



TUGAS AKHIR - TF141581

**PERANCANGAN SOLAR TRACKER DUA SUMBU
BERBASIS OPTOELECTRICAL TRACKING
MENGUNAKAN KONTROLER HYBRID FUZZY-
GENETIC ALGORITHM**

**DYAH RAHMANIA PRAMESRANI
NRP.02311440000120**

**Dosen Pembimbing
Dr. Imam Abadi, ST. MT.**

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

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TF141581
DESIGN OF TWO AXIS SOLAR TRACKER
BASED ON OPTOELECTRICAL TRACKING
USING HYBRID FUZZY-GENETIC ALGORITHM
CONTROLLER

DYAH RAHMANIA PRAMESRANI
NRP.02311440000120

Supervisors
Dr. Imam Abadi, ST. MT.

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dyah Rahmania Pramesrani

NRP : 02311440000120

Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul "PERANCANGAN *SOLAR TRACKER* DUA SUMBU BERBASIS *OPTOELECTRICAL TRACKING* MENGGUNAKAN KONTROLER *HYBRID FUZZY-GENETIC ALGORITHM*" 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 sebenar-benarnya.

Surabaya, 24 Juli 2018

Yang membuat pernyataan,



Dyah Rahmania Pramesrani

Halaman ini sengaja dikosongkan

**PERANCANGAN *SOLAR TRACKER* DUA SUMBU
BERBASIS *OPTOELECTRICAL TRACKING*
MENGUNAKAN KONTROLER *HYBRID FUZZY-
GENETIC ALGORITHM***

TUGAS AKHIR

Oleh:

Dyah Rahmania Pramesrani

NRP : 02311440000120

Surabaya, 24 Juli 2018

**Mengetahui / Menyetujui
Pembimbing**



Dr. Imam Abadi, ST., MT.

NIP. 19761006 199903 1 002

Kepala Departemen Teknik Fisika



Agus Muhammad Hatta, ST, MSi, Ph.D

NIP. 19780902 200312 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

**PERANCANGAN *SOLAR TRACKER* DUA SUMBU
BERBASIS *OPTOELECTRICAL TRACKING*
MENGUNAKAN KONTROLER *HYBRID FUZZY-
GENETIC ALGORITHM***



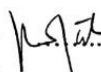
TUGAS AKHIR

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 :

Dyah Rahmania Pramesrani
NRP. 02311440000120

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Imam Abadi, ST., M.T.  (Pembimbing)
2. Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.  (Penguji I)
3. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M. Kes.  (Penguji II)

SURABAYA
24 Juli, 2018

Halaman ini sengaja dikosongkan

**PERANCANGAN *SOLAR TRACKER* DUA SUMBU
BERBASIS *OPTOELECTRICAL TRACKING*
MENGUNAKAN KONTROLER *HYBRID FUZZY-
GENETIC ALGORITHM***

Nama Mahasiswa : Dyah Rahmania Pramesrani
NRP : 02311440000120
Program Studi : S1 Teknik Fisika
Dosen Pembimbing : Dr. Imam Abadi, ST. MT.

ABSTRAK

Salah satu cara untuk mengoptimalkan daya keluaran yang dihasilkan panel surya adalah menambah sistem *solar tracker* pada panel surya. *Solar tracker* merupakan sistem yang berfungsi sebagai penggerak panel surya untuk mengikuti arah pergerakan matahari agar selalu tegak lurus terhadap matahari. Sistem *solar tracker* terdiri dari sensor, kontroler, motor DC dan panel surya. Sistem *solar tracker* aktif dua sumbu menggunakan sensor LDR yang berfungsi untuk menangkap kuat pencahayaan matahari yang diterima panel surya berjumlah 4 buah mewakili arah Utara, Selatan, Timur dan Barat. Panel surya bergerak pada dua sudut yaitu *yaw* dan *pitch*. Penelitian ini menggunakan kontroler fuzzy yang dioptimasi dengan genetic algorithm. Hasil uji menunjukkan bahwa sistem kontrol *hybrid fuzzy genetic algorithm* dapat diterapkan pada sistem *solar tracker* aktif dua sumbu dengan indeks performansi terbaik menggunakan 3 fungsi keanggotaan. Pada sudut *pitch* (70°) memiliki indeks performansi tegangan LDR Barat terhadap LDR Timur sebesar $t_r = 0.23$ s, $t_s = 1.05$ s, $Mov = 0\%$ dan $ess = 0.02\%$, serta pada sudut *yaw* (80°) memiliki indeks performansi tegangan keluaran LDR Selatan terhadap LDR Utara sebesar $t_r = 5.37$ s, $t_s = 22.16$ s, $Mov = 0\%$, $ess = 0.1\%$. Peningkatan efisiensi energi yang dicapai oleh *mobile active solar tracker* sebesar 62.15%.

Kata kunci: *Solar tracker*, *Solar Tracker* Aktif, Kontrol Logika Fuzzy, Genetic Algorithm

Halaman ini sengaja dikosongkan

DESIGN OF TWO AXIS SOLAR TRACKER BASED ON OPTOELECTRICAL TRACKING USING HYBRID FUZZY-GENETIC ALGORITHM CONTROLLER

Name : Dyah Rahmania Pramesrani
NRP : 02311440000120
Study Program : S1 Teknik Fisika
Supervisor : Dr. Imam Abadi, ST. MT.

ABSTRACT

One of solutions to optimize the output power of solar panel is to add solar tracker system in solar panel. Solar tracker is a system that can move a solar panel to follow the direction of the sun to always perpendicular to the sun. The solar tracker system consists of sensors, controller, DC motors and solar panel. Two-axis active solar tracker system uses LDR sensors to capture the light intensity received by solar panel, it uses 4 sensors representing the North, South, East and West direction. Solar panel moves at two directions: yaw and pitch. This research uses fuzzy controller which is optimized by genetic algorithm. The test results show that the hybrid fuzzy genetic algorithm control system can be applied to active two-axis solar tracker system with the best performance index using 3 membership functions. Pitch angle at 70° has performance index of West voltage LDR against East voltage LDR of $t_r = 0.23$ s, $t_s = 1.05$ s, $Mov = 0\%$, $ess = 0.02\%$, and yaw angle at 80° has performance index of South voltage LDR against North voltage LDR of $t_r = 5.37$ s, $t_s = 22.16$ s, $Mov = 0\%$ and $ess = 0.1\%$. Increased energy efficiency generated by mobile active solar tracker is 62.15%.

Keywords: Solar Tracker, Active Solar Tracker, Fuzzy Logic Controller, Genetic Algorithm

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. Penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, ST, MSi, Ph.D. selaku ketua departemen Teknik Fisika ITS.
2. Orang tua dan 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 atas semua ilmu dan nasihat yang bermanfaat.
5. Seluruh teman Teknik Fisika ITS angkatan 2014, terima kasih untuk semuanya.
6. Teman-teman Laboratorium Simulasi dan Komputasi yang senantiasa memberikan motivasi dan perhatian.
7. 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, Juni 2018

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI Error! Bookmark not defined.	
ABSTRAK.....	xi
<i>ABSTRACT</i>	xiii
KATA PENGANTAR.....	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxiii
DAFTAR NOTASI	xxv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan Tugas Akhir	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Laporan.....	3
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Panel Surya	5
2.2 Solar Tracker.....	7
2.3 Light Dependent Resistor (LDR)	8
2.4 Motor DC.....	9
2.5 Kontroler Logika Fuzzy	12
2.6 Algoritma Genetik.....	13
2.7 <i>Fuzzy-Genetic Algorithm</i>	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Pengambilan Data	18
3.2 Pemodelan Sistem <i>Solar Tracker</i>	24
3.3 Validasi Model <i>Solar Tracker</i>	29
3.4 Perancangan Sistem Kontrol Fuzzy Genetic Algorithm.....	32

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	42
4.1 Uji <i>Setpoint</i>	45
4.2 Uji <i>Tracking</i>	61
4.3 Uji Performansi Keluaran PV	64
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	67
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	67
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pengaruh Temperatur dengan Radiasi Konstan	6
Gambar 2.2	Pengaruh Radiasi dengan Temperatur Konstan	6
Gambar 2.3	Solar Tracker Dua Sumbu	7
Gambar 2.4	Konfigurasi Sistem Solar Tracker Dua Sumbu	9
Gambar 2.5	Rangkaian Motor DC	9
Gambar 2.6	Model Simulink Motor DC	11
Gambar 2.7	Struktur Model Fuzzy	12
Gambar 2.8	Mekanisme Dasar Algoritma Genetik	14
Gambar 2.9	Diagram Alir Fuzzy-Genetic Algorithm	15
Gambar 3.1	Flowchart Penelitian	17
Gambar 3.2	Pengambilan Data Sensor LDR	19
Gambar 3.3	Grafik Perbandingan Antara Kuat Pencahayaan Dengan Tegangan	19
Gambar 3.4	Grafik Perbandingan Antara Kuat Pencahayaan Dengan Resistansi	20
Gambar 3.5	Pengambilan Data Motor DC	22
Gambar 3.6	Pemodelan Sensor LDR	21
Gambar 3.7	Pemodelan Motor DC	25
Gambar 3.8	Rangkaian Ekuivalen PV	26
Gambar 3.9	Pemodelan Panel Surya	28
Gambar 3.10	<i>Setup</i> Pengukuran PV	25
Gambar 3.11	Tegangan Keluaran LDR Simulasi dan Pengukuran	29
Gambar 3.12	Hasil Keluaran Motor DC Simulasi dan Pengukuran	30
Gambar 3.13	Grafik Hasil Keluaran Tegangan Simulasi Pemodelan Panel Surya dan Pengukuran	31
Gambar 3.14	Grafik Hasil Keluaran Arus Simulasi Pemodelan Panel Surya dan Pengukuran	31
Gambar 3.15	Fungsi Keanggotaan Error dan Delta Error Pitch dengan 3 buah Fungsi Keanggotaan	33

Gambar 3.16 Fungsi Keanggotaan Error dan Delta Error Yaw dengan 3 buah Fungsi Keanggotaan	33
Gambar 3.17 Fungsi Keanggotaan Error dan Delta Error Pitch dengan 5 buah Fungsi Keanggotaan	34
Gambar 3.18 Fungsi Keanggotaan Error dan Delta Error Yaw dengan 5 buah Fungsi Keanggotaan	34
Gambar 3.19 Fungsi Keanggotaan Input Fuzzy GA dengan 3 Fungsi Keanggotaan (a) Pitch (b) Yaw	38
Gambar 3.20 Fungsi Keanggotaan Input Fuzzy GA dengan 5 Fungsi Keanggotaan (a) Pitch (b) Yaw	38
Gambar 3.21 Output Fuzzy	41
Gambar 4.1 Pemodelan Simulink Uji Setpoint	43
Gambar 4.2 Pemodelan Simulink Uji Tracking dan Uji Performansi	44
Gambar 4.3 Respon Sudut Pitch 3 Fungsi Keanggotaan dengan Setpoint (a) 30° (b) 50° (c) 70°	46
Gambar 4.4 Respon Tegangan Pitch 3 Fungsi Keanggotaan dengan Setpoint (a) 4.8729 volt (b) 4.9071 volt (c) 4.92 volt	48
Gambar 4.5 Respon Sudut Yaw 3 Fungsi Keanggotaan dengan Setpoint (a) 30° (b) 80°	50
Gambar 4.6 Respon Tegangan Yaw 3 Fungsi Keanggotaan dengan Setpoint (a) 4.9151 volt (b) 4.7274 volt	52
Gambar 4.7 Respon Sudut Pitch 5 Fungsi Keanggotaan dengan Setpoint (a) 30° (b) 50° (c) 70°	54
Gambar 4.8 Respon Tegangan Pitch 5 Fungsi Keanggotaan dengan Setpoint (a) 4.8729 volt (b) 4.9071 volt (c) 4.92 volt	56
Gambar 4.9 Respon Sudut Yaw 5 Fungsi Keanggotaan dengan Setpoint (a) 30° (b) 80°	58
Gambar 4.10 Respon Tegangan Yaw 5 Fungsi Keanggotaan dengan Setpoint (a) 4.9151 volt (b) 4.7274 volt..	60
Gambar 4.11 Hasil Tracking Sudut Altitude.....	62

Gambar 4.12	Hasil Tracking Sudut Azimuth	62
Gambar 4.13	Respon Tegangan LDR untuk Tracking Sudut Altitude.....	63
Gambar 4.14	Respon Tegangan LDR untuk Tracking Sudut Azimuth.....	63
Gambar 4.15	Tegangan Keluaran Mobile Solar Tracker dan Fixed PV.....	65
Gambar 4.16	Arus Keluaran Mobile Solar Tracker dan Fixed PV.....	65
Gambar 4.17	Daya Keluaran Mobile Solar Tracker dan Fixed PV.....	65

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Parameter Motor DC.....	23
Tabel 3.2 Parameter Panel Surya	27
Tabel 3.3 Nilai Parameter GA	35
Tabel 3.4 Parameter Fuzzy dengan 3 Fungsi Keanggotaan yang Akan Dioptimasi	35
Tabel 3.5 Parameter Fuzzy dengan 5 Fungsi Keanggotaan yang Akan Dioptimasi	36
Tabel 3.6 Hasil Optimasi Parameter Fuzzy dengan 3 Fungsi Keanggotaan.....	37
Tabel 3.7 Hasil Optimasi Parameter Fuzzy dengan 5 Fungsi Keanggotaan.....	37
Tabel 3.8 Rule Base Fuzzy GA dengan 3 Fungsi Keanggotaan untuk Sudut Pitch	39
Tabel 3.9 Rule Base Fuzzy GA dengan 3 Fungsi Keanggotaan untuk Sudut Yaw	39
Tabel 3.10 Rule Base Fuzzy GA dengan 5 Fungsi Keanggotaan untuk Sudut Pitch	40
Tabel 3.11 Rule Base Fuzzy GA dengan 3 Fungsi Keanggotaan untuk Sudut Yaw	40
Tabel 4.1 Perbandingan Indeks Performansi Respon Sudut Pitch 3 Fungsi Keanggotaan	46
Tabel 4.2 Perbandingan Indeks Performansi Respon Tegangan Pitch 3 Fungsi Keanggotaan	49
Tabel 4.3 Perbandingan Indeks Performansi Respon Sudut Yaw 3 Fungsi Keanggotaan	51
Tabel 4.4 Perbandingan Indeks Performansi Respon Tegangan Yaw 3 Fungsi Keanggotaan.....	53
Tabel 4.5 Perbandingan Indeks Performansi Respon Sudut Pitch 5 Fungsi Keanggotaan	55

Tabel 4.6 Perbandingan Indeks Performansi Respon Tegangan Pitch 5 Fungsi Keanggotaan	57
Tabel 4.7 Perbandingan Indeks Performansi Respon Sudut Yaw 5 Fungsi Keanggotaan	59
Tabel 4.8 Perbandingan Indeks Performansi Respon Tegangan Yaw 5 Fungsi Keanggotaan	61

DAFTAR NOTASI

θ	= Sudut <i>Shaft</i> Rotor
ω	= Kecepatan Sudut
μ	= <i>Temperature Coeff. of Short Circuit Current</i>
Φ	= <i>Temperature Coeff. of Short Circuit Voltage</i>
B_m	= <i>Viscous Friction Coefficient</i>
E_b	= Tegangan Balik EMF
I	= Arus PV
I_a	= Arus Armatur
I_d	= Arus diode
I_{eff}	= Intensitas cahaya efektif yang diterima LDR
I_{max}	= Intensitas cahaya maksimum yang diterima LDR
I_{mp}	= <i>Maximum Power Current</i>
I_{ph}	= <i>Photocurrent</i>
I_{sc}	= <i>Short Circuit Current</i>
I_{sh}	= Arus <i>shunt</i>
J_m	= Inersia Motor
K_b	= Konstanta Tegangan Balik EMF
K_T	= Konstanta Torsi
L_a	= Induktansi Armatur
R	= Resistansi
R_a	= Resistansi Armatur
R_{pv}	= Resistansi internal PV
S	= Radiasi matahari
S_{ref}	= Radiasi matahari pada kondisi standar (1000 W/m ²)
T	= Temperatur permukaan PV
T_{ref}	= Temperatur referensi (25°)
T_m	= Torsi Motor
V_a	= Tegangan Armatur
V_{oc}	= <i>Open Circuit Voltage</i>
V_{mp}	= <i>Maximum Power Voltage</i>
y_i	= Nilai yang diinginkan
\hat{y}_i	= Nilai yang keluar dari pemodelan

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meningkatnya kebutuhan energi di Indonesia dan berkurangnya sumber energi fosil menyebabkan terjadinya kelangkaan energi. Cadangan sumber energi fosil di Indonesia seperti minyak tersisa untuk 23 tahun, sedangkan gas alam tersisa untuk 59 tahun, dan batu bara tersisa untuk 146 tahun [1]. Keadaan tersebut menyebabkan penggunaan energi terbarukan seperti energi matahari, panas bumi, air, angin, biomass semakin meningkat untuk menggantikan energi konvensional. Penggunaan energi matahari merupakan alternatif yang paling potensial dari berbagai macam energi terbarukan di Indonesia. Hal tersebut dikarenakan letak geografis Indonesia yang terletak di daerah ekuator tepatnya pada 6° LU- 11° LS dan 141° BB- 95° BT menyebabkan Indonesia menjadi salah satu daerah yang menerima radiasi matahari yang tinggi sepanjang tahun dengan daya rata-rata mencapai $4,8 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$ [1].

Energi matahari dapat dimanfaatkan setelah diubah menjadi energi listrik sehingga diperlukan suatu teknologi yang mampu mengubah energi matahari menjadi energi listrik yang disebut sebagai sel surya. Sel surya menghasilkan daya listrik yang berbanding lurus dengan jumlah radiasi matahari yang diterima sel surya. Perubahan posisi matahari menyebabkan terbatasnya jumlah radiasi matahari yang diterima sel surya sehingga daya listrik yang dihasilkan tidak optimal, oleh karena itu dilakukan pengembangan sel surya untuk mengatasi keterbatasan pemanfaatan energi matahari tersebut dengan cara menambah *solar tracker* pada sistem sel surya. *Solar tracker* merupakan sistem yang berfungsi sebagai penggerak panel surya untuk mengikuti arah pergerakan matahari agar selalu tegak lurus terhadap matahari sehingga dapat mengoptimalkan daya keluaran yang dihasilkan sel surya. Sistem *solar tracker* dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa kriteria [2]. Klasifikasi pertama ditentukan berdasarkan jumlah sumbu rotasinya, yaitu

solar tracker satu sumbu dan dua sumbu. *Solar tracker* satu sumbu merupakan jenis sel surya yang dapat melacak arah pergerakan matahari dari Timur ke Barat menggunakan dua sensor *Light Dependent Resistor* (LDR), sedangkan *solar tracker* dua sumbu merupakan jenis sel surya yang dapat melacak pergerakan matahari dari Timur ke Barat dan dari Utara ke Selatan menggunakan empat sensor LDR [3]. Klasifikasi lainnya ditentukan berdasarkan jenis aktifitasnya yaitu *solar tracker* aktif dan pasif. *Solar tracker* aktif menggunakan LDR sebagai sensor yang digunakan untuk mendeteksi posisi matahari, sedangkan *solar tracker* pasif menggunakan perhitungan posisi matahari sehingga sistem ini dapat digunakan pada saat kondisi matahari tidak cerah.

Pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Cong Hui Huang, Heng Yau Pan, dan Kuan Chen Lin [4] mengenai sistem *solar tracking* dua sumbu menggunakan kontroler fuzzy didapatkan bahwa sensor yang digunakan pada sistem *solar tracker* dengan kontrol logika fuzzy bekerja lebih akurat daripada sensor tradisional karena besar sudut panel surya lebih mudah dikontrol menggunakan logika fuzzy. Pada penelitian tersebut dua parameter fuzzy yaitu *fuzzy rules* dan *membership function* ditentukan dengan melihat data dari literatur dan *human expert* sehingga parameter yang digunakan kurang optimal oleh karena itu pada penelitian ini dikembangkan sistem *solar tracker* menggunakan perpaduan kontrol logika fuzzy dan algoritma genetik. Pada sistem ini algoritma genetik berfungsi untuk mencari dan mendapatkan *fuzzy rules* dan *membership function* yang optimal sehingga diharapkan efisiensi sel surya akan meningkat.

1.2 Permasalahan

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

1. Bagaimana menentukan nilai parameter model *solar tracker* 2 sumbu berbasis *optoelectrical method*?

2. Apakah kontrol *hybrid fuzzy genetic algorithm* dapat diimplementasikan pada sistem *solar tracker* aktif 2 sumbu?
3. Apakah kontrol *hybrid fuzzy genetic algorithm* pada *solar tracker* 2 sumbu dapat meningkatkan efisiensi sel surya secara signifikan?

1.3 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah :

1. Menentukan nilai parameter *solar tracker* 2 sumbu berbasis *optoelectrical method*.
2. Mengimplementasikan kontrol *hybrid fuzzy genetic algorithm* pada sistem *solar tracker* aktif 2 sumbu.
3. Mendapatkan peningkatan efisiensi *solar tracker* pada sel surya dengan menggunakan *fuzzy genetic algorithm*.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah :

1. Plant yang digunakan adalah *solar tracker* aktif dua sumbu.
2. Variabel yang dikendalikan adalah sudut yaw dan pitch.
3. Metode kontrol yang digunakan yaitu *fuzzy genetic algorithm*.
4. Model kontrol adalah MISO (Multi Input Single Output).
5. Pemodelan PV tidak mempertimbangkan faktor angin.
6. Kapasitas PV yang digunakan sebesar 250 Watt.

1.5 Sistematika Laporan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir adalah sebagai berikut :

1. BAB I PENDAHULUAN
Pada bab I ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan sistematika laporan.
2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA
Pada bab II ini dibahas mengenai teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan.
3. BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab III ini berisi mengenai rancangan dari penelitian yang dilakukan, metode dan langkah-langkah dalam penelitian.

4. **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

Pada bab IV ini berisi tentang analisa hasil perancangan sistem *solar tracker* dua sumbu menggunakan *fuzzy-genetic algorithm*.

5. **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab V ini diberikan kesimpulan dari penelitian tugas akhir yang telah dilakukan berdasarakan hasil yang diperoleh, serta diberikan saran sebagai penunjang maupun pengembangan tugas akhir selanjutnya.

BAB II

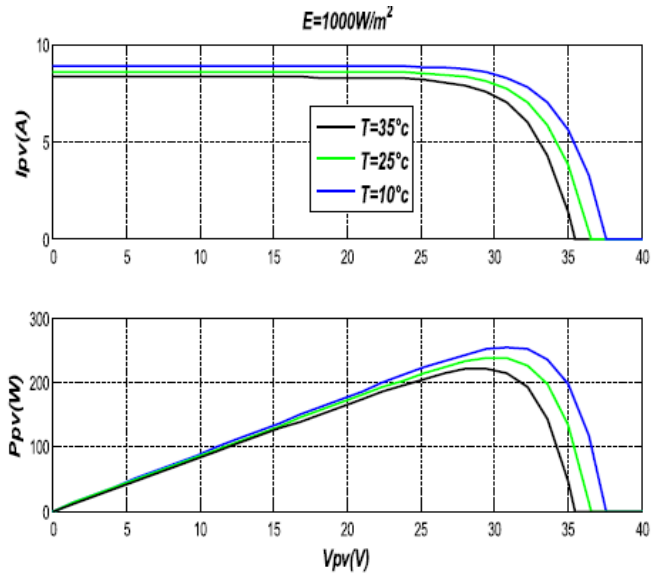
DASAR TEORI

2.1 Panel Surya

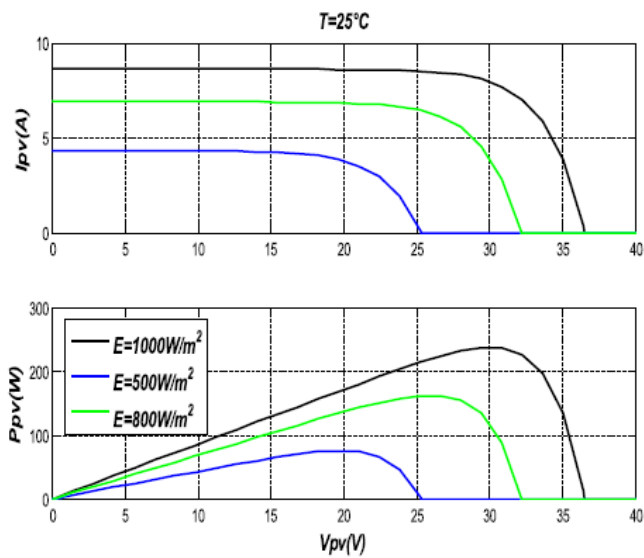
Panel surya atau *photovoltaic* adalah modul yang terdiri dari beberapa sel surya yang tersusun secara seri atau paralel untuk mengonversi energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Tiap sel surya yang menyusun panel surya umumnya menghasilkan tegangan sebesar 0.5 sampai 0.6 Volt [5].

Sel surya bekerja menggunakan prinsip efek *photovoltaic* yaitu fenomena dimana suatu sel *photovoltaic* dapat menyerap energi radiasi matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik. Proses perubahan energi radiasi matahari menjadi energi listrik diakibatkan oleh dua lapisan penyusun sel surya yang terbuat dari bahan semikonduktor yaitu semikonduktor tipe-p dan semikonduktor tipe-n. Semikonduktor tipe-n merupakan semikonduktor yang memiliki kelebihan elektron sedangkan semikonduktor tipe-p merupakan semikonduktor yang memiliki kelebihan hole. Pada saat kedua jenis semikonduktor tersebut digabungkan maka akan terjadi perpindahan elektron dari semikonduktor tipe-n ke semikonduktor tipe-p sehingga menyebabkan adanya perbedaan muatan positif dan negatif. Perbedaan muatan pada sambungan pn tersebut menimbulkan medan magnet sehingga menghasilkan arus listrik [6].

Kerja dari sel surya dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti suhu permukaan panel surya, radiasi matahari, kecepatan angin, keadaan atmosfer bumi, orientasi panel atau *array PV*, dan posisi letak sel surya terhadap matahari atau *tilt angle* [7]. Ilustrasi dari pengaruh temperatur dan radiasi matahari dapat dilihat pada Gambar 2.1 dan 2.2.



Gambar 2.1 Pengaruh Temperatur dengan Radiasi Konstan [8]



Gambar 2.2 Pengaruh Radiasi dengan Temperatur Konstan

Gambar 2.1 menunjukkan bahwa meningkatnya temperatur pada radiasi yang konstan menyebabkan arus keluaran PV menurun sehingga daya yang dihasilkan PV juga menurun. Sebaliknya pada Gambar 2.2 ditunjukkan bahwa meningkatnya radiasi pada temperatur yang konstan menyebabkan arus dan daya yang dihasilkan PV meningkat.

2.2 Solar Tracker

Solar tracker merupakan suatu divais yang tersusun dari beberapa komponen seperti sensor, sistem kontrol, motor DC, dan panel surya. *Solar tracker* berfungsi untuk mengikuti arah pergerakan matahari agar posisi panel surya selalu tegak lurus matahari sehingga energi matahari yang diterima oleh panel surya akan meningkat dan energi listrik keluarannya pun akan meningkat.

Jenis *solar tracker* dapat dibagi berdasarkan beberapa klasifikasi. Klasifikasi pertama berdasarkan jumlah sumbu rotasinya *solar tracker* dibagi menjadi *solar tracker* satu sumbu dan dua sumbu. *Solar tracker* satu sumbu hanya memiliki satu poros sehingga hanya ada satu pergerakan yaitu elevasi atau azimut, tergantung dengan teknologi yang terpasang pada *solar tracker*. Berbeda dengan *solar tracker* satu sumbu, *solar tracker* dua sumbu memiliki dua poros sehingga dapat berkerja dengan arah pergerakan elevasi dan azimut [9].



Gambar 2.3 *Solar Tracker* Dua Sumbu [9]

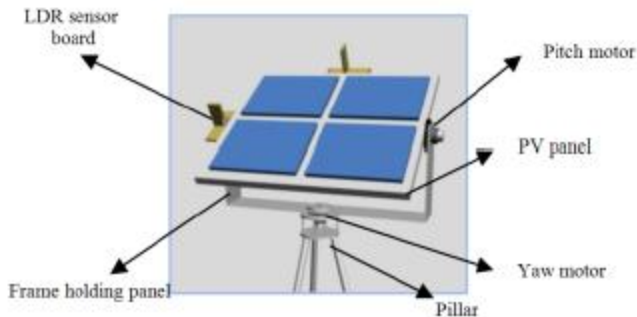
Klasifikasi lainnya yaitu berdasarkan jenis aktifitasnya *solar tracker* dibagi menjadi dua yakni *solar tracker* aktif dan pasif. *Solar tracker* aktif menggunakan LDR sebagai sensor yang melakukan pengukuran langsung terhadap objek untuk mendeteksi posisi matahari, sedangkan *solar tracker* pasif tidak melakukan pengukuran langsung terhadap objek melainkan berdasarkan perhitungan astronomi.

2.3 Light Dependent Resistor (LDR)

Light Dependent Resistor (LDR) merupakan jenis resistor yang terbuat dari bahan semikonduktor seperti silikon, selenium, *cadmium sulphide* (Cds). LDR dapat berubah nilai tahanannya sesuai dengan intensitas cahaya yang diterimanya. Nilai tahanan LDR akan semakin besar ketika intensitas cahaya yang diterimanya sedikit, sebaliknya jika intensitas cahaya yang diterima banyak maka nilai tahanan LDR akan semakin kecil. LDR memiliki sensitifitas yang bervariasi sesuai dengan panjang gelombang cahaya yang diterimanya.

LDR berkerja dengan menggunakan prinsip fotokonduktivitas. Fotokonduktivitas adalah fenomena optik dimana nilai konduktivitas material akan bertambah seiring dengan bertambahnya intensitas cahaya yang diserap material. Ketika cahaya jatuh pada LDR maka elektron pada pita valensi akan tereksitasi ke pita konduksi. Perpindahan elektron dari pita valensi ke pita konduksi terjadi ketika energi foton pada cahaya yang diterima LDR lebih besar daripada *band gap*, oleh karena itu semakin besar energi foton pada cahaya yang diterima LDR maka akan semakin banyak elektron yang tereksitasi. Proses eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi menyebabkan arus mengalir pada LDR dan nilai tahanan LDR berkurang.

Sistem *solar tracker* aktif dua sumbu ini menggunakan 4 buah LDR. Dua buah LDR untuk melacak pergerakan matahari dari Timur ke Barat atau pergerakan azimut serta dua buah LDR lainnya untuk melacak pergerakan matahari dari Utara ke Selatan atau pergerakan *altitude*.

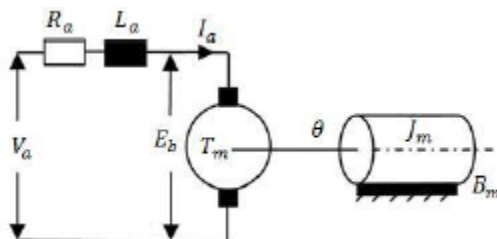


Gambar 2.4 Konfigurasi Sistem *Solar Tracker* Dua Sumbu [10]

2.4 Motor DC

Motor DC adalah salah satu komponen penyusun *solar tracker* yang bekerja ketika dialiri arus listrik searah (DC). Motor DC dalam sistem *solar tracker* berfungsi sebagai aktuator yang menggerakkan panel surya. Motor DC terdiri dari dua bagian yaitu bagian yang tidak berputar disebut kumparan medan (stator) dan bagian yang berputar disebut kumparan jangkar (rotor). Prinsip kerja motor DC yaitu ketika arus listrik mengalir melalui kumparan medan maka akan terbentuk medan magnet yang akan melingkupi kumparan jangkar dengan arah tertentu sehingga kumparan jangkar dapat berputar [11].

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



Gambar 2.5 Rangkaian Motor DC [12]

Menurut Hukum Tegangan Kirchoff [12]:

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

Dimana V adalah tegangan pada motor DC, sehingga ketika motor bergerak dengan kecepatan tertentu maka akan muncul tegangan balik (EMF). Tegangan EMF dinyatakan dalam persamaan berikut:

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

Torsi yang dihasilkan oleh motor dapat diperoleh dari Hukum Newton Kedua tentang gerak rotasi yaitu:

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

Dimana T_m adalah torsi motor

$$T_m(t) = K_T \cdot I_a(t) \quad (2.4)$$

Persamaan (2.1), (2.2), (2.3), dan (2.4) dapat diatur kembali menjadi persamaan (2.5) dan (2.6).

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

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

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

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

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

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

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

Kemudian hubungan antara kecepatan *shaft* rotor dan tegangan armatur dapat direpresentasikan dalam fungsi transfer berikut:

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

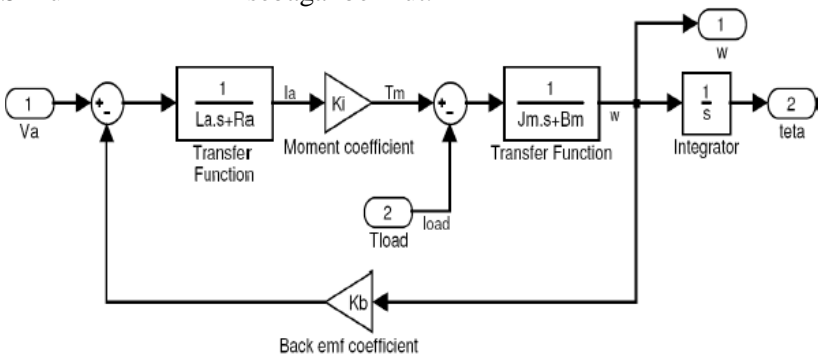
Hubungan antara sudut dan kecepatan sudut yaitu:

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

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

$$\frac{\theta(s)}{V_a(s)} = \frac{K_T}{L_a \cdot J_m \cdot s^3 + (R_a \cdot J_m + L_a \cdot B_m) \cdot s^2 + (R_a \cdot B_m + K_b \cdot K_T) \cdot s} \quad (2.12)$$

Dari persamaan diatas dapat digambarkan ke dalam model Simulink MATLAB sebagai berikut.

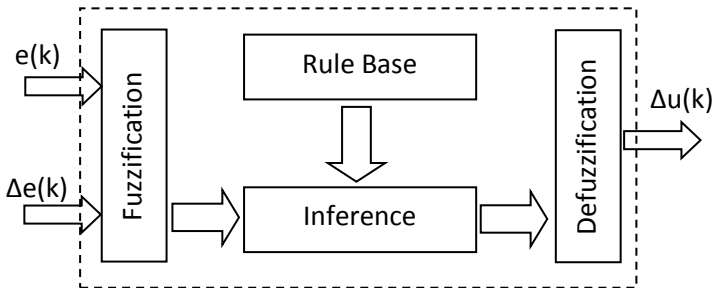


Gambar 2.6 Model Simulink Motor DC

Gambar 2.6 merupakan bentuk pemodelan yang akan digunakan untuk simulasi sistem *solar tracker*. Pemodelan memiliki 2 masukan yaitu tegangan (V_a) dan beban torsi sedangkan keluarannya berupa kecepatan sudut (ω) dan sudut (θ).

2.5 Kontroler Logika Fuzzy

Kontroler logika fuzzy merupakan suatu sistem kendali yang dapat menginterpretasikan statemen yang samar menjadi sebuah pengertian yang logis. Struktur model fuzzy dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.7 Struktur Model Fuzzy [13]

Fungsi dari bagian-bagian struktur model fuzzy pada Gambar 2.7 adalah sebagai berikut:

a. *Crisp Input Value*

Masukan pada sistem kendali logika fuzzy berupa *crisp* atau bilangan real.

b. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi merupakan proses konversi nilai real menjadi nilai fuzzy (variabel linguistik). Masing-masing nilai memiliki derajat keanggotaan antara 0 sampai 1. Pada fuzzifikasi, nilai *crisp input* dipetakan oleh suatu bagian yang disebut fungsi keanggotaan yang terdiri dari berbagai macam bentuk seperti segitiga, trapesium, gaussian, *bell* dan lain-lain.

- c. *Rule Base*
Pada bagian ini berisi aturan-aturan yang menghubungkan variabel masukan dan variabel keluaran. Basis aturan fuzzy merupakan kumpulan pernyataan aturan 'IF-THEN' yang didasarkan pada pengetahuan manusia.
- d. *Inference*
Pada bagian inferensi atau *Fuzzy Inference System* (FIS) aturan-aturan yang terdapat dalam *rule base* digunakan untuk proses transformasi suatu masukan dalam domain fuzzy menjadi suatu keluaran dalam domain fuzzy.
- e. Defuzzifikasi
Defuzzifikasi adalah proses konversi nilai fuzzy menjadi nilai real yang kemudian digunakan pada proses kontrol. Metode defuzzifikasi yang biasa digunakan seperti metode centroid dan metode *weighted average*.

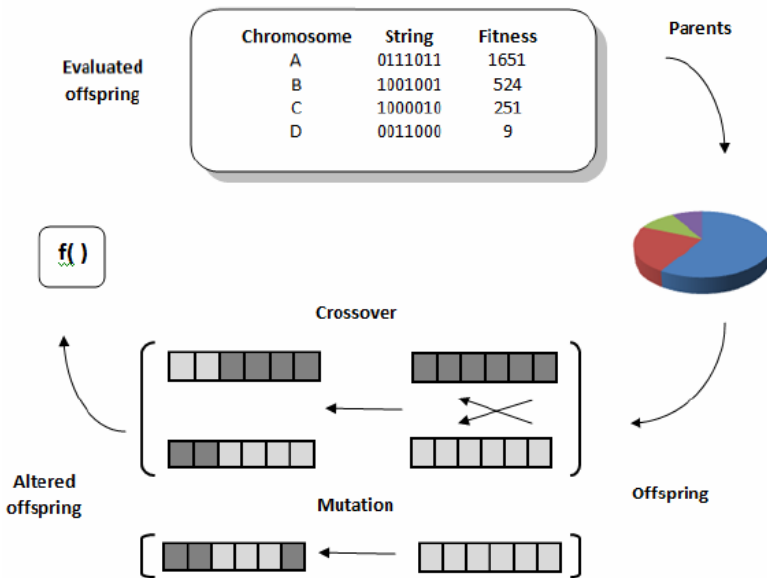
2.6 Algoritma Genetik

Algoritma genetik merupakan algoritma yang didasarkan pada konsep teori evolusi. Algoritma genetik dapat mencari solusi yang optimal dari berbagai masalah yang kompleks lebih cepat daripada metode *trial and error* [14].

Mekanisme dasar algoritma genetik adalah sebagai berikut:

1. Menetapkan kromosom
Parameter yang digunakan untuk mengoptimasi masalah harus ditentukan terlebih dahulu. Parameter ini adalah gen di dalam kromosom, yang dapat berupa kode biner atau *real coded*. Kromosom yang berbeda menunjukkan solusi yang berbeda pula.
2. Menetapkan *fitness function*
Nilai fitness adalah nilai yang menyatakan kualitas solusi (individu) yang didapatkan. *Fitness function* ditentukan berdasarkan syarat performansi dari masalah yang akan dioptimasi seperti nilai konvergensi, *error*, *rise time*, dan lain-lain.

3. Membuat populasi awal
 Satu pasang kromosom harus dibuat terlebih dahulu sebelum menggunakan operasi GA. Kromosom tersebut disebut sebagai populasi awal. Ukuran populasi ditentukan berdasarkan kerumitan masalah yang akan dioptimasi.
4. Membuat generasi berikutnya atau berhenti
 GA menggunakan operasi reproduksi, *crossover*, dan mutasi untuk menghasilkan generasi berikutnya. Dari generasi ke generasi, nilai maksimum dari nilai *fitness* akan tercapai.

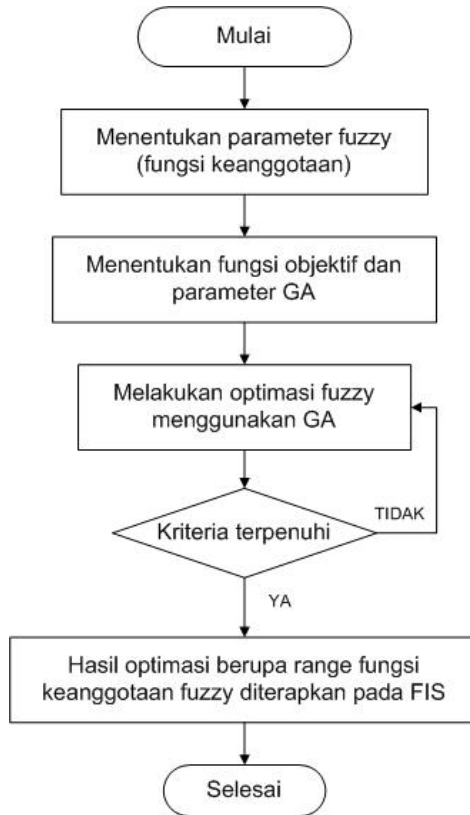


Gambar 2.8 Mekanisme Dasar Algoritma Genetik

2.7 Fuzzy-Genetic Algorithm

Kontrol fuzzy-genetic algorithm merupakan kombinasi dari algoritma genetik dan logika fuzzy. Pada sistem ini GA berperan sebagai metode optimasi yang diaplikasikan pada kontrol logika fuzzy. Parameter fuzzy yang dioptimasi oleh GA adalah *range*

fungsi keanggotaannya. Diagram alir fuzzy-genetic algorithm dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Diagram Alir Fuzzy-Genetic Algorithm

Langkah pertama yang dilakukan yaitu menentukan parameter fuzzy berupa fungsi keanggotaan lalu menentukan fungsi objektif dan parameter GA, dimana pada sistem ini fungsi objektif yang digunakan berupa nilai *Mean Square Error* (MSE) yang dirumuskan dengan persamaan (2.13).

$$mse = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (2.13)$$

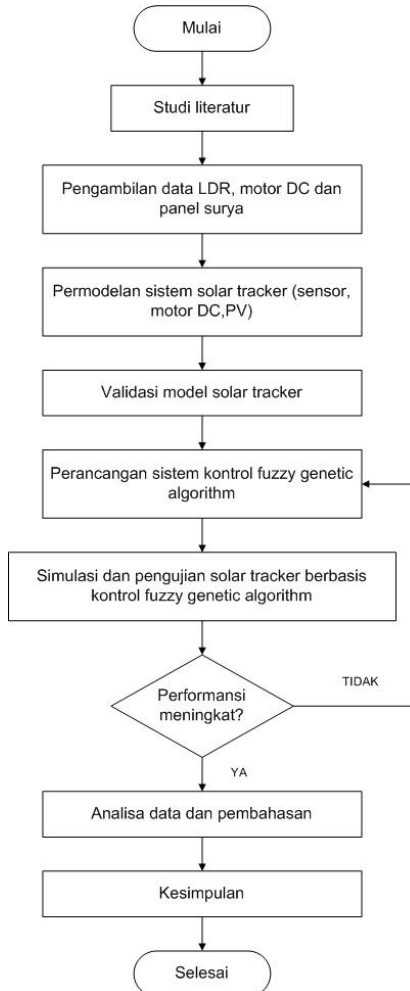
Dimana,

m = jumlah elemen

Setelah menentukan fungsi objektif dan parameter GA, dilakukan optimasi fuzzy menggunakan GA. Hasil optimasi berupa *range* fungsi keanggotaan dilihat apakah sudah memenuhi kriteria, apabila sudah maka hasil tersebut diterapkan pada FIS dan apabila belum terpenuhi maka diulangi langkah mengoptimasi fuzzy dengan GA.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Langkah-langkah pengerjaan tugas akhir dapat digambarkan dalam bentuk *flowchart* seperti pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

3.1 Pengambilan Data dan Pemodelan

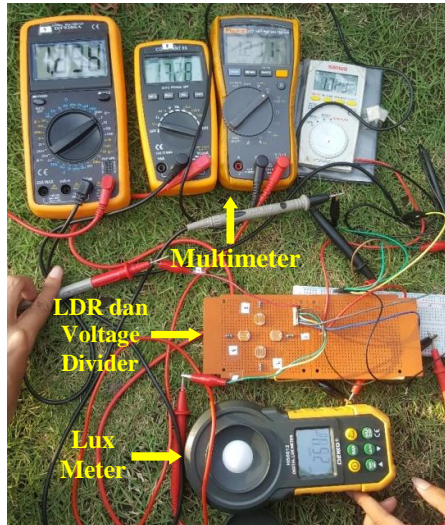
Setelah melakukan studi literatur atau tahap untuk membangun pemahaman awal hingga mendalam mengenai materi-materi yang mendukung penelitian tugas akhir ini, langkah selanjutnya yaitu pengambilan data. Pengambilan data dilakukan untuk mengetahui nilai parameter-parameter komponen penyusun sistem *solar tracker* aktif dua sumbu seperti sensor LDR, motor DC, dan panel surya. Data yang diambil pada tahap ini merupakan data yang akan digunakan dalam pemodelan sistem *solar tracker* aktif dua sumbu.

3.1.1 Pengambilan Data dan Pemodelan Sensor LDR

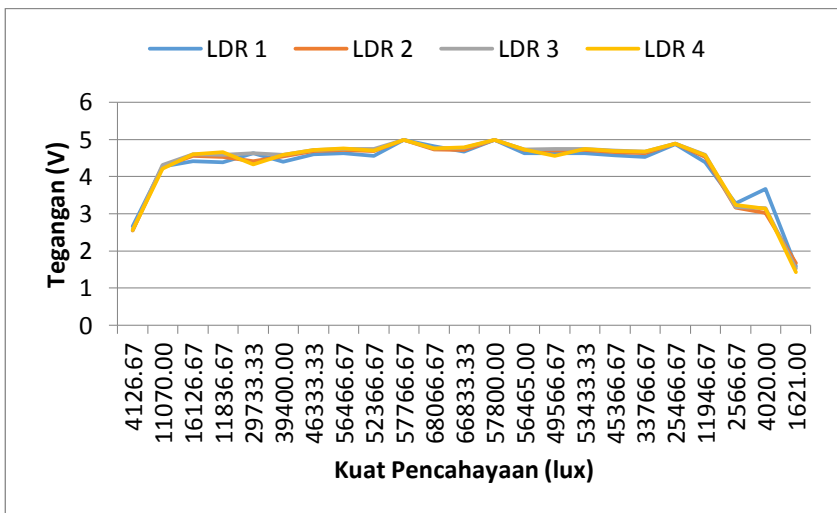
Sistem *solar tracker* aktif dua sumbu menggunakan 4 buah sensor LDR yang menunjukkan arah Timur, Barat, Utara dan Selatan. Sensor LDR Utara dan Selatan digunakan untuk melacak posisi altitude matahari sedangkan posisi azimuth matahari dilacak dengan menggunakan sensor LDR Barat dan Timur.

Data yang diambil dari sensor LDR berupa perbandingan antara kuat pencahayaan (lux) dengan tegangan dan perbandingan antara kuat pencahayaan (lux) dengan resistansi. Pengambilan data ini dilakukan untuk mengetahui linearitas antara kuat pencahayaan yang diterima oleh sensor LDR berbanding dengan resistansi dan tegangan yang dihasilkan oleh sensor LDR. Data diperoleh dari pengambilan data yang telah dilakukan selama 11 jam dari pukul 06.00 hingga 17.00 WIB setiap 30 menit pada tanggal 28 April 2018 dengan rute pengambilan di sekitar Kota Surabaya mulai dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) ke Jembatan Merah Plaza dan kembali ke ITS.

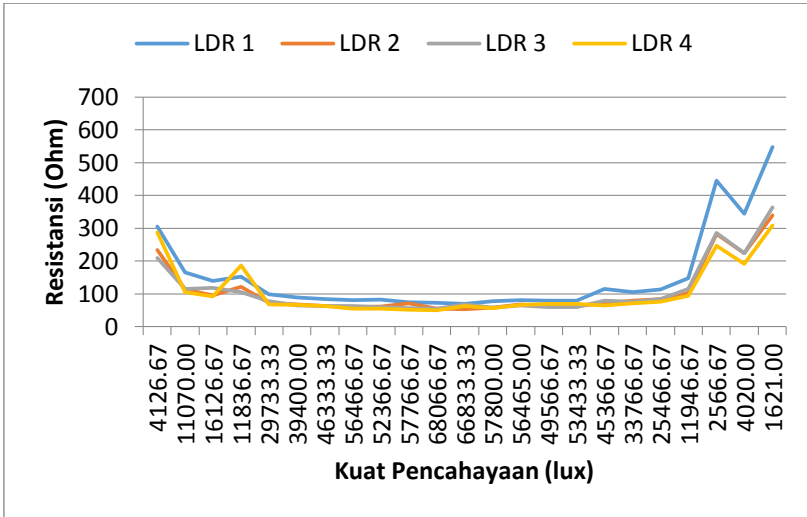
Alat yang digunakan untuk mengambil data sensor LDR yaitu lux meter, multimeter, adaptor 5 VDC, serta rangkaian *voltage divider* yang berfungsi untuk mengubah output sensor LDR dalam bentuk resistansi menjadi tegangan. Pada rangkaian *voltage divider* sensor LDR dihubungkan dengan resistor 1000 Ω secara seri. Grafik perbandingan kuat antara pencahayaan dengan tegangan dan resistansi dapat dilihat pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4.



Gambar 3.2 Pengambilan Data Sensor LDR



Gambar 3.3 Grafik Perbandingan Antara Kuat Pencahayaan Dengan Tegangan



Gambar 3.4 Grafik Perbandingan Antara Kuat Pencahayaan Dengan Resistansi

Grafik pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4 menunjukkan bahwa hubungan kuat pencahayaan dan tegangan adalah berbanding lurus, semakin besar kuat pencahayaan maka semakin besar tegangan LDR yang dihasilkan sedangkan resistansi berbanding terbalik dengan kuat pencahayaan, semakin tinggi kuat pencahayaan maka semakin rendah resistansi keluaran LDR.

Hubungan masukan dan keluaran LDR dapat ditunjukkan dengan persamaan berikut [10]:

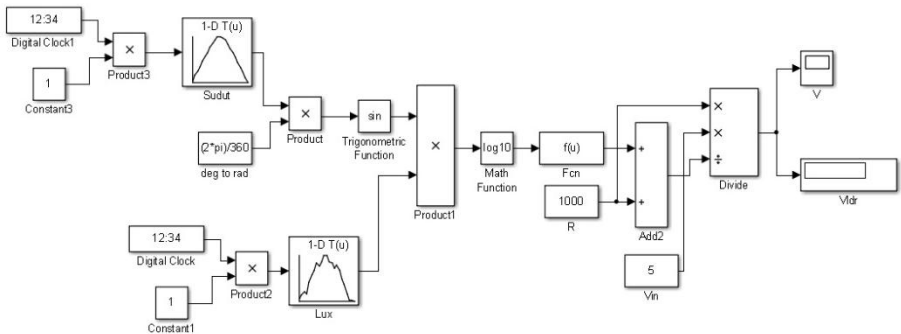
$$\text{Log } R = -\frac{3}{4}\text{Log } I + 5 \quad (3.7)$$

Untuk memperoleh nilai intensitas cahaya efektif pada sistem panel surya dapat menggunakan persamaan berikut ini:

$$I_{eff} = I_{max} \sin \theta \quad (3.8)$$

Dimana I_{max} merupakan intensitas cahaya matahari maksimum yang diterima LDR.

Berdasarkan persamaan (3.7) dan (3.8), sensor LDR dapat dimodelkan menggunakan MATLAB Simulink sebagai berikut.



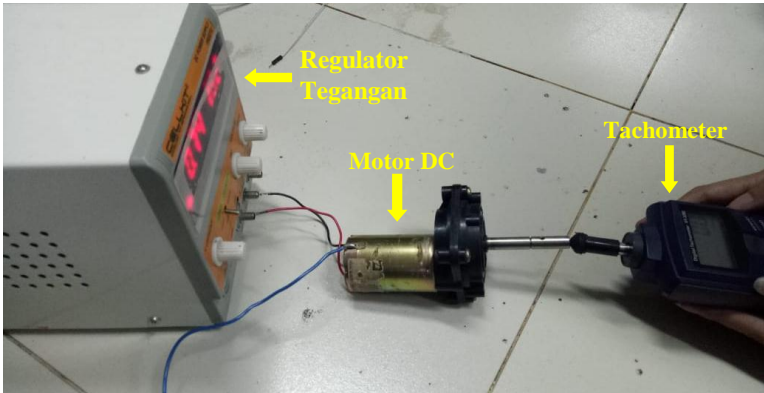
Gambar 3.5 Pemodelan Sensor LDR

Gambar 3.6 menunjukkan bahwa pada pemodelan sensor LDR terdapat 2 masukan berupa sudut dan intensitas cahaya matahari. Sudut untuk masukan sensor LDR Timur adalah sudut azimuth, sensor LDR Barat adalah sudut yaw, sensor LDR Utara adalah sudut altitude dan sensor LDR Selatan adalah sudut pitch. Nilai sudut dan intensitas cahaya matahari didapatkan dari pengambilan data selama 11 jam dari pukul 06.00 hingga 17.00 WIB.

3.1.2 Pengambilan Data dan Pemodelan Motor DC

Pada sistem *solar tracker* aktif dua sumbu digunakan 2 buah motor DC yang berfungsi untuk menggerakkan panel surya dengan arah pitch dan yaw. Motor DC yang digunakan yaitu motor DC 12 VDC.

Pengambilan data motor DC dilakukan untuk mendapatkan parameter-parameter yang akan digunakan untuk pemodelan yaitu konstanta tegangan, konstanta torsi, inersia motor, resistansi motor, induktansi motor, dan *viscous friction coefficient*. Alat yang digunakan saat mengambil data motor DC yaitu multimeter, LCR meter, tachometer, dan regulator tegangan.



Gambar 3.6 Pengambilan Data Motor DC

Pengambilan data dilakukan dengan memberikan masukan berupa tegangan dari 2 volt hingga 12 volt. Setelah itu akan didapatkan nilai rpm motor DC dari tiap tegangan yang kemudian digunakan untuk mencari nilai parameter-parameter motor DC dengan beberapa persamaan berikut.

- a. Konstanta Tegangan (K_e)

Nilai konstanta tegangan didapatkan dari rumus sebagai berikut:

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

- b. Konstanta Torsi (K_t)

Mencari nilai konstanta torsi dapat menggunakan rumus ssebagai berikut:

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

- c. Inersia Motor (J_m)

Nilai inersia dicari menggunakan rumus sebagai berikut:

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

Dimana:

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

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

- d. Resistansi (R) dan Induktansi Motor (L)
 Nilai resistansi dan induktansi motor didapatkan dengan LCR meter. Data diambil sebanyak 10 kali lalu dirata-rata.
- e. *Viscous Friction Coefficient* (Bm)
 Mencari nilai Bm dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

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

Dari persamaan (3.1) sampai (3.6) diperoleh nilai parameter-parameter motor DC seperti ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Parameter Motor DC

Parameter Motor DC	Nilai Parameter Motor DC
Ke	27.17 Volt.sec/rad
Kt	27.17 Nm/A
R	9.33 Ohm
L	0.009 Henry
Jm	242.697 Nm.sec ²
Bm	0.615 Nm.sec/rad

Motor DC terdiri dari dua elemen penyusun yaitu elektrik dan mekanik. Model motor DC dari segi elektrik diturunkan berdasarkan Hukum Kirchoff sedangkan dari segi mekanik diturunkan berdasarkan Hukum Newton.

Berdasarkan Hukum Kirchoff II pada persamaan (2.1), (2.2) dan Hukum II Newton pada persamaan (2.3), (2.4) didapatkan transformasi laplace dari persamaan (2.7), (2.8) sebagai berikut:

$$V(s) = R_a \cdot I_a(s) + L_a \cdot I_a(s)S + Kb \cdot \omega(s)$$

$$V_a(s) - Kb \cdot \omega(s) = I_a(s)(R_a + L_a S)$$

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

$$I_a = (V_a(s) - Kb \cdot \omega(s)) \frac{1}{(R_a + L_a S)} \quad (3.9)$$

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

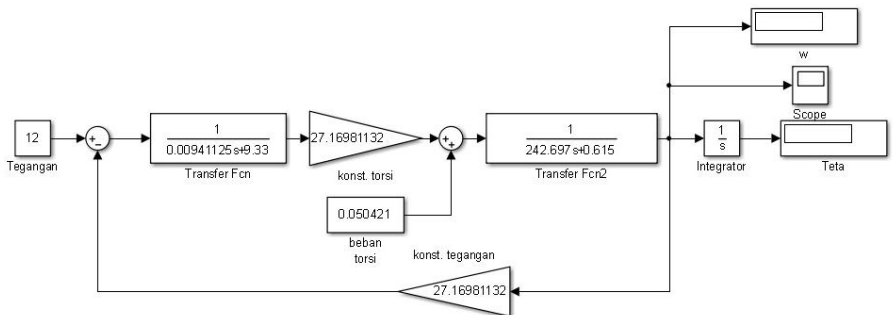
$$\omega(s) = \frac{K_t \cdot I_a}{J_m S + B_m}$$

$$\omega(s) = K_t \cdot I_a \cdot \frac{1}{J_m S + B_m} \quad (3.10)$$

Dan berdasarkan persamaan (2.11) hubungan antara sudut dan kecepatan sudut yaitu:

$$\theta(s) = \frac{1}{s} \omega(s) \quad (3.11)$$

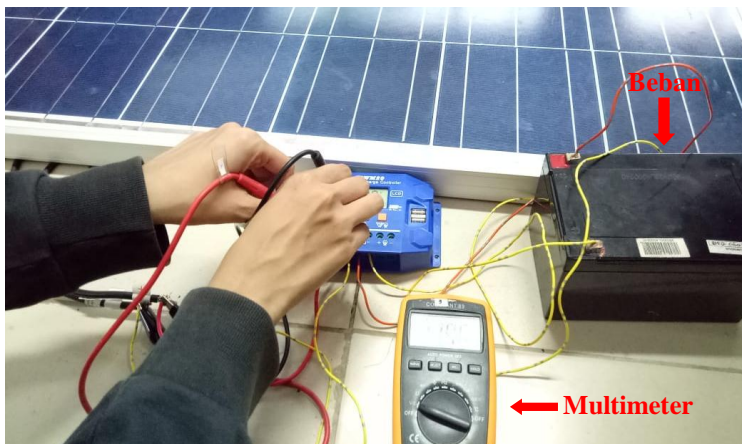
Motor DC dapat dimodelkan berdasarkan persamaan (3.9), (3.10) dan (3.11) serta parameter yang telah didapatkan seperti pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Pemodelan Motor DC

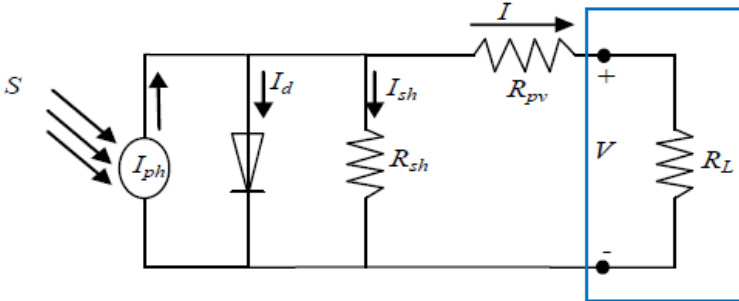
3.1.3 Pengambilan Data dan Pemodelan Panel Surya

Data yang digunakan untuk memodelkan panel surya yaitu radiasi dan suhu yang didapatkan dari pengambilan data secara langsung serta parameter panel surya yang didapatkan dari *datasheet*. Pengambilan data dilakukan selama 11 jam dari pukul 06.00 hingga 17.00 WIB tiap 30 menit. Alat yang digunakan untuk mengambil data yaitu multimeter, beban dan termometer laser.



Gambar 3.8 Setup Pengukuran PV

Panel Surya dimodelkan berdasarkan rangkaian ekivalen *single diode* seperti pada Gambar 3.8. Pada rangkaian ekivalen PV terdiri dari 4 komponen penyusun yaitu sumber cahaya (*photocurrent*), dioda, resistansi internal PV (R_{pv}), dan resistor *shunt*.



Gambar 3.9 Rangkaian Ekivalen PV

Pemodelan PV memiliki masukan berupa radiasi dan temperatur yang didapatkan dari pengambilan data serta keluaran berupa tegangan dan arus.

Berdasarkan Hukum Arus Kirchoff, arus dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (3.11)$$

Idealnya $I_{sh} = 0$ karena $R_{sh} \approx \infty$, sehingga persamaan (3.11) dapat ditulis kembali menjadi,

$$I = I_{ph} - I_d = I_{ph} - I_o \left[\exp\left(\frac{V + IR_{pv}}{V_T}\right) - 1 \right] \quad (3.12)$$

I dan V dapat direpresentasikan sebagai fungsi radiasi dan temperatur seperti berikut:

$$I = \left[\mu \left(\frac{S}{S_{ref}} \right) (T - T_{ref}) + \left(\frac{S}{S_{ref}} - 1 \right) I_{sc} \right] + I_{mp} \quad (3.13)$$

$$V = -\Phi(T - T_{ref}) - R_{pv}(I - I_{mp}) + V_{mp} \quad (3.14)$$

Nilai $S_{ref} = 1000 \text{ W/m}^2$ dan $T_{ref} = 25^\circ\text{C}$ sedangkan beberapa parameter lainnya seperti I_{sc} , I_{mp} , V_{oc} , V_{mp} , μ , Φ , W_p ditunjukkan dalam Tabel 3.2 dan R_{pv} dapat dihitung menggunakan persamaan 3.15.

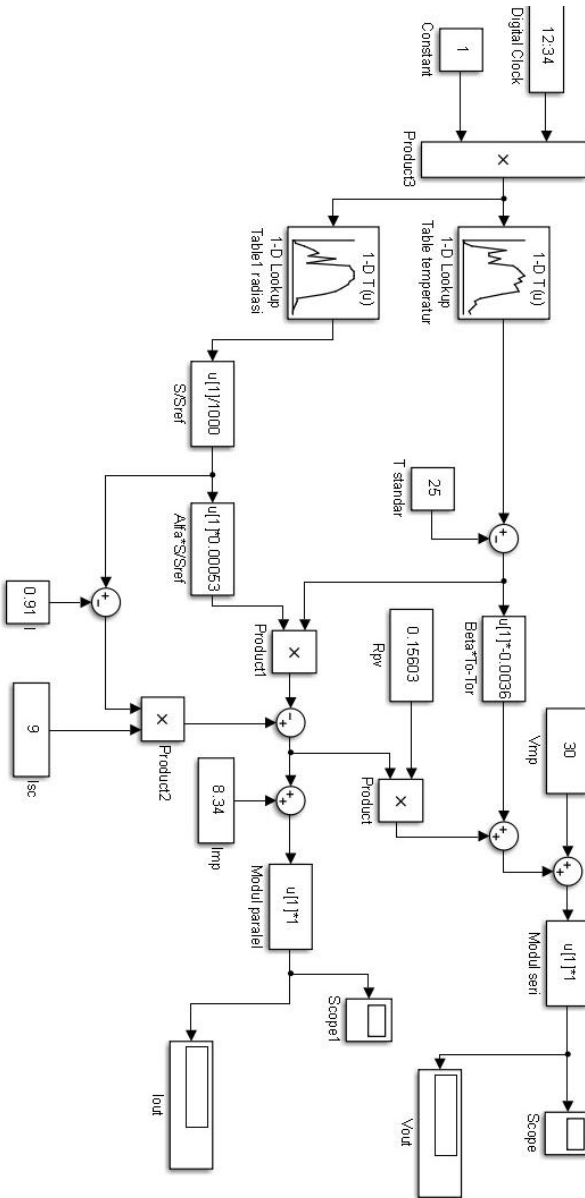
Tabel 3.2 Parameter Panel Surya

Parameter Panel Surya	Nilai Parameter Panel Surya
<i>Short Circuit Current</i> (I_{sc})	9 A
<i>Open Circuit Voltage</i> (V_{oc})	36.8 V
<i>Maximum Power Current</i> (I_{mp})	8.34 A
<i>Maximum Power Voltage</i> (V_{mp})	30 V
<i>Temperature Coeff. of Short Circuit Current</i> (μ)	0.00053 A/ $^\circ\text{C}$
<i>Temperature Coeff. of Short Circuit Voltage</i> (Φ)	-0.0036 V/ $^\circ\text{C}$
<i>PV Internal Resistance</i> (R_{pv})	0.15603 Ohm
<i>Maximum Power</i> (W_p)	250 W

$$R_{pv} = \frac{\Phi_{ref} \ln\left(1 - \frac{I_{mp}}{I_{sc}}\right) + V_{oc} - V_{mp}}{I_{mp}} \quad (3.15)$$

$$\Phi_{ref} = \frac{2V_{mp} - V_{oc}}{\frac{I_{sc}}{I_{sc} - I_{mp}} + \ln\left(1 - \frac{I_{mp}}{I_{sc}}\right)} \quad (3.16)$$

Berdasarkan persamaan dan parameter diatas, panel surya dapat dimodelkan seperti pada Gambar 3.10.



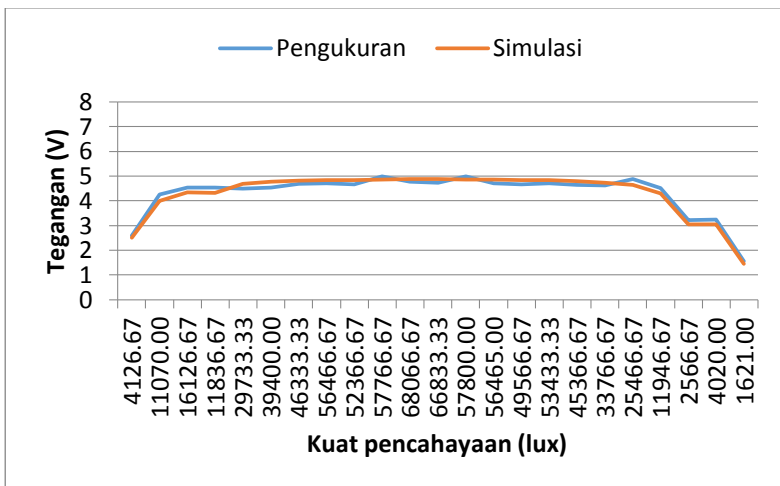
Gambar 3.10 Pemodelan Panel Surya

3.2 Validasi Model *Solar Tracker*

Pemodelan yang telah dirancang sebelumnya kemudian divalidasi. Tahap validasi model *solar tracker* ini dilakukan dengan cara memvalidasi pemodelan tiap komponen. Validasi bertujuan untuk membuktikan bahwa hasil simulasi pemodelan yang dibuat sesuai dengan data hasil pengukuran yang telah dilakukan.

3.2.1 Validasi Pemodelan Sensor LDR

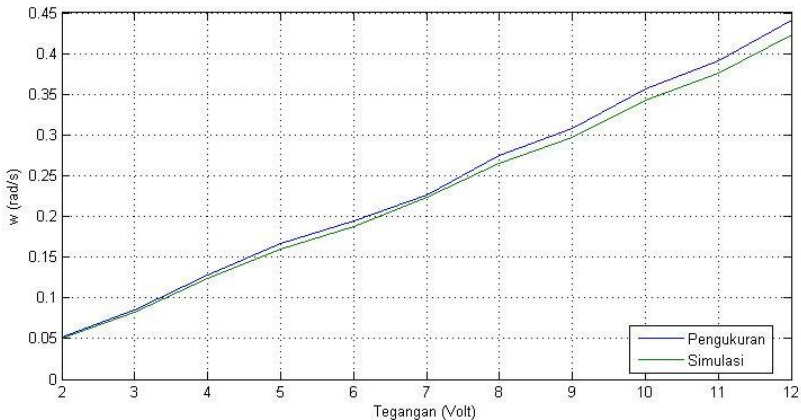
Validasi pertama yang dilakukan yaitu validasi pemodelan sensor LDR. Validasi dilakukan dengan membandingkan tegangan keluaran LDR dari hasil pengukuran dan simulasi. Tegangan *input* (V_{in}) diberikan nilai sebesar 5 Volt dan masukan berupa intensitas cahaya matahari serta sudut disajikan dalam bentuk lookup table yang berisi data pengukuran. Hasil validasi pemodelan sensor LDR dapat dilihat pada Gambar 3.11. Gambar tersebut menunjukkan bahwa terdapat kesesuaian antara keluaran tegangan dari simulasi pemodelan sensor LDR dengan hasil pengukuran.



Gambar 3.11 Tegangan Keluaran LDR Simulasi dan Pengukuran

3.2.2 Validasi Pemodelan Motor DC

Validasi pemodelan motor DC dilakukan dengan memberikan masukan pada simulasi berupa tegangan dari 2 Volt hingga 12 Volt. Kemudian keluaran berupa kecepatan angular motor (ω) dibandingkan dengan data hasil pengukuran yang telah dilakukan sebelumnya. Hasil keluaran motor DC dapat dilihat pada Gambar 3.12.

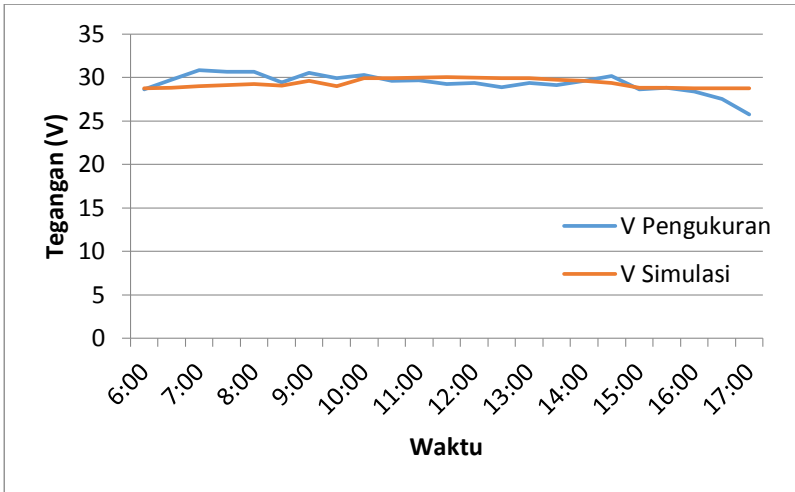


Gambar 3.12 Hasil Keluaran Motor DC Simulasi dan Pengukuran

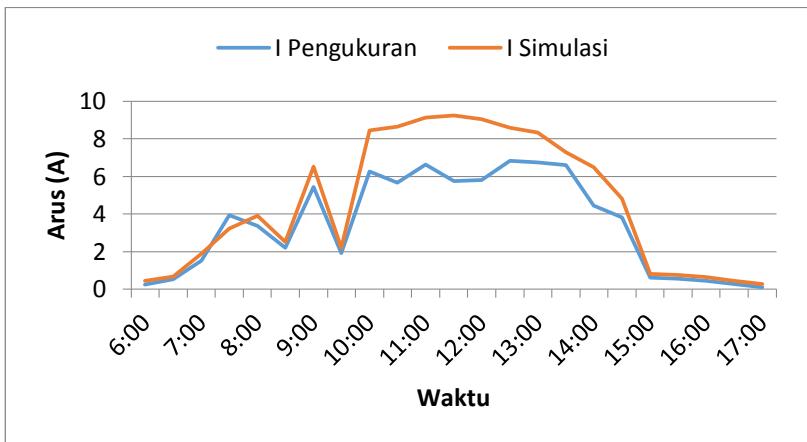
Berdasarkan grafik pada Gambar 3.12 ditunjukkan bahwa hasil kecepatan sudut keluaran simulasi pemodelan motor DC mendekati nilai aktualnya dengan selisih maksimal yaitu sebesar 0.01917 rad/s.

3.2.3 Validasi Pemodelan Panel Surya

Pada tahap validasi pemodelan panel surya, input pada simulasi berupa temperatur dan radiasi disajikan dalam bentuk lookup table sesuai dengan data yang didapatkan dari pengukuran selama 11 jam dari pukul 06.00 sampai 17.00 WIB tiap 30 menit. Keluaran panel surya berupa tegangan dan arus dibandingkan dengan data pengukuran.



Gambar 3.13 Grafik Hasil Keluaran Tegangan Simulasi Pemodelan Panel Surya dan Pengukuran



Gambar 3.14 Grafik Hasil Keluaran Arus Simulasi Pemodelan Panel Surya dan Pengukuran

Grafik pada gambar 3.13 dan 3.14 menunjukkan adanya kesesuaian antara hasil simulasi pemodelan panel surya dengan hasil pengukuran namun masih terdapat penyimpangan yang

cukup besar pada pukul 17.00 untuk tegangan dan pada pukul 10.00 hingga 13.00 untuk arus. Penyimpangan hasil simulasi dengan data aktualnya terjadi karena beberapa faktor yaitu kesalahan *input* pada model simulasi yang bersumber dari teknik pengukuran seperti penempatan sensor piranometer yang salah. Faktor lainnya adalah gangguan angin dan kelembaban yang tidak dimodelkan pada proses simulasi PV.

3.3 Perancangan Sistem Kontrol Fuzzy Genetic Algorithm

Sistem kontrol yang dirancang pada penelitian tugas akhir ini adalah fuzzy genetic algorithm, yang digunakan untuk mengendalikan panel surya pada arah sudut yaw dan pitch. Sistem kontrol yang digunakan berbentuk MISO (Multi Input Single Output), dengan masukan berupa error dan delta error yang didapatkan dari persamaan (3.17), (3.18), (3.19) dan (3.20) serta keluaran berupa sinyal PWM. Pada penelitian ini menggunakan fuzzy Takagi-Sugeno.

$$e_{yaw}(t) = V_{ldrtimur} - V_{ldrbarat} \quad (3.17)$$

$$e_{pitch}(t) = V_{ldrutara} - V_{ldrselatan} \quad (3.18)$$

$$\Delta e_{yaw}(t) = e_{yaw}(t) - e_{yaw}(t - 1) \quad (3.19)$$

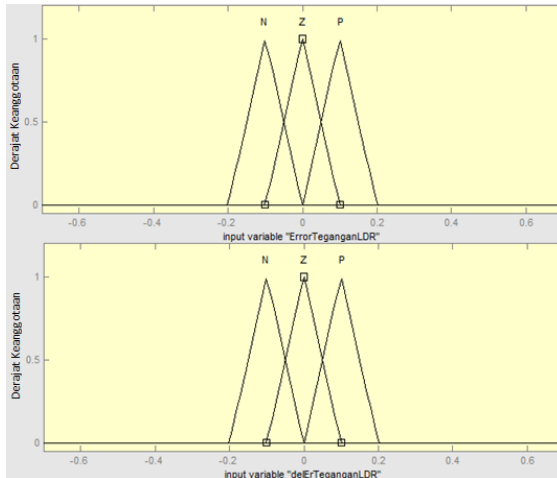
$$\Delta e_{pitch}(t) = e_{pitch}(t) - e_{pitch}(t - 1) \quad (3.20)$$

3.3.1 Fungsi Keanggotaan *Input*

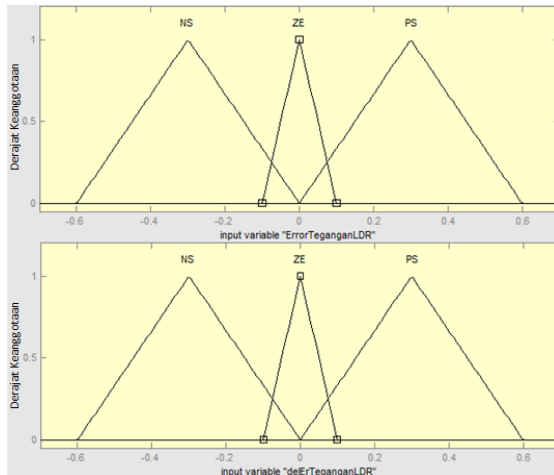
Pada penelitian ini variasi yang digunakan adalah jumlah fungsi keanggotaan fuzzy yaitu 3 fungsi keanggotaan dan 5 fungsi keanggotaan untuk masing-masing pitch dan yaw.

- a. Fungsi keanggotaan *input* fuzzy berjumlah 3

Pada variasi ini *input* fuzzy memiliki 3 buah fungsi keanggotaan yaitu N, Z, P. Semua bentuk fungsi keanggotaannya berbentuk segitiga. Bentuk dan *range* masing-masing fungsi keanggotaan *input* ditunjukkan pada Gambar 3.15 dan 3.16.



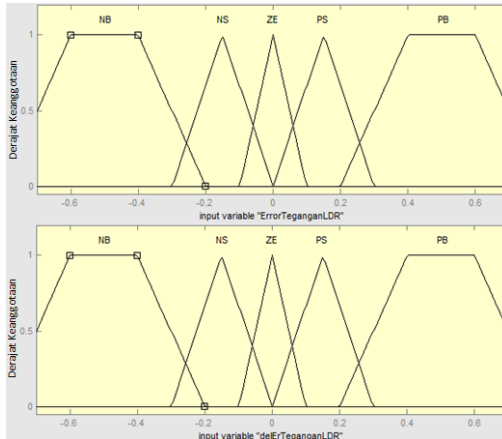
Gambar 3.15 Fungsi Keanggotaan Error dan Delta Error Pitch dengan 3 buah Fungsi Keanggotaan



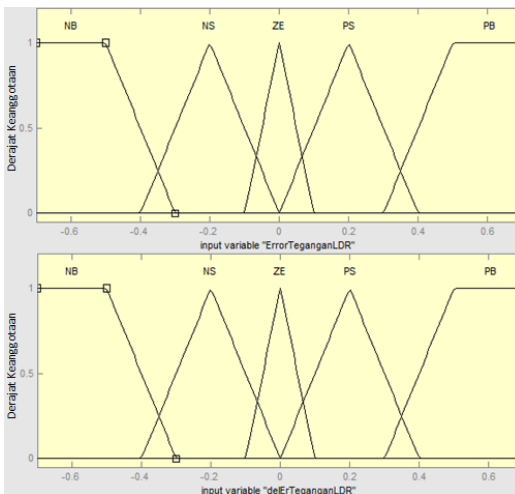
Gambar 3.16 Fungsi Keanggotaan Error dan Delta Error Yaw dengan 3 buah Fungsi Keanggotaan

- b. Fungsi keanggotaan *input* fuzzy berjumlah 5
 Pada variasi ini *input* fuzzy memiliki 5 buah fungsi keanggotaan yaitu NB, NS, Z, PS, PB. Fungsi keanggotaannya

memiliki 2 macam bentuk yaitu tiga buah berbentuk segitiga dan dua buah trapesium. Bentuk dan *range* masing-masing fungsi keanggotaan *input* error dan delta error untuk pitch dan yaw dapat dilihat pada Gambar 3.17 dan 3.18.



Gambar 3.17 Fungsi Keanggotaan Error dan Delta Error Pitch dengan 5 buah Fungsi Keanggotaan



Gambar 3.18 Fungsi Keanggotaan Error dan Delta Error Yaw dengan 5 buah Fungsi Keanggotaan

3.3.2 Modifikasi Fungsi Keanggotaan Fuzzy dengan GA

Fungsi keanggotaan fuzzy yang telah ditetapkan kemudian dioptimasi menggunakan GA. Langkah pertama yang dilakukan untuk melakukan optimasi menggunakan GA yaitu menentukan jumlah parameter fungsi keanggotaan yang akan dioptimasi. Parameter disini berupa rentang tiap fungsi keanggotaan. Pada penelitian tugas akhir ini, *input* dengan derajat keanggotaan bernilai satu tidak dilakukan optimasi sehingga untuk setiap fungsi keanggotaan fuzzy *input* dengan 3 buah fungsi keanggotaan berbentuk segitiga diperoleh 6 parameter yang dioptimasi, sedangkan pada kontrol fuzzy dengan 5 buah fungsi keanggotaan diperoleh 10 parameter yaitu 6 parameter untuk fungsi keanggotaan segitiga dan 4 parameter untuk fungsi keanggotaan trapesium. Pada kasus ini, nilai rentang fungsi keanggotaan ditentukan dari pengukuran langsung tegangan LDR. Parameter fungsi keanggotaan fuzzy yang akan dioptimasi ditunjukkan pada Tabel 3.3 dan 3.4.

Tabel 3.3 Parameter Fuzzy dengan 3 Fungsi Keanggotaan yang Akan Dioptimasi

Bilangan Fuzzy	Jumlah Parameter	Nilai Parameter	
		Pitch	Yaw
N	2	[-0.2 -0.1 0]	[-0.6 -0.3 0]
Z	2	[-0.1 0 0.1]	[-0.1 0 0.1]
P	2	[0 0.1 0.1]	[0 0.3 0.6]

Tabel 3.4 Parameter Fuzzy dengan 5 Fungsi Keanggotaan yang Akan Dioptimasi

Bilangan Fuzzy	Jumlah Parameter	Nilai Parameter	
		Pitch	Yaw
NB	2	[-0.8 -0.6 -0.4 -0.2]	[-0.9 -0.7 -0.5 -0.3]
NS	2	[-0.3 -0.15 0]	[-0.4 -0.2 0]
ZE	2	[-0.1 0 0.1]	[-0.1 0 0.1]
PS	2	[0 0.15 0.3]	[0 0.2 0.4]
PB	2	[0.2 0.4 0.6 0.8]	[0.3 0.5 0.7 0.9]

Langkah berikutnya yaitu menentukan nilai parameter GA meliputi jumlah populasi, jumlah generasi, elatism, probabilitas *crossover*, probabilitas mutasi dan jumlah bit. Parameter GA ditunjukkan pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Nilai Parameter GA

Parameter	Kuantitas			
	3 MF		5 MF	
	Pitch	Yaw	Pitch	Yaw
Jumlah Populasi	200	200	200	200
Jumlah Generasi	100	100	100	100
Elatism	0.9	0.9	0.9	0.9
Probabilitas Crossover	0.8	0.8	0.8	0.8
Probabilitas Mutasi	0.01	0.01	0.01	0.01
Jumlah Bit	20	20	20	20

Nilai parameter GA pada tabel diatas didapatkan dengan metode *trial and error*. Sebelumnya telah dilakukan beberapa percobaan dengan masing-masing nilai parameter yang berbeda-beda contohnya untuk jumlah populasi nilai yang diuji yaitu 100, 150, 200, untuk elatism diuji dengan nilai 0.5, 0.7, 0.9, dan begitu pula untuk parameter lainnya. Dari beberapa nilai yang diuji, dipilih nilai parameter yang memiliki hasil terbaik dilihat dari hasil respon kontroler fuzzy yang telah dioptimasi dengan GA tersebut.

Setelah dilakukan optimasi menggunakan GA dengan parameter pada tabel diatas didapatkan rentang fungsi keanggotaan yang baru seperti yang disajikan pada Tabel 3.6 dan 3.7. Hasil optimasi fungsi keanggotaan ini digunakan untuk kedua *input* fuzzy yaitu error dan delta error.

Tabel 3.6 Hasil Optimasi Parameter Fuzzy 3 Fungsi Keanggotaan

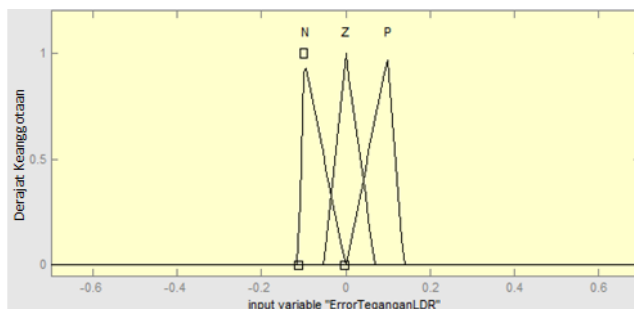
Bilangan Fuzzy	Jumlah Parameter	Nilai Parameter	
		Pitch	Yaw
N	2	[-0.1127 -0.1 -0.0017]	[-0.4898 -0.3 -0.0053]
Z	2	[-0.0509 0 0.0695]	[-0.0631 0 0.071]
P	2	[0.0022 0.1 0.1367]	[0.0178 0.3 0.4583]

Tabel 3.7 Hasil Optimasi Parameter Fuzzy 5 Fungsi Keanggotaan

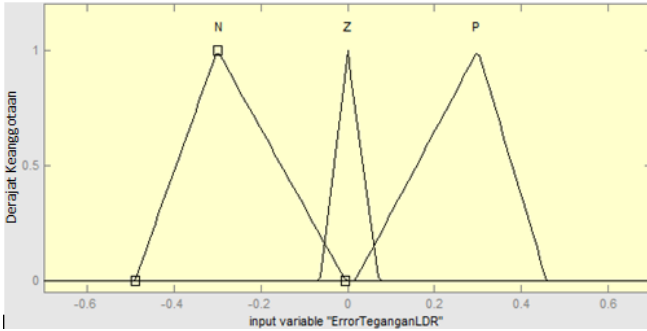
Bilangan Fuzzy	Jumlah Parameter	Nilai Parameter	
		Pitch	Yaw
NB	2	[-0.6354 -0.6 -0.4 -0.2003]	[-0.6262 -0.5 -0.3 -0.2007]
NS	2	[-0.2161 -0.15 -0.0172]	[-0.3144 -0.15 -0.06]
ZE	2	[-0.0448 0 0.0637]	[-0.0636 0 0.061]
PS	2	[0.047 0.15 0.2262]	[0.0339 0.2 0.2393]
PB	2	[0.2154 0.4 0.6 0.6423]	[0.1175 0.3 0.5 0.6789]

Dari Tabel 3.6 dan 3.7 terlihat bahwa rentang fungsi keanggotaan fuzzy yang baru lebih kecil dibandingkan dengan rentang fungsi keanggotaan fuzzy sebelum dioptimasi.

Parameter yang didapatkan setelah proses optimasi pada Tabel 3.6 dan 3.7 kemudian dibentuk menjadi fungsi keanggotaan yang ditunjukkan pada Gambar 3.19 dan 3.20.

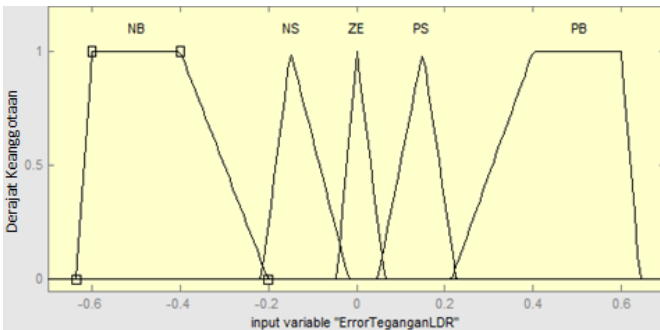


(a)

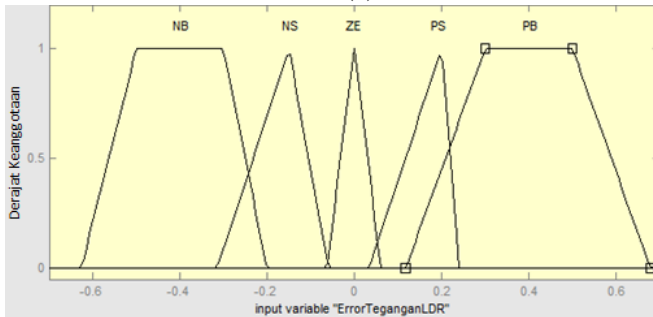


(b)

Gambar 3.19 Fungsi Keanggotaan *Input* Fuzzy GA dengan 3 Fungsi Keanggotaan (a) Pitch (b) Yaw



(a)



(b)

Gambar 3.20 Fungsi Keanggotaan *Input* Fuzzy GA dengan 5 Fungsi Keanggotaan (a) Pitch (b) Yaw

3.3.3 Rule Base

Jumlah *rule base* fuzzy bergantung pada jumlah fungsi keanggotaan pada variabel *input*, apabila memiliki dua *input* dan masing-masing memiliki jumlah fungsi keanggotaan yang sama maka jumlah *rule base* dapat ditentukan dengan rumus N^2 (N =jumlah fungsi keanggotaan), sehingga pada kontrol fuzzy GA dengan 3 fungsi keanggotaan digunakan 9 *rules* karena memiliki 2 *input* dimana masing-masing berisi 3 fungsi keanggotaan dan kontrol fuzzy GA dengan 5 fungsi keanggotaan menggunakan 25 *rules* karena memiliki 2 *input* dimana masing-masing berisi 5 fungsi keanggotaan. *Rule base* 3 fungsi keanggotaan dan 5 fungsi keanggotaan untuk masing-masing pitch dan yaw dapat dilihat pada Tabel 3.8, 3.9, 3.10 dan 3.11.

Tabel 3.8 *Rule Base* Fuzzy GA dengan 3 Fungsi Keanggotaan untuk Sudut Pitch

Δe \ e	N	Z	P
N	CCWF	S	CWF
Z	CCWS	S	CWS
P	CCWF	S	CWF

Tabel 3.9 *Rule Base* Fuzzy GA dengan 3 Fungsi Keanggotaan untuk Sudut Yaw

Δe \ e	N	Z	P
N	CWF	CWS	CWF
Z	S	S	S
P	CCWF	CCWS	CCWF

Tabel 3.10 *Rule Base* Fuzzy GA dengan 5 Fungsi Keanggotaan untuk Sudut Pitch

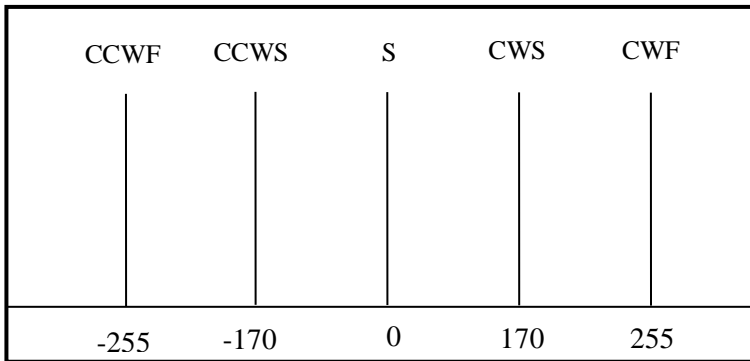
$\Delta e \backslash e$	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	CCWF	CCWF	S	CWS	CFW
NS	CCWF	CCWS	S	CWS	CWS
ZE	CCWS	CCWS	S	CWS	CWS
PS	CCWS	CCWS	S	CWS	CFW
PB	CCWF	CWS	S	CFW	CFW

Tabel 3.11 *Rule Base* Fuzzy GA dengan 3 Fungsi Keanggotaan untuk Sudut Yaw

$\Delta e \backslash e$	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	CFW	CWS	CWS	CFW	CFW
NS	CCWS	CWS	CWS	CWS	CFW
ZE	S	S	S	S	S
PS	CCWF	CCWS	CCWS	CCWS	CCWS
PB	CCWF	CCWF	CCWS	CCWS	CCWF

3.4.4 Fungsi Keanggotaan *Output*

Output dari sistem kontrol ini adalah sinyal PWM yang selanjutnya akan digunakan sebagai input motor DC, output ini mempunyai rentang dari -255 hingga 255. Sinyal PWM ini digunakan untuk merubah tegangan referensi yang disuplay ke motor DC sehingga berdampak pada perubahan kecepatan motor dalam menggerakkan panel surya. Nilai minus pada parameter *output* menunjukkan arah putaran motor DC. Lima kategori himpunan fuzzy *output* dinyatakan dengan CCWF (*Counter Clockwise Fast*), CCWS (*Counter Clockwise Slow*), S (*Stop*), CWF (*Clockwise Fast*), CWS (*Clockwise Slow*) seperti terlihat pada Gambar 3.21.

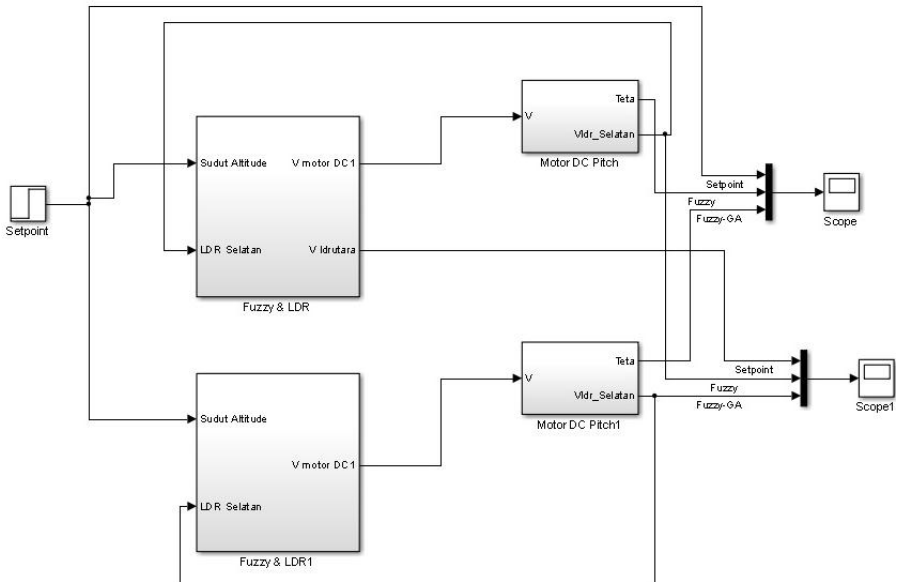


Gambar 3.21 *Output Fuzzy*

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada tahap ini dilakukan tiga uji yaitu pertama uji *setpoint* untuk mengetahui performansi kontrol fuzzy GA dan membandingkannya dengan kontrol logika fuzzy menggunakan pemodelan seperti Gambar 4.1. Uji *setpoint* dilakukan untuk masing-masing motor pitch dan yaw. Variasi masukan untuk motor pitch yaitu berupa sudut altitude sebesar 30° , 50° dan 70° sedangkan variasi masukan untuk motor yaw berupa sudut azimuth sebesar 30° dan 80° . Uji kedua yaitu uji *tracking* posisi matahari dan uji ketiga yaitu uji performansi PV menggunakan pemodelan seperti Gambar 4.2. Rentang waktu pengujian uji *tracking* dan uji performansi adalah 11 jam dimulai dari pukul 06.00 sampai 17.00 WIB.



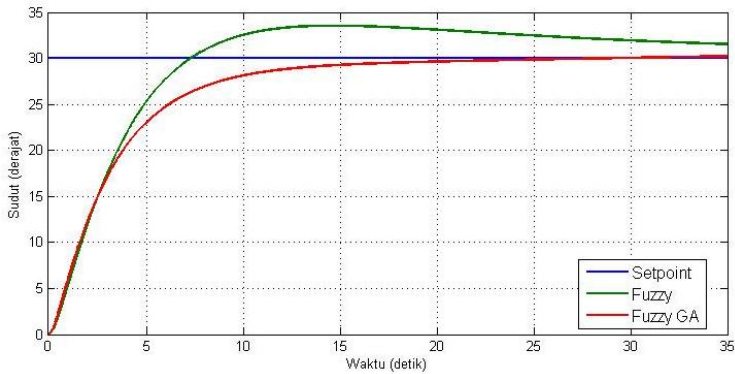
Gambar 4.1 Pemodelan Simulink Uji *Setpoint*

4.1 Uji *Setpoint*

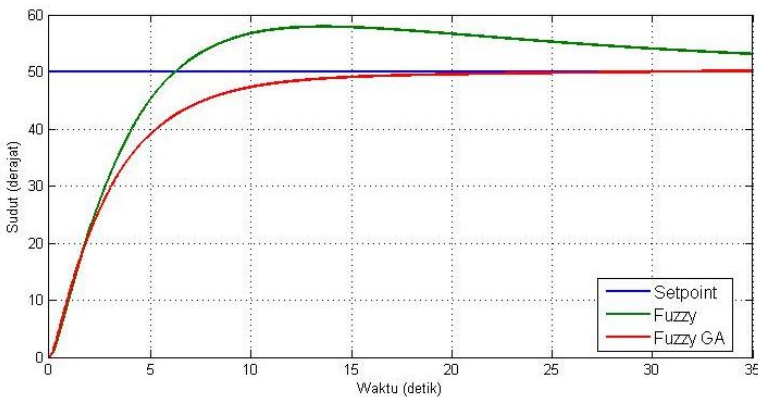
Kriteria pengukuran performansi kontrol yang diperhatikan pada uji *setpoint* ada 4 yaitu *rise time* (t_r), *settling time* (t_s), *maximum overshoot* (M_{ov}), dan *error steady state* (e_{ss}).

4.1.1 Uji *Setpoint* Pitch dengan 3 Fungsi Keanggotaan

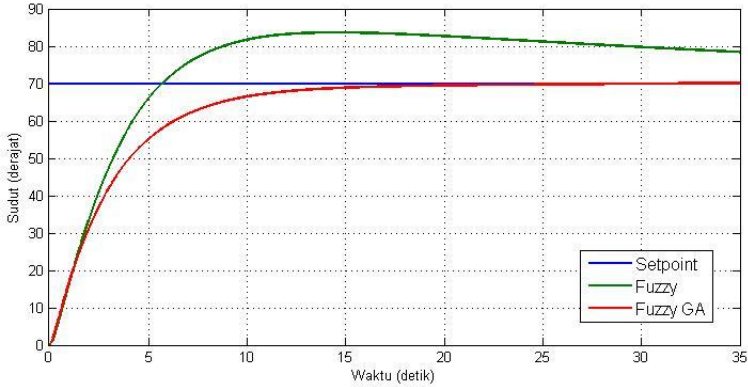
Uji *setpoint* pitch dilakukan menggunakan *setpoint* sebesar 30° , 50° dan 70° , nilai step tersebut mewakili nilai sudut altitude matahari. Hasil respon sudut keluaran motor pitch terhadap nilai masukan ditunjukkan pada Gambar 4.3.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.3 Respon Sudut Pitch 3 Fungsi Keanggotaan dengan *Setpoint* (a) 30° (b) 50° (c) 70°

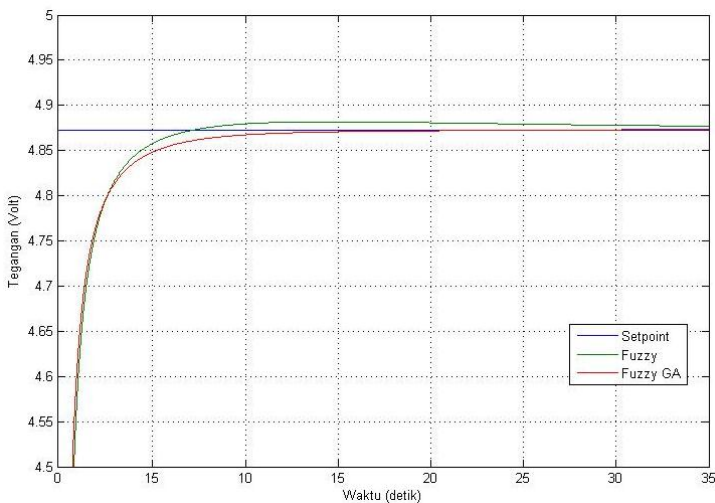
Gambar 4.3 menunjukkan bahwa respon kontrol menggunakan fuzzy GA dapat mencapai nilai *setpoint* dengan error yang kecil sedangkan ketika menggunakan kontrol fuzzy hasil respon tidak mencapai nilai *setpoint* dengan selisih yang cukup besar. Berdasarkan gambar diatas diketahui indeks performansi respon kontrol fuzzy dan fuzzy GA seperti pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Perbandingan Indeks Performansi Respon Sudut Pitch 3 Fungsi Keanggotaan

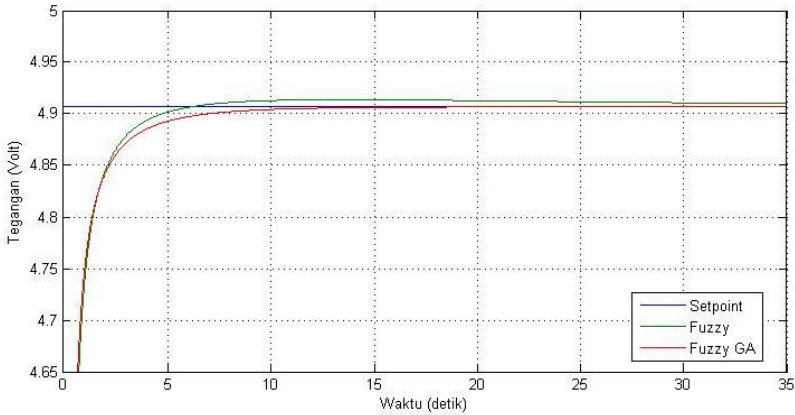
Indeks Peformansi	<i>Setpoint</i>					
	30°		50°		70°	
	Fuzzy	Fuzzy GA	Fuzzy	Fuzzy GA	Fuzzy	Fuzzy GA
Rise time (detik)	5.05	7.5	4.44	7.17	4.1	7.05
Settling time (detik)	31.5	16.28	30.75	14.46	30.5	13.87
Max. Overshoot (%)	11.8	0	15.83	0	19.49	0
Error Steady State (%)	6	1.2	7.68	1.14	12	1.07

Dari Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa kontrol fuzzy GA dengan 3 fungsi keanggotaan untuk sudut pitch memiliki *rise time* yang lebih lama dibandingkan dengan kontrol fuzzy namun jauh lebih cepat menuju keadaan *steady*. Selain itu nilai error rata-rata yang dihasilkan kontrol fuzzy GA pada tiap *setpoint* yaitu sebesar 1.14%, persentase tersebut lebih kecil dibandingkan dengan kontrol fuzzy. Pada tabel indeks performansi ditunjukkan bahwa kontrol fuzzy GA tidak memiliki *overshoot*, hal tersebut menunjukkan bahwa kontrol fuzzy GA mampu menyesuaikan dan mengikuti *setpoint* dengan baik tanpa osilasi.

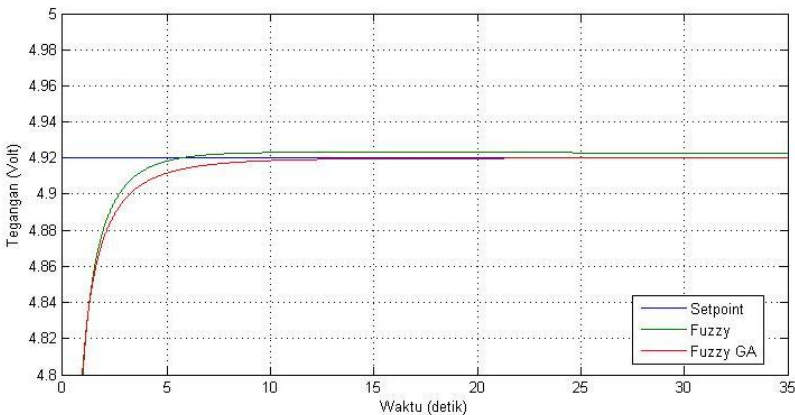
Variabel lain yang perlu diperhatikan pada uji *setpoint* pitch selain sudut adalah respon tegangan keluaran LDR Barat terhadap tegangan keluaran LDR Timur. Uji *setpoint* tegangan keluaran LDR menggunakan 3 variasi tegangan yang dihasilkan oleh sudut altitude. Nilai tegangan keluaran LDR Timur yang dihasilkan oleh sudut altitude 30° , 50° dan 70° berturut-turut adalah 4.8729, 4.9071, dan 4.92 volt. Hasil respon tegangan keluaran LDR Barat ditunjukkan pada Gambar 4.4.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.4 Respon Tegangan Pitch 3 Fungsi Keanggotaan dengan *Setpoint* (a) 4.8729 volt (b) 4.9071 volt (c) 4.92 volt

Pada Gambar 4.4 ditunjukkan bahwa kedua kontrol fuzzy GA dan fuzzy mampu mencapai nilai *setpoint* dengan nilai error yang kecil namun pada kontrol fuzzy respon menunjukkan adanya *overshoot* sedangkan kontrol fuzzy GA tidak memiliki *overshoot*. Indeks performansi respon kontrol fuzzy dan fuzzy GA untuk uji *setpoint* tegangan LDR ditunjukkan pada Tabel 4.2

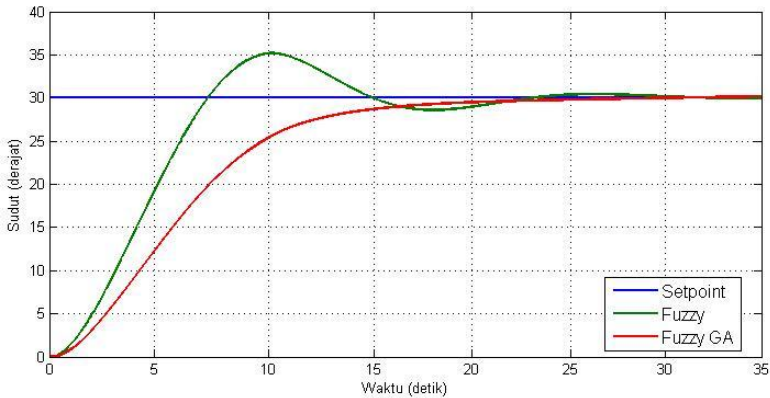
Tabel 4.2 Perbandingan Indeks Performansi Respon Tegangan Pitch 3 Fungsi Keanggotaan

Indeks Peformansi	<i>Setpoint</i>					
	4.8729 Volt		4.9071 Volt		4.92 Volt	
	Fuzzy	Fuzzy GA	Fuzzy	Fuzzy GA	Fuzzy	Fuzzy GA
Rise time (detik)	0.57	0.5	0.36	0.32	0.26	0.23
Settling time (detik)	2.13	2.07	1.44	1.41	1.07	1.05
Max. Overshoot (%)	0.18	0	0.13	0	0.07	0
Error Steady State (%)	0.1	0.043	0.07	0.02	0.06	0.02

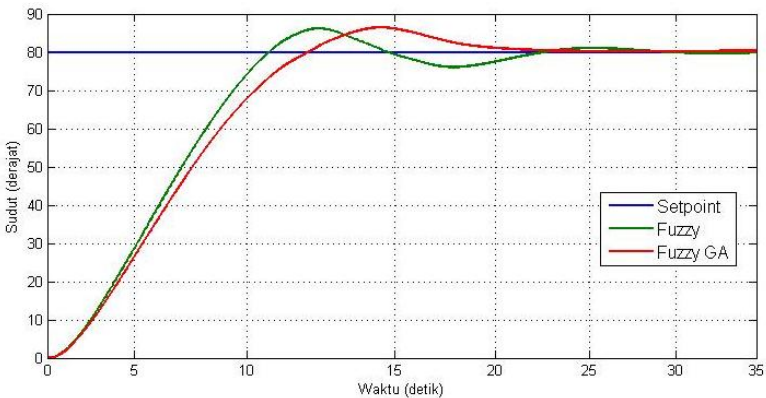
Berdasarkan nilai indeks performansi respon dapat dilihat bahwa kontrol fuzzy GA dengan 3 fungsi keanggotaan untuk uji *setpoint* tegangan LDR memiliki *rise time* dan *settling time* lebih cepat dibandingkan dengan kontrol fuzzy dengan masing-masing selisih waktu sebesar 0.047 dan 0.037 detik. Tabel 4.2 menunjukkan besar *overshoot* pada kontrol fuzzy GA adalah 0%, hal tersebut dapat diartikan bahwa kontrol dapat menyesuaikan dan mengikuti *setpoint* dengan baik. Selain itu, persentase nilai error yang dihasilkan kontrol fuzzy GA pada tiap *setpoint* lebih kecil daripada kontrol fuzzy yaitu sebesar 0.057% untuk *setpoint* 4.8729 volt, 0.05% untuk *setpoint* 4.9071 volt dan 0.04% untuk *setpoint* 4.92 volt.

4.1.2 Uji *Setpoint* Yaw dengan 3 Fungsi Keanggotaan

Uji *setpoint* yaw ini dilakukan menggunakan kontrol fuzzy dengan jumlah fungsi keanggotaan sebanyak 3 dan variasi masukan step sebesar 30° dan 80°. Nilai step tersebut mewakili nilai sudut zimuth matahari. Grafik respon keluaran sudut motor yaw ditunjukkan pada Gambar 4.5



(a)



(b)

Gambar 4.5 Respon Sudut Yaw 3 Fungsi Keanggotaan dengan Setpoint (a) 30° (b) 80°

Dari gambar diatas, respon kontrol fuzzy memiliki *overshoot* pada kedua *setpoint* sudut 30° dan 80° sedangkan kontrol fuzzy GA hanya memiliki *overshoot* pada *setpoint* sudut 80° dan respon fuzzy GA lebih cepat *steady* dibandingkan dengan fuzzy. Selain itu dapat dilihat juga bahwa kedua kontrol dapat mencapai nilai *setpoint* dengan error yang kecil. Dari Gambar 4.5

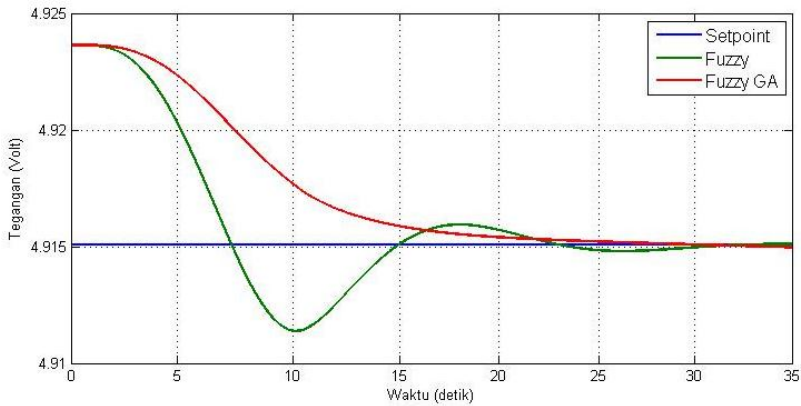
didapatkan nilai indeks performansi respon kontrol fuzzy dan fuzzy GA seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Perbandingan Indeks Performansi Respon Sudut Yaw 3 Fungsi Keanggotaan

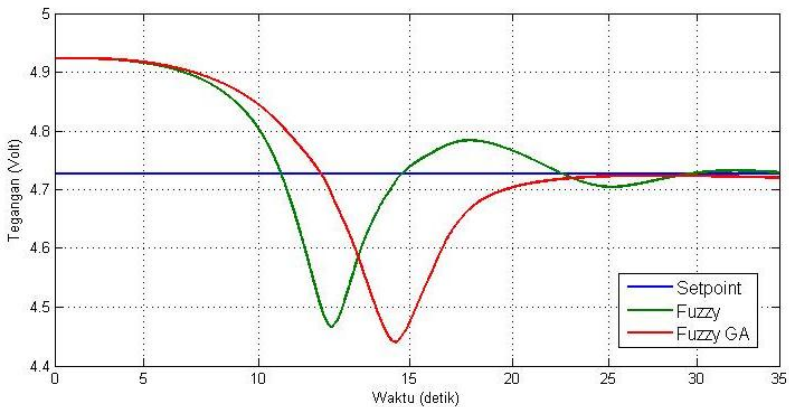
Indeks Performansi	<i>Setpoint</i>			
	30°		80°	
	Fuzzy	Fuzzy GA	Fuzzy	Fuzzy GA
Rise time (detik)	4.88	9.39	7.37	8.13
Settling time (detik)	21.16	18.96	20.8	18.95
Max. Overshoot (%)	17.29	0	7.79	8.12
Error Steady State (%)	0.6	0.53	0.96	0.5

Pada tabel diatas dapat dikatakan bahwa kontrol fuzzy GA dengan 3 fungsi keanggotaan untuk sudut yaw memiliki *rise time* yang lebih lama jika dibandingkan dengan kontrol fuzzy, namun memiliki *settling time* yang lebih cepat. Selain itu nilai rata-rata persentase error yang dihasilkan kontrol fuzzy GA pada tiap *setpoint* lebih kecil dibandingkan dengan kontrol fuzzy yaitu sebesar 0.515%. Berdasarkan hasil tersebut dapat diartikan bahwa kontrol fuzzy GA bekerja lebih baik dibandingkan dengan kontrol fuzzy.

Serupa dengan pengujian sudut pitch, selain sudut terdapat variabel lain yang perlu diperhatikan yaitu tegangan keluaran LDR. Uji *setpoint* tegangan LDR menggunakan 2 variasi tegangan yang dihasilkan oleh sudut azimuth. Nilai tegangan keluaran LDR yang dihasilkan oleh sudut azimuth 30° dan 80° berturut-turut adalah 4.9151 dan 4.7274 volt. Berikut adalah hasil respon tegangan keluaran LDR Barat.



(a)



(b)

Gambar 4.6 Respon Tegangan Yaw 3 Fungsi Keanggotaan dengan *Setpoint* (a) 4.9151 volt (b) 4.7274 volt

Gambar diatas menunjukkan bahwa kedua kontrol dapat mencapai *setpoint* dengan selisih yang kecil namun kontrol fuzzy GA lebih cepat mencapai keadaan *steady* dibandingkan kontrol fuzzy. Dari grafik dapat dilihat pada detik 0 kedua kontrol menghasilkan tegangan diatas 4.9 volt atau tidak sama dengan 0 volt, hal ini disebabkan karena pemodelan LDR untuk sudut yaw dan azimuth menggunakan operasi cos sehingga pada detik 0

dimana sudut yaw adalah 0° , hasil keluarannya tidak sama dengan 0. Berdasarkan grafik pada Gambar 4.6 didapatkan nilai indeks performansi respon kontrol fuzzy dan fuzzy GA seperti pada Tabel 4.4.

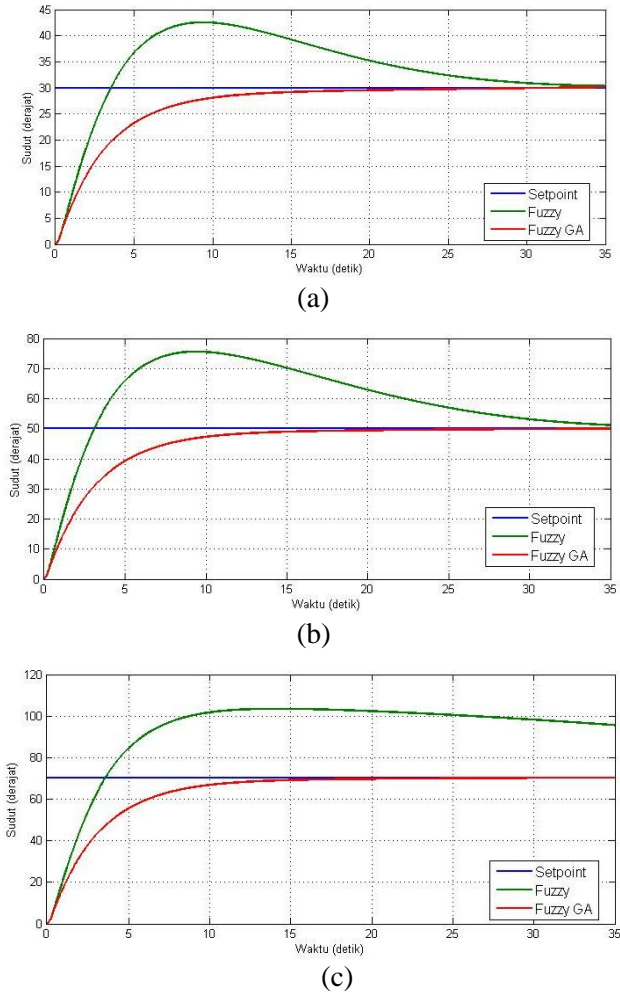
Tabel 4.4 Perbandingan Indeks Performansi Respon Tegangan Yaw 3 Fungsi Keanggotaan

Indeks Performansi	<i>Setpoint</i>			
	4.9151 Volt		4.7274 Volt	
	Fuzzy	Fuzzy GA	Fuzzy	Fuzzy GA
Rise time (detik)	3.15	7.1	4.5	5.37
Settling time (detik)	24.82	17.66	27.51	22.16
Max. Overshoot (%)	0.02	0	1.2	0
Error Steady State (%)	0.004	0.002	0.11	0.1

Tabel 4.4 menunjukkan kontrol fuzzy GA dengan 3 fungsi keanggotaan untuk sudut yaw memiliki *rise time* yang lebih lama namun lebih cepat menuju keadaan *steady* jika dibandingkan dengan kontrol fuzzy dengan rata-rata selisih *settling time* tiap *setpoint* adalah sebesar 6.26 detik. Selisih yang cukup besar ini menyebabkan motor DC dengan kontrol fuzzy mengonsumsi arus yang lebih besar dibandingkan dengan kontrol fuzzy GA. Selain itu, nilai persentase error yang dihasilkan kontrol fuzzy GA pada tiap *setpoint* lebih kecil dibandingkan dengan kontrol fuzzy dengan selisih sebesar 0.002% pada *setpoint* 4.9151 volt dan 0.01% pada *setpoint* 4.7274 volt.

4.1.3 Uji *Setpoint* Pitch dengan 5 Fungsi Keanggotaan

Pada uji *setpoint* pitch ini diberi masukan berupa sudut yang mewakili sudut altitude matahari sebesar 30° , 50° dan 70° dengan jumlah fungsi keanggotaan fuzzy sebanyak 5. Hasil keluaran motor pitch dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.7 Respon Sudut Pitch 5 Fungsi Keanggotaan dengan *Setpoint* (a) 30° (b) 50° (c) 70°

Grafik respon pada Gambar 4.7 menunjukkan respon kontrol fuzzy tidak dapat mencapai *setpoint* pada sudut 70° sedangkan kontrol fuzzy GA mampu mencapai nilai *setpoint* pada tiap *setpoint*nya dengan error yang kecil. Selain itu kontrol fuzzy memiliki *overshoot* yang cukup besar sedangkan kontrol fuzzy GA tidak memiliki *overshoot*. Indeks performansi respon kontrol fuzzy dan fuzzy GA dari grafik pada Gambar 4.7 ditunjukkan pada Tabel 4.5.

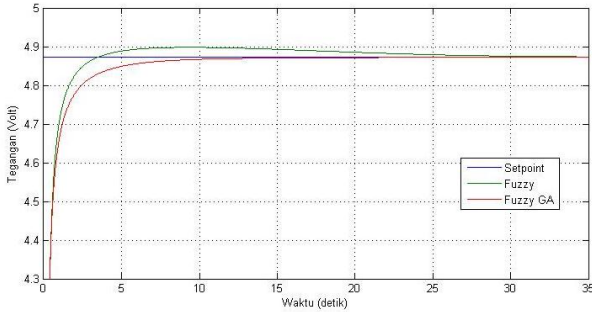
Tabel 4.5 Perbandingan Indeks Performansi Respon Sudut Pitch 5 Fungsi Keanggotaan

Indeks Performansi	<i>Setpoint</i>					
	30°		50°		70°	
	Fuzzy	Fuzzy GA	Fuzzy	Fuzzy GA	Fuzzy	Fuzzy GA
Rise time (detik)	2.59	7.6	2.3	7.24	2.64	6.93
Settling time (detik)	31.87	17.83	31.92	15.23	31.43	13.03
Max. Overshoot (%)	41.79	0	51.16	0	47.8	0
Error Steady State (%)	1.93	1.13	4.28	1.12	29	1.22

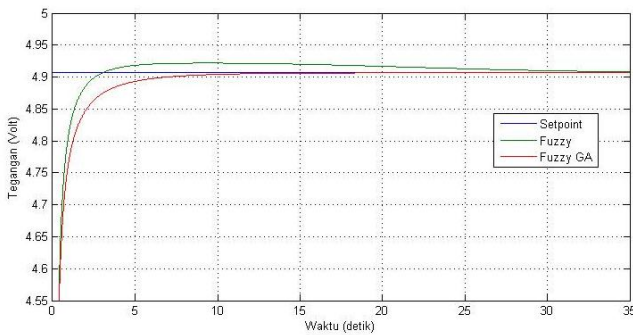
Settling time respon kontrol fuzzy dan fuzzy GA dapat dilihat dari tabel indeks performansi yaitu kontrol fuzzy GA memiliki *settling time* yang lebih cepat dibandingkan kontrol fuzzy dengan selisih rata-rata sebesar 1.16 detik. Tabel 4.5 juga menunjukkan besar *overshoot* pada kontrol fuzzy GA adalah 0%, hal tersebut dapat diartikan bahwa kontrol dapat menyesuaikan dan mengikuti *setpoint* dengan baik. Selain itu nilai error rata-rata yang dihasilkan kontrol fuzzy GA pada tiap *setpoint* yaitu sebesar 1.16%, persentase tersebut lebih kecil dibandingkan dengan kontrol fuzzy.

Sama dengan pengujian sudut pitch dengan 3 fungsi keanggotaan, tahapan setelah menganalisa respon sudut adalah menganalisa respon tegangan LDR. *Setpoint* yang digunakan untuk pengujian tegangan keluaran LDR yaitu nilai tegangan

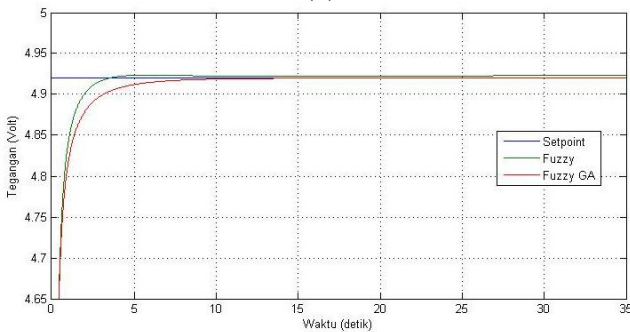
yang dikonversi dari sudut 30° , 50° dan 70° . Berikut adalah hasil respon tegangan keluaran LDR.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.8 Respon Tegangan Pitch 5 Fungsi Keanggotaan dengan *Setpoint* (a) 4.8729 volt (b) 4.9071 volt (c) 4.92 volt

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa kedua kontrol mampu mencapai nilai *setpoint* dengan error yang sangat kecil namun kontrol fuzzy masih memiliki *overshoot*. Berdasarkan grafik didapatkan nilai indeks performansi respon kontrol fuzzy dan fuzzy GA seperti pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Perbandingan Indeks Performansi Respon Tegangan Pitch 5 Fungsi Keanggotaan

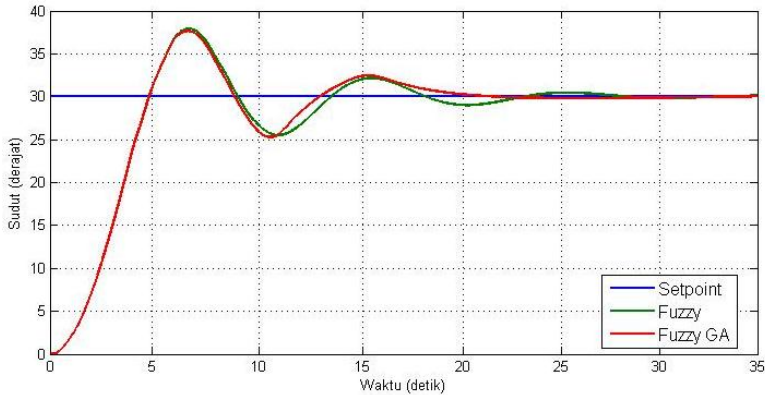
Indeks Performansi	<i>Setpoint</i>					
	4.8729 Volt		4.9071 Volt		4.92 Volt	
	Fuzzy	Fuzzy GA	Fuzzy	Fuzzy GA	Fuzzy	Fuzzy GA
Rise time (detik)	0.41	0.42	0.26	0.27	0.24	0.23
Settling time (detik)	1.39	1.94	0.95	1.32	0.85	1.02
Max. Overshoot (%)	0.52	0	0.3	0	0.07	0
Error Steady State (%)	0.13	0.13	0.04	0.02	0.04	0.006

Berdasarkan nilai indeks performansi respon dapat dilihat bahwa kontrol fuzzy GA dengan 5 fungsi keanggotaan untuk uji *setpoint* tegangan LDR memiliki *rise time* yang lebih cepat dibandingkan dengan kontrol fuzzy pada tegangan 4.92 volt dan lebih lama pada tegangan 4.8729 serta 4.9071 volt. Tabel 4.6 menunjukkan besar *overshoot* pada kontrol fuzzy GA adalah 0%, hal tersebut dapat diartikan bahwa kontrol dapat menyesuaikan dan mengikuti *setpoint* dengan baik. Selain itu, persentase nilai error rata-rata yang dihasilkan kontrol fuzzy GA pada tiap *setpoint* lebih kecil daripada kontrol fuzzy yaitu sebesar 0.052%.

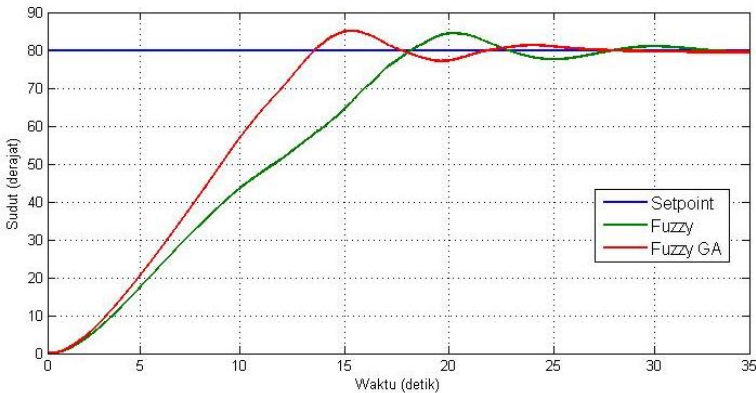
4.1.4 Uji *Setpoint* Yaw dengan 5 Fungsi Keanggotaan

Uji *setpoint* yaw ini dilakukan dengan memberi masukan berupa sudut sebesar 30° dan 80° menggunakan kontrol fuzzy dengan jumlah fungsi keanggotaan sebanyak 5. Gambar 4.9

merupakan hasil respon keluaran motor yaw terhadap masukan yang diberikan.



(a)



(b)

Gambar 4.9 Respon Sudut Yaw 5 Fungsi Keanggotaan dengan *Setpoint* (a) 30° (b) 80°

Berdasarkan grafik pada gambar diatas dapat dilihat bahwa kontrol fuzzy dan fuzzy GA mampu mengikuti *setpoint* namun keduanya masih memiliki *overshoot* dan kontrol fuzzy GA lebih dulu menuju keadaan *steady* daripada kontrol fuzzy. Selain itu kontrol fuzzy juga memiliki *rise time* yang cukup lama pada sudut

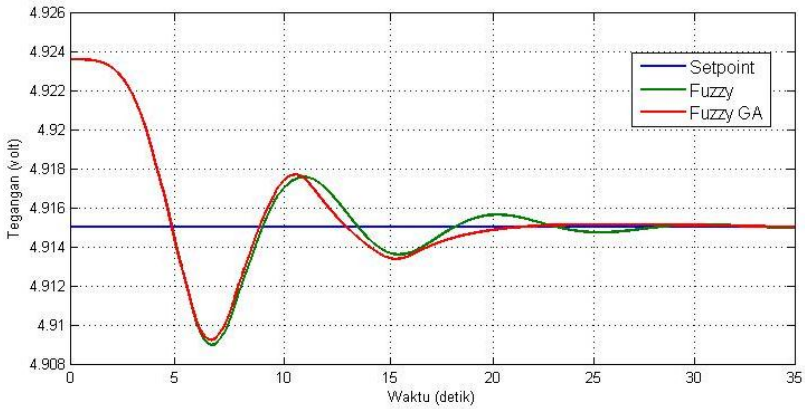
80°. Dari grafik respon pada Gambar 4.9 didapatkan nilai indeks performansi respon kontrol fuzzy dan fuzzy GA seperti pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Perbandingan Indeks Performansi Respon Sudut Yaw 5 Fungsi Keanggotaan

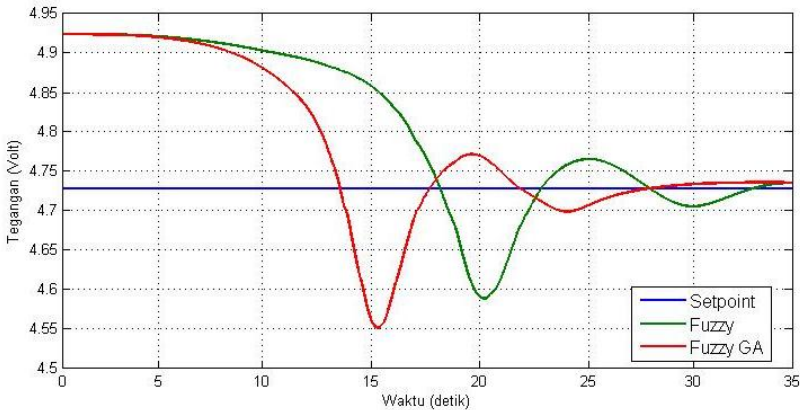
Indeks Peformansi	<i>Setpoint</i>			
	30°		80°	
	Fuzzy	Fuzzy GA	Fuzzy	Fuzzy GA
Rise time (detik)	3.23	3.22	13.46	9.32
Settling time (detik)	21.72	18.77	26.34	20.87
Max. Overshoot (%)	26.45	25.51	5.58	6.41
Error Steady State (%)	0.87	0.53	1.01	0.59

Pada Tabel 4.7 dapat dilihat bahwa kontrol fuzzy GA dengan 5 fungsi keanggotaan untuk sudut yaw memiliki *rise time* dan *settling time* yang lebih cepat dibandingkan dengan kontrol fuzzy. Kedua kontrol memiliki selisih *rise time* dan *settling time* berturut-turut sebesar 0.01 dan 2.95 detik pada sudut 30° serta 4.14 dan 5.47 detik pada sudut 80°. Selain itu, nilai error sudut yang dihasilkan kontrol fuzzy GA pada tiap *setpoint* lebih kecil dibandingkan dengan kontrol fuzzy. Berdasarkan hasil tersebut dapat diartikan bahwa kontrol fuzzy GA bekerja lebih baik dibandingkan dengan kontrol fuzzy.

Sudut sebesar 30° dan 80° dikonversi menjadi tegangan menggunakan LDR Timur menjadi 4.9151 dan 4.7274 volt. Nilai tegangan tersebut digunakan sebagai *setpoint* pada pengujian tegangan LDR Barat sehingga menghasilkan respon tegangan LDR seperti grafik pada gambar 4.10.



(a)



(b)

Gambar 4.10 Respon Tegangan Yaw 5 Fungsi Keanggotaan dengan *Setpoint* (a) 4.9151 volt (b) 4.7274 volt

Berdasarkan grafik respon pada Gambar 4.10 dapat dilihat kedua kontrol mampu mencapai nilai *setpoint* namun respon pada kontrol fuzzy membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mencapai keadaan *steady* dibandingkan dengan kontrol fuzzy GA. Dari grafik didapatkan nilai indeks performansi respon kontrol seperti pada tabel berikut.

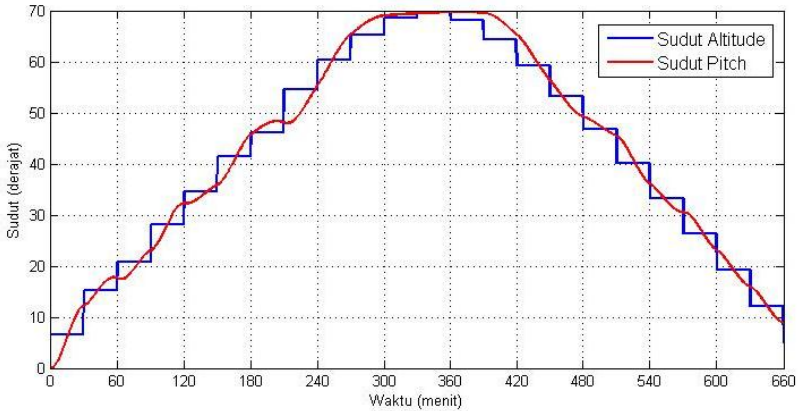
Tabel 4.8 Perbandingan Indeks Performansi Respon Tegangan Yaw 5 Fungsi Keanggotaan

Indeks Peformansi	<i>Setpoint</i>			
	4.9151 Volt		4.7274 Volt	
	Fuzzy	Fuzzy GA	Fuzzy	Fuzzy GA
Rise time (detik)	2.2	2.19	8.13	5.14
Settling time (detik)	27.13	20.09	26.62	24.31
Max. Overshoot (%)	0.051	0.053	0.8	0.93
Error Steady State (%)	0.002	0.002	0.17	0.17

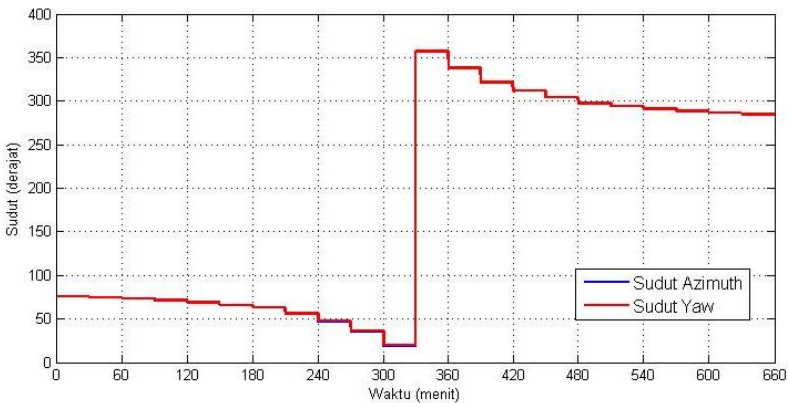
Berdasarkan tabel indeks performansi respon dapat dilihat bahwa kontrol fuzzy GA dengan 5 fungsi keanggotaan memiliki *rise time* dan *settling time* yang lebih cepat jika dibandingkan dengan kontrol fuzzy. Nilai persentase error yang dihasilkan kontrol fuzzy GA sama besar dengan persentase error kontrol fuzzy tiap *setpoint*nya.

4.2 Uji Tracking

Uji *tracking* dibagi menjadi dua yaitu uji *tracking* sudut altitude dan uji *tracking* sudut azimuth. Pengujian *tracking* dilakukan selama 11 jam (660 menit) dimulai dari pukul 06.00 hingga 17.00 WIB tiap 30 menit dengan rute pengambilan di sekitar Kota Surabaya mulai dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember ke Jembatan Merah Plaza dan kembali ke Institut Teknologi Sepuluh Nopember menggunakan kontrol fuzzy GA. Pada uji *tracking* sudut altitude diberikan *input* awal sebesar 6.47° sedangkan *input* awal pada uji *tracking* sudut azimuth sebesar 75.88° . Hasil respon uji *tracking* sudut altitude dan azimuth dapat dilihat pada Gambar 4.11 dan 4.12.



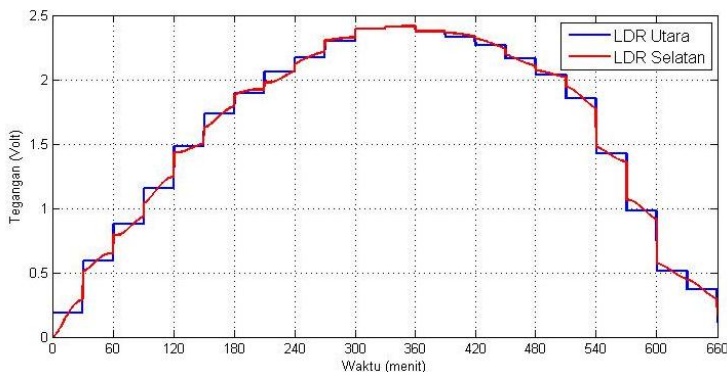
Gambar 4.11 Hasil *Tracking* Sudut Altitude



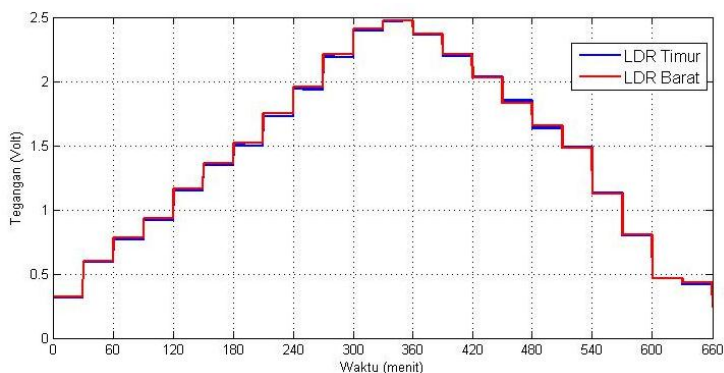
Gambar 4.12 Hasil *Tracking* Sudut Azimuth

Gambar 4.11 menunjukkan bahwa kurva sudut altitude memiliki slope positif dan negatif. Slope positif terbentuk dari $t=0$ hingga $t=330$ dengan sudut *peak* sebesar 69.59° , kemudian membentuk slope negatif hingga $t=660$. Pada gambar tersebut terlihat sudut pitch PV mampu mengikuti arah gerak sudut altitude matahari dengan baik. Pada Gambar 4.12 dapat dilihat bahwa kurva memiliki slope negatif saat $t=0$ hingga $t=300$, kemudian naik secara mendadak pada $t=330$ mencapai sudut

357.97° lalu kembali bergerak turun hingga $t=600$. Setelah menganalisa respon sudut pada uji *tracking* dilakukan analisa respon tegangan keluaran LDR Selatan untuk *tracking* sudut altitude dan tegangan keluaran LDR Barat untuk *tracking* sudut azimuth. Hasil respon tegangan keluaran LDR Selatan dan Barat yang dihasilkan selama pengujian *tracking* dapat dilihat pada Gambar 4.13 dan 4.14.



Gambar 4.13 Respon Tegangan LDR untuk *Tracking* Sudut Altitude



Gambar 4.14 Respon Tegangan LDR untuk *Tracking* Sudut Azimuth

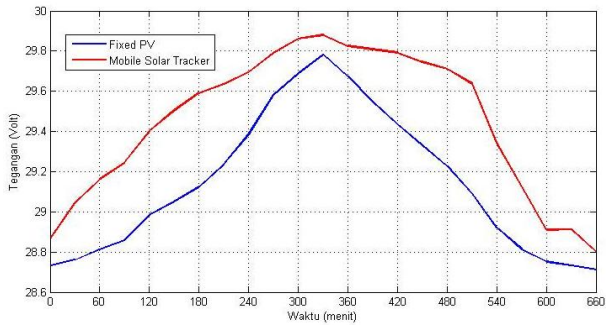
Dari hasil uji *tracking* sudut altitude dan azimuth yang dihasilkan dapat dikatakan bahwa kontrol fuzzy GA yang telah

dirancang dan diterapkan pada sistem *solar tracker* aktif dua sumbu mampu bekerja dengan baik.

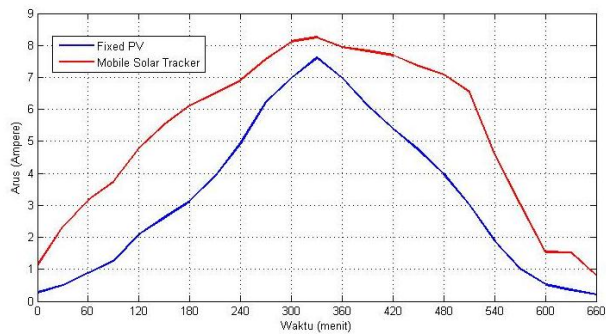
4.3 Uji Performansi Keluaran PV

Uji performansi dilakukan untuk mengetahui peningkatan performansi PV dengan menggunakan *solar tracker* aktif dua sumbu melalui pengukuran tegangan, arus, dan daya keluaran PV. Selain itu juga dihitung peningkatan efisiensi energi yang dihasilkan dari sistem *solar tracker* aktif 2 sumbu. Data yang digunakan pada simulasi berupa sudut altitude, sudut azimuth, temperatur dan radiasi disajikan dalam bentuk *lookup table* dengan rentang waktu pengujian 11 jam dari pukul 06.00 sampai 17.00 WIB.

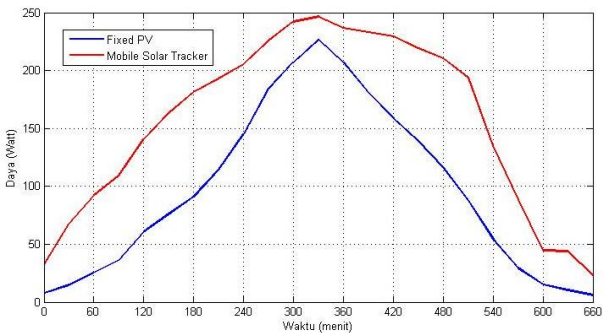
Gambar 4.15, 4.16 dan 4.17 menunjukkan bahwa tegangan, arus dan daya dari *mobile solar tracker* lebih besar dibandingkan dengan sistem *fixed PV*. *Mobile solar tracker* memiliki tegangan maksimum sebesar 29.88 volt, arus maksimum sebesar 8.255 Ampere dan daya maksimum sebesar 246.66 Watt sedangkan pada *fixed PV* tegangan, arus dan daya maksimum berturut-turut sebesar 29.78 volt, 7.61 Ampere dan 226.61 Watt sehingga dapat dikatakan sistem *mobile solar tracker* menggunakan kontrol *hybrid fuzzy genetic algorithm* mampu meningkatkan hasil keluaran PV. Peningkatan ini disebabkan karena sistem *solar tracker* mampu mengikuti posisi matahari, sehingga panel surya hampir selalu menghadap matahari. Nilai maksimum tegangan, arus dan daya baik pada sistem *fixed PV* maupun sistem *mobile solar tracker* diperoleh pada pukul 11.30 WIB yaitu saat *noon time*. Dari grafik dapat dilihat bahwa pada saat *noon time* selisih nilai tegangan, arus dan daya kecil, hal tersebut karena posisi kedua PV (*fixed PV* dan *mobile solar tracker*) sama yaitu tegak lurus terhadap matahari. Dari daya yang dihasilkan dapat dihitung peningkatan efisiensi energi yang mampu dicapai oleh *mobile solar tracker* yaitu sebesar 681.51 Wh (dari 1096.54 Wh menjadi 1778.05 Wh) atau sebesar 62.15%.



Gambar 4.15 Tegangan Keluaran *Mobile Solar Tracker* dan *Fixed PV*



Gambar 4.16 Arus Keluaran *Mobile Solar Tracker* dan *Fixed PV*



Gambar 4.17 Daya Keluaran *Mobile Solar Tracker* dan *Fixed PV*

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Parameter yang digunakan pada sistem *solar tracker* aktif dua sumbu diperoleh dari data pengukuran dan *datasheet* diantaranya yaitu pada sensor LDR berupa kuat pencahayaan matahari (lux), pada motor DC berupa konstanta tegangan (K_e) sebesar 27.17 Volt.sec/rad, konstanta torsi (K_t) sebesar 27.17 Nm/A, *viscous friction coefficient* (B_m) sebesar 0.615 Nm.sec/rad, Inersia motor (J_m) sebesar 242. 697 Nm.sec², resistansi (R) sebesar 9.33 Ω dan induktansi (L) sebesar 0.009 Henry, pada PV berupa radiasi matahari, temperatur dan spesifikasi PV.
2. Kontrol fuzzy GA dapat diimplementasikan pada sistem *solar tracker* aktif 2 sumbu dengan indeks performansi terbaik pada 3 fungsi keanggotaan yaitu sebesar *rise time* (t_r) 0.23 s, *settling time* (t_s) 1.05 s, *max. overshoot* (Mov) 0% dan *error steady state* (ess) 0.02% untuk sudut pitch pada *setpoint* 70°, serta sebesar $t_r = 5.37$ s, $t_s = 22.16$ s, Mov = 0%, ess = 0.1% untuk sudut yaw pada *setpoint* 80°.
3. Kontrol fuzzy GA yang telah dirancang mampu meningkatkan efisiensi energi pada PV sebesar 62.15% selama 11 jam.

5.2 Saran

Adapun saran untuk mengembangkan penelitian selanjutnya yaitu mengembangkan bentuk pemodelan panel surya dengan menambahkan gangguan internal ataupun eksternal agar simulasi menyerupai *real plant* sehingga *output* simulasi yang dihasilkan lebih mendekati nilai aktual sehingga hasil yang diperoleh lebih optimal.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Tharakan, "Summary of Indonesia's Energy Sector Assessment," ADB Papers on Indonesia, 2015.
- [2] T. Tudorache and L. Kreindler, "Design of a Solar Tracker System for PV Power Plants," vol. 7, 2010.
- [3] D. R., B. V., R. R., P. A., D. S. and M. P., "Comparison of Efficiencies of Solar Tracker Systems with Static Panel Single-Axis Tracking System and Dual-Axis Tracking System with Fixed Mount," *International Journal of Engineering and Technology*, vol. 5, 2013.
- [4] C. H. Huang, H. Y. Pan and K. C. Lin, "Development of Intelligent Fuzzy Controller for a Two-Axis Solar Tracking System," 2015.
- [5] W. Saputra, "Rancang Bangun Solar Tracking System Untuk Mengoptimalkan Penyerapan Energi Mathari Pada Solar Cell," 2008.
- [6] N. Fasa, "Perancangan Mobile Passive Two Axis Solar Tracker Pada Photovoltaic Menggunakan Kendali Logika Fuzzy-PI," 2017.
- [7] A. F. Babgei, "Rancang Bangun Maximum Power Point Tracker (MPPT) Pada Panel Surya Dengan Menggunakan Metode Fuzzy," 2011.
- [8] Y. Soufi, M. Bechouat and S. Kahla, "Fuzzy-PSO Controller Design for Maximum Power Point Tracking in Photovoltaic System," *International Journal of Hydrogen Energy*, 2016.
- [9] S. S. Cheema, "Simulation Studies on Dual Axis Solar Photovoltaic Panel Tracking System," 2012.
- [10] I. Abadi, A. Musyafa and A. Soeprijanto, "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.)*, vol. 8, 2015.

- [11] M. W. Ardiatama, "Perancangan Sistem Penjejak Matahari Dua Sumbu dengan Metode Active Tracking Menggunakan Kontrol Fuzzy Tipe-2 Interval," 2017.
- [12] M. Namazov, "DC Motor Position Control Using Fuzzy Proportional-Derivative Controllers with Different Defuzzification Methods," *TJFS: Turkish Journal of Fuzzy Systems*, vol. 1, 2010.
- [13] D. F. Sendoya-Losada, D. F. Murcia and S. O. Garcia, "Design and Implementation of a Photovoltaic Solar Tracker Using Fuzzy Control for Supercolombiana University," *ARN Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 12, 2017.
- [14] Z. B. Tukeman, "Fuzzy Logic-Genetic Algorithm Based Maximum Power Point Tracking in Photovoltaic System," 2012.

LAMPIRAN

A. Data Pengambilan Nilai Tegangan dan Resistansi Sensor LDR

Pukul	Intensitas Cahaya (lux)	Tegangan (Volt)			
		1	2	3	4
6:00	4126.667	2.658	2.546	2.562	2.563
6:30	11070.000	4.272	4.263	4.318	4.208
7:00	16126.667	4.410	4.557	4.602	4.599
7:30	11836.667	4.383	4.534	4.582	4.660
8:00	29733.333	4.622	4.407	4.632	4.323
8:30	39400.000	4.399	4.543	4.584	4.590
9:00	46333.333	4.606	4.691	4.720	4.718
9:30	56466.667	4.633	4.716	4.741	4.760
10:00	52366.667	4.563	4.690	4.738	4.700
10:30	57766.667	4.984	4.989	4.988	4.991
11:00	68066.667	4.812	4.729	4.755	4.758
11:30	66833.333	4.675	4.710	4.768	4.790
12:00	57800.000	4.983	4.985	4.988	4.990
12:30	56465.000	4.635	4.716	4.731	4.723
13:00	49566.667	4.628	4.706	4.736	4.555
13:30	53433.333	4.635	4.711	4.740	4.741
14:00	45366.667	4.565	4.654	4.699	4.690
14:30	33766.667	4.522	4.625	4.668	4.666
15:00	25466.667	4.877	4.885	4.885	4.888
15:30	11946.667	4.388	4.525	4.581	4.567
16:00	2566.667	3.276	3.158	3.179	3.233
16:30	4020.000	3.662	3.016	3.157	3.142
17:00	1621.000	1.591	1.664	1.533	1.430

Pukul	Intensitas Cahaya (lux)	Resistansi (Ohm)			
		1	2	3	4
6:00	4126.667	305.900	234.467	209.200	286.667
6:30	11070.000	164.933	113.100	115.167	106.000
7:00	16126.667	139.700	96.133	118.033	93.000
7:30	11836.667	152.067	121.367	104.433	186.967
8:00	29733.333	98.200	72.367	77.167	68.200
8:30	39400.000	89.500	68.500	64.067	65.900
9:00	46333.333	84.267	63.267	62.233	62.167
9:30	56466.667	81.167	60.133	62.100	55.500
10:00	52366.667	83.067	60.633	60.067	55.067
10:30	57766.667	73.533	71.167	56.100	51.000
11:00	68066.667	72.667	55.400	55.100	50.333
11:30	66833.333	68.633	53.067	67.833	62.633
12:00	57800.000	77.900	58.100	57.867	57.067
12:30	56465.000	80.750	67.133	65.167	65.500
13:00	49566.667	79.967	62.433	60.400	69.133
13:30	53433.333	79.967	62.433	60.400	69.133
14:00	45366.667	114.900	70.533	79.967	63.800
14:30	33766.667	105.267	79.300	76.467	71.200
15:00	25466.667	113.967	84.067	83.900	76.000
15:30	11946.667	147.200	102.300	114.833	93.367
16:00	2566.667	446.000	282.000	286.067	247.000
16:30	4020.000	344.467	224.500	224.700	191.733
17:00	1621.000	547.000	339.200	364.633	309.000

B. Data Parameter Motor DC

Tegangan	Rad/s	Ke	Kt	Jm	Bm
2	0.052	38.710	38.710	211.765	7.492
3	0.085	35.294	35.294	305.660	4.152
4	0.128	31.169	31.169	273.418	2.429
5	0.167	30.000	30.000	264.706	1.800
6	0.195	30.769	30.769	272.269	1.578
7	0.227	30.882	30.882	181.295	1.362
8	0.275	29.091	29.091	258.683	1.058
9	0.308	29.189	29.189	259.893	0.947
10	0.357	28.037	28.037	250.000	0.786
11	0.392	28.085	28.085	250.633	0.717
12	0.442	27.170	27.170	242.697	0.615

C. Data Radiasi dan Temperatur PV

Tabel C.1 Data Radiasi dan Temperatur Fixed PV

Pukul	Radiasi (W/m^2)	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
6:00	37.68	27.28
6:30	74.48	29.76
7:00	127.54	32.19
7:30	153.34	34.91
8:00	231.22	36.85
8:30	253.34	40.52
9:00	280.34	42.58
9:30	301.29	45.06
10:00	342.72	48.24
10:30	391.51	50.19
11:00	403.92	52.48
11:30	428.72	54.29
12:00	409.11	56.22
12:30	391.99	54.09
13:00	383.6	54.2
13:30	376.59	54.6

14:00	353.76	50.07
14:30	302.26	46.72
15:00	212.3	45.17
15:30	126.5	37
16:00	67.26	32.76
16:30	49.46	30.97
17:00	20.2	30.72

Tabel C.2 Data Radiasi dan Temperatur Mobile Solar Tracker

Pukul	Radiasi (W/m ²)	Temperatur (°C)
6:00	53.8	27.8
6:30	120.44	30.04
7:00	167.14	33.28
7:30	199.8	35.45
8:00	257.8	37.12
8:30	299.67	40.76
9:00	332.12	42.32
9:30	354.98	46.78
10:00	376.96	48.16
10:30	413.15	50.23
11:00	443.34	53.76
11:30	451.06	54.45
12:00	433.29	56.31
12:30	428.05	55.87
13:00	421.18	54.68
13:30	402.21	53.72
14:00	386.56	51.34
14:30	356.23	47.8
15:00	247.2	45.34
15:30	160.46	38.2
16:00	77.48	32.92
16:30	76.14	31.32
17:00	35.74	31.28

D. Data Validasi

Tabel D.1 Data Validasi Sensor LDR

Pukul	V Pengukuran	V Simulasi
6:00	2.582	2.502
6:30	4.265	3.993
7:00	4.542	4.339
7:30	4.540	4.328
8:00	4.496	4.684
8:30	4.529	4.768
9:00	4.684	4.805
9:30	4.712	4.846
10:00	4.673	4.844
10:30	4.988	4.860
11:00	4.764	4.878
11:30	4.736	4.877
12:00	4.987	4.862
12:30	4.701	4.857
13:00	4.656	4.837
13:30	4.707	4.837
14:00	4.652	4.804
14:30	4.620	4.736
15:00	4.884	4.639
15:30	4.515	4.306
16:00	3.211	3.051
16:30	3.244	3.048
17:00	1.555	1.447

Tabel D.2 Data Validasi Motor DC

Tegangan	w Pengukuran	w Simulasi
2	0.052	0.050
3	0.085	0.082
4	0.128	0.123
5	0.167	0.160
6	0.195	0.188
7	0.227	0.223
8	0.275	0.265
9	0.308	0.297
10	0.357	0.342
11	0.392	0.376
12	0.442	0.423

Tabel D.3 Data Validasi Panel Surya

Pukul	V Pengukuran	V Simulasi
6:00	28.62	28.760
6:30	29.733	28.796
7:00	30.86	28.971
7:30	30.667	29.112
8:00	30.667	29.252
8:30	29.43	29.032
9:00	30.55	29.636
9:30	29.92	28.982
10:00	30.25	29.909
10:30	29.576	29.932
11:00	29.66	30.002
11:30	29.25	30.007
12:00	29.333	29.990

12:30	28.86	29.914
13:00	29.336	29.890
13:30	29.133	29.718
14:00	29.62	29.593
14:30	30.16	29.366
15:00	28.65	28.785
15:30	28.8	28.786
16:00	28.41	28.770
16:30	27.51	28.742
17:00	25.76	28.721

Pukul	I Pengukuran	I Simulasi
6:00	0.251	0.433
6:30	0.53	0.684
7:00	1.524	1.903
7:30	3.93	3.239
8:00	3.364	3.922
8:30	2.2	2.515
9:00	5.43	6.531
9:30	1.93	2.196
10:00	6.267	8.451
10:30	5.667	8.651
11:00	6.633	9.141
11:30	5.76	9.232
12:00	5.813	9.046
12:30	6.826	8.583
13:00	6.75	8.345
13:30	6.6	7.280

14:00	4.446	6.500
14:30	3.822	4.813
15:00	0.619	0.816
15:30	0.562	0.757
16:00	0.445	0.657
16:30	0.266	0.455
17:00	0.1	0.267

E. Data Performansi Keluaran PV

Tabel E.1 Data Tegangan Keluaran Fixed PV dan Mobile Solar Tracker

Pukul	V Fixed PV	V Mobile Solar Tracker
6:00	28.733	28.865
6:30	28.761	29.042
7:00	28.812	29.161
7:30	28.858	29.244
8:00	28.983	29.402
8:30	29.051	29.504
9:00	29.123	29.592
9:30	29.236	29.636
10:00	29.385	29.694
10:30	29.580	29.790
11:00	29.688	29.861
11:30	29.781	29.881
12:00	29.674	29.825
12:30	29.549	29.809
13:00	29.434	29.793
13:30	29.331	29.746
14:00	29.228	29.711

14:30	29.090	29.637
15:00	28.920	29.343
15:30	28.814	29.124
16:00	28.752	28.911
16:30	28.733	28.913
17:00	28.711	28.800

Tabel E.2 Data Arus Keluaran Fixed PV dan Mobile Solar Tracker

Pukul	I Fixed PV	I Mobile Solar Tracker
6:00	0.271	1.115
6:30	0.508	2.316
7:00	0.891	3.155
7:30	1.250	3.738
8:00	2.095	4.785
8:30	2.615	5.526
9:00	3.127	6.122
9:30	3.907	6.510
10:00	4.936	6.913
10:30	6.230	7.574
11:00	6.974	8.115
11:30	7.609	8.255
12:00	6.970	7.940
12:30	6.118	7.824
13:00	5.389	7.696
13:30	4.737	7.372
14:00	3.969	7.094
14:30	3.012	6.540
15:00	1.883	4.596

15:30	1.018	3.032
16:00	0.524	1.542
16:30	0.360	1.518
17:00	0.210	0.792

Tabel E.3 Data Daya Keluaran Fixed PV dan Mobile Solar Tracker

Pukul	P Fixed PV	P Mobile Solar Tracker
6:00	7.784	32.189
6:30	14.619	67.257
7:00	25.672	91.999
7:30	36.064	109.301
8:00	60.714	140.687
8:30	75.967	163.049
9:00	91.062	181.155
9:30	114.214	192.916
10:00	145.046	205.273
10:30	184.290	225.642
11:00	207.042	242.317
11:30	226.613	246.659
12:00	206.812	236.806
12:30	180.788	233.229
13:00	158.625	229.291
13:30	138.950	219.278
14:00	116.004	210.766
14:30	87.620	193.825
15:00	54.447	134.851
15:30	29.330	88.308
16:00	15.054	44.592
16:30	10.347	43.903
17:00	6.023	22.818

BIODATA PENULIS



Nama Penulis yaitu Dyah Rahmania Pramesrani. Penulis lahir di Jakarta, 1 Agustus 1996. Pada tahun 2008 penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD Tunas Jakasampurna, pada tahun 2011 menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 12 Bekasi, pada tahun 2014 menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 5 Bekasi. Pada tahun yang sama, penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Departemen Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Konsentrasi tugas akhir yang didalami adalah bidang rekayasa instrumentasi dan kontrol. Pada bulan Juli 2018 penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Perancangan Solar Tracker Dua Sumbu Berbasis *Optoelectrical Tracking Menggunakan Kontroler Hybrid Fuzzy-Genetic Algorithm***.

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