



TUGAS AKHIR - TF 141581

**PERANCANGAN *MOBILE ACTIVE TWO AXIS*
SOLAR TRACKER PADA *PHOTOVOLTAIC*
MENGUNAKAN KENDALI LOGIKA FUZZY-PI**

LUFI IZZATI AINI
NRP.2415105006

Dosen Pembimbing
Dr. Imam Abadi, ST. MT.

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

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TF141581

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

LUFU IZZATI AINI
NRP.2415105006

Supervisors
Dr. Imam Abadi, ST. MT.

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

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Lufi Izzati Aini

NRP : 2415105006

Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS

dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul “PERANCANGAN *MOBILE ACTIVE TWO AXIS SOLAR TRACKER* PADA *PHOTOVOLTAIC* MENGGUNAKAN KENDALI LOGIKA FUZZY-PI” adalah bebas plagiasi. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, Juli 2017

Yang membuat pernyataan,

Lufi Izzati Aini

Halaman ini sengaja dikosongkan

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

TUGAS AKHIR

Oleh:
Lufi Izzati Aini
NRP : 2415 105 006

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. 19780901 200312 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

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



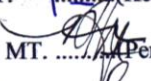

TUGAS AKHIR

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 :

Lufi Izzati Aini
NRP. 2415105006

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Imam Abadi, ST., MT.  (Pembimbing 1)
2. Prof. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, MT.  (Ketua Tim Penguji)
3. Dr. -Ing. Doty Dewi Risanti, ST., MT.  (Penguji 1)
4. Ir. Tutug Dhanardono, MT.  (Penguji 2)

SURABAYA
Juli, 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan

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

Nama Mahasiswa : Lufi Izzati Aini
NRP : 2415105006
Program Studi : S1 Teknik Fisika
Dosen Pembimbing : Dr. Imam Abadi, ST. MT.

Abstrak

Sistem penjejak matahari merupakan salah satu solusi yang ditawarkan untuk pemanfaatan surya secara optimal. Sistem penjejak matahari atau biasa disebut dengan *solar tracker* merupakan suatu sistem yang terdiri dari sensor, logika kontrol, motor DC dan panel surya. Posisi *photovoltaic* diatur sedemikian rupa dengan menggunakan sistem kontrol agar posisi PV tersebut selalu berada tegak lurus terhadap matahari sehingga menghasilkan daya keluaran yang optimal. Sistem penjejak matahari aktif menggunakan sebuah sensor LDR untuk menangkap kuat pencahayaan matahari yang akan diterima oleh photovoltaik. 4 buah sensor LDR digunakan untuk mewakili posisi matahari yaitu utara, selatan, barat dan timur. *Photovoltaic* bergerak pada dua sudut yaitu *yaw* dan *pitch*. Penelitian ini menerapkan logika fuzzy untuk menala nilai K_p dan K_i yang akan digunakan dalam sistem sehingga sistem panel surya lebih efektif dan responsif terhadap perubahan posisi sinar matahari. Variasi jumlah keanggotaan yang dirancang akan menghasilkan respon yang berbeda, sehingga dari perancangan yang dibuat didapatkan hasil respon terbaik dengan menggunakan 5 jumlah keanggotaan. Sistem kontrol logika fuzzy PI yang dirancang pada *mobile active solar tracker* dapat diterapkan dan menghasilkan peningkatan efisiensi energi sebesar 39.37 %.

Kata kunci : *Active Solar Tracker, Fuzzy PI, Solar Tracker*

Halaman ini sengaja dikosongkan

DESIGN OF MOBILE ACTIVE TWO AXIS SOLAR TRACKER ON PHOTOVOLTAIC USING FUZZY-PI METHOD

Name : Lufi Izzati Aini
NRP : 2415105006
Study Program : S1 Teknik Fisika
Supervisor : Dr. Imam Abadi, ST. MT.

Abstract

Sun tracking system is one solution offered for optimal solar utilization. Sun tracking system or commonly called a solar tracker is a system consisting of sensors, control logic, DC motor and surya panels.. The position of photovoltaic is arranged in such a way by using a control system so that the PV position is always perpendicular to the sun so that it produces an optimal output power. The active sun tracking system uses an LDR sensor to capture the powerful solar lighting to be received by photovoltaics. 4 pieces of LDR sensor are used to represent the position of the sun that is north, south, west and east. Photovoltaic moves on two corners: yaw and pitch. This research applies fuzzy logic to tune the value of Kp and Ki which will be used in system so that solar panel system more effective and responsive to change of sun position position. The variation of the number of designed members will result in different repson, so that from the design made the best response result by using 5 membership amount. PI fuzzy logic control system designed on mobile active solar tracker can be applied and produce energy efficiency improvement 39.37%.

Keywords : Solar Tracker, Active Solar Tracker, Fuzzy PI

Halaman ini sengaja dikosongkan

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. Bapak 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. Bapak 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. Rekan-rekan seperjuangan LJ (ervina, firsan, dikky, okky, jessi, nadia, firda, muiz, citra, dian, fia, rahajeng, aulia, khalil, ade, fabio, rima) yang senantiasa memberikan motivasi dan perhatian.
6. Rekan seperjuangan tim *solar tracker* nadia, faisal, aulia, fendy, ilham, naufal, umam, isnan yang senantiasa membagi ilmu dan pengalamannya.
7. Riyo hussain yang senantiasa memberikan motivasi dan perhatiannya.
8. Teman-teman Laboratorium Pengukuran Fisis “Fisis Ceria” 2013,2014 dan 2015 yang senantiasa memberikan motivasi dan perhatian.
9. Teman-teman seperjuangan TA yang telah memotivasi dan memberikan bantuan-bantuan dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa mungkin masih ada kekurangan dalam laporan ini, sehingga kritik dan saran penulis terima. Semoga laporan ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penulis dan pihak yang membacanya.

Surabaya, 2017

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	v
ABSTRAK	xi
<i>ABSTRACT</i>	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Tugas Akhir	3
BAB II	5
DASAR TEORI	5
2.1 Panel Surya	5
2.2 <i>Solar Tracker</i>	6
2.3 <i>Light Dependent Resistor (LDR)</i>	7
2.4 Motor DC	8
2.5 <i>Fuzzy Logic Controller</i>	11
2.6 Kontrol PI (<i>Proportional Integral</i>)	13
BAB III	17
METODE PENELITIAN	17
3.1 Diagram Alir	17
3.2 Rancangan Penelitian	18
BAB IV	49
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	49
4.1 Uji <i>Setpoint</i>	49
4.1.1 Uji <i>Setpoint</i> Sudut <i>Yaw</i> 30 ⁰ , 45 ⁰ dan 60 ⁰	51
4.1.2 Uji <i>Setpoint</i> Sudut <i>Pitch</i> 10 ⁰ , 15 ⁰ dan 30 ⁰	63
4.1.3 Uji <i>Tracking Setpoint</i> Sudut <i>Yaw</i> dan <i>Pitch</i>	75
4.2 Uji Performansi Keluaran PV	80
BAB V	85

KESIMPULAN DAN SARAN	85
5.1 Kesimpulan.....	85
5.2 Saran.....	86
DAFTAR PUSTAKA.....	87
LAMPIRAN	89
A. Lampiran Data Parameter Motor DC	
B. Data Pengambilan Nilai Tegangan dan Resistansi Sensor LDR	
C. Data <i>Photovoltaic</i>	
D. Data untuk simulasi uji performansi keluaran PV	
E. Data hasil simulasi uji performansi keluaran PV	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Prinsip Kerja Sel Surya (Mairizwan & Hendro, 2015)	6
Gambar 2. 2 Solar Tracker dua sumbu (Jain & Cheema, 2012) ..	7
Gambar 2. 3 Letak 4 Buah LDR dan Fungsi Deteksi pada Sistem Panel Surya (Zhao, Chongyang, & Hao , 2014).....	8
Gambar 2. 4 Model motor DC (Manafeddin, 2010)	9
Gambar 2. 5 Simulink model motor DC	11
Gambar 2. 6 Sistematika fuzzy logic controller (Balabel, M, & A, 2013).....	12
Gambar 2. 7 Blok aksi kontrol PI (Wahyudi, Setiawan, & Tigor, 2008).....	14
Gambar 2. 8 Respon kontrol PI (Wahyudi, Setiawan, & Tigor, 2008).....	15
Gambar 3. 1 Diagram alir pengerjaan penelitian	17
Gambar 3. 2 Lanjutan	18
Gambar 3. 3 Pengambilan data resistansi dan tegangan sensor LDR	20
Gambar 3. 4 Grafik perbandingan antara kuat pencahayaan matahari (lux) dengan tegangan (volt).....	20
Gambar 3. 5 Grafik kuat pencahayaan cahaya matahari (lux) dengan resistansi (ohm).....	21
Gambar 3. 6 Pengambilan Data Motor DC.....	23
Gambar 3. 7 Lintasan yang dilalui mobile active solar tracker..	24
Gambar 3. 8 Kuat pencahayaan efektif pada sistem panel surya (Al-Naima, Ali, & J, 2013).....	25
Gambar 3. 9 Simulink model sensor LDR barat – timur	26
Gambar 3. 10 Simulink model sensor LDR selatan – utara.....	27
Gambar 3. 11 Simulink model motor DC	28
Gambar 3. 12 Perhitungan beban torsi (Understanding D.C. Motor Characteristics, 2010)	29
Gambar 3. 13 Rangkaian ekuivalen PV	30
Gambar 3. 14 Set up pengukuran PV.....	32
Gambar 3. 15 Simulink PV.....	33

Gambar 3. 16 Nilai tegangan keluaran LDR simulasi dan data hasil pengukuran.....	34
Gambar 3. 17 Grafik hasil simulasi dan data hasil pengukuran motor DC.....	35
Gambar 3. 18 Hasil simulasi dan data hasil pengukuran tegangan pada PV	36
Gambar 3. 19 Hasil simulasi dan data hasil pengukuran arus pada PV	36
Gambar 3. 20 Diagram blok pengendalian dengan fuzzy pi	38
Gambar 3. 21 Model fuzzy PI controllers.....	39
Gambar 3. 22 Fungsi keanggotaan fuzzy masukan error dan delta error sudut yaw (a) 3 mf error (b) 3 mf deltaerror (c) 5 mf error (d) 5 mf deltaerror.....	40
Gambar 3. 23 Fungsi keanggotaan fuzzy masukan error dan delta error sudut pitch (a) 3 mf error (b) 3 mf deltaerror (c) 5 mf error (d) 5 mf deltaerror	42
Gambar 3. 24 Defuzzifikasi Kp dan Ki 3 MF sudut yaw	43
Gambar 3. 25 Defuzzifikasi Kp dan Ki 5MF sudut yaw	44
Gambar 3. 26 Defuzzifikasi Kp dan Ki 3 MF sudut pitch	45
Gambar 3. 27 Defuzzifikasi Kp dan Ki 5 MF sudut pitch	46
Gambar 4. 1 Simulink Uji Setpoint.....	50
Gambar 4. 2 Respon sudut yaw dengan setpoint 30 ⁰ (a) dengan beban torsi 3.9 (b) tanpa beban torsi	52
Gambar 4. 3 Respon sudut yaw dengan setpoint 45 ⁰ (a) dengan beban torsi 3.9 (b) tanpa beban torsi	53
Gambar 4. 4 Respon sudut yaw dengan setpoint 60 ⁰ (a) dengan beban torsi 3.9 (b) tanpa beban torsi	55
Gambar 4. 5 Respon tegangan pada sudut yaw 30 ⁰ (a) dengan beban torsi 3.9 (b) tanpa beban torsi	58
Gambar 4. 6 Respon tegangan LDR pada sudut yaw 45 ⁰ (a) dengan beban torsi 3.9 (b) tanpa beban torsi	60
Gambar 4. 7 respon tegangan LDR pada sudut yaw 60 ⁰ (a) dengan beban torsi 3.9 (b) tanpa beban torsi	61
Gambar 4. 8 Respon sudut pitch dengan setpoint 10 ⁰ (a) dengan beban torsi 3.11 (b) tanpa beban torsi	65

Gambar 4. 9 Respon sudut pitch dengan setpoint 15^0 (a) dengan beban torsi 3.11 (b) tanpa beban torsi.....	66
Gambar 4. 10 Respon sudut pitch dengan setpoint 30^0 (a) dengan beban torsi 3.11 (b) tanpa beban torsi.....	67
Gambar 4. 11 Respon tegangan LDR pada sudut pitch 10^0 (a) dengan beban torsi 3.11 (b) tanpa beban torsi	70
Gambar 4. 12 Respon tegangan LDR pada sudut pitch 15^0 (a) dengan beban torsi 3.11 (b) tanpa beban torsi	72
Gambar 4. 13 Respon tegangan LDR pada sudut pitch 30^0 (a) dengan beban torsi 3.11 (b) tanpa beban torsi	73
Gambar 4. 14 Respon tracking setpoint sudut yaw naik (a) dengan beban torsi 3.9 (b) tanpa beban torsi.....	77
Gambar 4. 15 Respon tracking setpoint sudut yaw turun (a) dengan beban torsi 3.9 (b) tanpa beban torsi	78
Gambar 4. 16 Respon tracking setpoint sudut pitch naik (a) dengan beban torsi 3.11 (b) tanpa beban torsi.....	79
Gambar 4. 17 Respon tracking setpoint sudut pitch turun (a) dengan beban torsi 3.11 (b) tanpa beban torsi	80
Gambar 4. 18 Simulink MATLAB uji perfomansi keluaran pv	81
Gambar 4. 19 Tegangan yang dihasilkan oleh mobile active solar tracker	82
Gambar 4. 20 Arus yang dihasilkan oleh mobile active solar tracker	82
Gambar 4. 21 Daya Kelauran PV yang dihasilkan oleh mobile active solar tracker.....	83

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kelebihan dan Kekurangan pada sistem Kontrol PI..	14
Tabel 3. 1 Parameter - parameter motor DC yaw dan pitch	24
Tabel 3. 2 Spesifikasi panel surya	31
Tabel 3. 3 Rule Base 3 MF	47
Tabel 3. 4 Rule Base 5 MF	47
Tabel 4. 1 Perbandingan indeks performansi kontrol fuzzy PI 3 MF dan 5 MF sudut yaw dengan beban torsi 3.9	56
Tabel 4. 2 Perbandingan indeks performansi kontrol fuzzy PI 3 MF dan 5 MF sudut yaw tanpa beban torsi	56
Tabel 4. 3 Perbandingan indeks performansi tegangan keluaran LDR utara dan selatan dengan beban torsi 3.9	62
Tabel 4. 4 Perbandingan indeks performansi tegangan keluaran LDR utara dan selatan tanpa beban torsi	63
Tabel 4. 5 Perbandingan indeks performansi sudut pitch 3 MF dan 5 MF dengan beban torsi sebesar 3.11	68
Tabel 4. 6 Perbandingan indeks performansi sudut pitch 3 MF dan 5 MF tanpa beban torsi	68
Tabel 4. 7 Perbandingan indeks performansi tegangan keluaran ldr barat dan timur dengan beban torsi 3.11	74
Tabel 4. 8 Perbandingan indeks performansi tegangan keluaran LDR barat dan timur tanpa beban torsi	74

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi surya adalah salah satu bentuk pemanfaatan yang tengah dikembangkan diantara energi baru terbarukan lainnya yang telah lama digunakan di dunia. Ketersediaan energi surya yang melimpah dan tidak terbatas serta dapat digunakan secara kontinyu membuat energi surya menjadi potensi energi yang sangat bagus untuk menjadi energi alternatif di Indonesia. *Solar cell* adalah alat yang dapat mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik. Teknologi surya dikategorikan secara umum menjadi teknologi pasif dan teknologi aktif, tergantung pada cara penyerapan, konversi, dan penyaluran cahaya matahari (Nelson, 2003).

Pemanfaatan energi surya terkendala oleh terbatasnya jumlah penerimaan cahaya matahari yang diterima *photovoltaic*. Faktor seperti cuaca dan lama PV terpapar sinar matahari menjadi penyebab kelemahan dari pemanfaatan sel surya. Kuat pencahayaan radiasi cahaya matahari yang diterima luasan panel surya sebanding dengan daya listrik yang dihasilkan (Kurnia, 2013). Keterbatasan pemanfaatan energi surya diatas menjadikan sebuah sistem yang dapat dijadikan sebagai sebuah solusi yaitu sebuah metode sistem pelacakan surya (*solar tracker*). *Solar tracker* adalah gabungan suatu sistem yang mampu mendeteksi dan mengikuti arah matahari agar selalu pada posisi tegak, tujuannya yaitu untuk mengoptimalkan daya keluaran dari *photovoltaic*.

Sistem *tracking* matahari diklasifikasikan berdasarkan jumlah sumbu rotasinya yaitu gerakan angular untuk merubah sumbu azimuth dan sudut kemiringan dengan terdiri dari dua tipe, yaitu satu sumbu dan dua sumbu. Satu sumbu hanya merubah salah satu posisi sumbu dari *photovoltaic* sedangkan dua sumbu merubah kedua sumbu pada *photovoltaic*. Selain itu, *solar tracking* terdiri dari dua jenis yaitu aktif dan pasif. Perbedaan keduanya yaitu terdapat pada penggunaannya, aktif digunakan ketika cuaca cerah sehingga pada tipe aktif ini, menggunakan sensor LDR pada *photovoltaic* yang digunakan untuk menangkap radiasi matahari,

selain itu sistem penjejak matahari aktif menggunakan sistem lup tertutup dan menggunakan sensor elektronik untuk mendeteksi posisi matahari. *Solar tracking* pasif digunakan ketika kondisi matahari tidak cerah dimana pasif menggunakan pergerakan posisi matahari.

Penelitian ini merujuk pada beberapa penelitian sebelumnya diantaranya *solar tracker system*. Tahun 2015 penelitian mengenai “*Design and implementation of active two axis solar tracking system using particle swarm optimization based fuzzy logic controller*” (dilakukan oleh Imam Abadi). Penelitian tersebut menggunakan mekanisme kontrol fuzzy – PSO untuk memperbaiki tingkat akurasi penjejukan. Pengembangan yang dilakukan dengan melakukan modifikasi model fungsi keanggotaan fuzzy melalui penentuan batas-batas fungsi keanggotaan masukan fuzzy yang diperbarui berdasarkan fungsi objektif (Abadi, Musyafa, & Soeprijanto, 2015). Penelitian ini memiliki kelemahan yaitu terbatas penggunaannya untuk media yang tidak bergerak padahal efisiensi yang dihasilkan besar.

Penelitian lain adalah dikembangkannya suatu sistem sistem *tracking mobile based* dimana sistem ini landasannya akan bergerak. Penelitian yang telah ada yaitu mengenai *mobile solar tracker* pada kapal besar menggunakan pengendalian ANFIS oleh B. Setiawan. Penelitian ini merupakan penelitian *solar tracker* pada sebuah kapal besar yang bergerak sesuai dengan lintasannya sehingga pergerakan *solar tracker* pada kapal tersebut sesuai dengan lintasannya yang disebut sebagai *mobile based* (Setiawan, Purnomo, & Ashari, 2009).

Oleh karena itu pada penelitian ini dikembangkan sebuah sistem panel surya menggunakan logika fuzzy yang dipadukan dengan kontrol PI. Logika fuzzy digunakan untuk menala nilai K_p dan K_i yang akan digunakan pada sistem *mobile active solar tracker*. Kinerja sistem menggunakan *fuzzy logic control* yang digunakan untuk menala nilai PI diharapkan dapat menghasilkan sistem panel surya yang lebih efektif dan responsif terhadap perubahan posisi sinar matahari.

1.2 Permasalahan

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

- a. Bagaimana menentukan parameter-parameter *mobile active solar tracker* dua sumbu?
- b. Apakah kontrol Fuzzy PI dapat diimplementasikan pada *mobile active solar tracker* dua sumbu?
- c. Apakah kontrol Fuzzy PI pada *mobile active solar tracker* dapat meningkatkan efisiensi energi yang dihasilkan oleh PV?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah :

- a. Variabel yang dikendalikan yaitu sudut *pitch* dan *yaw*
- b. Metode Kontrol yang digunakan yaitu Fuzzy-PI
- c. Model sensor yang digunakan adalah LDR dengan komposisi 2 LDR untuk sudut *pitch* dan 2 LDR untuk sudut *yaw*
- d. Menggunakan 2 kontrol Fuzzy PI untuk mengendalikan posisi *pitch* dan *yaw*
- e. Model PV didekati dengan metode analitik *single diode*
- f. Aktuator yang digunakan yaitu motor DC
- g. Penelitian ini dilakukan hanya sampai tahapan simulasi dengan menggunakan *software* MATLAB dan belum sampai tahapan pembuatan *prototype*

1.4 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah :

- a. Menentukan parameter *mobile active solar tracker* dua sumbu
- b. Mengimplementasikan kontrol Fuzzy PI pada *mobile active solar tracker* dua sumbu
- c. Mengetahui performansi kontrol Fuzzy PI dalam peningkatan efisiensi energi yang dihasilkan PV pada sistem *mobile active solar tracker*

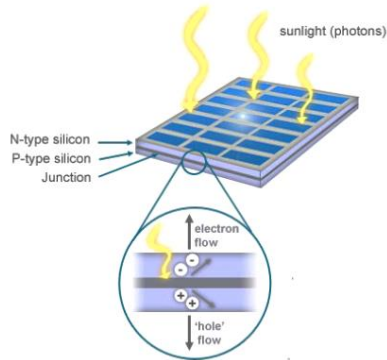
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II DASAR TEORI

Penelitian mengenai sistem penjejak matahari telah banyak dikembangkan baik dari segi mekanisme penjejakan, sumbu rotasi maupun sistem kontrol yang digunakan. Penelitian ini merujuk pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Imam Abadi (Abadi, Musyafa, & Soeprijanto, 2015). Penelitian tersebut menggunakan sistem kontrol PSO berbasis logika fuzzy dengan mekanisme penjejakan aktif dan 2 sumbu rotasi atau putar. Penelitian tersebut terbatas hanya untuk sistem yang tidak bergerak, padahal dengan nilai efisiensi energi yang dicapai besar seharusnya dapat dikembangkan dan dimanfaatkan untuk sebuah sistem yang bergerak misalnya mobil surya. Sistem penjejak matahari yang dikembangkan pada penelitian ini menggunakan sistem penjejakan aktif dan dua sumbu rotasi serta menerapkan sistem bergerak atau *mobile*, oleh karena itu beberapa kajian pustaka yang mendukung penelitian dibahas pada bab ini.

2.1 Panel Surya

Panel surya atau biasa dikenal dengan sebutan *photovoltaic* adalah sebuah modul yang terdiri dari beberapa susunan sel surya. Sel surya adalah alat yang mengubah energi cahaya menjadi listrik. Sel surya pada umumnya merupakan sebuah hamparan semi konduktor yang dapat menyerap foton dari sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik. Panjang gelombang yang dipancarkan sinar matahari berkisar 250 nm sampai dengan 2500 nm, dengan panjang gelombang tersebut sel surya memiliki *absorber* yang mampu menyerap sebanyak mungkin radiasi matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik. Gambar 2.1 menunjukkan proses penyerapan cahaya matahari oleh sel surya.



Gambar 2. 1 Prinsip kerja sel surya (Mairizwan & Hendro, 2015)

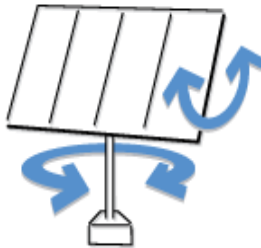
Sel surya terdiri dari dua sambungan antara dua lapisan yang terbuat dari bahan semikonduktor yaitu semikonduktor positif “P” dan semikonduktor jenis negatif “N”. Foton mengenai permukaan sel surya kemudian sinar matahari akan dipantulkan dan dilewatkan, dimana elektron dibebaskan dari ikatannya oleh foton dengan tingkatan energi tertentu. Pergerakan elektron tersebut menghasilkan arus listrik yang mengalir. Besarnya energi matahari yang diterima oleh sel surya (Mairizwan & Hendro, 2015).

2.2 *Solar Tracker*

Solar tracker atau pelacak matahari merupakan suatu gabungan sistem yang terdiri dari beberapa komponen penyusun seperti sensor, aktuator, logika kontrol dan PV. *Solar tracker* dirancang agar mampu mendeteksi dan mengikuti arah matahari sehingga posisi PV selalu tegak lurus dengan matahari. Posisi PV yang selalu tegak lurus dengan matahari akan meningkatkan daya keluaran dari PV. Sistem pelacak matahari terdiri dari beberapa jenis dan dapat diklasifikasikan menurut jumlah sumbu rotasi. Sistem pelacak matahari menurut jumlah sumbu rotasi yaitu satu sumbu rotasi atau sumbu tunggal dan dua sumbu rotasi (Jain & Cheema, 2012).

Sistem pelacakan sumbu tunggal yang ditunjukkan pada pergerakan sudut elevasi atau azimut, dimana salah satu gerakan

yang diinginkan tergantung pada teknologi yang digunakan pada sistem *solar tracker*. Pelacak sumbu ganda yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 memiliki dua derajat kebebasan yang bertindak sebagai sumbu rotasi. Pelacak sinar matahari sumbu ganda dapat diputar secara bersamaan pada arah horisontal dan vertikal.



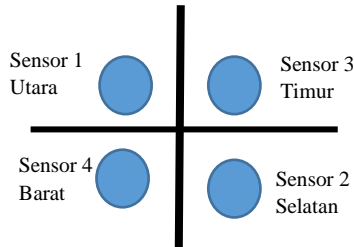
Gambar 2. 2 *Solar Tracker* dua sumbu (Jain & Cheema, 2012)

Sistem pelacak matahari juga dapat dibedakan berdasarkan mekanisme pelacakan matahari yaitu pasif dan aktif. Sistem pelacak matahari pasif dalam proses penjejakannya tidak melakukan pengukuran langsung terhadap besaran fisis dari objek yaitu matahari melainkan menggunakan perhitungan astronomi yaitu berupa data posisi matahari. Sistem pelacak matahari aktif menggunakan sebuah sensor untuk mengukur besaran fisis dari objek yaitu matahari.

2.3 Light Dependent Resistor (LDR)

Sensor LDR adalah sebuah jenis resistor yang mengalami perubahan nilai resistansi sesuai dengan besar intensitas cahaya yang diterimanya. Cahaya yang gelap menyebabkan nilai tahanan dari LDR semakin besar, sedangkan dalam kondisi cahaya terang nilai tahanannya menjadi semakin kecil. LDR terdiri dari sebuah cakram semikonduktor yang mempunyai dua buah elektroda pada permukaannya, pada saat kondisi gelap nilai bahan dari cakram tersebut menghasilkan elektron bebas dengan jumlah yang relatif kecil sehingga hanya ada sedikit elektron mengangkut muatan elektron. Sistem *mobile active solar tracker* menggunakan sensor

yaitu LDR (*Light Dependent Resistor*). LDR (*Light Dependent Resistor*) adalah jenis resistor yang biasa digunakan sebagai detektor cahaya. Sistem *mobile active solar tracker* ini menggunakan 4 buah LDR untuk mendeteksi pergerakan matahari utara, timur, barat, dan selatan.

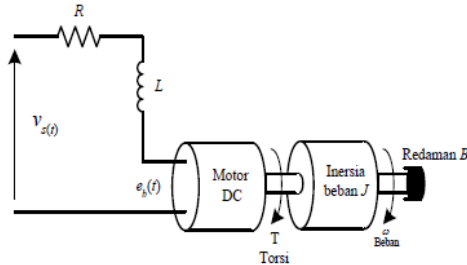


Gambar 2. 3 Letak 4 Buah LDR dan Fungsi Deteksi pada Sistem Panel Surya (Zhao, Chongyang, & Hao , 2014)

2.4 Motor DC

Motor DC merupakan salah satu komponen yang digunakan pada *solar tracker system*. Motor berfungsi sebagai penggerak panel surya pada satu sumbu maupun dua sumbu. Motor DC mempunyai kelebihan yaitu rpm yang besar, torsi cukup besar (tergantung tipe), aplikasi daya rendah dan performansi yang linier. (Balabel, M, & A, 2013)

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



Gambar 2. 4 Model motor DC (Manafeddin, 2010)

Menurut hukum Tegangan Kirchoff (Manafeddin, 2010):

$$V(t) = R_a \cdot I_a(t) + L_a \cdot \frac{dI_a(t)}{dt} + E_m(t) \quad (2.1)$$

Dimana V adalah tegangan yang diaplikasikan ke motor:

$$E_b(t) = K_b \cdot \omega(t) \quad (2.2)$$

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

$$T_m(t) = J \frac{d\omega(t)}{dt} + B_m \cdot \omega(t) \quad (2.3)$$

Dimana T_m adalah torsi motor:

$$T(t) = K_t \cdot I_a(t) \quad (2.4)$$

Dimana :

V_a = Tegangan Armatur (V)

R_a = Resistansi Armatur (R)

L_a = Induktansi Armatur (H)

I_a = Arus Armatur (A)

E_b = *Back EMF* (V)

ω = Kecepatan Angular (rad/s)

T_m = Torsi Motor (Nm)

θ = Posisi Angular *Shaft* Rotor (rad)

J_m = Inersia Motor (Nm.s²)

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

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

Persamaan (2.1) dan (2.3) menggambarkan perilaku dinamis dari motor. Persamaan (2.1), (2.2), (2.3) dan (2.4) dapat diatur kembali yaitu pada persamaan (2.5) dan (2.6) untuk pembuatan blok diagram.

$$V_a(t) = R_a \cdot I_a(t) + L_a \frac{dI_a(t)}{dt} + K_b \cdot \omega(t) \quad (2.5)$$

$$K_t \cdot I_a(t) = J_m \frac{d\omega(t)}{dt} + B_m \cdot \omega(t) \quad (2.6)$$

Transformasi *Laplace* dari persamaan (2.5) dan (2.6) yaitu:

$$V_a(s) = R_a \cdot I_a(s) + L_a \cdot I_a(s)S + K_b \cdot \omega(s) \quad (2.7)$$

$$K_t \cdot I_a(s) = J_m \cdot \omega(s)S + B_m \cdot \omega(s) \quad (2.8)$$

Jika arus didapatkan dari persamaan (2.8) dan disubstitusikan ke persamaan (2.7) maka:

$$V_a(s) = \omega(s) \cdot \frac{1}{K_t} \cdot [L_a \cdot J_m \cdot S^2 + (R_a \cdot J_m + L_a \cdot B_m)S + (R_a \cdot B_m + K_b \cdot K_t)] \quad (2.9)$$

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

$$\frac{\omega(s)}{V_a(s)} = \frac{K_t}{[L_a \cdot J_m \cdot S^2 + (R_a \cdot J_m + L_a \cdot B_m)S + (R_a \cdot B_m + K_b \cdot K_t)]} \quad (2.10)$$

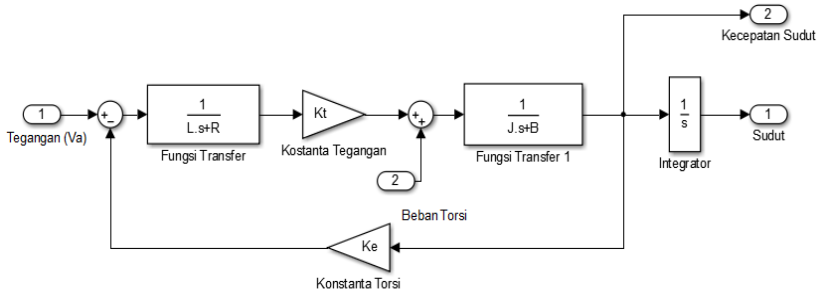
Hubungan antara posisi dan kecepatan yaitu:

$$\theta(s) = \frac{1}{s} \omega(s) \quad (2.11)$$

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

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

Berdasarkan persamaan (2.10) dapat digambarkan ke dalam model Matlab/Simulink untuk Motor DC yaitu:

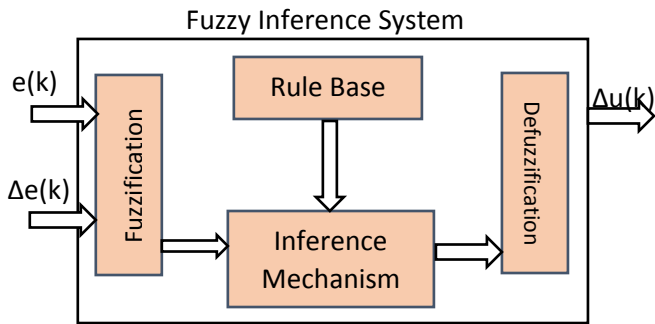


Gambar 2. 5 Simulink model motor DC

Gambar 2.5 merupakan gambar simulink model motor DC yang akan digunakan pada simulasi sistem. Masukan terdiri dari 2 yaitu tegangan (V_a) dan beban torsi. 2 fungsi transfer dimana pada fungsi transfer pertama yaitu fungsi transfer resistansi dan induktansi motor DC, fungsi transfer kedua yaitu inersia motor dan *viscous friction coefficient*. Nilai konstanta tegangan (K_e) dan konstanta torsi (K_t) berfungsi sebagai gain pada motor DC ini, beban torsi merupakan nilai yang mempengaruhi inersia motor. Keluaran terdapat dua yaitu kecepatan sudut dan sudut.

2.5 Fuzzy Logic Controller

Logika *fuzzy* menginterpretasikan statemen yang samar menjadi sebuah pengertian yang logis. Dasar struktur logika *fuzzy* dapat digambarkan yaitu berikut (Balabel, M, & A, 2013).



Gambar 2. 6 Sistematika *fuzzy logic controller* (Balabel, M, & A, 2013)

Fungsi dari bagian-bagian diatas adalah sebagai berikut:

- **Masukan**
Masukkan pada *fuzzy logic* berupa *crisp* (variabel fisis) atau bilangan *real*.
- **Fuzzifikasi**
Himpunan *fuzzy* merupakan suatu pengembangan lebih lanjut tentang konsep himpunan dalam matematika. Himpunan *fuzzy* adalah rentang nilai-nilai. Masing-masing nilai mempunyai derajat keanggotaan (*membership*) antara 0 sampai dengan 1. Kolom fuzzifikasi mengkonversi *crisp* (variabel fisis) menjadi suatu bilangan *fuzzy* (*variable* linguistik) menggunakan operator fuzzifikasi. Bagian fuzzifikasi yang berguna untuk memetakan adalah fungsi keanggotaan (*membership function*) yang terdiri dari beberapa segitiga. Semakin banyak jumlah dari *membership function* yang ditentukan maka akan semakin bagus yang akan diperoleh namun untuk melakukan eksekusi memerlukan waktu yang lama dan data yang lebih banyak (Manafeddin, 2010). Bagian *fuzzifikasi* yang berguna untuk memetakan adalah fungsi keanggotaan (*membership function*) yang terdiri dari berbagai macam bentuk yakni segitiga, *gaussian*, *trapesium*, dan *bell*.

- ***Rule Base dan Fuzzy Inference System***

Berisi aturan-aturan dasar yang mendefinisikan himpunan *fuzzy* atas daerah-daerah masukan dan keluaran serta sebagai acuan sistem. Aturan dasar ini menggunakan persamaan *IF – THEN*. Untuk mendapatkan aturan “*IF-THEN*” ada dua cara utama :

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

Dalam penalaran logika *fuzzy*, ada dua tipe utama untuk pengambilan keputusan *fuzzy* yaitu *Generalized Modus Ponens* (GMP) dan *Generalized Modus Tolens* (GMT). GMP disebut juga dengan *direct reasoning*, sedangkan GMT disebut juga *indirect reasoning*.

- ***Defuzzifikasi***

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

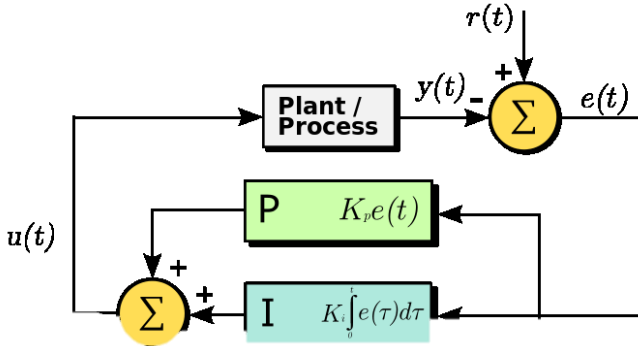
2.6 Kontrol PI (*Proportional Integral*)

Suatu kontrol proporsional yang memberikan aksi kontrol proporsional dengan *error* 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 dapat mengurangi kesalahan keadaan tunak (*offset*) tetapi dapat mengakibatkan respon *transient*. Efek yang diakibatkan oleh masing-masing jenis kontrol tersebut nantinya akan digunakan dalam penentuan nilai-nilai parameter proporsional (K_p) dan integral (K_i) pada Tabel 1 menjelaskan hubungan antara kelebihan dan kekurangan pada sistem kontrol PI.

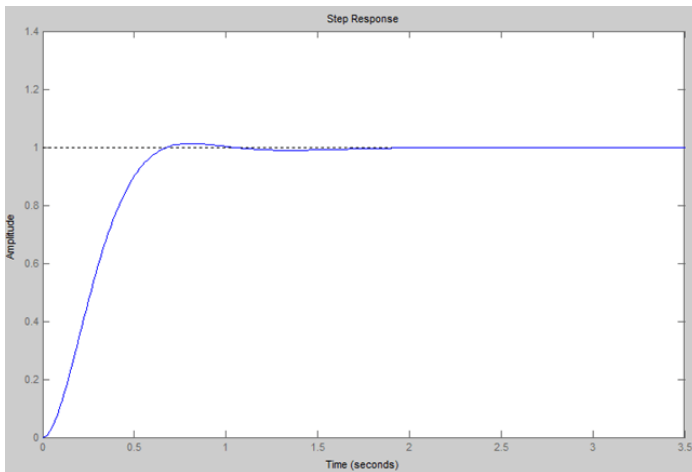
Tabel 2. 1 Kelebihan dan kekurangan pada sistem kontrol PI (Wahyudi, Setiawan, & Tigor, 2008)

Penguatan	Rise Time	Overshoot	Setling Time	Offset
K _p	Menurun	Meningkat	Perubahan Kecil	Terjadi
K _i	Menurun	Meningkat	Meningkat	Menghilangkan

Gabungan aksi kontrol proporsional dan aksi kontrol integral membentuk aksi kontrol proporsional plus integral (*controller PI*). Gabungan aksi ini mempunyai keunggulan dibandingkan masing-masing kontrol yang menyusunnya. Keunggulan utamanya adalah diperolehnya keuntungan dari masing-masing aksi kontrol dan kekurangan dari aksi kontrol yang satu dapat diatasi dengan aksi kontrol yang lain. Elemen-elemen *controller* P dan I secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem dan menghilangkan *offset* (Wahyudi, Setiawan, & Tigor, 2008). Gambar 2.7 adalah blok sistem aksi kontrol PI dan pada Gambar 2.8 yaitu salah satu contoh respon yang dihasilkan oleh PI.



Gambar 2. 7 Blok aksi kontrol PI (Wahyudi, Setiawan, & Tigor, 2008)



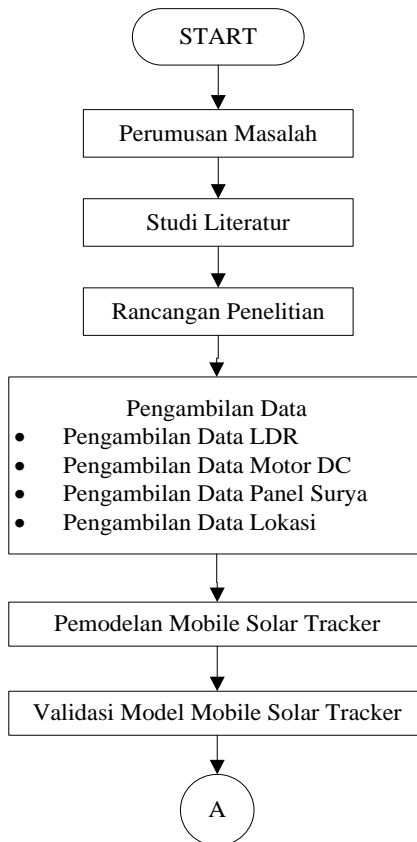
Gambar 2. 8 Respon kontrol PI (*Wahyudi, Setiawan, & Tigor, 2008*)

Halaman ini sengaja dikosongkan

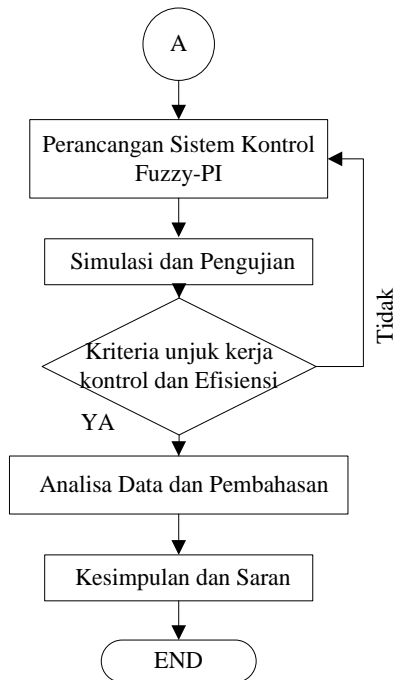
BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Metodologi penelitian yang dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir ini berdasarkan diagram alir pada Gambar 3.1 sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Diagram alir pengerjaan penelitian



Gambar 3. 2 Lanjutan

3.2 Rancangan Penelitian

Sistem *mobile active solar tracker* dirancang menggunakan kontrol fuzzy PI, dimana logika fuzzy digunakan untuk menala nilai k_p dan k_i . *mobile active solar tracker* menggunakan sensor LDR sebagai penerima intensitas cahaya matahari, dimana sensor LDR tersebut berfungsi untuk memanipulasi posisi matahari sesuai dengan intensitas matahari yang diterimanya. 4 buah sensor LDR dalam sistem ini masing-masing LDR saling berpasangan satu sama lain, 2 LDR mewakili posisi barat dan timur dimana posisi tersebut mewakili sudut *yaw* dan 2 LDR mewakili posisi selatan dan utara dimana posisi tersebut mewakili sudut *pitch*. Pasangan LDR tersebut berfungsi sebagai masukan dan berfungsi sebagai *feedback* sistem. Dua motor DC sebagai penggerak PV pada dua

sudut yaitu sudut *pitch* dan sudut *yaw*. Logika fuzzy dirancang sebagai penala nilai Kp dan Ki. Posisi panel akan digerakkan oleh motor DC sesuai dengan sudut nya yaitu *pitch* dan *yaw*, posisi panel diatur sedemikian rupa sehingga selalu menghadap matahari dan harapannya ketika posisi panel surya selalu menghadap matahari maka intensitas yang diterima semakin banyak dan nantinya akan mempengaruhi performansi yang dihasilkan oleh PV itu sendiri.

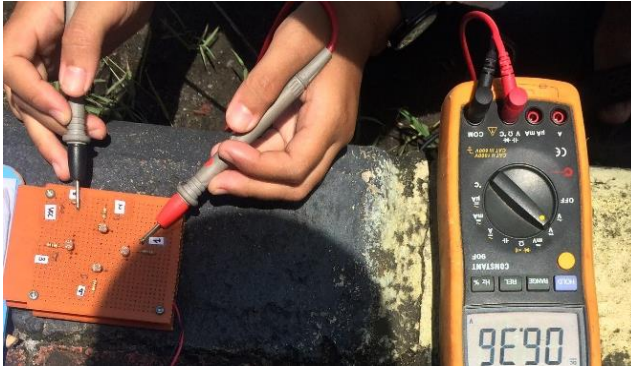
3.2.1 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan untuk keperluan pemodelan *mobile active solar tracker*. Sistem *mobile active solar tracker* memiliki beberapa komponen penyusun diantaranya yaitu sensor LDR, motor DC dan panel surya. Pengambilan data yang dilakukan berfungsi untuk mengetahui parameter-parameter setiap komponen yang digunakan.

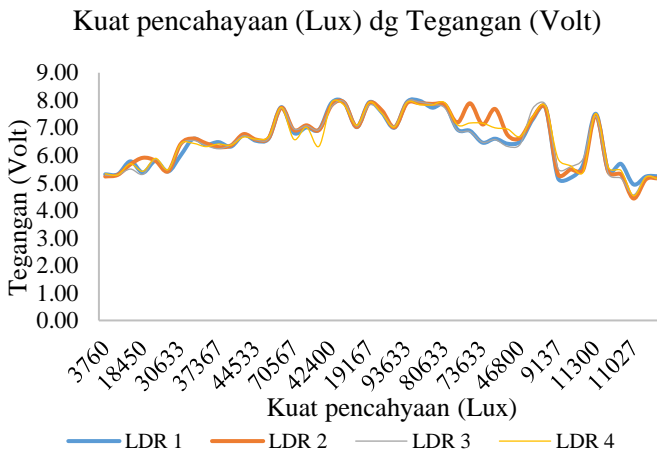
1. Pengambilan Data Tegangan dan Resistansi Sensor LDR

Sensor yang digunakan pada sistem *mobile active solar tracker* yaitu sensor LDR. *Mobile active solar tracker* menggunakan sensor LDR sebanyak 4 buah. Sensor LDR digunakan untuk memanipulasi posisi matahari berdasarkan intensitas cahaya matahari yang diterima masing-masing LDR.

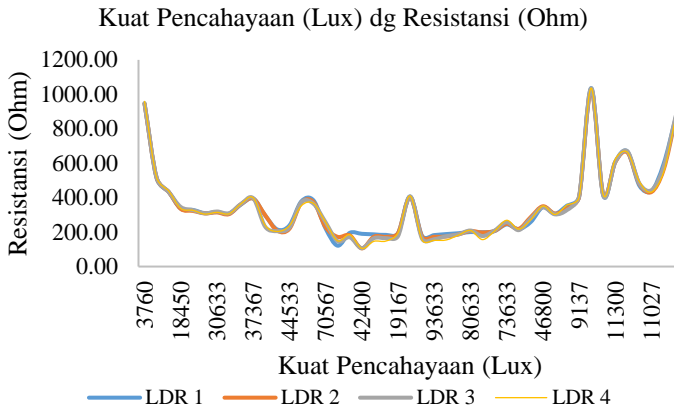
Pengambilan data sensor LDR menggunakan beberapa alat ukur yaitu multimeter, adaptor 5 VDC, *lux meter* dan rangkaian *voltage divider*. Grafik pengambilan data sensor LDR berupa kuat pencahayaan (lux) berbanding dengan resistansi dan kuat pencahayaan (lux) berbanding dengan tegangan.



Gambar 3.3 Pengambilan data resistansi dan tegangan sensor LDR



Gambar 3.4 Grafik perbandingan antara kuat pencahayaan matahari (lux) dengan tegangan (volt)



Gambar 3.5 Grafik kuat pencahayaan cahaya matahari (lux) dengan resistansi (ohm)

Grafik yang terdapat pada Gambar 3.4 dan Gambar 3.5 merupakan grafik kuat pencahayaan berbanding dengan tegangan dan resistansi. Grafik tersebut diperoleh dari data yang telah diambil selama 10 jam terhitung mulai pukul 07.00 sampai dengan 17.00 WIB. Nilai fluktuasi yang ditunjukkan pada Gambar 3.4 maupun 3.5 disebabkan karena perubahan cuaca pada saat pengambilan data, sehingga cahaya matahari yang ditangkap oleh sensor LDR berubah berdasarkan kondisi penyinaran matahari pada saat itu.

2. Pengambilan Data Motor DC

Motor DC yang digunakan berfungsi sebagai penggerak panel surya berdasarkan dua sudut yaitu *pitch* dan *yaw*. Motor yang digunakan yaitu motor DC 12 VDC.

Pengambilan data motor DC digunakan untuk mencari 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 dilakukan secara langsung di laboratorium *power system and machine electric* jurusan teknik elektronika industri Politeknik Elektronika Negeri Surabaya. Alat yang digunakan pada saat pengambilan data yaitu *tachometer*, regulator tegangan, avo meter, rcl meter dan *stopwatch*.

Pengambilan data dilakukan dengan metode *reverse* dimana nilai yang ditentukan yaitu nilai tegangan (*volt*) dengan rentang dari 1-12 Volt, dan kemudian didapatkan nilai rpm dari setiap tegangan yang diperoleh. Data yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung nilai parameter-parameter motor DC yang dibutuhkan dengan menggunakan beberapa persamaan berikut:

- Konstanta Tegangan (Ke)

Pada pengambilan data ini diperlukan Regulator Tegangan sebagai masukan untuk motor DC, dan *tachometer* sebagai alat ukur kecepatan motor. Konstanta tegangan (Ke) digunakan rumus sebagai berikut: (Coorporation, 2013)

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

- Konstanta Torsi (Kt)

Nilai konstanta torsi (Kt) digunakan rumus sebagai berikut: (Coorporation, 2013)

$$Kt \left[\frac{\text{Nm}}{\text{A}} \right] = \frac{Ke}{0.011827} \quad (3.2)$$

- Inersia Motor (Jm)

Pengambilan data ini diperlukan *stopwatch* sebagai pencatat waktu. Nilai inersia motor (Jm) menggunakan rumus sebagai berikut: (Coorporation, 2013)

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

Dimana :

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

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

- Resistansi Motor (R) dan Induktansi Motor (L)
Untuk mendapatkan nilai resistansi motor (R) dan induktansi motor (L) digunakan alat yaitu RCL meter. Pengambilan data dilakukan sebanyak 32 kali untuk setiap R dan L setelah itu dirata-rata (Coorporation, 2013)
- *Viscous Friction Coefficient* (Bm)
Untuk mendapatkan nilai *Viscous Friction Coefficient* (Bm) digunakan rumus sebagai berikut : (Coorporation, 2013)

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

Dimana :

J_m = Inersia Motor (Nm.sec²)
 B = *Viscous Friction Coefficient* (Nm.sec/rad)
 ω = Kecepatan Angular Motor DC (rad/sec)
 T_m = Torsi Motor (N.m)



Gambar 3. 6 Pengambilan Data Motor DC

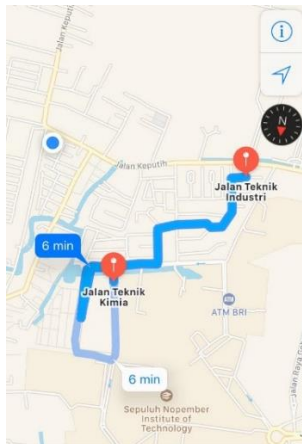
Persamaan 3.1 sampai dengan persamaan 3.6 kemudian diperoleh nilai parameter-parameter motor DC sebagai berikut :

Tabel 3. 1 Parameter - parameter motor DC *yaw* dan *pitch*

Parameter – Parameter Motor DC	Nilai Parameter Motor DC
Ke	14.11 Volt.sec/rad
Kt	14.11 Nm/A
R	8.397344 Ohm
L	0.003724 H
Jm	0.112 Nm.sec ²
Bm	0.1456 Nm.sec/rad

3. Pengambilan Data Lokasi

Data Lokasi yang dimaksud adalah lokasi lintasan yang dilalui sistem *mobile active solar tracker* pada kondisi bergerak. Lintasan yang dilalui yaitu sepanjang 1800 meter atau 1,8 km. Lintasan ini berlokasi di kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, sehingga dengan adanya lintasan ini masukanan pada panel surya yakni bergantung pada posisi yang berubah serta waktu yang berubah.



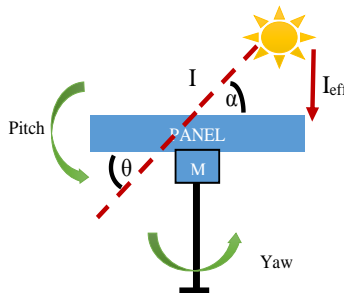
Gambar 3. 7 Lintasan yang dilalui *mobile active solar tracker*

3.2.2 Pemodelan *Mobile Active Solar Tracker*

Pemodelan *mobile active solar tracker* terdiri dari beberapa pemodelan pada setiap komponen penyusunnya, pemodelan masing-masing komponen tersebut diantaranya yaitu:

1. Pemodelan Sensor

Sensor yang digunakan pada sistem *active solar tracker* yaitu LDR (*Light Dependent Resistor*). Posisi sudut *pitch* motor DC berhubungan dengan sudut elevasi (*altitude*) dan nilai kuat pencahayaan LDR selatan, sedangkan sudut *yaw* motor DC berhubungan dengan sudut azimuth dan nilai kuat pencahayaan LDR barat. Nilai keluaran dari masing-masing sudut (*pitch* dan *yaw*) harus sama dengan sudut (elevasi dan *azimuth* matahari). Nilai Keluaran didapatkan dari masukan berupa sudut (elevasi dan *azimuth*) dan kuat pencahayaan LDR selatan dan LDR barat.



Gambar 3. 8 Kuat pencahayaan efektif pada sistem panel surya (Al-Naima, Ali, & J, 2013)

Perhitungan untuk mendapatkan nilai kuat pencahayaan efektif pada sistem panel surya (Al-Naima, Ali, & J, 2013) :

$$\sin \alpha = \frac{I_{\text{eff}}}{I} \quad (3.7)$$

$$I_{\text{eff}} = I \cdot \sin \alpha \quad (3.8)$$

Hubungan antara masukan dan *ouput* LDR dapat dipresentasikan dalam persamaan berikut :

$$\text{Log } R = -\frac{3}{4} \log I + 5 \quad (3.9)$$

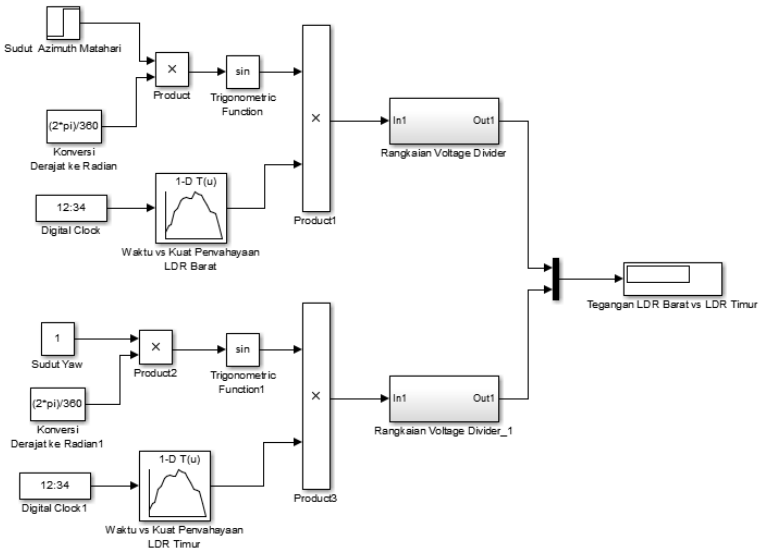
Dimana :

α = Sudut Elevasi

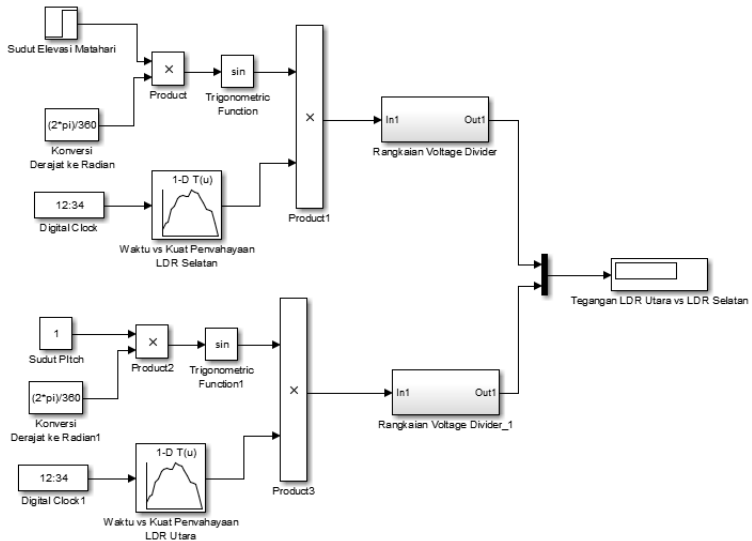
I_{eff} = Kuat Pencahayaan Efeftif

I = Kuat Pencahayaan

Model Matlab/*Simulink* yang didapatkan berdasarkan persamaan diatas untuk sensor LDR pada sistem *active solar tracker* sebagai berikut:



Gambar 3. 9 Simulink model sensor LDR barat – timur



Gambar 3. 10 Simulink model sensor LDR selatan – utara

Gambar 3.9 dan 3.10 merupakan tampilan model sensor LDR yang terdapat di MATLAB. Masukan terdiri dari 2 yaitu sudut azimuth dan sudut *yaw* motor pada model sensor LDR barat-timur, sedangkan untuk model sensor LDR selantan-utara yaitu elevasi dan sudut *pitch* motor. Nilai kuat pencahayaan direpresentasikan dalam bentuk *look up table* dimana data nilai kuat pencahayaan tersebut berisi tentang nilai kuat pencahayaan dan waktu selama 10 jam dimulai pukul 07.00 sampai dengan 17.00 WIB.

2. Pemodelan Motor DC

Motor DC memiliki prinsip kerja secara elektrik dan mekanik. Prinsip kerja motor DC secara elektrik menggunakan Hukum Kirchoff II tentang tegangan sedangkan secara mekanik menggunakan Hukum II Newton tentang rotasi. Pemodelan motor DC dilakukan dengan menggunakan parameter-parameter yang telah didapatkan berdasarkan pengambilan data yang telah dilakukan pada tahapan sebelumnya.

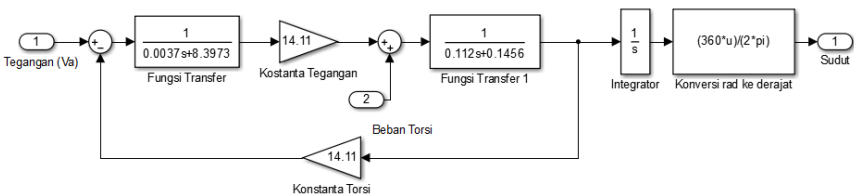
Berdasarkan Hukum Kirchoff II (Tegangan) pada persamaan (2.11), (2.12) dan Hukum II Newton (Rotasi) pada persamaan (2.13),(2.14) dengan Transformasi laplace dari persamaan (2.17) dan (2.18) sebagai berikut : (Manafeddin, 2010)

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

Persamaan (2.8)

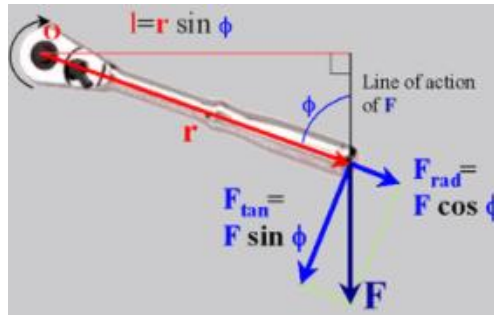
$$\begin{aligned}
 K_t \cdot I_a(s) &= J_m \cdot \omega(s)s + B_m \cdot \omega(s) \\
 \omega(s) &= \frac{K_t \cdot I_a}{J_m s + B_m} \\
 \omega(s) &= K_t \cdot I_a \cdot \frac{1}{J_m s + B_m} \quad (3.8)
 \end{aligned}$$

Model simulink pada MATLAB berdasarkan persamaan (3.7) dan (3.8) untuk motor DC yaitu sebagai berikut:



Gambar 3. 11 Simulink model motor DC

Motor DC yang digunakan pada sistem panel surya mempunyai nilai torsi *load* (TL) yang mempengaruhi kecepatan angular dan posisi dari motor). Berikut ini adalah uraian dari perhitungan torsi beban yang dibutuhkan motor DC untuk melakukan gerak *pitch* (Understanding DC Motor).



Gambar 3. 12 Perhitungan beban torsi (Understanding D.C. Motor Characteristics, 2010)

$$\tau_{\text{total}} = F \tan \times r \quad (3.9)$$

Dimana :

$$\tau = F \sin \theta \quad (3.10)$$

$$\tau = m \cdot g \sin \theta \quad (3.11)$$

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

$$\tau_{\text{total}} = F \sin \theta \times r \quad (3.12)$$

$$= m \times g \times \sin \theta \times r$$

$$= 2,19 \times 9,8 \times \sin 90 \times 0,147 = 3,11 \text{ Nm}$$

Nilai Torsi *load* yang telah didapatkan kemudian digunakan sebagai masukan motor DC. Berikut ini adalah uraian dari perhitungan torsi beban yang dibutuhkan motor DC untuk melakukan gerak *yaw*. (Understanding DC Motor)

$$\tau = F_{\text{sentrifugal}} \times r \quad (3.13)$$

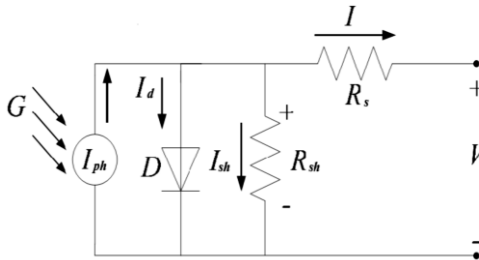
$$\tau = m \frac{\omega^2}{r} \times r \quad (3.14)$$

$$\tau_{\text{total}} = m \omega^2 \quad (3.15)$$

$$= 3,11 \times 1,12 \times 1,12 = 3,9 \text{ Nm}$$

3. Pemodelan PV

Spesifikasi panel surya yang digunakan pada *mobile active solar tracker* terdapat pada tabel 3.2. Hubungan masukan dan keluaran PV dimodelkan berdasarkan rangkaian ekuivalen *single dioda* yaitu pada gambar 3.11, yang terdiri atas 4 komponen yaitu sumber cahaya (*photo current*), resistor seri, dioda dan resistor *shunt*. Masukan terdiri dari 2 variabel yaitu temperatur dan intensitas radiasi matahari sedangkan keluaran adalah tegangan dan arus.



Gambar 3. 13 Rangkaian ekuivalen PV

Rangkaian ekuivalen pada Gambar 3.11, berdasarkan Hukum Kirchoff II tentang arus yaitu arus yang keluar sama dengan arus yang masuk maka keluaran arus dari PV yaitu :

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

Apabila nilai \$I_d\$ dan \$I_{sh}\$ dihitung dengan persamaan

$$I_d = I_0 \left(\exp \frac{V + I.R_{PV}}{V_T} - 1 \right) \quad (3.17)$$

$$I_{sh} = \frac{V + I.R_{PV}}{R_{sh}} \quad (3.18)$$

Maka :

$$I = I_{ph} - I_0 \left(\exp \frac{V + I.R_{PV}}{V_T} - 1 \right) - \frac{V + I.R_{PV}}{R_{sh}} \quad (3.19)$$

Parameter \$I_{ph}\$ atau *photocurrent* dihitung dengan persamaan 3.20 berikut ini :

$$I_{ph} = [I_{scr} + K_i (T - T_r)] \frac{S}{S_r} \quad (3.20)$$

Nilai *photocurrent* dihitung saat keadaan standar dengan nilai temperatur (\$T\$) \$25^{\circ}\text{C}\$ dan radiasi (\$S\$) \$1000 \text{ W/m}^2\$.

Parameter R_s dan R_p dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut ini,

$$R_p = \frac{V(V+IR_s)}{\{V_I - V_{I0} \exp\left[\left(\frac{q}{kT} \frac{V+IR_s}{a n_s}\right)\right] + V_{I0} - P_{max,ex}\}} \quad (3.21)$$

Parameter-parameter yaitu arus hubung pendek (I_{sc}), arus daya maksimum (I_r), tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}), arus rangkaian pendek (I_{sc}), tegangan maksimum (V_{mp}), arus maksimum (I_{mp}) didapatkan dari manufaktur pembuat PV. Spesifikasi panel surya yang digunakan pada *active solar tracker* dapat dilihat dari tabel berikut ini.

Tabel 3. 2 Spesifikasi panel surya

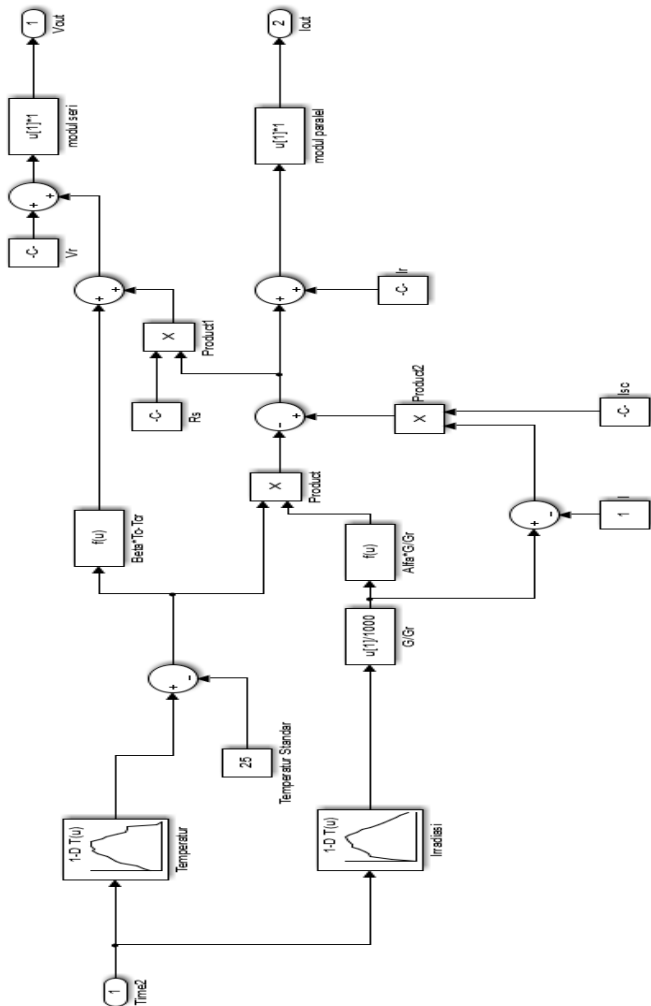
Model	TN-20 M
Maximum Power (Wp)	20 Watt
Open Circuit Voltage (Voc)	21,5 Volt
Short Circuit Current (Isc)	1,25 A
Maximum Power Voltage (Vmp)	17,2 Volt
Maximum Power Current (Imp)	1,16 A
Working Temperature	-40 °C to 85 °c
Tolerance	±5%
Maximum system voltage	1000V DC
Φ_{sc}	0.0005 A/°C
Φ_{oc}	-0.0036 V/°C

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



Gambar 3. 14 Set up pengukuran PV

Gambar 3.14 merupakan dokumentasi pada saat pengambilan data pada PV yang dilakukan dalam waktu satu hari penuh. Pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali, dimana pada pengambilan data pertama terjadi kesalahan mekanisme pengambilan data. Pengambilan data yang benar yaitu ketika masing-masing data pada PV diambil berdasarkan dua titik acuan yaitu *altitude* dan *azimuth*. Data yang diperoleh pada saat pengambilan data terlampir pada bagian lampiran.



Gambar 3. 15 Simulink PV

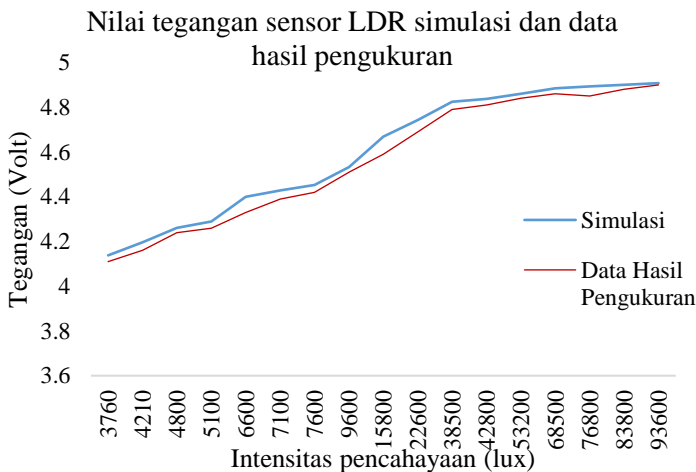
3.2.3 Validasi Pemodelan *Mobile Solar Tracker*

Pemodelan pada tiap-tiap komponen yang telah dilakukan sebelumnya, kemudian dilakukan validasi pada masing-masing komponen. Validasi yang dimaksud pada tahapan ini yaitu,

kegiatan untuk membuktikan bahwa simulasi pemodelan yang dibuat dapat memberikan hasil yang sesuai dengan data hasil pengukuran yang telah dilakukan.

1. Validasi Pemodelan LDR

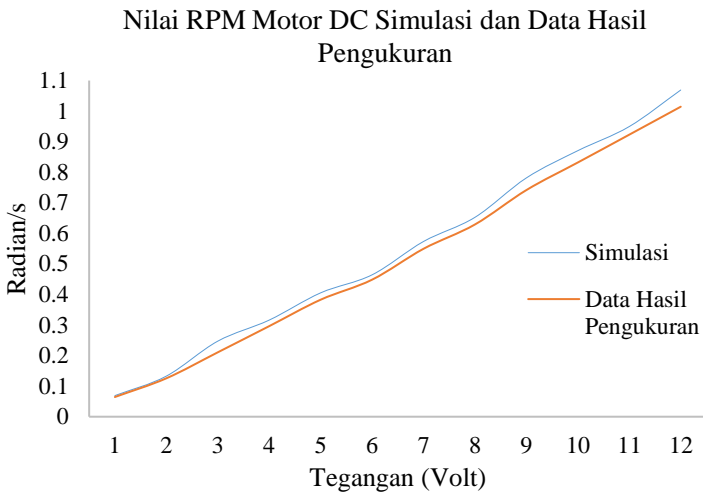
Tahapan ini dilakukan validasi pemodelan motor DC terhadap data hasil pengukuran. Pengambilan data hasil simulasi dan data hasil pengukuran dengan memasukkan intensitas pencahayaan maksimum sebesar 93600 Lux dan tegangan referensi 5 volt. Hasil simulasi hampir mendekati kondisi pengukuran aktualnya dengan selisih maksimum sebesar 0.079.



Gambar 3. 16 Nilai tegangan keluaran LDR simulasi dan data hasil pengukuran

2. Validasi Pemodelan Motor DC

Validasi pemodelan motor DC dilakukan dengan memberikan masukan berupa nilai konstan yang mewakili nilai tegangan dan keluaran berupa nilai rpm. Nilai masukan dan keluaran akan dibandingkan dengan nilai pada data hasil pengukuran parameter-parameter motr DC. Berikut ini adalah grafik perbandingan antara keluaran dari simulasi dan data hasil pengukuran :

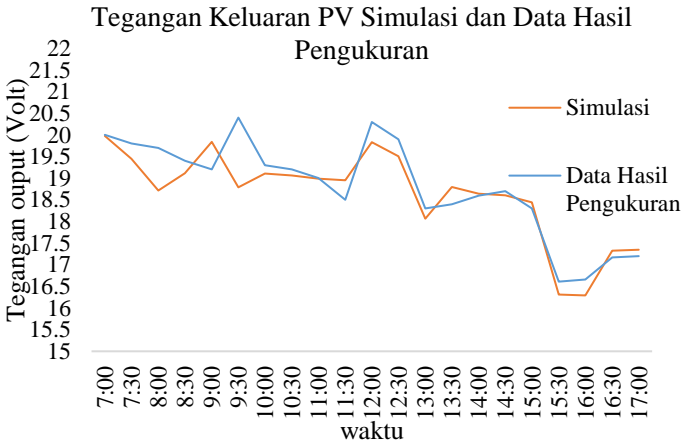


Gambar 3. 17 Grafik hasil simulasi dan data hasil pengukuran motor DC

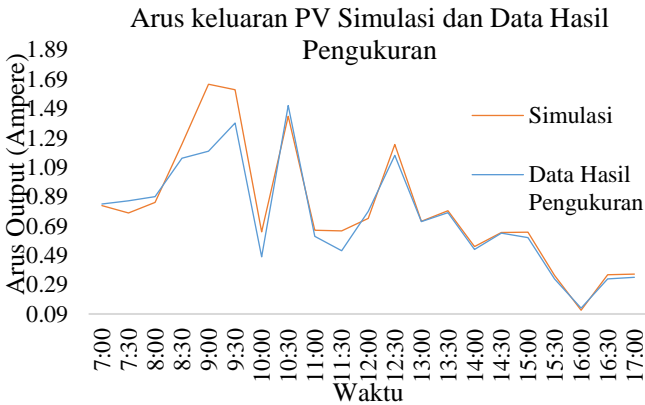
Grafik yang terdapat pada gambar 3.16 diketahui nilai keluaran yang dihasilkan simulasi didapatkan nilai keluaran yang tidak jauh dari nilai data hasil pengukuran. Nilai tersebut memiliki *error* sebesar 0.056, dengan *error* yang didapatkan maka pemodelan yang telah dilakukan dapat digunakan karena memiliki selisih nilai yang tidak jauh dari data hasil pengukuran.

3. Validasi Pemodelan PV

Validasi PV dilakukan melalui pengukuran pada PV yang digunakan dengan rentang waktu 30 menit, durasi pengambilan data sekitar 10 jam yaitu mulai pukul 07.00 WIB sampai dengan pukul 17.00 WIB.



Gambar 3. 18 Hasil simulasi dan data hasil pengukuran tegangan pada PV



Gambar 3. 19 Hasil simulasi dan data hasil pengukuran arus pada PV

Gambar 3.17 dan 3.18 adalah grafik perbandingan data hasil simulasi dan data hasil pengukuran tegangan keluaran PV fungsi waktu dan grafik arus keluaran PV fungsi waktu. Grafik memperlihatkan kesesuaian antara hasil simulasi dari pemodelan

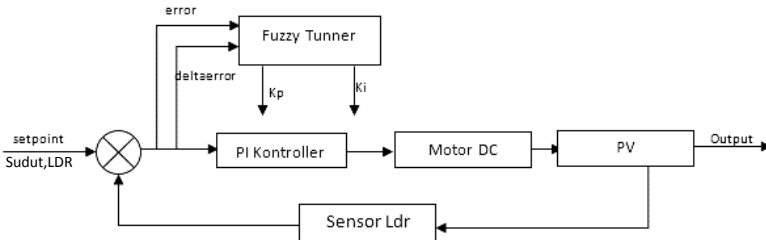
dan data hasil pengukuran, *error* yang terjadi disebabkan adanya beberapa faktor yaitu *error* pada saat pengukuran suhu dan radiasi, sedangkan pada kondisi simulasi suhu dan radiasi yang digunakan dalam kondisi ideal, selain beberapa faktor dari PV yaitu gangguan angin yang tidak dimodelkan dalam simulasi PV. Selain itu, grafik yang fluktuasi dikarenakan suhu keadaan pada saat pengambilan data yang tidak menentu yaitu mendung, cerah, berawan.

3.2.4 Perancangan Sistem Kontrol *Mobile Active Solar Tracker*

Pemodelan kontrol pada *mobile active solar tracker* ini menggunakan kontrol fuzzy PI. Logika fuzzy digunakan untuk menala nilai K_p dan K_i . Masukan pada pengendalian ini adalah nilai *error* tegangan yang dihasilkan oleh pasangan LDR utara-selatan yang mewakili sudut *yaw* dan LDR barat-timur yang mewakili sudut *pitch*. Nilai K_p dan K_i sebelumnya telah ditetapkan, dengan menggunakan nilai K_p dan K_i terbaik yang digunakan sebagai keluaran pada defuzzifikasi.

Nilai K_p dan K_i didapatkan terlebih dahulu dengan metode *autotuning*, nilai K_p dan K_i ini nantinya akan menjadi acuan untuk dijadikan keluaran pada logika fuzzy. Nilai K_p dan K_i dicari dari rentang masukan terkecil dan terbesar, dengan beberapa kali pengambilan data sesuai dengan masukan dan menghasilkan sejumlah nilai K_p dan K_i sehingga didapatkan beberapa pasang nilai K_p dan K_i terbaik yang akan digunakan pada defuzzifikasi pada logika fuzzy.

Logika fuzzy melakukan *tuning* PI sesuai dengan *setpoint* yang diberikan. Logika fuzzy akan mencari nilai terbaik PI sehingga membuat keluaran respon stabil pada titik *setpoint* yang ditentukan. Berikut ini diagram blok sistem logika fuzzy yang digunakan untuk menala nilai K_p dan K_i :



Gambar 3. 20 Diagram blok pengendalian dengan fuzzy pi

3.2.4.1 Perancangan Fuzzy PI pada *Mobile Active Solar Tracker*

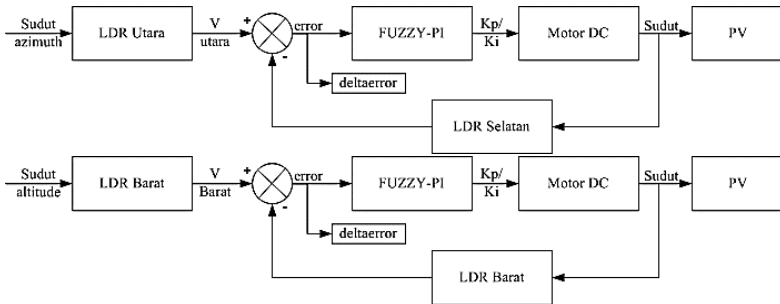
Kontrol Fuzzy PI yang dirancang digunakan untuk mengendalikan PV panel pada arah sudut *yaw* dan *pitch* yaitu pada Gambar 3.20, dimana terdapat dua masukan dan satu keluaran dengan dua buah masukan yaitu *error* dan *deltarror* tegangan sensor LDR. Arsitektur kontrol Fuzzy PI merujuk pada metode Takagi-Sugeno. Nilai *error* dan *deltarror* tegangan didefinisikan dengan persamaan berikut ini :

Error sudut *yaw* (t) = Tegangan LDR utara – Tegangan LDR selatan

Error sudut *pitch* (t) = Tegangan LDR timur – Tegangan LDR barat

Deltaerror sudut *yaw*(t) = *Error* sudut *yaw*(t) – *Error* sudut *yaw* (t-1)

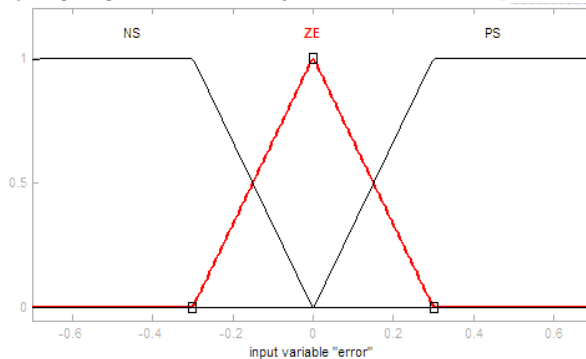
Deltaerror sudut *pitch*(t) = *Error* sudut *pitch*(t) – *Error* sudut *pitch* (t-1)



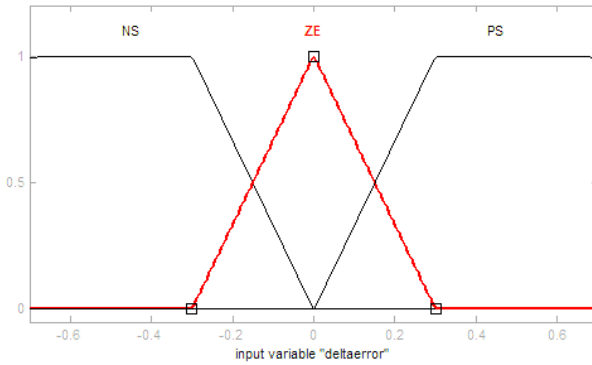
Gambar 3. 21 Model fuzzy PI controllers

Masukan kontrol fuzzy PI yaitu data *error* dan *deltaerror* yang telah didefinisikan sebelumnya, selanjutnya dipetakan ke dalam ruang bilangan fuzzy melalui proses fuzzifikasi. Proses ini dilakukan penentuan fungsi keanggotaan dan jumlah keanggotaan fuzzy masukan. Jumlah keanggotaan fuzzy yang digunakan yaitu 3 dan 5 yang masing-masing terdiri dari fungsi keanggotaan segitiga dan fungsi keanggotaan trapesium. Bentuk interval masing-masing fungsi keanggotaan masukan ditunjukkan pada Gambar 3.21 dan Gambar 3.22

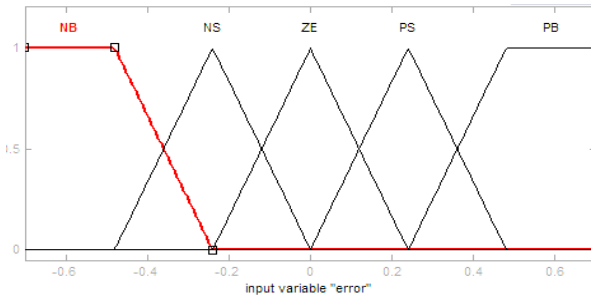
Untuk *range membership function* yang digunakan pada sudut *yaw* yaitu -0.6 sampai 0.6 untuk jumlah MF 3 dan -10 sampai 10 untuk jumlah MF 5. Berikut ini adalah *range membership function* yang digunakan untuk jumlah *membership function* 3 :



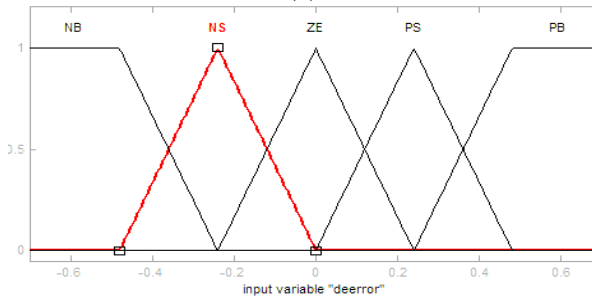
(a)



(b)



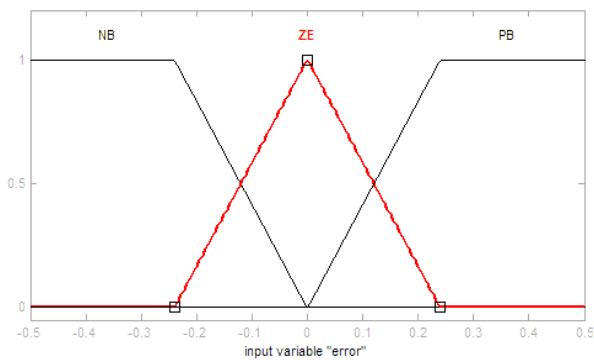
(c)



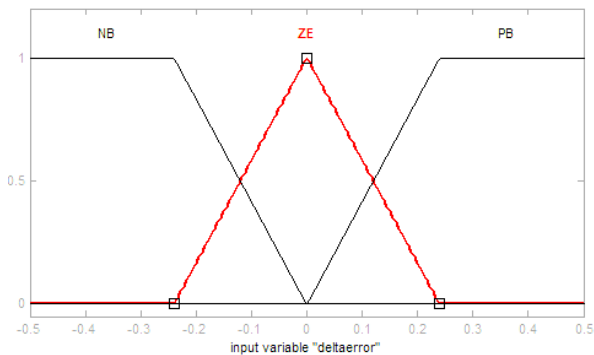
(d)

Gambar 3. 22 Fungsi keanggotaan fuzzy masukan *error* dan *delta error* sudut *yaw* (a) 3 mf *error* (b) 3 mf *deltaerror* (c) 5 mf *error* (d) 5 mf *deltaerror*

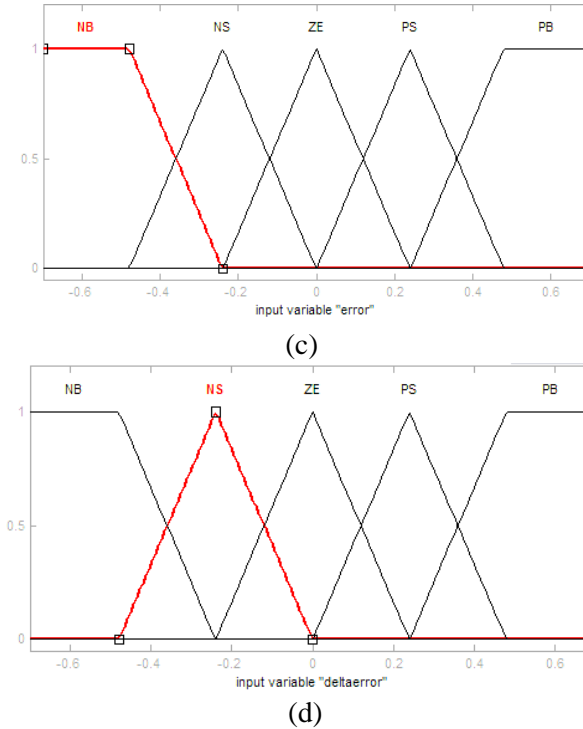
Jangkauan *membership function* yang digunakan pada sudut *pitch* yaitu -0.5 sampai 0.5 untuk jumlah MF 3 dan -10 sampai 10 untuk jumlah MF 5. Gambar 3.20 adalah gambar *range membership function* yang digunakan pada sudut *pitch*, untuk gambar (a) dan (b) adalah *membership function* berjumlah 3 dengan fungsi keanggotaan berupa segitiga, sedangkan (c) dan (d) adalah *membership function* berjumlah 5 dengan fungsi keanggotaan segitiga dan trapesium.



(a)

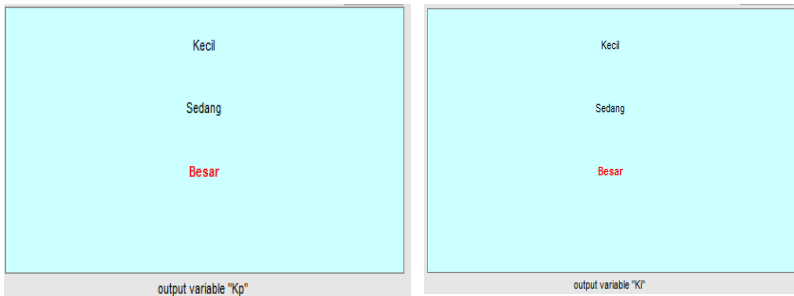


(b)



Gambar 3. 23 Fungsi keanggotaan fuzzy masukan *error* dan *delta error* sudut *pitch* (a) 3 mf *error* (b) 3 mf *deltaerror* (c) 5 mf *error* (d) 5 mf *deltaerror*

Fungsi keanggotaan yang telah dipetakan, kemudian ditentukan kelauran dari logika *fuzzy* yang akan digunakan. Keluaran atau defuzzifikasi yang digunakan dalam sistem ini yaitu berupa nilai K_p dan K_i , untuk keluaran nilai K_p dan K_i sudut *yaw* yaitu :



Gambar 3. 24 Defuzzifikasi Kp dan Ki 3 MF sudut yaw

Defuzzifikasi pada Gambar 3.23 merupakan nilai keluaran konstan yang akan dihasilkan oleh fuzzy PI, dimana nilai keluarannya terdiri dari nilai Kp dan Ki. Kecil, sedang dan besar adalah suatu penamaan sebuah variabel yang mewakili nilai yang didalamnya yaitu nilai yang kecil, sedang dan besar. Berikut ini adalah nilai keluaran Kp dan Ki pada sudut yaw dengan menggunakan 3 *membership function*

Keluaran nilai Kp 3 MF pada sudut yaw :

Kecil : 5.551

Sedang : 10.56

Besar : 17.72

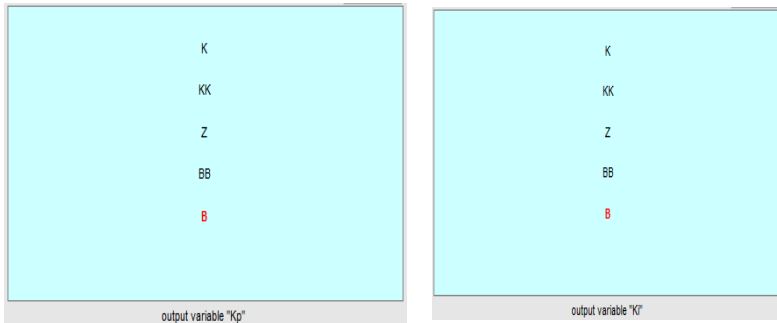
Keluaran nilai Ki 3 MF pada sudut yaw :

Sedang : 2.81

Kecil : 1.42

Besar : 3.92

Nilai K_p dan K_i sudut *yaw* untuk fungsi keanggotan berjumlah 5 yaitu:



Gambar 3. 25 Defuzzifikasi K_p dan K_i 5MF sudut *yaw*

Gambar 3.24 merupakan nilai keluaran konstan yang akan dihasilkan oleh fuzzy pi, dimana nilai keluaran nya terdiri dari nilai K_p dan K_i . K, KK, Z, BB dan B adalah suatu penamaan sebuah variabel yang mewakili nilai yang berurutan dari yang kecil sampai nilai yang besar. Berikut ini adalah nilai keluaran K_p dan K_i pada sudut *yaw* dengan menggunakan 5 *membership function*

Keluaran nilai K_p 5 MF pada sudut *yaw* :

K : 3.058

KK : 3

Z : 5.51

BB : 5.53

B : 17.72

Keluaran nilai K_i 5 MF pada sudut *yaw* :

K : 1.42

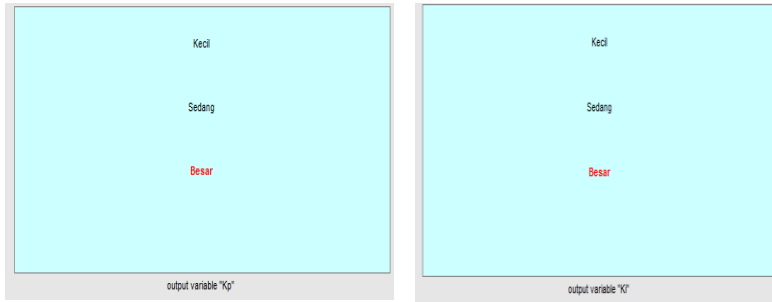
KK : 1.5

Z : 3

BB : 3.92

B : 5.971

Keluaran atau defuzzifikasi yang digunakan dalam sistem ini yaitu nilai Kp dan Ki, untuk keluaran nilai Kp dan Ki sudut *pitch* yaitu :



Gambar 3. 26 Defuzzifikasi Kp dan Ki 3 MF sudut *pitch*

Gambar 3.25 merupakan nilai keluaran konstan yang akan dihasilkan oleh fuzzy pi, dimana nilai keluaran nya terdiri dari nilai Kp dan Ki. Kecil, sedang dan besar adalah suatu penamaan sebuah variabel yang mewakili nilai yang didalamnya yaitu nilai yang kecil, sedang dan besar. Berikut ini adalah nilai keluaran Kp dan Ki pada sudut *pitch* dengan menggunakan 3 *membership function*.

Keluaran nilai Kp 3 MF pada sudut *pitch* :

Kecil : 2.038

Sedang : 2.27

Besar : 4.539

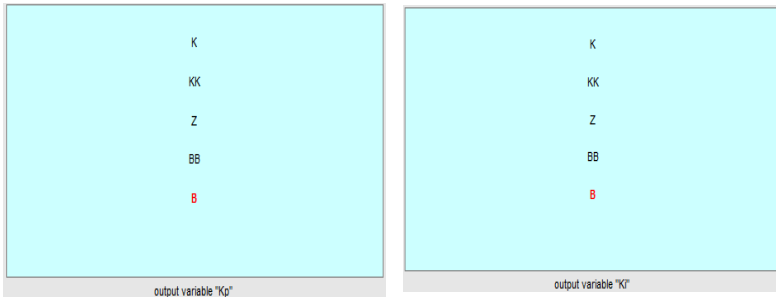
Keluaran nilai Ki 3 MF pada sudut *pitch* :

Kecil : 0.473

Sedang : 0.6407

Besar : 0.89

Nilai K_p dan K_i sudut *pitch* untuk fungsi keanggotan berjumlah 5 yaitu:



Gambar 3. 27 Defuzzifikasi K_p dan K_i 5 MF sudut *pitch*

Gambar 3.26 merupakan nilai keluaran konstan yang akan dihasilkan oleh fuzzy pi, dimana nilai keluaran nya terdiri dari nilai K_p dan K_i . K, KK, Z BB dan B adalah suatu penamaan sebuah variabel yang mewakili nilai yang berurutan dari yang kecil sampai nilai yang besar. Berikut ini adalah nilai keluaran K_p dan K_i pada sudut *pitch* dengan menggunakan 5 *membership function*

Keluaran nilai K_p 5 MF pada sudut *pitch* :

K : 3.058

KK : 3

Z : 5.41

BB : 5.35

B : 16.72

Keluaran nilai K_i 5 MF pada sudut *yaw* :

K : 1.48

KK : 1.55

Z : 3.1

BB : 3.88

B : 5.68

Sistem panel surya menggunakan *rule base* berjumlah 9 untuk 3 MF karena mempunyai 2 masukan yaitu *error* dan *deltaerror* dimana masing-masing masukan berisi 3 *membership function* pada fuzzifikasi dan defuzzifikasi berisi 3 *membership function*. Pada 5 MF berjumlah 25 *rule base* karena mempunyai 2 masukan yaitu *error* dan *deltaerror* dimana pada masing-masing masukan dan keluaran terdiri dari 5 *membership function*. Berikut merupakan *rule base* dari sistem *solar tracking*.

Tabel 3. 3 *Rule base* 3 MF

e Δe	NS	ZE	PS
NS	Kecil,Kecil	Sedang,Sedang	Besar,Besar
ZE	Keci,Kecil	Sedang,Sedang	Besar,Besar
PS	Kecil,Kecil	Sedang,Sedang	Besar,Besar

Tabel 3. 4 *Rule base* 5 MF

e Δe	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	K,K	K,K	KK,K	K,Z	K,BB
NS	KK,K	K,KK	K,KK	B,Z	B,BB
ZE	K,KK	KK,K	B,Z	B,BB	B,BB
PS	K,KK	B,Z	B,BB	B,BB	B,BB
PB	B,Z	B,BB	B,BB	BB,B	BB,B

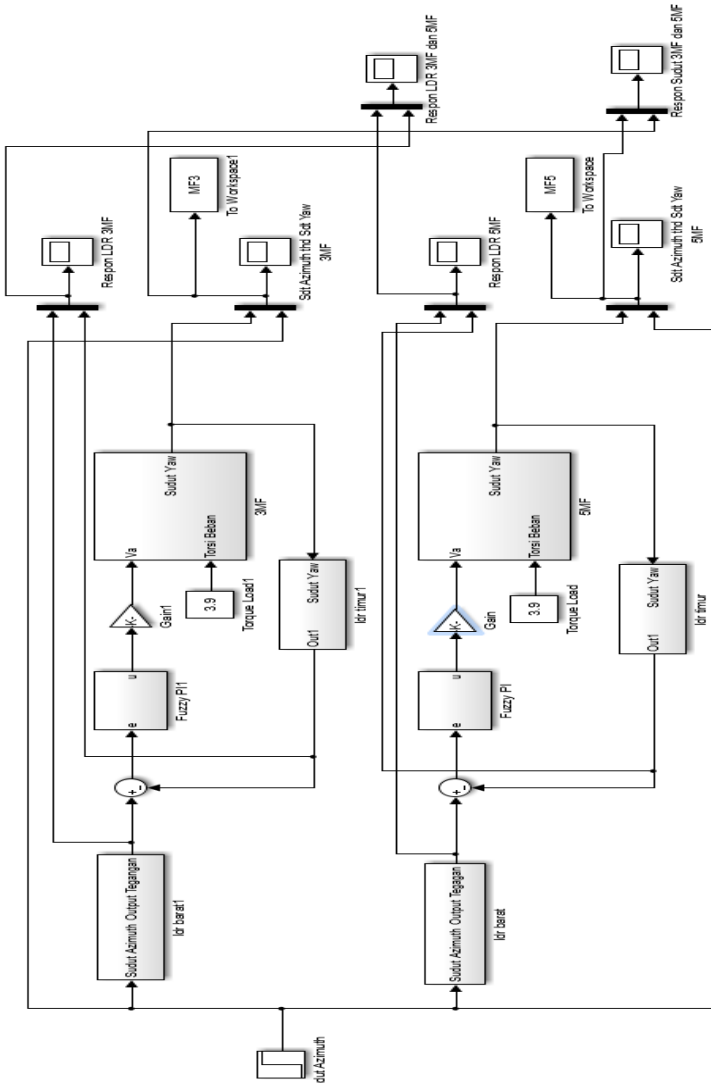
BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Tahapan ini merupakan hasil simulasi dari sistem yang telah dibuat terdiri dari tiga tahapan simulasi yaitu uji *setpoint*, uji *tracking setpoint* dan uji performansi keluaran pv. Uji *setpoint* bertujuan untuk mengetahui kriteria performansi kontrol yang dibuat. Uji *tracking* bertujuan untuk mengetahui respon keluaran yang dihasilkan pada perubahan *setpoint* dalam rentang waktu yang sama. Uji performansi keluaran pv bertujuan untuk mengetahui nilai keluaran pv yaitu arus, tegangan dan daya serta dilakukan perhitungan efisiensi energi yang dihasilkan oleh sistem *mobile active solar tracker*. Oleh karenanya pada bab ini akan dibahas mengenai beberapa poin diatas sesuai dengan hasil simulasi yang telah dilakukan.

4.1 Uji *Setpoint*

Uji *setpoint* dilakukan melalui simulasi. Simulasi ini ditujukan untuk mengetahui performansi kontrol fuzzy PI yang telah dirancang sebelumnya. Nilai kriteria pengukuran performansi kontrol pada tahapan ini yaitu *rise time* (t_r), *settling time* (t_s), *Maximum Overshoot* (Mov), dan *error steady state* (ess). Uji *setpoint* ini dibedakan menjadi 2 yaitu berdasarkan sudut *pitch* dan *yaw*. Variasi masukan yaitu berupa sudut *altitude* matahari dengan nilai variasi sudut sebesar 10^0 , 15^0 dan 30^0 , sedangkan untuk motor *yaw* masukan berupa sudut azimuth dengan nilai variasi sebesar 30^0 , 45^0 dan 60^0 . Variasi lainnya berupa penambahan nilai beban torsi dan tidak ada beban torsi pada motor DC. Analisa respon dilakukan terhadap sudut *pitch*, *yaw*, tegangan LDR utara berbanding tegangan LDR selatan dan tegangan LDR timur berbanding tegangan LDR barat. Berikut ini tampilan dari simulink pada matlab yang digunakan untuk melakukan uji *setpoint*.

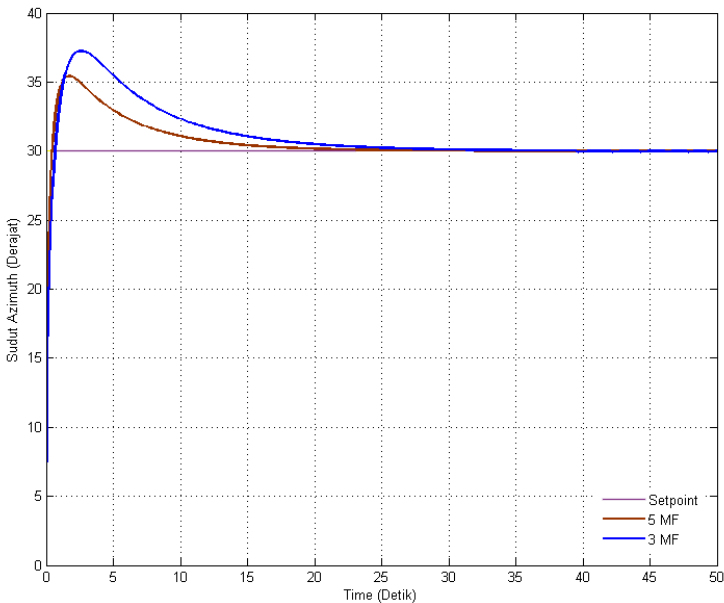


Gambar 4. 1 Simulink Uji Setpoint

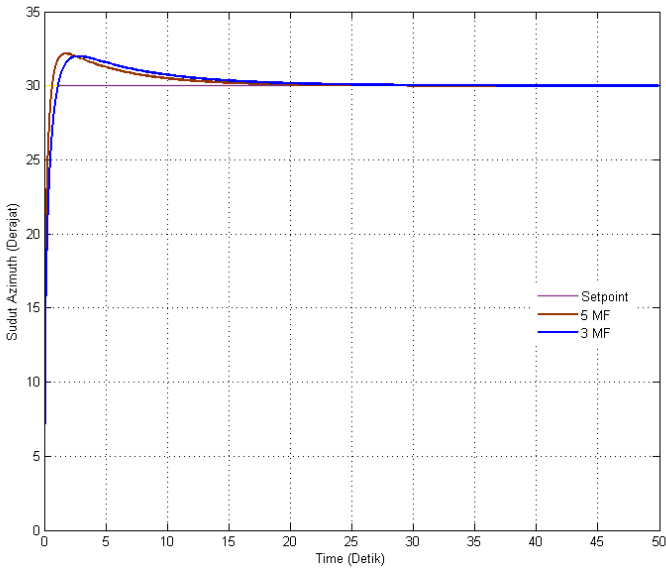
4.1.1 Uji *Setpoint* Sudut *Yaw* 30⁰, 45⁰ dan 60⁰

Uji *setpoint* sudut *yaw* digunakan untuk mengetahui performansi kontrol Fuzzy PI dalam merespon masukan berupa sudut *azimuth* matahari. Sinyal step diberikan dengan nilai konstan sebesar 30⁰, 45⁰, dan 60⁰, amplitudo konstan tersebut mewakili nilai sudut *azimuth* matahari (derajat). Perbandingan jumlah *membership function* dan perbandingan sebuah keadaan apabila pada motor DC diberikan beban torsi senilai 3.9 dan beban torsi senilai 0.

Hasil respon keluaran *yaw* terhadap masukan step 30⁰ dapat dilihat pada Gambar 4.2 (a) dan (b)



(a)



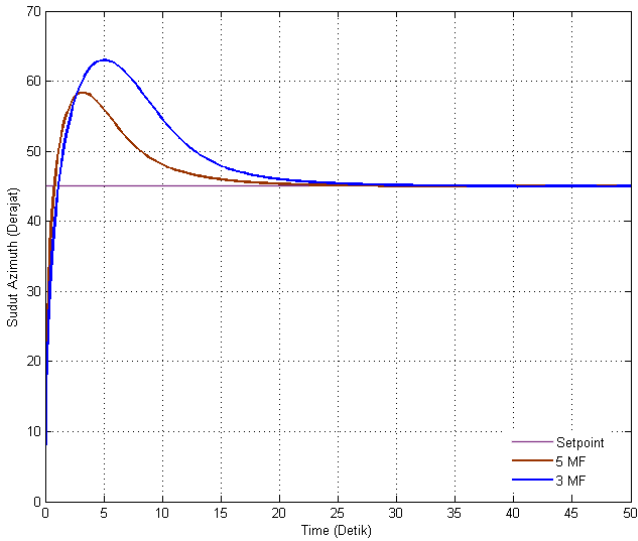
(b)

Gambar 4.2 Respon sudut *yaw* dengan setpoint 30^0 (a) dengan beban torsi 3.9 (b) tanpa beban torsi

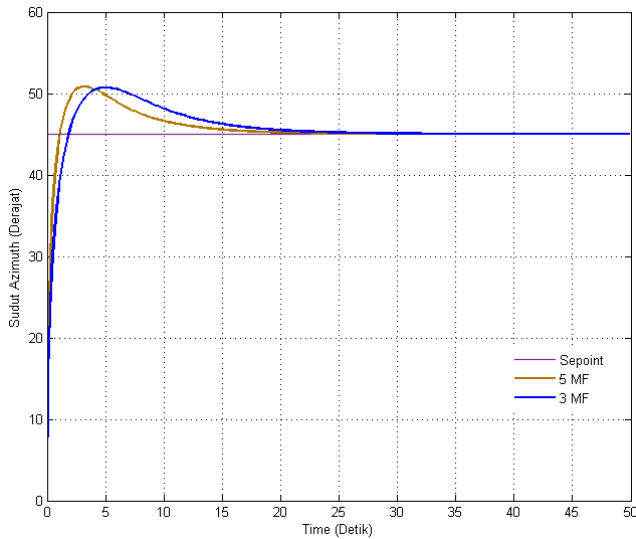
Respon controller fuzzy PI dengan menggunakan 3 dan 5 jumlah fungsi keanggotaan terhadap *setpoint* sudut *azimuth* 30^0 dapat dilihat pada Gambar 4.2 (a) dan (b). Gambar (a) respon tersebut diberikan nilai beban torsi senilai 3.9 pada motor DC. Sedangkan pada Gambar 4.2 (b) tidak diberikan beban torsi pada motor DC.

Beban torsi yang diberikan pada motor DC memberikan pengaruh terhadap respon controller yang digunakan, dimana nilai *overshoot* ketika diberikan beban torsi lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa diberikan beban torsi.

Hasil respon keluaran *yaw* terhadap masukan step 45^0 dapat dilihat pada Gambar 4.3 (a) dan (b)



(a)



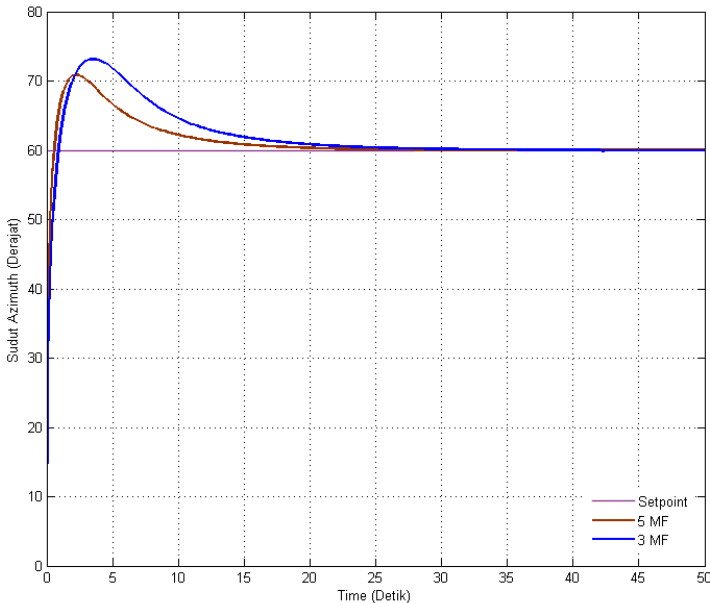
(b)

Gambar 4. 3 Respon sudut yaw dengan setpoint 45° (a) dengan beban torsi 3.9 (b) tanpa beban torsi

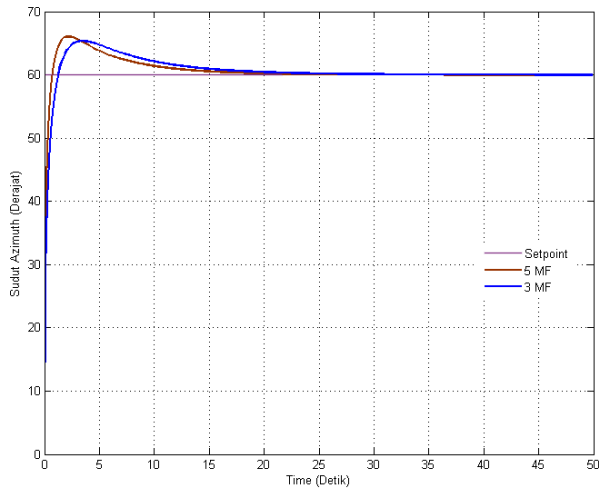
Gambar 4.3 (a) dan (b) adalah respon controller Fuzzy PI dengan menggunakan 3 dan 5 jumlah fungsi keanggotaan terhadap *setpoint* sudut *azimuth* 45° . Gambar (b) respon tersebut tidak diberikan beban torsi pada motor DC, sedangkan pada gambar yaitu (a) respon yang terlihat ketika diberikan beban torsi sebesar 3.9.

Beban torsi yang diberikan pada motor DC memberikan pengaruh terhadap respon controller yang digunakan, dimana nilai *overshoot* ketika diberikan beban torsi lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa diberikan beban torsi.

Hasil respon keluaran *yaw* terhadap masukan step 60° dapat dilihat pada Gambar 4.4 (a) dan (b)



(a)



(b)

Gambar 4.4 Respon sudut yaw dengan setpoint 60^0 (a) dengan beban torsi 3.9 (b) tanpa beban torsi

Gambar 4.4 (a) dan (b) menunjukkan hasil respon keluaran controller Fuzzy PI dengan menggunakan 3 dan 5 jumlah fungsi keanggotaan terhadap *setpoint* sudut *azimuth* 45^0 . Gambar 4.4 (b) respon yang terlihat yaitu ketika tidak diberikan beban torsi pada motor DC, sedangkan pada gambar sebelumnya yaitu Gambar 4.6 (a) respon yang terlihat ketika diberikan beban torsi sebesar 3.9. Berdasarkan Gambar 4.4 (a) (b), beban torsi yang diberikan pada motor DC memberikan pengaruh terhadap respon controller yang digunakan, dimana nilai *overshoot* ketika diberikan beban torsi lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa diberikan beban torsi.

Gambar 4.2, 4.3 dan 4.4 maka diketahui indeks performansi kontrol Fuzzy PI dalam merespon masukan berupa sudut *azimuth* matahari dengan jumlah *membership function* pada controller Fuzzy PI yaitu 3 MF dan 5 MF dengan kondisi diberikan beban torsi dan tidak diberikan torsi dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2

Tabel 4. 1 Perbandingan indeks performansi kontrol fuzzy PI 3 MF dan 5 MF sudut *yaw* dengan beban torsi 3.9

Performansi Kontrol	Fuzzy PI 3 MF			Fuzzy PI 5 MF		
	30 ⁰	45 ⁰	60 ⁰	30 ⁰	45 ⁰	60 ⁰
Rise time (tr) (Detik)	0.46	0.84	1.59	0.31	0.55	1.36
Settling time (ts) (Detik)	18.73	20.58	27.77	13.05	15.33	23.06
Maximum Overshoot (Mov) %	24.13	39.95	55.25	18.08	29.64	34.79
Error Steady State (ess) %	0.42	0.37	0.39	0.24	0.27	0.28

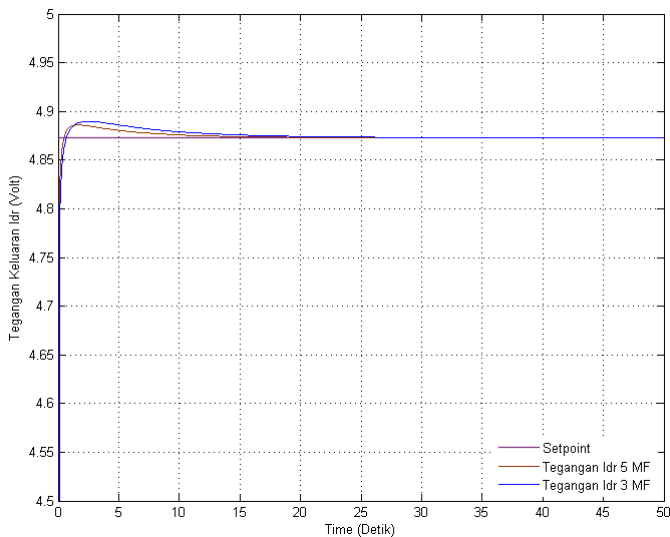
Tabel 4. 2 Perbandingan indeks performansi kontrol fuzzy PI 3 MF dan 5 MF sudut *yaw* tanpa beban torsi

Performansi Kontrol	Fuzzy PI 3 MF			Fuzzy PI 5 MF		
	30 ⁰	45 ⁰	60 ⁰	30 ⁰	45 ⁰	60 ⁰
Rise time (tr) (Detik)	0.65	1.22	1.74	0.37	0.71	1.42
Settling time (ts) (Detik)	11.28	16.72	23.44	8.88	12.73	20.68

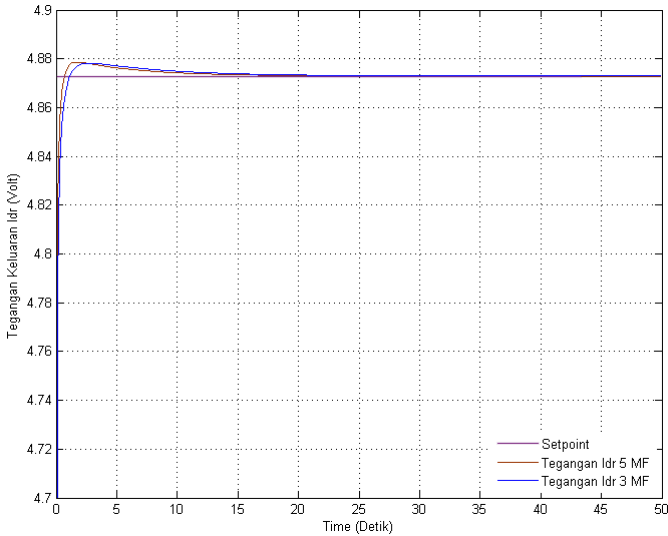
Maximum Overshoot (Mov) %	6.61	16.73	25.58	7.21	12.97	26.71
Error Steady State (ess) %	0.35	0.34	0.35	0.25	0.26	0.27

Variabel lain yang dipantau yaitu tegangan keluaran dari LDR. Berikut ini merupakan respon tegangan keluaran LDR pada *setpoint* sudut 30^0 , 45^0 , dan 60^0 . Respon tegangan keluaran LDR utara berbanding dengan LDR selatan menggunakan beban torsi senilai 3.9 dan beban torsi 0.

Hasil respon tegangan keluaran LDR utara terhadap LDR selatan pada sudut *yaw* 30^0 dapat dilihat pada Gambar 4.5 (a) dan (b)



(a)



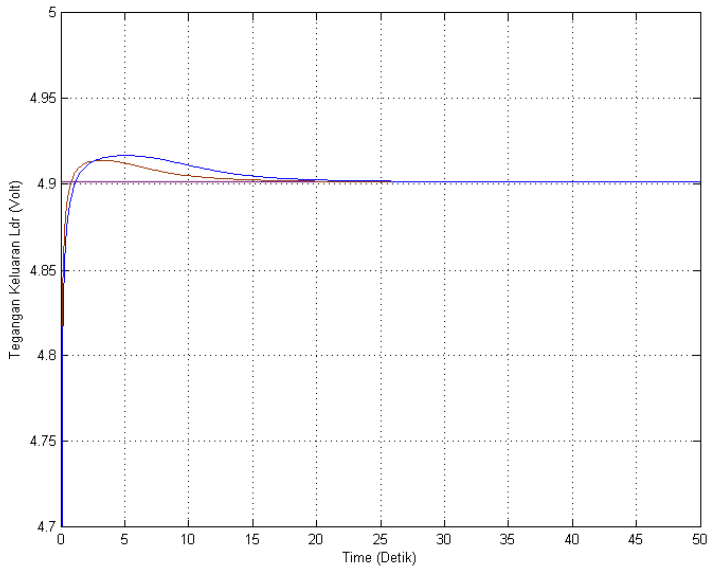
(b)

Gambar 4.5 Respon tegangan pada sudut yaw 30^0 (a) dengan beban torsi 3.9 (b) tanpa beban torsi

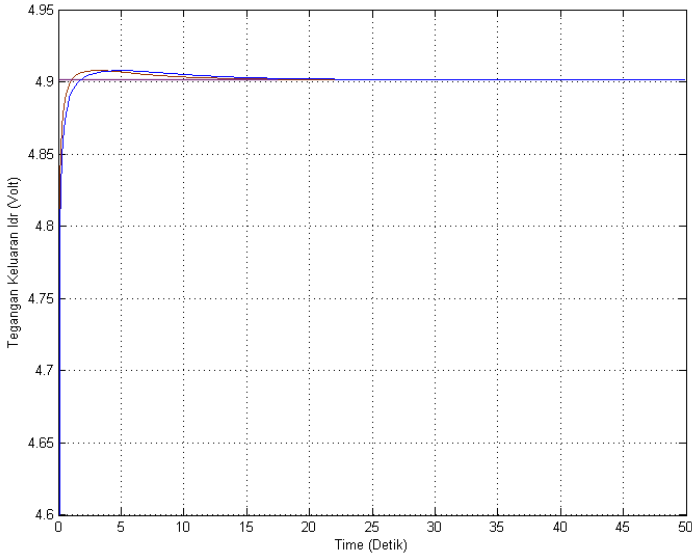
Gambar 4.5 (a) (b) merupakan respon tegangan keluaran LDR yang dihasilkan oleh LDR utara terhadap LDR selatan. *Setpoint* adalah nilai keluaran yang dihasilkan oleh LDR utara, dimana LDR utara mendapatkan masukan nilai sudut *azimuth* sebesar 30^0 . LDR selatan berfungsi sebagai sensor yang menerima masukan nilai sudut keluaran dari motor DC. Keluran tegangan keduanya kemudian dilihat responnya berdasarkan kontroller yang telah dirancang.

Setpoint tegangan keluaran LDR yang dihasilkan oleh sudut *azimuth* matahari terhadap sudut *yaw* motor DC sebesar 30^0 yaitu sebesar 4.87 Volt, nilai tersebut didapatkan ketika motor DC diberikan beban torsi sebesar 3.9 dan dalam keadaan tidak diberikan beban torsi. Oleh karena beban torsi yang diberikan tidak mempengaruhi nilai keluaran dari LDR yang dihasilkan, namun beban torsi mempengaruhi kecepatan angular dari pergerakan PV.

Hasil respon tegangan keluaran LDR utara terhadap LDR selatan pada sudut yaw 45^0 dapat dilihat pada Gambar 4.6 (a) dan (b)



(a)

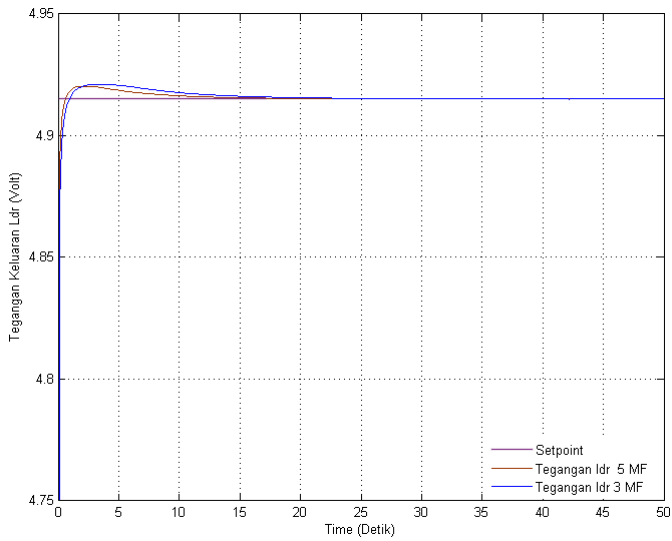


(b)

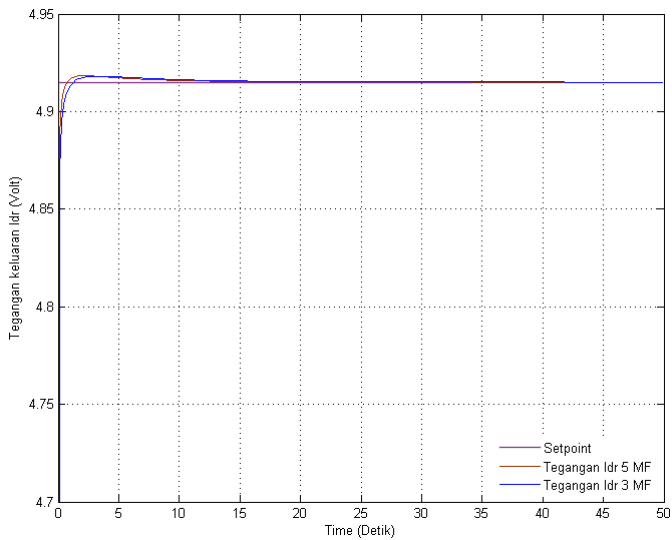
Gambar 4. 6 Respon tegangan LDR pada sudut yaw 45^0 (a) dengan beban torsi 3.9 (b) tanpa beban torsi

Gambar 4.6 (a) dan (b) merupakan respon tegangan keluaran LDR yang dihasilkan oleh LDR selatan terhadap *setpoint* LDR utara. Respon yang dibandingkan yaitu ketika masing-masing LDR menggunakan kontroller dengan jumlah fungsi keanggotaan pada logika fuzzy berjumlah 3 dan 5. Pada *setpoint* sudut *azimuth* matahari terhadap sudut *yaw* sebesar 45^0 tegangan keluaran yang dihasilkan yaitu sebesar 4.90 Volt dalam keadaan tidak diberikan beban torsi pada motor DC dan diberikan beban torsi sebesar 3.9.

Hasil respon tegangan keluaran LDR utara terhadap LDR selatan pada sudut *yaw* 60^0 dapat dilihat pada Gambar 4.7 (a) dan (b)



(a)



(b)

Gambar 4. 7 respon tegangan LDR pada sudut yaw 60^0 (a) dengan beban torsi 3.9 (b) tanpa beban torsi

Gambar 4.7 (a) dan (b) adalah respon tegangan keluaran LDR yang dihasilkan oleh LDR utara dan LDR selatan. Respon yang dibandingkan yaitu ketika masing-masing LDR menggunakan controller dengan jumlah fungsi keanggotaan pada logika fuzzy berjumlah 3 dan 5. *Setpoint* sudut *azimuth* matahari terhadap motor DC *yaw* sebesar 60^0 tegangan keluaran yang dihasilkan yaitu sebesar 4.92 Volt dalam keadaan tidak diberikan beban torsi pada motor DC dan diberikan beban torsi sebesar 3.9.

Gambar 4.5, 4.6 dan 4.7 didapatkan indeks performansi dari respon, yaitu masing-masing disajikan pada Tabel 4.3 :

Tabel 4. 3 Perbandingan indeks performansi tegangan keluaran LDR utara dan selatan dengan beban torsi 3.9

Performan si Kontrol	Fuzzy PI 3 MF			Fuzzy PI 5 MF		
	4.87 Volt	4.90 Volt	4.92 Volt	4.87 Volt	4.90 Volt	4.92 Volt
Rise time (tr)	0.007 8	0.008 2	0.008 3	0.007 1	0.007 3	0.007 4
(Detik)						
Settling time (ts) (Detik)	0.08	0.103	0.31	0.035	0.058	0.061
Maximum Overshoot (Mov) %	0.34	0.36	0.39	0.26	0.27	0.274
Error Steady State (ess) %	0.067	0.07	0.03	0.04	0.05	0.19

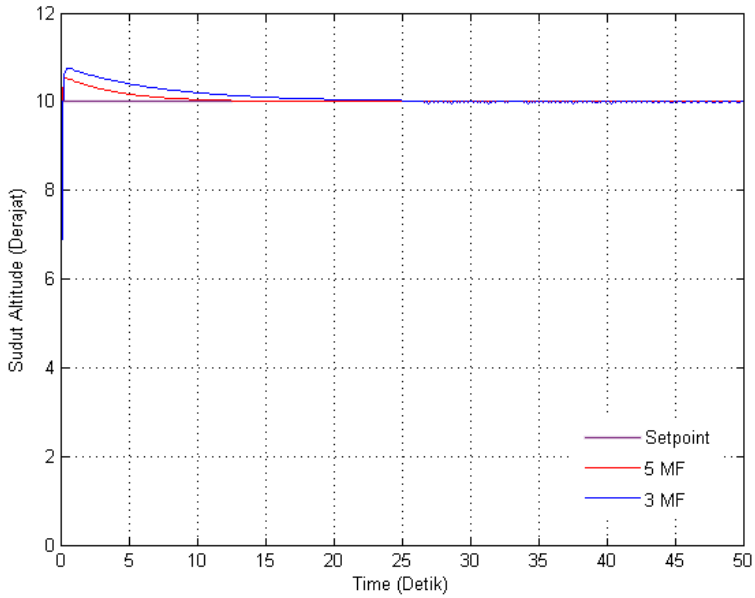
Tabel 4. 4 Perbandingan indeks performansi tegangan keluaran LDR utara dan selatan tanpa beban torsi

Performansi Kontrol	Fuzzy PI 3 MF			Fuzzy PI 5 MF		
	4.87 Volt	4.90 Volt	4.92 Volt	4.87 Volt	4.90 Volt	4.92 Volt
Rise time (tr) (Detik)	0.007 9	0.008 3	0.008 3	0.00 7	0.007 2	0.008 1
Settling time (ts) (Detik)	0.087	0.11	0.33	0.04 6	0.061	0.064
Maximum Overshoot (Mov) %	0.112	0.13	0.18	1.17	1.19	1.26
Error Steady State (ess) %	0.03	0.04	0.17	0.02 1	0.03	0.013

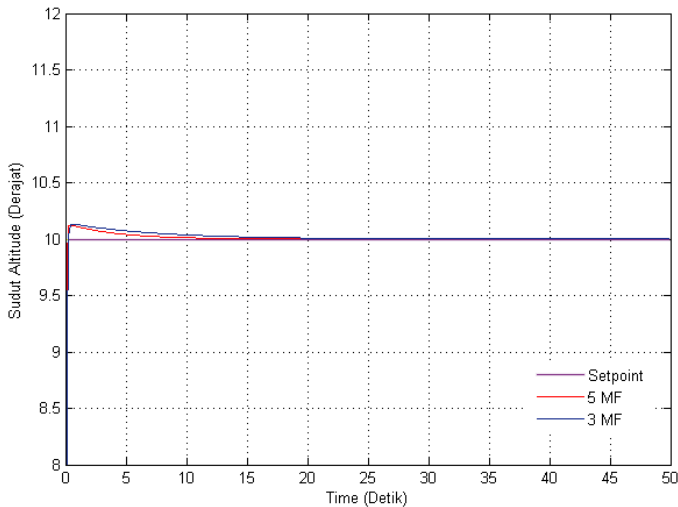
4.1.2 Uji *Setpoint* Sudut *Pitch* 10⁰, 15⁰ dan 30⁰

Uji *setpoint* sudut *pitch* dilakukan untuk mengetahui performansi kontrol Fuzzy PI dalam merespon masukan berupa sudut *altitude* matahari. Dilakukan dengan memberikan sinyal step dengan amplitudo konstan sebesar 10⁰, 15⁰, dan 30⁰, amplitudo konstan tersebut mewakili nilai sudut *altitude* matahari (derajat). Pada uji *setpoint* ini membandingkan jumlah *membership function* pada *controller* Fuzzy PI dengan jumlah *membership function* 3 dan 5, selain itu akan dibandingkan ketika kondisi motor DC diberikan beban torsi dan tidak diberikan beban torsi. Pada sudut *pitch* ini motor DC memiliki beban torsi sebesar 3.11.

Hasil respon keluaran *pitch* terhadap masukan step 10^0 dapat dilihat pada Gambar 4.8. (a) dan (b)



(a)

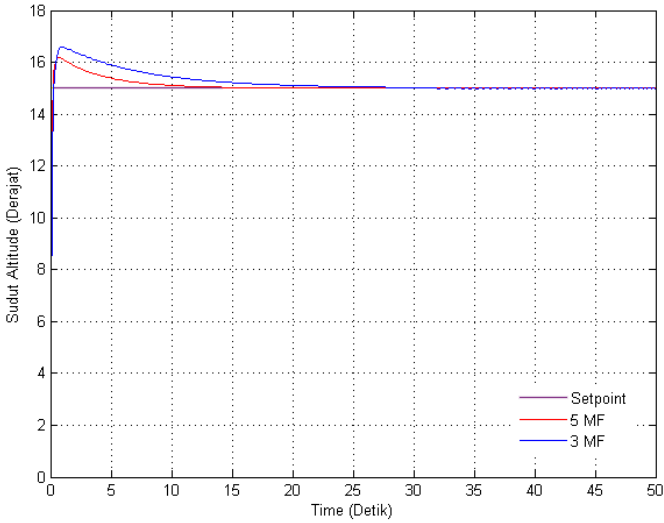


(b)

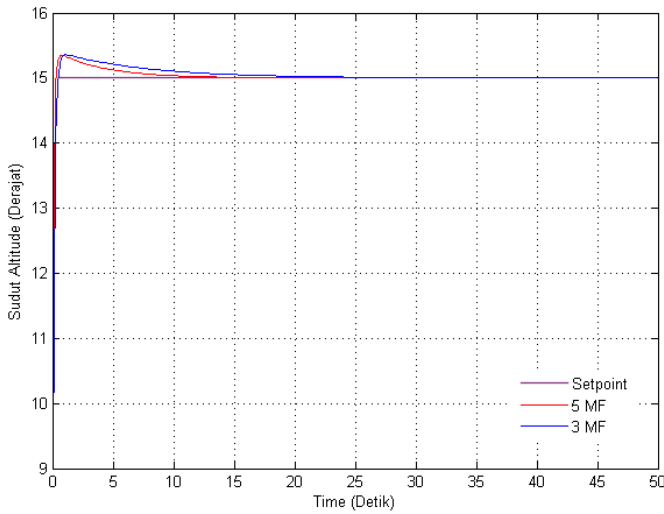
Gambar 4. 8 Respon sudut *pitch* dengan *setpoint* 10^0 (a) dengan beban torsi 3.11 (b) tanpa beban torsi

Gambar 4.8 (a) dan (b) terlihat respon controller Fuzzy PI dengan menggunakan 3 dan 5 jumlah fungsi keanggotaan terhadap *setpoint* sudut *altitude* matahari 10^0 . Beban torsi yang diberikan pada motor DC sebesar 3.11 memberikan pengaruh terhadap nilai *overshoot* respon controller, ketika diberikan beban torsi nilai *overshoot* yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa diberikan beban torsi. Beban torsi memberikan pengaruh terhadap kecepatan angular motor untuk menggerakkan PV.

Hasil respon keluaran *pitch* terhadap masukan step 15^0 dapat dilihat pada Gambar 4.9. (a) dan (b)



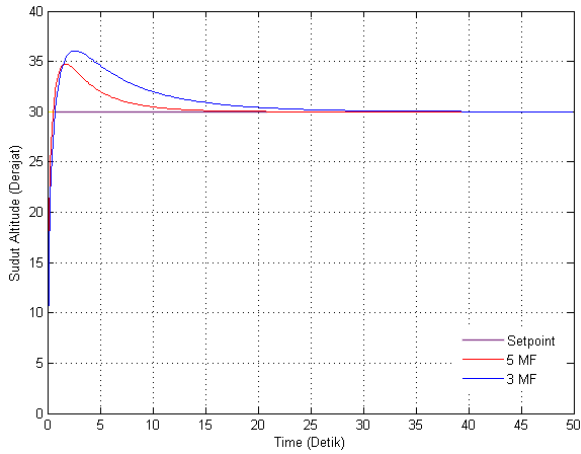
(a)



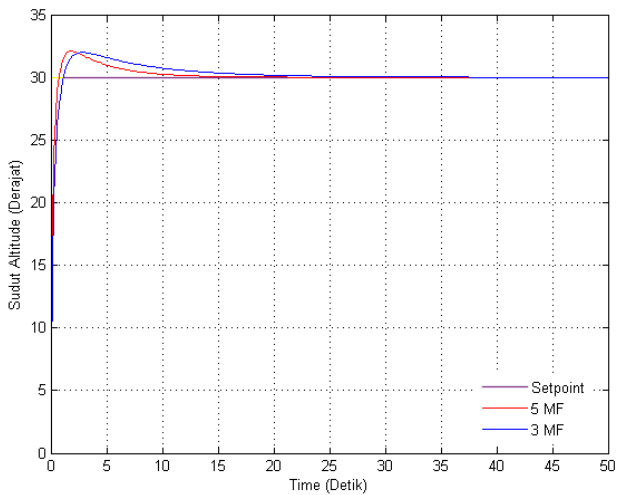
(b)

Gambar 4.9 Respon sudut *pitch* dengan *setpoint* 15° (a) dengan beban torsi 3.11 (b) tanpa beban torsi

Hasil respon keluaran *pitch* terhadap masukan step 30^0 dapat dilihat pada Gambar 4.10. (a) dan (b)



(a)



(b)

Gambar 4. 10 Respon sudut *pitch* dengan *setpoint* 30^0 (a) dengan beban torsi 3.11 (b) tanpa beban torsi

Respon keluaran pada Gambar 4.8, 4.9 dan 4.10 diketahui indeks performansi kontrol Fuzzy PI dalam merespon masukan berupa sudut *altitude* matahari dengan jumlah *membership function* pada kontroller Fuzzy PI yaitu 3 MF dan 5 MF dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6. Respon kontroller yang terbaik menggunakan 5 MF.

Tabel 4. 5 Perbandingan indeks performansi sudut *pitch* 3 MF dan 5 MF dengan beban torsi sebesar 3.11

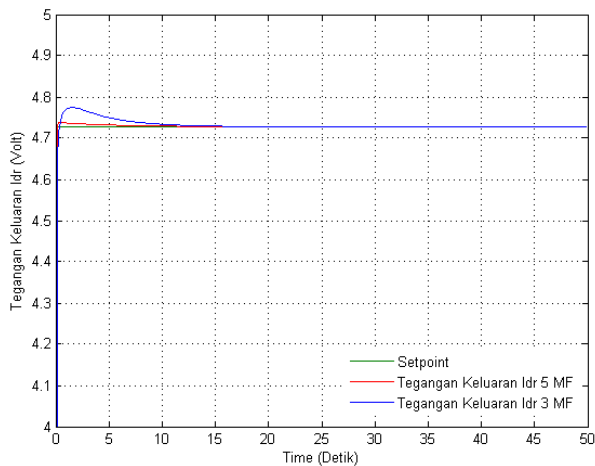
Performansi Kontrol	Fuzzy PI 3 MF			Fuzzy PI 5 MF		
	10 ⁰	15 ⁰	30 ⁰	10 ⁰	15 ⁰	30 ⁰
Rise time (tr) (Detik)	0.08	0.17	0.34	0.04	0.11	0.34
Settling time (ts) (Detik)	10.02	12.68	19.17	4.3	5.95	9.17
Maximum Overshoot (Mov) %	7.53	10.53	15.84	5.45	7.83	15.84
Error Steady State (ess) %	0.35	0.37	0.17	0.16	0.17	0.17

Tabel 4. 6 Perbandingan indeks performansi sudut *pitch* 3 MF dan 5 MF tanpa beban torsi

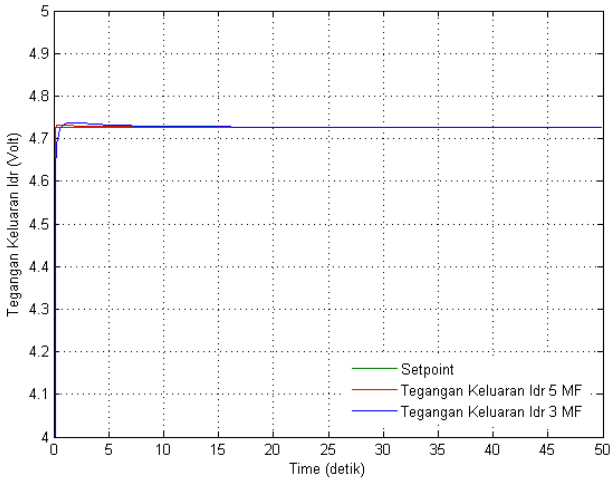
Performansi Kontrol	Fuzzy PI 3 MF			Fuzzy PI 5 MF		
	10 ⁰	15 ⁰	30 ⁰	10 ⁰	15 ⁰	30 ⁰
Rise time (tr) (Detik)	0.11	0.21	0.65	0.05	0.12	0.42

Settling time (ts) (Detik)	0.21	2.48	11.29	0.11	1.45	6.75
Maximum Overshoot (Mov) %	1.33	2.38	6.62	1.23	2.34	6.95
Error Steady State (ess) %	0.21	0.3	0.35	0.11	0.17	0.17

Variabel lain yang dipantau yaitu tegangan keluaran dari LDR. Berikut ini merupakan respon tegangan keluaran LDR pada *setpoint* sudut 10^0 , 15^0 , dan 30^0 . Hasil respon tegangan keluaran LDR barat terhadap LDR timur pada sudut *pitch* 10^0 dapat dilihat pada Gambar 4.11 (a) dan (b)



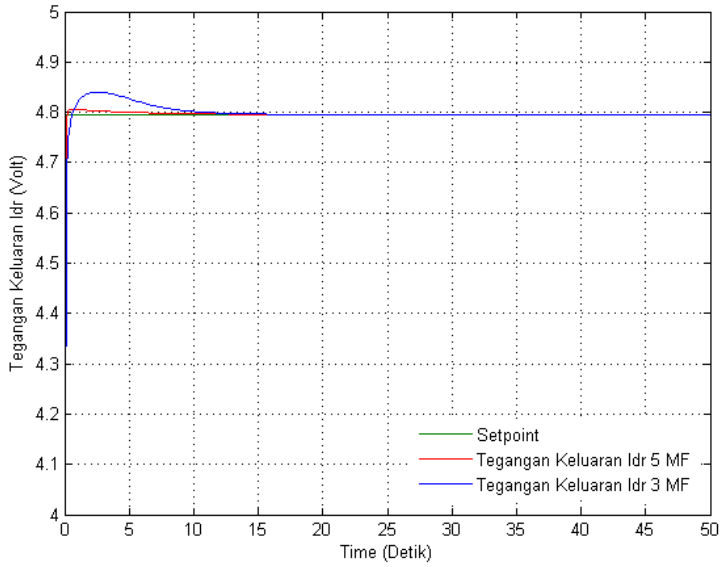
(a)



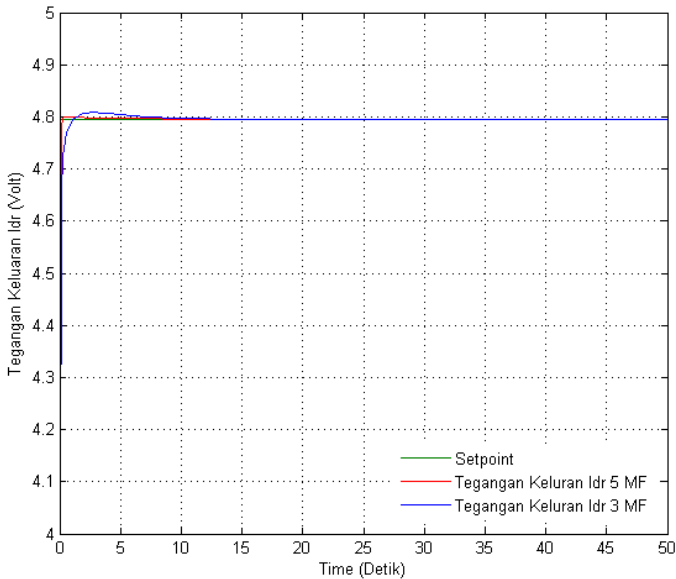
Gambar 4.11 Respon tegangan LDR pada sudut *pitch* 10^0 (a) dengan beban torsi 3.11 (b) tanpa beban torsi

Setpoint sudut *altitude* matahari terhadap sudut *pitch* sebesar 10^0 tegangan keluaran yang dihasilkan yaitu sebesar 4.73 Volt dalam keadaan tidak diberikan beban torsi pada motor DC dan diberikan beban torsi sebesar 3.11.

Hasil respon tegangan keluaran LDR barat terhadap LDR timur pada sudut *pitch* 15^0 dapat dilihat pada Gambar 4.12 (a) dan (b)



(a)

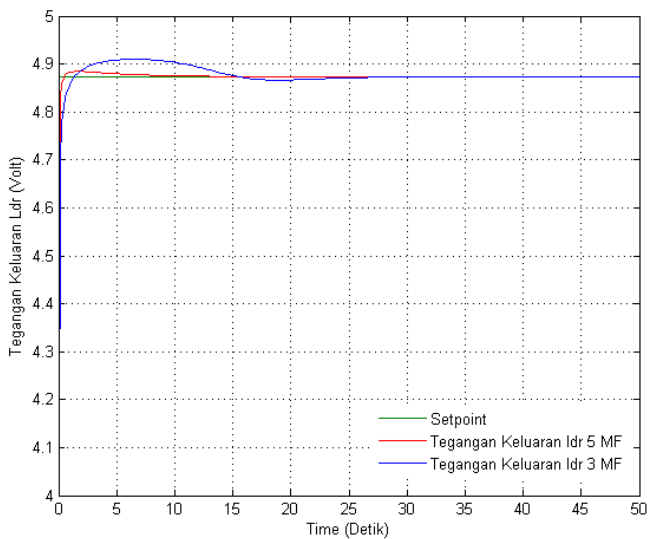


(b)

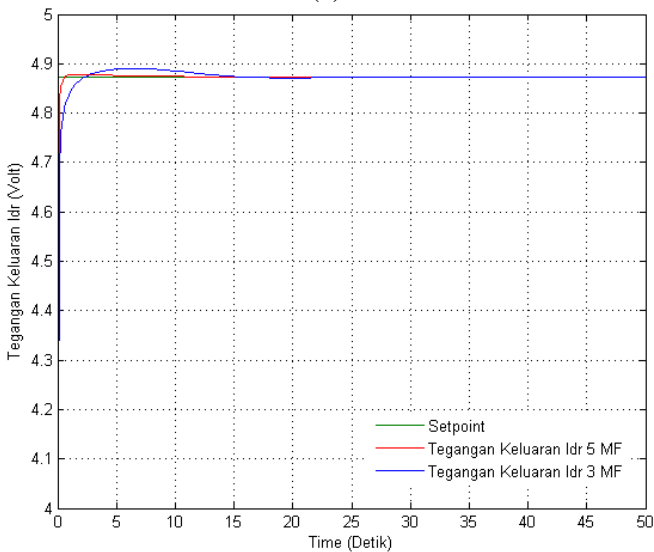
Gambar 4. 12 Respon tegangan LDR pada sudut *pitch* 15^0 (a) dengan beban torsi 3.11 (b) tanpa beban torsi

Setpoint sudut *altitude* matahari terhadap sudut *pitch* sebesar 15^0 tegangan keluaran yang dihasilkan yaitu sebesar 4.79 Volt dalam keadaan tidak diberikan beban torsi pada motor DC dan diberikan beban torsi sebesar 3.11.

Hasil respon tegangan keluaran LDR barat terhadap LDR timur pada sudut *pitch* 30^0 dapat dilihat pada Gambar 4.13 (a) dan (b)



(a)



(b)

Gambar 4. 13 Respon tegangan LDR pada sudut *pitch* 30° (a) dengan beban torsi 3.11 (b) tanpa beban torsi

Setpoint sudut *altitude* matahari terhadap sudut *pitch* sebesar 30° tegangan keluaran yang dihasilkan yaitu sebesar 4.87 Volt dalam keadaan tidak diberikan beban torsi pada motor DC dan diberikan beban torsi sebesar 3.11. Gambar 4.11, 4.12 dan 4.13 didapatkan indeks performansi dari respon, yaitu :

Tabel 4. 7 Perbandingan indeks performansi tegangan keluaran ldr barat dan timur dengan beban torsi 3.11

Performansi Kontrol	Fuzzy PI 3 MF			Fuzzy PI 5 MF		
	Volt	Volt	Volt	Volt	Volt	Volt
Rise time (tr) (Detik)	0.01	0.01	0.013	0.0058	0.0061	0.0135
Settling time (ts) (Detik)	0.10	0.16	0.27	0.014	0.02	0.31
Maximum Overshoot (Mov) %	1.12	0.93	0.76	0.22	0.23	0.76
Error Steady State (ess) %	0.11	0.12	0.18	0.027	0.11	0.18

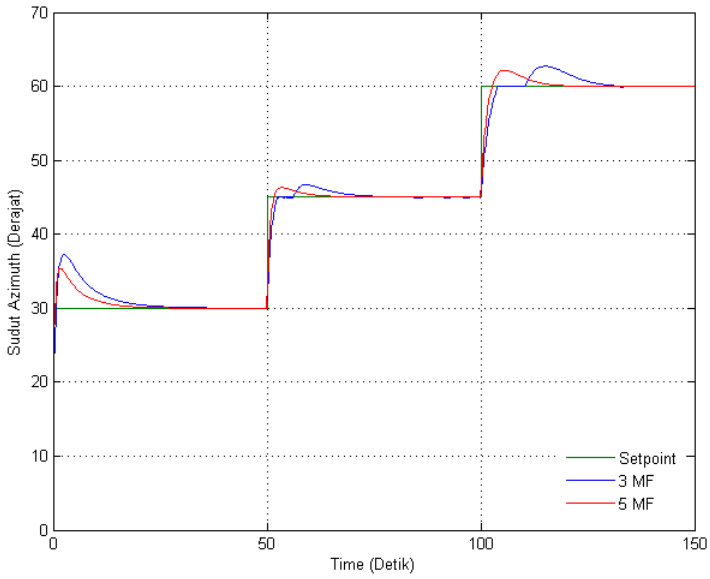
Tabel 4. 8 Perbandingan indeks performansi tegangan keluaran LDR barat dan timur tanpa beban torsi

Performansi Kontrol	Fuzzy PI 3 MF			Fuzzy PI 5 MF		
	Volt	Volt	Volt	Volt	Volt	Volt
Rise time (tr) (Detik)	0.01	0.01	0.013	0.0058	0.0061	0.0135
Settling time (ts) (Detik)	0.10	0.16	0.27	0.014	0.02	0.31
Maximum Overshoot (Mov) %	1.12	0.93	0.76	0.22	0.23	0.76
Error Steady State (ess) %	0.11	0.12	0.18	0.027	0.11	0.18

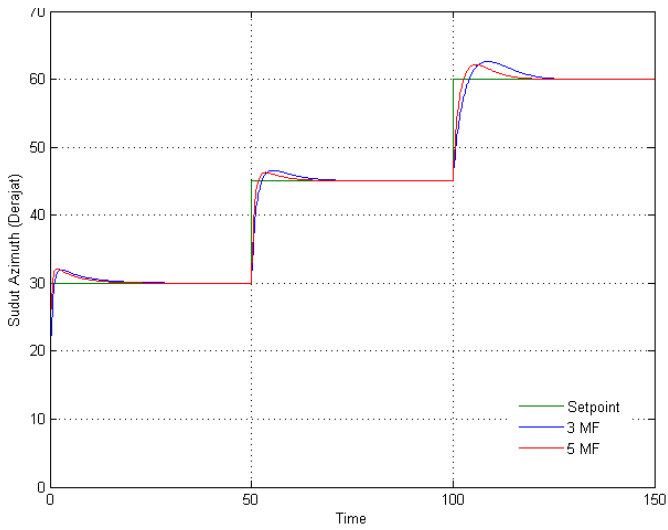
Rise time (tr) (Detik)	0.01	0.01	0.014	0.0065	0.0068	0.0072
Settling time (ts) (Detik)	0.13	0.2	0.33	0.016	0.024	0.05
Maximum Overshoot (Mov) %	0.2	0.28	0.3	0.079	0.091	0.12
Error Steady State (ess) %	0.29	0.04	0.08	0.011	0.013	0.021

4.1.3 Uji *Tracking Setpoint* Sudut *Yaw* dan *Pitch*

Simulasi uji *tracking setpoint* dilakukan untuk mengetahui respon controller ketika dilakukan *tracking setpoint* pada saat bersamaan. Gambar 4.14 dan 4.15 adalah respon *tracking setpoint* pada sudut *yaw*, dari gambar tersebut dapat dilihat bahwasannya respon controller mengikuti perubahan pada setiap *tracking setpoint* yang dilakukan dalam rentang waktu 50 detik pada masing-masing pergantian *setpoint*. Gambar 4.16 dan 4.17 adalah respon *tracking setpoint* pada sudut *pitch*, dari gambar terlihat respon controller mengikuti perubahan *setpoint* yang diberikan dalam rentang waktu 50 detik pada setiap perubahan *setpointnya*.

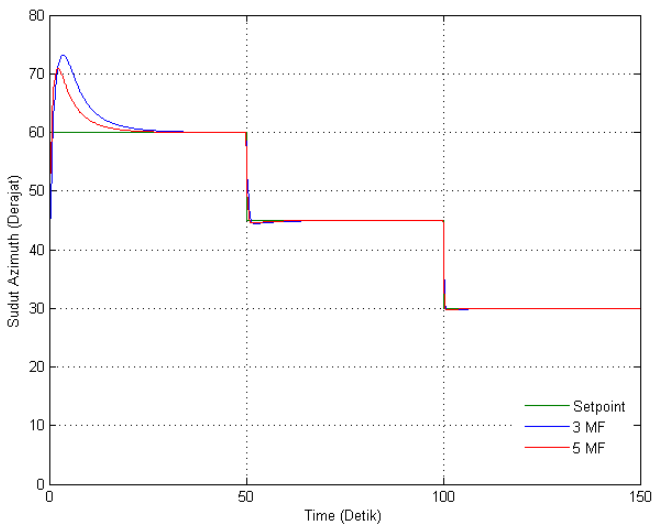


(a)

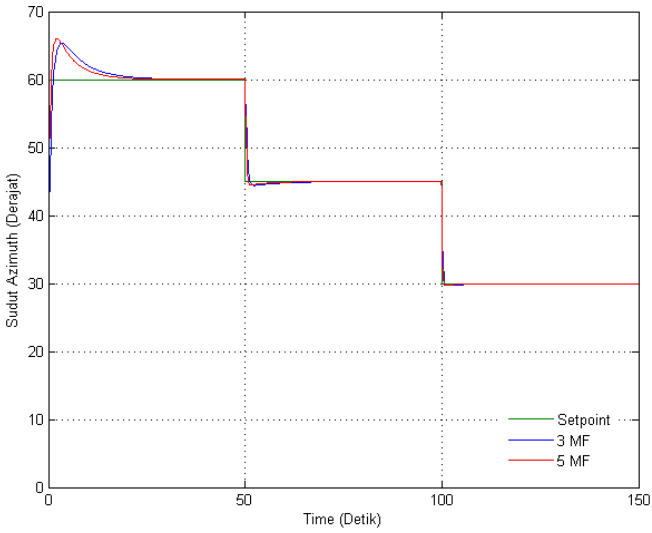


(b)

Gambar 4. 14 Respon *tracking setpoint* sudut yaw naik (a) dengan beban torsi 3.9 (b) tanpa beban torsi

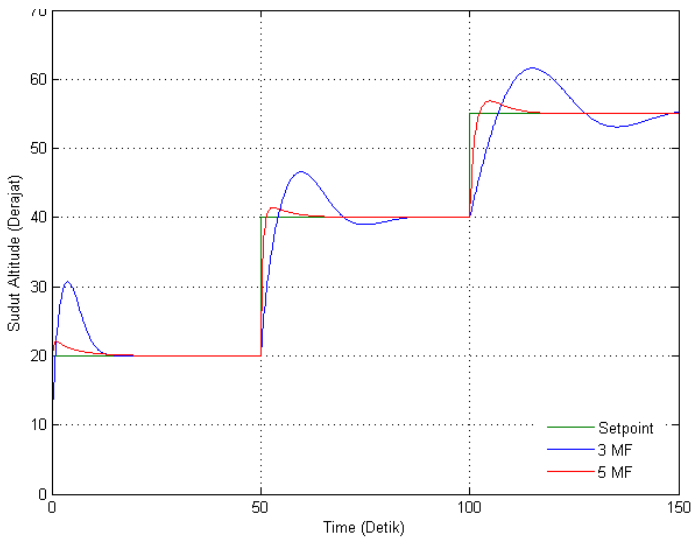


(b)

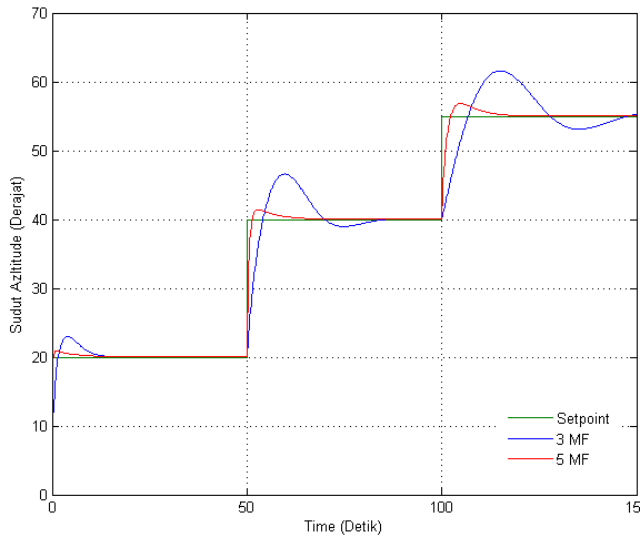


(b)

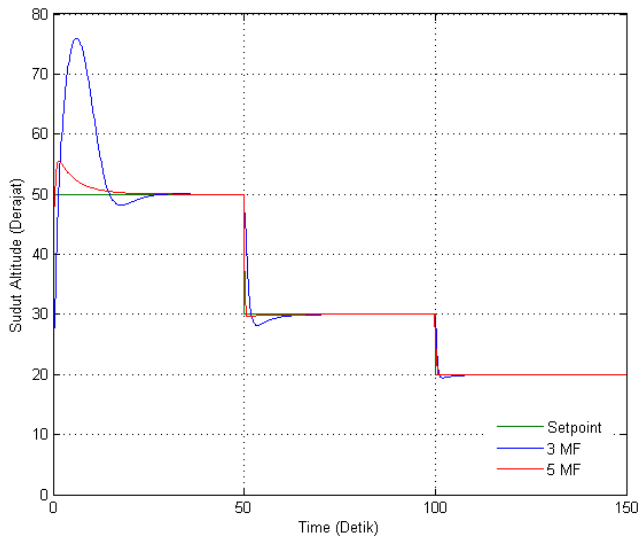
Gambar 4. 15 Respon *tracking setpoint* sudut yaw turun (a) dengan beban torsi 3.9 (b) tanpa beban torsi



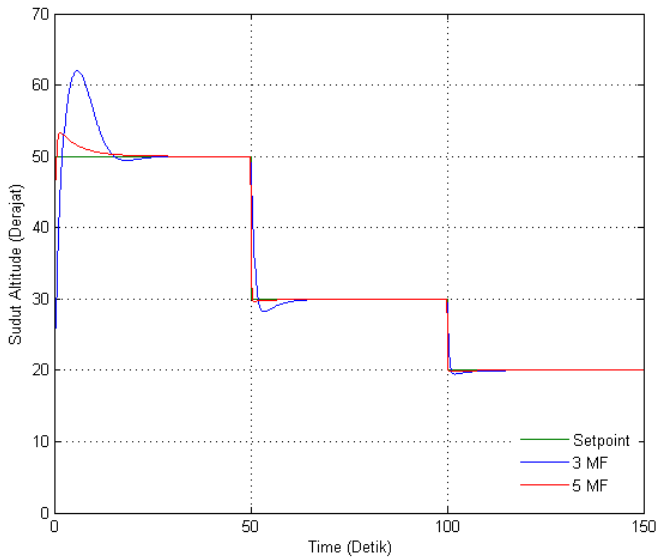
(a)



Gambar 4. 16 Respon *tracking setpoint* sudut *pitch* naik (a) dengan beban torsi 3.11 (b) tanpa beban torsi



(a)



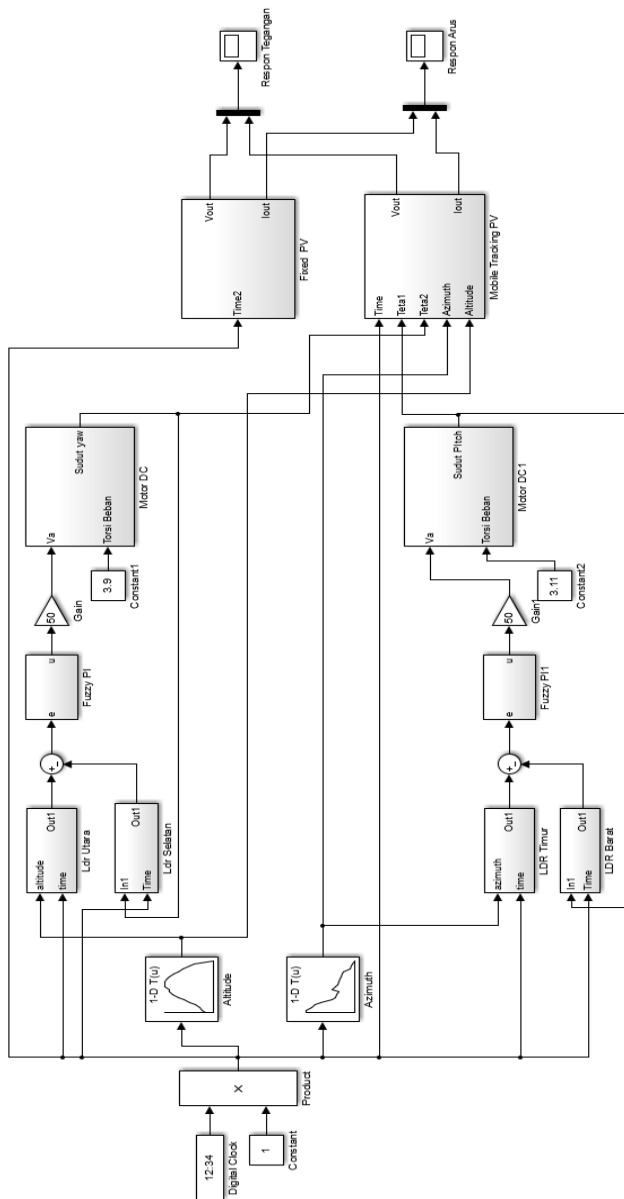
(b)

Gambar 4. 17 Respon *tracking setpoint* sudut *pitch* turun (a) dengan beban torsi 3.11 (b) tanpa beban torsi

4.2 Uji Performansi Keluaran PV

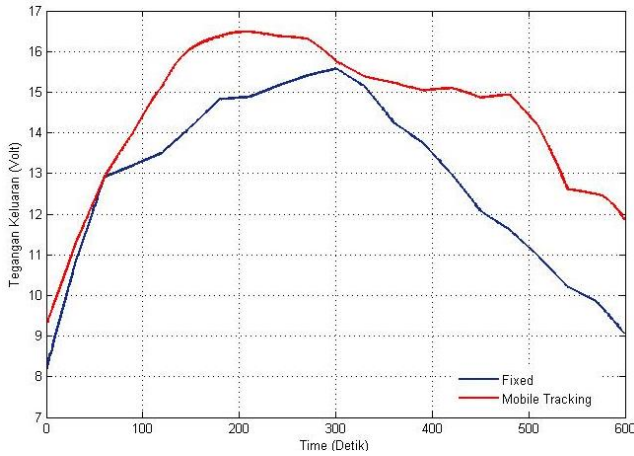
Uji performansi dilakukan untuk mengetahui respon kontrol yang telah dirancang pada sistem *mobile active solar tracker* yaitu pada 4.18. Simulasi dilakukan dalam rentang waktu pengambilan data selama 10 jam dimulai pukul 07.00 sampai dengan 17.00 dengan lokasi yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Data yang digunakan pada simulasi direpresentasikan ke dalam *look up table* dalam simulink matlab.

Simulasi dilakukan untuk mengetahui peningkatan performansi keluaran fotovoltaik dari sistem *mobile active solar tracker* yang telah dibuat. Peningkatan performansi terhadap keluaran berupa tegangan, arus dan daya yang dihasilkan, selain itu juga dihitung peningkatan efisiensi energi yang dapat dihasilkan oleh sistem yang telah dibuat.

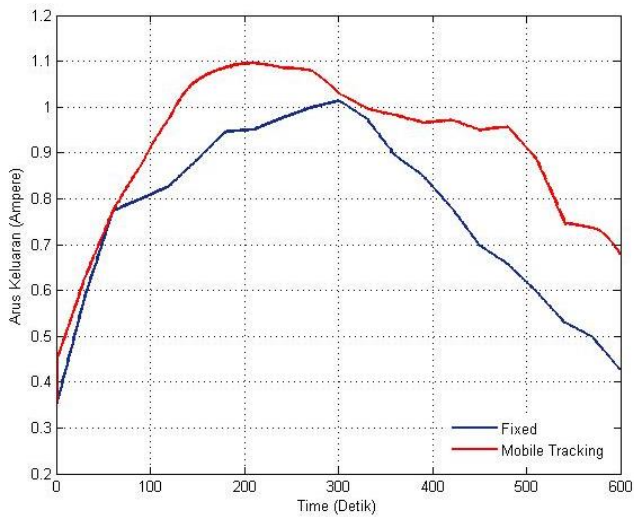


Gambar 4. 18 Simulink MATLAB uji perfomansi keluaran pv

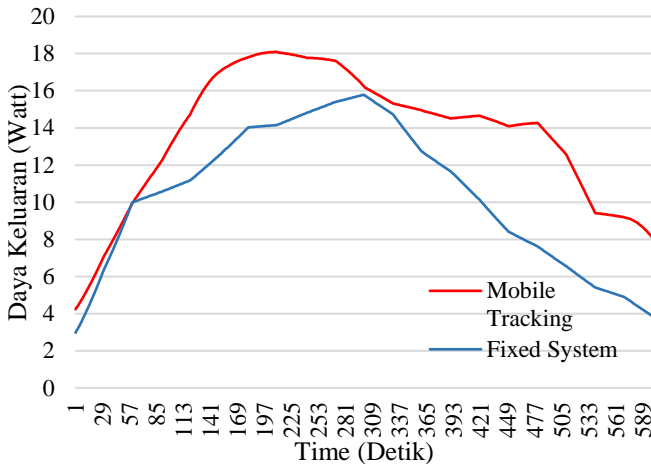
Simulasi yang telah dilakukan didapatkan nilai keluaran yang dihasilkan oleh PV dalam kondisi *fixed* dan *mobile tracking* yaitu pada Gambar 4.19, 4.20 dan 4.21



Gambar 4. 19 Tegangan yang dihasilkan oleh *mobile active solar tracker*



Gambar 4. 20 Arus yang dihasilkan oleh *mobile active solar tracker*



Gambar 4. 21 Daya Kelauran PV yang dihasilkan oleh *mobile active solar tracker*

Simulasi yang telah dilakukan menunjukkan hasil keluaran yaitu berupa nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh masing-masing sistem *fixed* dan *mobile tracking*. Tegangan yang dihasilkan oleh sistem *mobile tracking* dibandingkan dengan tegangan yang dihasilkan oleh *fixed system*. Gambar 4.19 menunjukkan tegangan yang dihasilkan oleh sistem *mobile tracking* meningkat jika dibandingkan dengan *fixed system*, sehingga sistem *mobile tracking* dapat dikatakan dapat meningkatkan hasil keluaran dari fotovoltaiik.

Daya yang dihasilkan oleh sistem *mobile tracking* meningkat jika dibandingkan dengan sistem *fixed*, terlihat pada Gambar 4.21 dimana kurva merah mewakili sistem *mobile tracking* dan kurva biru mewakili sistem *fixed*.

Efisiensi peningkatan energi dengan membandingkan PV dalam kondisi *fixed* dan *mobile tracking*. Peningkatan energi yang didapat oleh *mobile active solar tracker* sebesar 39,37%.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang telah didapatkan, maka diperoleh beberapa kesimpulan antara lain :

- a. Parameter-parameter dari beberapa komponen yang digunakan pada sistem *mobile active solar tracker* ini diperoleh melalui data-data hasil pengukuran langsung. Parameter tersebut diantaranya yaitu pada sensor LDR diketahui parameter berupa kuat pencahayaan matahari. Parameter motor DC yaitu konstanta tegangan (K_e), konstanta torsi (K_t), resistansi (R), induktansi (L), *viscous friction coefficient* (B_m), inersia motor (J_m) dan torsi motor (T_m). Parameter pada PV yaitu I_{sh} , R_{pv} , R_{sh} dan I_o .
- b. Kontrol Fuzzy PI dapat diimplementasikan pada *mobile active solar tracker* baik menggunakan 3 dan 5 jumlah keanggotaan. Indeks performansi terbaik menggunakan 5 jumlah keanggotaan, pada sudut yaw (60°) didapatkan nilai *rise time* (t_r) 1.36 detik, *settling time* (t_s) 23.06 detik, *maximum overshoot* 34.79% dan *error steady state* (ess) 0.28%, tegangan keluaran sensor LDR utara terhadap sensor LDR selatan 4.92 Volt dengan *rise time* (t_r) sebesar 0.0074 detik, *settling time* (t_s) 0.061 detik, *maximum overshoot* 0.274% dan *error steady state* (ess) 0.19%, sedangkan pada sudut pitch (30°) didapatkan nilai *rise time* (t_r) 0.34 detik, *settling time* (t_s) 9.17 detik, *maximum overshoot* 15.84% dan *error steady state* (ess) 0.17%. sebesar, tegangan keluaran sensor LDR barat terhadap sensor LDR timur sebesar 4.87 Volt dengan *rise time* (t_r) sebesar 0.0135 detik, *settling time* (t_s) 0.31 detik, *maximum overshoot* 0.76% dan *error steady state* (ess) 0.18%.
- c. Kontrol fuzzy PI yang telah dirancang dapat meningkatkan efisiensi energi sebesar 39,37 % .

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya yaitu, menambah jumlah *membership function* dengan *range* dari pembacaan sensor yang lebih kecil. Penggunaan PV yang memiliki spesifikasi lebih besar dari yang dipakai saat ini sehingga dapat menghasilkan efisiensi energi yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, I., Musyafa, A., & Soeprijanto, A. (2015). Design and Implementation of Active Two Axes Solar Tracking System Using Particle Swarm Optimization Based Fuzzy Logic Controller. *International Review on Modelling and Simulations (I.RE.MO.S.)*,.
- Al-Naima, F. M., Ali, R. S., & J, A. A. (2013). Solar Tracking System Design Based on GPS and Astronomical Equations. *IT-DREPS Conference & Exhibition*.
- Balabel, A. A., M, A., & A, S. F. (2013). Design and Performance of Solar Tracking Photovoltaic System . *International Journal of Control, Automation And System*, Vol 1 No 2.
- Coorporation, C. T. (2013). *Measuring Motor Parameter*. Hopkinton.
- Jain, D. S., & Cheema, S. S. (2012). *Simulation Studies on Dual Axis Solar Photovoltaic Panel Tracking System*. Patiala: Electrical & Instrumentation Engineering Department Thapar University.
- Kurnia, M. P. (2013). *Penelusuran Daya Maksimum Pada Panel Photovoltaic Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy Di Kota Surabaya*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Mairizwan, & Hendro. (2015). Perancangan dan Pembuatan Prototype Sistem Tracker Sel Surya untuk Mengikuti Arah Gerak Matahari. *Prosiding Simposium Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains*, 2.
- Manafeddin, N. (2010). DC Motor POsition Control Using Fuzzy Propotional-Derivative Controllers with Different Deffuzification Methods. *Turkish Journal Of Fuzzy Systems*.
- Nelson, J. (2003). *The Physics Of Solar Cell*. UK: Imperial Collage Press.
- Setiawan, B., Purnomo, H. M., & Ashari, M. (2009). Artificial Intelligent based Modeling of Mobile Solar Tracker for a Large Ship.

Understanding DC Motor. (n.d.).

Wahyudi, Setiawan, I., & Tigor, E. (2008). Tuning Parameter Kontrol Proportional-Integral Menggunakan Sugeno Fuzzy Inference System. *Transmisi Jurnal Teknik Elektro Jilid 10*, 97.

Zhao, L. H., Chongyang, W., & Hao, X. L. (2014). An Improved PV System Based on Dual Axis Solar Tracking and MPPT. *Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, China*.

LAMPIRAN

A. Lampiran Data Parameter Motor DC

Tabel A. 1 Pengambilan data untuk parameter K_e (konstanta tegangan) motor DC

RPM	RPM	Rad/s	Vemf	K_e (Volt.sec/rad)
150.1	0.368644	0.038585	1	25.9169577
488.7	1.200325	0.125634	2	15.91925529
819.3	2.012112	0.210601	3	14.24494188
1153	2.831758	0.296391	4	13.49569939
1489.3	3.65779	0.382849	5	13.05998887
1744.3	4.284068	0.448399	6	13.38093566
2137.7	5.250092	0.54951	7	12.73863127
2447.3	6.01063	0.629113	8	12.71632367
2885.3	7.086355	0.741705	9	12.13420222
3236.3	7.948408	0.831933	10	12.02019369
3590.3	8.817829	0.922933	11	11.91852814
3946	9.691343	1.014361	12	11.83011257
K_e				14.11465

Tabel A. 2 Pengambilan data untuk parameter K_t (konstanta torsi) motor DC

RPM	K_e		
RPM	(Volt/rpm)	K_t(Lb.in/A)	K_t(Nm/A)
0.368644	2.712641572	229.3600721	25.89661454
1.200325	1.666215387	140.8823359	15.90675969
2.012112	1.490970583	126.0649855	14.23376051
2.831758	1.41254987	119.4343341	13.48510613
3.65779	1.366945501	115.5783801	13.04973761
4.284068	1.400537932	118.4186972	13.37043248
5.250092	1.333310073	112.7344274	12.72863226
6.01063	1.330975211	112.5370095	12.70634217
7.086355	1.2700465	107.385347	12.12467765
7.948408	1.258113606	106.3763935	12.0107586
8.817829	1.247472612	105.476673	11.90917285
9.691343	1.238218449	104.6942123	11.82082669
K_t			14.1057

Tabel A. 3 Pengambilan data untuk parameter Jm (Inersia Motor) dan Bm (*Viscous Friction Coefficient*) motor DC

RPM	Omega	Arus	Kt	Tm	Jm	t	Bm
150.1	15.7605	0.125	14.1057	1.762946	0.111859	1.3	0.145416
488.7333	51.317	0.135	14.1057	1.903982	0.037102	1.32	0.048975
819.2667	86.023	0.143	14.1057	2.01681	0.023445	1.33	0.031182
1153	121.065	0.145	14.1057	2.045017	0.016892	1.48	0.025
1489.333	156.38	0.15	14.1057	2.115535	0.013528	1.57	0.021239
1744.333	183.155	0.155	14.1057	2.186053	0.011936	1.48	0.017665
2137.667	224.455	0.16	14.1057	2.256571	0.010054	1.66	0.016689
2447.333	256.97	0.165	14.1057	2.327089	0.009056	1.51	0.013674
2885.333	302.96	0.165	14.1057	2.327089	0.007681	1.9	0.014594
3236.333	339.815	0.17	14.1057	2.397607	0.007056	1.179	0.008319
3590.333	376.985	0.175	14.1057	2.468124	0.006547	2.21	0.014469
3946	414.33	0.18	14.1057	2.538642	0.006127	3.41	0.020893
					0.111859		0.145416

Tabel A. 4 Pengambilan data untuk parameter R (Resistansi) dan L (Induktansi) motor DC

No	R (ohm)	L (mH)	L (H)	No	R (ohm)	L (mH)	L (H)
1	8.501	3.7267	0.003727	17	8.378	3.7242	0.003724
2	8.466	3.7268	0.003727	18	8.372	3.7235	0.003724
3	8.456	3.7265	0.003727	19	8.365	3.7278	0.003728
4	8.45	3.7262	0.003726	20	8.363	3.7241	0.003724
5	8.444	3.7264	0.003726	21	8.36	3.7231	0.003723
6	8.439	3.7255	0.003726	22	8.358	3.7243	0.003724
7	8.436	3.7257	0.003726	23	8.354	3.7237	0.003724
8	8.432	3.7251	0.003725	24	8.351	3.7238	0.003724
9	8.425	3.7248	0.003725	25	8.348	3.7242	0.003724
10	8.417	3.7246	0.003725	26	8.346	3.7233	0.003723
11	8.412	3.7246	0.003725	27	8.344	3.7237	0.003724
12	8.403	3.7249	0.003725	28	8.341	3.7237	0.003724
13	8.389	3.7249	0.003725	29	8.739	3.7237	0.003724
14	8.385	3.7248	0.003725	30	8.367	3.7021	0.003702
15	8.384	3.7244	0.003724	31	8.174	3.7244	0.003724
16	8.38	3.7243	0.003724	32	8.336	3.7236	0.003724
					8.397	3.724	0.003724

B. Data Pengambilan Nilai Tegangan dan Resistansi Sensor LDR

Tabel B. 1 Data resistansi sensor LDR

Pukul	Kuat Pencahayaan (lux)	Resistansi (Ohm)			
		1	2	3	4
6:00	3760	947.67	946.33	947.67	959
6:15	9277	512.67	516.33	517.33	518.33
6:30	16487	433	433.93	433.99	439.16
6:45	18450	335.9	334.83	346	337.46
7:00	22633	328.96	323.06	327.66	326.5
7:15	23267	310.03	308.7	309	304.56
7:30	30633	316.27	314.56	319.67	314.7
7:45	29067	307.13	304.2	309.67	306.1
8:00	41433	360.4	362.7	363.93	364.33
8:15	37367	395	394.36	397	399.03
8:30	29533	296.53	297.77	230.67	238.77
8:45	58067	215.17	208.07	205.67	203.87
9:00	44533	238.53	218.9	225.67	236.83
9:15	22667	379.33	371.13	374	353.53
9:30	27800	384	374.07	364.43	366.47
9:45	70567	220.7	228.67	257	258.07
10:00	76867	121.07	172.3	147	149.23
10:15	89967	195.77	181.27	170	184.4
10:30	42400	190	105.57	106.33	105.5
10:45	85667	186.9	173.36	164.67	146.47
11:00	68867	183.8	172.6	165	148.1
11:15	19167	193.9	194.5	176.67	195.9
11:30	53067	406.67	402.8	407.33	409.87
11:45	77733	177.43	172.97	160.33	153.6
12:00	93633	182.73	172.8	159	152.33
12:15	66567	188.6	174.2	176	154.47
12:30	88067	193.43	186.53	186.33	182.07
12:45	80633	200.33	206.43	209	209.43
13:00	83367	199.43	197.77	177.33	156.4
13:15	76367	205.9	206.93	209	206.1
13:30	73633	244.57	248.2	257.67	268.57
13:45	67400	217.57	218.97	211.33	217.4
14:00	48900	258.73	287.93	279.67	272.5

14:15	46800	344.7	349.97	343.33	350.9
14:30	12167	306.67	307.5	303	302.57
14:45	12300	354	337.4	328.33	358.5
15:00	9137	403.33	404.37	409	402
15:15	3310	1036.33	1026	1035	1036
15:30	4757	412.33	419.37	413.67	417.33
15:45	11300	609	606.5	607.67	623.67
16:00	7710	668.33	662.23	669.33	663.67
16:15	6593	469	479.33	482	491.67
16:30	11027	438.67	432.83	443.67	432.5
16:45	6213	596	561.27	576.67	548
17:00	40567	863.33	857.67	873.5	863

Tabel B. 2 Data tegangan sensor LDR

Pukul	Kuat Pencahayaan (lux)	V (Volt)			
		1	2	3	4
6:00	3760	5.31	5.23	5.28	5.33
6:15	9277	5.31	5.29	5.29	5.29
6:30	16487	5.78	5.67	5.5	5.69
6:45	18450	5.37	5.91	5.31	5.42
7:00	22633	5.8	5.8	5.86	5.89
7:15	23267	5.41	5.42	5.48	5.48
7:30	30633	6	6.41	6.39	6.42
7:45	29067	6.6	6.61	6.54	6.44
8:00	41433	6.38	6.44	6.36	6.32
8:15	37367	6.48	6.3	6.24	6.41
8:30	29533	6.32	6.36	6.38	6.37
8:45	58067	6.74	6.77	6.71	6.66
9:00	44533	6.53	6.57	6.56	6.59
9:15	22667	6.61	6.63	6.61	6.68
9:30	27800	7.75	7.73	7.72	7.74
9:45	70567	6.81	6.92	6.96	6.58
10:00	76867	7.01	7.09	7.07	7.02
10:15	89967	6.93	6.92	6.94	6.33
10:30	42400	7.91	7.82	7.77	7.92
10:45	85667	7.91	7.92	7.94	7.82
11:00	68867	7.02	7.03	7.06	7.09
11:15	19167	7.93	7.9	7.83	7.93
11:30	53067	7.55	7.63	7.53	7.52
11:45	77733	7	7.02	7.06	7.03

12:00	93633	7.94	7.9	7.95	7.92
12:15	66567	7.98	7.89	7.93	7.84
12:30	88067	7.73	7.87	7.85	7.83
12:45	80633	7.84	7.84	7.72	7.91
13:00	83367	6.94	7.19	6.91	7.11
13:15	76367	6.89	7.89	6.86	7.17
13:30	73633	6.46	7.12	6.47	7.17
13:45	67400	6.6	7.68	6.57	7
14:00	48900	6.42	6.73	6.32	6.95
14:15	46800	6.51	6.64	6.41	6.68
14:30	12167	7.31	7.37	7.71	7.42
14:45	12300	7.73	7.74	7.84	7.78
15:00	9137	5.17	5.31	5.52	5.88
15:15	3310	5.18	5.49	5.59	5.62
15:30	4757	5.66	5.47	5.88	5.39
15:45	11300	7.51	7.45	7.41	7.52
16:00	7710	5.43	5.4	5.33	5.56
16:15	6593	5.69	5.31	5.17	5.45
16:30	11027	4.94	4.43	4.56	4.53
16:45	6213	5.23	5.13	5.23	5.21
17:00	5420	5.24	5.16	5.12	5.14

C. Data Photovoltaic

Tabel C. 1 Data keluaran PV dalam sehari

Pukul	Irradiasi	Tegangan	Arus
7:00	571.03	20	0.84
7:30	571.03	19.8	0.86
8:00	591.92	19.7	0.89
8:30	731.20	19.4	1.15
9:00	759.05	19.2	1.2
9:30	898.33	20.4	1.39
10:00	612.81	19.3	0.48
10:30	1065.46	19.2	1.51
11:00	188.02	19	0.62
11:30	111.42	18.5	0.52
12:00	821.73	20.3	0.79
12:30	766.02	19.9	1.17
13:00	146.24	18.3	0.72

13:30	188.02	18.4	0.78
14:00	76.60	18.6	0.53
14:30	90.53	18.7	0.64
15:00	55.71	18.3	0.61
15:30	13.93	16.61	0.33
16:00	6.96	16.66	0.13
16:30	13.93	17.17	0.33
17:00	20.89	17.2	0.34

D. Data untuk simulasi uji performansi keluaran PV

Tabel D. 1 Data *Mobile Active Solar Tracker*

Pukul	Detik	Altitude	Azimuth	Suhu	Irradiasi 1	Irradiasi 2
7:00	0	13.11	62.82	27.5	54.96	580.62
7:30	30	16.22	63.3	29	80.98	725.51
8:00	60	19.31	57.682	32.4	85.64	774.77
8:30	90	23.51	54.6	39.8	89.12	798.22
9:00	120	30.411	49.137	40.16	91.42	804.74
9:30	150	36.48	38.6	41.15	92.22	830.35
10:00	180	42.44	35.616	43.32	93.81	855.27
10:30	210	49.71	35.292	45.55	95.41	881.31
11:00	240	52.371	33.273	48.66	96.1	893.93
11:30	270	53.31	38.6	48.99	94.25	870.25
12:00	300	58.6	35.67	49.26	95.31	869.83
12:30	330	58.4	34.21	49.54	93.51	850.15
13:00	360	58.2	32.99	49.81	91.55	846.92
13:30	390	55.4	31.66	46.71	89.25	825.25
14:00	420	52.6	30.98	43.78	88.72	818.47
14:30	450	48.31	30.12	40.21	82.21	790.5
15:00	480	42.33	29.01	36.77	78.02	784.2
15:30	510	38.31	22.21	36.45	70.21	750.25
16:00	540	30.12	21.55	36.28	65.07	625.63
16:30	570	25.24	20.31	30.21	60.22	620.12
17:00	600	3.69	18.33	23.45	55	612

Tabel D. 2 Data *Fixed Solar Tracker*

Pukul	Detik	Temperatur	Irradiasi
-------	-------	------------	-----------

7:00	0	27.5	352
7:30	30	30.15	540
8:00	60	32.4	691
8:30	90	38.56	712
9:00	120	40.16	734
9:30	150	42.25	780
10:00	180	43.32	829
10:30	210	46.88	833
11:00	240	48.66	853
11:30	270	48.21	871
12:00	300	49.26	883
12:30	330	49.44	851
13:00	360	49.81	787
13:30	390	45.51	751
14:00	420	43.78	696
14:30	450	40.12	630
15:00	480	36.77	597
15:30	510	36.33	550
16:00	540	36.28	496
16:30	570	25.55	470
17:00	600	23.45	412

E. Data hasil simulasi uji performansi keluaran PV

Tabel E. 1 Data tegangan hasil simulasi uji performansi keluaran PV

Detik	Fixed	Mobile tracking	Detik	Fixed	Mobile tracking
1	8.295805	9.346227962	301	15.55976	15.73792976
2	8.382749	9.407647376	302	15.54496	15.72479468
3	8.469694	9.469734575	303	15.53017	15.71295722
4	8.556638	9.532409598	304	15.51537	15.70111304
5	8.643582	9.595608577	305	15.50057	15.68915446
6	8.730525	9.659276963	306	15.48577	15.67708968
7	8.817469	9.723368747	307	15.47097	15.66493524
8	8.904413	9.787844738	308	15.45617	15.65270582
9	8.991357	9.852671989	309	15.44137	15.64041373
10	9.0783	9.917820913	310	15.42657	15.6280692
11	9.165244	9.98326653	311	15.41177	15.61568075
12	9.252187	10.04898959	312	15.39697	15.60325544

13	9.339131	10.11496858	313	15.38217	15.59079917
14	9.426074	10.18119167	314	15.36738	15.57831683
15	9.513018	10.2476404	315	15.35258	15.56581249
16	9.599961	10.31430861	316	15.33778	15.55328956
17	9.686904	10.38117948	317	15.32298	15.54075086
18	9.773847	10.44825168	318	15.30818	15.52819874
19	9.86079	10.51550886	319	15.29338	15.51563516
20	9.947733	10.58295414	320	15.27858	15.50306176
21	10.03468	10.65057056	321	15.26378	15.49047991
22	10.12162	10.71836545	322	15.24898	15.47789073
23	10.20856	10.78632048	323	15.23418	15.46529517
24	10.2955	10.85444714	324	15.21939	15.45269404
25	10.38245	10.92272493	325	15.20459	15.440088
26	10.46939	10.99116958	326	15.18979	15.42747761
27	10.55633	11.05975774	327	15.17499	15.41486334
28	10.64328	11.12850934	328	15.16019	15.40224557
29	10.73022	11.19738308	329	15.14539	15.38962462
30	10.81716	11.26645006	330	15.13059	15.37700079
31	10.88699	11.32194773	331	15.10099	15.37191988
32	10.95682	11.3766623	332	15.07139	15.36682577
33	11.02665	11.43135378	333	15.0418	15.36172656
34	11.09648	11.48603361	334	15.0122	15.35662274
35	11.16632	11.54069966	335	14.9826	15.3515144
36	11.23615	11.59534904	336	14.953	15.3464018
37	11.30598	11.64997899	337	14.9234	15.34128486
38	11.37581	11.70458678	338	14.89381	15.3361636
39	11.44564	11.75916977	339	14.86421	15.33103824
40	11.51547	11.8137254	340	14.83461	15.3259087
41	11.5853	11.86825115	341	14.80501	15.32077495
42	11.65513	11.92274451	342	14.77541	15.3156372
43	11.72496	11.97720307	343	14.74582	15.31049536
44	11.79479	12.03162438	344	14.71622	15.30534939
45	11.86462	12.08600609	345	14.68662	15.30019949
46	11.93445	12.1403458	346	14.65702	15.29504555
47	12.00428	12.1946412	347	14.62742	15.28988753
48	12.07411	12.24888991	348	14.59782	15.28472564
49	12.14394	12.30308966	349	14.56823	15.27955965
50	12.21377	12.35723809	350	14.53863	15.2743898
51	12.2836	12.41133294	351	14.50903	15.26921596
52	12.35343	12.46537189	352	14.47943	15.2640381
53	12.42326	12.51935269	353	14.44983	15.25885641
54	12.49309	12.57327299	354	14.42024	15.2536707
55	12.56292	12.62713057	355	14.39064	15.24848109
56	12.63276	12.68092314	356	14.36104	15.24328756
57	12.70259	12.73464753	357	14.33144	15.23809012

58	12.77242	12.78830619	358	14.30184	15.23288876
59	12.84224	12.84188704	359	14.27225	15.2276835
60	12.91207	12.89539925	360	14.24265	15.22247434
61	12.92177	12.92923971	361	14.22601	15.20911046
62	12.93147	12.96772106	362	14.20937	15.20309767
63	12.94117	13.00611143	363	14.19274	15.19765458
64	12.95086	13.04440057	364	14.1761	15.19217123
65	12.96056	13.0825892	365	14.15946	15.18660544
66	12.97026	13.12067691	366	14.14283	15.18096381
67	12.97995	13.15866305	367	14.12619	15.17525541
68	12.98965	13.19654695	368	14.10955	15.16948804
69	12.99935	13.23432784	369	14.09292	15.16366813
70	13.00904	13.27200497	370	14.07628	15.15780103
71	13.01874	13.30957757	371	14.05964	15.15189112
72	13.02844	13.34704479	372	14.043	15.14594205
73	13.03813	13.38440577	373	14.02637	15.13995681
74	13.04783	13.42165971	374	14.00973	15.13393789
75	13.05753	13.4588057	375	13.99309	15.12788735
76	13.06722	13.49584287	376	13.97645	15.12180689
77	13.07692	13.53277032	377	13.95982	15.11569793
78	13.08662	13.56958716	378	13.94318	15.10956163
79	13.09631	13.6062925	379	13.92654	15.10339897
80	13.10601	13.64289409	380	13.90991	15.09721077
81	13.11571	13.67936528	381	13.89327	15.09099769
82	13.1254	13.71573968	382	13.87663	15.08476031
83	13.1351	13.7519803	383	13.85999	15.07849911
84	13.1448	13.78812444	384	13.84336	15.07221446
85	13.15449	13.82413071	385	13.82672	15.06590672
86	13.16419	13.86004095	386	13.81008	15.05957616
87	13.17389	13.89580908	387	13.79344	15.05322302
88	13.18358	13.93148173	388	13.77681	15.04684751
89	13.19328	13.96700783	389	13.76017	15.0404498
90	13.20298	14.00243922	390	13.74353	15.03403005
91	13.21315	14.03877687	391	13.7181	15.03645884
92	13.22332	14.0834295	392	13.69267	15.03888359
93	13.23349	14.12758201	393	13.66724	15.04128655
94	13.24366	14.171257	394	13.64181	15.04366495
95	13.25383	14.21444214	395	13.61638	15.04601889
96	13.264	14.25714591	396	13.59095	15.04834815
97	13.27417	14.29935738	397	13.56551	15.0506536
98	13.28434	14.34108376	398	13.54008	15.05293318
99	13.29451	14.38231228	399	13.51465	15.05518996
100	13.30468	14.42305247	400	13.48922	15.05742263
101	13.31485	14.46330145	401	13.46379	15.0596312

102	13.32502	14.50304933	402	13.43836	15.06181571
103	13.33519	14.54229849	403	13.41293	15.06397616
104	13.34536	14.58104663	404	13.3875	15.06611258
105	13.35553	14.61929187	405	13.36207	15.068225
106	13.3657	14.65703217	406	13.33664	15.07031342
107	13.37587	14.69426553	407	13.3112	15.07237787
108	13.38604	14.73098813	408	13.28577	15.07441836
109	13.39621	14.76720086	409	13.26034	15.07643491
110	13.40638	14.80290134	410	13.23491	15.07842753
111	13.41655	14.83808682	411	13.20948	15.08039624
112	13.42672	14.87275534	412	13.18405	15.08234105
113	13.43689	14.90690473	413	13.15862	15.08426198
114	13.44706	14.94053337	414	13.13319	15.08615902
115	13.45724	14.9736392	415	13.10775	15.08803221
116	13.46741	15.00622019	416	13.08232	15.08988155
117	13.47758	15.03827308	417	13.05689	15.09170704
118	13.48775	15.06980186	418	13.03146	15.09350871
119	13.49792	15.10079626	419	13.00603	15.09528655
120	13.50809	15.1312608	420	12.9806	15.0970406
121	13.52936	15.17921846	421	12.95008	15.08634453
122	13.55062	15.22379555	422	12.91957	15.07926332
123	13.57189	15.26744048	423	12.88906	15.07218679
124	13.59316	15.31014837	424	12.85854	15.06502101
125	13.61443	15.35191311	425	12.82803	15.05776485
126	13.6357	15.39272773	426	12.79752	15.05042207
127	13.65696	15.43258592	427	12.767	15.04299347
128	13.67823	15.47148132	428	12.73649	15.03548744
129	13.6995	15.50940776	429	12.70597	15.02790376
130	13.72077	15.54635874	430	12.67546	15.02024342
131	13.74204	15.58232956	431	12.64495	15.01250549
132	13.76331	15.6173134	432	12.61443	15.00469913
133	13.78457	15.65130492	433	12.58392	14.99681586
134	13.80584	15.68429855	434	12.55341	14.98886598
135	13.82711	15.71628887	435	12.52289	14.98084371
136	13.84838	15.74727054	436	12.49238	14.97275045
137	13.86965	15.77723836	437	12.46186	14.96459
138	13.89092	15.80618719	438	12.43135	14.95636108
139	13.91218	15.83411208	439	12.40083	14.9480644
140	13.93345	15.86100815	440	12.37032	14.93970038
141	13.95472	15.88687022	441	12.33981	14.93126941
142	13.97599	15.91169418	442	12.30929	14.92277187
143	13.99726	15.93547483	443	12.27878	14.91420808
144	14.01852	15.9582082	444	12.24826	14.90557837
145	14.03979	15.97988947	445	12.21775	14.89688304
146	14.06106	16.00051439	446	12.18723	14.88812235

147	14.08233	16.02007897	447	12.15672	14.87929658
148	14.1036	16.03857887	448	12.12621	14.87040598
149	14.12486	16.05601061	449	12.09569	14.86145081
150	14.14613	16.07236956	450	12.06518	14.8524313
151	14.16879	16.08600701	451	12.04992	14.85320179
152	14.19145	16.10076598	452	12.03467	14.85730368
153	14.21411	16.11523929	453	12.01942	14.86131783
154	14.23676	16.12939136	454	12.00416	14.86520123
155	14.25942	16.14322175	455	11.98891	14.86897458
156	14.28208	16.15673055	456	11.97365	14.87262219
157	14.30474	16.16991774	457	11.9584	14.87616133
158	14.3274	16.18278312	458	11.94315	14.87959221
159	14.35005	16.19532642	459	11.92789	14.8829039
160	14.37271	16.20754722	460	11.91264	14.88611643
161	14.39537	16.21944506	461	11.89739	14.88921088
162	14.41803	16.23101938	462	11.88213	14.89220409
163	14.44069	16.24226961	463	11.86688	14.89509553
164	14.46335	16.25319508	464	11.85162	14.89787178
165	14.486	16.26379514	465	11.83637	14.90055386
166	14.50866	16.27406907	466	11.82112	14.90312047
167	14.53132	16.28401615	467	11.80586	14.90558927
168	14.55398	16.29363564	468	11.79061	14.90795933
169	14.57664	16.30292678	469	11.77536	14.91021742
170	14.59929	16.31188881	470	11.7601	14.91237999
171	14.62195	16.32052095	471	11.74485	14.91443026
172	14.64461	16.32882244	472	11.72959	14.91638738
173	14.66727	16.3367925	473	11.71434	14.91823676
174	14.68992	16.34443037	474	11.69909	14.91999134
175	14.71258	16.35173524	475	11.68383	14.92163283
176	14.73524	16.35870638	476	11.66858	14.92318333
177	14.7579	16.36534299	477	11.65332	14.92462722
178	14.78056	16.37164435	478	11.63807	14.92596948
179	14.80321	16.37760967	479	11.62282	14.92721597
180	14.82587	16.38323821	480	11.60756	14.92835326
181	14.82771	16.391465	481	11.58583	14.90738822
182	14.82955	16.39877093	482	11.56409	14.882312
183	14.83139	16.40582747	483	11.54235	14.85712409
184	14.83323	16.41261587	484	11.52062	14.83190491
185	14.83507	16.41913877	485	11.49888	14.80666179
186	14.83691	16.42539443	486	11.47715	14.78139228
187	14.83875	16.43138573	487	11.45541	14.75609423
188	14.84059	16.4371041	488	11.43368	14.73076807
189	14.84243	16.44255924	489	11.41194	14.70541182
190	14.84427	16.44774144	490	11.39021	14.68002534

191	14.84611	16.45266257	491	11.36847	14.65460919
192	14.84795	16.45730201	492	11.34674	14.62916199
193	14.84979	16.46167971	493	11.325	14.60368396
194	14.85163	16.46578083	494	11.30326	14.57817505
195	14.85347	16.46961657	495	11.28153	14.55263546
196	14.85531	16.47317496	496	11.25979	14.5270654
197	14.85715	16.47646336	497	11.23806	14.50146514
198	14.85899	16.47947947	498	11.21632	14.47583499
199	14.86083	16.4822216	499	11.19459	14.45017533
200	14.86267	16.48468806	500	11.17285	14.42448655
201	14.86451	16.4868822	501	11.15112	14.3987691
202	14.86636	16.48879892	502	11.12938	14.37302345
203	14.8682	16.49044287	503	11.10764	14.3472501
204	14.87004	16.4918088	504	11.08591	14.32144956
205	14.87188	16.49289796	505	11.06417	14.29562237
206	14.87372	16.49370981	506	11.04244	14.26976908
207	14.87556	16.49424135	507	11.0207	14.24389023
208	14.8774	16.49449767	508	10.99897	14.21798642
209	14.87924	16.49447448	509	10.97723	14.1920582
210	14.88108	16.49417365	510	10.9555	14.16610618
211	14.89032	16.48383411	511	10.93052	14.11008324
212	14.89956	16.481537	512	10.90555	14.06254673
213	14.90881	16.47931283	513	10.88057	14.01482598
214	14.91805	16.47695711	514	10.8556	13.96675556
215	14.9273	16.47447082	515	10.83063	13.91832261
216	14.93654	16.47185832	516	10.80565	13.86953282
217	14.94579	16.46912446	517	10.78068	13.82039736
218	14.95503	16.46627242	518	10.75571	13.77092097
219	14.96427	16.46330588	519	10.73073	13.72110925
220	14.97352	16.46022696	520	10.70576	13.67097183
221	14.98276	16.45703847	521	10.68078	13.62051311
222	14.99201	16.45374178	522	10.65581	13.56973598
223	15.00125	16.45033906	523	10.63084	13.51864778
224	15.0105	16.44683114	524	10.60586	13.46725279
225	15.01974	16.44321973	525	10.58089	13.41555348
226	15.02898	16.43950526	526	10.55592	13.36355577
227	15.03823	16.43568912	527	10.53094	13.31126357
228	15.04747	16.43177143	528	10.50597	13.25867927
229	15.05672	16.42775336	529	10.48099	13.20580603
230	15.06596	16.42363482	530	10.45602	13.15265336
231	15.07521	16.41941682	531	10.43105	13.09921797
232	15.08445	16.41509908	532	10.40607	13.04550698
233	15.09369	16.41068252	533	10.3811	12.99152215
234	15.10294	16.40616675	534	10.35613	12.93726864
235	15.11218	16.40155258	535	10.33115	12.88274841

236	15.12143	16.39683955	536	10.30618	12.82796628
237	15.13067	16.39202843	537	10.2812	12.77292447
238	15.13991	16.38711866	538	10.25623	12.7176275
239	15.14916	16.382111	539	10.23126	12.66207788
240	15.1584	16.37700484	540	10.20628	12.60627967
241	15.16673	16.37198193	541	10.19428	12.60551884
242	15.17505	16.37136425	542	10.18228	12.60195586
243	15.18338	16.37080196	543	10.17028	12.59834985
244	15.1917	16.3701008	544	10.15828	12.59471111
245	15.20003	16.36925773	545	10.14627	12.59103856
246	15.20836	16.36827774	546	10.13427	12.58733147
247	15.21668	16.36716539	547	10.12227	12.58358942
248	15.22501	16.36592445	548	10.11027	12.57981186
249	15.23333	16.36455805	549	10.09827	12.57599824
250	15.24166	16.36306883	550	10.08626	12.57214859
251	15.24998	16.36145897	551	10.07426	12.56826227
252	15.25831	16.35973031	552	10.06226	12.56433962
253	15.26663	16.35788439	553	10.05026	12.56037987
254	15.27496	16.35592252	554	10.03826	12.55638381
255	15.28329	16.35384581	555	10.02625	12.55235195
256	15.29161	16.35165521	556	10.01425	12.54828256
257	15.29994	16.34935152	557	10.00225	12.54417606
258	15.30826	16.34693544	558	9.990247	12.54003259
259	15.31659	16.3444076	559	9.978244	12.53585219
260	15.32491	16.34176853	560	9.966242	12.53163629
261	15.33324	16.33901869	561	9.954239	12.52738257
262	15.34156	16.33615852	562	9.942237	12.52309343
263	15.34989	16.3331884	563	9.930234	12.51876761
264	15.35821	16.33010868	564	9.918232	12.51440524
265	15.36654	16.32691968	565	9.906229	12.51000667
266	15.37487	16.3236217	566	9.894227	12.50557197
267	15.38319	16.32021502	567	9.882224	12.50110124
268	15.39152	16.3166999	568	9.870221	12.4965946
269	15.39984	16.31307663	569	9.858219	12.49205214
270	15.40817	16.30934537	570	9.846216	12.48747397
271	15.41371	16.3024457	571	9.819395	12.47550658
272	15.41926	16.28776468	572	9.792575	12.46993521
273	15.42481	16.2724856	573	9.765754	12.46317199
274	15.43035	16.2569608	574	9.738933	12.45522102
275	15.4359	16.24120301	575	9.712113	12.44609065
276	15.44145	16.22520851	576	9.685292	12.43578703
277	15.44699	16.20897342	577	9.658471	12.42431559
278	15.45254	16.19249433	578	9.631651	12.4116814
279	15.45809	16.17576841	579	9.60483	12.39788929

280	15.46363	16.15879321	580	9.578009	12.3829439
281	15.46918	16.1415667	581	9.551188	12.36684955
282	15.47473	16.1240872	582	9.524368	12.34961082
283	15.48027	16.10635331	583	9.497547	12.33123289
284	15.48582	16.0883639	584	9.470726	12.31171835
285	15.49137	16.07011805	585	9.443905	12.29107434
286	15.49691	16.05161504	586	9.417084	12.26930253
287	15.50246	16.03285433	587	9.390264	12.24641023
288	15.508	16.0138355	588	9.363443	12.22240157
289	15.51355	15.99455827	589	9.336622	12.19728145
290	15.5191	15.97502248	590	9.309801	12.17105461
291	15.52464	15.95522804	591	9.28298	12.14372969
292	15.53019	15.93517497	592	9.256159	12.11530463
293	15.53574	15.91486335	593	9.229338	12.08578988
294	15.54128	15.89429331	594	9.202517	12.05519168
295	15.54683	15.87346506	595	9.175696	12.02351505
296	15.55238	15.85237883	596	9.148875	11.99076521
297	15.55792	15.83103492	597	9.122054	11.95695537
298	15.56347	15.80943365	598	9.095233	11.92207061
299	15.56902	15.78757537	599	9.068412	11.8861389
300	15.57456	15.76546046	600	9.041591	11.84915967

Tabel E. 2 Data arus hasil simulasi uji performansi keluaran PV

Detik	fixed	Mobile tracking	Detik	fixed	Mobile tracking
1	0.357829	0.453098088	301	1.01231	1.028479159
2	0.365662	0.458626551	302	1.010976	1.027296914
3	0.373495	0.464215119	303	1.009643	1.026231466
4	0.381328	0.469856598	304	1.00831	1.025165414
5	0.389161	0.475545236	305	1.006977	1.024089064
6	0.396994	0.481276126	306	1.005644	1.023003156
7	0.404827	0.487045126	307	1.00431	1.021909176
8	0.41266	0.492848707	308	1.002977	1.020808449
9	0.420493	0.498683905	309	1.001644	1.01970208
10	0.428326	0.504548057	310	1.000311	1.018590992
11	0.436159	0.510438914	311	0.998977	1.01747595
12	0.443992	0.516354743	312	0.997644	1.016357591
13	0.451825	0.522293607	313	0.996311	1.015236444
14	0.459658	0.528254444	314	0.994978	1.014112952
15	0.467491	0.534235589	315	0.993644	1.012987479
16	0.475324	0.54023649	316	0.992311	1.011860333
17	0.483157	0.546255632	317	0.990978	1.010731767
18	0.49099	0.552292897	318	0.989645	1.009601993
19	0.498823	0.55834681	319	0.988312	1.008471188

20	0.506656	0.564417654	320	0.986978	1.0073395
21	0.514489	0.570503903	321	0.985645	1.00620705
22	0.522322	0.576606215	322	0.984312	1.00507394
23	0.530155	0.582722942	323	0.982979	1.003940257
24	0.537988	0.588855116	324	0.981645	1.002806072
25	0.545821	0.595000893	325	0.980312	1.001671446
26	0.553654	0.60116169	326	0.978979	1.000536428
27	0.561487	0.607335404	327	0.977646	0.999401059
28	0.56932	0.613523829	328	0.976312	0.998265377
29	0.577153	0.619723248	329	0.974979	0.997129408
30	0.584986	0.625940059	330	0.973646	0.99599318
31	0.591277	0.630935717	331	0.97098	0.995535881
32	0.597569	0.635860887	332	0.968313	0.995077395
33	0.60386	0.64078398	333	0.965647	0.994618449
34	0.610151	0.645706024	334	0.96298	0.994159089
35	0.616443	0.650626828	335	0.960314	0.993699322
36	0.622734	0.655546132	336	0.957647	0.99323917
37	0.629025	0.660463686	337	0.954981	0.992778629
38	0.635317	0.665379245	338	0.952314	0.992317699
39	0.641608	0.670292574	339	0.949648	0.9918564
40	0.647899	0.675203438	340	0.946981	0.991394723
41	0.654191	0.680111613	341	0.944315	0.990932669
42	0.660482	0.685016874	342	0.941649	0.990470255
43	0.666773	0.689919002	343	0.938982	0.990007472
44	0.673064	0.694817777	344	0.936316	0.989544317
45	0.679356	0.699712988	345	0.933649	0.989080809
46	0.685647	0.704604418	346	0.930983	0.988616937
47	0.691938	0.70949186	347	0.928316	0.988152698
48	0.69823	0.714375099	348	0.92565	0.987688111
49	0.704521	0.719253932	349	0.922983	0.987223154
50	0.710812	0.724128145	350	0.920317	0.98675785
51	0.717103	0.728997536	351	0.91765	0.986292188
52	0.723395	0.733861895	352	0.914984	0.985826162
53	0.729686	0.738721019	353	0.912318	0.985359793
54	0.735977	0.743574699	354	0.909651	0.984893061
55	0.742268	0.748422734	355	0.906985	0.98442598
56	0.74856	0.753264916	356	0.904318	0.983958544
57	0.754851	0.758100962	357	0.901652	0.983490757
58	0.761142	0.762931092	358	0.898985	0.983022617
59	0.767433	0.767754218	359	0.896319	0.982554126
60	0.773724	0.772571166	360	0.893652	0.982085283
61	0.774599	0.775617911	361	0.892153	0.980882079
62	0.775473	0.779082378	362	0.890654	0.98034054
63	0.776347	0.782538656	363	0.889155	0.979850277

64	0.777221	0.785985822	364	0.887655	0.979356391
65	0.778096	0.789423942	365	0.886156	0.978855086
66	0.77897	0.792852978	366	0.884657	0.978346953
67	0.779844	0.796272872	367	0.883157	0.977832811
68	0.780719	0.799683563	368	0.881658	0.977313361
69	0.781593	0.803084983	369	0.880159	0.976789182
70	0.782467	0.806477063	370	0.878659	0.976260755
71	0.783341	0.809859735	371	0.87716	0.975728476
72	0.784216	0.813232921	372	0.875661	0.975192671
73	0.78509	0.816596545	373	0.874161	0.97465361
74	0.785964	0.819950533	374	0.872662	0.974111519
75	0.786838	0.823294806	375	0.871163	0.973566581
76	0.787712	0.826629284	376	0.869664	0.97301895
77	0.788587	0.829953887	377	0.868164	0.972468753
78	0.789461	0.833268533	378	0.866665	0.971916096
79	0.790335	0.836573143	379	0.865166	0.971361067
80	0.791209	0.839868415	380	0.863666	0.970803738
81	0.792084	0.84315195	381	0.862167	0.97024417
82	0.792958	0.846426772	382	0.860668	0.969682415
83	0.793832	0.849689554	383	0.859168	0.969118515
84	0.794706	0.852943651	384	0.857669	0.968552506
85	0.795581	0.856185339	385	0.85617	0.967984417
86	0.796455	0.859418382	386	0.85467	0.967414275
87	0.797329	0.862638635	387	0.853171	0.966842101
88	0.798203	0.865850295	388	0.851672	0.966267912
89	0.799078	0.869048762	389	0.850172	0.965691726
90	0.799952	0.872238705	390	0.848673	0.965113556
91	0.800826	0.87550946	391	0.846382	0.965331853
92	0.8017	0.879528638	392	0.84409	0.965549785
93	0.802701	0.883502799	393	0.841799	0.965765757
94	0.803617	0.887433981	394	0.839508	0.965979518
95	0.804534	0.891321071	395	0.837217	0.966191077
96	0.80545	0.895164834	396	0.834925	0.966400415
97	0.806367	0.898964285	397	0.832634	0.96660761
98	0.807283	0.902720074	398	0.830343	0.966812476
99	0.8082	0.90643105	399	0.828052	0.967015291
100	0.809116	0.910098073	400	0.82576	0.967215934
101	0.810032	0.913720882	401	0.823469	0.967414409
102	0.810949	0.917298588	402	0.821178	0.967610718
103	0.811865	0.920831405	403	0.818886	0.967804862
104	0.812782	0.924319125	404	0.816595	0.967996842
105	0.813698	0.927761579	405	0.814304	0.968186662
106	0.814615	0.931158585	406	0.812013	0.968374323
107	0.815531	0.934509962	407	0.809721	0.968559825
108	0.816447	0.937815365	408	0.80743	0.968743171

109	0.817364	0.941074876	409	0.805139	0.968924362
110	0.81828	0.944288279	410	0.802848	0.9691034
111	0.819197	0.947455328	411	0.800556	0.969280285
112	0.820113	0.950575846	412	0.798265	0.969455019
113	0.821029	0.953649637	413	0.795974	0.969627603
114	0.821946	0.956676556	414	0.793682	0.969798038
115	0.822862	0.959656418	415	0.791391	0.969966325
116	0.823779	0.962589039	416	0.7891	0.970132465
117	0.824695	0.965474127	417	0.786809	0.97029646
118	0.825612	0.968312039	418	0.784517	0.970458309
119	0.826528	0.971101853	419	0.782226	0.970618015
120	0.827444	0.973843975	420	0.779935	0.970775578
121	0.829361	0.978160703	421	0.777185	0.969812451
122	0.831277	0.982173149	422	0.774436	0.969174692
123	0.833193	0.986101693	423	0.771687	0.968537355
124	0.83511	0.989945894	424	0.768937	0.967891985
125	0.837026	0.993705203	425	0.766188	0.96723848
126	0.838942	0.997378994	426	0.763438	0.966577178
127	0.840858	1.000966696	427	0.760689	0.965908151
128	0.842775	1.004467739	428	0.75794	0.965232156
129	0.844691	1.007881567	429	0.75519	0.964549171
130	0.846607	1.011207595	430	0.752441	0.963859285
131	0.848524	1.0144454	431	0.749691	0.963162416
132	0.85044	1.017594367	432	0.746942	0.962459388
133	0.852356	1.020654017	433	0.744193	0.961749438
134	0.854272	1.023623848	434	0.741443	0.961033491
135	0.856189	1.026503371	435	0.738694	0.960311029
136	0.858105	1.029292107	436	0.735944	0.959582177
137	0.860021	1.031989587	437	0.733195	0.958847277
138	0.861937	1.034595349	438	0.730446	0.958106215
139	0.863854	1.037108948	439	0.727696	0.957359053
140	0.86577	1.039529943	440	0.724947	0.956605831
141	0.867686	1.04185787	441	0.722197	0.955846582
142	0.869603	1.044092356	442	0.719448	0.955081341
143	0.871519	1.046232936	443	0.716698	0.954310138
144	0.873435	1.048279251	444	0.713949	0.953533001
145	0.875351	1.050230867	445	0.7112	0.952749956
146	0.877268	1.052087402	446	0.70845	0.95196103
147	0.879184	1.053848498	447	0.705701	0.951166246
148	0.8811	1.055513762	448	0.702951	0.950365627
149	0.883016	1.057082883	449	0.700202	0.949559195
150	0.884933	1.058555442	450	0.697452	0.948746972
151	0.886974	1.059783169	451	0.696078	0.948815951
152	0.889015	1.061111844	452	0.694703	0.949184787

153	0.891057	1.062414807	453	0.693329	0.949545725
154	0.893098	1.063688855	454	0.691954	0.949894895
155	0.89514	1.064933949	455	0.69058	0.950234158
156	0.897181	1.066150097	456	0.689205	0.950562105
157	0.899222	1.067337297	457	0.68783	0.950880287
158	0.901264	1.068495532	458	0.686456	0.951188726
159	0.903305	1.069624775	459	0.685081	0.951486436
160	0.905347	1.070724992	460	0.683707	0.951775221
161	0.907388	1.071796139	461	0.682332	0.952053378
162	0.909429	1.072838167	462	0.680958	0.952322423
163	0.911471	1.073851022	463	0.679583	0.952582306
164	0.913512	1.074834648	464	0.678208	0.952831822
165	0.915553	1.075788983	465	0.676834	0.953072862
166	0.917595	1.076713963	466	0.675459	0.953303509
167	0.919636	1.077609525	467	0.674085	0.953525351
168	0.921678	1.078475599	468	0.67271	0.953738307
169	0.923719	1.07931212	469	0.671335	0.953941184
170	0.92576	1.080119018	470	0.669961	0.954135462
171	0.927802	1.080896223	471	0.668586	0.954319634
172	0.929843	1.081643666	472	0.667212	0.954495421
173	0.931884	1.082361278	473	0.665837	0.95466151
174	0.933926	1.083048989	474	0.664462	0.954819067
175	0.935967	1.083706727	475	0.663088	0.954966444
176	0.938009	1.084334427	476	0.661713	0.955105631
177	0.94005	1.084932016	477	0.660339	0.955235223
178	0.942091	1.08549943	478	0.658964	0.955355667
179	0.944133	1.086036596	479	0.657589	0.95546749
180	0.946174	1.08654345	480	0.656215	0.955569485
181	0.94634	1.087284176	481	0.654257	0.953682408
182	0.946506	1.087942017	482	0.652298	0.951425288
183	0.946673	1.08857741	483	0.65034	0.949158115
184	0.946839	1.089188667	484	0.648382	0.946888127
185	0.947005	1.089776028	485	0.646424	0.944615985
186	0.947171	1.090339335	486	0.644466	0.942341467
187	0.947337	1.090878847	487	0.642507	0.94006438
188	0.947503	1.091393792	488	0.640549	0.937784763
189	0.94767	1.091885045	489	0.638591	0.935502438
190	0.947836	1.09235173	490	0.636633	0.933217392
191	0.948002	1.092794917	491	0.634675	0.930929675
192	0.948168	1.093212749	492	0.632716	0.928639163
193	0.948334	1.093607022	493	0.630758	0.926345877
194	0.9485	1.093976401	494	0.6288	0.92404981
195	0.948666	1.094321892	495	0.626842	0.921750983
196	0.948833	1.094642421	496	0.624884	0.919449413
197	0.948999	1.094938648	497	0.622925	0.917145125

198	0.949165	1.095210365	498	0.620967	0.914838146
199	0.949331	1.095457422	499	0.619009	0.91252851
200	0.949497	1.095679667	500	0.617051	0.910216255
201	0.949663	1.0958774	501	0.615093	0.907901418
202	0.94983	1.096050163	502	0.613134	0.905584044
203	0.949996	1.096198374	503	0.611176	0.903264175
204	0.950162	1.096321561	504	0.609218	0.90094186
205	0.950328	1.096419836	505	0.60726	0.898617146
206	0.950494	1.096493151	506	0.605302	0.896290082
207	0.95066	1.096541235	507	0.603343	0.893960719
208	0.950827	1.096564547	508	0.601385	0.891629107
209	0.950993	1.0965627	509	0.599427	0.8892953
210	0.951159	1.096535864	510	0.597469	0.88695935
211	0.951992	1.095605548	511	0.595219	0.881916763
212	0.952825	1.095399123	512	0.592969	0.877638031
213	0.953658	1.095199265	513	0.590719	0.873342716
214	0.954491	1.094987565	514	0.588469	0.869015926
215	0.955324	1.094764111	515	0.586219	0.864656507
216	0.956157	1.094529299	516	0.583969	0.860264968
217	0.95699	1.094283563	517	0.58172	0.855842316
218	0.957823	1.09402719	518	0.57947	0.851388977
219	0.958656	1.09376051	519	0.57722	0.846905456
220	0.959489	1.093483716	520	0.57497	0.842392618
221	0.960322	1.093197059	521	0.57272	0.837850861
222	0.961155	1.092900663	522	0.57047	0.833280444
223	0.961988	1.092594724	523	0.56822	0.828682027
224	0.962821	1.092279315	524	0.56597	0.824055997
225	0.963654	1.091954592	525	0.56372	0.819402576
226	0.964487	1.091620592	526	0.561471	0.814722296
227	0.96532	1.09127744	527	0.559221	0.810015509
228	0.966153	1.090925149	528	0.556971	0.80528243
229	0.966986	1.090563823	529	0.554721	0.800523344
230	0.967819	1.090193453	530	0.552471	0.795739107
231	0.968652	1.08981413	531	0.550221	0.790929422
232	0.969485	1.089425832	532	0.547971	0.786094932
233	0.970318	1.089028637	533	0.545721	0.781235793
234	0.971151	1.088622513	534	0.543471	0.77635247
235	0.971984	1.088207532	535	0.541221	0.77144514
236	0.972817	1.087783653	536	0.538972	0.766514237
237	0.97365	1.087350944	537	0.536722	0.761559961
238	0.974483	1.086909357	538	0.534472	0.756582717
239	0.975316	1.086458958	539	0.532222	0.751582733
240	0.976149	1.085999694	540	0.529972	0.746560373
241	0.976899	1.085547622	541	0.52889	0.746491236

242	0.977649	1.085492062	542	0.527807	0.74616988
243	0.978399	1.085441486	543	0.526725	0.745844652
244	0.979149	1.085378411	544	0.525642	0.745516477
245	0.979899	1.085302562	545	0.52456	0.745185259
246	0.980649	1.085214391	546	0.523478	0.744850931
247	0.981399	1.085114305	547	0.522395	0.744513458
248	0.982149	1.085002644	548	0.521313	0.744172788
249	0.982899	1.084879692	549	0.52023	0.743828872
250	0.983649	1.084745684	550	0.519148	0.743481713
251	0.984399	1.084600818	551	0.518065	0.743131253
252	0.985149	1.084445258	552	0.516983	0.742777524
253	0.985899	1.084279145	553	0.515901	0.742420455
254	0.986649	1.084102594	554	0.514818	0.742060118
255	0.987399	1.083915708	555	0.513736	0.741696559
256	0.988149	1.083718569	556	0.512653	0.741329622
257	0.988899	1.083511252	557	0.511571	0.740959344
258	0.989649	1.083293819	558	0.510488	0.740585739
259	0.990399	1.083066326	559	0.509406	0.740208809
260	0.991149	1.082828821	560	0.508323	0.739828685
261	0.991899	1.082581347	561	0.507241	0.739445156
262	0.992649	1.082323942	562	0.506159	0.73905844
263	0.993399	1.08205664	563	0.505076	0.738668421
264	0.994149	1.081779473	564	0.503994	0.738275113
265	0.994899	1.08149247	565	0.502911	0.737878546
266	0.995649	1.081195658	566	0.501829	0.737478728
267	0.996399	1.080889061	567	0.500746	0.737075667
268	0.997149	1.080572704	568	0.499664	0.736669372
269	0.997899	1.080246614	569	0.498581	0.736259854
270	0.998649	1.079910802	570	0.497499	0.735847122
271	0.999149	1.079289798	571	0.495082	0.734769219
272	0.999649	1.077968404	572	0.492666	0.734267016
273	1.000148	1.076593178	573	0.490249	0.733657535
274	1.000648	1.075195835	574	0.487833	0.732941146
275	1.001148	1.073777522	575	0.485416	0.7321186
276	1.001648	1.072337902	576	0.483	0.731190451
277	1.002148	1.070876627	577	0.480583	0.730157188
278	1.002647	1.06939339	578	0.478167	0.729019268
279	1.003147	1.067887936	579	0.47575	0.727777123
280	1.003647	1.066360044	580	0.473334	0.726431173
281	1.004147	1.064809532	581	0.470917	0.724981807
282	1.004647	1.063236249	582	0.468501	0.723429437
283	1.005146	1.061640069	583	0.466084	0.721774527
284	1.005646	1.060020889	584	0.463668	0.720017313
285	1.006146	1.058378627	585	0.461251	0.718158435
286	1.006646	1.056713219	586	0.458835	0.716198046

287	1.007146	1.055024615	587	0.456418	0.714136804
288	1.007645	1.053312779	588	0.454002	0.711975077
289	1.008145	1.051577684	589	0.451585	0.709713311
290	1.008645	1.049819316	590	0.449168	0.707351928
291	1.009145	1.048037668	591	0.446752	0.70489171
292	1.009645	1.04623274	592	0.444335	0.702332468
293	1.010144	1.04440454	593	0.441919	0.699675146
294	1.010644	1.042553081	594	0.439502	0.696920301
295	1.011144	1.04067838	595	0.437086	0.69406839
296	1.011644	1.038780459	596	0.434669	0.69111988
297	1.012144	1.036859344	597	0.432253	0.688075959
298	1.012643	1.034915064	598	0.429836	0.684935286
299	1.013143	1.032947651	599	0.42742	0.681700379
300	1.013643	1.030957139	600	0.425003	0.678371186
