

+



TUGAS AKHIR - TF 141581

**APLIKASI KONTROL GENETIC ALGORITHM
MODIFIED FUZZY (GAMF) PADA SISTEM
PENJEJAK MATAHARI 2 SUMBU BERBASIS
SOLAR TRAJECTORY**

**KIKI PUTRI SISVIANA
NRP. 0231144000078**

**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
THE APPLICATION OF GENETIC ALGORITHM
MODIFIED FUZZY (GAMF) IN TWO AXIS
SOLAR TRACKER BASED ON SOLAR
TRAJECTORY

KIKI PUTRI SISVIANA
NRP.02311440000078

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 : Kiki Putri Sisviana
NRP : 02311440000078
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir saya berjudul Aplikasi Kontrol *Genetic Algorithm Modified Fuzzy* (GAMF) Pada Sistem Penjejak Matahari 2 Sumbu Berbasis *Solar Trajectory* adalah bebas dari plagiasi. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 13 Juli 2018
Yang membuat pernyataan,

Kiki Putri Sisviana
NRP. 02311440000078

Halaman ini sengaja dikosongkan

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**APLIKASI KONTROL GENETIC ALGORITHM
MODIFIED FUZZY (GAMF) PADA SISTEM
PENJEJAK MATAHARI 2 SUMBU BERBASIS
SOLAR TRAJECTORY**

Oleh :

Kiki Putri Sisviana
NRP. 0231 14 40000 078

Surabaya, 13 Juli 2018
Menyetujui,
Dosen Pembimbing


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

Mengetahui,
Kepala Departemen
Teknik Fisika FTI-ITS


Agus Mulihamad Harza, S.T., M.Si., Ph.D.
NIPN. 19780902 200312 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

**APLIKASI KONTROL GENETIC ALGORITHM
MODIFIED FUZZY (GAMF) PADA SISTEM
PENJEJAK MATAHARI 2 SUMBU BERBASIS
SOLAR TRAJECTORY**

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 :

KIKI PUTRI SISVIANA
NRP. 02311440000078

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

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

**SURABAYA
2018**

Halaman ini sengaja dikosongkan

APLIKASI KONTROL GENETIC ALGORITHM MODIFIED FUZZY (GAMF) PADA SISTEM PENJEJAK MATAHARI 2 SUMBU BERBASIS SOLAR TRAJECTORY

Nama Mahasiswa : Kiki Putri Sisviana
NRP : 0231144000078
Program Studi : S1 Teknik Fisika
Dosen Pembimbing : Dr. Imam Abadi, ST. MT.

ABSTRAK

Solar tracker ialah suatu perangkat yang dapat mengarahkan panel surya ke arah matahari. *Solar tracker* dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan hasil keluaran panel surya, sehingga dapat meningkatkan efisiensi energi yang dihasilkan oleh panel surya. Terdapat 2 jenis solar tracker yaitu *solar tracker* berbasis *solar trajectory* dan *solar tracker* berbasis sensor. Pada penelitian kali ini *solar tracker* yang digunakan ialah *solar tracker* berbasis *solar trajectory* yaitu yang menggunakan posisi matahari. Pada sistem *solar tracker* ini kontrol yang digunakan ialah logika fuzzy dengan melakukan optimasi menggunakan algoritma genetika. Diharapkan hasil keluaran dari panel surya dapat lebih optimal. Setelah dilakukan pengujian pada sistem *solar tracker genetic algorithm modified fuzzy*, hasil terbaik dengan fungsi keanggotaan 3 pada sudut *pitch* 50° menghasilkan keluaran panel surya yang lebih optimal dengan indeks parameter performansi yaitu *maksimum overshoot* 0.6%, *rise time* 7.77s, *settling time* 12.68s, *peak time* 21.98s, dan *error steady state* sebesar 0.5% pada fungsi keanggotaan 3 pada sudut yaw 90° indeks parameter performansi yaitu *maksimum overshoot* 0.89%, *rise time* 11.06 s, *settling time* 17.83s, *peak time* 27.62s, dan *error steady state* sebesar 2.05%. Kenaikan pada efisiensi energi sebesar 560.72 Wh atau sebesar 45.9%

Kata kunci : *Solar Tracker*, *Solar Trajectory*, Logika Fuzzy, Algoritma Genetika

Halaman ini sengaja dikosongkan

***THE APPLICATION OF GENETIC ALGORITHM
MODIFIED FUZZY (GAMF) IN TWO AXIS SOLAR
TRACKER BASED ON SOLAR TRAJECTORY***

Name : Kiki Putri Sisviana
NRP : 0231144000078
Study Program : S1 Teknik Fisika
Supervisor : Dr. Imam Abadi, ST. MT.

ABSTRACT

Solar tracker is a device that can direct solar panels to the sun. Solar tracker can use to improve the output of solar panels, with the result that increasing the energy efficiency produced by solar panels. There are 2 types of solar tracker: solar tracker base on solar trajectory and solar tracker base on censor. In this research, solar tracker is used solar tracker base on solar trajectory that use the position of the sun. In this solar tracker system with fuzzy logic controller and the optimization using genetic algorithm. With controller and the optimization, we hope that the output from the solar panel can be more optimal. After testing on solar tracker system in genetic algorithm modified fuzzy, the best result with 3 membership function at pitch angle 50 ° produce more optimal solar panel output with performance parameter index: maximum overshoot 0.6%, rise time 7.77s, settling time 12.68s, peak time 21.98s, and steady state error of 0.5%, with 3 membership function at yaw angle 90° with performance parameter index: maksimum overshoot 0.89%, rise time 11.06s, settling time 17.83s, peak time 27.62s, and error steady state 2.05%. Iincrease in energy efficiency of 560.72 Wh or 45.9%.

Keywords :

Solar Tracker, Solar Trajectory, Fuzzy Logic, Genetic Algorithm

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

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

1. Agus Muhamad Hatta, ST, MSi, Ph.D. selaku ketua departemen Teknik Fisika ITS.
2. Dr. Imam Abadi, S.T, M.T.. selaku dosen pembimbing tugas akhir ini, yang selalu memberikan semangat dan masukan-masukan kepada penulis.
3. Segenap Bapak/Ibu dosen pengajar di Departemen Teknik Fisika - ITS.
4. Orang tua saya tercinta, terima kasih atas segala dukungan dan kepercayaan baik moril, spiritual dan material. Semoga selalu dilimpahkan rahmat dan hidayahnya.
5. Segenap keluarga yang telah memberikan dukungan penuh dalam penyelesaian tugas akhir ini.
6. Sahabat-sahabat dan teman-teman seperjuangan TA (Sartika, Anna, Rani, Evi, Luthfa, Ames, Tika, Uyun, Chervi, Mbak Dina, dan Mbak Tiara) yang telah memberikan bantuan-bantuan dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini.
7. Rekan-rekan TF 2014 dan warga Teknik Fisika - ITS, yang senantiasa memberikan motivasi dan keceriaan.

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

Halaman ini sengaja dikosongkan

semoga laporan ini dapat menambah wawasan yang bermanfaat bagi yang membacanya.

Surabaya, 13 Juli 2018

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xix
DAFTAR GAMBAR	xxiii
DAFTAR TABEL	xxvii
DAFTAR SIMBOL	xxix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan	4
1.5 Sistematika Laporan.....	4
BAB II DASAR TEORI	7
2.1 Panel Surya.....	7
2.2 Solar Tracker	8
2.3 Posisi Matahari	9
2.4 Motor DC	10
2.5 Fuzzy Logic Control.....	13
2.6 Algoritma Genetika	14
2.7 Fuzzy-Algoritma Genetika	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Diagram Alir	17
3.2 Studi Literatur	18
3.3 Pengambilan Data Awal.....	18
3.4 Pemodelan Solar Tracker Berbasis <i>Solar Trajectory</i>	23
3.5 Validasi Model Solar Tracker	28
3.6 Perancangan Sistem Kontrol Fuzzy Berbasis Algoritma Genetika	32
3.7 Sistem Kontrol Fuzzy Berbasis Algoritma Genetika	34
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	41

Halaman ini sengaja dikosongkan

4.1 Uji Set Point	41
4.2 Uji Tracking Matahari	51
4.3 Uji Performansi Panel Surya	52
BAB V PENUTUP	57
5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN	65

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Solar Tracking 2 Sumbu	9
Gambar 2. 2	Sistem Koordinat Horizon	10
Gambar 2. 3	Rangkaian Motor DC	11
Gambar 2. 4	Represntasi Struktur dalam Algoritma Genetik	15
Gambar 2. 5	Diagram Alir Optimasi Algoritma Genetika.....	15
Gambar 3.1	Diagram alir	18
Gambar 3. 2	Rute pengambilan data posisi matahari	19
Gambar 3. 3	Pengambilan data bujur dan lintang.....	20
Gambar 3. 4	Pengambilan data motor DC	20
Gambar 3. 5	Pengambilan data panel surya.....	23
Gambar 3. 6	Pemodelan posisi matahari.....	24
Gambar 3. 7	Pemodelan motor DC.....	25
Gambar 3. 8	Rangkaian ekuivalen panel surya.....	26
Gambar 3. 9	Pemodelan <i>photovoltaic</i>	28
Gambar 3. 10	Hasil validasi sudut altitude	29
Gambar 3. 11	Hasil validasi sudut azimuth	29
Gambar 3. 12	Hasil validasi motor DC.....	30
Gambar 3. 13	Hasil validasi keluaran tegangan <i>photovoltaic</i>	31
Gambar 3. 14	Hasil validasi keluaran arus <i>photovoltaic</i>	31
Gambar 3. 15	Diagram blok <i>solar tracker</i> berbasis <i>solar trajectory</i>	32
Gambar 3. 16	Diagram alir <i>genetic algorithm modified fuzzy</i> ...	33
Gambar 3. 17	Fungsi keanggotaan (a) input error (b) input Δ error pada fuzzy 5 MF	34
Gambar 3. 18	Fungsi keanggotaan (a) input error (b) input Δ error pada fuzzy 5 MF yaw	34
Gambar 3. 19	Defuzzifikasi pada fuzzy fungsi keanggotaan 5 (a) pitch (b) yaw	35
Gambar 3. 20	Fungsi keanggotaan (a) input error (b) input Δ error pada fuzzy 3 MF pitch.....	35
Gambar 3. 21	Fungsi keanggotaan (a) input error (b) input Δ error pada fuzzy 3 MF yaw	35

Halaman ini sengaja dikosongkan

Gambar 3. 22	Defuzzifikasi fuzzy fungsi keanggotaan 3 (a) pitch (b) yaw	36
Gambar 3. 23	Bentuk dan batas fuzzy 5 MF pitch setelah dilakukan optimasi (a) error (b) Δ error	36
Gambar 3. 24	Bentuk dan batas fuzzy 5 MF yaw setelah dilakukan optimasi (a) error (b) Δ error	36
Gambar 3. 25	Output fuzzy-algoritma genetika 5 MF pada (a) pitch (b) yaw	37
Gambar 3. 26	Bentuk dan batas fuzzy 3 MF pitch setelah dilakukan optimasi (a) error (b) Δ error	37
Gambar 3. 27	Bentuk dan batas fuzzy 3 MF yaw setelah dilakukan optimasi (a) error (b) Δ error	37
Gambar 3. 28	Output fuzzy-algoritma genetika 3 MF pada (a) pitch (b) yaw	38
Gambar 4. 1	Pemodelan Uji Set Point Pada Simulink Matlab ..	41
Gambar 4. 2	Respon Uji Set Point Fuzzy 3 MF Pada Sudut Altitude dengan Sudut (a) 20° (b) 50° (c) 70°	43
Gambar 4. 3	Respon Uji Set Point Fuzzy 5 MF Pada Altitude-Pitch dengan Sudut (a) 20° (b) 50 ° (c) 70°	45
Gambar 4. 4	Respon Uji Set Point Fuzzy 3 MF Pada Azimuth-Yaw dengan Sudut (a) 30° (b) 90° (c) 270°	47
Gambar 4. 5	Respon Uji Set Point Fuzzy 5 MF Pada Azimuth-Yaw dengan Sudut (a) 30° (b) 90° (c) 270°	49
Gambar 4. 6	Respon Uji Tracking Altitude-Pitch Gambar 4. 7 Respon Uji Tracking Azimuth-Yaw	52
Gambar 4. 8	Pemodelan Solar Tracker pada Simulink Matlab ..	53
Gambar 4. 9	Tegangan yang Dihasilkan pada Fixed PV dan Mobile PV	53
Gambar 4. 10	Arus yang Dihasilkan oleh Fixed PV dan Mobile PV	54
Gambar 4. 11	Daya yang Dihasilkan pada Fixed PV dan Mobile PV	54

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Parameter-Parameter Motor DC.....	22
Tabel 3. 2 Spesifikasi Modul <i>Photovoltaic</i>	23
Tabel 3. 3 Rule Base untuk Fuzzy 5 MF Pitch.....	38
Tabel 3. 4 Rule Base untuk Fuzzy 5 MF Yaw.....	39
Tabel 3. 5 Rule Base untuk Fuzzy 3 MF Pitch.....	39
Tabel 3. 6 Rule Base untuk Fuzzy 3 MF Yaw.....	39
Tabel 4. 1 Tabel Indeks Performansi Respon	43
Tabel 4. 2 Tabel Indeks Perfomansi Respon	45
Tabel 4. 3 Indeks Performansi Respon	48
Tabel 4. 4 Tabel Indeks Performansi	50

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR SIMBOL

α	= Azimuth (derajat)
β	= Sudut pitch (derajat)
γ	= Altitude (derajat)
γ_s	= Sudut yaw (derajat)
δ	= sudut deklinasi (derajat)
ω	= sudut jam (derajat)
\emptyset	= Latitude (derajat)
θ_z	= Sudut zenith (derajat)
θ_i	= Sudut datang (derajat)
V	= Tegangan <i>input</i> motor (V)
Ra	= Resistansi Armatur (R)
La	= Induktansi Armatur (H)
Ia	= Arus Armatur (A)
Eb	= <i>Electro motor force</i> e.m.f (V)
ω	= Kecepatan Angular (rad/s)
Tm	= Torsi Motor DC (Nm)
Jm	= Inersia Motor DC (Nm.s ²)
Bm	= Konstanta Peredaman (Nm.sec/rad)
Kt	= Konstanta Torsi motor DC (Nm/A)
Kb	= Konstanta e.m.f motor DC (Vs/rad)
Va	= Tegangan Masukan (V)
Ra	= Resistansi Elektrik (Ohm)
Ia	= Arus (A)
La	= Induktansi Elektrik (H)
ω	= Kecepatan Angular Motor DC (rad/sec)
Jm	= Inersia Motor (Nm.sec ²)
Kt	= Konstanta Torsi Motor (N.m/Amp)
B	= <i>Viscous Friction</i> (Nm.sec/rad)
I	= Arus yang keluar dari panel surya (A)
I _{ph}	= <i>Photocurrent</i> (A)
I _d	= Arus dioda
I _{sh}	= Arus shunt
I _{sc} , V _{oc}	= Arus <i>short-circuit</i> , tegangan <i>open-circuit</i>

Halaman ini sengaja dikosongkan

I_o = Arus *reverse saturation* dari dioda (A)
 q = Muatan elektron
 T = Temperatur (K)
 V = Tegangan dioda (V)
 K = Konstanta Boltzman

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semakin berkembangnya zaman mengakibatkan semakin meningkatnya kebutuhan masyarakat tidak terkecuali kebutuhan akan listrik. Pada batas tahun 2000 hingga 2014, konsumsi listrik mengalami peningkatan sebesar 6.8% pertahunnya [1]. Peningkatan listrik juga mengakibatkan meningkatnya konsumsi energi fosil yang menjadi sumber bahan bakar pada listrik. Energi fosil merupakan sumber daya yang tidak dapat diperbaharui, sehingga akan habis dikemudian hari. Salah satu contohnya ialah minyak bumi [2]. Pada tahun 2014 cadangan minyak bumi mengalami penurunan hingga 2.3% dari tahun sebelumnya. Akan tetapi selalu mengalami peningkatan kebutuhan pada hasil produksi minyak bumi. Dengan kondisi demikian mengakibatkan meningkatnya ekspor minyak bumi. Oleh sebab itu dibutuhkan energi baru terbarukan untuk menanggulangi permasalahan yang ada. Energi baru terbarukan dapat digunakan sebagai alternatif untuk mengurangi penggunaan energi fosil. Jenis-jenis energi baru terbarukan yang ada saat ini ialah energi panas bumi, energi matahari, hidro, energi angin, gelombang laut. Salah satu jenis energi baru terbarukan ialah energi matahari.

Indonesia memiliki potensi sumber daya energi matahari sebesar 4.8 kWh/m²/day [1]. Penggunaan energi matahari di Indonesia dirasa tepat karena Indonesia berada di daerah tropis yang mendapatkan penyinaran yang cukup. Energi matahari merupakan sumber daya yang selalu ada setiap saat. Energi matahari merupakan energi yang tak terbatas dan sumber energi yang dirasa aman. Akan tetapi terdapat perbedaan radiasi matahari ditiap harinya, adanya perbedaan tersebut menimbulkan permasalahan tersendiri. Penggunaan langsung energi matahari terbatas pada jam tertentu sehingga penggunaan langsung energi matahari tidak dapat kontinu. Oleh karena itu, pemanfaatan energi matahari mengalami keterbatasan penggunaan yang disebabkan oleh biaya yang tinggi dengan efisiensi yang rendah [3].

Untuk mengatasi permasalahan tersebut dibutuhkan suatu teknologi yang dapat memanfaatkan potensi energy matahari yang disebut *photovoltaic*. *Photovoltaic* yaitu alat yang mengkonversi cahaya menjadi listrik. *Photovoltaic* mengubah energi radiasi matahari secara langsung menjadi energi listrik. Daya listrik terbangkit yang dihasilkan oleh *photovoltaic* tidak konsisten, melainkan tergantung pada besarnya radiasi matahari. Untuk mendapatkan daya maksimum dari panel surya maka dikembangkan sistem solar tracker. Solar tracker berfungsi untuk memposisikan panel surya sehingga radiasi matahari jatuh tegak lurus pada panel surya. Solar tracker bekerja berdasarkan pada besarnya intensitas cahaya. Berdasarkan metode penjejanya, sistem solar tracker dibagi 2 yaitu berbasis *solar trajectory* dan berbasis sensor. *Solar tracker* berbasis *solar trajectory* adalah metode yang proses penjejakannya tidak melakukan pengukuran langsung terhadap besaran fisis dari objek atau teknik penjejukan didasarkan atas perhitungan astronomi, sedangkan *solar tracker* berbasis sensor adalah metode yang proses penjejakannya menggunakan langsung terhadap objek, biasanya menggunakan sebuah sensor [4]. Pada penelitian sebelumnya mengenai *Design and Performance of Solar Tracking System with Fuzzy Logic Controller*, jika dibandingkan dengan controller PI menunjukkan bahwa hasil dari simulasi mendapatkan hasil yang baik dan performansi yang tepat untuk FLC, dapat meningkatkan time response jika dibandingkan dengan controller PI. Diantara FLC dan PI memiliki settling time yang hampir sama akan tetapi pada FLC dapat mengurangi overshoot yang ada [3]. Pada penelitian lainnya yaitu Rancang Bangun *Dual-Axis PV Solar Tracker System Menggunakan Interval Type-2 Fuzzy Logic Controller* menunjukkan bahwa pada kontroler fuzzy-2 dengan nilai koefisien FOU ± 0.3 , mampu memberikan respon yang stabil didaerah set point, dengan nilai *settling time* yang singkat terhadap *rise time* dan nilai *error steady state* yang kecil dibandingkan kotroler lainnya [5]. Penelitian lainnya mengenai Rancang Bangun dan optimasi Panel Surya Berpenjejak dengan

Logika Fuzzy Takagi-Sugeno menjelaskan bahwa dengan menggunakan metode takagi sugeno memiliki beberapa kelebihan yaitu komputasinya lebih efisien, bekerja paling baik untuk teknik-teknik linier serta optimasi, serta menjamin kontinuitas hasil. Alat yang dirancang dengan FIS Sugeno mampu mengurangi penggunaan daya karena proses pelacakan tidak dilakukan sambil menggerakkan motor DC secara terus menerus. Dari analisis hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa perhitungan logika fuzzy menggunakan FIS Takagi-Sugeno dapat dimanfaatkan untuk menentukan posisi optimal panel surya. Implementasi perhitungan logika fuzzy pada sistem panel surya berpenjejak menghasilkan peningkatan rata-rata besar tegangan keluaran sensor solar cell.

Pada penelitian kali ini kendali logika yang digunakan ialah genetic algorithm modified fuzzy yang berbasis *solar trajectory*. Kelebihan dari penggunaan optimasi algoritma genetika ialah mudah, umum, tidak berdiri sendiri pada karakteristik model permasalahan, dan dapat digunakan diperancangan desain. Sehingga diharapkan penggunaan *genetic algorithm modified fuzzy* pada sistem penjejak matahari berbasis *solar trajectory* dapat menghasilkan efisiensi panel surya yang lebih baik.

1.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah diuraikan, maka didapatkan permasalahan dalam tugas akhir ini, yaitu:

- a. Bagaimana menentukan nilai parameter-parameter yang berpengaruh pada performa *solar tracker* berbasis *solar trajectory*?
- b. Apakah kontrol *genetic algorithm modified fuzzy* dapat diimplementasikan dalam sistem *solar tracker* berbasis *solar trajectory*?
- c. Bagaimana peningkatan efisiensi yang dihasilkan oleh PV dengan menggunakan *solar tracker* ini?

1.3 Batasan Masalah

Dalam proses desain Sistem Penjejak Matahari berbasis *solar trajectory* 2 Sumbu Berbasis *Genetic Algorithm Modified Fuzzy*, perlu adanya batasan masalah agar permasalahan yang diterangkan pada sub- bab tidak meluas, antara lain:

- a. 2 sumbu yang digunakan ialah sudut *azimuth* dan *altitude*.
- b. Metode control yaitu *genetic algorithm modified fuzzy*
- c. Sinar matahari yang digunakan adalah sinar matahari di Surabaya.
- d. Kalkulasi perhitungan astronomi menggunakan model geometri
- e. Perhitungan beban angin sebagai gangguan tidak dimodelkan
- f. Model PV yang digunakan menggunakan 2 input yaitu radiasi dan suhu
- g. Kapasitas PV yang digunakan sebesar 250 W
- h. Aktuator yang digunakan ialah motor DC

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini yaitu:

- a. Mengimplementasikan kontrol fuzzy berbasis algoritma genetika pada plant *solar tracker* dua sumbu dengan *solar trajectory oriented*.
- b. Mendapatkan peningkatan efisiensi pada PV dengan mengambil komparasi PV *fixed*.

1.5 Sistematika Laporan

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

BAB I

Pendahuluan

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

BAB II

Tinjauan Pustaka

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

BAB III

Perancangan Alat

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

BAB IV

Pengujian Alat dan Analisa Data

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

BAB V

Kesimpulan dan Saran

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

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Panel Surya

Solar panel merupakan bentuk panel surya aktif, yaitu bagaimana panel surya memanfaatkan energy matahari, panel surya menampung sinar matahari dan secara aktif mengonversi menjadi elektrik. Solar cell atau PV cell diatur didalam grid seperti pola di permukaan panel surya. Panel surya biasanya terbuat dari silicon kristalin, yang digunakan pada industry lainnya, dan lebih mahal gallium arsenide, yang dibuat secara khusus untuk digunakan dalam sel surya. Panel surya terdiri dari beberapa sel surya individu. Sel surya ini fungsinya sama dengan besar semikonduktor dan memanfaatkan area yang luas dari diode p-n junction. Ketika matahari terpapar sinar matahari, diode p-n junction mengubah energi matahari menjadi energi elektrik. Energi yang dihasilkan dari foton yang mengenai permukaan panel surya sehingga memungkinkan elektron terlepas dari orbitnya, dan medan listrik di sel surya menarik elektron bebas ke arah arus, dari kontak logam di sel surya dapat menghasilkan listrik. Semakin banyak sel surya di panel surya dan semakin tinggi kualitas sel surya, semakin banyak output listrik yang bisa dihasilkan panel surya. Konversi sinar matahari ke energi listrik yang dapat digunakan disebut efek fotovoltaic [4].

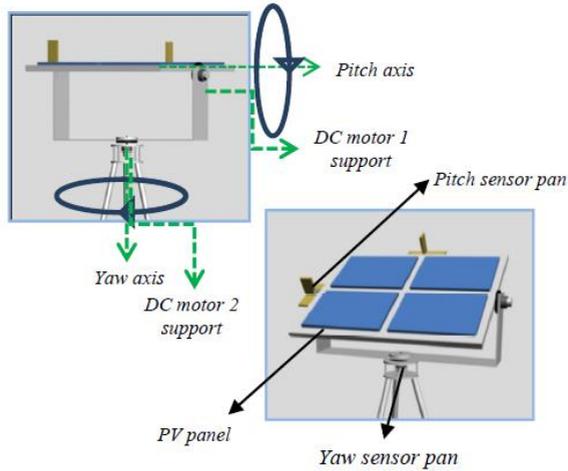
Teknologi *photovoltaic* (PV) berkembang seiring meningkatnya permintaan akan energy terbarukan terutama karena menipisnya bahan bakar fosil. Solar panel merupakan komponen mendasar konversi energy pada sistem *photovoltaic* (PV). Teknologi PV menawarkan sumber energy yang bersih dan aman. Penelitian menunjukkan bahwa solar panel merupakan sebagian besar dari biaya total untuk memasang sistem energi PV [6].

2.2 Solar Tracker

Solar tracker merupakan suatu perangkat yang mengarahkan muatan ke arah matahari. Penggunaan solar tracker dapat meningkatkan produksi listrik dengan menggabungkan modul disudut yang tetap. Tujuan dari sistem *solar tracking* ialah meningkatkan output solar panel, efisiensi maksimum pada panel, daya maksimum per luar area, dan mampu meningkatkan energi sepanjang hari.

Posisi matahari dilangit bervariasi bergantung pada musim (elevasi) dan matahari bergerak melintasi langit pada sepanjang hari. Oleh sebab itu terdapat dua tipe dari solar tracker yaitu: *single axis solar tracker* dan *dual axis solar tracker*. *Single axis solar tracker* dapat memiliki sudut horizontal atau sudut vertical. Pada horizontal digunakan pada daerah tropis yang mendapatkan matahari sangat kuat pada siang hari, tetapi memiliki hari yang singkat. Pada vertical digunakan pada garis lintang yang besar dimana matahari sangat sedikit, tetapi pada musim panas dapat sangat panjang. *Dual axis solar tracker* memiliki sudut horizontal dan sudut vertical sehingga dapat menjejakan pergerakan matahari dengan jelas dimanapun didunia. *Dual axis trackers* menjejak matahari dari timur ke barat dan dari utara ke selatan untuk menambahkan daya output dan kenyamanan.

Pergerakan solar tracker dapat terbagi menjadi 3 tipe utama yaitu: berbasis *solar trajectory* dan berbasis sensor. *Passive trackers* menggunakan metode yang proses penjejakannya tidak melakukan pengukuran langsung terhadap besaran fisis dari objek atau teknik penjejakan didasarkan atas perhitungan astronomi. *Active tracker* mengukur intensitas cahaya dari matahari dengan menggunakan sensor cahaya untuk mengetahui modul matahari seharusnya berada dititik tersebut. sensor cahaya diposisikan pada penjejak yang berada di beberapa lokasi terutama pada lokasi tertentu [4].



Gambar 2. 1 Solar tracker 2 sumbu [7]

2.3 Posisi Matahari

Berdasarkan teori astronomi, posisi matahari dapat diidentifikasi atau dihitung dengan sudut azimuth dan altitude untuk berbagai waktu. Nilai yang didapatkan akan selalu berubah bergantung pada jam dan geografi lokasi. Penjejak solar trajectory akan berkerja dengan baik ketika sudut pitch dan yaw pada photovoltaic dapat menjejak sudut azimuth dan altitude. Sudut azimuth (β) dan altitude (α) dapat dihitung dengan persamaan (2.2) dan (2.3) [7].

$$\theta_z = \cos^{-1}(\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \omega \cos \phi) \quad (2.1)$$

$$\alpha = 90 - \theta_z \quad (2.2)$$

$$\beta = \mu_{ew} \cdot \mu_{ns} \cdot \beta_{so} + \left[\frac{1 - \mu_{ew} \cdot \mu_{ns}}{2} \right] \mu_w \quad (2.3)$$

$$\beta_{so} = \sin^{-1} \left[\frac{\sin \omega \cos \delta}{\sin \alpha} \right] \quad (2.4)$$

$$\mu_{ew} = \begin{cases} 1 \rightarrow |\omega| < \eta_{ew} \\ -1 \rightarrow |\omega| \geq \eta_{ew} \end{cases} \quad (2.5)$$

$$\eta_{ew} = \cos^{-1}(\tan \phi \tan \delta) \quad (2.6)$$

$$\mu_{ns} = \begin{cases} 1 \rightarrow \phi(\phi - \delta) \geq 0 \\ -1 \rightarrow \phi(\phi - \delta) < 0 \end{cases} \quad (2.7)$$

Sudut deklansi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.8).

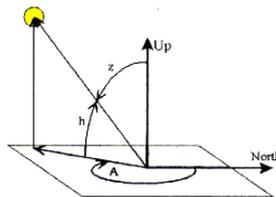
$$\delta = 23.45 \sin \left[360 \frac{(284+n)}{365} \right] \quad (2.8)$$

Jika parameter pada permukaan tracking ialah sudut datang (θ_i), sudut pitch (β) dan sudut yaw (γ_s), dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.9).

$$\theta_i = \cos^{-1}(\cos \theta_z \cos \beta + \sin \theta_z \sin \beta \cos(\gamma_s - \gamma)) \quad (2.9)$$

$$\beta = \theta_z$$

$$\gamma = \gamma_s$$

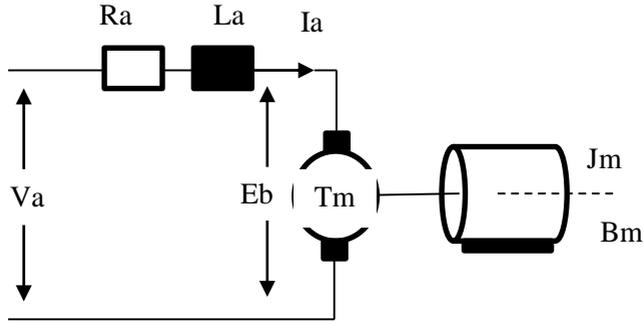


Gambar 2. 2 Sistem koordinat horizon [8]

2.4 Motor DC

Motor DC merupakan jenis motor yang baik untuk mengontrol kecepatan dan pengaturan kecepatannya dengan akurasi yang tinggi. Keuntungan menggunakan motor jenis ini ialah kemungkinan untuk mengubah arah rotasi dengan membalikkan polaritas tegangan masukan. Motor jenis ini juga

memiliki torsi tinggi yang sebanding dengan nilai kuadrat dari beban arus. Motor DC menggunakan arus searah [9].



Gambar 2. 3 Rangkaian motor DC [10]

Pada motor DC dapat dimodelkan sebagai sebuah rangkaian listrik yang memiliki sebuah resistor dan dihubungkan seri dengan induktor. Menurut hukum Kirchoff dapat ditentukan persamaan tegangannya seperti dibawah ini :

$$V(t) = R_a \cdot I_a(t) + L_a \cdot \frac{di(t)}{dt} + E_b(t) \quad (2.10)$$

Ketika motor bergerak dengan kecepatan tertentu maka akan muncul tegangan balik (e.m.f) yang besarnya berbanding lurus dengan kecepatannya dan dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$E_b(t) = K_b \cdot \omega(t) \quad (2.11)$$

Sedangkan torsi yang dihasilkan oleh motor didapatkan berdasarkan Hukum Newton Kedua tentang gerak rotasi seperti persamaan dibawah ini:

$$T_m(t) = J_m \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} + B_m \cdot \omega(t) \quad (2.12)$$

$$T_m(t) = K_t \cdot I_a(t) \quad (2.13)$$

Berdasarkan persamaan (2.10) dan (2.11) dapat disubstitusikan menjadi seperti pada persamaan (2.14) dan persamaan (2.12), dan (2.13) dapat disubstitusikan menjadi pada persamaan (2.15).

$$V(t) = R_a \cdot I_a(t) + L_a \cdot \frac{di(t)}{dt} + Kb \cdot \omega(t) \quad (2.14)$$

$$Kt \cdot Ia(t) = Jm \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} + Bm \cdot \omega(t) \quad (2.15)$$

Pada persamaan (2.14) dan (2.15) ditransformasi laplace menjadi seperti dibawah ini:

$$V(s) = R_a \cdot I_a(s) + L_a \cdot I_a(s)S + Kb \cdot \omega(s) \quad (2.16)$$

$$Kt \cdot Ia(s) = Jm \cdot \omega(s)S + Bm \cdot \omega(s) \quad (2.17)$$

Dengan mensubstitusikan arus yang ada pada persamaan (2.17) kedalam persamaan (2.16) maka didapatkan persamaan (2.18) sebagai berikut

$$V(s) = \omega(s) \frac{1}{Kt} \cdot [L_a \cdot Jm \cdot S^2 + (Ra \cdot Jm + La \cdot Bm)S + (Ra \cdot Bm + Kb \cdot Kt)] \quad (2.18)$$

Hubungan antara kecepatan *shaft* rotor dan penggunaan tegangan *armature* dapat digambarkan dalam fungsi transfer pada persamaan dibawah ini:

$$\frac{\omega(s)}{V(s)} = \frac{Kt}{[L_a \cdot Jm \cdot S^2 + (Ra \cdot Jm + La \cdot Bm)S + (Ra \cdot Bm + Kb \cdot Kt)]} \quad (2.19)$$

Hubungan antara posisi dan kecepatan yaitu

$$\theta(s) = \frac{1}{s} \omega(s) \quad (2.20)$$

Fungsi transfer antara posisi *shaft* dan tegangan *armature* pada saat terdapat beban ialah sebagai berikut:

$$\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{Kt}{[L_a \cdot Jm \cdot S^2 + (Ra \cdot Jm + La \cdot Bm)S + (Ra \cdot Bm + Kb \cdot Kt)]} \quad (2.21)$$

2.5 Fuzzy Logic Control

Fuzzy logic didasari dari konsep *fuzzy set*. *Fuzzy set* merupakan generalisasi dari kumpulan set pada *membership* yang bernilai 0 dan 1. Fuzzy logic controller terdiri dari 3 komponen yaitu: fuzzyfikasi, fuzzy rule base, dan defuzzyfikasi. Fuzzy logic berbasis kontrol dapat didesain menggunakan akumulasi pengalaman tentang sistem perlakuan. Mesin dapat disediakan untuk membuat keputusan seperti manusia dengan menggunakan logika fuzzy dan operasi kelompok fuzzy. Dengan menggunakan pendekatan logika fuzzy dapat meningkatkan performa sistem, menyederhanakan aplikasi, dan mengurangi pengeluaran [11]

Secara umum fuzzy logic controller dapat digunakan di industri, parameter *membership function* dan aturan *fuzzy control* secara otomatis menyesuaikan. Pada desain fuzzy controller, pembaharuan dari *membership function* dan pemilihan *control rules* merupakan factor yang paling penting, akan tetapi pada seleksi dan optimasi *membership function* pada fuzzy controller dan aturan *fuzzy control* memiliki keterbatasan pengetahuan. Tidak ada aturan resmi dan cara yang tepat untuk membentuk, biasanya berdasarkan dari pengetahuan operator atau pengalaman para ahli untuk membentuk hubungan antara *control rules* dan *membership function*.

Fungsi dari bagian-bagian struktur model fuzzy ialah sebagai berikut:

a. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi merupakan proses konversi nilai real menjadi nilai fuzzy (variabel linguistik). Masing-masing nilai memiliki derajat keanggotaan antara 0 sampai 1.

b. 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.

c. 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*.

Sejauh ini terdapat beberapa metode optimasi parameter fuzzy controller. Jika dibandingkan dengan beberapa metode optimasi, algoritma genetika memiliki banyak kelebihan. Pada proses optimasi hanya menggunakan fungsi evaluasi dan mengikuti proses optimasi merupakan solusi yang dimulai dengan acak lebih baik dari pada dimulai dari titik, algoritma genetika memiliki karakteristik umum yaitu kesamaan dan kecepatan. Algoritma genetika didasari oleh fungsi fitness untuk evaluasi, mengurangi error, dan keseluruhan memiliki bagian yang kuat, sehingga dapat menjadi sangat baik untuk aturan *fuzzy control*, seleksi *membership function*, dan optimasi [12].

2.6 Algoritma Genetika

Algoritma genetika merupakan simulasi dari genetic biologis dan evaluasi pada lingkungan alam dan membentuk kemungkinan optimasi adaptif untuk mencari algoritma. Algoritma genetika dapat menjadi penelitian yang penting karena memiliki kelebihan diantaranya mudah, umum, tidak berdiri sendiri pada karakteristik model permasalahan, berhasil dan dapat digunakan di perancangan desain. Algoritma genetika menggunakan 3 operator operasi utama yaitu seleksi, *crossover*, dan mutasi.

a. Seleksi

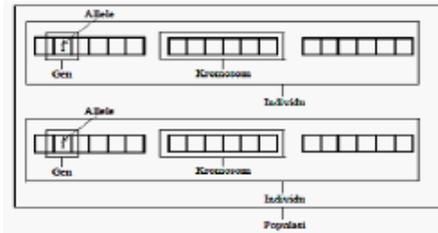
Untuk mendapatkan calon induk yang baik dibutuhkan proses seleksi. Seleksi dapat digunakan untuk memilih individu yang akan dilakukan dalam proses mutasi dan kawin silang.

b. *Crossover*

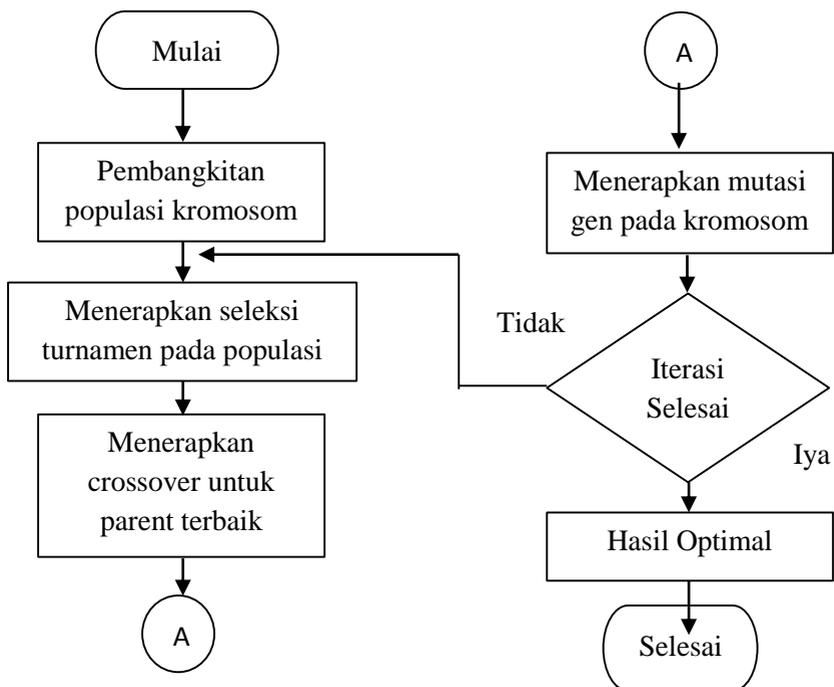
Merupakan salah satu komponen terpenting pada algoritma genetika. *Crossover* berlangsung di dua kromosom. Pada kromosom anak yang terbentuk akan mewarisi sebagian sifat kromosom induknya.

c. Mutasi

Mutasi digunakan untuk menggantikan gen yang hilang dari populasi akibat proses seleksi yang memungkinkan munculnya kembali gen yang tidak muncul pada inisialiasi populasi [13].



Gambar 2. 4 Representasi struktur dalam algoritma genetika [13]



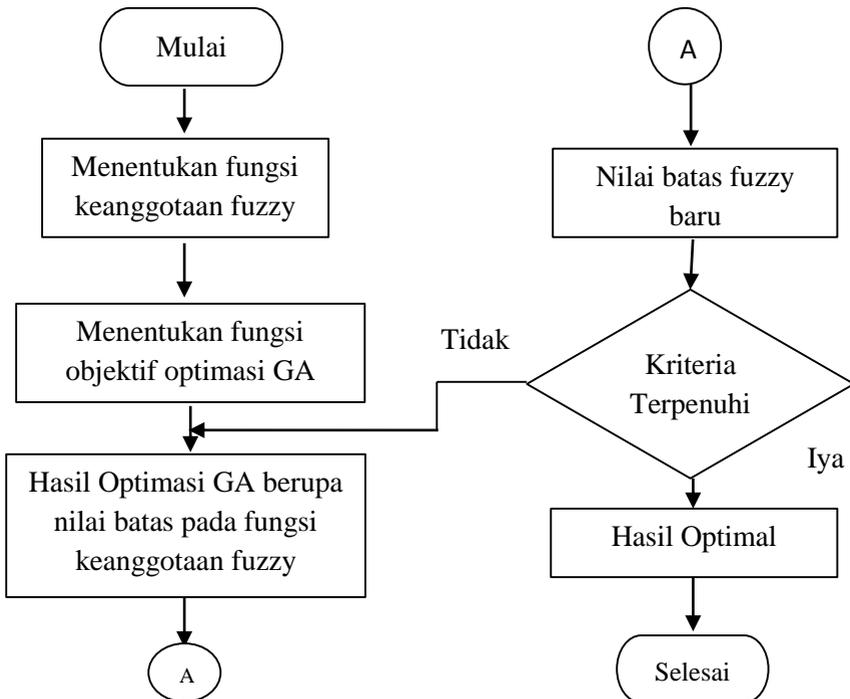
Gambar 2. 5 Diagram alir optimasi algoritma genetika[14]

Pada setiap generasi, terdapat fungsi fitness yang digunakan kromosom untuk proses evaluasi dengan menggunakan alat ukur. Pada suatu kromoso, nilai fitness akan menampilkan kualitas dari kromos dalam populasi. Generasi berikutnya disebut *offspring*

yang terbentuk dari gabungan dua kromosom generasi sekarang yang bertindak sebagai induk dengan menggunakan *crossover* dan mutasi. Setelah melalui beberapa generasi, maka akan konvergen ke kromosom terbaiknya.

2.7 Fuzzy-Algorithm Genetika

Algoritma genetika sebagai metode optimasi tepat diaplikasikan pada optimasi kontrol fuzzy. Algoritma genetic-control fuzzy merupakan kombinasi dari algoritma genetika dan sistem fuzzy, untuk optimasi algoritma kontrol fuzzy, lalu didapatkan hasil optimasi kontrol fuzzy, dan diterapkan diproses kontrol aktual. Berikut ialah diagram alir dari fuzzy-algoritma genetika:

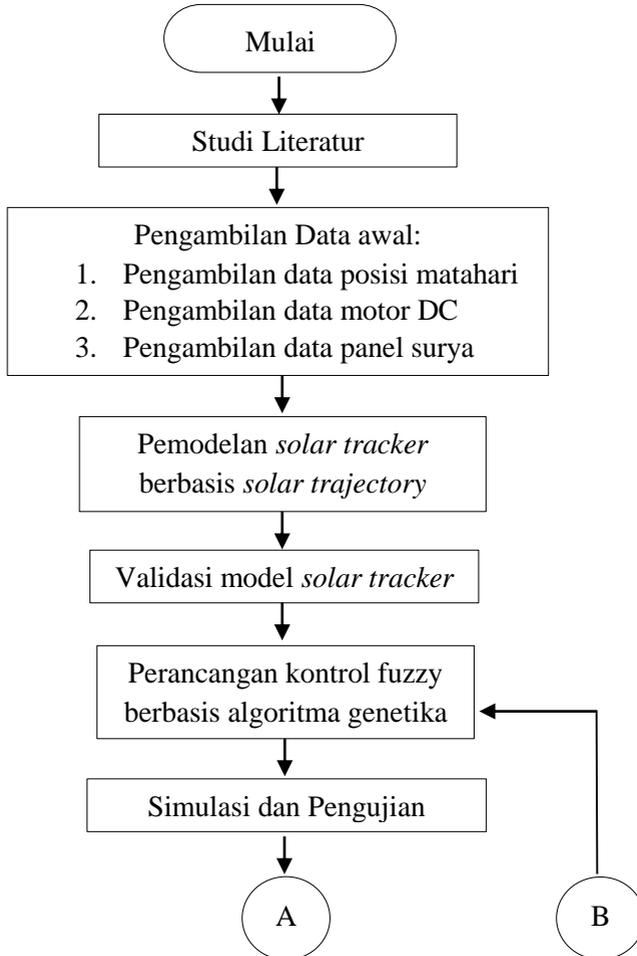


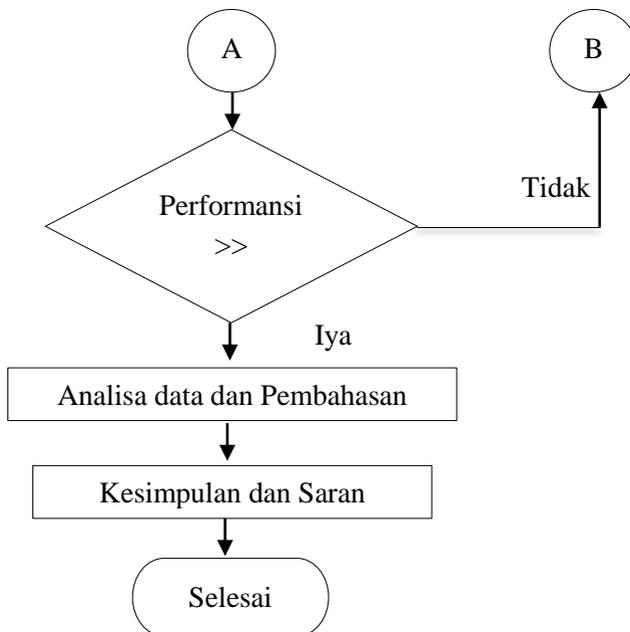
Gambar 2. 6 Diagram alir fuzzy-algoritma genetika

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Metode penelitian dalam pengerjaan tugas akhir ini dijelaskan pada diagram alir Gambar 3.1 dengan rincian sebagai berikut:





Gambar 3.1 Diagram alir

3.2 Studi Literatur

Studi literature bertujuan agar memahami dengan baik secara teoritis yang bersumber dari beberapa literatur dari referensi *text book*, *manual book*, ataupun jurnal-jurnal ilmiah nasional maupun internasional yang memuat materi-materi. Materi-materi yang berkaitan dengan penelitian tugas akhir ini yaitu, metode sistem *solar tracker*, metode *genetik algorithm modified fuzzy*, dan pemodelan sistem yang digunakan.

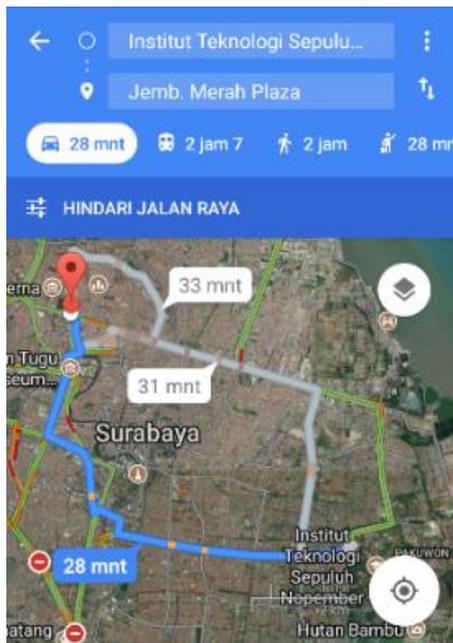
3.3 Pengambilan Data Awal

Pengambilan data yang digunakan untuk pemodelan dan simulasi pada sistem solar tracker yaitu yang meliputi pengambilan data astronomi (posisi azimuth dan altitude), pengambilan data motor DC, serta pengambilan data *photovoltaic*. Pengambilan data

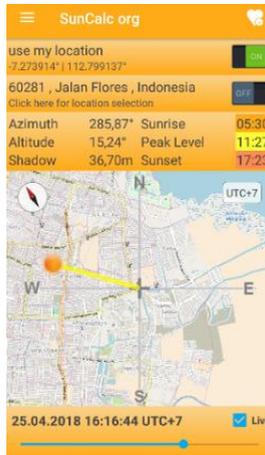
sistem panel surya dapat dinyatakan dalam bentuk data sekunder maupun eksperimen.

3.3.1 Pengambilan Data Posisi Matahari

Pengambilan data posisi matahari digunakan untuk mengetahui bujur dan lintang lokasi yang akan digunakan pada waktu dan tanggal tersebut. Pada penelitian kali ini, sistem yang digunakan ialah mobile solar tracker berbasis solar trajectory sehingga setiap perubahan lokasi dan waktu akan menyebabkan perubahan bujur dan lintang lokasi. Perubahan lintang dan bujur tersebut akan mempengaruhi nilai dari sudut *azimuth* dan sudut *altitude* yang akan digunakan sebagai masukan dari sistem *photovoltaic*. Lokasi pengambilan data dilakukan di sepanjang jalan ITS menuju Jembatan Merah (Jalan Krembangan) Surabaya pada tanggal 27 April 2018 dari pukul 06.00 WIB sampai pukul 17.30 WIB.



Gambar 3. 2 Rute pengambilan data posisi matahari



Gambar 3. 3 Pengambilan data bujur dan lintang

3.3.2 Pengambilan Data Motor DC

Motor yang digunakan untuk sistem ini ialah motor DC 12 Volt yang berjumlah 2 buah dengan kondisi motor DC yang identik. Motor DC sebanyak 2 buah digunakan pada *photovoltaic* dengan sudut pitch dan sudut yaw. Pengambilan data motor DC bertujuan untuk mengetahui parameter-parameter yang akan digunakan pada pemodelan solar tracker. Parameter-parameter yang akan digunakan ialah Konstanta Tegangan (K_e), Konstanta Torsi (K_t), Inersia Motor (J_m), Resistansi Motor (R), Induktansi Motor (L), dan *Viscous Friction Coefficient* (B_m).



Gambar 3. 4 Pengambilan data motor DC

Untuk mengetahui nilai parameter-parameter diatas digunakan beberapa alat pendukung yaitu *power supply dc*, *lcr meter*, *avo meter*, *digital tachometer*, dan *stopwatch*.

- Konstanta Tegangan (Ke)

Nilai konstanta tegangan motor DC berasal dari masukan nilai tegangan (2-12 Volt) yang terhubung dengan *power supply DC* dan *tachometer* yang berfungsi untuk mengetahui rpm yang dihasilkan dari motor DC. Pengambilan nilai rpm dilakukan sebanyak 3 kali setiap variasi tegangan yang diberikan.

- Konstanta Tegangan (Ke)

$$Ke = \frac{V}{\omega(\text{rad/sec})} \quad 3.1$$

- Konstanta Torsi (Kt)

Konstanta torsi didapatkan dari persamaan 3.2 sebagai berikut:

$$Kt = \frac{Ke}{0.011827} \quad 3.2$$

- Inersia Motor (Jm)

Inersia Motor didapatkan dari persamaa 3.3 sebagai berikut.

$$Jm = \frac{\text{Akselerasi Torsi}}{\text{Akselerasi}} \quad 3.3$$

$$\text{Akselerasi Torsi } (Tm) = (Kt \cdot I_{max}) - (Kt \cdot I_{min}) \quad 3.4$$

$$\text{Akselerasi } (a) = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} \quad 3.5$$

Pengambilan data inersi motor DC menggunakan *power supply DC* dan *tachometer* untuk mengetahui rpm yang dihasilkan oleh motor DC pada variasi tegangan yang diberikan (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, dan 12). *Stopwatch* digunakan untuk mengetahui waktu pada saat pengambilan data nilai rpm.

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

Nilai resisntasi dan induktansi motor didapatkan dari pengukuran, yaitu dengan cara menghubungkan kutub positif dan

kutub negatif pada motor DC ke LCR meter. Pengambilan data dilakukan sebanyak 20 kali dan setelah itu dirata-rata hasilnya.

- *Viscous Friction Coefficient (Bm)*

Viscous Friction Coefficient (Bm) didapatkan dari persamaan 3.6 sebagai berikut.

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

Berdasarkan persamaan 3.1, 3.2, 3.3, dan 3.6, nilai yang didapatkan untuk parameter yang digunakan untuk pemodelan motor DC disimulink matlab ialah sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Parameter-Parameter Motor DC

Parameter	Nilai Parameter
Ke	27.17 Volt.sec/rad
Kt	27.14 Nm/A
Jm	242.69 Nm.sec ²
Bm	0.62 Nm.sec/rad
R	9.36 Ω
L	0.09 Henry

3.3.3 Pengambilan Data Panel Surya

Masukan yang digunakan untuk panel surya ialah iradiasi dan temperatur. Nilai iradiasi dan temperatur didapatkan dengan cara pengambilan data langsung. Adapun parameter-parameter yang digunakan untuk pemodelan panel surya disimulink matlab berasal dari *datasheet* spesifikasi *photovoltaic*. Nilai-nilai yang didapatkan dari spesifikasi panel surya adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 2 Spesifikasi Modul *Photovoltaic*

Parameter-Parameter	Nilai Parameter
<i>Temperature Coeff of Short Circuit Voltage (Φ)</i>	-0.0036V/°C
<i>Temperature Coeff of Short Circuit Curent (μ)</i>	0.00053 A/°C
<i>Pmax (Maximum Power)</i>	250 W
<i>Imp (Maximum Power Current)</i>	8.34 A
<i>Vmp (Maximum Power Voltage)</i>	30 V
<i>Voc (Open Circuit Voltage)</i>	36.8 V
<i>Isc ++(Short Circuit Current)</i>	9 A

Berdasarkan data spesifikasi *photovoltaic* pada Tabel 3.2 dapat digunakan untuk mengetahui nilai parameter yang akan digunakan pada pemodelan *photovoltaic* pada *simulink* matlab.

**Gambar 3. 5** Pengambilan data panel surya

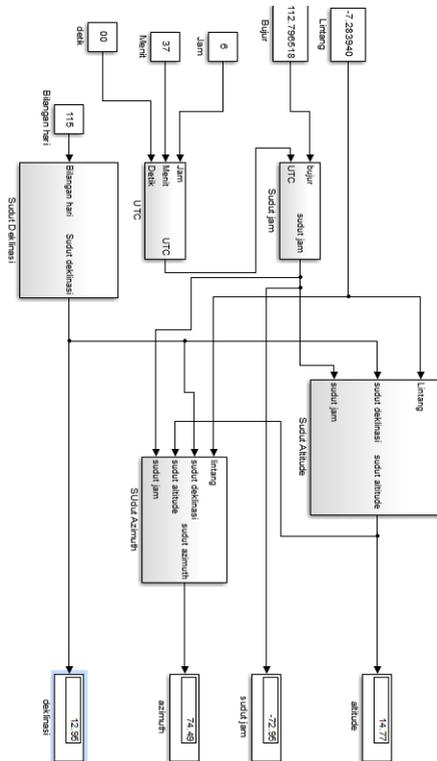
3.4 Pemodelan Solar Tracker Berbasis *Solar Trajectory*

Berdasarkan penurunan metode yang ada pada hukum-hukum fisika dapat dilakukan pemodelan solar tracker berbasis solar trajectory dan setelah itu dilakukan pengujian dengan eksperimen maupun software. Komponen pemodelan solar tracker berbasis solar trajectory ialah terdiri dari posisi matahari, motor DC, dan *photovoltaic* panel. Model matematis dari setiap komponen diterapkan pada simulink MATLAB.

3.4.1 Pemodelan Posisi Matahari

Pemodelan posisi matahari berasal dari pemodelan posisi matahari yang telah dikembangkan oleh J.E Braun dan Sproul, serta divalidasi dengan menggunakan *software* dari NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*).

Masukan yang digunakan pada pemodelan posisi matahari ialah waktu saat pengambilan data, posisi lintang, posisi bujur, perbedaan waktu GMT, dan bilangan hari). Sehingga keluaran yang dihasilkan dari pemodelan posisi matahari ialah sudut *azimuth* dan sudut *altitude* seperti pada gambar 3.4 dibawah ini.



Gambar 3. 6 Pemodelan posisi matahari

3.4.2 Pemodelan Motor DC

Jika meninjau secara elektrik, motor DC menggunakan Hukum Khirchoff tentang tegangan sedangkan secara mekaik menggunakan Hukum Newton II tentang rotasi. Konstanta parameter yang digunakan pada pemodelan motor DC telah didapatkan sebelumnya dari pengambilan data.

Berdasarkan Hukum Tegangan Khirchof II dan Hukum Newton II didapatkan fungsi transformasi laplace sebagai berikut.

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

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

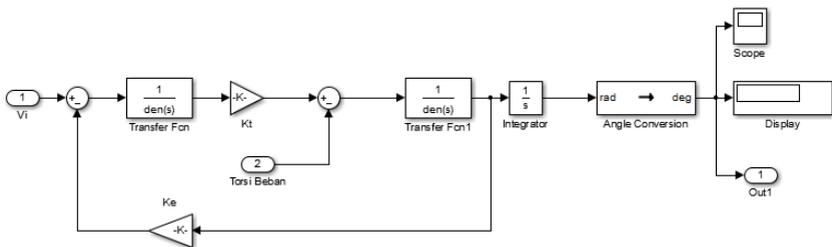
$$I_a = \frac{V_a(s) - K_b \cdot \omega(s)}{(R_a \cdot + L_a S)} \quad 3.9$$

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

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

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

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



Gambar 3. 7 Pemodelan motor DC

Pada motor DC yang digunakan pada *photovoltaic* terdapat torsi load (TL) yang dapat mempengaruhi kecepatan angular motor DC. Sehingga diperlukan perhitungan torsi load pada motor DC. Besarnya torsi load antara pitch dan yaw berbeda yang terlihat dari persamaan-persamaan sebagai berikut:

Torsi Yaw

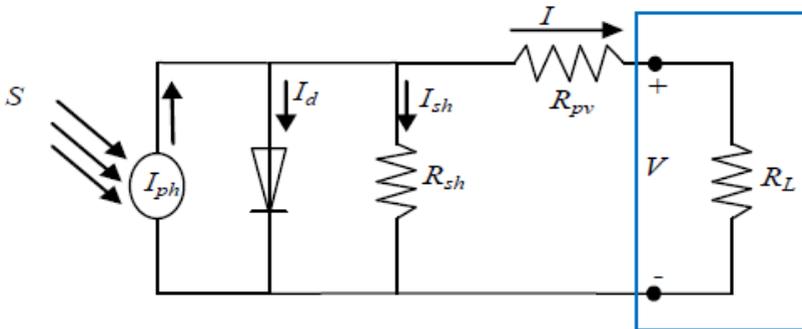
$$\begin{aligned}\tau &= F \sin \theta x r \\ &= m x g x \sin \theta x r\end{aligned}\quad 3.14$$

Torsi Pitch

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

3.4.3 Pemodelan *Photovoltaic*

Pemodelan panel surya didasari pada rangkaian ekuivalen *single diode* seperti pada gambar 3.8.



Gambar 3. 8 Rangkaian ekuivalen panel surya

Masukan untuk panel surya berupa temperatur dan radiasi matahari yang pengambilan datanya dilakukan selama 10 jam (06.00-17.00 WIB) pada sepanjang jalan dari ITS menuju Jembatan Merah. Keluaran dari panel surya ini ialah berupa tegangan dan arus.

Berdasarkan hukum arus kirchoff, arus dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah:

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

Pada kondisi ideal $I_{sh} = 0$ dan $R_{sh} \approx \infty$. Sehingga persamaan 3.11 menjadi,

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

$$I = \left[\mu \left(\frac{s}{s_{ref}} \right) \left((T - T_{ref}) + \left(\frac{s}{s_{ref}} - 0.91 \right) \right) - I_{sc} \right] + I_{mp} \quad 3.18$$

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

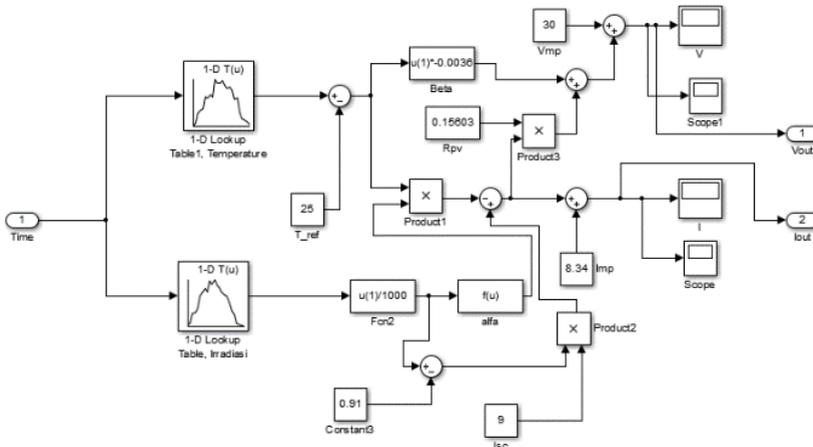
$$\Phi_{ref} = \frac{2V_{mp} - V_{oc}}{\frac{I_{sc}}{I_{sc} - I_{mp}} + \ln\left(1 - \frac{I_{mp}}{I_{sc}}\right)} \quad 3.20$$

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

I dan V dapat direpresentasikan sebagai fungsi radiasi dan temperatur seperti pada persamaan 3.13 dan 3.14. Nilai $S_{ref}=100W/m^2$, $T_{ref} = 25^\circ C$, nilai Rpv dapat diketahui pada persamaan 3.16, dan nilai dari parameter lainnya dapat dilihat pada data spesifikasi panel surya yang telah diberikan pada tabel 3.2.

Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan persamaan diatas dan dengan menggunakan data spesifikasi yang didapatkan pada *datasheet photovoltaic*, pemodelan untuk *photovoltaic* di simulink matlab dapat dilakukan. Berikut merupakan gambar 3.8

yang merupakan pemodelan *photovoltaic* dilakukan pada simulink matlab.



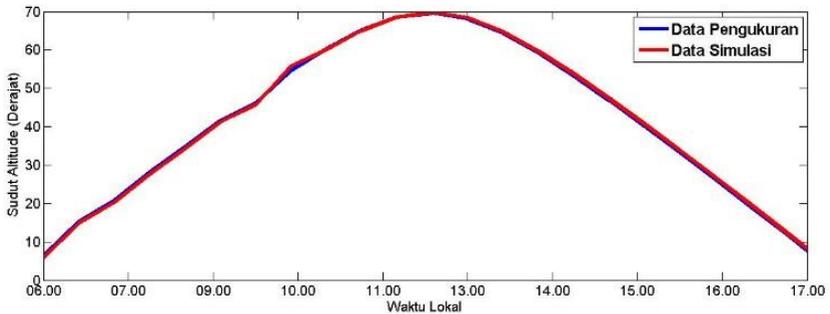
Gambar 3. 9 Pemodelan *photovoltaic*

3.5 Validasi Model Solar Tracker

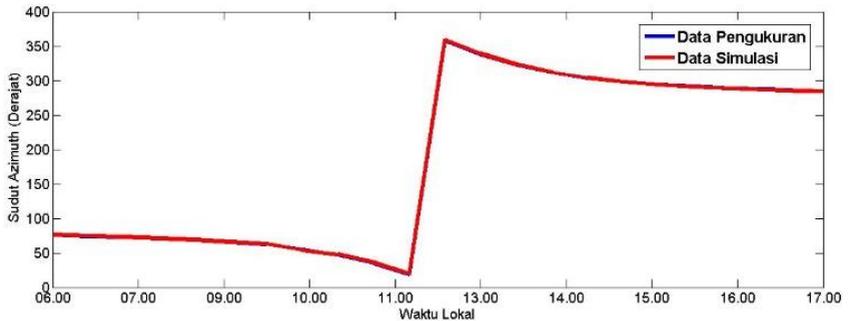
Setelah didapatkan model solar tracker, selanjutnya dilakukan validasi solar tracker. Validasi model solar tracker bertujuan agar dapat membuktikan bahwa simulasi yang telah dirancang telah sesuai dengan data hasil pengukuran yang telah ada.

3.5.1 Validasi Pemodelan Posisi Matahari

Pada proses validasi pemodelan posisi matahari kali ini sebagai standar yang digunakan untuk validasi ialah *solar position calculator* pada *National Ocean and Atmospheric Administration* (NOAA). Hasil dari simulasi yang diolah melalui pemodelan simulink dengan pengambilan data dari ITS ke Jembatan Merah dari pukul 06.00 WIB hingga 17.00 WIB dibandingkan dengan hasil yang didapatkan dari *solar position calculator* pada *National Ocean and Atmospheric Administration* (NOAA). Output yang dihasilkan ialah sudut altitude dan sudut azimuth yang dapat dilihat dari gambar 3.7 dan gambar 3.8.



Gambar 3.10 Hasil validasi sudut altitude

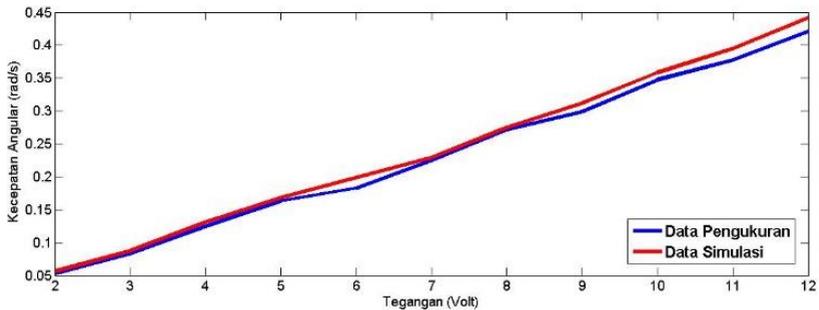


Gambar 3.11 Hasil validasi sudut azimuth

Berdasarkan hasil validasi posisi matahari pada sudut altitude dan sudut azimuth pada gambar 3.7 dan gambar 3.8 menunjukkan bahwa model yang telah dibuat memenuhi syarat menjadi input pada uji tracking setpoint kontroler.

3.5.2 Validasi Model Motor DC

Validasi model motor DC dilakukan dengan menggunakan input tegangan dari 2 volt hingga 12 volt dan keluaran yang dihasilkan dari masukan tersebut menghasilkan kecepatan angular motor DC.

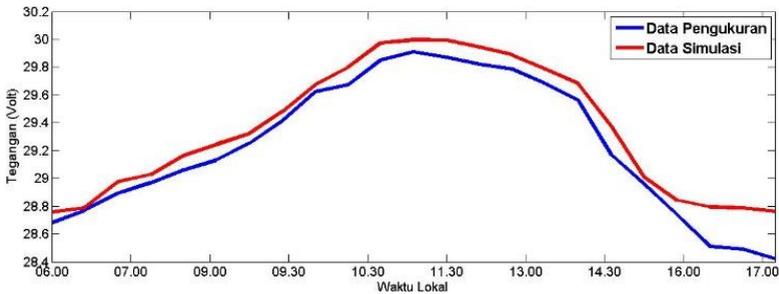


Gambar 3. 12 Hasil validasi motor DC

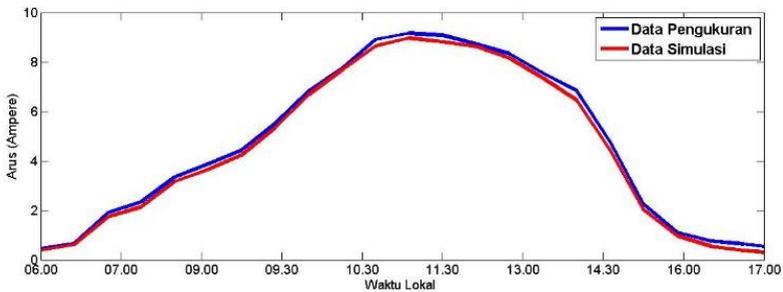
Berdasarkan hasil validasi diatas dapat terlihat jika pada pada tegangan 12 V menghasilkan kecepatan angular tertinggi yaitu pada simulasi sebesar 0.42 serta pada pengukuran sebesar 0.44 dan pada tegangan 2 V menghasilkan kecepatan angular terendah yaitu pada simulasi sebesar 0.052 serta pada pengukuran sebesar 0.056 . Pada gambar 3.11 yang merupakan hasil validasi motor DC, menunjukkan bahwa model motor DC yang telah dibangun telah sesuai dengan apa yang diinginkan yaitu sesuai dengan output simulasi dan eksperimen. Sehingga pemodelan motor DC dapat diimplementasikan pada pemodelan sistem *solar tracker*.

3.5.3 Validasi Photovoltaic

Validasi yang dilakukan untuk pemodelan *photovoltaic* yaitu membandingkan antara hasil simulasi yang dibuat dengan hasil pengukuran yang telah dilakukan sebelumnya. Berikut merupakan hasil dari validasi antara pemodelan yang dilakukan di Simulink matlab dengan hasil pengambilan data langsung. Validasi yang dilakukan yaitu dengan membandingkan antara hasil pengukuran dan hasil simulasi pada keluaran tegangan dan pada keluaran arus. Berikut ialah hasil dari validasi yang dilakukan pada keluaran tegangan pada gambar 3.12 dan arus pada gambar.



Gambar 3.13 Hasil validasi keluaran tegangan *photovoltaic*



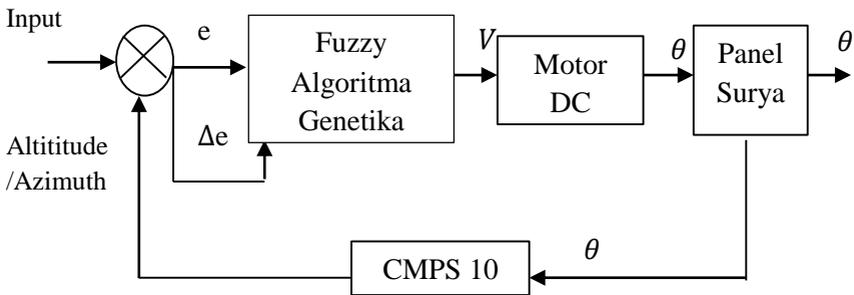
Gambar 3.14 Hasil validasi keluaran arus *photovoltaic*

Dari hasil simulasi yang dilakukan dengan dibandingkan dengan pengambilan data terlihat pada hasil validasi tegangan, menghasilkan nilai yang mendekati antara hasil simulasi dan hasil pengambilan data dengan hasil tertinggi pada pukul 11.30 dengan nilai pada pengukuran sebesar 29.91V dan pada simulasi sebesar 29.99V. Pada hasil validasi arus hasil yang didapatkan juga mendekati bahkan berhimpitan antara data simulasi dan data pengukuran. Nilai tertinggi yang didapatkan pada validasi yaitu pada pukul 11.30 dengan hasil simulasi sebesar 8.96A dan hasil pengukuran sebesar 9.16A. Pada hasil validasi tegangan, kedua hasil keluaran panel surya terdapat beberapa titik yang memiliki perbedaan. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi ialah faktor

pada saat pengambilan data kurang tepat dan tidak dimodelkannya gangguan angin pada pemodelan panel surya tersebut.

3.6 Perancangan Sistem Kontrol Fuzzy Berbasis Algoritma Genetika

Berikut ialah diagram blok sistem pengendalian pada *solar tracker* berbasis *solar trajectory*. Variabel yang dikontrol ialah sudut pitch dan sudut yaw. Terdapat beberapa komponen yang digunakan dan proses sistem yang akan dijelaskan sebagai berikut.

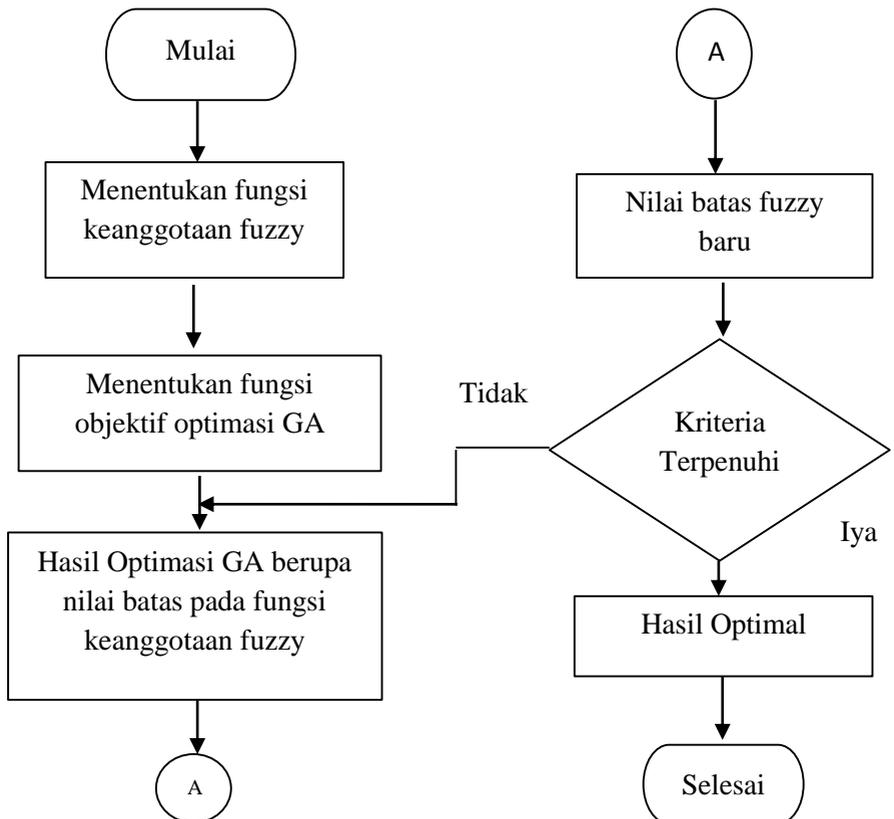


Gambar 3. 15 Diagram blok *solar tracker* berbasis *solar trajectory*

Set point pada sistem ini ialah posisi matahari yaitu sudut *azimuth* dan sudut *altitude*. Variabel yang dikendalikan ialah sudut *pitch* dan sudut *yaw* pada panel surya. Sensor CMPS 10 digunakan untuk mengindera perubahan sudut yaw dan sudut pitch pada panel surya dengan mengukur posisi aktual panel surya. Jika terdapat perbedaan antara sudut *pitch* panel surya dengan setpoint *altitude* matahari maka akan menjadi error *altitude* dan jika terdapat perbedaan antara sudut *yaw* panel surya dengan setpoint *azimuth* matahari maka akan menjadi error *azimuth*. Error altitude, error azimuth, delta error altitude, dan delta error azimuth digunakan sebagai masukan dari controller yang berupa fuzzy algoritma genetika yang selanjutnya akan menghasilkan keluaran fuzzy berupa sinyal pwm.

Nilai dari pwm motor DC dan dikalikan dengan gain yang sesuai akan menghasilkan tegangan pada motor DC. Hasil keluaran dari motor DC akan menghasilkan sudut putar pitch dan yaw yang akan menggerakkan panel surya.

Pada penelitian ini digunakan teknik optimasi algoritma genetika yang digunakan untuk menghasilkan nilai batas yang optimal pada fungsi keanggotaan fuzzy. Adapun diagram alir yang digunakan untuk optimasi terdapat pada gambar 3. 13.



Gambar 3. 16 Diagram alir *genetic algorithm modified fuzzy*

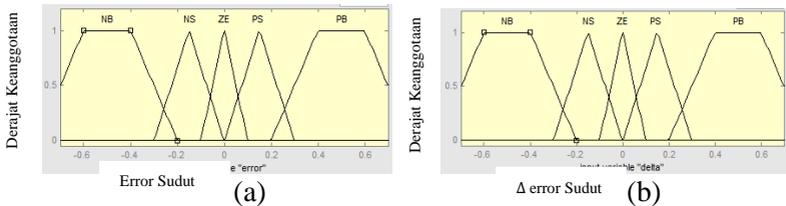
3.7 Sistem Kontrol Fuzzy Berbasis Algoritma Genetika

Perancangan kontrol fuzzy berbasis algoritma genetika digunakan untuk mengendalikan panel surya pada arah sudut pitch dan yaw terhadap sudut *azimuth* dan sudut *altitude*. Masukan untuk kontrol fuzzy ini ialah error azimuth, error altitude, delta error azimuth dan delta error altitude dengan keluaran kontrol berupa sinyal PWM yang selanjutnya setelah dikali dengan gain akan menjadi tegangan yang digunakan sebagai masukan untuk motor DC. Pada penelitian ini model fuzzy yang digunakan ialah fuzzy sugeno dengan fungsi keanggotaan atau *membership function* yaitu 3 dan 5.

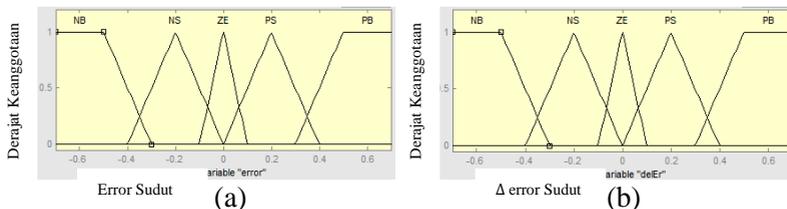
3.7.1 Fungsi Keanggotaan Fuzzy

a. Fuzzy 5 MF

Pada sudut pitch dan yaw fungsi keanggotaan yang digunakan ialah NB, NS, ZE, PS, dan PB dengan bentuk fungsi keanggotaan 3 buah berbentuk segitiga dan 2 buah berbentuk trapesium. Input dari fuzzy 5 MF pitch pada gambar 3.14 dan sudut yaw pada gambar 3.15.

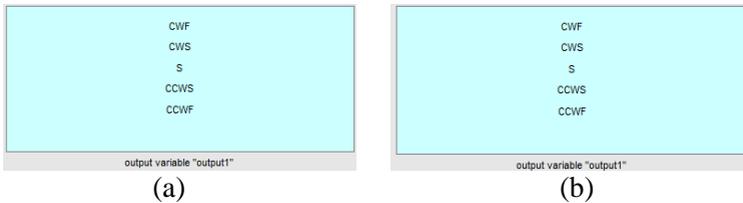


Gambar 3. 17 Fungsi keanggotaan (a) input error (b) input Δ error pada fuzzy 5 MF



Gambar 3. 18 Fungsi keanggotaan (a) input error (b) input Δ error pada fuzzy 5 MF yaw

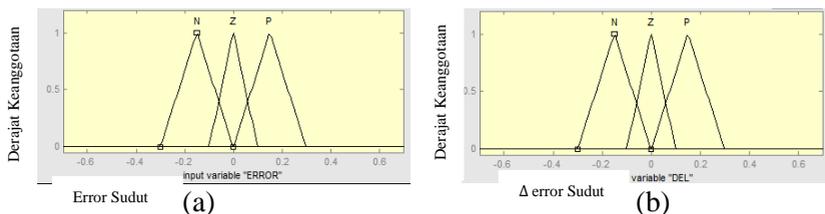
Output atau defuzzifikasi yang dihasilkan pada fuzzy 5 MF pitch dan yaw dikelompokkan menjadi 5 kategori yaitu CWF, CWS, S, CCWS, dan CCWF. Nilai dari output ini ialah -255, 170, -5, 170, dan 255. Nilai negatif pada nilai range output menandakan arah putar motor DC.



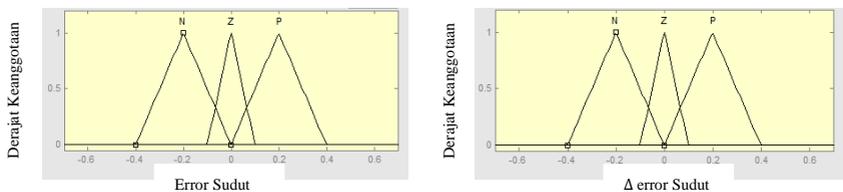
Gambar 3. 19 Defuzzifikasi pada fuzzy fungsi keanggotaan 5 (a) pitch (b) yaw

b. Fuzzy 3 MF

Pada fuzzy 3 MF, fungsi keanggotaan yang digunakan ialah N, Z, dan P dengan bentuk fungsi keanggotaan 3 buah berbentuk segitiga. Bentuk dan range input dari fuzzy 3 MF pitch dapat dilihat dari gambar 3.17 dan pada yaw dapat dilihat pada gambar 3.18.

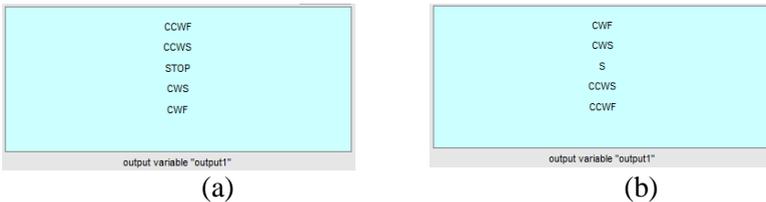


Gambar 3. 20 Fungsi keanggotaan (a) input error (b) input Δ error pada fuzzy 3 MF pitch



Gambar 3. 21 Fungsi keanggotaan (a) input error (b) input Δ error pada fuzzy 3 MF yaw

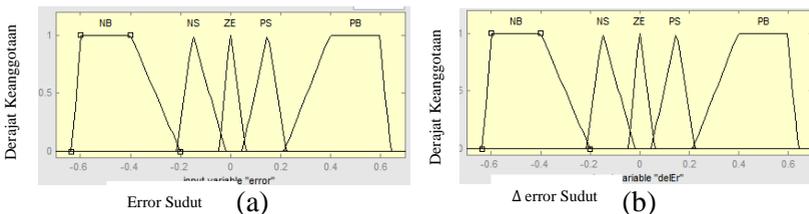
Pada fuzzy 3 MF pitch dan yaw, defuzzifikasi yang digunakan dapat dikategorikan menjadi CCWF, CCWS, S, CWS, dan CWF dengan nilai output ialah -255, 170, -5, 170, dan 255.



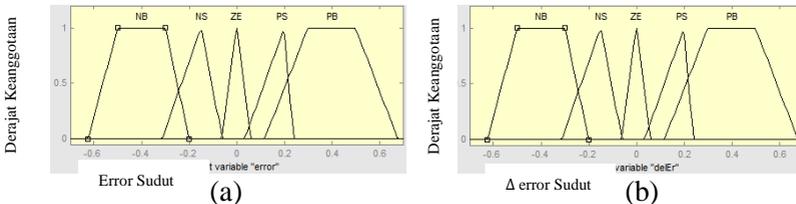
Gambar 3. 22 Defuzzifikasi fuzzy fungsi keanggotaan 3 (a) pitch (b) yaw

d. Fuzzy-Algoritma Genetika 5MF

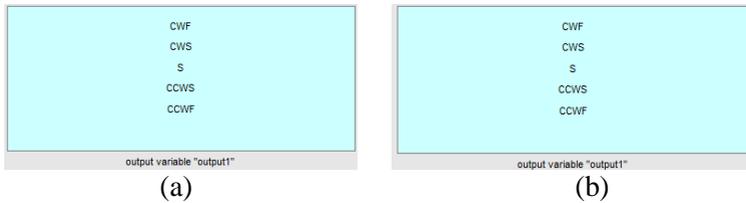
Algoritma genetika digunakan sebagai optimasi terhadap batas pada fuzzy yang telah ditetapkan sebelumnya. Setelah dilakukan optimasi, didapatkan nilai batas terbaru dari fuzzy algoritma genetika. Input fuzzy 5 MF pitch dan yaw dapat dilihat pada gambar 3.20 dan 3.21 dan output pada gambar 3.24.



Gambar 3. 23 Bentuk dan batas fuzzy 5 MF pitch setelah dilakukan optimasi (a) error (b) Δ error



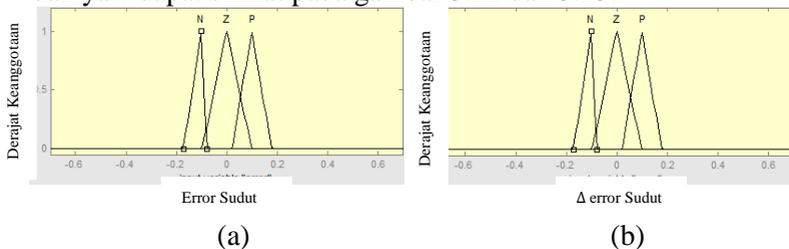
Gambar 3. 24 Bentuk dan batas fuzzy 5 MF yaw setelah dilakukan optimasi (a) error (b) Δ error



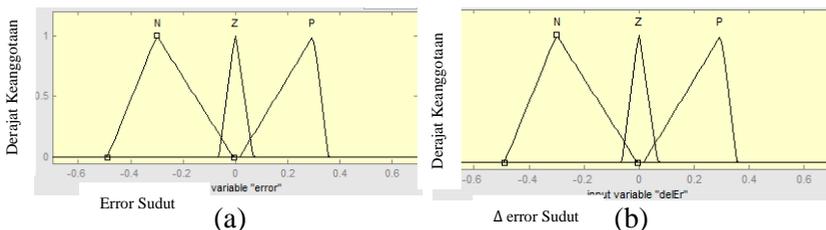
Gambar 3. 25 Output fuzzy-algoritma genetika 5 MF pada (a) pitch (b) yaw

e. Fuzzy-Algorithm Genetika 3 MF

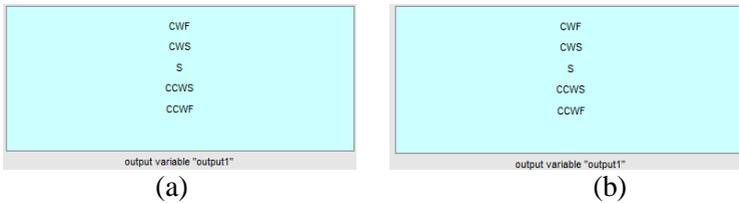
Teknik optimasi yang digunakan ialah algoritma genetika yang digunakan sebagai optimasi terhadap batas pada fuzzy. Optimasi digunakan untuk mendapatkan nilai batas fuzzy yang optimal. Setelah dilakukan optimasi, didapatkan nilai batas terbaru dari fuzzy algoritma genetika. Bentuk dan batas fuzzy 3 MF pitch dan yaw dapat dilihat pada gambar 3.22 dan 3.23.



Gambar 3. 26 Bentuk dan batas fuzzy 3 MF pitch setelah dilakukan optimasi (a) error (b) Δ error



Gambar 3. 27 Bentuk dan batas fuzzy 3 MF yaw setelah dilakukan optimasi (a) error (b) Δ error



Gambar 3. 28 Output fuzzy-algoritma genetika 3 MF pada (a) pitch (b) yaw

3.7.2 Rule Base

Masukan fuzzy yang digunakan pada penelitian ini ialah error dan delta error dan pada setiap masukan terdapat 5 fungsi keanggotaan. Oleh sebab itu jumlah rule base yang digunakan pada fuzzy 5 MF ialah sebanyak 25 yang dapat dilihat pada tabel 3.3 untuk rule base pitch dan tabel 3.4 untuk yaw. Pada fuzzy 3 MF, karena setiap masukan terdapat 3 fungsi keanggotaan sehingga jumlah rule base untuk 3 MF sebanyak 9. Untuk rule base pitch dapat dilihat pada tabel 3.5 dan untuk yaw dapat dilihat pada tabel 3.6.

Tabel 3. 3 Rule Base untuk Fuzzy 5 MF Pitch

Δe \ e	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	CCWF	CCWF	S	CWS	CWF
NS	CCWF	CCWS	S	CWS	CWS
ZE	CCWS	CCWS	S	CWS	CWS
PS	CCWS	CCWS	S	CWS	CWF
PB	CCWF	CWS	S	CWF	CWF

Tabel 3. 4 Rule Base untuk Fuzzy 5 MF Yaw

Δe \ e	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	CWF	CWS	CWS	CWF	CWF
NS	CCWS	CWS	CWS	CWS	CWF
ZE	S	S	S	S	S
PS	CCWF	CCWS	CCWS	CCWS	CCWS
PB	CCWF	CCWF	CCWS	CCWS	CCWF

Tabel 3. 5 Rule Base untuk Fuzzy 3 MF Pitch

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

Tabel 3. 6 Rule Base untuk Fuzzy 3 MF Yaw

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

Keterangan:

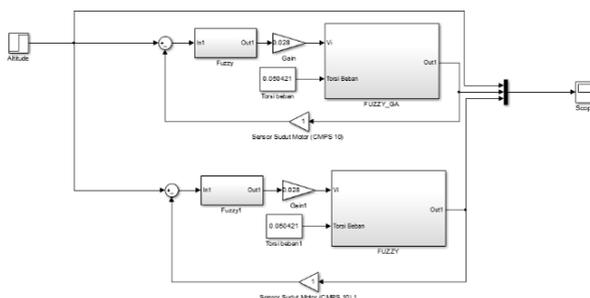
CCWF ialah *counter clock wise fast*, CCWS ialah *counter clock wise slow*, S ialah *stop*, CWF ialah *clock wise fast*, CWS ialah *clock wise slow*.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, dilakukan perancangan sistem *solar tracker* berbasis *solar trajectory*. Variabel yang dikendalikan ialah sudut pitch dan sudut yaw yang terdapat pada panel surya. Pada sistem ini, kontrol yang digunakan ialah *fuzzy logic control* dengan melakukan optimasi menggunakan algoritma genetika. Optimasi digunakan agar mendapatkan hasil keluaran fuzzy yang lebih optimal dari pada hanya menggunakan fuzzy. Pada kontrol fuzzy, digunakan variasi fungsi keanggotaan 3 dan 5. Variasi fungsi keanggotaan digunakan untuk mengetahui respon yang dihasilkan pada sistem tersebut dan selanjutnya dianalisa pada setiap responnya. Pada sistem kontrol *solar tracker* dilakukan 3 metode uji yaitu uji set point, uji tracking, dan uji performansi. 3 metode uji tersebut bertujuan untuk mengetahui apakah pemodelan yang dilakukan telah sesuai dengan kondisi sesungguhnya dan hasil keluaran yang didapatkan sesuai dan hasil keluaran yang didapatkan sesuai.

4.1 Uji Set Point



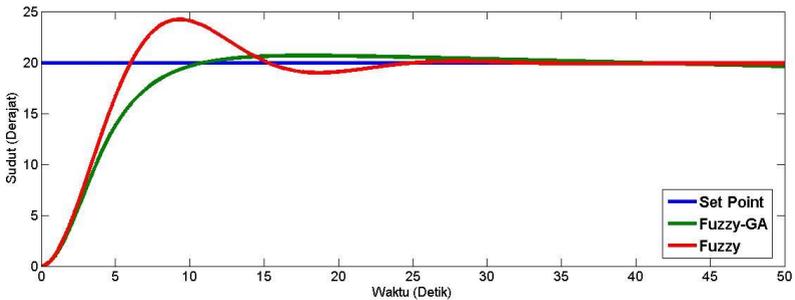
Gambar 4. 1 Pemodelan uji set point pada simulink matlab

Pada pemodelan uji set point, bertujuan untuk mengetahui respon fuzzy logic control dengan fuzzy algoritma genetika. Pemodelan dilakukan pada *simulink* matlab dengan menggunakan set point berupa sudut azimuth dan sudut altitude dengan

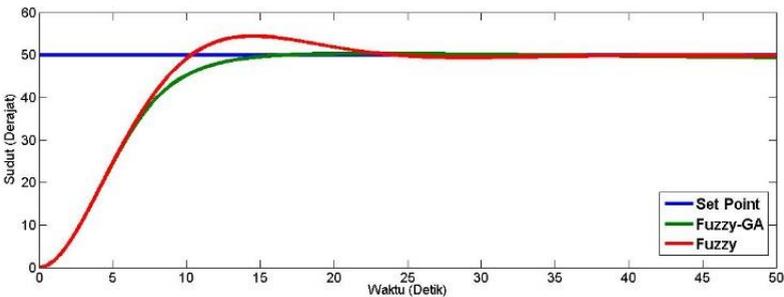
menggunakan fungsi keanggotaan 3 dan 5. Pada sudut altitude menggunakan setpoint pada sudut 20° , 50° , dan 70° . Pada sudut azimuth menggunakan setpoint pada sudut 60° , 90° , dan 270° dan menghasilkan keluaran berupa sudut pitch (pada sudut altitude) dan sudut yaw (pada sudut azimuth).

Analisa respon dilakukan terhadap sudut pitch dan sudut yaw. Pada gambar 4.1 ditunjukkan pemodelan dari uji set point yang disimulasikan pada simuliink matlab. Setelah dilakukan pemodelan uji setpoint pada simulink matlab, didapatkan hasil respon pada setiap masing-masing variasi sudut pada 3 dan 5 fungsi keanggotaan fuzzy.

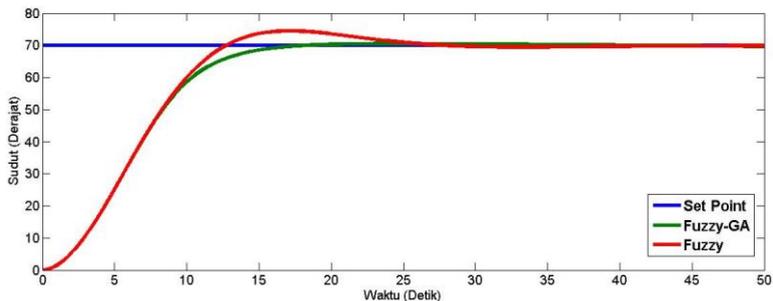
Berikut ialah gambar grafik respon altitude fungsi keanggotaan 3 pada masing-masing sudut.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. 2 Respon uji set point fuzzy fungsi keanggotaan 3 pada sudut altitude dengan sudut (a) 20° (b) 50° (c) 70°

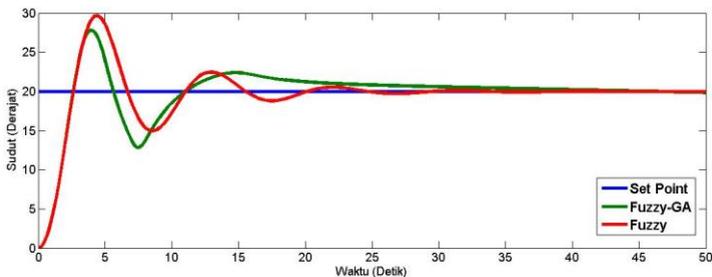
Indeks performansi respon pada Gambar 4.2 dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Tabel Indeks Performansi Respon

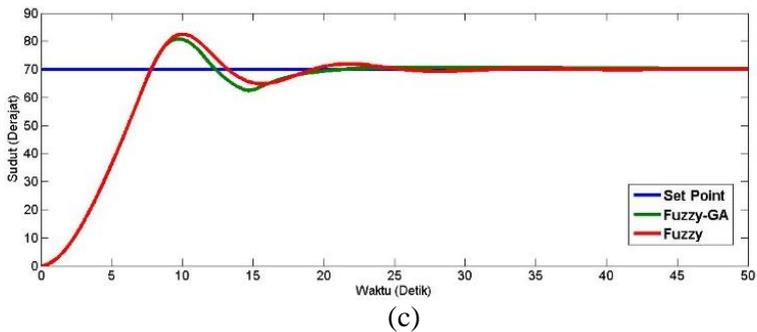
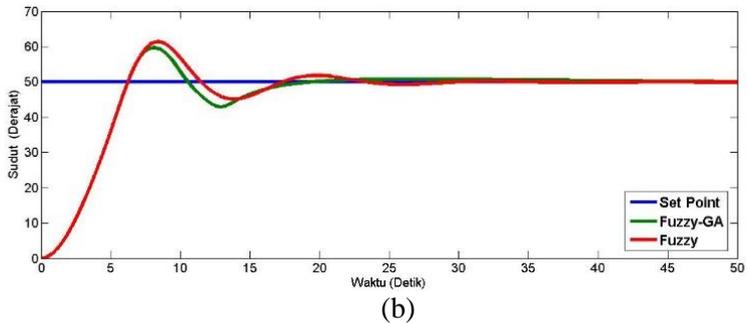
Sudut		Maksimum Overshoot	Rise Time	Settling Time	Peak Time	Error Steady State
20°	Fuzzy	21.57 %	4.08 s	22.37 s	9.33 s	2.4%
	Fuzzy-GA	5.38 %	5.94 s	39.16 s	17.81 s	0.06%
50°	Fuzzy	8.89%	6.86 s	21.89 s	14.54 s	3.2%
	Fuzzy-GA	0.60%	7.77 s	12.68 s	21.98 s	0.5%
70	Fuzzy	6.42 %	8.28 s	24.30 s	17.12 s	2.4%
	Fuzzy-GA	0.71 %	8.9 s	14.71 s	24.41 s	1.77%

Respon yang dihasilkan dari uji set point dengan fungsi keanggotaan 3 MF pada altitude-pitch dengan sudut 20° , 50° , 70° menunjukkan pada kontrol fuzzy saja terdapat *overshoot* pada setiap variansi sudut, akan tetapi pada kontrol fuzzy-GA menghasilkan respon dengan *overshoot* yang kecil cenderung *smooth*. Berdasarkan tabel indeks performansi pada tabel 4.1 dapat dilihat bahwa pada sudut 20° respon yang dihasilkan dengan menggunakan fuzzy algoritma genetika dapat menurunkan nilai maksimum *overshoot* dari respon sedangkan nilai dari *rise time*, *settling time*, dan *peak time* cenderung naik jika dibandingkan dengan fuzzy. Pada sudut 50° respon yang dihasilkan dengan menggunakan fuzzy algoritma genetika dapat menurunkan maksimum *overshoot* dan *settling time*. Sedangkan pada *rise time* dan *peak time* cenderung naik jika dibandingkan dengan hanya menggunakan fuzzy. Pada sudut 70° juga cenderung dapat menurunkan maksimum *overshoot* dan *settling time* dan pada *rise time* dan *peak time* cenderung naik. Akan tetapi jika dilihat dari besarnya penurunan yang dihasilkan oleh fuzzy algoritma genetika, maka sudut yang paling terbaik pada fungsi keanggotaan 3 ialah pada sudut 50° . Dapat dilihat dari tabel bahwa penurunan yang dihasilkan pada sudut 50° cukup signifikan jika dibandingkan dengan fuzzy. Error steady state yang dihasilkan pada kontrol fuzzy-GA juga kecil.

Gambar grafik respon fungsi keanggotaan 5 pada sudut 20° , 50° , 70° ialah sebagai berikut.



(a)



Gambar 4. 3 Respon uji set point fuzzy fungsi keanggotaan 5 pada altitude dengan sudut (a) 20° (b) 50° (c) 70°

Berdasarkan respon diatas, maka indeks performansi pada respon dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Tabel Indeks Performansi Respon

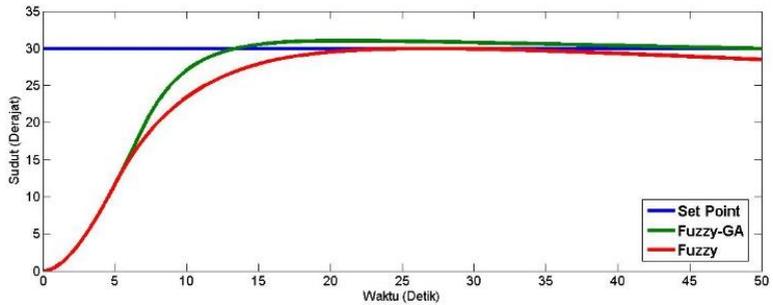
Sudut		Maksimum Overshoot	Rise Time	Settling Time	Peak Time	Error Steady State
20°	Fuzzy	48.42%	1.71 s	23.25 s	4.38 s	4.6%
	Fuzzy-GA	39.05%	1.68 s	39.05 s	3.96 s	0.08%

Sudut		Maksimum Overshoot	Rise Time	Settling Time	Peak Time	Error Steady State
50°	Fuzzy	22.85 %	4.17 s	21.89	8.38 s	1.98%
	Fuzzy-GA	19.32 %	4.16 s	17.38 s	8.09 s	1.93%
70°	Fuzzy	17.85 %	5.29 s	23.31 s	10.01 s	1.97%
	Fuzzy-GA	15.27 %	5.28 s	18.89 s	9.75 s	1.95%

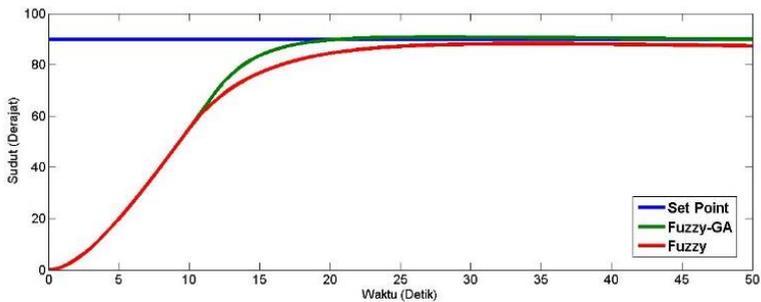
Pada uji set point altitude-pitch dengan fungsi keanggotaan 5 sudut 20°, 50°, dan 70° dapat terlihat bahwa pada kontrol fuzzy-GA overshoot yang dihasilkan menurun jika dibandingkan dengan kontrol fuzzy saja. Dengan menggunakan tabel 4.2 dapat dilihat bahwa pada sudut 20° dengan menggunakan fuzzy algoritma genetika dapat menurunkan maksimum *overshoot*, *rise time*, dan *peak time*. Pada sudut 50° dan 70° dengan menggunakan fuzzy algoritma genetika dapat menurunkan maksimum *overshoot*, *rise time*, *settling time*, dan *peak time*. Error yang dihasilkan pada sudut 20° dapat menurun jika pada fuzzy-GA akan tetapi pada sudut 50° dan 70° error yang dihasilkan pada kontrol fuzzy-GA tidak terlalu berbeda jauh dengan kontrol fuzzy.

Jika dibandingkan antara fungsi keanggotaan 3 dan 5 pada fuzzy-algoritma genetika dengan menggunakan hasil indeks performansi, dapat terlihat bahwa pada fungsi keanggotaan 3 dapat menurunkan nilai maksimum *overshoot* dan mempersingkat waktu *settling time*, dan error steady state yang dihasilkan lebih kecil jika dibandingkan dengan fungsi keanggotaan 5 dan pada fungsi keanggotaan 5 dapat mempersingkat waktu dari *rise time* dan *peak time*.

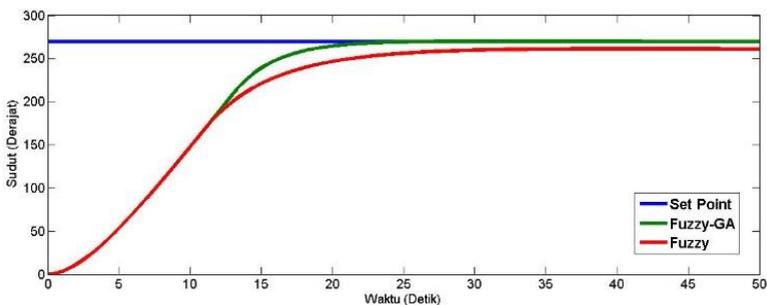
Dibawah ini ialah gambar grafik respon dengan fungsi keanggotaan 3 pada variansi sudut tertentu.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. 4 Respon uji set point fuzzy fungsi keanggotaan 3 pada azimuth dengan sudut (a) 30° (b) 90° (c) 270°

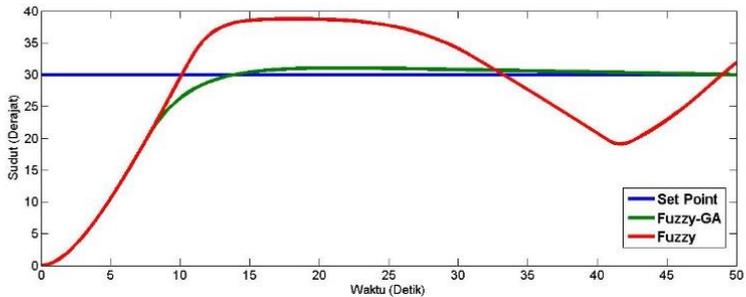
Setelah diketahui respon yang dihasilkan pada pemodelan tersebut, maka indeks performansi respon yang didapatkan ialah sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Indeks Performansi Respon

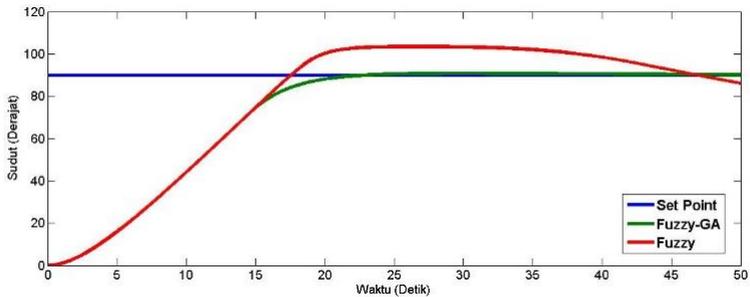
Sudut		Maksimum Overshoot	Rise Time	Settling Time	Peak Time	Error Steady State
30°	Fuzzy	0 %	11.34 s	43.27 s	26.93 s	3.18%
	Fuzzy-GA	3.43 %	7.74 s	34.38 s	20.95 s	1.8%
90°	Fuzzy	0 %	14.06 s	21.48 s	34.22 s	4.9%
	Fuzzy-GA	0.89 %	11.06 s	17.83 s	27.62 s	2.05%
270°	Fuzzy	0 %	15.63 s	24.75 s	41.43 s	5%
	Fuzzy-GA	0 %	12.12 s	20.05 s	31.89 s	2.2%

Pada gambar 4.4 dapat diketahui bahwa pada uji set point azimuth yaw pada fungsi keanggotaan 3 dengan sudut 30°, 90°, 270° menunjukkan bahwa pada kontrol fuzzy respon yang dihasilkan tidak sampai pada setpoint yang ditetapkan dan pada fuzzy-GA overshoot yang dihasilkan sangat kecil. Tabel 4.3 dapat menunjukkan pada sudut 30° dan 50° dengan menggunakan fuzzy algoritma genetika dapat menurunkan nilai maksimum *overshoot*, dan dapat mempersingkat waktu pada *rise time*, *settling time*, dan *peak time* jika dibandingkan dengan menggunakan fuzzy. Pada sudut 70° waktu pada *rise time*, *settling time*, dan *peak time* dapat lebih singkat jika dibandingkan dengan menggunakan fuzzy. Error steady state dapat menurun pada fuzzy-GA jika dibandingkan dengan menggunakan kontrol fuzzy saja.

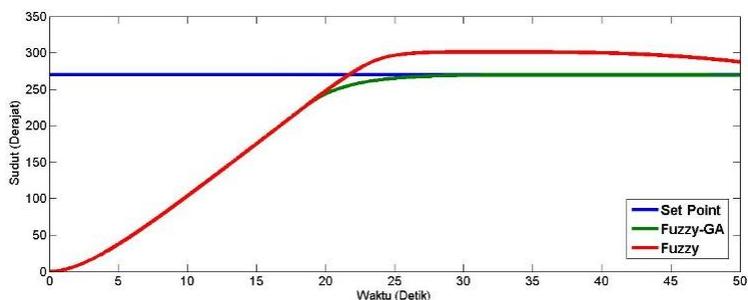
Dengan menggunakan fungsi keanggotaan 5 pada azimuth-yaw, sehingga respon yang dihasilkan ialah:



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. 5 Respon uji set point fuzzy fungsi keanggotaan 5 Pada azimuth dengan sudut (a) 30° (b) 90° (c) 270°

Berdasarkan gambar 4.5, dapat diketahui indeks performansi respon yang dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Tabel Indeks Performansi

Sudut		Maksimum Overshoot	Rise Time	Settling Time	Peak Time	Error Steady State
30°	Fuzzy	29.08 %	7.01	49.65 s	18.1 s	4.2%
	Fuzzy-GA	3.43 %	8.08 s	34.91 s	21.43 s	1.9%
90°	Fuzzy	14.92 %	12.49	48.58 s	26.58 s	2.4%
	Fuzzy-GA	0.88%	12.95 s	20.15 s	29.92 s	1.9%
270°	Fuzzy	11.57%	15.58 s	46.85 s	32.02 s	5%
	Fuzzy-GA	0 %	16.87 s	24.70 s	36.39 s	2.22%

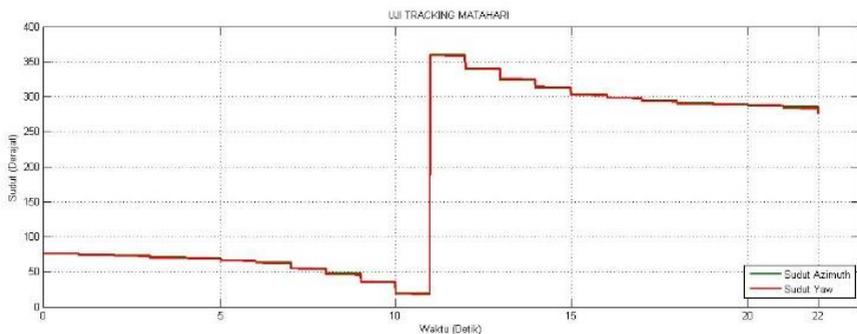
Respon yang dihasilkan pada uji set point azimuth-yaw pada fungsi keanggotaan 5 dengan sudut 30°, 50°, dan 270° menunjukkan bahwa pada sudut 30° respon yang dihasilkan fluktuatif pada $t=33s$ respon turun dibawah setpoint dan setelah itu naik menuju setpoint pada $t=41s$. Sudut 50° pada $t=47s$ respon turun dibawah setpoint sedikit. Overshoot yang dihasilkan pada kontrol fuzzy-GA dapat menurun jika dibandingkan dengan kontrol fuzzy saja. Berdasarkan tabel 4.4 dapat dilihat bahwa pada sudut 30° dan 50° dengan menggunakan fuzzy algoritma genetika maksimum *overshoot* dapat berkurang dan dapat mempersingkat waktu pada *settling time* dan pada *rise time* dan *peak time* cenderung lebih lama jika dibandingkan dengan menggunakan fuzzy. Pada sudut 270° maksimum *overshoot* dapat berkurang, dan waktu pada *rise time* dan *settling time* dapat lebih singkat dan pada

peak time cenderung waktu yang dibutuhkan lebih lama jika dibandingkan dengan menggunakan fuzzy. Error yang dihasilkan pada kontrol fuzzy-GA dapat lebih kecil jika dibandingkan dengan kontrol fuzzy saja.

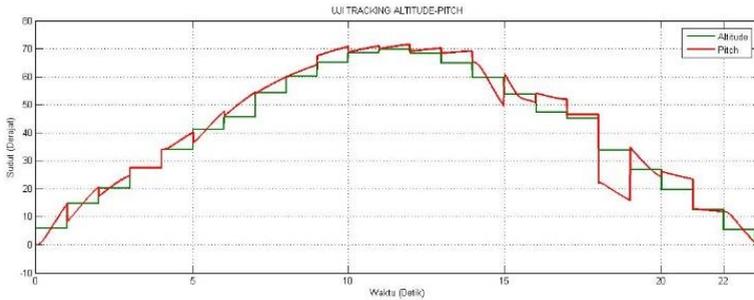
Jika dibandingkan antara fungsi keanggotaan 3 dan 5 pada sudut azimuth pada fuzzy-genetika algoritma dengan menggunakan tabel indeks performansi dapat dilihat bahwa pada fungsi keanggotaan 5 dapat lebih menurunkan maksimum *overshoot* jika dibandingkan dengan fungsi keanggotaan 3. Pada *rise time*, *settling time*, dan *peak time* dengan menggunakan fungsi keanggotaan 3 lebih dapat mempersingkat waktu daripada menggunakan fungsi keanggotaan 5.

4.2 Uji Tracking Matahari

Pada uji tracking matahari, dilakukan pengambilan data selama 11 jam (06.00-17.00), data yang digunakan sebagai masukan sistem ialah temperatur dan iradiasi. Pengambilan data dilakukan setiap 30 menit. Uji tracking matahari ini bertujuan untuk mengetahui apakah panel surya dapat mengikuti posisi matahari. Sehingga kerja dari panel surya dapat optimal, daya yang dihasilkan lebih besar, sehingga efisiensi yang dihasilkan juga lebih besar. Berikut respon hasil uji tracking sudut altitude matahari terhadap sudut pitch panel surya dan sudut azimuth matahari terhadap sudut yaw matahari.



Gambar 4. 6 Respon uji tracking altitude-pitch



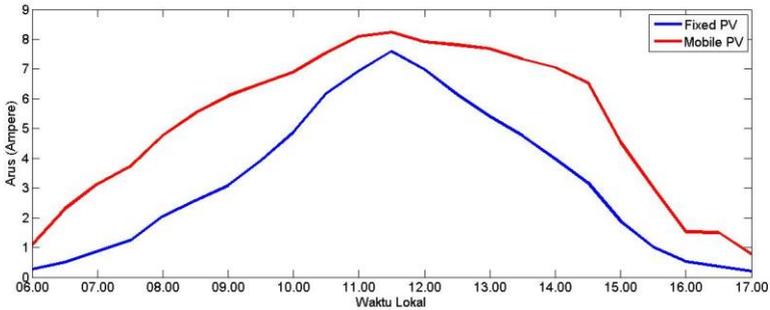
Gambar 4. 7 Respon uji tracking azimuth-yaw

Dari hasil respon yang diberikan pada gambar 4.6 dan 4.7 dapat terlihat bahwa pada pemodelan yang telah dilakukan, panel surya dapat mengikuti posisi matahari. Dapat dilihat pada respon sudut azimuth berhimpitan dengan respon sudut yaw dan pada respon altitude juga mendekati dengan respon sudut pitch. Rata-rata error yang dihasilkan pada uji tracking altitude-pitch sebesar 0.78 dan rata-rata error yang dihasilkan pada uji tracking azimuth-yaw sebesar -0.26. Kecilnya hasil error yang dihasilkan mengakibatkan respon yang dihasilkan berhimpitan. Dari hasil kedua uji tracking dapat diketahui bahwa perubahan posisi matahari dapat mengikuti *solar tracker* dengan baik dan dapat digunakan pada sistem *solar tracker*.

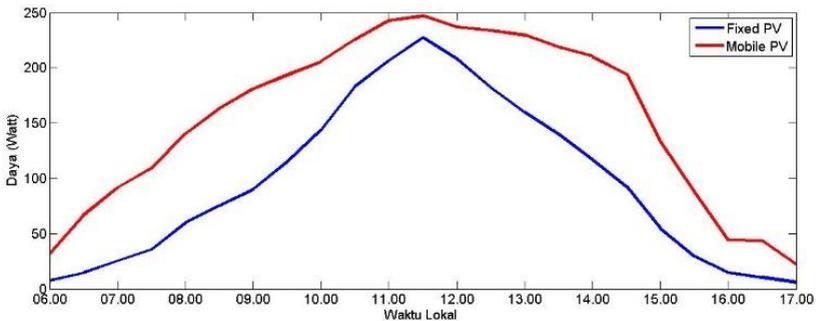
4.3 Uji Performansi Panel Surya

Uji performansi dilakukan untuk mengetahui bagaimana keluaran dari pemodelan yang telah dilakukan. Pemodelan dibuat pada *simulink* Matlab seperti pada gambar 4.8.

Didalam pemodelan dilakukan perbandingan antara panel surya *fixed* dengan panel surya yang *mobile*. Pengambilan data dilakukan selama 11 jam (06.00-17.00 WIB) dengan mengambil lokasi pengambilan data di sepanjang jalan ITS hingga Jembatan Merah.



Gambar 4. 10 Arus yang dihasilkan oleh *fixed* PV dan *mobile* PV



Gambar 4. 11 Daya yang dihasilkan pada *fixed* PV dan *mobile* PV

Pada gambar 4.9, 4.10, dan 4.11 dapat dilihat bahwa keluaran tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan pada *mobile* PV lebih besar daripada yang dihasilkan oleh *fixed* PV. Tegangan maksimum yang dihasilkan pada *fixed* PV sebesar 29.95 V sedangkan pada *mobile* PV sebesar 29.98 V. Arus maksimum yang dihasilkan oleh *fixed* PV sebesar 6.7 A sedangkan pada *mobile* PV sebesar 7.83 A. Daya maksimum yang dihasilkan pada *fixed* PV sebesar 239.74 W sedangkan pada *mobile* PV sebesar 247.53 W. Solar tracker bekerja maksimum setelah pukul 11.30 atau saat *noontime*. Terlihat dari perbedaan hasil keluaran pada *fixed* PV dan

mobile PV yang cukup besar. Pada pukul 11.30 WIB hasil dari fixed PV dan mobile PV berdekatan. Hal tersebut disebabkan oleh pada pukul 11.30 matahari tepat tegak lurus dengan bidang tanah, sehingga hasil keluaran yang dihasilkan oleh fixed PV dan mobile PV tidak terlalu jauh berbeda.

Meningkatnya hasil keluaran daya pada mobile PV mengakibatkan kenaikan pada efisiensi energi yang dihasilkan meningkat sebesar 560.72 Wh atau sebesar 45.9%.

Kenaikan yang signifikan pada hasil keluaran panel surya terutama pada kondisi siang hari menuju sore hari disebabkan oleh error yang dihasilkan dari uji tracking antara matahari dengan panel surya kecil sehingga panel surya dapat mengikuti posisi matahari sehingga panel surya dapat menangkap radiasi matahari secara maksimal.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisa data dan pembahasan mengenai sistem solar tracker berbasis solar trajectory, dapat disimpulkan bahwa:

- a. Pada motor DC parameter yang digunakan yaitu K_e sebesar 27.17 Volt.sec/rad, K_t sebesar 24.14 Nm/A, B_m sebesar 0.62 Nm.sec/rad, J_m sebesar 242.69 Nm.sec², R sebesar 9.33 Ω , L sebesar 0.009 Henry. Pada posisi matahari ialah sudut azimuth dan sudut altitude, dan pada panel surya ialah tempertur, iradiasi dan nilai spesifikasi panel surya.
- b. Kontrol fuzzy-algoritma genetika dapat diimplementasikan pada sistem solar tracker berbasis *solar trajectory* dengan hasil terbaik menggunakan fungsi keanggotaan 3 pada sudut *pitch* 50° menghasilkan keluaran panel surya yang lebih optimal dengan indeks parameter performansi yaitu *maksimum overshoot* 0.6%, *rise time* 7.77s, *settling time* 12.68s, *peak time* 21.98s, dan *error steady state* sebesar 0.5%, pada fungsi keanggotaan 3 pada sudut yaw 90° indeks parameter performansi yaitu *maksimum overshoot* 0.89%, *rise time* 11.06 s, *settling time* 17.83s, *peak time* 27.62s, dan *error steady state* sebesar 2.05%.
- c. Hasil keluaran sistem mobile pada panel surya dengan menggunakan kontrol fuzzy-algoritma genetika dapat. Energi yang dihasilkan meningkat sebesar 45.9%.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan ialah pengambilan data dilakukan pada jangka waktu yang lebih lama, sehingga data yang digunakan akan lebih bervariasi.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BPPT, Outlook Energi Indonesia 2016, Jakarta , 2016.
- [2] S. Nasional, Outlook Energi Indonesia 2015, Jakarta : Dewan Energi Nasional , 2015.
- [3] M. A. Usta, O Akyazi, and I. H. Altas, "Design and Performance of Solar Tracking System with Fuzzy Logic Controller," *IATS*, 2011.
- [4] R. Banerjee, "Solar Tracking System," *IJSRP*, vol. 5, no. 3, 2015.
- [5] Catur Hilman, Ali Musyafa, "Rancang Bangun Dual Axis PV Solar TRacker System Menggunakan Interval Type 2 Fuzzy Logic Controller," *Seminar Nasional Pascasarjana XIV-ITS*, 2014.
- [6] S. Mashohor, K. Samsudin, A. M. Noor and A. R. A. Rahman, "Evaluation of Genetic Algorithm Based Solar Tracking System for Photovoltaic Panels," *ICSET*, 2008.
- [7] I. Abadi, A. Musyafa and A. Soeprijanto, "Type-2 Fuzzy Logic Controller Based PV Passive Two-Axis Solar Tracking System," *International Review of Electrical Engineering* , vol. 10, 2015.
- [8] S. Ray, "Calculation of Sun Position and Tracking the Path of Sun for a Particular Geographical Location," *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* , vol. 2, no. 9, pp. 2250-2459, 2012.

- [9] J. S. a. K. I. Bitar Z, "Modeling and Simulation of Series DC Motors in Electric Car," *The International Conference on Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment*, vol. 50, pp. 460-470, 2014.
- [10] M. Namazov, "DC Motor Position Control Using Fuzzy Proportional-Derivative Controllers With Different Defuzzification Methods," *Turkish Journal of Fuzzy System*, vol. 1, pp. 36-54, 2010.
- [11] T. P, "Fuzzy Logic Synthesis with Genetic Algorithm," *Central Research Laboratories, Texas*.
- [12] L. M. G. B. a. Z. C. Yang S, "Optimization of Fuzzy Controller Based on Genetic Algorithm," *International Conference on Intelligent System Design and Engineering Application*, 2010.
- [13] B. Y. S. d. Sariman, "Metode Algoritma Genetika dengan Sistem Fuzzy Logic untuk Penentuan Parameter Pengendali PID," *Jurnal Rekayasa Elektrik*, vol. 10, 2012.
- [14] P. P. Gupta Saloni, "Solving Travelling Salesman Problem Using Genetic Algorithm," *ISSN: 2277 128X*, vol. 3, p. 377, 2013.

LAMPIRAN A
HASIL TRACKING POSISI MATAHARI PADA SUDUT
AZIMUTH

JAM	PENGUKURAN	SIMULASI	ERROR
6:00	75.88	76.09	0.21
6:30	74.25	74.49	0.24
7:00	73	73.27	0.27
7:30	70.89	71.23	0.34
8:00	68.49	68.88	0.39
8:30	65.24	65.68	0.44
9:00	62.51	63.02	0.51
9:30	55.04	54.18	-0.86
10:00	46.74	47.66	0.92
10:30	34.85	36.04	1.19
11:00	18.26	19.68	1.42
11:30	357.97	359.3	1.33
12:00	338.15	339.1	0.95
12:30	322.52	323.1	0.58
13:00	311.41	311.7	0.29
13:30	303.68	303.8	0.12
14:00	298.16	298.2	0.04
14:30	294.11	294	-0.11
15:00	291.05	290.9	-0.15
15:30	288.66	288.5	-0.16
16:00	286.77	286.6	-0.17
16:30	285.25	285.1	-0.15
17:00	284.03	283.8	-0.23

HASIL TRACKING POSISI MATAHARI PADA SUDUT ALTITUDE

JAM	PENGUKURAN	SIMULASI	ERROR
6:00	6.47	5.895	-0.575
6:30	15.26	14.77	-0.49
7:00	20.7	20.23	-0.47
7:30	28.03	27.58	-0.45
8:00	34.65	34.23	-0.42
8:30	41.55	41.16	-0.39
9:00	46.01	45.63	-0.38
9:30	54.49	55.74	1.25
10:00	60.28	60.04	-0.24
10:30	65.16	65.03	-0.13
11:00	68.52	68.55	0.03
11:30	69.59	69.8	0.21
12:00	68.03	68.4	0.37
12:30	64.3	64.77	0.47
13:00	59.17	59.68	0.51
13:30	53.25	53.77	0.52
14:00	46.83	47.36	0.53
14:30	40.16	40.69	0.53
15:00	33.28	33.8	0.52
15:30	26.29	26.8	0.51
16:00	19.2	19.69	0.49
16:30	12.07	12.52	0.45
17:00	4.96	5.314	0.354

HASIL PENGAMBILAN DATA MOTOR DC

TEGANGAN	RAD/M	RAD/S	RPM	I _{min}	I _{max}
2	3.35	0.055833	0.533169	0.13	0.14
3	5.25	0.0875	0.835563	0.15	0.16
4	7.85	0.130833	1.249366	0.17	0.18
5	10.1	0.168333	1.607465	0.19	0.2
6	11.9	0.198333	1.893944	0.21	0.22
7	13.74	0.229	2.186789	0.23	0.24
8	16.5	0.275	2.626057	0.25	0.26
9	18.7	0.311667	2.976197	0.27	0.28
10	21.5	0.358333	3.421831	0.28	0.29
11	23.7	0.395	3.771972	0.3	0.31
12	26.5	0.441667	4.217606	0.32	0.33

HASIL KELUARAN TEGANGAN UNTUK VALIDASI

Waktu	Data Pengukuran	Data Simulasi
6:00	28.68	28.75727296
6:30	28.77	28.78943382
7:00	28.89	28.97359094
7:30	28.967	29.02574407
8:00	29.06	29.16476242
8:30	29.13	29.24483646
9:00	29.25	29.32000003
9:30	29.41	29.47810085
10:00	29.62	29.67056981
10:30	29.67	29.79837282
11:00	29.85	29.97292415
11:30	29.91	29.99650918
12:00	29.87	29.99282133
12:30	29.82	29.942534
13:00	29.786	29.8871875
13:30	29.683	29.78567387
14:00	29.56	29.68110237
14:30	29.17	29.37534546
15:00	28.96	29.01102102
15:30	28.74	28.84320732
16:00	28.51	28.79487242
16:30	28.49	28.78668761
17:00	28.42	28.76149355

DATA KELUARAN ARUS UNTUK VALIDASI

Waktu	Data Pengukuran	Data Simulasi
6:00	0.441550716	0.38
6:30	0.666128429	0.61
7:00	1.890925692	1.724
7:30	2.341923144	2.13
8:00	3.337644148	3.164
8:30	3.876912544	3.66
9:00	4.43177744	4.23
9:30	5.50965233	5.33
10:00	6.828558704	6.67
10:30	7.74594004	7.667
11:00	8.911019347	8.633
11:30	9.161157319	8.96
12:00	9.080994204	8.813
12:30	8.722247009	8.626
13:00	8.326691681	8.15
13:30	7.547805341	7.34
14:00	6.831459154	6.446
14:30	4.754878321	4.422
15:00	2.237641577	2.019
15:30	1.097285897	0.962
16:00	0.757281415	0.545
16:30	0.638606756	0.366
17:00	0.457756498	0.256

HASIL KELUARAN TEGANGAN PADA SOLAR TRACKER

Waktu	Fixed PV	Mobile PV
6:00	28.73974	28.8699326
6:30	28.77587	29.0563535
7:00	28.83444	29.1879441
7:30	28.88949	29.27975
8:00	29.01909	29.4424718
8:30	29.1004	29.5583435
9:00	29.17944	29.6505783
9:30	29.3095	29.7142722
10:00	29.45928	29.775763
10:30	29.66045	29.8765955
11:00	29.77888	29.9613469
11:30	29.88344	29.98297
12:00	29.78736	29.9327575
12:30	29.65529	29.9166202
13:00	29.54093	29.8960232
13:30	29.43873	29.8414393
14:00	29.31868	29.7983813
14:30	29.1926	29.7175638
15:00	28.99193	29.4050097
15:30	28.857	29.1668733
16:00	28.77978	28.9358594
16:30	28.75436	28.9327955
17:00	28.73087	28.818713

HASIL KELUARAN DAYA PADA SOLAR TRACKER

Waktu	Fixed PV	Mobile PV
6:00	7.565997	31.6930139
6:30	14.25481	66.6285278
7:00	25.12455	91.5682431
7:30	35.38287	109.098707
8:00	59.65733	140.421568
8:30	75.0157	162.94978
9:00	90.01445	180.996427
9:30	114.8621	193.545639
10:00	143.7507	205.69016
10:30	182.9874	225.708358
11:00	206.3357	242.647239
11:30	227.0997	246.982263
12:00	208.0392	236.948742
12:30	182.0022	233.723854
13:00	159.648	229.608266
13:30	139.8173	218.743005
14:00	116.676	210.211652
14:30	92.54478	194.200996
15:00	54.62585	133.252912
15:30	29.3491	87.5964661
16:00	14.99774	44.0257303
16:30	10.29643	43.451334
17:00	5.953254	22.1996798

HASIL KELUARAN ARUS PADA SOLAR TRACKER

Waktu	Fixed PV	Mobile PV
6:00	0.263259	1.09778621
6:30	0.495374	2.29307947
7:00	0.871338	3.137194
7:30	1.224766	3.72608057
8:00	2.055796	4.7693539
8:30	2.577823	5.5128184
9:00	3.084858	6.10431356
9:30	3.918937	6.51355813
10:00	4.879639	6.90797277
10:30	6.169408	7.55468803
11:00	6.92893	8.09867596
11:30	7.599516	8.23741823
12:00	6.984144	7.91603454
12:30	6.137258	7.81250865
13:00	5.404297	7.68022771
13:30	4.749433	7.33017611
14:00	3.97958	7.05446549
14:30	3.170145	6.53488952
15:00	1.884174	4.53163979
15:30	1.017053	3.00328613
16:00	0.521121	1.52149379
16:30	0.358082	1.50180213
17:00	0.207208	0.77032169

DATA TEMPERATUR DAN IRADIASI PADA SOLAR TRACKER FIXED

Waktu	Iradiasi	Temperature
6:00	36.68	26.28
6:30	73.48	28.76
7:00	126.54	31.19
7:30	152.34	33.91
8:00	230.22	35.85
8:30	252.34	39.52
9:00	279.34	41.58
9:30	300.29	44.06
10:00	341.72	47.24
10:30	390.51	49.19
11:00	402.92	51.48
11:30	427.72	53.29
12:00	408.11	55.22
12:30	390.99	53.09
13:00	382.6	53.2
13:30	375.59	53.6
14:00	352.76	51.84
14:30	301.26	45.72
15:00	211.3	46.2
15:30	125.5	36
16:00	66.26	31.76
16:30	48.46	31.28
17:00	19.2	29.72

DATA TEMPERATUR DAN IRADIASI PADA SOLAR TRACKER MOBILE

Waktu	Iradiasi	Temperature
6:00	52.8	26.8
6:30	119.44	29.04
7:00	166.14	32.28
7:30	198.8	34.45
8:00	256.8	36.12
8:30	298.67	39.76
9:00	331.12	41.32
9:30	353.98	45.78
10:00	375.96	47.16
10:30	412.15	49.23
11:00	442.34	52.76
11:30	450.06	53.45
12:00	432.29	55.31
12:30	427.05	54.87
13:00	420.18	53.68
13:30	401.21	52.72
14:00	385.56	53.8
14:30	355.23	46.8
15:00	246.3	46.44
15:30	159.4	37.2
16:00	76.48	31.92
16:30	75.14	31.68
17:00	34.74	30.28

LAMPIRAN B



Gambar 1. Pengambilan Data *Mobile* Panel Surya



Gambar 2. Pengambilan Data Motor DC

BIODATA PENULIS



Nama penulis yaitu Kiki Putri Sisviana. Penulis lahir di Sidoarjo, 7 Agustus 1996. Pernah menempuh pendidikan di SDN Pacar Keling VIII Surabaya, SMPN 1 Sidoarjo, SMA Muhammadiyah 2 Sidoarjo, dan sekarang di Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Bidang minat yang menjadi fokus penulis ialah Bidang Rekayasa Instrumentasi.

Pada bulan Juli 2018 penulis telah menyelesaikan tugas akhir yang berjudul Aplikasi Kontrol Genetic Algoritma Modified Fuzzy pada Penjejak Matahari 2 Sumbu berbasis Solar Trajectory. Penulis merasa masih memiliki banyak ketidaksempurnaan dan kurangnya pengetahuan dalam penyusunan tugas akhir ini, sehingga penulis terbuka akan kritik dan saran dari pembaca. Bagi pembaca yang ingin berdiskusi dapat menghubungi melalui *email*: kikiputsis@gmail.com.

