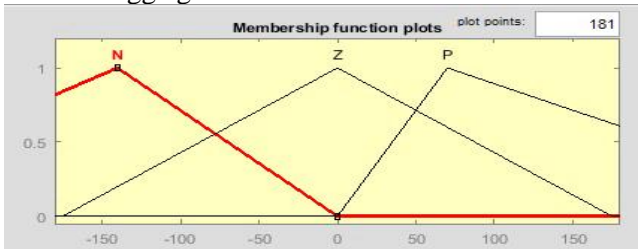
e	mf1	mf2	mf3	mf4	mf5	mf6	mf7	mf8	mf9	mf10	mf11
out	Sore17	Sore16	Sore15	Sore14	Sore13	Sore12	Pagi11	Pagi7	Pagi8	Pagi9	Pagi11

**Tabel 3. 6** Rule base fuzzy – posisi matahari sudut *azimuth*

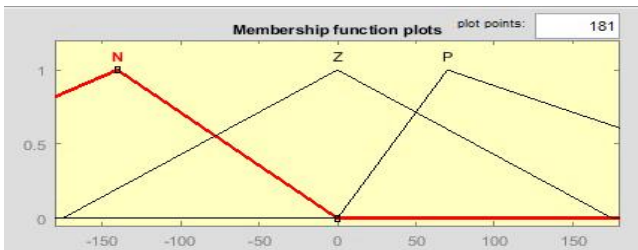
e	mf1	mf2	mf3	mf4	mf5	mf6	mf7	mf8	mf9	mf10	mf11
out	Sore12	Pagi11	Sore13	Sore14	Sore15	Sore16	Sore17	Pagi10	Pagi9	Pagi8	Pagi7

### 3.8.2 Secondary Loop Fuzzy-PSO

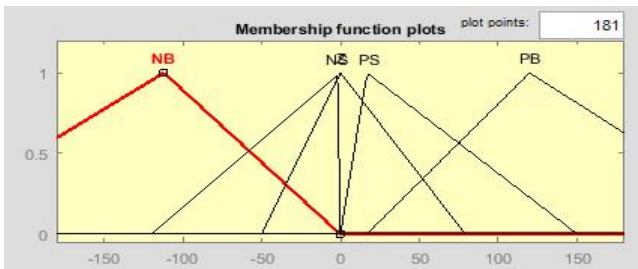
Pada *secondary loop fuzzy-PSO* kali ini model fuzzy yang digunakan ialah fuzzy sugeno dengan fungsi keanggotaan 3 dan fungsi keanggotaan 5. *Particle Swarm Optimization* (PSO) digunakan sebagai optimasi pada batas fungsi keanggotaan fuzzy yang telah digunakan sebelumnya pada sistem *solar tracker* pada gambar 3.17 hingga gambar 3.24 .



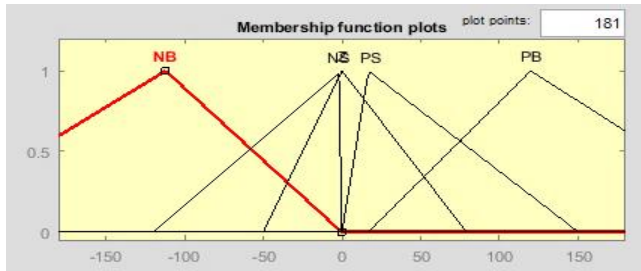
Gambar 3. 30 MF 3 Fuzzy-PSO sudut *pitch error*



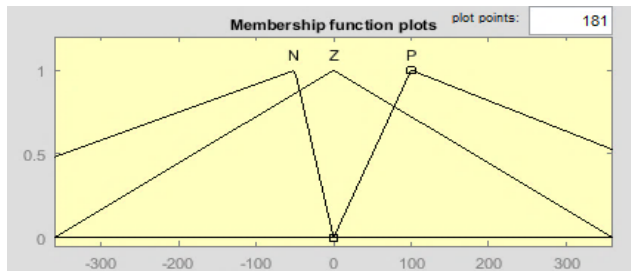
Gambar 3. 31 MF 3 Fuzzy-PSO sudut *pitch delta error*



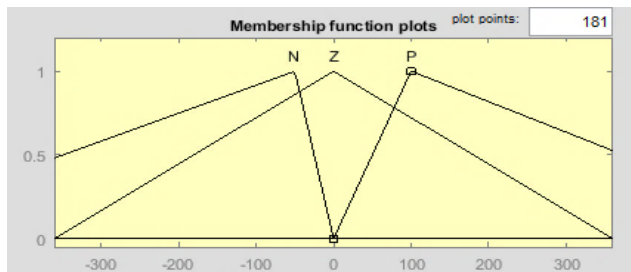
Gambar 3. 32 MF 5 Fuzzy-PSO sudut *pitch error*



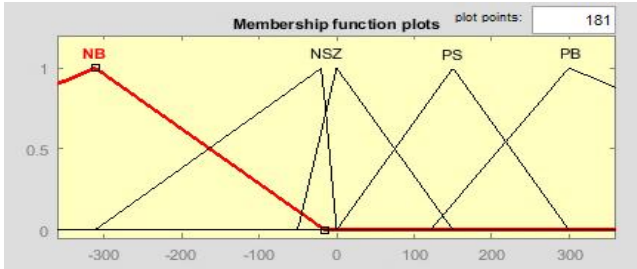
**Gambar 3. 33** MF 5 Fuzzy-PSO sudut *pitch delta error*



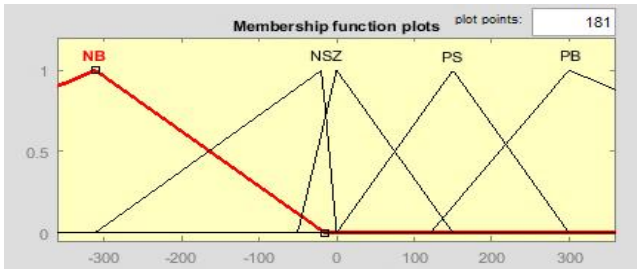
**Gambar 3. 34** MF 3 Fuzzy-PSO sudut *yaw error*



**Gambar 3. 35** MF 3 Fuzzy-PSO sudut *yaw delta error*



**Gambar 3. 36** MF 5 Fuzzy-PSO sudut yaw error



**Gambar 3. 37** MF 5 Fuzzy-PSO sudut yaw delta error

Pada sudut *pitch* maupun sudut *yaw* setelah dioptimasi dengan menggunakan *Particle Swarm Optimization* didapatkan nilai-nilai batas *membership function* 3 tertera pada tabel 3.7

**Tabel 3. 7** Batas MF3 Fuzzy-PSO

<i>Membership Function</i>	<i>Pitch</i>	<i>Yaw</i>
N	[-360 -140.1 0]	[-648 -50 0]
Z	[-175 0 175]	[-360 0 360]
P	[0 70 350]	[0 100 648]

Sedangkan pada sudut *pitch* maupun sudut *yaw* setelah dioptimasi dengan menggunakan *Particle Swarm Optimization* didapatkan nilai-nilai batas *membership function* 5 tertera pada tabel 3.8

**Tabel 3. 8** Batas MF5 Fuzzy-PSO

<i>Membership Function</i>	<i>Pitch</i>	<i>Yaw</i>
NB	[-280 -112 -0.4124]	[-800 -311 -15.1]
NS	[-120 -0.4124 0]	[-311 -19.09 0]
Z	[-50 0 79]	[-50 0 150]
PS	[0 16.8 150]	[0 150 299.5]
PB	[16.77 119.9 280]	[120.8 299.5 800]

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## BAB IV

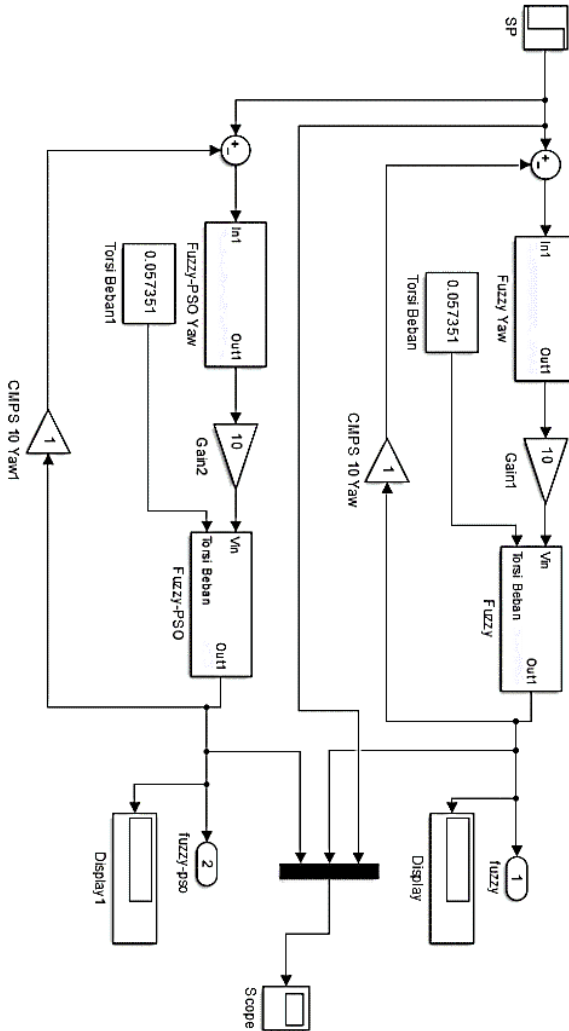
### ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan sebuah perancangan sistem *solar tracker* dengan kontrol *cascade close loop PSO-Modified Fuzzy Algorithm* dengan variable yang dikendalikan yaitu sudut *pitch* dan sudut *yaw*. Pada penelitian ini, perancangan sistem *solar tracker* menggunakan kontrol *cascade* sehingga terdapat dua loop yaitu *primary loop* dan *secondary loop*. Pada *primary loop* digunakan sistem kontrol fuzzy, sedangkan pada *secondary loop* digunakan sistem kontrol fuzzy yang kemudian di optimasi menggunakan *particle swarm optimization* (PSO). Optimisasi dilakukan agar mendapatkan hasil keluaran fuzzy yang lebih optimal. Pada kontrol fuzzy menggunakan membership function yang berbeda yaitu 3 *membership function* dan 5 *membership function*, sehingga dapat diketahui respon yang dihasilkan melalui grafik kemudian di analisa pada setiap responnya. Pada sistem kontrol *solar tracker* dilakukan 3 metode uji yaitu melalui uji *set point*, uji *tracking*, dan uji performansi. Hal tersebut dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pemodelan yang sudah dihasilkan telah sesuai dengan kondisi yang sesungguhnya, selain itu untuk mengetahui hasil *output* yang didapatkan sesuai.

#### 4.1 Uji Set Point

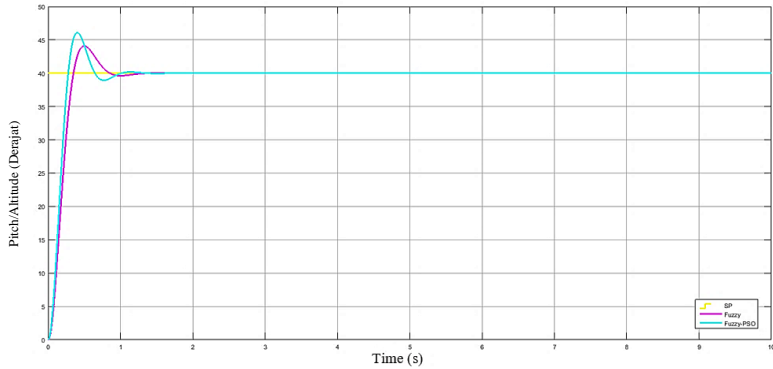
Pada uji *set point* dilakukan menggunakan fuzzy dan fuzzy-PSO dengan tujuan untuk mengetahui responnya. Pemodelan ini dilakukan dengan membandingkan 3 *membership function* dan 5 *membership function* berdasarkan variasi *set point* yang diberikan pada sudut *azimuth* dan sudut *altitude*. Uji *set point* dilakukan dengan memodelkan pada simulasi matlab. Pada sudut *altitude* digunakan variasi nilai *set point* yaitu 40°, 60°, dan 80°, kemudian menghasilkan *output* berupa sudut *pitch*. Pada sudut *azimuth* digunakan variasi nilai *set point* yaitu 30°, 60°, dan 90°, kemudian menghasilkan *output* berupa sudut *yaw*. Pemilihan variasi nilai sudut pada uji *set point* dilakukan berdasarkan rentang nilai sudut

*altitude-pitch* dan sudut *azimuth-yaw* pada terbitnya matahari hingga terbenamnya matahari.

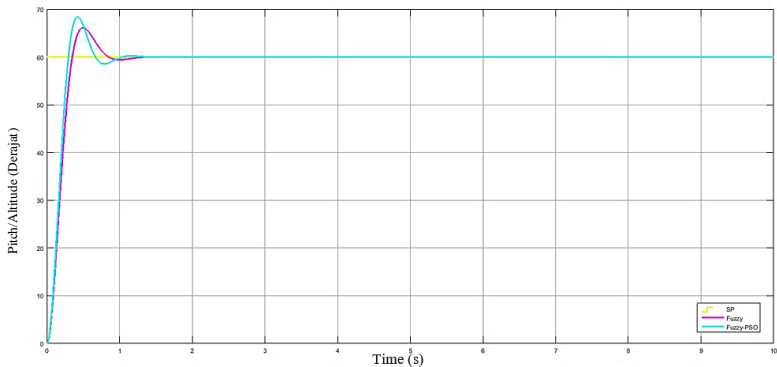


**Gambar 4. 1** Model uji set point pada simulasi matlab

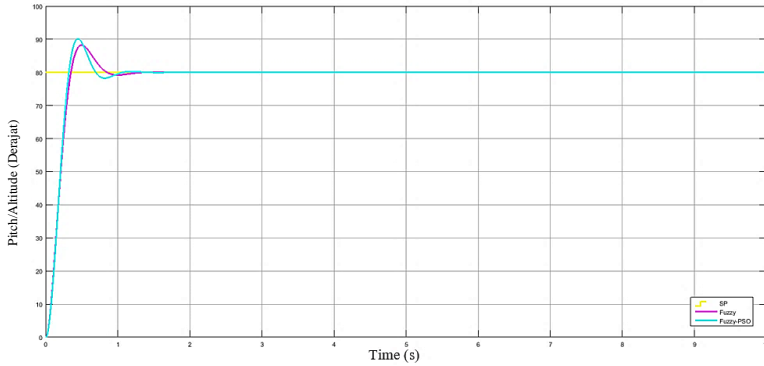
Analisa respon dilakukan terhadap sudut *pitch* dan sudut *yaw* berdasarkan grafik yang dihasilkan dari model uji *set point* pada gambar 4.1. Berikut merupakan gambar grafik respon sudut *altitude* dengan *membership function* 3 pada 40°, 60°, dan 80°.



(a)



(b)



(c)

**Gambar 4. 2** Respon uji *set point* sudut *altitude* dengan *membership function* 3 pada sudut (a) 40° (b) 60° (c) 80°

Berdasarkan grafik respon pada gambar 4.2 maka dapat dilihat baik pada sudut 40°, 60°, maupun 80° bahwa pada fuzzy-PSO lebih cepat dalam mencapai nilai *steady* bila dibandingkan dengan menggunakan kontrol fuzzy. Pada fuzzy-PSO mengalami kenaikan dengan cepat dimulai pada detik 0 s hingga 0.85s. Setelah detik 0.85s mengalami perlambatan hingga menuju nilai *set point*. Sedangkan pada kontrol fuzzy cenderung lebih lambat dalam mencapai nilai *steady* maupun nilai *set point*. Adapun nilai-nilai indeks performansi yang didapatkan berdasarkan grafik respon gambar 4.2 dapat dilihat pada tabel 4.1 sebagai berikut :

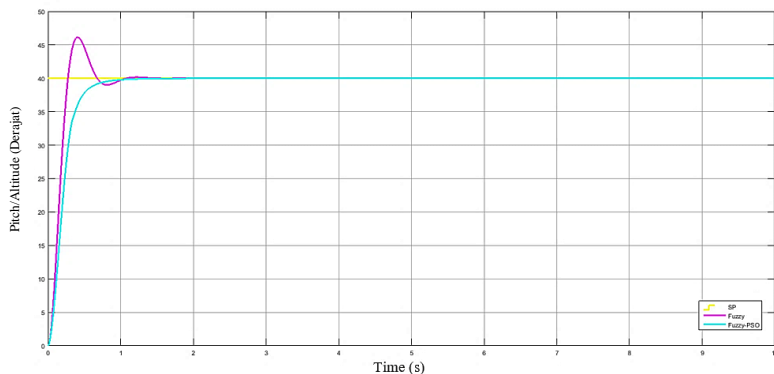
**Tabel 4. 1** Tabel indeks performansi respon sudut *pitch* dengan *membership function* 3

Indeks Performansi	40°		60°		80°	
	Fuzzy	Fuzzy-PSO	Fuzzy	Fuzzy-PSO	Fuzzy	Fuzzy-PSO
<i>Maximum Overshoot (%)</i>	10,1986	15,2218	10,232	13,9665	10,2743	12,6549
<i>Rise Time (s)</i>	0,2335	0,1864	0,2334	0,1989	0,2334	0,2158
<i>Settling Time (s)</i>	0,762	0,8542	0,7619	0,8602	0,7619	0,8637

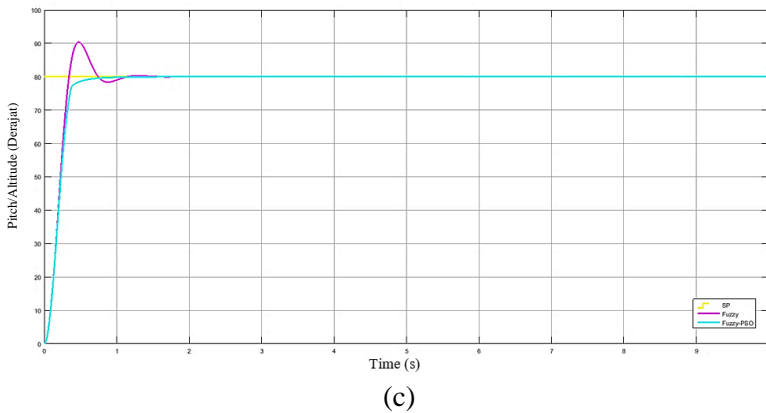
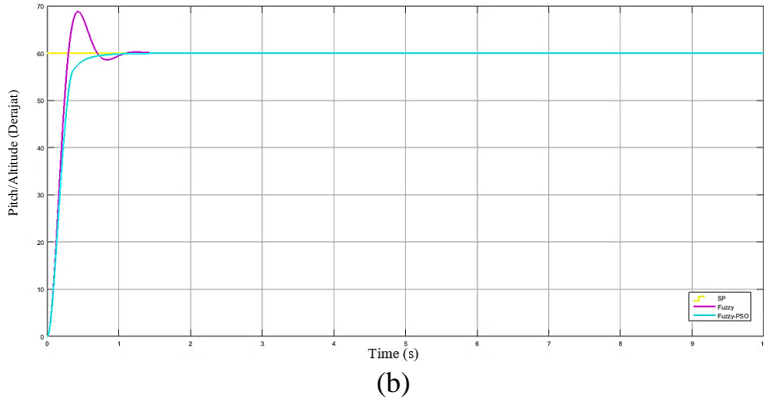
Indeks Performansi	40°		60°		80°	
	Fuzzy	Fuzzy-PSO	Fuzzy	Fuzzy-PSO	Fuzzy	Fuzzy-PSO
<i>Error Steady State (%)</i>	0,002	0,0015	0,0018	0,001	0,0013	0,00075

Pada hasil uji *set point* yang dilakukan pada sudut *altitude-pitch* dengan *membership function* 3 menunjukkan bahwa pada kontrol fuzzy maupun fuzzy-PSO terdapat *overshoot* pada setiap variasi sudutnya, namun pada kontrol fuzzy-PSO memiliki *overshoot* yang lebih besar. Pada tabel indeks performansi 4.1 dapat dilihat, pada sudut 40° bahwa fuzzy-PSO memiliki nilai *rise time* yang lebih cepat dan *error steady state* lebih kecil bila dibandingkan dengan kontrol fuzzy, namun memiliki nilai *settling time* yang lebih lama. Pada sudut 60° respon yang dihasilkan fuzzy-PSO memiliki nilai *rise time* yang lebih cepat serta *error steady state* yang lebih kecil bila dibandingkan dengan kontrol fuzzy, namun memiliki nilai *settling time* yang cenderung lebih lama. Sedangkan pada sudut 80° pun respon yang di hasilkan fuzzy-PSO memiliki nilai *rise time* yang lebih cepat serta *error steady state* yang lebih kecil bila dibandingkan dengan fuzzy, namun memiliki nilai *settling time* yang lebih lama.

Berikut merupakan gambar grafik respon sudut *altitude* dengan *membership function* 5 pada 40°, 60°, dan 80°.



(a)



**Gambar 4.3** Respon uji *set point* sudut *altitude* dengan *membership function* 5 pada sudut (a)  $40^\circ$  (b)  $60^\circ$  (c)  $80^\circ$

Berdasarkan grafik respon pada gambar 4.3 maka dapat dilihat baik pada sudut  $40^\circ$ ,  $60^\circ$ , maupun  $80^\circ$  bahwa pada fuzzy-PSO lebih cepat dalam mencapai nilai *steady* bila dibandingkan dengan menggunakan kontrol fuzzy. Pada fuzzy-PSO mengalami kenaikan dengan cepat dimulai pada detik 0 s hingga 0.3s. Setelah detik 0.3s mengalami perlambatan hingga menuju nilai *set point*. Sedangkan pada kontrol fuzzy cenderung lebih lambat dalam mencapai nilai

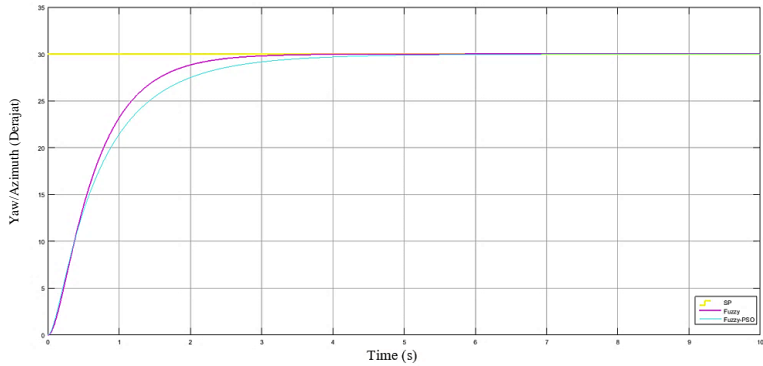
*steady* maupun nilai *set point*. Adapun nilai-nilai indeks performansi yang didapatkan berdasarkan grafik respon gambar 4.3 dapat dilihat pada tabel 4.2 sebagai berikut :

**Tabel 4. 2** Tabel indeks performansi respon sudut *pitch* dengan *membership function 5*

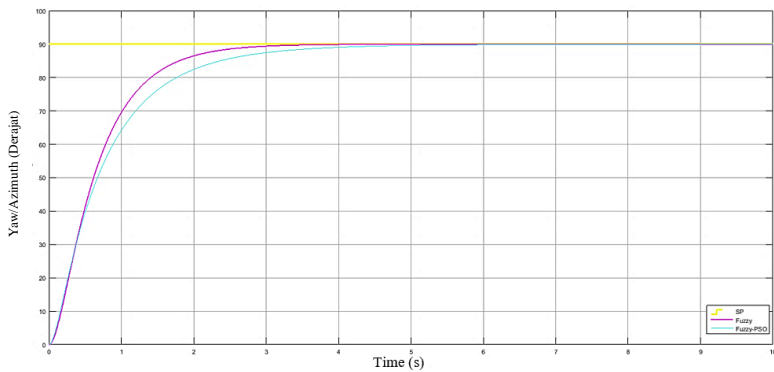
Indeks Performansi	40°		60°		80°	
	Fuzzy	Fuzzy-PSO	Fuzzy	Fuzzy-PSO	Fuzzy	Fuzzy-PSO
<i>Maximum Overshoot (%)</i>	15,3471	0,0003	14,6705	0	12,926	0
<i>Rise Time (s)</i>	0,1841	0,3417	0,1966	0,253	0,226	0,2564
<i>Settling Time (s)</i>	0,8899	0,6903	0,902	0,5584	0,9042	0,4755
<i>Error Steady State (%)</i>	0,002	0,0007	0,0013	0,0003	0,001	0,0002

Pada hasil uji *set point* yang dilakukan pada sudut *altitude-pitch* dengan *membership function 5* menunjukkan bahwa pada kontrol fuzzy memiliki *overshoot* yang cukup besar pada setiap variasi sudutnya, sedangkan pada fuzzy-PSO hampir tidak memiliki *overshoot*. Pada tabel indeks performansi 4.2 dapat dilihat pada sudut 40° bahwa fuzzy-PSO memiliki nilai *rise time* yang lebih lama bila dibandingkan dengan fuzzy, namun memiliki nilai *settling time* yang lebih cepat dan *error steady state* yang lebih kecil. Pada sudut 60° respon yang dihasilkan fuzzy-PSO memiliki nilai *rise time* yang lebih lama bila dibandingkan dengan fuzzy, namun memiliki nilai *settling time* yang lebih cepat serta *error steady state* yang lebih kecil. Sedangkan pada sudut 80° pun respon yang dihasilkan fuzzy-PSO memiliki nilai *rise time* yang lebih lama bila dibandingkan dengan fuzzy, namun memiliki nilai *settling time* yang lebih cepat serta *error steady state* yang lebih kecil.

Berikut merupakan gambar grafik respon sudut *azimuth* dengan *membership function* 3 pada  $30^\circ$ ,  $90^\circ$ , dan  $280^\circ$ .

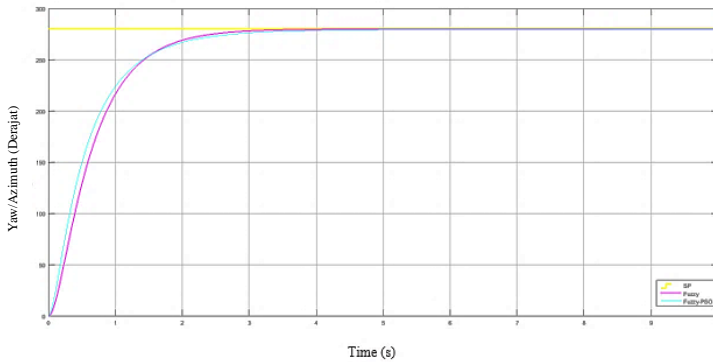


(a)



(b)





(c)

**Gambar 4. 4** Respon uji *set point* sudut *azimuth* dengan *membership function 3* pada sudut (a) 30° (b) 60° (c) 280°

Berdasarkan grafik respon pada gambar 4.4 maka dapat dilihat baik pada sudut 30°, 60°, maupun 280° bahwa pada fuzzy-PSO lebih cepat dalam mencapai nilai *steady* bila dibandingkan dengan menggunakan kontrol fuzzy. Pada fuzzy-PSO mengalami kenaikan dengan cepat dimulai pada detik 0 s hingga 1.7s. Setelah detik 1.7s mengalami perlambatan hingga menuju nilai *set point*. Sedangkan pada kontrol fuzzy cenderung lebih lambat dalam mencapai nilai *steady* maupun nilai *set point*. Adapun nilai-nilai indeks performansi yang didapatkan berdasarkan grafik respon gambar 4.4 dapat dilihat pada tabel 4.3 sebagai berikut :

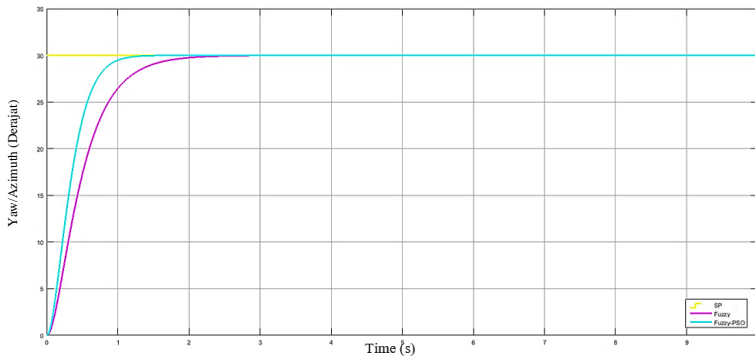
**Tabel 4. 3** Tabel indeks performansi respon sudut *yaw* dengan *membership function 3*

Indeks Performansi	30°		90°		280°	
	Fuzzy	Fuzzy-PSO	Fuzzy	Fuzzy-PSO	Fuzzy	Fuzzy-PSO
<i>Maximum Overshoot (%)</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Rise Time (s)</i>	1,3078	1,7036	1,3078	1,7064	1.3077	1.3332
<i>Settling Time (s)</i>	2,3827	3,3341	2,3826	3,3382	2.3819	2.6609

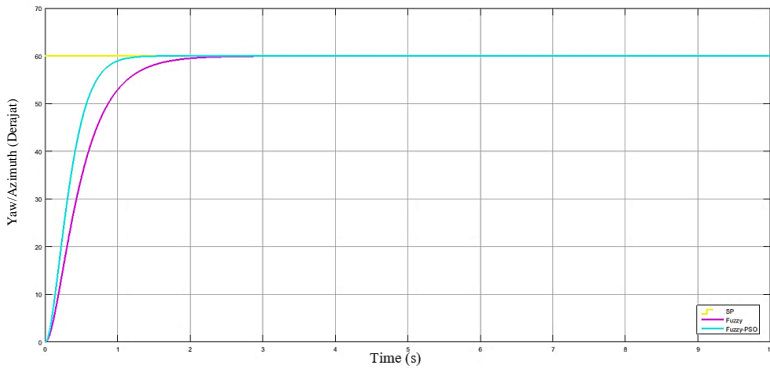
Indeks Performansi	30°		90°		280°	
	Fuzzy	Fuzzy-PSO	Fuzzy	Fuzzy-PSO	Fuzzy	Fuzzy-PSO
<i>Error Steady State (%)</i>	0,019	0,0004	0,006	0,005	0,002	0,001

Pada hasil uji *set point* yang dilakukan pada sudut *azimuth-yaw* dengan *membership function* 3 menunjukkan bahwa baik pada kontrol fuzzy maupun fuzzy-PSO hampir tidak memiliki *overshoot* pada setiap variasi sudutnya. Pada tabel indeks performansi 4.3 dapat dilihat pada sudut 30° bahwa fuzzy-PSO memiliki nilai *rise time* dan nilai *settling time* yang lebih lama bila dibandingkan dengan fuzzy, namun memiliki nilai *error steady state* yang lebih kecil. Pada sudut 90° respon yang dihasilkan fuzzy-PSO memiliki nilai *rise time* dan nilai *settling time* yang lebih lama bila dibandingkan dengan fuzzy, namun memiliki nilai *error steady state* yang lebih kecil. Sedangkan pada sudut 280° pun respon yang dihasilkan fuzzy-PSO memiliki nilai *rise time* dan nilai *settling time* yang lebih lama bila dibandingkan dengan fuzzy, namun memiliki nilai *error steady state* yang lebih kecil.

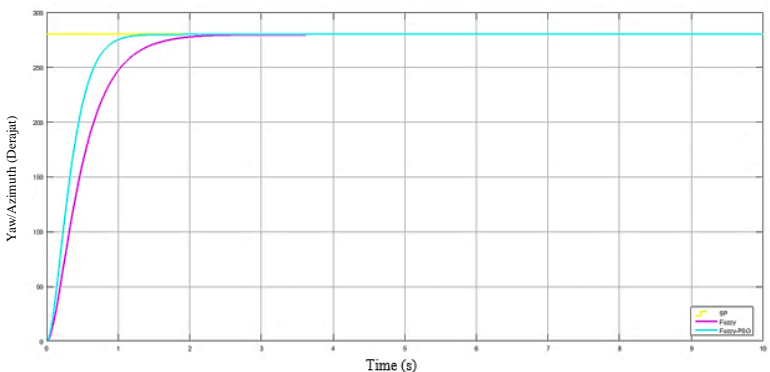
Berikut merupakan gambar grafik respon sudut *azimuth* dengan *membership function* 5 pada 30°, 90°, dan 280°.



(a)



(b)



(c)

**Gambar 4. 5** Respon uji *set point* sudut *azimuth* dengan *membership function* 5 pada sudut (a) 30° (b) 60° (c) 280°

Berdasarkan grafik respon pada gambar 4.5 maka dapat dilihat baik pada sudut 30°, 60°, maupun 280° bahwa pada fuzzy-PSO lebih cepat dalam mencapai nilai *steady* bila dibandingkan dengan menggunakan kontrol fuzzy. Pada fuzzy-PSO mengalami kenaikan dengan cepat dimulai pada detik 0 s hingga 0.5s. Setelah detik 0.5s mengalami perlambatan hingga menuju nilai *set point*. Sedangkan pada kontrol fuzzy cenderung lebih lambat dalam mencapai nilai *steady* maupun nilai *set point*. Adapun nilai-nilai indeks

performansi yang didapatkan berdasarkan grafik respon gambar 4.5 dapat dilihat pada tabel 4.4 sebagai berikut :

**Tabel 4. 4** Tabel indeks performansi respon sudut *yaw* dengan *membership function 5*

Indeks Performansi	30°		90°		280°	
	Fuzzy	Fuzzy-PSO	Fuzzy	Fuzzy-PSO	Fuzzy	Fuzzy-PSO
<i>Maximum Overshoot (%)</i>	0	0,001	0	0	0	0
<i>Rise Time (s)</i>	0,931	0,5748	0,931	0,5749	0,931	0,5749
<i>Settling Time (s)</i>	1,6778	0,9781	1,6778	0,9785	1,6778	0,9786
<i>Error Steady State (%)</i>	0,014	0,001	0,004	0,0004	0,001	0,0001

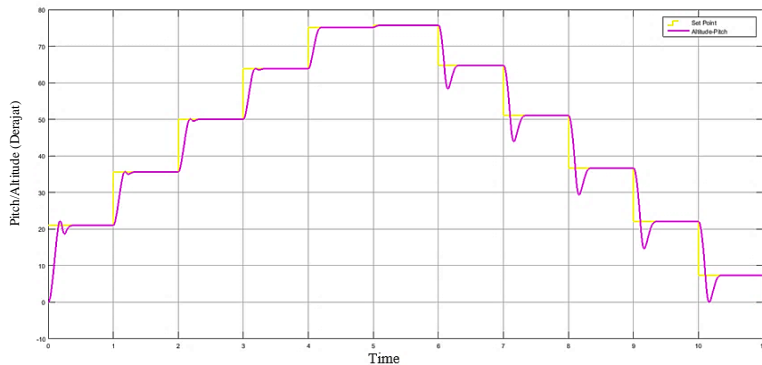
Pada hasil uji *set point* yang dilakukan pada sudut *azimuth-yaw* dengan *membership function 5* menunjukkan bahwa baik pada kontrol fuzzy maupun fuzzy-PSO hampir tidak memiliki *overshoot* pada setiap variasi sudutnya. Pada tabel indeks performansi 4.4 dapat dilihat pada sudut 30° bahwa fuzzy-PSO memiliki nilai *rise time* dan nilai *settling time* yang lebih kecil serta memiliki nilai *error steady state* yang lebih kecil bila dibandingkan dengan kontrol fuzzy saja. Hal tersebut juga berlaku pada sudut 90° dan 280° yang memiliki nilai *rise time* yang lebih kecil, *settling time* yang lebih kecil serta nilai *error steady state* yang lebih kecil bila dibandingkan dengan kontrol fuzzy saja.

Jika dibandingkan *membership function 3* dan *membership function 5* pada fuzzy-PSO dengan melihat hasil pada indeks performansi maka dapat dilihat bahwa pada *membership function 5* dapat mempercepat waktu *settling time* dan waktu *rise time*, serta dapat memperkecil nilai dari *error steady state* bila dibandingkan dengan *membership function 3*. Berdasarkan hasil dari indeks performansi dapat disimpulkan bahwa penggunaan jumlah *membership function* pada fuzzy-PSO dapat berpengaruh pada respon sistem, hal tersebut dikarenakan semakin banyak jumlah

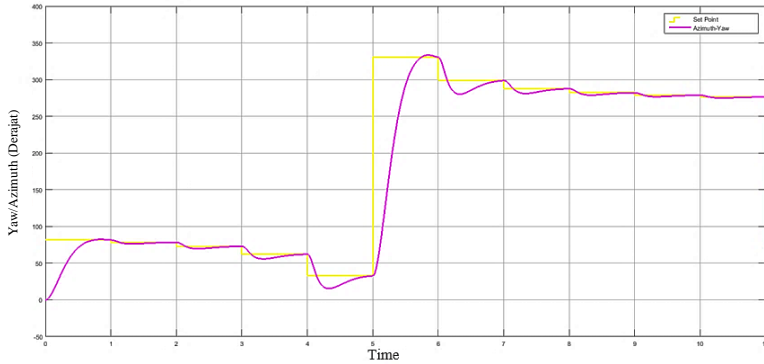
*membership function* maka semakin teliti ketika proses data sedang di eksekusi, selain itu karena semakin bertambahnya jumlah *rule base*. Ketika *rule base* bertambah maka peraturan yang berlaku pun bertambah. Hal tersebut akan mempengaruhi tingkat ketelitian dari sistem keseluruhan.

## 4.2 Uji Tracking

Uji *tracking* dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui respon dari sistem ketika *set point* berubah seiring berjalannya waktu sehingga *photovoltaic* dapat bekerja secara optimal, apabila *photovoltaic* bekerja secara optimal maka daya yang dihasilkan akan optimal. Pada uji *tracking* matahari dilakukan pengambilan data selama 11 jam yang dimulai pada pukul 06:00 WIB hingga 17:00 WIB. Pengambilan data dilakukan dengan rentang *sampling* pada setiap satu jam sehingga didapatkan 11 data terhitung matahari terbit hingga tenggelamnya matahari. Berikut merupakan respon uji *tracking* sudut *altitude* matahari terhadap sudut *pitch* pada *photovoltaic* serta sudut *azimuth* matahari terhadap sudut *yaw* pada *photovoltaic*.



**Gambar 4. 6** Respon uji *tracking* sudut *altitude* terhadap sudut *pitch*



**Gambar 4. 7** Respon uji *tracking* sudut *azimuth* terhadap sudut *yaw*

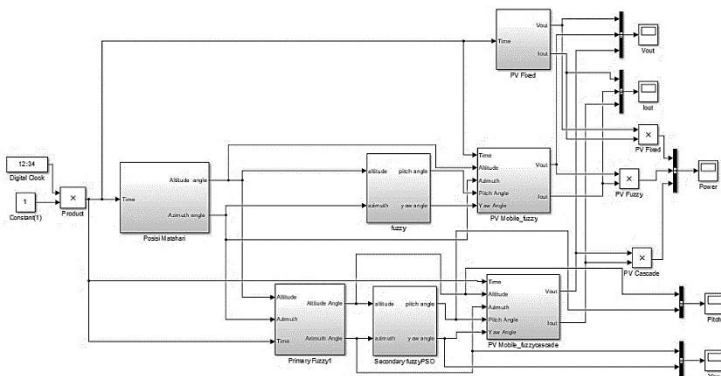
Berdasarkan hasil respon pada gambar 4.6 dan 4.7 dapat dilihat bahwa pemodelan yang telah dilakukan dapat mengikuti posisi matahari. Pada respon sudut *altitude* berimpitan dengan sudut *pitch* dengan rata-rata *error* yang dihasilkan pada uji *tracking* sudut *altitude* terhadap sudut *pitch* sebesar  $0,5^\circ$ . Pada respon sudut *altitude-pitch* memiliki *overshoot* pada awal hingga jam ke tiga serta memiliki *undershoot* pada jam ke enam hingga jam ke sepuluh, hal tersebut merupakan representasi bahwa ketika *photovoltaic* sedang melakukan *tracking* agar dalam mendapatkan sudut yang ditentukan secara optimal. Pada respon sudut *azimuth* berimpitan dengan sudut *yaw* dengan rata-rata *error* yang dihasilkan pada uji *tracking* sudut *azimuth* terhadap sudut *yaw* sebesar  $0,7^\circ$ . Pada respon sudut *altitude-pitch* memiliki *undershoot* pada jam ke empat dan jam ke enam, hal tersebut merupakan representasi bahwa ketika *photovoltaic* sedang melakukan *tracking* pada saat sudut *azimuth* sedang peralihan agar dalam mendapatkan sudut yang ditentukan secara optimal. Serta memiliki respon yang cukup lambat ketika menginjak pada jam 11:00 WIB beralih ke jam 12:00 karena berada pada titik puncak dari sudut *azimuth*. Respon mengalami perlambatan pun dikarenakan pada jam 11:30 merupakan waktu dimana matahari mencapai pada waktu puncak. Sehingga pada pukul 11:30 matahari berada pada posisi tegak lurus

terhadap *photovoltaic* atau dapat dikatakan mencapai posisi *noon time*.

### 4.3 Uji Performansi *Photovoltaic*

Uji performansi *photovoltaic* dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui hasil keluaran dari pemodelan sistem yang telah dilakukan. Pemodelan tersebut dilakukan pada simulasi Matlab yang ditunjukkan pada gambar 4.8. Pada pemodelan tersebut dilakukan perbandingan antara *photovoltaic fixed*, *photovoltaic* pada sistem *solar tracker* dengan kontrol fuzzy, dan *photovoltaic* pada sistem *solar tracker* dengan kontrol *cascade*. Waktu pengambilan data dilakukan di jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember tepatnya di lantai 3 Gedung S2 Teknik Fisika ITS dalam rentang selama 11 jam dimulai pada pukul 06.00 hingga 17.00 waktu setempat dengan *sampling* setiap 1 jam.

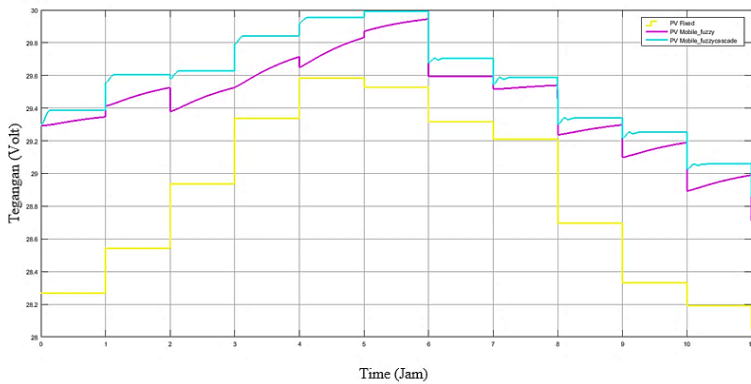
Pada pemodelan simulasi sistem *solar tracker* digunakan *input* berupa sudut azimuth dan altitude pada posisi matahari yang kemudian dapat menghasilkan keluaran berupa tegangan, arus dan daya.



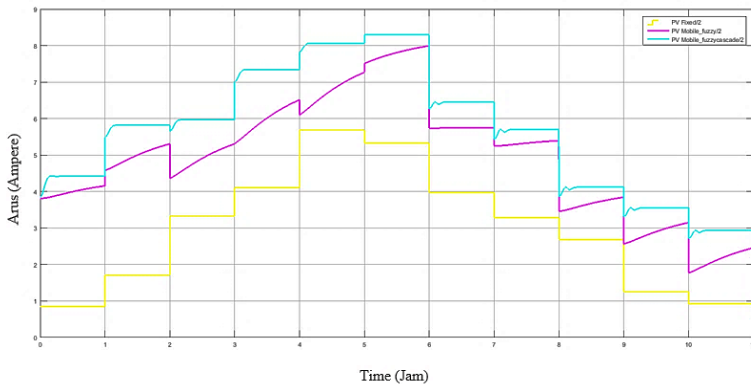
**Gambar 4. 8** Model *solar tracker* pada simulasi Matlab

Hasil keluaran berupa tegangan, arus dan daya akan dibandingkan antara *photovoltaic fixed*, *photovoltaic* pada sistem

*solar tracker* dengan kontrol fuzzy, dan *photovoltaic* pada sistem *solar tracker* dengan kontrol *cascade*. Hasil keluaran tersebut dapat dilihat pada gambar 4.9 hasil tegangan, gambar 4.10 hasil arus dan gambar 4.11 hasil daya.

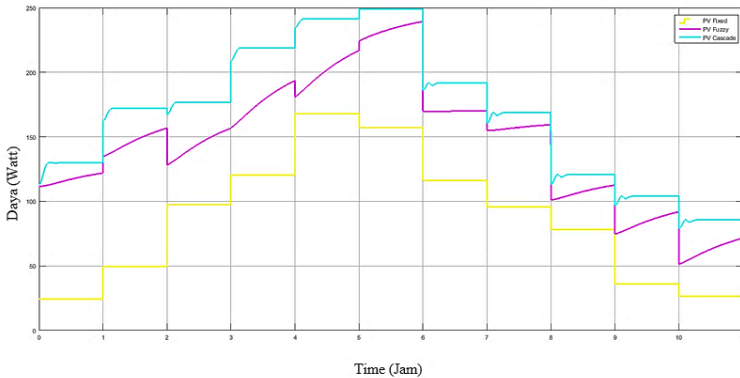


**Gambar 4. 9** Hasil keluaran tegangan



**Gambar 4. 10** Hasil keluaran arus





**Gambar 4.11** Hasil keluaran daya

Dapat dilihat pada gambar 4.9, gambar 4.10, dan gambar 4.11 bahwa hasil keluaran berupa tegangan, arus maupun daya yang dihasilkan *photovoltaic* pada sistem *solar tracker* dengan kontrol *cascade* lebih besar bila dibandingkan dengan *photovoltaic* pada sistem *solar tracker* dengan kontrol *fuzzy* dan *photovoltaic fixed*. Pada *photovoltaic fixed*, tegangan maksimum yang dihasilkan sebesar 29,58 V, arus maksimum yang dihasilkan sebesar 5,68 A, dan daya maksimum yang dihasilkan sebesar 168,29 W. Pada *photovoltaic* sistem *solar tracker* dengan kontrol *fuzzy*, tegangan maksimum yang dihasilkan sebesar 29,94 V, arus maksimum yang dihasilkan sebesar 7,99 A, dan daya maksimum yang dihasilkan sebesar 239,38 W. Pada *photovoltaic* pada sistem *solar tracker* dengan kontrol *cascade*, tegangan maksimum yang dihasilkan sebesar 29,99 V, arus maksimum yang dihasilkan sebesar 8,29 A, dan daya maksimum yang dihasilkan sebesar 248,81 W. Dapat dilihat bahwa *solar tracker* dapat bekerja optimal pada pukul 11.00 WIB hingga 12.00 WIB atau pada saat *noontime*.

Berdasarkan hasil keluaran daya pada *photovoltaic* dapat menghasilkan kenaikan efisiensi gross energi gain dengan kontrol *fuzzy* meningkat sebesar 44,391 Wh atau sebesar 53,97% dari *photovoltaic fixed*. Kenaikan efisiensi gross energi gain dengan kontrol *cascade* meningkat sebesar 70,75 Wh atau sebesar 86,03%

dari *photovoltaic fixed*. Nilai *netto* energi gain dapat dihitung dengan menghitung jumlah energi yang di dapatkan selama 11 jam kemudian dikurangi dengan energi yang digunakan pada perangkat internal. Pada penelitian rancang bangun yang telah dilakukan didapatkan konsumsi energi yang digunakan oleh perangkat internal sistem *solar tracker* sebesar 74,15 Wh, maka nilai efisiensi *netto* energi gain sebesar 78,52% dari *photovoltaic fixed*. Kenaikan efisiensi dari keluaran hasil *photovoltaic* dikarenakan *photovoltaic* dapat mengikuti arah gerak dari matahari sehingga dapat menangkap radiasi matahari secara maksimal.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil yang telah didapatkan, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- a. Kontrol fuzzy PSO dapat diimplementasikan pada sistem *solar tracker* dengan kontrol *cascade* dengan indeks performansi terbaik pada *membership function* 5 baik pada sudut *pitch* maupun sudut *yaw*. Pada sudut *pitch* memiliki *maximum overshoot* sebesar 0%, *rise time* sebesar 0,2564 s, *settling time* sebesar 0,4755 s, dan *error steady state* sebesar 0,0002% dengan *set point* 80°. Pada sudut *yaw* memiliki *maximum overshoot* sebesar 0%, *rise time* sebesar 0,5749 s, *settling time* sebesar 0,9785 s, *error steady state* sebesar 0,0004% dengan *set point* 90°.
- b. Kontrol *cascade* yang telah dirancang mampu meningkatkan efisiensi gross energi pada *photovoltaic* sebesar 86,03% selama 11 jam dan efisiensi netto energi gain sebesar 78,52%.

#### **5.2 Saran**

Adapun saran yang dapat dikembangkan pada penelitian selanjutnya yaitu dengan menambahkan pemodelan efek lingkungan diantaranya kelembapan udara dan kecepatan angin pada *photovoltaic* sehingga hasil yang didapatkan lebih mendekati *real plant*.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] BPPT, Outlook Energi Indonesia 2016, Jakarta: BPPT, 2016.
- [2] P. Tharakan, "Summary of Indonesia's Energy Sector Assessment," *Summary of Indonesia's Energy Sector Assessment*, 2015.
- [3] Alamendah, 9 September 2014. [Online]. Available: [alamendah.org/2014/09/09/8-sumber-energi-terbarukan-di-indonesia/](http://alamendah.org/2014/09/09/8-sumber-energi-terbarukan-di-indonesia/). [Accessed 28 Januari 2019].
- [4] Z. M. M. B. A. B. S. A. M. F.Z, A novel method to optimize photovoltaic generator operation, *Int. J. Energy Res*, 2008.
- [5] G. A. B. H. Roth P, Cheap two axis sun following device, *Energy Convers Manag*, 2005.
- [6] K. A. J. A. M. H. A. K. S. A. Mousazadeh H, *A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar system output*, no. *Renew Sustain Energy Rev* 2009;13:1800-18.
- [7] B. V. R. R. P. A. D. S. a. M. P. D. R, *Comparison of Efficiencies of Solar Tracker Systems with Static Panel Single-Axis Tracking System and Dual-Axis Tracking System with Fixed Mount*, vol. 5, no. *International Journal of Engineering and Technology*, 2013.
- [8] R. Banerjee, *Solar Tracking System*, vol. 5 no. 3, no. *IJSRP*, 2015.
- [9] A. S. A. M. I. Abadi, *Design Of Single Axis Solar Tracking System At Photovoltaic Panel Using Fuzzy Logic Controller.*, 2015.
- [10] A. O. M. N. W. Batayneh, *An Intelligent Fuzzy Based Tracking Controller for A Dual Axis Solar PV System.*, 2013.

- [11] M. d. A. D. Zhuang, "Optimum Cascade PID Controller Design For SISO System," *IEEE Conference Publication*, pp. 21-24, 1994.
- [12] A. F. Babgei, *Rancang Bangun Maximum Power Point Tracker (MPPT) Pada Panel Surya Dengan Menggunakan Metode Fuzzy. 1-9.*, pp. 1-9, 2011.
- [13] L. Eduardo, *Engineering of Photovoltaic Systems*, no. Solar Electricity, 1994.
- [14] U. O. A. & I. A. M.A, *Design and Performance of Solar Tracking System with Fuzzy Logic Controller*, vol. LATS'11, no. International Advanced Technologies Symposium, 2011.
- [15] A. A. M. A. & A. S. F. Balabel, "Design and Performance of Solar Tracking Photovoltaic System," *International Journal of Control, Automation and System*, vol. 1, 2013.
- [16] N. Manafeddin, "DC Motor POsition Control Using Fuzzy Propotional-Derivative Controllers with Different Defuzzification Methods," *Turkish Journal Of Fuzzy Systems*, 2010.
- [17] R. Anugraha, *Mekanika Benda Langit*, 2012.
- [18] K. Flex, *How to find 3D coordinates on a celestial sphere's surface* , no. Stack Oveerflow, 2008.
- [19] D. S. & C. S. S. Jain, *Simulation Studies on Dual Axis Solar Photovoltaic Panel Tracking System*, vol. Electrical & Instrumentation Engineering Department Thapar University, 2012.
- [20] A. M. A. S. Imam Abadia, "Design and Implementation of Active Two Axes Solar Tracking System Using Particle Swarm Optimization Based Fuzzy Logic Controller," vol. 8, December 2015.
- [21] A. M. A. S. Imam Abadi, "Type-2 Fuzzy Logic Controller based PV Passive Two Axis Solar Tracking System," *IREE*

- International review of Electrical Engineering*, vol. 10, no. 3, pp. 390-398, 2015.
- [22] K. A. Permatasari, *Perancangan Sistem Pengendalian Sudut Pitch dan Yaw Pada Solar Tracking Menggunakan Metode PSO-Fuzzy*, 2015.
- [23] A. M. A. A. S. F. Balabel. Ashraf, *Design and Performance Of Solar Tracking Photo-Voltaic System ; Research and Education*, vol. 1 & 2, no. International Journal Of Control, Automation And Systems , 2013.
- [24] A. A. Gafar, *Pengantar Kecerdasan Buatan*, Pendidikan Teknik Elektro UPI, 2011.
- [25] B. Santosa, *Tutorial Particle Swarm Optimization*, Teknik Industri ITS, 2010.
- [26] P. P. Ilham Pakaya, "Particle Swarm Optimization-Fuzzy Logic Controller Untuk Penyearah Satu Fasa," *Jurnal Ilmiah Edutic*, vol. 1, 2014.
- [27] [Online]. Available: <http://staff.ui.ac.id/system/files/users/chairul.hudaya/material/dcmotorpaperandqa.pdf>. [Accessed 12 Januari 2019].
- [28] M. Namazov, *DC Motor Position Control Using Fuzzy Proportional-Derivative Controllers with Different Defuzzification Methods*, no. Turkish Journal Of Fuzzy Systems, 2010.
- [29] S. Ray, "Calculation of Sun Position and Tracking the Path of Sun for a Particular Geographical Location," *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* , vol. 2, no. 9, pp. 2250-2459, 2012.
- [30] S. N. S. Abdallah, "Two Axes Sun Tracking System with PLC Control," vol. 45, no. Energy Conversion and Management, pp. 1931-1939, 2004.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## LAMPIRAN

### LAMPIRAN A

#### HASIL TRACKING POSISI MATAHARI PADA SUDUT ALTITUDE

Waktu	Altitude		Error
	Simulasi	NOAA	
06:00	6.57	6.32	0.25
07:00	21.86	21	0.86
08:00	36.52	35.63	0.89
09:00	50.96	50.05	0.91
10:00	64.76	63.84	0.92
11:00	75.93	75.17	0.76
12:00	75.62	75.73	-0.11
13:00	64.24	64.8	-0.56
14:00	50.39	51.08	-0.69
15:00	35.95	36.69	-0.74
16:00	21.28	22.07	-0.79
17:00	6.5	7.39	-0.89

#### HASIL TRACKING POSISI MATAHARI PADA SUDUT AZIMUTH

Waktu	Azimuth		Error
	Simulasi	NOAA	
06:00	84.65	84.03	0.62
07:00	81.82	81.65	0.17
08:00	78.47	78.32	0.15
09:00	73.04	72.95	0.09
10:00	62.01	62.24	-0.23

11:00	32.93	33.07	-0.14
12:00	330	330.78	-0.78
13:00	298.3	299.1	-0.8
14:00	286.91	287.72	-0.81
15:00	281.4	282.12	-0.72
16:00	278.1	278.71	-0.61
17:00	275.7	276.3	-0.6

### HASIL PENGAMBILAN DATA MOTOR DC

Tegangan (V)	RAD/M	RAD/S	RPM	Imin (A)	Imax (A)
2	3.8	0.063333	0.604789	0.12	0.13
2	4	0.066667	0.63662	0.12	0.13
3	4.6	0.076667	0.732113	0.14	0.15
3	4.9	0.081667	0.779859	0.14	0.15
4	7.1	0.118333	1.13	0.16	0.17
4	7.4	0.123333	1.177747	0.16	0.17
5	9.6	0.16	1.527887	0.18	0.19
5	9.7	0.161667	1.543803	0.18	0.19
6	11.3	0.188333	1.798451	0.2	0.21
6	11.7	0.195	1.862113	0.2	0.21
7	13.3	0.221667	2.116761	0.22	0.23
7	13.7	0.228333	2.180423	0.22	0.23
8	16.6	0.276667	2.641972	0.24	0.25
8	16.8	0.28	2.673803	0.24	0.25
9	18.7	0.311667	2.976197	0.26	0.27
9	18.9	0.315	3.008028	0.26	0.27
10	20.9	0.348333	3.326338	0.27	0.28
10	21.4	0.356667	3.405916	0.27	0.28
11	23	0.383333	3.660564	0.29	0.3

11	23.1	0.385	3.676479	0.29	0.3
12	24.7	0.411667	3.931127	0.31	0.32
12	25.8	0.43	4.106198	0.31	0.32

### HASIL KELUARAN TEGANGAN UNTUK VALIDASI

Waktu	Tegangan	
	Simulasi	Pengukuran
06:00	29.05	29.1
07:00	29.55	29.60
08:00	29.90	30.00
09:00	30.10	30.26
10:00	30.60	30.76
11:00	30.75	30.86
12:00	30.86	30.96
13:00	29.95	30.00
14:00	29.77	29.86
15:00	29.69	29.78
16:00	28.96	29.14
17:00	29.00	29.10

### HASIL KELUARAN ARUS UNTUK VALIDASI

Waktu	Arus	
	Simulasi	Pengukuran
06:00	1.77	1.75
07:00	2.30	2.48
08:00	5.89	5.94
09:00	7.50	7.63
10:00	9.17	9.10
11:00	9.49	9.31
12:00	9.14	9.18

13:00	2.84	2.91
14:00	2.65	2.77
15:00	2.14	2.22
16:00	1.83	2.01
17:00	0.93	1.21

### **HASIL KELUARAN TEGANGAN PADA *SOLAR TRACKER***

Waktu	Fixed	Fuzzy	Cascade
06:00	28.8316	29.2931	29.3003
07:00	28.965	29.4126	29.5555
08:00	29.2175	29.378	29.5793
09:00	29.3382	29.5274	29.7919
10:00	29.5844	29.6487	29.919
11:00	29.529	29.8692	29.992
12:00	29.3173	29.593	29.676
13:00	29.2098	29.5165	29.545
14:00	29.1165	29.2369	29.3008
15:00	28.8937	29.0985	29.2151
16:00	28.8416	28.9744	29.1212
17:00	28.7896	28.8687	29.0529

### **HASIL KELUARAN ARUS PADA *SOLAR TRACKER***

Waktu	Fixed	Fuzzy	Cascade
06:00	0.852884	3.811614	3.858006
07:00	1.710546	4.580115	5.49618
08:00	3.330859	4.360283	5.650583
09:00	4.104484	5.318245	7.012915
10:00	5.683039	6.096201	7.828582
11:00	5.326679	7.508498	8.296003
12:00	3.969683	5.73784	6.270061

13:00	3.280115	5.24791	5.430235
14:00	2.682525	3.454872	3.8643
15:00	1.250689	2.564652	3.311699
16:00	0.916613	1.769283	2.710358
17:00	0.582537	1.091916	2.272544

### **HASIL KELUARAN DAYA PADA SOLAR TRACKER**

Waktu	Fixed	Fuzzy	Cascade
06:00	24.58999	111.6539	113.0408
07:00	49.54598	134.7131	162.4425
08:00	97.31946	128.0964	167.1405
09:00	120.4182	157.0342	208.9278
10:00	168.129	180.7444	234.2233
11:00	157.2915	224.2726	248.8141
12:00	116.3804	169.7999	186.0703
13:00	95.81135	154.9	160.4361
14:00	78.10585	101.0098	113.2271
15:00	36.13706	74.62751	96.75149
16:00	26.43662	51.26392	78.92901
17:00	16.77097	31.52222	66.0241

### **TEMPERATUR DAN IRADIASI PADA PHOTOVOLTAIC FIXED**

Waktu	Suhu	Iradiasi
06:00	28.5	200.1
07:00	30.9	543.1
08:00	41.8	638.4
09:00	49.8	818.44
10:00	50.7	904.4
11:00	54.9	1079.8

12:00	48.2	1040.2
13:00	46.8	889.42
14:00	45.9	812.8
15:00	45.1	746.4
16:00	28.7	587.3
17:00	27.5	550.18

**TEMPERATUR DAN IRADIASI PADA *PHOTOVOLTAIC SOLAR TRACKER***

Waktu	Suhu	Iradiasi
06:00	32.2	593.5
07:00	34.9	939.4
08:00	45.8	1094.52
09:00	53.8	1111.2
10:00	54.7	1264
11:00	58.5	1344.4
12:00	55.4	1370.2
13:00	53.6	1166.18
14:00	53.7	1082.6
15:00	48.5	906.14
16:00	35.48	843.62
17:00	35.06	774.78

**LAMPIRAN B**

Gambar 2. Pengambilan Data Radiasi dan Temperatur

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## BIODATA PENULIS



Nama penulis yaitu Nadia Aisyah. Penulis lahir di Surabaya, 29 Maret 1996. Pernah menempuh pendidikan di SDN Sidokumpul Sidoarjo, SMPN 6 Sidoarjo, SMA Muhammadiyah 2 Sidoarjo, kemudian melanjutkan kuliah di Program Studi D3 Metrologi dan Instrumentasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan sekarang melanjutkan S1 di Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Bidang minat yang menjadi fokus penulis ialah Bidang Rekayasa Instrumentasi. Pada bulan Juli 2019 penulis telah menyelesaikan tugas akhir yang berjudul *Perancangan Cascade Close Loop Control Pada Solar Tracker Berbasis PSO-Modified Fuzzy Algorithm*. Penulis merasa masih memiliki banyak ketidaksempurnaan dan kurangnya pengetahuan dalam penyusunan tugas akhir ini, sehingga penulis terbuka akan kritik dan saran dari pembaca. Bagi pembaca yang ingin berdiskusi dapat menghubungi melalui *email*: [nadia29aisyah@gmail.com](mailto:nadia29aisyah@gmail.com).