



TUGAS AKHIR - TF 141581

**PERANCANGAN *MOBILE PASSIVE TWO AXIS SOLAR TRACKER* PADA *PHOTOVOLTAIC* MENGGUNAKAN KENDALI LOGIKA *FUZZY-PI***

NADIA FASA  
NRP.2415105008

Dosen Pembimbing  
Dr. Imam Abadi, ST. MT.

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



**FINAL PROJECT - TF141581**  
**DESIGN OF MOBILE PASSIVE TWO AXIS**  
**SOLAR TRACKER ON PHOTOVOLTAIC USING**  
**FUZZY-PI METHOD**

NADIA FASA  
NRP.2415105008

*Supervisors*  
Dr. Imam Abadi, ST. MT.

*DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS*  
*Faculty of Industrial Technology*  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

## **PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Nadia Fasa

NRP : 2415105008

Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS

dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya berjudul PERANCANGAN *MOBILE PASSIVE TWO AXIS SOLAR TRACKER* PADA *PHOTOVOLTAIC* MENGGUNAKAN KENDALI LOGIKA *FUZZY-PI* 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, Juli 2017

Yang membuat pernyataan,

Nadia Fasa

**PERANCANGAN *MOBILE PASSIVE TWO AXIS SOLAR TRACKER* PADA *PHOTOVOLTAIC* MENGGUNAKAN  
KENDALI LOGIKA FUZZY-PI**

**TUGAS AKHIR**

Oleh:  
**Nadia Fasa**  
NRP : 2415 105 008

Surabaya, Juli 2017

Mengetahui / Menyetujui

Pembimbing



**Dr. Imam Abadi, ST., MT.**  
NIP. 19761006 199903 1 002

**Ketua Departemen Teknik Fisika**



**Agus Muhammad Hatta, ST, MSi, Ph.D**  
NIP. 19780902 200312 1 002

**PERANCANGAN *MOBILE PASSIVE TWO AXIS SOLAR TRACKER* PADA *PHOTOVOLTAIC* MENGGUNAKAN KENDALI LOGIKA FUZZY-PI**

**TUGAS AKHIR**

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

Oleh :

**Nadia Fasa**  
**NRP. 2415105008**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Imam Abadi, ST., MT.  (Pembimbing 1)
2. Dr. Ir. Purwadi Agus Darwito, M.Sc.  (Ketua Tim Penguji)
3. Dr. Ir. Ali Musyafa', MSc.  (Penguji 1)
4. Agus Muhamad Hatta, ST, MSi, Ph.D  (Penguji 2)

**SURABAYA**  
**Juli, 2017**

**PERANCANGAN MOBILE PASSIVE TWO AXIS SOLAR  
TRACKER PADA PHOTOVOLTAIC MENGGUNAKAN  
KENDALI LOGIKA FUZZY-PI**

**Nama Mahasiswa** : Nadia Fasa  
**NRP** : 2415105008  
**Program Studi** : S1 Teknik Fisika  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Imam Abadi, ST. MT.

**ABSTRAK**

*Solar tracker* merupakan gabungan sistem mekanis yang dapat menggerakkan suatu sistem panel surya agar selalu mengikuti arah matahari. Sistem *solar tracker* ini diharapkan dapat mengoptimalkan daya keluaran dari *photovoltaic*. Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah ada sistem *solar tracking* banyak dikembangkan dengan kondisi *fix based*, sehingga pada penelitian kali ini akan dikembangkan sistem *solar tracking* menggunakan metode *mobile tracking*. *Mobile solar tracker* mempunyai dua tipe yaitu aktif dan pasif. Pada tipe aktif menggunakan sensor photodiode (LDR), sedangkan tipe pasif menggunakan posisi matahari sehingga dapat digunakan pada saat kondisi matahari tidak cerah. Penelitian ini menerapkan logika *Fuzzy* yang berbasis *auto tuning* dan digunakan untuk menala nilai  $K_p$  dan  $K_i$  yang akan digunakan dalam sistem sehingga dapat meningkatkan kinerja sistem solar tracker. Hasil pengujian menunjukkan bahwasannya sistem kontrol dapat diterapkan, dengan menggunakan 3 dan 5 jumlah keanggotaan didapatkan respon yang terbaik ketika menggunakan 5 jumlah keanggotaan dengan parameter indeks performansi yang didapatkan pada salah satu sudut *pitch* ( $30^0$ ) didapatkan nilai *rise time* ( $t_r$ ) 0.61 detik, *settling time* ( $t_s$ ) 5.18 detik, maximum overshoot 3.18% dan *error steady state* ( $e_{ss}$ ) 0.45%. Peningkatan efisiensi energi yang dihasilkan oleh *mobile tracking* sebesar 52.37%.

**Kata kunci** : *Solar Tracker, Mobile Passive Solar Tracker, Fuzzy PI*

# **DESIGN OF MOBILE PASSIVE TWO AXIS SOLAR TRACKER ON PHOTOVOLTAIC USING FUZZY-PI METHOD**

**Name** : Nadia Fasa  
**NRP** : 2415105008  
**Study Program** : S1 Teknik Fisika  
**Supervisor** : Dr. Imam Abadi, ST. MT.

## **ABSTRACT**

*Solar tracker is a combination of a mechanical system that can move a solar panel system to always follow the direction of the sun. The solar tracker system is expected to optimize the output power of photovoltaic. Based on existing studies, solar tracking system has been developed with fix-based condition, so in this research will be developed solar tracking system using mobile tracking method. Mobile solar tracker has two types: active and passive. In the active type using a photodiode sensor (LDR), while the passive type uses the position of the sun so it can be used when the sun is not bright conditions. This research applies Fuzzy logic based on auto tuning and used to tune the value of  $K_p$  and  $K_i$  which will be used in the system so as to improve the performance of solar tracker system. The result of the test shows that the control system can be applied, using 3 and 5 the number of members get the best response when using 5 membership numbers with the performance index parameters obtained at one of the pitch angles 300 obtained the time rise ( $t_r$ ) 0.61 sec, settling time ( $t_s$ ) 5.18 seconds, maximum overshoot 3.18% and steady state error ( $e_{ss}$ ) 0.45%. Increased energy efficiency generated by mobile tracking is 52.37%.*

**Keywords** : Solar Tracker, Mobile Passive Solar Tracker, Fuzzy PI

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah S.W.T, karena rahmat dan hikmat-Nya sehingga penulis diberikan kesehatan, kemudahan, dan kelancaran dalam menyusun laporan tugas akhir ini. 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. Segenap keluarga yang telah memberikan dukungan penuh dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Dr. Imam Abadi, S.T, M.T.. selaku dosen pembimbing tugas akhir ini, yang selalu sabar memberikan semangat dan masukan-masukan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir.
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. Teman-teman seperjuangan TA (Lufi dan Aulia) yang telah memotivasi dan memberikan bantuan-bantuan dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini.
7. Rekan-rekan LJ GENAP TF 2015 dan warga Teknik Fisika - ITS, yang senantiasa memberikan motivasi dan keceriaan.
8. Teman-teman (Muiz, Tiara, Ria, Novia, Dina, Rachma, Jessie) yang selalu mensupport, dan selalu menghibur dalam suka maupun duka ☺.

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, Juli 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI</b> .....	v
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	vii
<b>ABSTRAK</b> .....	xi
<b>ABSTRACT</b> .....	xiii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xv
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xvii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xxiii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan .....	3
1.5 Sistematika Laporan.....	3
<b>BAB II DASAR TEORI</b> .....	5
2.1 Panel Surya .....	5
2.2 Solar Tracker.....	6
2.3 Posisi Matahari.....	7
2.4 Sensor CMPS10 .....	8
2.5 Motor DC .....	10
2.6 <i>Fuzzy Logic Controller</i> .....	12
2.5 Metode Kontrol PI (Proportional Integral) .....	14
<b>BAB III METODE PERANCANGAN SISTEM</b> .....	17
3.1 Diagram Alir.....	17
3.2 Perumusan Masalah .....	18
3.3 Studi Literatur .....	18
3.4 Rancangan Penelitian.....	19
3.5 Pengambilan Data .....	19
3.5.1 Pengambilan Data Posisi Matahari .....	19
3.5.2 Pengambilan Data Motor DC.....	21
3.5.3 Pengambilan Data Panel Surya .....	24

3.6	Pemodelan <i>Mobile Passive Solar Tracker</i> .....	25
3.6.1	Pemodelan Posisi Matahari .....	25
3.6.2	Pemodelan Motor DC.....	27
3.6.3	Pemodelan <i>Photovoltaic</i> .....	29
3.7	Validasi Model <i>Mobile Passive Solar Tracker</i> .....	33
3.7.1	Validasi Model Posisi Matahari .....	33
3.7.2	Validasi Model Motor DC.....	34
3.7.3	Validasi Model PV panel .....	35
3.8	Perancangan Sistem Kontrol <i>Fuzzy-PI</i> .....	37
3.9	Sistem Kontrol <i>Solar Tracker</i> Menggunakan Tuning PI Berdasarkan Metode <i>Trial and Error</i> .....	38
<b>BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>47</b>
4.1	Uji <i>Set point</i> .....	47
4.2	Uji <i>Tracking Set point</i> .....	58
4.3	Uji Performansi Keluaran PV .....	65
<b>BAB V PENUTUP .....</b>		<b>71</b>
5.1	Kesimpulan.....	71
5.2	Saran.....	71
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		
<b>LAMPIRAN</b>		

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Dual Axis Solar Tracker .....	6
<b>Gambar 2.2</b>	Sistem Koordinat Horizon .....	7
<b>Gambar 2.3</b>	Sensor Posisi CMPS10 .....	9
<b>Gambar 2.4</b>	Rangkaian Motor DC .....	10
<b>Gambar 2.5</b>	Sistematika <i>Fuzzy Logic Controller</i> .....	12
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Pengerjaan Penelitian.....	17
<b>Gambar 3.2</b>	Lanjutan .....	18
<b>Gambar 3.3</b>	Rute Pengambilan Data Posisi Matahari.....	20
<b>Gambar 3.4</b>	Pengambilan Data Posisi Matahari Menggunakan <i>SunCalc org</i> .....	21
<b>Gambar 3.5</b>	Pengambilan Data Motor DC yang terhubung dengan DC <i>Power Supply</i> .....	22
<b>Gambar 3.6</b>	Set up Pengukuran PV .....	24
<b>Gambar 3.7</b>	Model Simulink Posisi Matahari.....	26
<b>Gambar 3.8</b>	Model Simulink Motor DC .....	28
<b>Gambar 3.9</b>	Rangkaian Listrik dengan Single Diode .....	29
<b>Gambar 3.10</b>	Model Simulink <i>Photovoltaic</i> .....	32
<b>Gambar 3.11</b>	Hasil Validasi Model Posisi Matahari Sudut <i>Altitude</i> .....	33
<b>Gambar 3.12</b>	Hasil Validasi Model Posisi Matahari Sudut <i>Azimuth</i> .....	34
<b>Gambar 3.13</b>	Hasil Validasi Model Motor DC.....	35
<b>Gambar 3.14</b>	Hasil Validasi Tegangan Output PV panel .....	36
<b>Gambar 3.15</b>	Hasil Validasi Arus Output PV Panel .....	36
<b>Gambar 3.16</b>	Diagram Blok Solar Tracker Mode <i>Passive</i> .....	37
<b>Gambar 3.17</b>	FIS editor Sudut (a) Pitch dan (b) Yaw.....	39
<b>Gambar 3.18</b>	Fungsi Keanggotaan <i>Fuzzy Input Error</i> dan <i>Delta error</i> Sudut <i>Pitch</i> (a) 3 MF <i>Error</i> (b)3 MF <i>Deltaerror</i> .....	40
<b>Gambar 3.19</b>	Fungsi Keanggotaan <i>Fuzzy Input Error</i> dan <i>Delta error</i> Sudut <i>Pitch</i> (a) 5 MF <i>Error</i> (b) 5 MF <i>Deltaerror</i> .....	41

<b>Gambar 3.20</b>	Fungsi Keanggotaan <i>Fuzzy Input Error</i> dan <i>Delta error</i> Sudut <i>Yaw</i> (a) 3 MF <i>Error</i> (b) 3 MF <i>Deltaerror</i> .....	42
<b>Gambar 3.21</b>	Fungsi Keanggotaan <i>Fuzzy Input Error</i> dan <i>Delta error</i> Sudut <i>Yaw</i> (a) 5 MF <i>Error</i> (b) 5 MF <i>Deltaerror</i> .....	43
<b>Gambar 3.22</b>	Defuzzifikasi 3 <i>Membership function</i> Parameter (a) <i>Kp</i> dan (b) <i>Ki</i> untuk Sudut <i>Pitch &amp; Yaw</i> .....	43
<b>Gambar 3.23</b>	Defuzzifikasi 5 <i>Membership function</i> Parameter <i>Kp</i> pada sudut <i>pitch</i> dan <i>yaw</i> .....	45
<b>Gambar 4.1</b>	Simulasi Matlab Uji <i>Set point</i> .....	48
<b>Gambar 4.2</b>	Respon Sudut <i>Pitch</i> dengan Beban Torsi 3.1 Pada <i>Set point</i> (a) $30^0$ (b) $60^0$ (c) $90^0$ .....	50
<b>Gambar 4.3</b>	Respon Sudut <i>Pitch</i> Tanpa Beban Torsi Pada <i>Set point</i> (a) $30^0$ (b) $60^0$ (c) $90^0$ .....	52
<b>Gambar 4.4</b>	Respon Sudut <i>Yaw</i> dengan Beban Torsi 3.9 Pada <i>Set point</i> (a) $30^0$ (b) $60^0$ (c) $90^0$ .....	55
<b>Gambar 4.5</b>	Respon Sudut <i>Yaw</i> Tanpa Beban Torsi Pada <i>Set Point</i> (a) $30^0$ (b) $60^0$ (c) $90^0$ .....	57
<b>Gambar 4.6</b>	Simulasi Matlab Uji <i>Tracking Set point</i> .....	59
<b>Gambar 4.7</b>	Respon Uji <i>Tracking</i> Naik Pada Sudut <i>Pitch</i> (a) dengan Beban Torsi 3.1 (b) Tanpa Beban Torsi .....	60
<b>Gambar 4.8</b>	Respon Uji <i>Tracking</i> Turun Pada Sudut <i>Pitch</i> .....	61
<b>Gambar 4.9</b>	Respon Uji <i>Tracking</i> Naik <i>Set point</i> Pada Sudut <i>Yaw</i> (a) dengan Beban Torsi 3.9 (b) Tanpa Beban Torsi .....	63
<b>Gambar 4.10</b>	Respon Uji <i>Tracking</i> Turun <i>Set point</i> Pada Sudut <i>Yaw</i> (a) dengan Beban Torsi 3.9 (b) Tanpa Beban Torsi .....	64
<b>Gambar 4.11</b>	Respon Uji <i>Tracking</i> Turun <i>Set point</i> Pada Sudut <i>Yaw</i> (a) dengan Beban Torsi 3.9 (b) Tanpa Beban Torsi .....	66
<b>Gambar 4.12</b>	Tegangan yang dihasilkan oleh <i>Mobile Passive Solar Tracker</i> .....	67
<b>Gambar 4.13</b>	Arus yang dihasilkan oleh <i>Mobile Passive Solar Tracker</i> .....	68

**Gambar 4.14** Daya yang dihasilkan oleh Mobile Active Solar Tracker .....69

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Efek Setiap Pengendali PI .....	15
<b>Tabel 3.1</b> Parameter-parameter Motor DC .....	24
<b>Tabel 3.2</b> Spesifikasi Modul <i>Photovoltaic</i> Tipe TN-20M .....	25
Tabel 3.3 Parameter Kp Defuzzifikasi 3 MF Pada Sudut <i>Pitch</i> dan <i>Yaw</i> .....	44
<b>Tabel 3.4</b> Parameter Ki Defuzzifikasi 3 MF Pada Sudut <i>Pitch</i> dan <i>Yaw</i> .....	44
<b>Tabel 3.5</b> Parameter Kp Defuzzifikasi 5 MF Pada Sudut <i>Pitch</i> dan <i>Yaw</i> .....	45
<b>Tabel 3.6</b> Parameter Ki Defuzzifikasi 5 MF.....	46
<b>Tabel 3.7</b> Rule Base 5 MF .....	46
<b>Tabel 3.8</b> Rule Base 3 MF .....	46
<b>Tabel 4.1</b> Perbandingan Indeks Performansi Sudut <i>Pitch</i> dengan Beban Torsi 3.1 Menggunakan 3 dan 5 <i>Membership</i> <i>Function</i> .....	51
<b>Tabel 4.2</b> Perbandingan Indeks Performansi Sudut <i>Pitch</i> Tanpa Beban Torsi Menggunakan 3 dan 5 <i>Membership</i> <i>Function</i> .....	53
<b>Tabel 4.3</b> Perbandingan Indeks Performansi Sudut <i>Yaw</i> dengan Beban Torsi 3.9 Menggunakan 3 dan 5 <i>Membership</i> <i>Function</i> .....	56
<b>Tabel 4.4</b> Perbandingan Indeks Performansi Sudut <i>Yaw</i> Tanpa Beban Torsi Menggunakan 3 dan 5 <i>Membership</i> <i>function</i> .....	58

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan zaman dan peningkatan populasi manusia akan menyebabkan permintaan energi di dunia semakin meningkat, salah satunya konsumsi energi listrik di Indonesia. Energi listrik menghasilkan pembangkit listrik konvensional misalnya Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), dan lain-lain. Pemanfaatan sumber daya alam sebagai salah satu pembangkit tenaga listrik dirasa belum mampu mencukupi kebutuhan listrik sehari-hari. Energi baru terbarukan dirasa dapat mencukupi kebutuhan konsumsi listrik yang terus berkembang. Energi terbarukan yang sangat populer saat ini adalah energi surya (matahari). Energi matahari adalah sumber energi yang tidak terbatas dan tersedia sepanjang hari. Indonesia memiliki intensitas radiasi rata-rata yang dipancarkan matahari sekitar  $4,80 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$  (BPPT, 2016). (Fatoni, 2015) Energi surya atau matahari mempunyai beberapa keuntungan, yaitu sumber energi tak terbatas yang diperoleh secara bebas, bersih, dan ekonomis, akan tetapi pemanfaatan energi tenaga surya juga mempunyai kelemahan yang diakibatkan oleh tidak menentunya radiasi matahari dan intensitas matahari yang berubah-ubah setiap harinya dan keterbatasan waktu antara matahari terbit dan terbenam (Fatoni, 2015). Sehingga, untuk mengatasi keterbatasan tersebut diperlukan sebuah piranti yang dapat mengkonversi energi radiasi cahaya matahari menjadi energi listrik. Alat tersebut biasanya disebut dengan *solar cell* (*Photovoltaic*).

*Solar cell* merupakan suatu alat yang mampu menghasilkan listrik dari energi radiasi cahaya. Listrik yang dihasilkan oleh solar cell masih relatif kecil karena adanya pengaruh pergerakan matahari, oleh karena itu diperlukan sebuah solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut yaitu menggunakan *solar tracker*. *Solar tracker* merupakan gabungan sistem mekanis yang

dapat menggerakkan suatu sistem panel surya agar selalu mengikuti arah matahari sehingga dapat mengoptimalkan daya keluaran dari *photovoltaic*. Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah ada sistem *solar tracking* banyak dikembangkan dengan kondisi *fix based* atau berada pada lokasi yang tetap (Abadi, Musyafa, & Soeprijanto, 2015). Oleh karena itu, pada penelitian kali ini akan dikembangkan sistem *solar tracking* menggunakan metode *mobile tracking*, dimana landasan yang digunakan dapat bergerak. Saat ini sistem *mobile tracking* telah dikembangkan oleh B. Setiawan mengenai *solar tracker* pada sebuah kapal besar yang bergerak sesuai dengan lintasannya sehingga disebut sebagai *mobile based* (Setiawan, Purnomo, & Ashari, 2009). *Mobile solar tracker* mempunyai dua tipe yaitu aktif dan pasif. Pada *mobile active solar tracker* menggunakan sensor photodiode (LDR) pada *photovoltaic* untuk menangkap radiasi matahari yang digunakan dalam mendeteksi posisi matahari, sedangkan *Mobile Passive Solar Tracker* dapat bekerja berdasarkan perhitungan posisi matahari sehingga dapat digunakan pada saat kondisi matahari tidak cerah. Berdasarkan hal tersebut, diharapkan peningkatan daya listrik yang dihasilkan *photovoltaic* lebih besar (Permatasari, 2015).

Pada penelitian ini kendali logika yang digunakan yakni *Fuzzy logic control*. Metode *Fuzzy logic* diharapkan dapat meningkatkan kinerja sistem. Dalam hal ini, kinerja sistem berbasis *Fuzzy logic control* digunakan untuk menala nilai  $K_p$  dan  $K_i$  yang terbaik sehingga didapatkan tingkat efisiensi yang tinggi dan optimal pada sistem panel surya.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, permasalahan yang bisa diangkat dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana menentukan parameter *Mobile Passive Solar Tracker two axis*?
2. Apakah kontrol *Fuzzy-PI* dapat diimplementasikan pada *Mobile Passive Solar Tracker two axis* ?

3. Apakah kontrol *Fuzzy PI* pada *Mobile Passive Solar Tracker* dapat meningkatkan peningkatan daya dan efisiensi energi *photovoltaic* pada *Mobile Passive Solar Tracker*?

### 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah :

- Variabel proses yang dikendalikan yaitu sudut *pitch* dan *yaw*
- Metode kontrol yaitu *Fuzzy-PI*
- Menggunakan 2 kontrol *Fuzzy-PI* untuk mengendalikan posisi *pitch* dan *yaw*
- Model PV didekati dengan metode analitik *single diode*
- Aktuator yang digunakan yaitu motor DC
- Software yang digunakan yaitu Matlab

### 1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah :

- Menentukan parameter *Mobile Passive Solar Tracker two axis*
- Kontrol *Fuzzy-PI* dapat diimplementasikan pada *Mobile Passive Solar Tracker two axis*
- Mengetahui peningkatan daya dan efisiensi energi *photovoltaic* pada *Mobile Passive Solar Tracker*

### 1.5 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 panel surya, *solar tracker*, posisi matahari, motor DC, *Fuzzy Logic Controller* dan metode kontrol *Fuzzy-PI*

**BAB III Perancangan Alat**

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 Pengujian Alat dan Analisa Data**

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 Kesimpulan dan Saran**

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.

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Panel Surya**

Panel surya adalah alat yang terdiri dari sel surya yang tersusun secara seri dan paralel untuk mengubah energi radiasi cahaya matahari menjadi energi listrik. Mereka disebut surya atas matahari atau "solar" karena matahari merupakan sumber cahaya terkuat yang dapat dimanfaatkan. Panel surya sering kali disebut sel *photovoltaic*, *photovoltaic* dapat diartikan sebagai "cahaya-listrik". Namun, perbedaannya terletak pada sumber cahaya yang digunakan. Pada sel PV sumber cahaya lebih umum dan tidak disebutkan secara jelas. Sedangkan pada sel surya energi cahaya berasal dari radiasi sinar matahari. Sel surya atau sel PV bergantung pada efek *photovoltaic* untuk menyerap energi matahari dan menyebabkan arus mengalir antara dua lapisan bermuatan yang berlawanan (Babgei, 2011).

Prinsip kerja sel surya yaitu menggunakan prinsip efek *photovoltaic*. Efek *photovoltaic* adalah fenomena dimana suatu sel *photovoltaic* dapat menyerap energi foton matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik. Proses perubahan energi radiasi cahaya matahari menjadi energi listrik terjadi akibat bahan material penyusun sel surya berupa semikonduktor, yakni jenis semikonduktor tipe p dan semikonduktor tipe n. Semikonduktor tipe n merupakan semikonduktor yang memiliki kelebihan elektron, sedangkan pada semikonduktor tipe p memiliki kelebihan *hole*. Pada saat kedua jenis semikonduktor tipe p dan tipe n digabungkan maka akan terjadi perpindahan elektron-elektron dari semikonduktor tipe n ke semikonduktor tipe p dan mengakibatkan adanya perbedaan muatan positif dan negatif. Perbedaan muatan positif dan negatif pada sambungan pn dapat menimbulkan medan magnet sehingga menghasilkan arus listrik (Brilianti, 2015).

## 2.2 Solar Tracker

Solar tracker merupakan suatu sistem mekanis yang diterapkan pada *photovoltaic* atau solar panel. Tujuan diberikannya *tracking* pada *photovoltaic* adalah agar dapat mengoptimalkan daya keluaran dari PV. Semakin tegak lurus PV dengan matahari, maka semakin besar pula daya output yang dihasilkan. Hal ini tentunya sangat berpengaruh pada jumlah energi listrik yang dihasilkan dalam setiap hari. Energi listrik yang dihasilkan akan meningkat jika dibandingkan dengan solar panel yang bersifat statis. Solar tracker terdiri dari beberapa komponen penting seperti sensor, controller, motor servo, battery dan *photovoltaic*. Penelitian tentang solar tracker yang berkembang selama ini, dapat menggunakan berbagai jenis control agar *tracking* berjalan optimal. Namun dikarenakan adanya sistem tracker akan menjadi tantangan untuk para peneliti untuk mengembangkannya. Hal ini karena diperlukan catu daya yang cukup besar untuk dapat mengoperasikan motor penggerak (Nugraha, 2017).

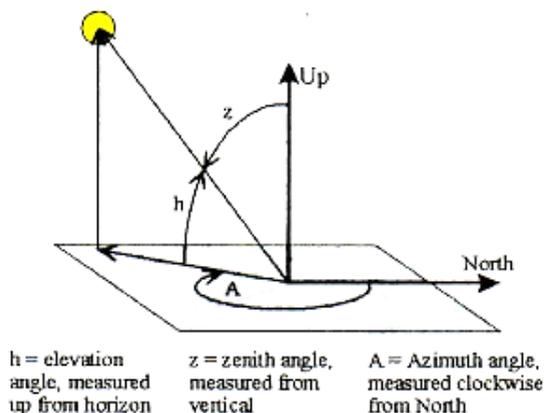
Keluaran dari solar panel menghasilkan arus listrik searah (DC). Padahal pada umumnya sebagian besar peralatan elektronik memerlukan input arus AC. Dikarenakan hal tersebut, maka diperlukan sebuah alat tambahan berupa inverter DC ke AC. Inverter tersebut diletakkan setelah battery. Jadi disimpan dalam battery atau accu DC, kemudian setelah disimpan arus listrik dirubah dari DC menjadi AC oleh rangkaian inverter. Arus bolak balik (AC) inilah yang akan digunakan untuk kebutuhan sehari-hari (Nugraha, 2017).



**Gambar 2.1** Dual Axis Solar Tracker (Nugraha, 2017)

### 2.3 Posisi Matahari

Posisi Matahari ditentukan dengan menggunakan sistem koordinat Horizontal. Pada sistem ini, pusat koordinat merupakan posisi pengamat (bujur dan lintang) yang berada di permukaan bumi (Nugraha, 2017). Koordinat bumi yang menjadi penentu posisi matahari yaitu sudut *azimuth*, sudut *altitude/elevasi*, dan sudut *zenith*. Ketiga sudut tersebut dipengaruhi oleh perhitungan yang berdasarkan sudut deklinasi, hour angle, dan posisi lintang di bumi. Sudut deklinasi ( $\delta$ ) merupakan sudut yang berada diantara garis yang menghubungkan pusat matahari dengan bumi dan proyeksi di bidang equator. Nilai sudut ini berada pada range  $-23.45^{\circ} - 23.45^{\circ}$ . Sedangkan, Hour angle ( $\omega$ ) merupakan sudut antara meridian lokal serta posisi matahari dalam satu jam. Nilai hour angle setiap jamnya adalah  $15^{\circ}$ . Nilai ini didapatkan dari rotasi bumi sebesar  $360^{\circ}$  per hari atau per 24 jam (Sproul, 2006)



**Gambar 2. 2** Sistem Koordinat Horizon (Sproul, 2006)

*Solar tracker* dirancang dengan menggunakan 2 sudut, yaitu sudut *pitch* dan *yaw*. Sudut *pitch* berfungsi untuk melakukan rotasi dari utara ke selatan begitu juga sebaliknya. Sudut *yaw* bergerak berdasarkan arah timur ke barat dan sebaliknya, kedua sudut tersebut dirancang agar *photovoltaic* bergerak mengikuti sudut *azimuth* dan sudut *elevasi* dari matahari (Sproul, 2006).

Posisi matahari diperlukan beberapa persamaan-persamaan. Persamaan yang digunakan untuk mencari posisi matahari adalah Sudut *Zenith* matahari, *Azimuth* matahari, *deklinasi*. Persamaan-persamaan yang digunakan dalam menentukan posisi matahari yaitu:

Sudut Datang (*Elevasi*) :

$$\theta = \cos^{-1} [\cos \theta_z \cos \beta + \sin \theta_z \sin \beta \cos (\gamma_s - \gamma)] \quad (2.1)$$

Sudut *Zenith* :

$$\theta_z = \cos^{-1} [\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega] \quad (2.2)$$

Sudut *Azimuth* :

$$\gamma_s = \sigma_{ew} \sigma_{ns} \gamma_{so} + \left( \frac{1 - \sigma_{ew} \sigma_{ns}}{2} \right) \sigma_w 180^\circ \quad (2.3)$$

dimana :

$$\gamma_{so} = \sin^{-1} \left( \frac{\sin \omega \cos \delta}{\sin \theta_z} \right)$$

Sudut *Deklinasi* :

$$\delta = 23.45 \sin [360(284+n)/365] \quad (2.4)$$

Keterangan :

$n$  = hari dalam setahun ( 1 tahun = 365 hari )

$\beta$  = surface slope

$\gamma$  = surface *azimuth*

$\gamma_s$  = *azimuth* matahari

$\theta_z$  = sudut *zenith*

$\delta$  = *deklinasi*

$\omega$  = sudut jam

$\phi$  = lintang (Sproul, 2006)

## 2.4 Sensor CMPS10

Sensor CMPS10 merupakan suatu sensor posisi angular yang digunakan untuk mengindera posisi aktual dari *photovoltaic* pada arah *altitude* dan *azimuth* matahari dan mengkonversinya menjadi bilangan desimal yang merepresentasikan sudut putar. CMPS10

merupakan modul terintegrasi yang menggunakan prinsip kompas kompensator kemiringan (Nugraha, 2017).



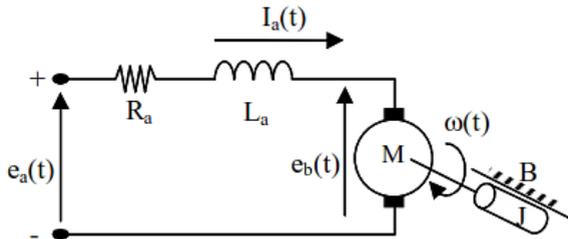
**Gambar 2. 3** Sensor Posisi CMPS10 (Nugraha, 2017)

Modul ini terdiri dari magnetometer 3 poros dan accelerometer 3 poros serta dilengkapi dengan processor 16 bit. Sedangkan, *output* dari sensor ini adalah bernilai desimal dengan rentang pengukuran sudut *pitch* adalah  $-90^{\circ}$  sampai  $90^{\circ}$  dan sudut *yaw* adalah  $0^{\circ}$  hingga  $360^{\circ}$  sedangkan keluaran sensor memiliki format bilangan decimal  $-90$  sampai  $90$  untuk sudut *pitch* dan  $0$  sampai  $359.9$  untuk sudut *yaw*. resolusi pengukuran sudut *pitch* dan *yaw* PV panel adalah masing- masing  $1^{\circ}$  dan  $0.1^{\circ}$ . Sensor ini juga dilengkapi dengan piranti *auto calibration* untuk menghilangkan *offset* yang disebabkan oleh pengaruh sumber elektromagnetik disekitar objek pengukuran (Nugraha, 2017). Keluaran sensor *pitch* dan *yaw* dapat dituliskan dengan :

$$K_{sp, sy} = \begin{cases} 1 & \rightarrow \text{pitch} \\ 0.999 & \rightarrow \text{yaw} \end{cases} \quad (2.5)$$

## 2.5 Motor DC

Motor DC adalah sebuah motor yang digerakkan energi listrik arus searah. Motor DC permanen, merupakan salah satu jenis motor DC yang sering ditemui penggunaannya di industri maupun rumah tangga maupun penggunaan untuk sumber – sumber tenaga yang kecil seperti rumah tangga dan otomotif (Babatunde, 1995). Motor DC terdiri dari 2 bagian penting yaitu kumparan medan (stator) dan kumparan jangkar (rotor). Kumparan medan (stator) adalah bagian dari motor DC yang tidak bergerak, dan kumparan jangkar (rotor) adalah bagian dari motor DC yang berputar. Motor DC dapat bergerak ketika arus listrik mengalir masuk pada kumparan medan (stator) yang kemudian menghasilkan medan magnet yang melingkupi kumparan jangkar (rotor) dengan arah tertentu (Brilianti, 2015).



**Gambar 2.4** Rangkaian Motor DC (Harifuddin, 2008)

Kumparan-kumparan pada motor DC dapat dimodelkan sebagai sebuah rangkaian listrik yang terdiri dari sebuah resistor dan terhubung seri dengan induktor. Menurut hukum Kirchoff dapat ditentukan persamaannya sebagai berikut :

$$V(t) = R_a \cdot I_a(t) + L_a \cdot \frac{di(t)}{dt} + Eb(t) \quad (2.6)$$

Dimana  $V$  adalah tegangan pada motor DC, sehingga ketika motor bergerak dengan kecepatan tertentu maka akan muncul tegangan balik (e.m.f) yang besarnya berbanding lurus dengan kecepatannya dan dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$Eb(t) = K_b \cdot \omega(t) \quad (2.7)$$

Sedangkan torsi yang dihasilkan oleh motor dapat diperoleh berdasarkan Hukum Newton Kedua tentang gerak rotasi yaitu :

$$Tm(t) = Jm. \frac{d\omega(t)}{dt} + Bm. \omega(t) \quad (2.8)$$

Dimana  $Tm$  adalah torsi motor

$$T(t) = Kt. Ia(t) \quad (2.9)$$

dengan :

$V$  = Tegangan *input* motor (V)

$Ra$  = Resistansi Armatur (R)

$La$  = Induktansi Armatur (H)

$Ia$  = Arus Armatur (A)

$Eb$  = *Back* 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)

Pada persamaan (2.6), (2.8) mencerminkan perilaku dinamik dari motor DC. Berdasarkan persamaan (2.6), (2.7), (2.8), dan (2.9) dapat disusun kembali untuk pembuatan digram blok seperti pada persamaan (2.10) dan (2.11) berikut.

$$V(t) = Ra. Ia(t) + La. \frac{di(t)}{dt} + Kb. \omega(t) \quad (2.10)$$

$$Kt. Ia(t) = Jm. \frac{d\omega(t)}{dt} + Bm. \omega(t) \quad (2.11)$$

Transformasi *Laplace* dari persamaan (2.10) dan (2.11) yaitu

$$V(s) = Ra. Ia(s) + La. Ia(s)S + Kb. \omega(s) \quad (2.12)$$

$$Kt. Ia(s) = Jm. \omega(s)S + Bm. \omega(s) \quad (2.13)$$

Jika arus didapatkan dari persamaan (2.13) dan disubstitusikan ke persamaan (2.12) maka

$$V(s) = \omega(s) \frac{1}{Kt} \cdot [L_a \cdot Jm \cdot S^2 + (Ra \cdot Jm + La \cdot Bm)S + (Ra \cdot Bm + Kb \cdot Kt)] \quad (2.14)$$

Kemudian hubungan antara kecepatan *shaft* rotor dan penggunaan tegangan *armature* dapat direpresentasikan dalam fungsi transfer sebagai berikut.

$$\frac{\omega(s)}{V(s)} = \frac{Kt}{[L_a \cdot Jm \cdot S^2 + (Ra \cdot Jm + La \cdot Bm)S + (Ra \cdot Bm + Kb \cdot Kt)]} \quad (2.15)$$

Hubungan antara posisi dan kecepatan yaitu

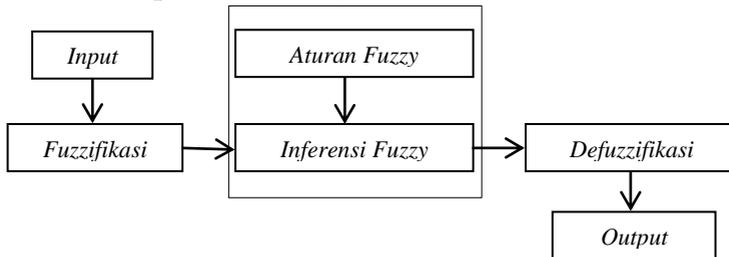
$$\theta(s) = \frac{1}{s} \omega(s) \quad (2.16)$$

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

$$\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{Kt}{[L_a \cdot Jm \cdot S^2 + (Ra \cdot Jm + La \cdot Bm)S + (Ra \cdot Bm + Kb \cdot Kt)]} \quad (2.17)$$

## 2.6 Fuzzy Logic Controller

Pengendali *Fuzzy* merupakan suatu sistem kendali yang berdasar pada basis pengetahuan manusia, dimana masukan, keluaran, serta tanggapan sistem diperoleh berdasarkan sistem pakar yang berbasis pengetahuan manusia [11]. Logika *Fuzzy* menginterpretasikan statemen yang samar menjadi sebuah pengertian yang logis. Pada dasarnya struktur logika *Fuzzy* dapat digambarkan seperti berikut [3].



**Gambar 2.5** Sistemika *Fuzzy* Logic Controller (Permatasari, 2015)

Fungsi dari bagian-bagian diatas adalah sebagai berikut:

- **Masukan**  
Masukkan pada *Fuzzy logic* berupa *crisp* (variabel fisis) atau bilangan *real*.
- **Fuzzifikasi**  
*Fuzzifikasi* diperlukan untuk mengubah masukan tegas/nyata (*crisp masukan*) yang bersifat bukan *Fuzzy* ke dalam himpunan *Fuzzy*. Data yang berbentuk tegas/nyata (*crisp*), dipetakan menjadi nilai linguistik pada semesta pembicaraan tertentu yang selanjutnya dinamakan masukan *Fuzzy*.
- **Rule base**  
*Rule base* pada *Fuzzy* digunakan untuk menghubungkan variabel-variabel masukan dan variabel-variabel keluaran. Basis aturan *Fuzzy* merupakan kumpulan pernyataan aturan ‘JIKA-MAKA’ atau ‘IF-THEN’ yang didasarkan pada pengetahuan manusia untuk mengolah variabel masukan sehingga menghasilkan variabel keluaran dalam bentuk himpunan *Fuzzy*.
- **Inference**  
Inferensi adalah proses transformasi dari suatu masukan dalam domain *Fuzzy* ke suatu keluaran (sinyal kendali) dalam domain *Fuzzy*. Proses transformasi pada bagian inferensi membutuhkan aturan-aturan *Fuzzy* yang terdapat didalam *rule base*.
- **Defuzzifikasi**  
Defuzzifikasi ditujukan untuk menghasilkan suatu aksi kontrol *non Fuzzy* (*crisp keluaran*) dalam merepresentasikan kemungkinan distribusi aksi kontrol *Fuzzy* yang telah dihasilkan. Metode defuzzifikasi yang sering digunakan adalah metode *Mean of Maximum* (MOM) dan metode rata-rata terbobot (*weighted average*) atau lebih dikenal sebagai *Center of Area* (COA). Metode MOM, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum. Keluaran pada proses defuzzifikasi merupakan hasil dari proses kendali *Fuzzy*

secara keseluruhan. Keluaran ini berupa himpunan *crisp* yang akan mengendalikan sistem yang dikontrol [3].

## 2.5 Metode Kontrol PI (Proportional Integral)

Metode kontrol *proportional integral*, atau yang lebih dikenal dengan PI merupakan suatu aksi kontrol proporsional dengan *error* yang akan mengakibatkan efek pada pengurangan *rise time* dan menimbulkan kesalahan keadaan tunak (*offset*). Kontrol integral yang memberikan aksi kontrol sebanding dengan jumlah kesalahan akan mengakibatkan efek yang baik dalam mengurangi kesalahan keadaan tunak tetapi dapat mengakibatkan respon transien yang memburuk. Pengetahuan tentang efek yang diakibatkan oleh masing-masing pengontrol tersebut yang nantinya akan digunakan dalam penentuan nilai-nilai penguatan proporsional ( $K_p$ ) dan integral ( $K_i$ ) (Wahyudi, Setiawan, & Tigor, 2008).

Kedua pengendali tersebut digabungkan menjadi proporsional plus integral (controller PI). Kelebihan yang dimiliki adalah diperolehnya keuntungan dari masing-masing aksi kontrol dan kekurangan aksi kontrol yang diberikan pada suatu sistem *solar tracking*. Elemen-elemen *controller* yang digunakan yakni mode *control* P dan I karena secara keseluruhan *controller* P dan I bertujuan untuk mempercepat reaksi dan menghilangkan offset dalam suatu sistem. Sedangkan mode kontrol D tidak digunakan pada sistem ini karena mode kontrol D mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat. Waktu kontinyu, sinyal keluaran pengendali PI dapat dirumuskan sebagai berikut. (Ogata, 2004)

$$C_o = K_p \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt \right) \quad (2.6)$$

Dimana:

$C_o$  = sinyal keluaran pengendali PI.

$K_p$  = konstanta proporsional.

$T_i$  = waktu integral.

$K_i$  = konstanta integral.

$e(t)$  = sinyal kesalahan (*error*)

$e(t)$  = referensi – keluaran plant

**Tabel 2. 1** Efek Setiap Pengendali PI

<b>Respon Lup Tertutup</b>	<i>Rise time</i>	<b>Overshoot</b>	<i>Settling time</i>	<b>Steady-State Error</b>
Proporsional	Menurunkan	Meningkatkan	Perubahan Kecil	Mengurangi
Integral	Menurunkan	Meningkatkan	Meningkatkan	Mengeliminasi

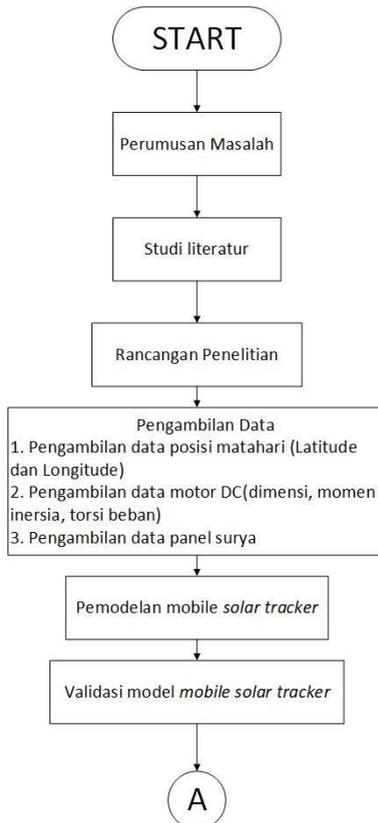
Berdasarkan karakteristik pengontrol pada tabel 2.1, setiap kekurangan dan kelebihan pengontrol P dan I dapat saling menutupi dengan menggabungkan keduanya secara paralel menjadi pengontrol proporsional plus integral. Pengontrol diferensial umumnya digunakan untuk mempercepat respon awal suatu sistem, tetapi tidak dapat memperkecil kesalahan pada keadaan tunaknya (keadaan *steady*). Oleh sebab itu pengontrol diferensial tidak pernah digunakan tanpa ada kontroler lainnya (Prabowo, Triwiyatno, & Sumardi, 2013).

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

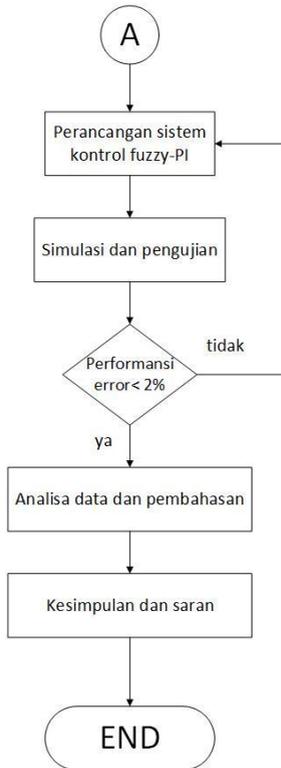
## BAB III METODE PERANCANGAN SISTEM

### 3.1 Diagram Alir

Metode penelitian yang dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir ini ditunjukkan pada Gambar 3.1. Tahapan-tahapan dari penelitian ini secara rinci dapat diuraikan sebagai berikut.



**Gambar 3. 1** Diagram Alir Pengerjaan Penelitian



**Gambar 3. 2** Lanjutan

### 3.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah merupakan suatu gagasan atau ide terbentuknya penelitian mengenai *solar tracking system*. Dengan adanya perumusan masalah ini digunakan untuk mendasari dan mendapatkan tujuan dari penelitian *mobile passive solar tracking system*.

### 3.3 Studi Literatur

Studi literatur merupakan langkah pemahaman awal hingga detail secara teoritis dan praktik dengan pencarian referensi baik dalam bentuk jurnal ilmiah nasional maupun internasional, buku, maupun materi-materi yang mendukung pada penelitian tugas

akhir ini, yaitu sistem *solar tracker* dan spesifikasinya, metode kontrol *Fuzzy PI*, dan pemodelan sistem.

### **3.4 Rancangan Penelitian**

Pada tahap ini dilakukan penyusunan apa yang akan dilakukan dalam pengerjaan penelitian. Pada perancangan *Mobile Passive Solar Tracker* ini menggunakan kendali logika *Fuzzy-PI*. Kendali logika *Fuzzy-PI* digunakan untuk mencari nilai  $k_p$  dan  $k_i$  yang terbaik pada sistem *Mobile Passive Solar Tracker* yang kemudian nilai-nilai tersebut akan dikonversi menjadi nilai tegangan masukan motor dc untuk mendapatkan output dari motor dc berupa sudut. Sudut keluaran dari motor dc akan menjadi masukan untuk mengatur posisi *photovoltaic* berdasarkan sudut *pitch* dan *yaw* sehingga dapat mempengaruhi performansi kinerja sistem *Mobile Passive Solar Tracker*.

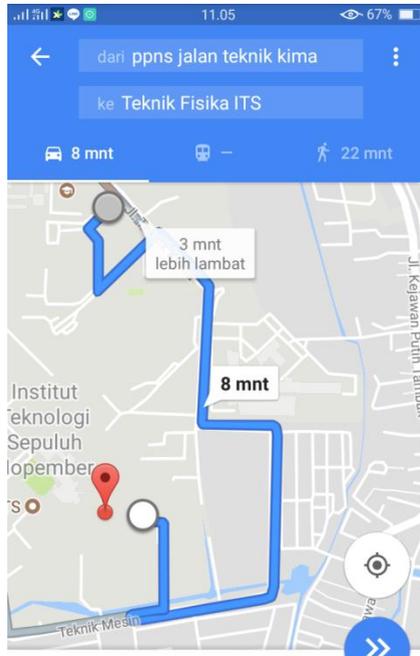
### **3.5 Pengambilan Data**

Jenis data yang dibutuhkan baik untuk pemodelan dan simulasi pada sistem panel surya yang meliputi pengambilan data astronomi (posisi bujur dan lintang), pengambilan data motor DC, serta pengambilan data *photovoltaic*. Pengambilan data sistem panel surya dapat dinyatakan dalam bentuk data sekunder maupun eksperimen.

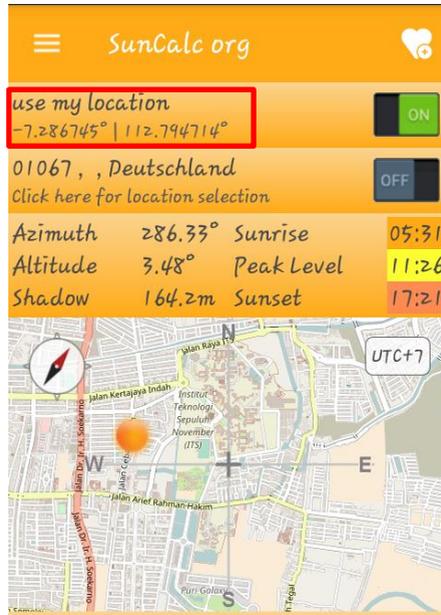
#### **3.5.1 Pengambilan Data Posisi Matahari**

Pengambilan data posisi matahari dilakukan berdasarkan kedudukan suatu tempat seperti posisi lintang dan bujur serta tanggal dan waktu lokasi penelitian. Pada sistem *mobile passive solar tracking* ini pengambilan data dilakukan secara *mobile* sehingga ketika lokasi dan waktunya berubah maka nilai *azimuth* dan *altitude* yang dihasilkan pun ikut berubah. Data Posisi lintang dan bujur nantinya akan digunakan dalam menentukan nilai *azimuth* dan *altitude* sebagai masukan sistem panel surya. Rute pengambilan data posisi matahari dilakukan dengan mengambil beberapa titik di Kampus ITS Sukolilo Surabaya (depan PPNS hingga Teknik Fisika) dengan membagi area tersebut menjadi 11

titik. Rentang pengambilan data yang telah dilakukan dimulai dari pukul 07.00 hingga 17.00 WIB menggunakan aplikasi GPS untuk mengetahui rute atau *track* yang akan dilewati dan aplikasi *suncalc.org* untuk mengetahui posisi lintang dan bujur.



**Gambar 3. 3** Rute Pengambilan Data Posisi Matahari

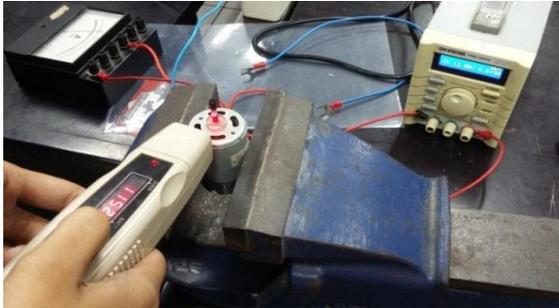


**Gambar 3. 4** Pengambilan Data Posisi Matahari Menggunakan *SunCalc org*

### 3.5.2 Pengambilan Data Motor DC

Motor DC pada sistem panel surya yang digunakan yaitu motor DC 12 VDC. Sistem panel surya menggunakan 2 buah motor DC yang identik. Motor DC yang digunakan masing-masing untuk menggerakkan panel surya dengan sudut *pitch* dan *yaw*. Pengambilan data motor DC dilakukan untuk mendapatkan beberapa parameter motor yang akan digunakan untuk pemodelan. Parameter-parameter yang dicari yaitu Konstanta Tegangan ( $K_e$ ), Konstanta Torsi ( $K_t$ ), Inersia Motor ( $J_m$ ), Resistansi Motor ( $R$ ), Induktansi Motor ( $L$ ), dan *Viscous Friction Coefficient* ( $B_m$ ).

Pengambilan data motor DC menggunakan beberapa alat pendukung yaitu *power supply dc*, *digital tachometer*, *lcr meter*, *avo meter*, dan *stopwatch*.



**Gambar 3. 5** Pengambilan Data Motor DC yang terhubung dengan DC *Power Supply*

- Konstanta Tegangan ( $K_e$ )

Pengambilan data konstanta tegangan motor DC yaitu dengan diberi masukan berupa nilai tegangan (1-12 V) yang dihubungkan dengan DC *power supply*, *amperemeter* dan *tachometer* untuk mengetahui arus dan rpm yang dihasilkan motor DC. Pengambilan data rpm dilakukan sebanyak 5 kali setiap variasi tegangan yang diberikan kemudian dirata-rata. Nilai konstanta tegangan ( $K_e$ ) dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

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

- Konstanta Torsi ( $K_t$ )

Nilai konstanta torsi ( $K_t$ ) didapatkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

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

- Inersia Motor ( $J_m$ )

Nilai inersia motor ( $J_m$ ) didapatkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

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

Dimana :

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

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

Pengambilan data inersia, motor DC dihubungkan dengan DC *power supply*, *amperemeter*, dan *tachometer* untuk mengetahui arus dan rpm yang dihasilkan pada voltase tertentu. *Stopwatch* digunakan untuk mengetahui waktu yang dihasilkan ketika mencapai rpm tertentu. Pengambilan data akselerasi dilakukan sebanyak 5 kali kemudian di rata-rata.

- Resistansi Motor (R) dan Induktansi Motor (L)  
Nilai resistansi motor (R) dan induktansi motor (L) didapatkan dengan cara menghubungkan kutub positif dan negatif motor DC ke LCR meter, kemudian dilakukan pengambilan data sebanyak 32 kali setelah itu di rata-rata.
- *Viscous Friction Coefficient* (Bm)  
Nilai *Viscous Friction Coefficient* (Bm) didapatkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

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

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)

Motor DC 12 V ini telah terhubung dengan *gear box*. Rasio *gear box* pada motor DC yaitu 1:1500. Persamaan-persamaan didapatkan nilai Konstanta Tegangan (Ke), Konstanta Torsi (Kt), Inersia Motor (Jm), Resistansi Motor (R), Induktansi Motor (L), dan *Viscous Friction Coefficient* (Bm) sebagai berikut :

**Tabel 3. 1** Parameter-parameter Motor DC

Parameter-Parameter Motor	Nilai Parameter Motor
Ke	11,53 Volt.sec/rad
Kt	11,52 Nm/A
R	1,098438 $\Omega$
L	0,000208 Henry
Jm	2,02145 Nm.s <sup>2</sup>
Bm	39,876 Nm.sec/rad

### 3.5.3 Pengambilan Data Panel Surya

Tahapan ini didapatkan masing-masing parameter dari data sekunder spesifikasi *photovoltaic* tipe TN-20M. Data spesifikasi *photovoltaic* adalah sebagai berikut :



**Gambar 3. 6** Set up Pengukuran PV

**Tabel 3. 2** Spesifikasi Modul *Photovoltaic* Tipe TN-20M

Variabel Fotovoltaik	Nilai
<i>Maximum power at at STC (Pmp)</i>	20 W
<i>Optimum Operating Voltage (Vmp)</i>	17,2 V
<i>Optimum Operating Current (Imp)</i>	1,16 A
<i>Open circuit voltage (Voc)</i>	21,5 V
<i>Short Circuit Current (Isc)</i>	1,25 A
<i>Nominal Operating cell temperature</i>	45 ± 2°C
<i>Temperature coefficient of Pm (%)</i>	-0,47/ °C
<i>Temperature coefficient of Voc (%)</i>	-0,36/ °C
<i>Temperature coefficient of Isc (%)</i>	0,05%/K
<i>Operating temperature</i>	-40°C to 85°C
<i>Maximum system voltage</i>	1000 V DC
<i>Power Tolerance</i>	± 5%
<i>Surface maximum load capacity</i>	1/1600

Data pada Tabel 3.2 dapat digunakan untuk menghitung parameter-parameter dalam pemodelan *Photovoltaic single diode*.

### 3.6 Pemodelan *Mobile Passive Solar Tracker*

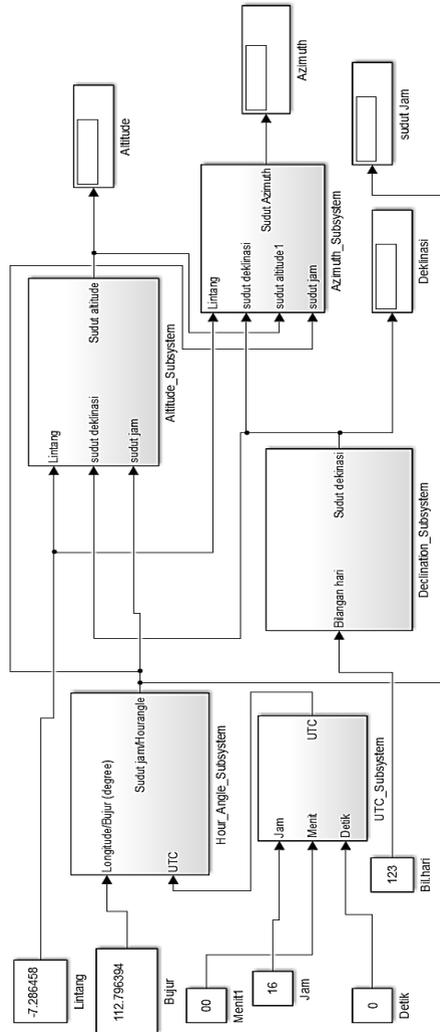
Pemodelan *Mobile Passive Solar Tracker* diturunkan menggunakan metode/pendekatan hukum-hukum fisika yang telah berlaku secara umum. Kemudian divalidasi melalui eksperimen dan *software* aplikasi. Beberapa komponen *passive solar tracker* yang dimodelkan adalah posisi matahari (*solar path*), motor DC, dan PV panel. Model matematik dari masing-masing komponen selanjutnya diimplementasikan dengan menggunakan simulink MATLAB.

#### 3.6.1 Pemodelan Posisi Matahari

Pemodelan posisi matahari atau *solar path* didapatkan dari pemodelan posisi matahari yang telah dikembangkan sebelumnya oleh J.E braun dan Sproul, serta divalidasi dengan menggunakan *software* aplikasi yang dibuat oleh *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA).

Posisi matahari di atas langit dapat diidentifikasi berdasarkan sudut *altitude* dan *azimuthnya* sehingga dapat

disusun sebuah model simulasi dari posisi matahari dengan enam *input* (waktu lokal, posisi lintang, posisi bujur, perbedaan waktu GMT, dan bilangan hari) dan dua output (sudut *altitude* dan sudut *azimuth*) seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.7 berikut ini



**Gambar 3. 7** Model Simulink Posisi Matahari

### 3.6.2 Pemodelan Motor DC

Pada pemodelan motor DC, terlebih dulu dilakukan peninjauan elemen-elemen motor dari segi elektrik dan mekanik. Secara elektrik, motor DC menggunakan Hukum Khirchoff tentang tegangan sedangkan secara mekanik, motor DC menggunakan Hukum II Newton tentang rotasi. Pemodelan motor DC menggunakan 5 parameter yang telah didapatkan secara *experiment*.

Berdasarkan Hukum Tegangan Khirchoff II pada persamaan (2.6),(2.7) dan Hukum II Newton (rotasi) pada persamaan (2.8),(2.9) di dapatkan fungsi transformasi laplace dari persamaan (2.12) dan (2.13) sebagai berikut (Harifuddin, 2008).

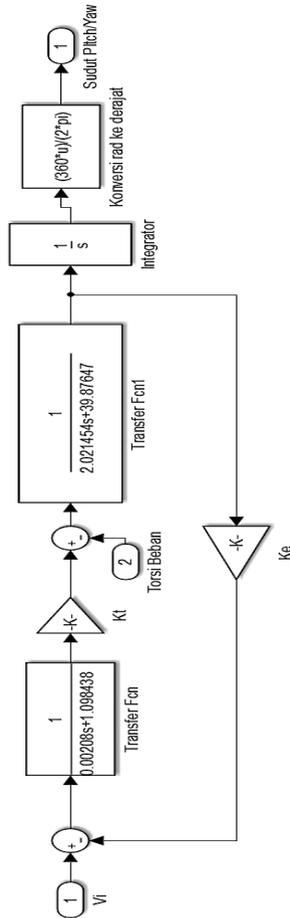
$$\begin{aligned}
 V(s) &= R_a \cdot I_a(s) + L_a \cdot I_a(s)S + K_b \cdot \omega(s) \\
 V_a(s) - K_b \cdot \omega(s) &= I_a(s)(R_a + L_a S) \\
 I_a &= \frac{V_a(s) - K_b \cdot \omega(s)}{R_a + L_a S} \\
 I_a &= V_a(s) - K_b \cdot \omega(s) \cdot \frac{1}{R_a + L_a S} \tag{3.7}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 \omega(s) &= \frac{K_t \cdot I_a}{J_m S + B_m} \\
 \omega(s) &= K_t \cdot I_a \cdot \frac{1}{J_m S + B_m} \tag{3.8}
 \end{aligned}$$

Dimana :

- V<sub>a</sub> = Tegangan Masukan (V)
- R<sub>a</sub> = Resistansi Elektrik (Ohm)
- I<sub>a</sub> = Arus (A)
- L<sub>a</sub> = Induktansi Elektrik (H)
- ω = Kecepatan Angular Motor DC (rad/sec)
- J<sub>m</sub> = Inersia Motor (Nm.sec<sup>2</sup>)
- K<sub>t</sub> = Konstanta Torsi Motor (N.m/Amp)
- B = *Viscous Friction* (Nm.sec/rad)



**Gambar 3. 8** Model Simulink Motor DC

Motor DC pada sistem panel surya mempunyai torsi load (TL) atau torsi beban yang dapat mempengaruhi kecepatan angular dan posisi dari motor DC sehingga perlu adanya perhitungan secara matematis mengenai torsi *load* (TL). Berikut uraian perhitungan torsi yang dibutuhkan motor DC untuk melakukan gerak *pitch*.

$$\tau = F \tan \theta \times r \quad (3.9)$$

Dimana

$$\tau = F \sin \theta$$

$$\tau = m \cdot g \cdot \sin \theta$$

Torsi total akan maksimum untuk  $\theta = 90^\circ$ , sehingga didapatkan torsi total maksimum sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \tau_{total} &= F \sin \theta \times r \\ &= m \times g \times \sin \theta \times r \\ &= 2,19 \times 9.8 \times \sin 90 \times 0.147 \\ &= 3,1549 \text{ Nm} \end{aligned}$$

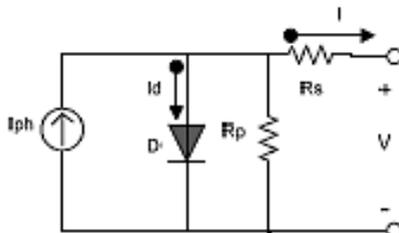
Setelah diketahui torsi *load* untuk gerak *pitch*, kemudian digunakan sebagai *input* motor DC.

$$\begin{aligned} \tau &= F_{\text{sentrifugal}} \times r \\ \tau &= m \frac{\omega^2}{r} \times r \\ \tau_{total} &= m \omega^2 \\ &= 3,11 \times 1,12 \times 1,12 = 3,90 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Setelah diketahui dari torsi *load* untuk gerak *pitch* dan *yaw*, kemudian dapat digunakan sebagai *input* motor DC.

### 3.6.3 Pemodelan *Photovoltaic*

Pemodelan *Photovoltaic single diode* menggunakan prinsip Hukum Kirchoff sehingga didapatkan keluaran arus dari modul *Photovoltaic*.



**Gambar 3. 9** Rangkaian Listrik dengan Single Diode

Pada Gambar 3.9 berdasarkan hukum kirchoff didapatkan persamaan :

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (3.7)$$

$$I = I_{ph} - I_0 \left( e^{\frac{V+IR_s}{\frac{nKT}{q}}} - 1 \right) - \frac{V+IR_s}{R_p} \quad (3.8)$$

Dimana :

I : Arus yang keluar dari sel fotovoltaik (A)

$I_{ph}$  : *Photocurrent* (A)

$I_0$  : Arus *reverse saturation* dari dioda (A)

q : Muatan elektron ( $1,602 \times 10^{-19}$  C)

T : Temperatur dalam Kelvin

V : Tegangan dioda (V)

K : Konstanta Boltzman ( $1,38 \times 10^{-23}$  J/K)

n : Faktor idealitas dari dioda

$R_s$  : Tahanan seri dari dioda

$R_p$  : Tahanan shunt dari dioda

- Parameter  $I_{ph}$

Parameter  $I_{ph}$  atau *photocurrent* dapat dihitung dengan persamaan (3.9) berikut ini.

$$I_{ph} = [I_{scr} + Ki(T - T_r)] \frac{S}{S_r} \quad (3.9)$$

Nilai *photocurrent* dihitung saat keadaan STC dengan temperatur  $25^\circ\text{C}$  dan radiasi  $1000 \text{ W/m}^2$ .

Dimana :

I : Arus yang keluar dari sel fotovoltaik (A)

$I_{ph}$  : *Photocurrent*

$I_{scr}$  : *Short circuit current at reference temperature*

Ki : Koefisien *cell's short-circuit current temperature* (A/K)

T : Temperatur (K)

$T_r$  : Temperatur *reference* dalam Kelvin (25)

S : Radiasi solar sel ( $\text{W/m}^2$ )

$S_r$  : Reference Solar Radiation (1000 W/m<sup>2</sup>)

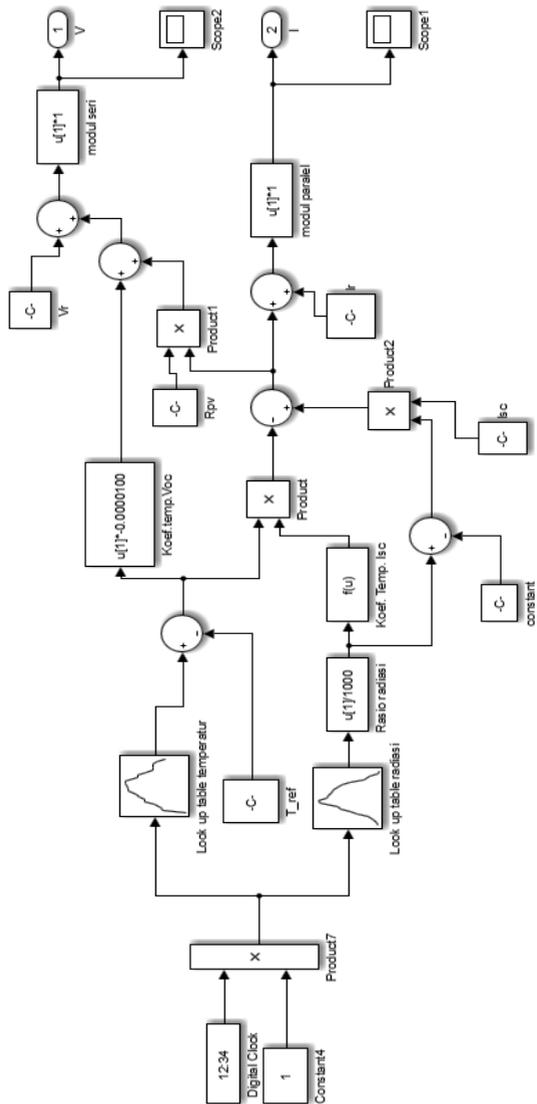
- Parameter Rs dan Rp  
Parameter Rs dan Rp dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini

$$Rp = \frac{V(V+IRs)}{\{V1-V1o \exp\left[\left(\frac{q}{KT}\right)\left(\frac{V+RsI}{aNs}\right)\right]+V1o-Pmax,ex\}} \quad (3.10)$$

- Nilai I (arus)  
Setelah didapat nilai pada masing-masing parameter yaitu Iph, Id, Rs dan Rp dilakukan perhitungan nilai I dengan memasukkan nilai parameter tersebut kedalam persamaan 3.12.

$$I = Iph - I_o \left[ \exp\left(\frac{V+RsI}{V_t a}\right) - 1 \right] - \frac{V+RsI}{Rp} \quad (3.11)$$

Berdasarkan spesifikasi panel surya diatas dapat dilakukan pemodelan pada matlab seperti pada gambar berikut .



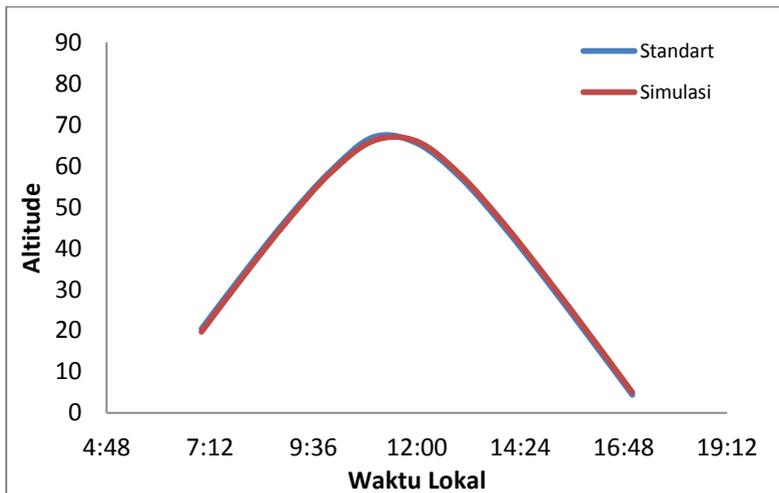
**Gambar 3. 10** Model Simulink *Photovoltaic*

### 3.7 Validasi Model *Mobile Passive Solar Tracker*

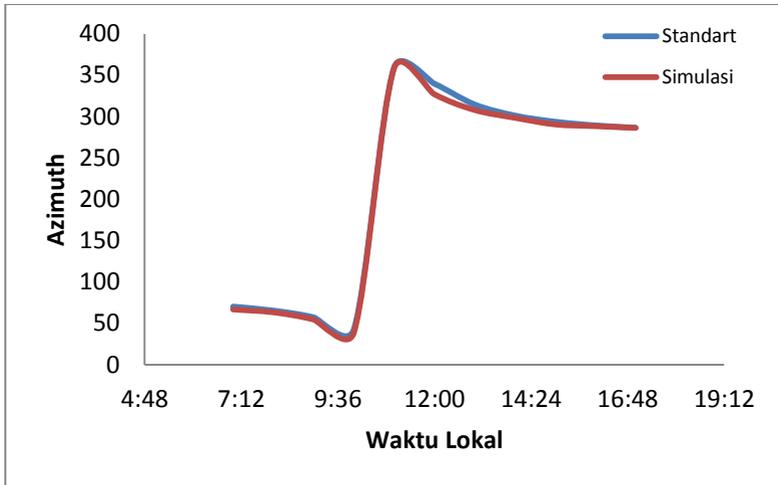
Setelah dilakukan pemodelan pada *Mobile Passive Solar Tracker*, kemudian dilakukan validasi pada model *mobile passive solar*. Validasi bertujuan untuk membuktikan bahwa simulasi pemodelan yang dibuat dapat memberikan hasil yang sesuai dengan data hasil pengukuran yang telah dilakukan.

#### 3.7.1 Validasi Model Posisi Matahari

Pada validasi model posisi matahari dilakukan dengan menggunakan *software solar position calculator* yang dikembangkan oleh *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). *Output* dari NOAA diberikan label *std* (standar) sedangkan pada hasil simulasi diberikan label simulasi dimana masing-masing *output* menyatakan posisi *altitude* dan *azimuth* matahari. Lokasi pengamatan posisi matahari dilakukan di Kampus ITS (didepan PPNS hingga Teknik Fisika) pada tanggal 3 Mei 2017 dengan rentang pengujian dari pukul 07.00 sampai pukul 17.00 WIB.



**Gambar 3. 11** Hasil Validasi Model Posisi Matahari Sudut *Altitude*

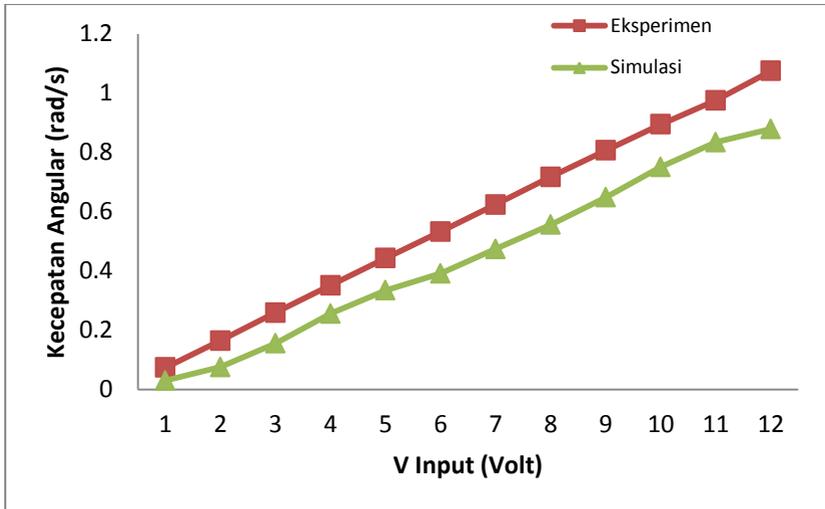


**Gambar 3. 12** Hasil Validasi Model Posisi Matahari Sudut *Azimuth*

Berdasarkan grafik hasil validasi sudut *azimuth* dan *altitude* pada gambar 3.11 dan gambar 3.12 menunjukkan bahwa model yang dibuat memenuhi syarat untuk dijadikan sebagai input pada *uji tracking setpoint* kontroler dari *passive solar tracker*.

### 3.7.2 Validasi Model Motor DC

Validasi model motor DC terhadap model yang telah dibuat dapat dilakukan dengan memberikan input tegangan (0-12V) dan output berupa kecepatan angular motor.

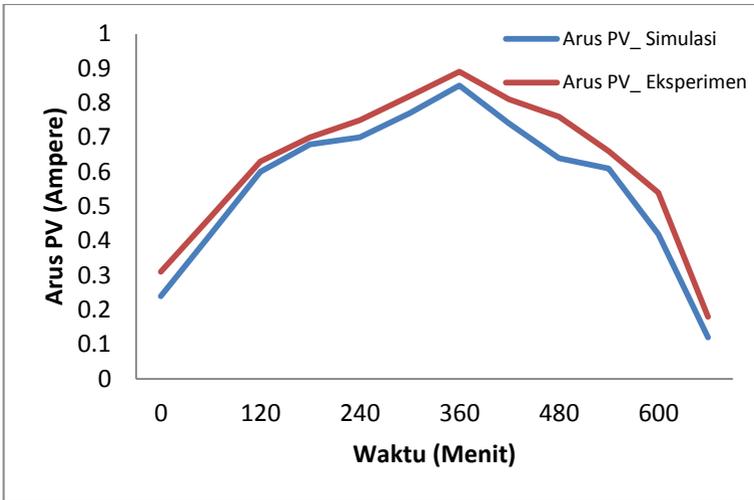


**Gambar 3. 13** Hasil Validasi Model Motor DC

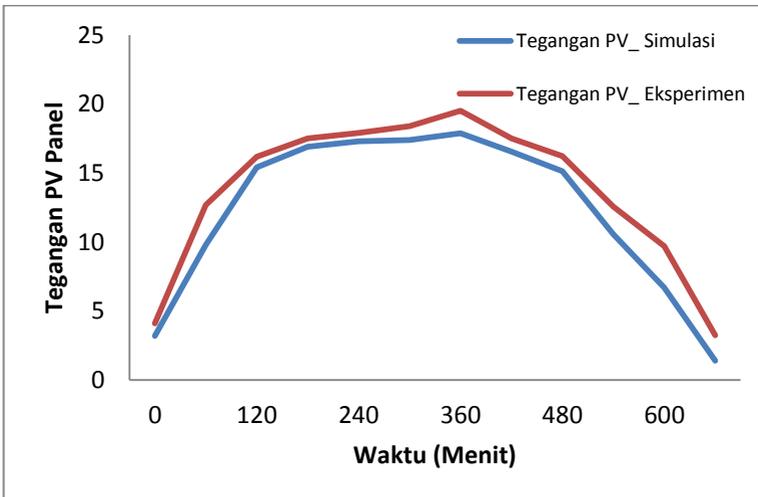
Berdasarkan grafik hasil validasi model motor DC pada Gambar 3.13 menunjukkan bahwa model motor DC yang telah dibuat terdapat kesesuaian antara output simulasi dan eksperimen baik untuk sudut *pitch* maupun *yaw*.

### 3.7.3 Validasi Model PV panel

Pada tahapan ini dilakukan validasi pemodelan PV panel dengan simulasi yang telah dilakukan terhadap data hasil pengukuran. Pengambilan data hasil simulasi dan data hasil pengukuran dengan memasukkan temperatur referensi dan irradiansi. Hasil simulasi hampir mendekati kondisi pengukuran aktual.



**Gambar 3.14** Hasil Validasi Tegangan Output PV panel



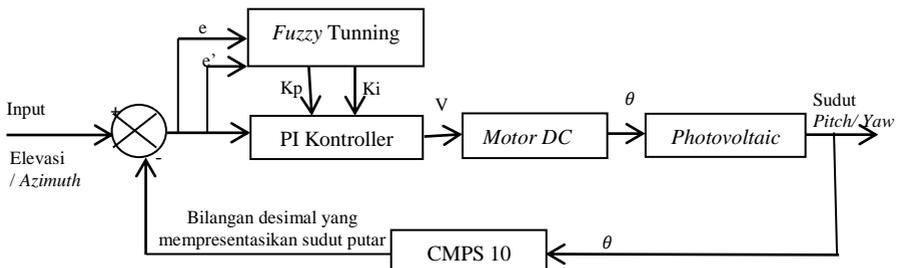
**Gambar 3.15** Hasil Validasi Arus Output PV Panel

Pada Gambar 3.12 dan Gambar 3.13 dilakukan pengambilan data selama 10 jam dari pukul 7.00 hingga 17.00, dapat dilihat

bahwa hasil keluaran tegangan dan arus *output* pada PV panel secara simulasi dan eksperimen menunjukkan adanya kesesuaian antara hasil simulasi dan eksperimen. Pada gambar tersebut didapat nilai puncak tertinggi pada grafik eksperimen terletak pada tegangan 17.89 V dan arus 0.85 A, sedangkan pada simulasi terletak pada tegangan 19.5 V dan arus 0.89 A. Sehingga memiliki *error* tegangan sebesar 1.61% dan arus sebesar 0.04 % *Error* yang terjadi disebabkan adanya beberapa faktor seperti *error* pada saat pengukuran suhu dan radiasi, sedangkan pada kondisi simulasi suhu dan radiasi yang digunakan dalam kondisi ideal, selain beberapa faktor dari pv seperti gangguan angin yang tidak dimodelkan dalam simulasi pv. Selain itu, grafik yang fluktuasi dikarenakan suhu keadaan pada saat pengambilan data yang tidak menentu yaitu mendung, cerah, berawan.

### 3.8 Perancangan Sistem Kontrol *Fuzzy-PI*

Kontroler merupakan salah satu elemen dalam sistem pengendalian. Berikut diagram blok sistem pengendalian dari sistem *Mobile Passive Solar Tracker*.



**Gambar 3. 16** Diagram Blok Solar Tracker Mode *Passive*

Tujuan dari sistem ini adalah untuk mengendalikan sudut *yaw* dan sudut *pitch* PV terhadap sudut *azimuth* dan *elevasi* matahari. *Set point* sistem ini adalah sudut *azimuth* dan sudut *elevasi* matahari. Apabila diketahui tanggal, bulan, jam, posisi lintang dan bujur maka dapat dihitung kedua sudut tersebut. Dalam sistem ini, sensor CMPS10 digunakan untuk mengindra

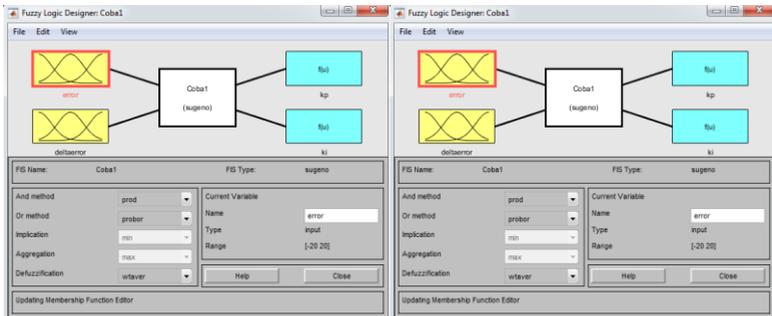
perubahan sudut *yaw* dan sudut *pitch* dari PV dengan mengukur posisi aktual dari PV panel dan mengkonversinya menjadi bilangan desimal yang mempresentasikan sudut putar. Sehingga apabila terjadi perbedaan sudut *yaw* PV dengan *set point azimuth* matahari maka menghasilkan sinyal *error azimuth*. Dan apabila terjadi perbedaan sudut *pitch* PV dengan *set point elevasi* matahari maka menghasilkan sinyal *error elevasi*.

*Error azimuth*,  $\Delta error azimuth$ , *error elevasi* dan  $\Delta error elevasi$  merupakan masukan untuk controler dan keluaran berupa nilai  $K_p$  dan  $K_i$ . Sehingga dapat diketahui bahwa aksi tuning kontrol PI dapat menghasilkan respon output plan mendekati *set point* atau sebaliknya menghasilkan respon output plant menjauhi setpoint.

Perancangan kontroler meliputi perancangan parameter yang terdapat dalam logika *Fuzzy*. Untuk merancang parameter *Fuzzy PI* dilakukan beberapa tahapan yaitu, menentukan model *Fuzzy* yang sesuai dengan plant *Mobile Passive Solar Tracker*, dalam hal ini dipilih model *Fuzzy Sugeno*, menentukan rentang nilai linguistik variabel *Fuzzy* baik input dan output *Fuzzy*, menentukan fungsi keanggotaan *Fuzzy*, menentukan jumlah variabel *Fuzzy*, menyusun basis aturan *Fuzzy*, menentukan metode pengambilan keputusan *Fuzzy*, dan menentukan metode defuzzifikasi.

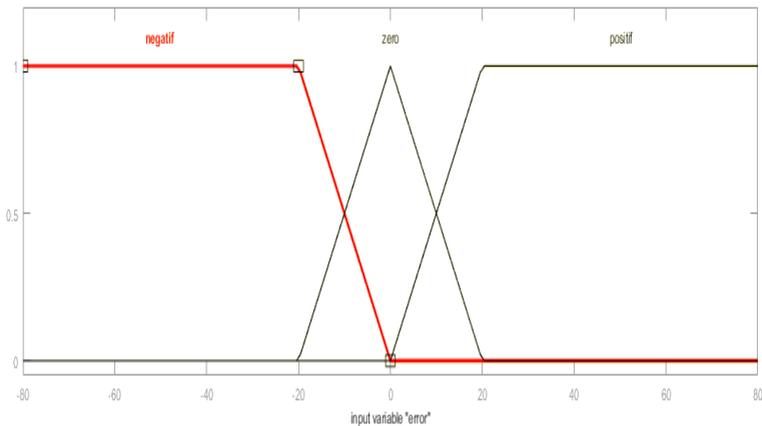
### **3.9 Sistem Kontrol Solar Tracker Menggunakan Tuning PI Berdasarkan Metode Trial and Error**

*Fuzzy Logic Controller* terbentuk atas 4 elemen yaitu fuzzifikasi, *rule base*, *inference mechanism* dan defuzzifikasi. Pada sistem *solar tracking* menggunakan 2 input yaitu *error* sudut *pitch* dan *yaw* dan *delta error* sudut *pitch* dan *yaw* ( $\Delta error$ ). Metode yang digunakan dalam penyelesaian yaitu Sugeno.

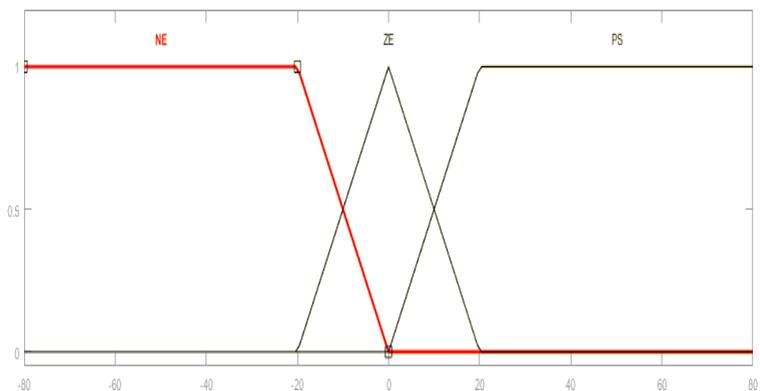


**Gambar 3. 17** FIS editor Sudut (a) Pitch dan (b) Yaw

Untuk sistem ini menggunakan 3 dan 5 *membership function* serta menggunakan *triangle* dan *trapesium membership function*. *Range membership function* yang digunakan untuk sudut *pitch* yaitu  $-80^0$  sampai  $80^0$ . Berikut merupakan fuzzifikasi Input *error* dan *delta error* sudut *pitch*. Pada Gambar 3.18 merupakan fungsi keanggotaan *Fuzzy input error* dan *delta error* sudut *pitch* 3 *membership function*, sedangkan pada Gambar 3.19 yakni fungsi keanggotaan *Fuzzy input error* dan *delta error* sudut *pitch* dengan 5 *membership function*.

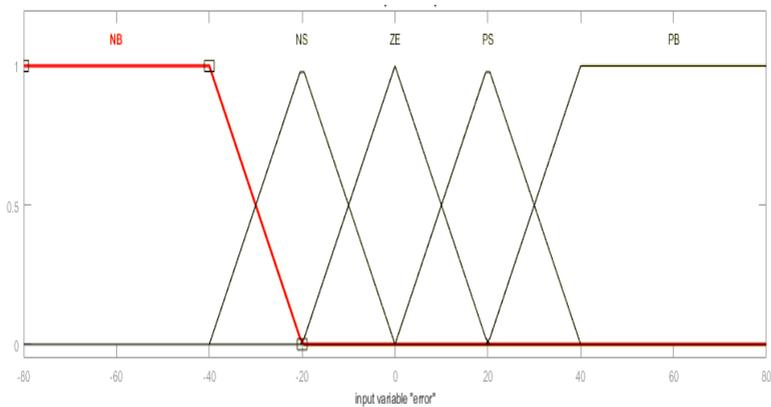


(a)

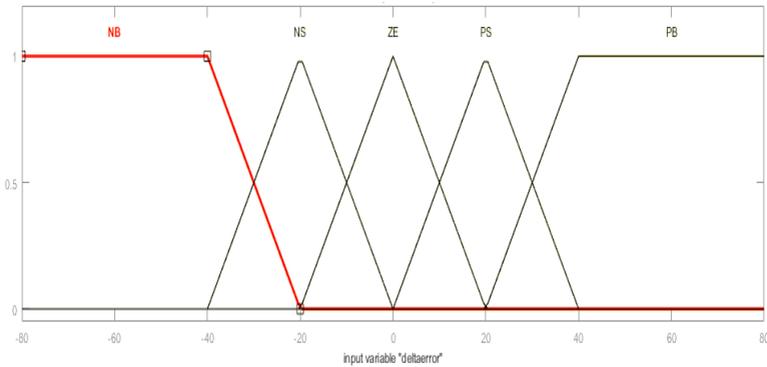


(b)

**Gambar 3. 18** Fungsi Keanggotaan *Fuzzy Input Error* dan *Delta error* Sudut *Pitch* (a) 3 MF *Error* (b)3 MF *Deltaerror*



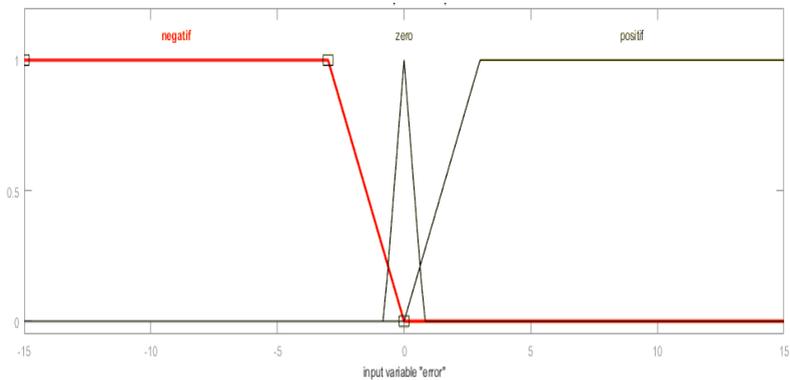
(a)



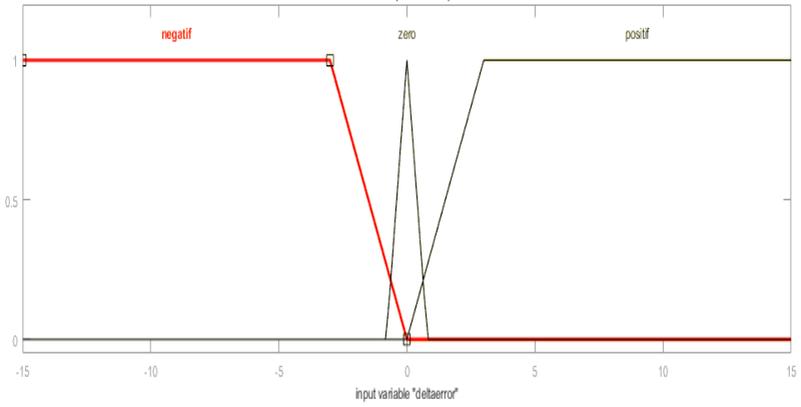
(b)

**Gambar 3. 19** Fungsi Keanggotaan *Fuzzy Input Error* dan *Delta error* Sudut *Pitch* (a) 5 MF *Error* (b) 5 MF *Deltaerror*

Untuk *range membership function* yang digunakan pada sudut *yaw* yaitu -15 sampai 15 untuk jumlah MF 3 dan MF 5. Fungsi keanggotaan *Fuzzy input error* dan *delta error* sudut *yaw* 3 *membership function* ditunjukkan pada Gambar 3.20, sedangkan pada Gambar 3.21 menunjukkan fungsi keanggotaan *Fuzzy input error* dan *delta error* sudut *pitch* dengan 5 *membership function*.

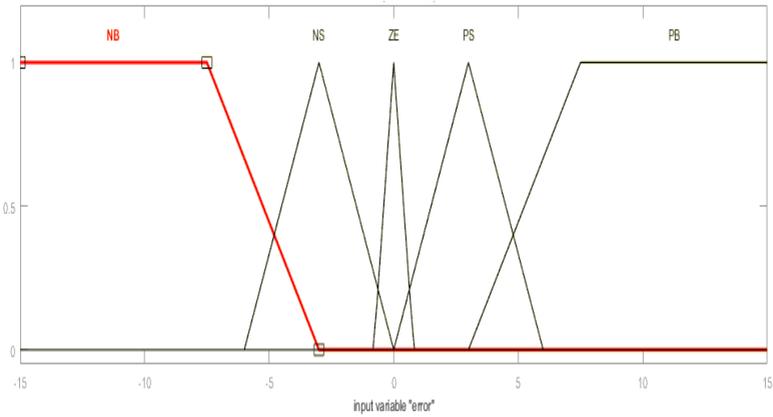


(a)

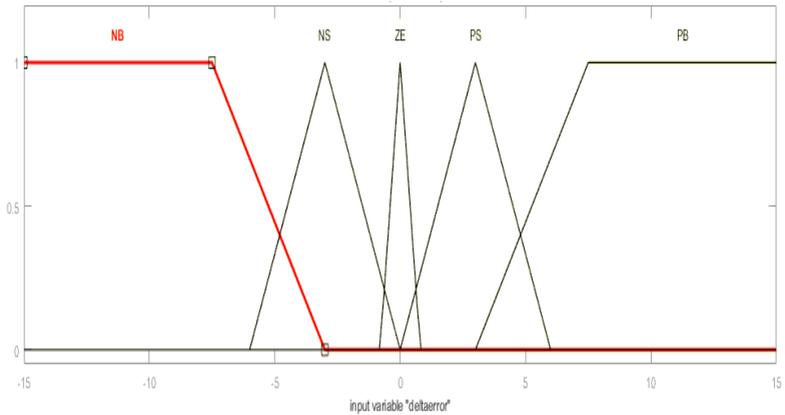


(b)

**Gambar 3. 20** Fungsi Keanggotaan *Fuzzy Input Error* dan *Delta error Sudut Yaw* (a) 3 MF *Error* (b)3 MF *Deltaerror*



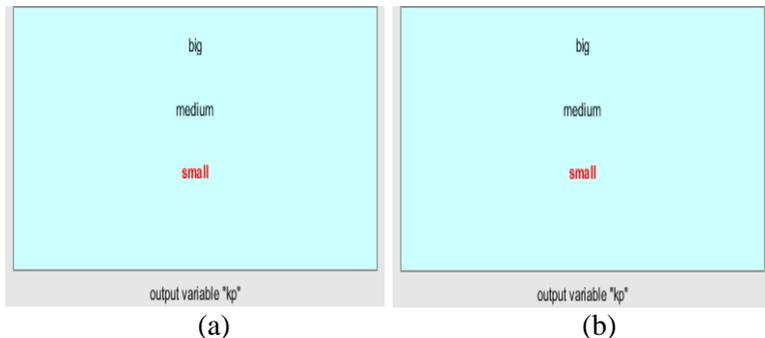
(a)



(b)

**Gambar 3. 21** Fungsi Keanggotaan *Fuzzy Input Error* dan *Delta error Sudut Yaw* (a) 5 MF Error (b) 5 MF Deltaerror

*Output* atau defuzzifikasi yang digunakan dalam sistem ini nilai  $K_p$  dan  $K_i$  berdasarkan nilai input, sedangkan untuk fungsi keanggotaannya dilakukan secara manual dengan cara *auto tuning* pada respon PI. Sehingga bila sudah didapatkan nilai  $K_p$  dan  $K_i$  dari beberapa *set point* bisa dilakukan pemetaan awal selanjutnya *trial and error* sebagai tuning PI.



(a)

(b)

**Gambar 3. 22** Defuzzifikasi 3 *Membership function* Parameter (a) $K_p$  dan (b)  $K_i$  untuk Sudut *Pitch & Yaw*

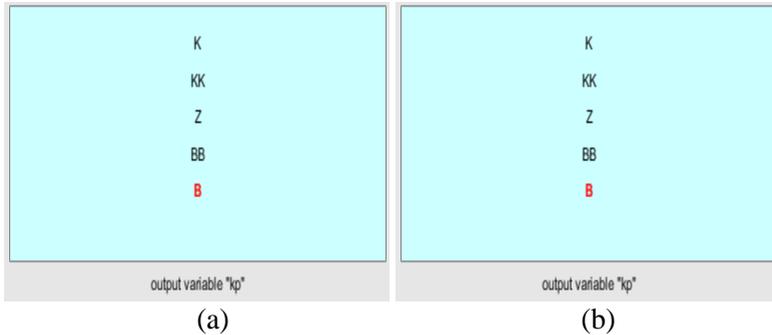
Berdasarkan gambar 3.22, keluaran output kontrol *Fuzzy PI 3 membership function* adalah nilai *kp* dan *ki* yang diklasifikasikan ke dalam 3 kategori berdasarkan besarnya nilai *kp* dan *ki* yang dihasilkan yaitu *Big* yang memiliki nilai *kp* dan *ki* yang paling besar, *Medium* untuk *kp* dan *ki* yang bernilai sedang, dan *small* yang mempunyai nilai *kp* dan *ki* paling kecil. *Output* yang berupa nilai *kp* dan *ki* ini kemudian akan dikonversi dengan gain 0,05 pada simulasi matlab sehingga menghasilkan *output* tegangan yang bervariasi dan berdampak pada perubahan kecepatan motor dalam menggerakkan panel surya (*Photovoltaic*).

**Tabel 3.3** Parameter *Kp* Defuzzifikasi 3 MF Pada Sudut *Pitch* dan *Yaw*

Nama MF	Parameter	
	<i>Pitch</i>	<i>Yaw</i>
<i>Big</i>	16.74	5.16
<i>Medium</i>	9.06	5.59
<i>Small</i>	5.12	4.792

**Tabel 3.4** Parameter *Ki* Defuzzifikasi 3 MF Pada Sudut *Pitch* dan *Yaw*

Nama MF	Parameter	
	<i>Pitch</i>	<i>Yaw</i>
<i>Big</i>	3.521	3.261
<i>Medium</i>	2.73	2.121
<i>Small</i>	1.69	1.561



**Gambar 3. 23** Defuzzifikasi 5 *Membership function* Parameter Kp pada sudut *pitch* dan *yaw*

Pada gambar 3.23 menunjukkan keluaran output kontrol *Fuzzy PI* menggunakan 5 *membership function*. Sama halnya dengan pada 3 *membership function* yang diklasifikasikan ke dalam 5 kategori berdasarkan besarnya nilai kp dan ki yang dihasilkan yaitu Kecil yang memiliki nilai kp dan ki yang paling kecil, Kecil Kecil untuk kp dan ki yang bernilai lebih besar dibandingkan kategori kecil, *Zero* memiliki nilai lebih besar dari Kecil Kecil, Besar Besar yakni mempunyai nilai kp dan ki yang lebih besar, dan Besar untuk kategori nilai kp dan ki yang paling besar. *Output* yang berupa nilai kp dan ki ini kemudian akan dikonversi dengan gain 0,05 pada simulasi matlab sehingga menghasilkan *output* tegangan yang bervariasi dan berdampak pada perubahan kecepatan motor dalam menggerakkan panel surya (*Photovoltaic*).

**Tabel 3.5** Parameter Kp Defuzzifikasi 5 MF Pada Sudut *Pitch* dan *Yaw*

Nama MF	Parameter	
	<i>Pitch</i>	<i>Yaw</i>
K	5.12	4.678
KK	7.92	4.792
Z	9.06	5.188
BB	10.63	5.481
B	16.74	9.594

**Tabel 3.6** Parameter Ki Defuzzifikasi 5 MF

Nama MF	Parameter	
	<i>Pitch</i>	<i>Yaw</i>
K	1.69	2.561
KK	2.44	2.993
Z	2.73	3.921
BB	2.76	4.134
B	3.521	4.252

Pada sistem panel surya menggunakan *rule base* berjumlah 9 untuk 3 MF karena mempunyai 2 input yaitu *error* dan *delta error* dimana masing-masing input berisi 3 *membership function* pada fuzzifikasi sedangkan untuk defuzzifikasi juga berisi 3 *membership function* Selain itu, 25 *rule base* untuk 5 MF karena mempunyai 2 input yaitu *error* dan *delta error* dimana masing-masing input berisi 5 *membership function* pada fuzzifikasi sedangkan untuk defuzzifikasi juga berisi 5 *membership function*. Berikut merupakan *rule base* dari sistem *solar tracking*.

**Tabel 3.7** Rule Base 5 MF

$\Delta e$ \ e	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	K,K	K,KK	KK,K	KK,K	Z,B
NS	K,K	KK,K	K,KK	Z,B	BB,B
ZE	K,KK	KK,K	Z,B	BB,B	BB,B
PS	Z,K	Z,B	BB,B	BB,B	B,BB
PB	BB,K	BB,B	BB,B	B,BB	B,BB

**Tabel 3.8** Rule Base 3 MF

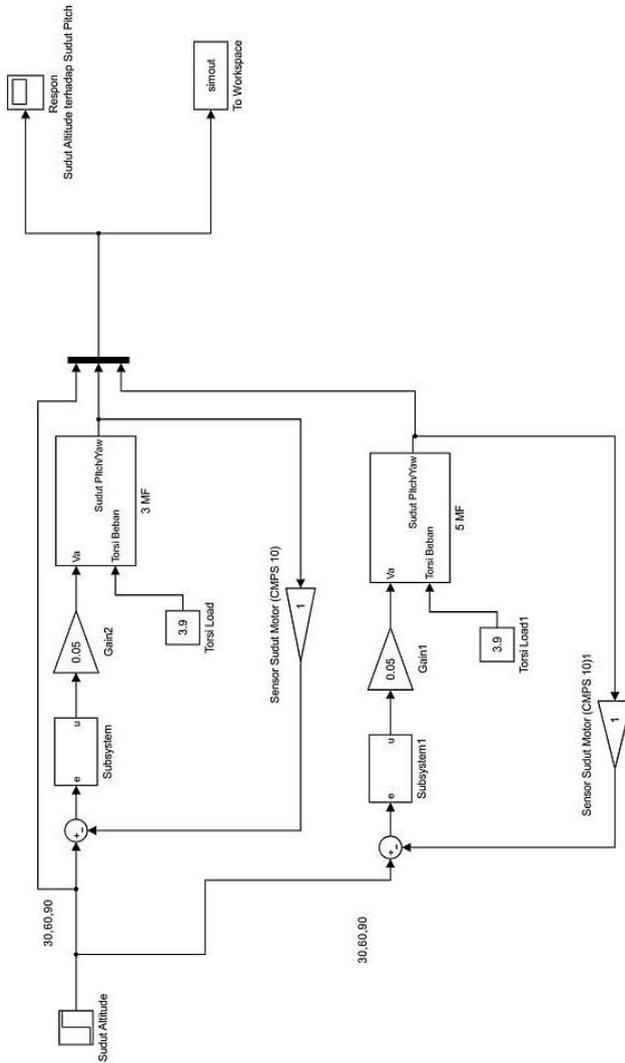
$\Delta e$ \ e	Neg	Ze	Pos
Neg	S	M	B
Ze	S	M	B
Pos	S	M	B

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

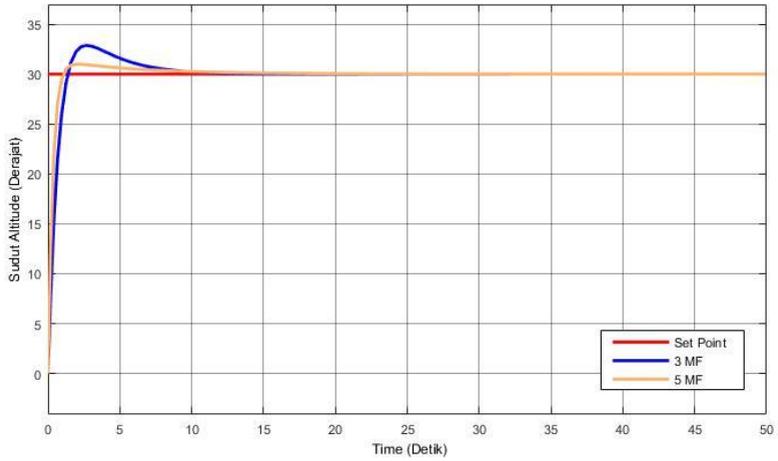
Pada bab ini membahas mengenai perancangan sistem panel surya yang terdapat beberapa variabel yang dikendalikan, yaitu sudut *pitch* dan sudut *yaw* pada motor DC. Pada penelitian ini, perancangan sistem panel surya menggunakan sistem kontrol *Fuzzy-PI*. Selain itu, pada *Fuzzy Logic Control* menggunakan jumlah *membership function* yang berbeda-beda, yaitu 3 *membership function* dan 5 *membership function* sehingga dapat diketahui respon yang dihasilkan oleh sistem dan selanjutnya dianalisa respon grafik. Untuk melakukan pengujian respon pada sistem panel surya terdapat beberapa metode pengujian yaitu pengujian dengan input fungsi *step* atau uji *setpoint*, uji *tracking setpoint*, dan uji performansi *Photovoltaic*.

### 4.1 Uji *Set point*

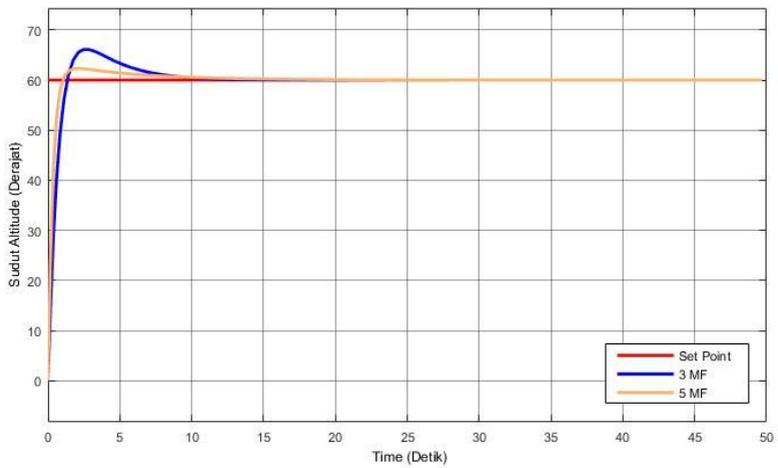
Pada pengujian *set point* dilakukan dengan membandingkan respon kontrol menggunakan 3 *membership function* dan 5 *membership function* untuk mengetahui respon kontrol *Fuzzy PI* yang dihasilkan berdasarkan variasi *set point* yang diberikan. Variasi *set point* yang diberikan baik pada arah *elevasi* maupun *azimuth* matahari yaitu  $30^0$ ,  $60^0$ ,  $90^0$ . Selain itu, pengujian *set point* juga dilakukan menggunakan beban torsi dan tanpa beban torsi. Analisa respon dilakukan terhadap sudut *pitch* dan *yaw* menggunakan indeks performansi kontrol yang meliputi *rise time* ( $Tr$ ), *settling time* ( $Ts$ ), *Maximum overshoot* ( $Mov$ ), *error steady state* ( $Ess$ ) dengan maksimal  $error\ x \leq 0.02$  (2%). Berikut hasil dari pengujian terhadap 3 dan 5 *membership function*.



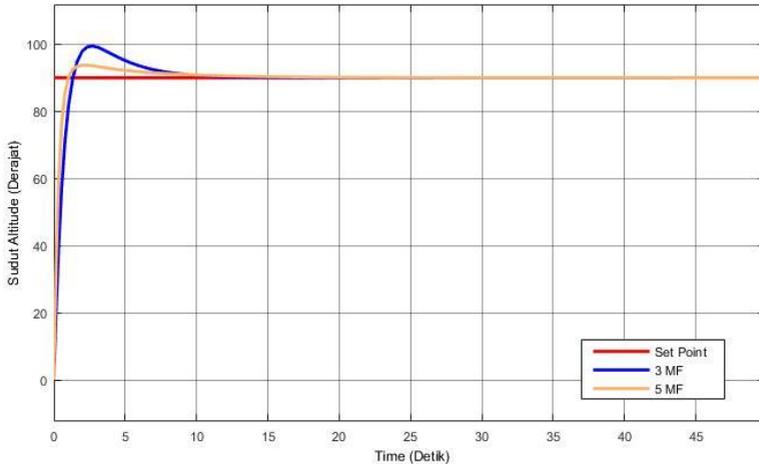
**Gambar 4. 1** Simulasi Matlab Uji *Set point*



(a)



(b)



(c)

**Gambar 4. 2** Respon Sudut *Pitch* dengan Beban Torsi 3.1 Pada *Set point* (a)  $30^0$  (b)  $60^0$  (c)  $90^0$

Hasil pengujian untuk kerja kontrol *pitch* dengan masukan  $30^0$ ,  $60^0$ ,  $90^0$  dapat ditunjukkan pada Gambar 4.2. Sudut *pitch* ini memiliki beban torsi sebesar 3.11 yang diberikan pada motor DC. Selain itu, pada gambar tersebut nilai *set point* yang diberikan berbeda-beda. Untuk mempermudah dalam menganalisa, maka diperlukan perbandingan kriteria indeks performansi di setiap pengujian. Indeks performansi pada pengujian ini meliputi *rise time*, *maksimum overshoot* serta *settling time*. *Rise time* merupakan waktu yang dibutuhkan oleh sistem untuk pertama kali mencapai nilai *set point*. Sedangkan *maksimum overshoot* merupakan kenaikan maksimum respon sistem yang melebihi nilai *set point*. Sedangkan *settling time* merupakan waktu yang dibutuhkan suatu sistem untuk mencapai *steady state*. Perbandingan indeks performansi untuk pengujian setiap nilai *set point* yang merupakan respon dari Gambar 4.2 ditunjukkan oleh Tabel 4.1.

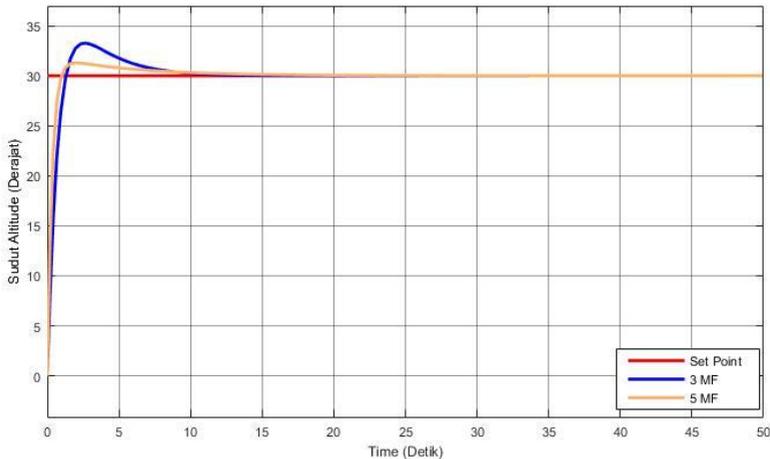
Berdasarkan uji *set point* yang terlihat pada Gambar 4.2, didapatkan hasil respon kontrol *Fuzzy PI* dengan jumlah

membership 3 memiliki *maksimum overshoot* yang lebih besar dibandingkan kontrol *Fuzzy PI* dengan 5 *membership function*. Selain itu, *rise time* dan *settling time* yang dihasilkan lebih singkat dengan menggunakan 5 *membership function*.

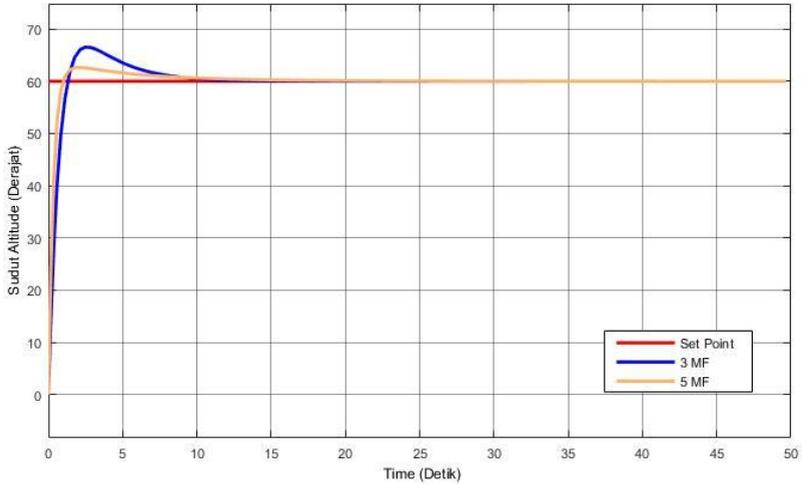
**Tabel 4. 1** Perbandingan Indeks Performansi Sudut *Pitch* dengan Beban Torsi 3.1 Menggunakan 3 dan 5 *Membership Function*

Indeks Performansi	Sudut Elevasi Matahari					
	30°		60°		90°	
	3 MF	5 MF	3 MF	5 MF	3 MF	5 MF
<i>Maximum Overshoot (%)</i>	8.73	3.18	9.30	3.75	9.51	4.04
<i>Rise time (second)</i>	0.95	0.61	0.93	0.60	0.93	0.59
<i>SettlingTime (second)</i>	7.56	5.18	7.70	5.87	7.76	6.03
<i>Ess(%)</i>	0.84	0.45	0.90	0.26	0.93	0.25

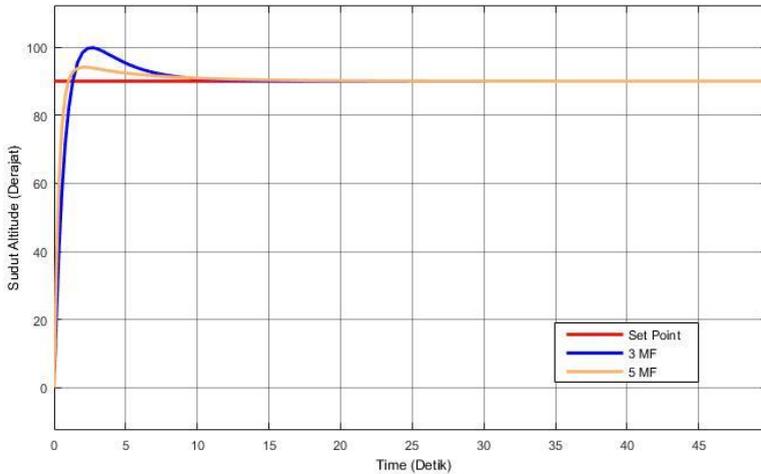
Untuk Sudut *Altitude* matahari tanpa beban torsi menggunakan *set point* sudut 30°, 60°, dan 90°.



(a)



(b)



(c)

**Gambar 4. 3** Respon Sudut *Pitch* Tanpa Beban Torsi Pada *Set point* (a)  $30^0$  (b)  $60^0$  (c)  $90^0$

Respon *controller Fuzzy PI* yang diberikan pada uji *set point* menggunakan 3 dan 5 jumlah *membership function* terhadap

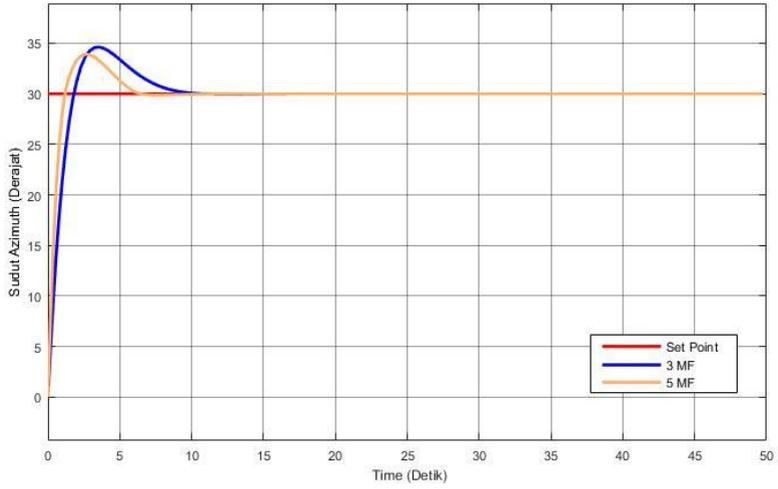
*set point* sudut *altitude*  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ , dan  $90^\circ$  dapat dilihat pada Gambar 4.3 (a), (b), dan (c). Pada Gambar 4.3 respon tersebut tidak diberikan beban torsi pada motor DC.

Berdasarkan uji *set point* yang terlihat pada Gambar 4.3, didapatkan hasil respon kontrol *Fuzzy PI* dengan jumlah membership 3 memiliki *maksimum overshoot* yang lebih besar dibandingkan kontrol *Fuzzy PI* dengan 5 *membership function*. Selain itu, dapat dilihat pula bahwa beban torsi dapat mempengaruhi hasil performansi karena nilai *maksimal overshoot* yang dihasilkan tanpa beban torsi lebih besar dibandingkan dengan diberi beban torsi 3.1. Perbandingan indeks performansi untuk pengujian setiap nilai *set point Fuzzy PI* yakni 3 dan 5 *membership function* dengan kondisi tidak diberikan beban torsi dapat ditunjukkan pada Tabel 4.2.

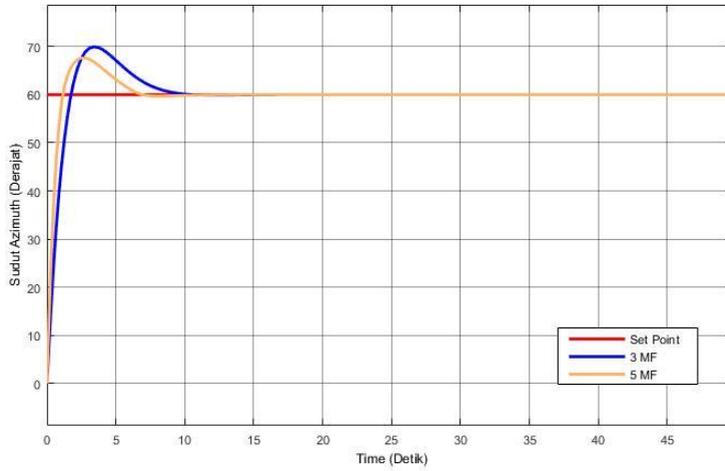
**Tabel 4. 2** Perbandingan Indeks Performansi Sudut *Pitch* Tanpa Beban Torsi Menggunakan 3 dan 5 *Membership Function*

Indeks Performansi	Sudut Elevasi Matahari					
	$30^\circ$		$60^\circ$		$90^\circ$	
	3 MF	5 MF	3 MF	5 MF	3 MF	5 MF
<i>Maximum Overshoot (%)</i>	9.81	4.10	9.84	4.24	9.87	4.39
<i>Rise time (second)</i>	0.91	0.59	0.91	0.59	0.91	0.59
<i>SettlingTime (second)</i>	7.82	6.51	7.83	6.45	7.84	6.39
<i>Ess(%)</i>	0.95	0.29	0.96	0.27	0.97	0.25

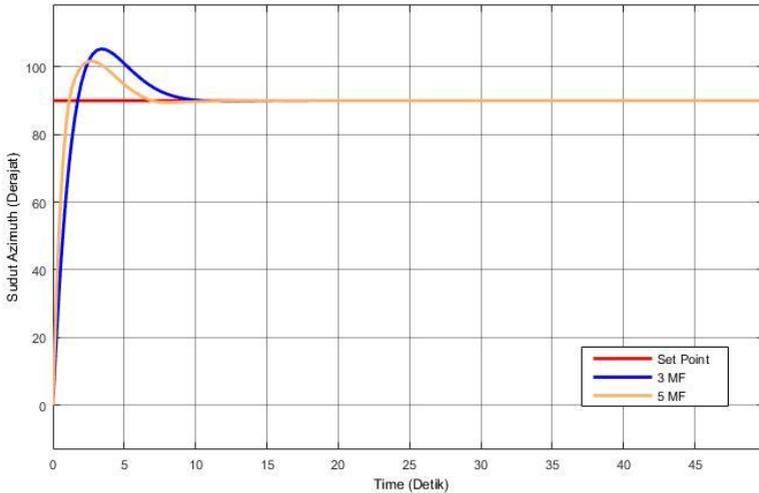
Selanjutnya merupakan uji *set point* pada sudut yaw yang dilakukan untuk mengetahui performansi kontrol *Fuzzy PI* dalam merespon masukan berupa sudut Sudut *Azimuth* matahari dengan memberikan masukan step konstan sebesar  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ , dan  $90^\circ$ . Pada uji *set point* ini membandingkan respon kontrol *Fuzzy PI* dengan jumlah *membership function* 3 dan 5, selain itu akan dibandingkan dengan memberikan beban torsi dan tanpa beban torsi pada motor DC. Pada sudut yaw ini motor DC diberikan beban torsi sebesar 3.9.



(a)



(b)



(c)

**Gambar 4. 4** Respon Sudut *Yaw* dengan Beban Torsi 3.9 Pada *Set point* (a)  $30^0$  (b)  $60^0$  (c)  $90^0$

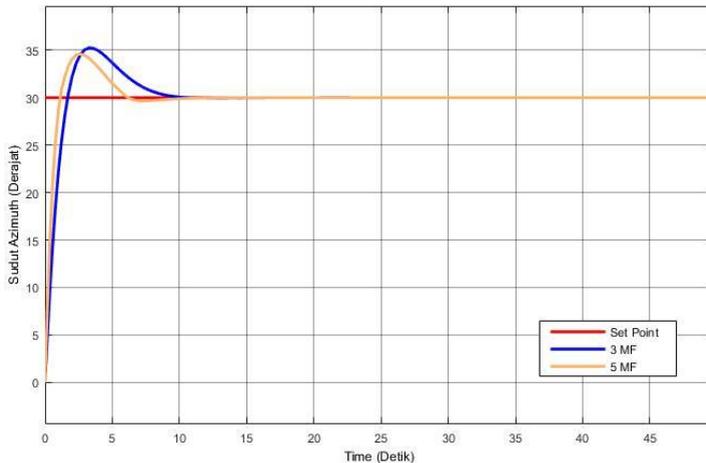
Pada Gambar 4.4 (a), (b), dan (c) merupakan hasil respon uji *set point* menggunakan 3 dan 5 *membership function* terhadap set point sudut *azimuth* matahari sebesar  $30^0$ ,  $60^0$ , dan  $90^0$ . Besar beban torsi yang diberikan pada motor DC sebesar 3.9.

Berdasarkan uji *set point* yang terlihat pada Gambar 4.4, didapatkan hasil respon kontrol *Fuzzy PI* dengan jumlah *membership* 3 memiliki *maksimum overshoot* yang lebih besar dibandingkan kontrol *Fuzzy PI* dengan 5 *membership function*. Selain itu, *rise time* dan *settling time* yang dihasilkan lebih singkat dengan menggunakan 5 *membership function*. Perbandingan indeks performansi untuk pengujian setiap nilai *set point Fuzzy PI* yakni 3 dan 5 *membership function* dengan kondisi diberikan beban torsi dapat ditunjukkan pada Tabel 4.3.

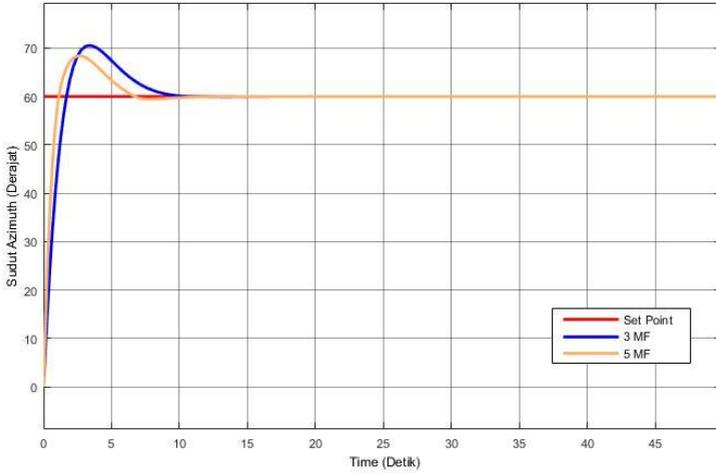
**Tabel 4. 3** Perbandingan Indeks Performansi Sudut *Yaw* dengan Beban Torsi 3.9 Menggunakan 3 dan 5 *Membership Function*

Indeks Performansi	Sudut <i>Azimuth</i> Matahari					
	30°		60°		90°	
	3 MF	5 MF	3 MF	5 MF	3 MF	5 MF
<i>Maximum Overshoot (%)</i>	13.37	11.54	14.21	11.3	5.38	8.07
<i>Rise time (second)</i>	1.33	0.83	1.29	0.81	1.29	0.81
<i>SettlingTime (second)</i>	8.06	5.59	8.09	5.99	8.11	6.02
<i>Ess (%)</i>	1.35	0.054	1.51	0.06	1.60	0.06

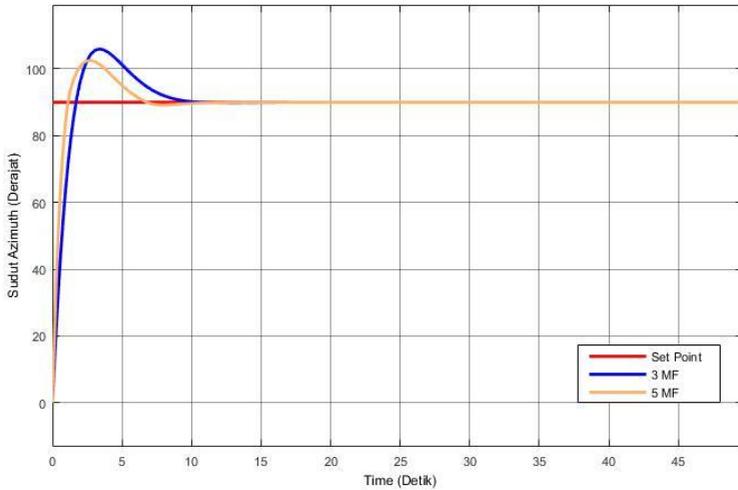
Untuk Sudut *azimuth* matahari tanpa beban torsi menggunakan *set point* sudut 30°, 60°, dan 90°.



(a)



(b)



(c)

**Gambar 4. 5** Respon Sudut *Yaw* Tanpa Beban Torsi Pada *Set Point* (a)  $30^0$  (b)  $60^0$  (c)  $90^0$

Respon keluaran kontrol *Fuzzy PI* pada Gambar 4.5 (a), (b), dan (c) menggunakan 3 dan 5 jumlah *membership function* terhadap *set point* sudut *azimuth*  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ , dan  $90^\circ$  menunjukkan respon sistem yang berbeda-beda. Pada Gambar 4.5 respon sudut *yaw* tanpa beban torsi memberikan pengaruh terhadap nilai *overshoot* respon controller.

Berdasarkan uji *set point* yang terlihat pada Gambar 4.5, didapatkan hasil respon kontrol *Fuzzy PI* dengan jumlah *membership* 3 memiliki *maksimum overshoot* yang lebih besar dibandingkan kontrol *Fuzzy PI* dengan 5 *membership function*. Selain itu, dapat dilihat pula bahwa beban torsi dapat mempengaruhi hasil performansi karena nilai *maksimal overshoot* yang dihasilkan dengan tanpa beban torsi lebih besar dibandingkan dengan diberi beban torsi 3.9. Perbandingan indeks performansi untuk pengujian setiap nilai *set point Fuzzy PI* yakni 3 dan 5 *membership function* dengan kondisi tidak diberikan beban torsi dapat ditunjukkan pada Tabel 4.4.

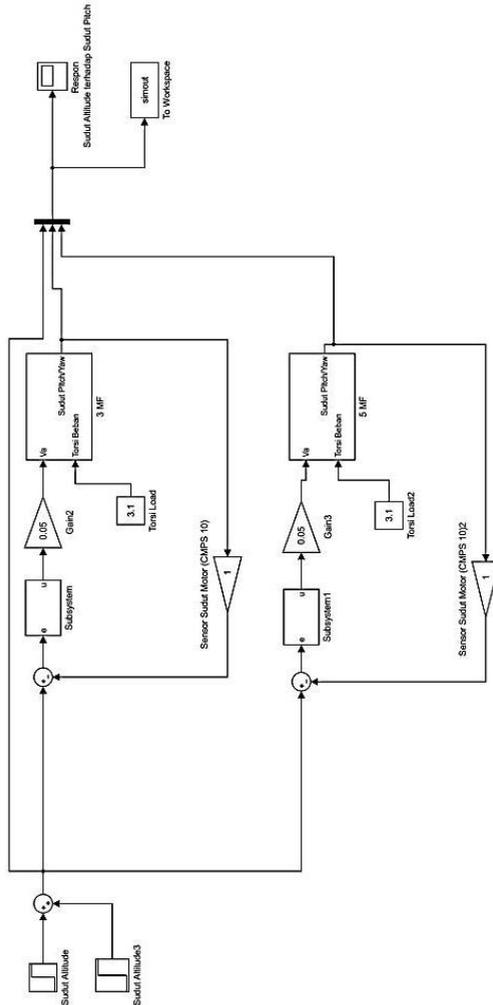
**Tabel 4. 4** Perbandingan Indeks Performansi Sudut *Yaw* Tanpa Beban Torsi Menggunakan 3 dan 5 *Membership function*

Indeks Performansi	Sudut <i>Azimuth</i> Matahari					
	$30^\circ$		$60^\circ$		$90^\circ$	
	3 MF	5 MF	3 MF	5 MF	3 MF	5 MF
<i>Maximum Overshoot (%)</i>	14.89	13.28	14.97	12.31	15.05	12.24
<i>Rise time (second)</i>	1.25	1.25	1.25	0.80	1.26	0.80
<i>SettlingTime (second)</i>	8.09	8.09	8.10	5.97	8.12	5.99
<i>Ess (%)</i>	1.52	0.09	1.59	0.08	1.66	0.08

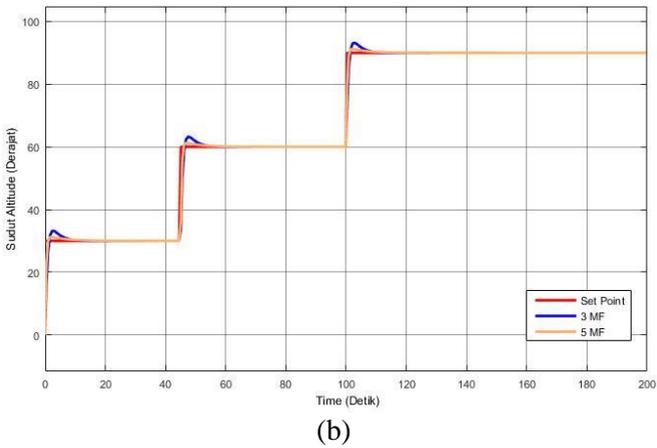
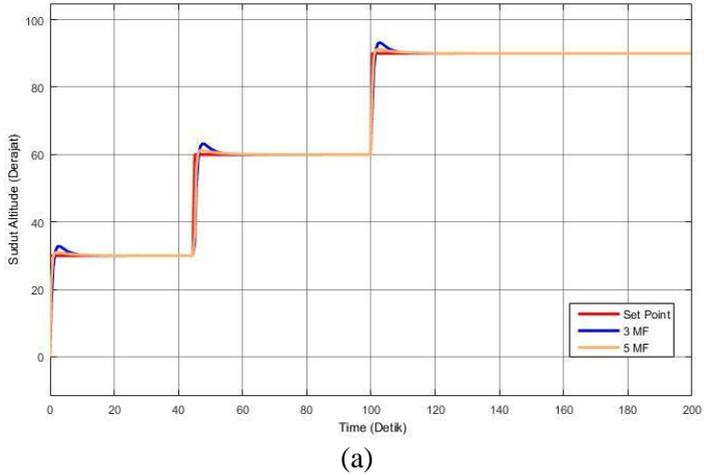
#### 4.2 Uji *Tracking Set point*

Uji *tracking set point* pada sistem *solar tracking* berfungsi untuk mengetahui respon dari sistem kontrol berdasarkan variasi *set point* yang diberikan. Uji *tracking set point* dilakukan berdasarkan sudut *pitch* dan *yaw*, dimana masing-masing sudut

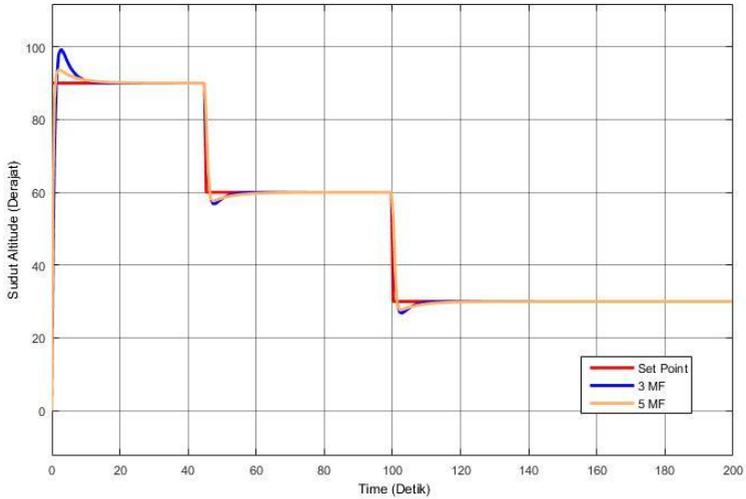
akan dilakukan uji *tracking set point* naik dan turun. Selain itu, diberi perlakuan dengan memberikan beban torsi dan beban torsi.



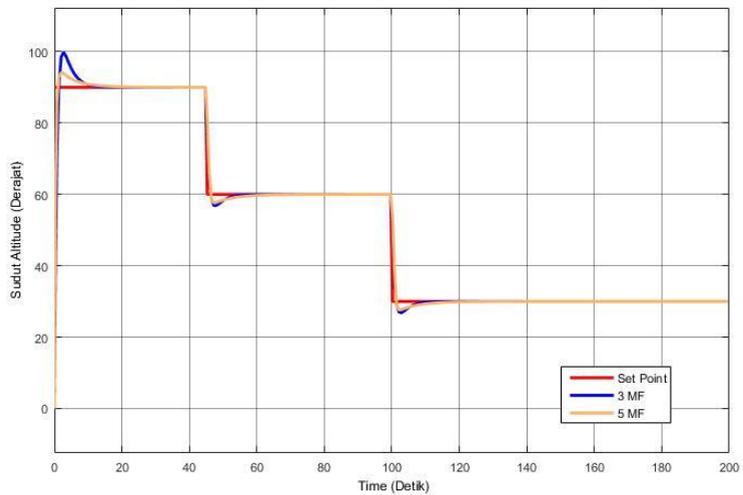
**Gambar 4. 6** Simulasi Matlab Uji *Tracking Set point*



**Gambar 4. 7** Respon Uji *Tracking* Naik Pada Sudut *Pitch* (a) dengan Beban Torsi 3.1 (b) Tanpa Beban Torsi



(a)

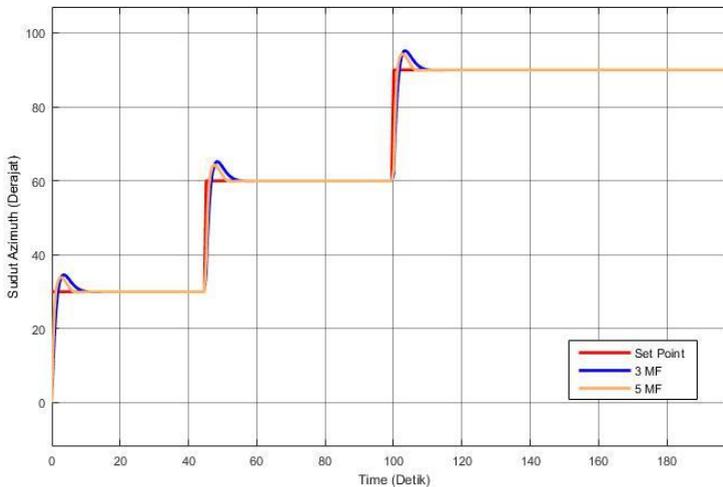


(b)

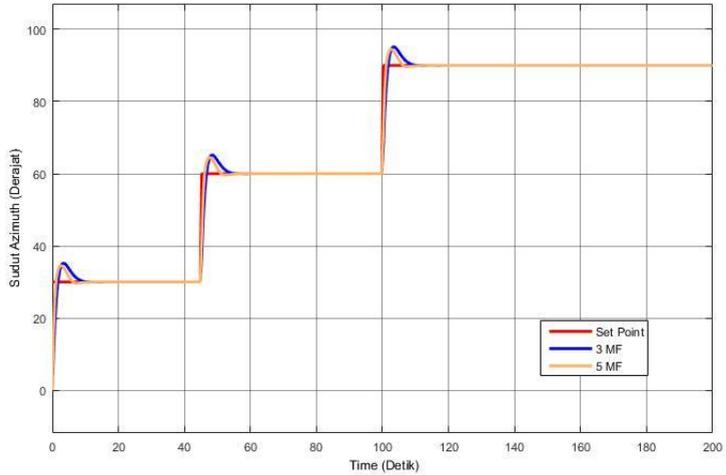
**Gambar 4. 8** Respon Uji *Tracking* Turun Pada Sudut *Pitch*  
 (a) dengan Beban Torsi 3.1 (b) Tanpa Beban Torsi

Pada awal pengujian *tracking set point* sudut *pitch* diberikan *set point*  $30^0$  kemudian dinaikkan menjadi  $60^0$  dan  $90^0$  dengan diberi beban torsi 3.1 dan tanpa beban torsi. Berdasarkan Gambar 4.7 dan 4.8 diatas didapatkan hasil respon *tracking set point* dari sistem pengendalian *Fuzzy PI* menggunakan jumlah *membership function* 3 dan 5 bahwa respon kontroller dapat mengikuti perubahan pada setiap *tracking set point* yang dilakukan dalam rentang waktu 45, 55, dan 100 detik pada masing-masing pergantian *set point* pada sudut *pitch*. Beban torsi yang diberikan dapat memberikan pengaruh pada hasil performansi dimana nilai *maksimal overshoot* pada saat tanpa diberi beban torsi jauh lebih besar dan *settling time* yang dihasilkan juga lebih lama jika dibandingkan dengan diberi beban torsi 3.1.

Hasil respon pengujian *tracking set point* naik dan turun sudut *yaw* terhadap sudut *azimuth* matahari dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan 4.10.

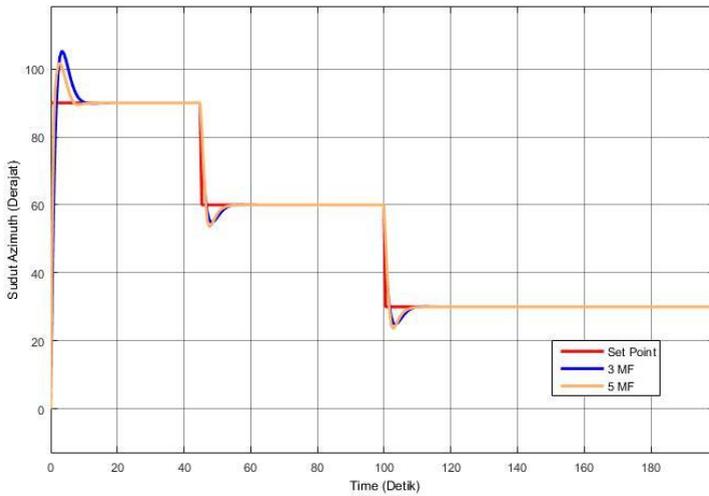


(a)

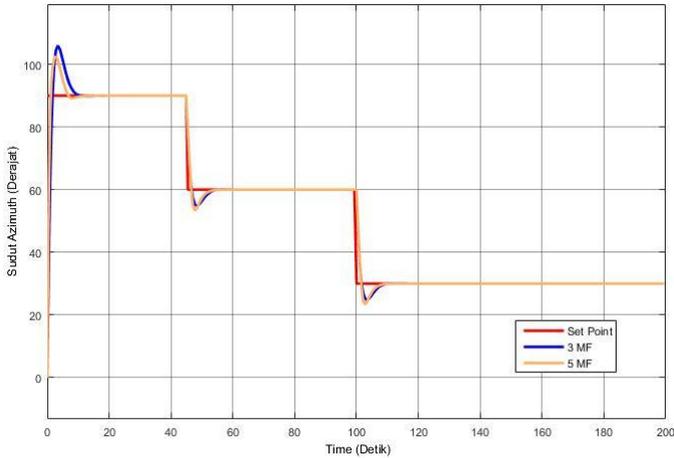


(b)

**Gambar 4. 9** Respon Uji *Tracking* Naik *Set point* Pada Sudut *Yaw* (a) dengan Beban Torsi 3.9 (b) Tanpa Beban Torsi



(a)



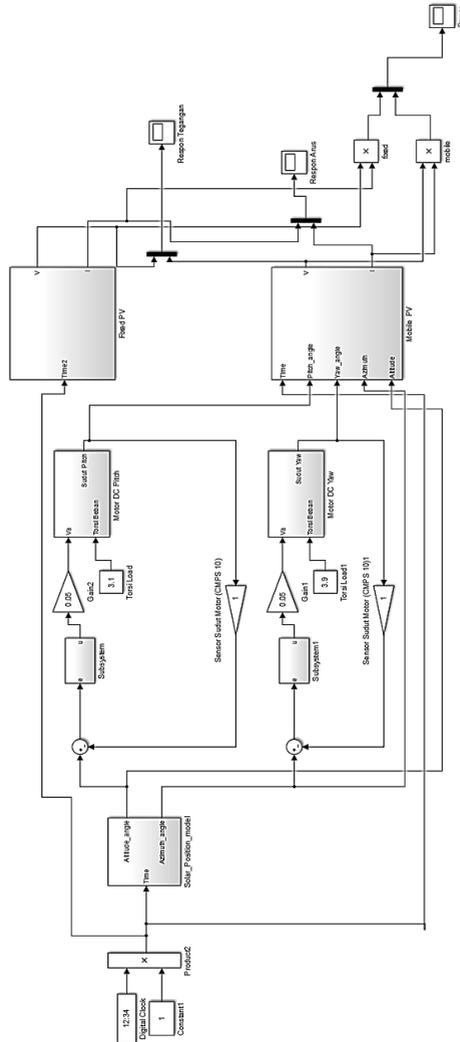
(b)

**Gambar 4. 10** Respon Uji *Tracking* Turun *Set point* Pada Sudut *Yaw* (a) dengan Beban Torsi 3.9 (b) Tanpa Beban Torsi

Simulasi *uji tracking set point* sudut *yaw* diberikan *set point*  $30^0$  kemudian dinaikkan menjadi  $60^0$  dan  $90^0$  dengan diberi beban torsi 3.9 dan tanpa beban torsi. Berdasarkan Gambar 4.9 dan 4.10 diatas didapatkan hasil respon *tracking set point* dari sistem pengendalian *Fuzzy PI* menggunakan jumlah *membership function* 3 dan 5 bahwa respon kontroller dapat mengikuti perubahan pada setiap *tracking set point* yang dilakukan dalam rentang waktu 45, 55, dan 100 detik pada masing-masing pergantian *set point* pada sudut *yaw*. Beban torsi yang diberikan dapat memberikan pengaruh pada hasil performansi dimana nilai *maksimal overshoot* pada saat tanpa diberi beban torsi jauh lebih besar dan *settling time* yang dihasilkan juga lebih lama jika dibandingkan dengan diberi beban torsi 3.9.

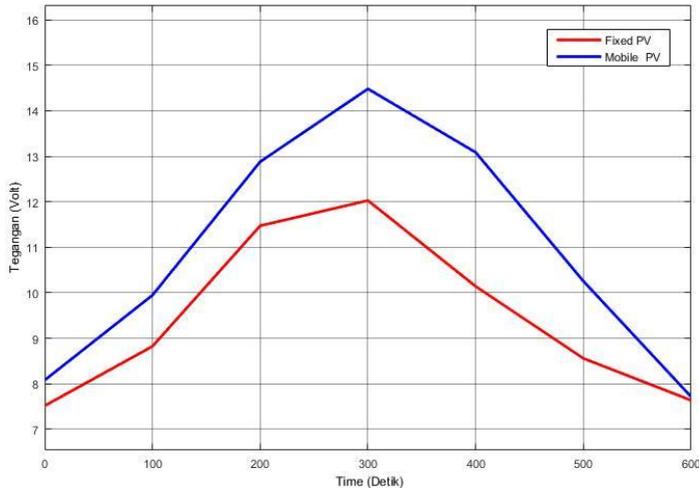
### **4.3 Uji Performansi Keluaran PV**

Simulasi uji performansi dilakukan untuk mengetahui respon kontrol yang telah dirancang pada sistem *Mobile Passive Solar Tracker* seperti pada 4.11. Simulasi dilakukan dalam rentang waktu pengambilan data selama 10 jam dimulai pukul 07.00 sampai dengan 17.00 dengan lokasi yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Data yang digunakan pada simulasi direpresentasikan ke dalam *look up table* dalam simulink matlab. Peningkatan performansi terhadap keluaran berupa tegangan, arus dan daya yang dihasilkan, selain itu juga dihitung peningkatan efisiensi energi dan efisiensi daya yang dapat dihasilkan oleh sistem yang telah dibuat.



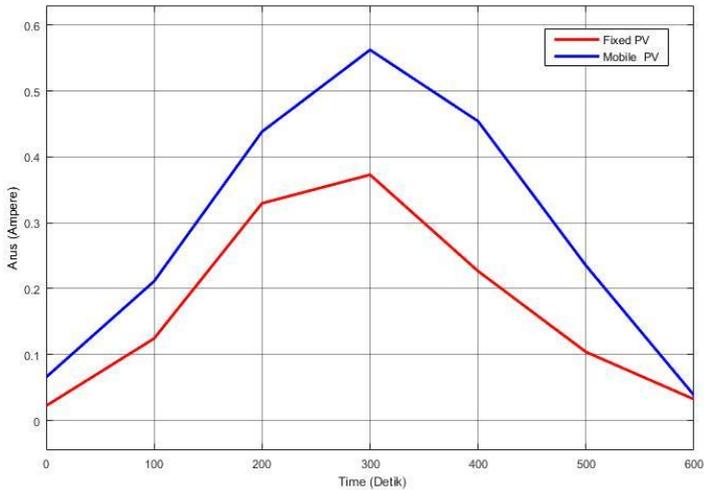
**Gambar 4. 11** Respon Uji *Tracking* Turun *Set point* Pada Sudut *Yaw* (a) dengan Beban Torsi 3.9 (b) Tanpa Beban Torsi

Simulasi yang dibuat menunjukkan hasil keluaran yaitu berupa nilai tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan oleh masing-masing sistem *fixed* dan *mobile tracking*.



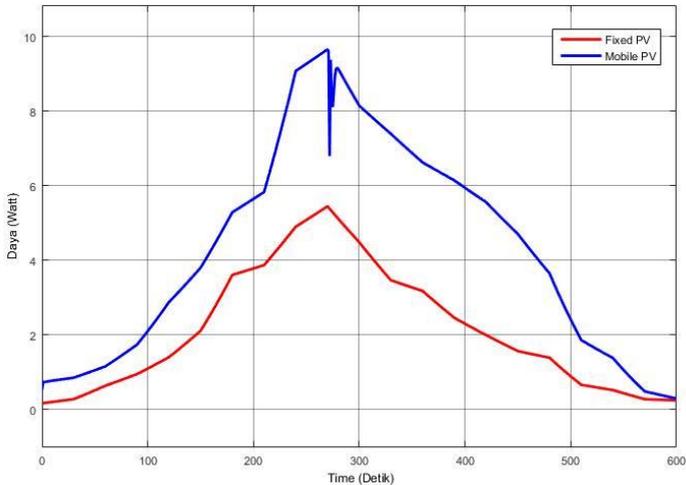
**Gambar 4. 12** Tegangan yang dihasilkan oleh *Mobile Passive Solar Tracker*

Berdasarkan hasil keluaran uji *tracking* performansi pv yakni berupa nilai tegangan pada gambar 4.12 menunjukkan tegangan yang dihasilkan oleh sistem *mobile tracking* meningkat jika dibandingkan dengan *fixed system*. Tegangan yang dihasilkan meningkat sebesar 15.33%, sehingga sistem *mobile tracking* dapat dikatakan dapat meningkatkan hasil keluaran dari *Photovoltaic*.



**Gambar 4. 13** Arus yang dihasilkan oleh *Mobile Passive Solar Tracker*

Pada Gambar 4.13 telah dilakukan simulasi uji *tracking* performansi keluaran pv berupa nilai arus, dimana simulasi tersebut dilakukan selama 600 detik. Pada Gambar 4.13 terlihat bahwa arus yang dihasilkan oleh sistem *mobile tracking* meningkat sebesar 40.64% jika dibandingkan sistem *fixed system*. Sehingga dapat dikatakan bahwa sistem *mobile tracking* dapat meningkatkan hasil keluaran dari *Photovoltaic*.



**Gambar 4. 14** Daya yang dihasilkan oleh Mobile Active Solar Tracker

Pada Gambar 4.14 telah dilakukan simulasi uji *tracking* performansi keluaran pv berupa daya yang dihasilkan sistem *mobile tracking* dan sistem *fixed tracking*. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan peningkatan daya yang dihasilkan dengan kurva, dimana kurva merah mewakili sistem *mobile tracking* dan biru mewakili *tracking* sistem *fixed*. Pada gambar tersebut terlihat bahwa daya yang dihasilkan sistem *mobile tracking* dan *fixed system* memiliki nilai yang berbeda. Pada sistem *mobile tracking* mampu menghasilkan peningkatan nilai efisiensi daya pada *Photovoltaic* meningkat sebesar 49.81% dibandingkan sistem *fixed*. Selain itu, dapat diketahui efisiensi energi yang dihasilkan pada sistem *mobile tracking* mampu menghasilkan peningkatan yang jauh lebih besar sebesar 52.37% dibandingkan sistem *fixed*. Sehingga dapat dikatakan bahwa sistem *mobile tracking* dapat meningkatkan hasil keluaran daya dari *Photovoltaic*.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari tugas akhir mengenai sistem *Mobile Passive Solar Tracker* system dapat disimpulkan bahwa :

- a. Beberapa Parameter-parameter dari setiap komponen pada sistem *mobile passive solar tracker* diperoleh dalam bentuk data sekunder maupun eksperimen. Parameter tersebut diantaranya parameter astronomi (posisi bujur dan lintang), parameter motor DC yakni konstanta torsi ( $K_e$ ), konstanta torsi ( $K_t$ ), resistansi ( $R$ ), induktansi ( $L$ ), *viscous friction coefficient* ( $B_m$ ), inersia motor ( $J_m$ ), dan torsi motor ( $T_m$ ). Sedangkan untuk parameter *photovoltaic* yakni  $I_{sh}$  (arus *shunt*),  $R_{pv}$  (tahanan ekuivalen dari PV),  $R_{sh}$  (tahanan *shunt*) dan  $I_o$  (arus saturasi).
- b. Kontrol *Fuzzy PI* dapat diimplementasikan pada pada *Mobile Passive Solar Tracker* baik menggunakan 3 dan 5 jumlah keanggotaan. Indeks performansi terbaik menggunakan 5 jumlah keanggotaan pada sudut *pitch* ( $30^0$ ) didapatkan nilai *rise time* ( $t_r$ ) 0.61 detik, *settling time* ( $t_s$ ) 5.18 detik, *maximum overshoot* 3.18% dan *error steady state* ( $ess$ ) 0.45%.
- c. Peningkatan daya dan efisiensi energi *photovoltaic* pada perancangan *mobile passive solar tracker* menggunakan kendali logika *Fuzzy PI* dapat meningkatkan efisiensi energi sebesar 52.37%.

#### **5.2 Saran**

Adapun saran yang dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya yaitu dapat diimplementasikan pada *photovoltaic* yang memiliki spesifikasi lebih besar dari yang digunakan saat ini sehingga dapat menghasilkan efisiensi energi yang lebih tinggi.

***Halaman ini sengaja dikosongkan***

## DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, I., Musyafa, A., & Soeprijanto, A. (2015). Type-2 Fuzzy Logic Controller Based PV Passive Two-Axis Solar Tracking System. *International Review of Electrical Engineering (IREE)*, Vol 10(no.3).
- Babatunde, E. B. (1995). Solar Radiation, a Friendly Renewable Energy Source. Covenant University, Ota, Ogun State, Nigeria.
- Babgei, A. F. (2011). Rancang Bangun Maximum Power Point Tracker (MPPT) Pada Panel Surya Dengan Menggunakan Metode Fuzzy.
- BPPT. (2016). Outlook Energi Indonesia 2016. In A. Sugiyono, Anindhita, L. M. Wahid, & Adiarso, *Pengembangan Energi untuk Mendukung Industri Hijau*. BPPT.
- Brilianti, N. (2015). Implementasi Kontrol Fuzzy Pada Sistem Penjejak Matahari Aktif Dua Derajat Kebebasan Untuk Meningkatkan Penerimaan Energi Matahari Photovoltaic.
- Fatoni, I. (2015). *Makalah Energi Terbarukan (Renewable Energi)*. Universitas Muhammadiyah Malang, Fakultas Teknik, Malang.
- Harifuddin. (2008). Pemodelan dan Pengendalian Motor DC Terkendali Jangkar. *Media Elektrik*, 3 (1).
- Nugraha, A. I. (2017). *Implementasi Teknik Maximum Power Point Tracking (Mppt) Pada Sistem Penjejak Matahari Berbasis Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System*

(ANFIS). Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Surabaya.

Ogata, K. (2004). In S. D. Edition. New Jersey, Pearson Prentice Hall.

Permatasari, K. A. (2015). *Perancangan Sistem Pengendalian Sudut Pitch dan Yaw Pada Panel Surya Menggunakan Metode PSO-Fuzzy*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Surabaya.

Prabowo, Y. A., Triwiyatno, A., & Sumardi. (2013, September). Perancangan Dan Simulasi Sistem Tracking Panel Surya Dua Derajat Kebebasan Menggunakan Metode Kendali Logika Fuzzy. *Vol 2*(No.3).

Setiawan, B., Purnomo, M. H., & Ashari, M. (2009). Artificial Intelligent based Modeling of Mobile Solar Tracker for a Large Ship.

Sproul, A. B. (2006, May 1). Derivation of the solar geometric relationships using vector analysis. *Science Direct*.

Wahyudi, Setiawan, I., & Tigor, E. (2008, Juni). Tuning Parameter Kontrol Proporsional Integral. *Jilid 10*(Nomor 2), hlm 97-102.

## LAMPIRAN

### A. Lampiran Data Parameter Motor DC

**Tabel 1.** Data Parameter Ke Motor DC

RPM	RPM	Rad/s	Vemf	Ke (Volt.sec/rad)
1057.6	0.705067	0.073797	1	13.55069042
2356.4	1.570933	0.164424	2	12.1636481
3711.6	2.4744	0.258987	3	11.58358405
5032.6	3.355067	0.351164	4	11.39070078
6346.2	4.2308	0.442824	5	11.2911744
7634.6	5.089733	0.532725	6	11.26283776
8940.6	5.9604	0.623855	7	11.22055246
10280	6.853333	0.717316	8	11.15269276
11560	7.706667	0.806631	9	11.15751658
12824	8.549333	0.89483	10	11.17530427
13978	9.318667	0.975354	11	11.27795909
15406	10.27067	1.074996	12	11.16282762
<b>Ke</b>				<b>11.53245736</b>

**Tabel 2.** Data Parameter Kt Motor DC

RPM	Ke (Volt/rpm)	Kt (Lb.in/A)	Kt (Nm/A)
0.705067	1.418305598	119.9209941	13.540054
1.570933	1.273128501	107.6459374	12.1541004
2.4744	1.212415131	102.5124825	11.5744917
3.355067	1.192226682	100.8055028	11.3817598
4.2308	1.181809587	99.92471352	11.2823115
5.089733	1.178843685	99.67393974	11.2539971

**Tabel 2.** (Lanjutan)

<b>RPM</b>	<b>Ke (Volt/rpm)</b>	<b>Kt (Lb.in/A)</b>	<b>Kt (Nm/A)</b>
5.089733	1.178843685	99.67393974	11.2539971
5.9604	1.174417824	99.29972303	11.2111745
6.853333	1.167315175	98.69917774	11.1439386
7.706667	1.167820069	98.74186769	11.1487586
8.549333	1.169681847	98.89928524	11.1665324
9.318667	1.180426384	99.80776057	11.2691066
10.27067	1.168375957	98.78886932	11.1540655
	<b>Kt</b>		<b>11.5234051</b>

**Tabel 3.** Data Parameter R dan L Motor DC

<b>R (ohm)</b>	<b>L (mH)</b>	<b>L (H)</b>
1.061	0.20666	0.000207
1.06	0.20676	0.000207
1.06	0.20654	0.000207
1.059	0.2666	0.000267
1.059	0.20653	0.000207
1.058	0.20678	0.000207
1.058	0.20657	0.000207
1.058	0.20649	0.000206
1.057	0.2065	0.000207
1.103	0.20663	0.000207
1.101	0.20669	0.000207
1.099	0.20627	0.000206
1.098	0.20639	0.000206
1.097	0.20662	0.000207
1.097	0.20637	0.000206

**Tabel 3. (Lanjutan)**

<b>R (ohm)</b>	<b>L (mH)</b>	<b>L (H)</b>
1.129	0.20206	0.000202
1.123	0.20671	0.000207
1.121	0.2064	0.000206
1.12	0.20668	0.000207
1.12	0.20659	0.000207
1.119	0.20666	0.000207
1.119	0.20646	0.000206
1.118	0.20631	0.000206
1.118	0.2066	0.000207
1.118	0.20653	0.000207
1.118	0.20636	0.000206
1.117	0.20641	0.000206
1.117	0.20646	0.000206
1.117	0.20654	0.000207
1.117	0.20654	0.000207
1.117	0.20654	0.000207
<b>1.098438</b>	<b>0.208266</b>	<b>0.000208</b>

**Tabel 4. Data Parameter Jm dan Bm Motor DC**

<b>V</b>	<b>RPM</b>	<b>rad/sec</b>	<b>Omega</b>	<b>Arus</b>	<b>Kt</b>	<b>Tm</b>	<b>Bm</b>	<b>t</b>	<b>Jm</b>
1	1057.6	110.6955	1.8449	0.56	11.52341	6.4531	3.4978	2.33	8.149786
2	2356.4	246.6365	4.1106	0.605	11.52341	6.9717	1.696	2.11	3.578595
3	3711.6	388.4808	6.4747	0.65	11.52341	7.4902	1.1568	2.14	2.475652
4	5032.6	526.7455	8.7791	0.67	11.52341	7.7207	0.8794	2.39	2.101861
5	6346.2	664.2356	11.071	0.67	11.52341	7.7207	0.6974	2.58	1.799304
6	7634.6	799.0881	13.318	0.705	11.52341	8.124	0.61	3.01	1.836086
7	8940.6	935.7828	15.596	0.74	11.52341	8.5273	0.5467	3.1	1.694925

**Tabel 4. (Lanjutan)**

V	RPM	rad/sec	Omega	Arus	Kt	Tm	Bm	t	Jm
8	10280	1075.973	17.933	0.77	11.52341	8.873	0.4948	3.88	1.919787
9	11560	1209.947	20.166	0.8	11.52341	9.2187	0.4571	3.51	1.604586
10	12824	1342.245	22.371	0.85	11.52341	9.7949	0.4378	3.02	1.322288
11	13978	1463.031	24.384	0.88	11.52341	10.141	0.4159	3.2	1.330795
12	15406	1612.495	26.875	93	11.52341	1071.7	39.876	3.06	122.022
Rata-rata							4.2305		12.48631

**B. Lampiran Data latitude dan longitude****Tabel 5. Data Latitude Dan Longitude Posisi Matahari**

Jam	Latitude	Longitude	altitude	Azimuth
7:00	-7.276979	112.796265	27.6	66.8
8:00	-7.27882	112.797976	36	63.3
9:00	-7.27909	112.798006	48.9	54.6
10:00	-7.28172	112.797851	60	38.6
11:00	-7.282053	112.798477	66.99	358.67
12:00	-7.281206	112.798526	62.54	326.99
13:00	-7.28193	112.798561	52.49	307.98
14:00	-7.28617	112.798075	40.58	298.55
15:00	-7.285922	112.798059	22.9	290.55
16:00	-7.286458	112.796394	14.89	288.41
17:00	-7.286745	112.794714	3.48	286.33

Keterangan : Data tersebut diambil pada hari rabu,3 Mei 2017

**Tabel 6.** Data latitude dan longitudo (Dari Arah Surabaya Barat Hingga Teknik Fisika)

Jam	Latitude	Longitudo	eksperimen	
			altitude	Azimuth
7:11	-7.27917	112.727423	19.68	66.32
7:22	-7.278643	112.729496	22.16	65.55
7:33	-7.278638	112.729517	24.64	64.7
7:44	-7.278632	112.729513	25.21	63.67
7:55	-7.278338	112.729287	27.18	60.72
8:06	-7.278332	112.729282	30.45	58.55
8:17	-7.278325	112.729278	32.67	54.12
8:28	-7.278036	112.729257	33.17	52.67
8:39	-7.278029	112.729259	34.83	50.66
8:50	-7.278029	112.729263	36.11	49.78
9:01	-7.278098	112.730352	37.28	47.62
9:12	-7.278856	112.735203	39.69	45.22
9:23	-7.278856	112.735267	42.85	43.9
9:34	-7.278808	112.735278	44.52	42.11
9:45	-7.276158	112.73575	46.91	39.76
9:56	-7.276094	112.735766	48.01	35.19
10:07	-7.276083	112.735809	50.33	33.01
10:18	-7.278937	112.790344	53.77	29.76
10:29	-7.27831	112.790358	55.54	25.19
10:40	-7.278917	112.790529	57.79	23.81
10:51	-7.278969	112.790655	58.14	20.49
11:02	-7.279037	112.790728	60.17	16.65
11:13	-7.279195	112.790801	62.77	11.59
11:24	-7.279307	112.790803	63.19	5.95
11:35	-7.279453	112.79074	63.34	0.2
11:46	-7.279461	112.790734	63.21	354.44

**Tabel 6. (Lanjutan)**

---

11:57	-7.279926	112.791185	62.81	348.79
12:08	-7.279992	112.791794	62.16	343.35
12:19	-7.280926	112.792714	62.02	340.12
12:30	-7.281533	112.792596	60.11	339.34
12:41	-7.283068	112.792317	58.78	338.56
12:52	-7.283243	112.793076	56.89	337.31
13:03	-7.28333	112.793184	55.71	336.66
13:14	-7.286273	112.793609	53.34	336.11
13:25	-7.285757	112.797016	52.76	335.99
13:36	-7.283867	112.796988	50.22	334.78
13:47	-7.283838	112.796767	49.11	334.66
13:58	-7.283658	112.79572	45.44	333.89
14:09	-7.276083	112.735809	43.1	333.54
14:20	-7.278937	112.790344	40.34	332.96
14:31	-7.27831	112.790358	39.67	332.77
14:42	-7.278917	112.790529	38.62	332.01
14:53	-7.278969	112.790655	36.98	331.88
15:04	-7.279037	112.790728	33.23	331.55
15:15	-7.279195	112.790801	30.23	331.43
15:26	-7.279307	112.790803	27.14	330.67
15:37	-7.279453	112.79074	25.56	325.18
15:48	-7.279461	112.790734	20.19	321.35
15:59	-7.279926	112.791185	18.45	319.17
16:10	-7.279992	112.791794	15.43	315.66
16:21	-7.280926	112.792714	14.66	314.56
16:32	-7.281533	112.792596	12.09	312.1
16:43	-7.283068	112.792317	8.76	309.45
16:54	-7.283243	112.793076	6.34	308.67
17:05	-7.28333	112.793184	4.85	290.21

---

Keterangan : Data tersebut diambil pada hari jumat,21 Juli  
2017

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BIODATA PENULIS



Nama Lengkap penulis Nadia Fasa yang dilahirkan di Kota Surabaya pada tanggal 26 Mei 1994 dari Ayah bernama Ir. Ayi Ruhiyat Irianto Jusup dan Ibu bernama Dra. Enik Susilowati. Penulis merupakan anak bungsu dari dua bersaudara. Saat ini penulis tinggal di Jalan Banyu Urip Wetan VA/6 Surabaya. Pada tahun 2006, penulis telah menyelesaikan pendidikannya di SDN Dr. Soetomo III No. 325

Surabaya. Kemudian pada tahun 2009 penulis telah menyelesaikan pendidikan tingkat menengah pertama di SMPN 42 Surabaya. Tahun 2012 berhasil menyelesaikan pendidikan tingkat menengah atas di SMAN 4 Surabaya.

Mulai kuliah pada tahun 2012 di Program Studi D3 Metrologi dan Instrumentasi Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS dan melanjutkan kuliah S1 Lintas Jalur di Departemen Teknik Fisika, FTI ITS mulai tahun 2015 hingga sekarang. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir maka dapat menghubungi penulis melalui email [nadiafasa@gmail.com](mailto:nadiafasa@gmail.com).