



TUGAS AKHIR - TF 141581

**ESTIMASI PAPARAN RADIASI MATAHARI
PERJAM PADA PERMUKAAN HORIZONTAL
MENGGUNAKAN METODE GAMF (*GENETIC
ALGORITHM MODIFIED FUZZY*) (STUDI
KASUS DI SURABAYA)**

SARTIKA ARIE KUSUMAWARNI
NRP. 0231 14 4000 0024

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

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

“Halaman ini memang dikosongkan”



FINAL PROJECT - TF 141581

***ESTIMATION OF HOURLY SOLAR RADIATION
ON HORIZONTAL SURFACE USING GAMF
(GENETIC ALGORITHM MODIFIED FUZZY)
(CASE STUDY IN SURABAYA)***

**SARTIKA ARIE KUSUMAWARNI
NRP. 0231 14 4000 0024**

*Supervisor :
Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.*

**ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**

“Halaman ini memang dikosongkan”

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Sartika Arie Kusumawarni
NRP : 02311440000024
Departemen/ Prodi : Teknik Fisika/ S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Estimasi Paparan Radiasi Matahari Perjam pada Permukaan Horizontal menggunakan Metode GAMF (*Genetic Algorithm Modified Fuzzy*) (Studi Kasus di Surabaya) ” adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 12 Juli 2018
Yang membuat pernyataan,

Sartika Arie Kusumawarni
NRP. 02311440000024

“Halaman ini memang dikosongkan”

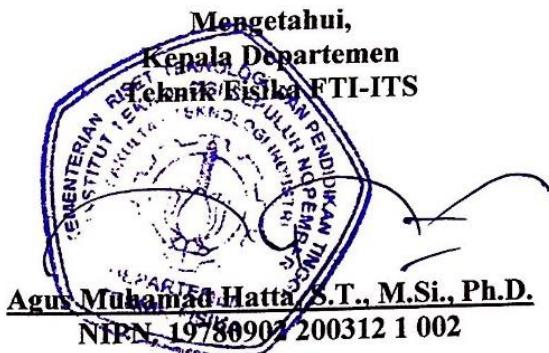
LEMBAR PENGESAHAN I TUGAS AKHIR

ESTIMASI PAPARAN RADIASI MATAHARI PERJAM
PADA PERMUKAAN HORIZONTAL MENGGUNAKAN
METODE GAMF (*GENETIC ALGORITHM MODIFIED
FUZZY*) (STUDI KASUS DI SURABAYA)

Oleh:
Sartika Arie Kusumawarni
NRP. 0231 14 4000 0024

Surabaya, 12 Juli 2018
Menyetujui,
Dosen Pembimbing

Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.
NIPN. 19760523 200012 2 001



“Halaman ini memang dikosongkan”

***ESTIMASI PAPARAN RADIASI MATAHARI
PERJAM PADA PERMUKAAN HORIZONTAL
MENGGUNAKAN METODE GAMF (GENETIC
ALGORITHM MODIFIED FUZZY) (STUDI KASUS
DI SURABAYA)***

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

SARTIKA ARIE KUSUMAWARNI
NRP. 0231 14 4000 0024

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr.Imam Abadi, S.T, M.T
2. Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc
3. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes

 (Pembimbing)
 (Penguji I)
 (Penguji II)

SURABAYA

2018

“Halaman ini memang dikosongkan”

***ESTIMASI PAPARAN RADIASI MATAHARI PERJAM
PADA PERMUKAAN HORIZONTAL MENGGUNAKAN
METODE GAMF (GENETIC ALGORITHM MODIFIED
FUZZY) (STUDI KASUS DI SURABAYA)***

Nama : Sartika Arie Kusumawarni
NRP : 0231 14 4000 0024
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.

ABSTRAK

Sumber energi baru dan terbarukan (EBT) yang ketersediaannya berlimpah di Indonesia adalah energi matahari. Kapasitas terpasang sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) terhitung pada tahun 2017 masih sangat jauh dari target yang dicanangkan. Dalam hal ini, radiasi matahari sangat berpengaruh terhadap performansi yang dihasilkan oleh suatu sel surya. Estimasi radiasi matahari sangat dibutuhkan dalam mendesain sel surya sehingga masukan yang diperoleh dapat lebih maksimal. Penelitian sebelumnya mengenai estimasi radiasi matahari telah dilakukan yaitu dengan metode estimasi *Extreme Learning Machine* (ELM) dan *Adaptive Neuro Fuzzy* (ANFIS). Pada penelitian ini dilakukan estimasi radiasi matahari dengan menggunakan metode *genetic algorithm modified fuzzy* (GAMF). Data meteorologi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu temperatur, kelembapan, kecepatan angin, dan arah angin sebagai data masukan dari metode GAMF. Pada penelitian ini terdapat 2 jenis data yaitu data BMKG dan juga data hasil pengukuran. Dilakukan 3 jenis percobaan variasi input untuk masing-masing data. Untuk data BMKG hasil estimasi terbaik diperoleh saat menggunakan variasi *input* kelembapan, temperatur dan kecepatan angin dengan RMSE dan MAE sebesar 145,19 dan 72. Sedangkan untuk data hasil pengukuran hasil estimasi terbaik diperoleh saat menerapkan kelembapan, temperatur, kecepatan angin dan arah angin sebagai variasi *input* dengan nilai RMSE dan MAE sebesar 1,44 dan 0,65.

Kata kunci : radiasi matahari, estimasi, fuzzy, GAMF, ANFIS

“Halaman ini memang dikosongkan”

**ESTIMATION OF HOURLY SOLAR RADIATION ON
HORIZONTAL SURFACE USING GAMF (GENETIC
ALGORITHM MODIFIED FUZZY) (CASE STUDY IN
SURABAYA)**

Name : Sartika Arie Kusumawarni
NRP : 0231 14 4000 0024
Department : Teknik Fisika FTI-ITS
Supervisor : Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.

ABSTRACT

The biggest renewable energy sources in Indonesia is solar energy. The installed capacity of Solar Power System in 2017 is still very far from the target. Solar radiation is very influential on the photovoltaic performance in generating energy. The need for solar radiation estimation has become important in the design of photovoltaic system. Previous research Has been done using Extreme Learning Machine (ELM) and Adaptive Neuro Fuzzy (ANFIS) methods. In this research, Genetic Algorithm Modified Fuzzy (GAMF) method used to estimate the solar radiation. Metheorogical datas used in this research are temperature, humidity, wind velocity and wind direction. There are 2 types of datas that are BMKG data and measurement data. Three experimental variations of input variation were performed for each data. For BMKG data the best estimation result is obtained when using humidity, temperature and wind velocity as variation inputs with RMSE and MAE of 145,19 and 72. While for the best result estimation result data obtained when applying humidity, temperature, wind speed and wind direction as variation inputs with values of RMSE and MAE were 1.44 and 0.65.

Keywords : estimation, solar radiation, fuzzy, GAMF

“Halaman ini memang dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya, serta shalawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW, hingga terselesaikannya tugas akhir beserta laporan tugas akhir yang berjudul “**ESTIMASI PAPARAN RADIASI MATAHARI PERJAM PADA PERMUKAAN HORIZONTAL MENGGUNAKAN METODE GAMF (GENETIC ALGORITHM MODIFIED FUZZY) (STUDI KASUS DI SURABAYA)**”.

Penulisan laporan tugas akhir ini telah dibantu dan didukung oleh berbagai pihak. Oleh karena itu, diucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Fisika yang telah memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan selama menempuh pendidikan di Teknik Fisika.
2. Bapak Dr. Imam Abadi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah dengan sabar memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan yang sangat bermanfaat.
3. Bapak Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D. selaku Kepala Laboratorium Rekayasa Instrumen yang telah memberikan ilmu, petunjuk, nasihat, serta kemudahan perizinan.
4. Bapak Ir. Sarwono, M.M., selaku dosen wali yang telah membimbing penulis selama perkuliahan.
5. Kedua orang tua (Bapak Abdul Jalal dan Ibu Sri Murdiati) dan adik (Tyas Arie Muktiningrum). Terimakasih atas segala cinta, kasih sayang, doa, perhatian, serta dukungan moril dan materiil yang telah diberikan.
6. Sahabat-sahabat Almira, Dhea, Arofah, Roro, Herna, Putri, Kiki, Luthviyah, Luthfa, Rani dan Anna yang senantiasa memberi motivasi dan bantuannya untuk penulis.
7. Seluruh teman tugas akhir yang seperjuangan, terima kasih untuk semuanya.
8. Seluruh teman – teman Departemen Teknik Fisika angkatan 2014, terima kasih untuk semuanya.

9. Seluruh dosen, karyawan dan civitas akademik Teknik Fisika, terimakasih atas segala bantuan dan kerjasamanya.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuannya.

Penulisan laporan tugas akhir ini disadari masih jauh dari kata sempurna, namun diharapkan laporan ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Fisika khususnya, dan civitas akademik ITS pada umumnya. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat sebagai referensi penggerjaan laporan tugas akhir bagi mahasiswa yang lain.

Surabaya, 12 Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
TITLE OF PAGE	ii
LEMBAR PENGESAHAN I.....	vii
LEMBAR PENGESAHAN II.....	ix
ABSTRAK.....	xi
ABSTRACT	xiii
KATA PENGANTAR.....	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
DAFTAR NOTASI.....	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Radiasi Matahari	5
2.2 Metode Logika Fuzzy	7
2.3 Algoritma Genetika.....	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	17
3.1 Diagram Alir Penelitian	17
3.2 Studi Literatur	18
3.3 Pengambilan Data	18
3.4 Perancangan Model Fuzzy Sugeno	24
3.5 Perancangan Model GAMF (<i>Genetic Algorithm Modified Fuzzy</i>).....	29
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Analisis Data.....	31
4.1 Analisis Percobaan.....	32
BAB V PENUTUP	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	53

LAMPIRAN	55
BIODATA PENULIS	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Komponen Radiasi Matahari	5
Gambar 2.2. Pemetaan input-output	7
Gambar 2.3. Skema Dasar Fuzzy Logic	8
Gambar 2.4. Representasi Linier Naik.....	9
Gambar 2.5. Representasi Linier Turun.....	9
Gambar 2.6. Representasi Kurva Segitiga	10
Gambar 2.7. Representasi Kurva Trapesium	10
Gambar 2.8. Representasi Kurva Generalized Bell	11
Gambar 2.9. Representasi Kurva Gaussian.....	12
Gambar 2.10. Diagram Alir Genetic Algorithm	14
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	17
Gambar 3.2. Phranometer	21
Gambar 3.3. RH meter	21
Gambar 3.4. Anemometer.....	23
Gambar 3.5. Diagram Alir Metode Fuzzy Sugeno	25
Gambar 3.6. Membership Functions.....	27
Gambar 3.7. Kurva Gauss untuk Variabel Input (a) Arah Angin (b) Kecepatan Angin (c)Temperatur (d) Kelembapan.....	27
Gambar 3.8. Rule Based	28
Gambar 3.9. Diagram Alir Metode Genetic Algorithm	30
Gambar 4.1. Hasil Prediksi Fuzzy (data training BMKG).....	34
Gambar 4.2. Hasil Prediksi GAMF (data training BMKG).....	35
Gambar 4.3. Hasil Prediksi Fuzzy (data testing BMKG)	37
Gambar 4.4. Hasil Prediksi GAMF (data testing BMKG) (a) P1 (b) P2 (c) P3	39
Gambar 4.5. Hasil Prediksi Fuzzy (data training Pengukuran)..	43
Gambar 4.6. Hasil Prediksi GAMF (data training Pengukuran)	44
Gambar 4.7. Hasil Prediksi Fuzzy (data testing Pengukuran) ...	46
Gambar 4.8. Hasil Prediksi GAMF (data testing Pengukuran)..	48

“Halaman ini memang dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Contoh Data Sekunder (BMKG)	19
Tabel 3.2. Informasi Pengambilan Data Primer (real).....	19
Tabel 3.3. Spesifikasi Phyranometer	20
Tabel 3.4. Spesifikasi RHmeter	22
Tabel 3.5. Spesifikasi Anemometer	23
Tabel 3.6. Contoh Data Primer (Data Hasil Pengukuran)	24
Tabel 3.7. Skema Percobaan Variasi Input.....	26
Tabel 4.1. Karakteristik Data Sekunder (BMKG)	31
Tabel 4.2. Karakteristik Data Primer (Data Hasil Pengukuran) .	32
Tabel 4.3. Skenario Percobaan Variasi Input Data Sekunder....	33
Tabel 4.4. Analisis RMSE dan MAE data training BMKG.....	36
Tabel 4.5. Analisis RMSE dan MAE Data testing BMKG.....	39
Tabel 4.6. Hasil Estimasi P1, P2 dan P3 Data BMKG	40
Tabel 4.7. Skenario Percobaan Variasi Input Data Hasil Pengukuran.....	42
Tabel 4.8. Analisis RMSE dan MAE Data training Pengukuran	45
Tabel 4.9. Analisis RMSE dan MAE Data testing Pengukuran .	49

“Halaman ini memang dikosongkan”

DAFTAR NOTASI

$\mu[x]$	= fungsi keanggotaan representasi linier naik/turun/ segitiga
A	= batas bawah fungsi keanggotaan
B	= batas atas fungsi kenaggotaan
T	= fungsi keanggotaan trapesium
a	= batas fungsi keanggotaan kurva trapesium
b	= batas fungsi keanggotaan kurva trapesium
c	= batas fungsi keanggotaan kurva trapesium
d	= batas fungsi keanggotaan kurva trapesium
bell	= fungsi keanggotaan <i>generalized bell</i>
G	= fungsi keanggotaan gaussian
Ai	= himpunan fuzzy ke-1
k	= konstanta (<i>crisp</i>)
Pi	= konstanta ke-i
q	= konstanta konsekuen
RMSE	= <i>Root Mean Square Error</i>
MAE	= <i>Mean Absolute Error</i>
N	= jumlah data
y_t	= radiasi matahari aktual (Watt/m ²)
t_τ	= radiasi matahari prediksi (Watt/m ²)

“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Posisi Indonesia yang terletak pada garis khatulistiwa menyebabkan Indonesia sebagai negara yang memiliki energi matahari yang melimpah, dimana rata-rata intensitas radiasi matahari berkisar $4,8 \text{ kWh/m}^2$ perhari di seluruh bagian di Indonesia. [1] Data yang dirilis oleh kementerian ESDM menyebutkan bahwa kapasitas terpasang sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 2017 adalah 80 MW dari target pemerintah sebesar 5.000 MW pada tahun 2019 dan sebesar 6.400 MW pada tahun 2025. [2] Berdasarkan data tersebut, kapasitas terpasang saat ini sangatlah jauh dari target yang direncanakan untuk tahun 2019 dan 2025, padahal potensi untuk pengembangan PLTS di Indonesia sendiri sangatlah besar.

Tidak optimalnya energi yang dihasilkan oleh suatu PLTS dapat disebabkan oleh berbagai faktor. Salah satunya yaitu penempatan *Photovoltaic* yang digunakan untuk konversi energi. Untuk mendapatkan keluaran listrik yang optimal *Photovoltaic* perlu diletakkan sedemikian rupa sehingga memperoleh radiasi matahari yang maksimal. Pada umumnya *Photovoltaic* diletakkan pada posisi permanen tanpa perubahan, sehingga akan mendapat radiasi matahari maksimum hanya saat matahari berada tegak lurus pada bidang tersebut. Saat matahari dan bidang *Photovoltaic* membentuk sudut θ , terjadi penurunan radiasi matahari. Untuk mengetahui besarnya radiasi matahari yang diterima oleh *Photovoltaic* diperlukan sebuah alat ukur radiasi matahari atau yang secara umum digunakan yaitu *pyranometer*. Penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan estimator radiasi matahari dengan biaya yang lebih efisien dibanding dengan alat sebelumnya. Pemodelan radiasi matahari yang diterima di permukaan bumi khususnya di wilayah Surabaya, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan estimator yang sesuai dengan kondisi di Surabaya.

Sebelumnya telah dilakukan penelitian mengenai estimator radiasi matahari dengan berbagai metode yang dimuat dalam penelitian [3] [4] [5]. Pada penelitian [3] dilakukan pemodelan untuk radiasi matahari perjamnya dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan *feedforward backpropagation*. Pada penelitian tersebut didapatkan akurasi yang mencapai 93,09% dari estimasi radiasi matahari perjamnya. Hal tersebut menunjukkan akurasi yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan pemodelan matematis. Sedangkan pada penelitian [4] dilakukan penelitian mengenai estimasi radiasi matahari perjam dengan metode ELM (*Extreme Learning Machine*), dalam penelitian tersebut didapatkan dari kedua metode yang digunakan yaitu untuk metode feedforward backpropagation memiliki nilai MSE (*Mean Square Error*) sebesar 0,3378 dan metode ELM didapatkan MSE sebesar 5,88E-14. Selain itu, untuk kecepatan pembelajaran (*learning speed*) pada proses pengujian (*testing*) untuk metode *feedforward backpropagation* memiliki durasi learning speed sebesar 0,2171 detik dan untuk metode ELM memiliki durasi *learning speed* sebesar 0,0156 detik dari estimasi radiasi matahari. Hal tersebut menunjukkan bahwasannya metode ELM lebih baik dalam hal akurasi dan *learning speed* dibandingkan dengan menggunakan metode feedforward backpropagation. Penelitian selanjutnya yaitu penelitian [5] melakukan estimasi radiasi matahari dengan metode ANFIS (*adaptive Neuro Fuzzy*), pada penilitian ini didapatkan hasil perbandingan antara estimasi dengan menggunakan metode ELM dan ANFIS, ANFIS memiliki RMSE dan MAE yang lebih kecil dibandingkan dengan ELM. Nilai RMSE terkecil yaitu sebesar 0,87 dan MAE terkecil sebesar 0,22. Hal ini menunjukkan pada kasus ini metode ANFIS memiliki kemampuan mengestimasi lebih baik dibandingkan dengan menggunakan ELM.

Pada penelitian selanjutnya akan dikembangkan metode baru dalam memnentukan estimasi radiasi matahari perjam pada permukaan horisontal (studi kasus di Surabaya) yaitu dengan metode GAMF (*Genetic Algorithm Modified Fuzzy*).

1.2 Rumusan Masalah

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

- a. Bagaimana menentukan parameter estimasi radiasi matahari perjam dengan beberapa variasi input?
- b. Bagaimana menentukan parameter GAMF pada proses estimasi radiasi matahari?
- c. Bagaimana menentukan akurasi hasil estimasi radiasi matahari menggunakan metode GAMF?

1.3 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian Penelitian ini antara lain:

- a. Melakukan estimasi radiasi matahari perjam dengan menggunakan beberapa variabel input
- b. Merancang metode GAMF yang diaplikasikan pada estimasi radiasi matahari perjam pada permukaan horizontal.
- c. Mendapatkan performa estimasi terbaik untuk GAMF.

1.4 Batasan Masalah

Dalam proses mengestimasi radiasi matahari perjam pada permukaan horizontal dengan metode *Genetic Algorithm Modified Fuzzy*, perlu adanya batasan masalah agar permasalahan yang diterangkan pada subbab tidak meluas, antara lain:

- a. Data yang diambil merupakan data sekunder yang didapat dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Perak II Surabaya.
- b. Pengambilan data BMKG dilakukan selama 3 tahun mulai dari bulan Januari 2015 sampai dengan bulan Desember 2017 pada pukul 06.00 hingga 17.00.
- c. Variabel input yang digunakan yaitu temperatur udara ($^{\circ}\text{C}$), kelembapan relatif (%), arah angin ($^{\circ}$), dan kecepatan angin (m/s).
- d. Variabel output yang digunakan yaitu intensitas radiasi matahari perjam (W/m^2).

“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB II

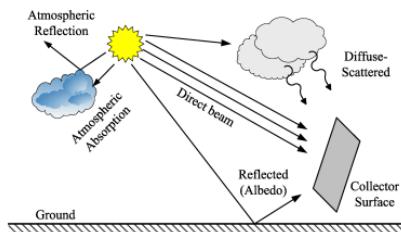
DASAR TEORI

2.1 Radiasi Matahari

Radiasi yang diemisikan oleh matahari dan ruang angkasa yang berhubungan dengannya ke bumi menghasilkan intensitas radiasi matahari yang hampir konstan di luar atmosfer bumi. Konstanta matahari (G_{sc}) adalah energi dari matahari per unit waktu yang diterima pada satu unit luasan permukaan yang tegak lurus arah radiasi matahari pada jarak rata-rata matahari-bumi di luar atmosfer. *World Radiation Center* (WRC) mengambil nilai konstanta matahari (G_{sc}) sebesar 1367 W/m^2 dengan ketidakpastian sebesar 1% [6].

Selain itu, ada juga yang disebut dengan konstanta radiasi ekstraterestrial (G_{on}) yaitu radiasi di luar atmosfer bumi yang diukur pada bidang normal terhadap radiasi pada hari ke-n pada satu tahun, hal ini dikarenakan orbit bumi sebenarnya berbentuk ellips sehingga perlu sedikit koreksi terhadap konstanta matahari di atas. Jadi sebenarnya ada dua penyebab adanya variasi radiasi ekstraterestrial yaitu variasi radiasi yang diemisikan matahari dan variasi jarak matahari-bumi [6].

Radiasi matahari adalah jumlah energi yang diterima oleh permukaan bumi per satuan waktu, per satuan luas. Radiasi matahari pada umumnya direpresentasikan dalam satuan kW/m^2 . Radiasi matahari sampai ke permukaan bumi melalui tiga cara diantaranya langsung (pancaran), terhambur, ataupun berasal dari pantulan permukaan lain. [7]



Gambar 2.1 Komponen Radiasi Matahari [7]

Atmosfer bumi mengurangi insolation yang melewati pemantulan, penyerapan (oleh ozon, uap air, oksigen, dan karbon dioksida), serta penyebaran (disebabkan oleh molekul udara, partikel debu atau polusi). Di cuaca yang bagus pada siang hari, pancaran bisa mencapai 1000 W/m^2 di permukaan bumi. Insolation terbesar terjadi pada sebagian hari-hari yang berawan dan cerah. Sebagai hasil dari pancaran matahari yang memantul melewati awan, maka insolation dapat mencapai hingga 1400 W/m^2 untuk jangka pendek. [8]

2.1.1 Radiasi Matahari pada Permukaan Bumi

Ada tiga macam cara radiasi matahari sampai ke permukaan bumi, yaitu [8]:

- a. Radiasi langsung (*Beam/Direct Radiation*)

Adalah radiasi yang mencapai bumi tanpa perubahan arah atau radiasi yang diterima oleh bumi dalam arah sejajar sinar datang.

- b. Radiasi hambur (*Diffuse Radiation*)

Adalah radiasi yang mengalami perubahan akibat pemantulan dan penghamburan.

- c. Radiasi total (*Global Radiation*)

Adalah penjumlahan radiasi langsung (*direct radiation*) dan radiasi hambur (*diffuse radiation*).

Energi matahari yang ditransmisikan mempunyai panjang gelombang dengan range 0,25 mikrometer sampai 3 mikrometer (untuk di luar atmosfer bumi atau extraterrestrial), sedangkan untuk di atmosfer bumi berkisar antara 0,32 mikrometer sampai 2,53 mikrometer. Hanya 7% energi tersebut terdiri dari ultraviolet (AM 0), 47% adalah cahaya tampak (cahaya tampak memiliki panjang gelombang 0,4 mikrometer sampai 0,75 mikrometer), 46% merupakan cahaya inframerah [8].

Radiasi yang dipancarkan oleh matahari ke setiap sudut di angkasa berbentuk gelombang elektromagnetik yang membawa energi dengan kecepatan cahaya. Radiasi matahari ini mengalami penyerapan, pemantulan, dan hamburan di semua lokasi penalarannya yang memasuki atmosfer bumi. Hal tersebut

ditimbulkan oleh adanya banyak aktifitas seperti cuaca dan iklim. Selain radiasi matahari yang sampai ke permukaan berbeda di setiap tempat disebabkan oleh geometri bumi, jaraknya terhadap matahari, keadaan geografis, perbedaan lintang, dan bujur, dan komposisi atmosfer [9].

Beberapa hal dapat mempengaruhi pengurangan intensitas *irradiance* pada atmosfer bumi [10]. Pengaruh tersebut dapat berupa:

- Pengurangan intensitas karena refleksi (pemantulan) oleh atmosfer bumi.
- Pengurangan intensitas oleh karena penyerapan zat-zat di dalam atmosfer (terutama oleh O₃, H₂O, O₂, dan CO₂)
- Pengurangan intensitas oleh karena *Rayleigh scattering*.
- Pengurangan intensitas oleh karena *Mie scattering*.

2.2 Metode Logika Fuzzy

Logika fuzzy merupakan salah satu pembentuk soft computing. Logika fuzzy pertama kali diperkenalkan oleh Prof. Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965. Dasar logika fuzzy adalah teori himpunan fuzzy. Pada teori himpunan fuzzy, peranan derajat keanggotaan sebagai penentu keberadaan elemen dalam suatu himpunan sangatlah penting [11]. Pada logika fuzzy dikenal istilah nilai keanggotaan atau derajat keanggotaan atau *membership function*.

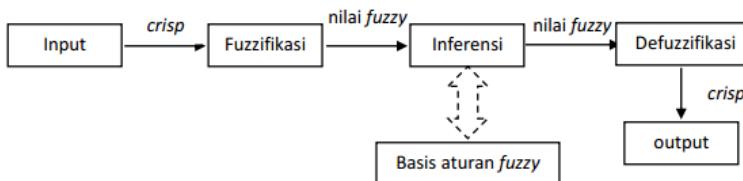
Metode Fuzzy disebut juga dengan metode black box atau kotak hitam. Logika Fuzzy adalah suatu cara untuk memetakan suatu input ke dalam output. Gambar dibawah ini menggambarkan proses dari logika Fuzzy :



Gambar 2.2. Pemetaan input-output [12]

Logika fuzzy memiliki derajat keanggotaan dalam rentang 0 hingga 1. Berbeda dengan logika digital yang hanya memiliki dua nilai 1 atau 0. Logika fuzzy digunakan untuk menerjemahkan suatu

besaran yang diekspresikan menggunakan bahasa (linguistic), misalkan besaran kecepatan laju kendaraan yang diekspresikan dengan pelan, agak cepat, cepat, dan sangat cepat. Dan logika fuzzy menunjukkan sejauh mana suatu nilai itu benar dan sejauh mana suatu nilai itu salah. Logika fuzzy adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input kedalam suatu ruang output [11]. Skema dasar dari fuzzy logic dapat dilihat pada Gambar dibawah



Gambar 2.3. Skema Dasar Fuzzy Logic [12]

Berikut adalah beberapa pengertian dari Gambar diatas :

- Input fuzzy berupa bilangan *crisp* (tegas) yang dinyatakan dalam himpunan input.
- Fuzzifikasi merupakan proses untuk mengubah bilangan *crisp* menjadi nilai keanggotaan dalam himpunan fuzzy.
- *Fuzzy inference system* merupakan bagian pengambilan kesimpulan (*reasoning*) dan keputusan.
- *Knowledge base* berisi aturan-aturan yang biasanya dinyatakan dengan perintah IF.... THEN....
- *Defuzzification* merupakan proses untuk merubah nilai output fuzzy menjadi nilai crisp.

2.2.1 Representasi Logika Fuzzy

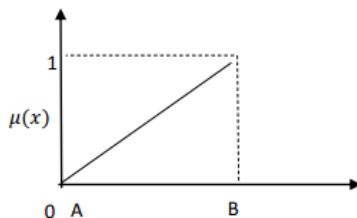
Dan dalam logika fuzzy dikenal juga fungsi keanggotaan (*membership function*), yaitu suatu kurva yang menunjukkan pemetaan antara titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya (derajat keanggotaan).

Dalam mendapatkan nilai keanggotaan salah satu caranya bisa menggunakan pendekatan fungsi [12]. Adapun jenis representasi logika fuzzy adalah sebagai berikut:

a. Representasi Linier

Pemetaan representasi berbentuk garis lurus dan ini termasuk bentuk paling sederhana. Representasi linier terbagi menjadi dua, yakni representasi linear naik dan representasi linear turun

Representasi linier naik memiliki titik yang dimulai dari $[0,0]$ yang kemudian naik kearah kanan ke nilai keanggotaan yang tertinggi.

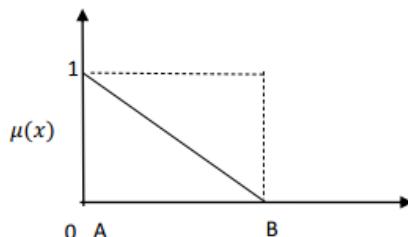


Gambar 2.4. Representasi Linier Naik [12]

Fungsi keanggotaan representasi linier naik:

$$\mu[x] = \begin{cases} \frac{(x - A)}{(B - A)}, & A \leq x \leq B \\ 0, & x \geq B \end{cases} \quad (2.1)$$

Sedangkan representasi linier turun, memiliki titik yang dimulai dari derajat keanggotaan tertinggi kemudian bergerak ke titik derajat keanggotaan terendah. Berikut grafik representasi linier turun :



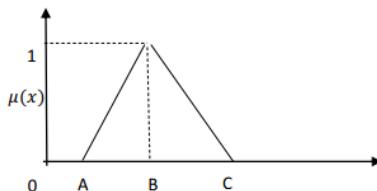
Gambar 2.5. Representasi Linier Turun [12]

Fungsi keanggotaan representasi linier turun :

$$\mu[x] = \begin{cases} \frac{(B-x)}{(B-A)}, & A \leq x \leq B \\ 0, & x \geq B \end{cases} \quad (2.2)$$

b. Representasi kurva segitiga

Representasi kurva segitiga pada dasarnya terdiri atas representasi linier naik dan representasi linier turun. Representasi ini baik digunakan untuk suatu data yang pasti [8] Berikut gambar dari representasi kurva segitiga :



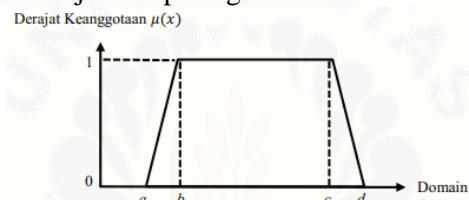
Gambar 2.6. Representasi Kurva Segitiga [12]

Fungsi keanggotaan dari kurva segitiga:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0, & x \leq A \text{ atau } x \geq C \\ \frac{(x-A)}{(B-A)}, & A \leq x \leq B \\ \frac{(C-x)}{(C-B)}, & B \leq x \leq C \end{cases} \quad (2.3)$$

c. Representasi kurva trapesium

Kurva trapesium adalah representasi kurva yang berbentuk trapesium. Kurva trapesium memiliki beberapa titik yang memiliki derajat keanggotaan bernilai 1. Representasi kurva trapesium ditunjukkan pada gambar 2.7



Gambar 2.7. Representasi Kurva Trapesium [12]

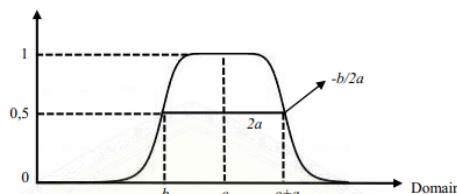
Fungsi keanggotaan trapesium dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$T(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0; & x < a \\ (x-a)/(b-a); & a \leq x \leq b \\ 1; & b < x \leq c \\ (d-x)/(d-c); & c < x \leq d \\ 0; & x > d \end{cases} \quad (2.4)$$

- d. Representasi kurva generalized bell

Kurva *generalized bell* adalah representasi kurva dengan bentuk menyerupai lonceng. Kurva generalized bell menggunakan c untuk menunjukkan nilai domain pada pusat kurva dan a untuk menunjukkan setengah lebar kurva. Representasi kurva generalized bell ditunjukkan pada Gambar 2.8.

Derajat Keanggotaan $\mu(x)$



Gambar 2.8. Representasi Kurva Generalized Bell

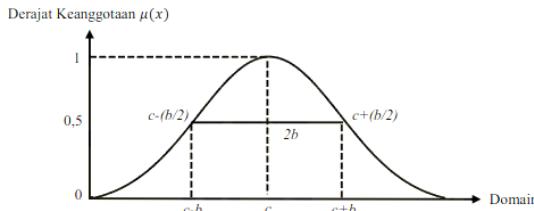
Fungsi keanggotaan generalized bell dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\text{bell}(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (2.5)$$

- e. Representasi kurva gaussian

Pada kurva gaussian, c digunakan untuk menunjukkan nilai domain pada pusat kurva (titik pusat domain) dan b menunjukkan setengah lebar kurva (standar deviasi pada

himpunan fuzzy). Representasi kurva gaussian dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Representasi Kurva Gaussian

Fungsi keanggotaan gaussian dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$G(x; b, c) = e^{\frac{-(x-c)^2}{2b^2}} \quad (2.6)$$

2.2.2 Macam-macam Logika Fuzzy

Algoritma fuzzy memiliki 3 metode Algoritma fuzzy memiliki ke 3 metode yaitu metode fuzzy Tsukamoto, Sugeno, dan Mamdani dan dari ke 3 metode fuzzy ini memiliki mesin inferensi dan defuzzifikasi yang berbeda. Adapun penjelasan dari masing-masing jenis fuzzy adalah sebagai berikut [13]:

- Fuzzy Inference System Tsukamoto
 - a. Saat proses evaluasi aturan dalam mesin inferensi, metode fuzzy Tsukamoto menggunakan fungsi implikasi MIN untuk mendapatkan nilai α -predikat tiap-tiap rule ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$). Masing-masing nilai α -predikat digunakan untuk menghitung hasil inferensi secara tegas (crisp) masing-masing rule ($z_1, z_2, z_3, \dots, z_n$).
 - b. Proses defuzzyifikasi pada metode Tsukamoto menggunakan metode rata-rata (Average).
- Fuzzy inference System Sugeno
 - a. Metode Fuzzy Sugeno Orde-Nol
Secara umum bentuk model inferensi fuzzy Sugeno Orde-Nol adalah:

IF(x1is A1i) o (x2 isA2i) o ... o (xNisANi) THEN z = k

Dengan A_i adalah himpunan fuzzy ke- i sebagai antecedent, dan k adalah suatu konstanta (bersifat crisp) sebagai konsekuensi.

- b. Metode Fuzzy Sugeno Orde-Satu

Secara umum bentuk model inferensi fuzzy Sugeno Orde-Satu adalah:

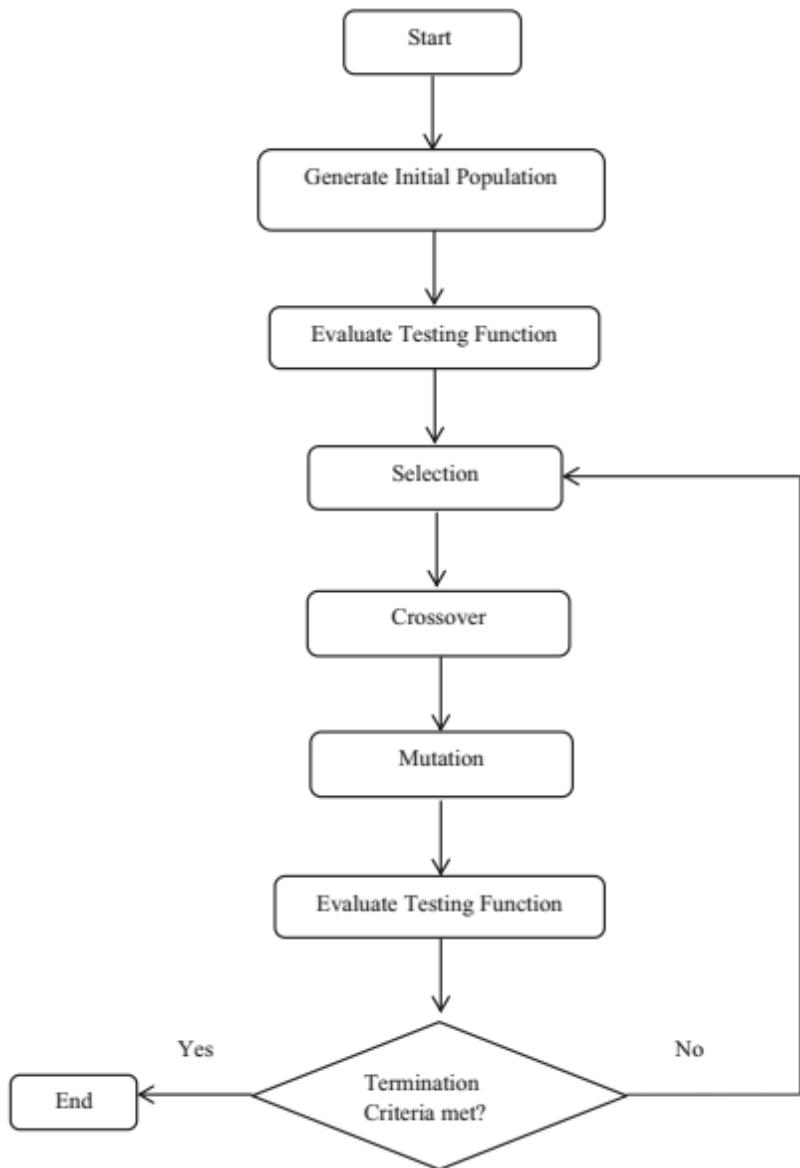
IF (x1is A1i) o (x2 isA2i) o ... o (XNisAN)THEN z=p1 *x1+ ... + pN*xN+ q

Dengan A_i adalah himpunan fuzzy ke- i sebagai antecedent, dan P_i adalah suatu konstanta (tegas) ke- i dan q juga merupakan konstanta dalam konsekuensi. Apabila komposisi aturan menggunakan metode Sugeno, maka defuzzifikasi dilakukan dengan cara mencari nilai rataratanya.

- Fuzzy Inference System Mamdani
 - a. Saat melakukan evaluasi aturan dalam mesin inferensi, metode Mamdani menggunakan fungsi MIN dan komposisiantar-rule menggunakan fungsi MAX untuk menghasilkan himpunan fuzzy baru.
 - b. Proses defuzzyifikasi pada metode Mamdani.

2.3 Algoritma Genetika

Algoritma genetik merupakan turunan dari metode optimisasi jenis klasik. Pada algoritma ini metode yang digunakan tidak berdasarkan gradien dan tidak memerlukan *constant function* atau *function derivations*. Algoritma genetik adalah metode optimisasi yang mengacu pada teori evolusi yang dikemukakan oleh Darwin yang menyatakan yang kuat akan hidup dan yang lemah akan tersingkirkan karena adanya seleksi alam. Dalam algoritma ini, desain variabel diurutkan berdasarkan variabel tetap ataupun panjang, menganalogikan kromosom atau individu dalam sistem biologi. Diagram alir GA diberikan pada gambar berikut :



Gambar 2.10 Diagram Alir *Genetic Algorithm*

Algoritma genetik merupakan teknik optimisasi heuristik yang mensimulasikan mekanisme evolusi alami dari sebuah kromosom (struktur *string*), unsur-unsur dasar genetika yang terlibat yaitu reproduksi, *crossover*, dan mutasi. [14]

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 inisialisasi populasi

Masing-masing kromosom terbentuk dari beberapa variabel desain (biner atau desimal) yang disebut gen. Setiap kromosom mewakilkan sebuah solusi dari *search space*. Algoritma turunan yang merupakan proses berulang di mana setiap tahapnya disebut generasi dan rangkaian solusi yang terkait dengan generasi disebut populasi. Algoritma dimulai dengan pembibitan, populasi awal ditentukan dari semua kemungkinan secara acak atau selektif. Algoritma genetika menggunakan metode statistik untuk menentukan titik optimum. Dalam proses seleksi alam, populasi yang tersedia dipilih berdasarkan *fitness* dari generasi ini untuk generasi berikutnya; operasi genetik termasuk seleksi, *crossover*, mutasi dan lain-lain diterapkan dan populasi baru terbentuk. Populasi baru, yang biasanya lebih pas, menggantikan populasi sebelumnya dan siklus ini berlanjut. Pencarian dianggap selesai bila mencapai target maksimum atau hasil konvergensi diperoleh atau hasil yang diinginkan terpenuhi. Hasil dikatakan optimum ketika hasil yang didapatkan telah konstan. [15]

“Halaman ini memang dikosongkan”

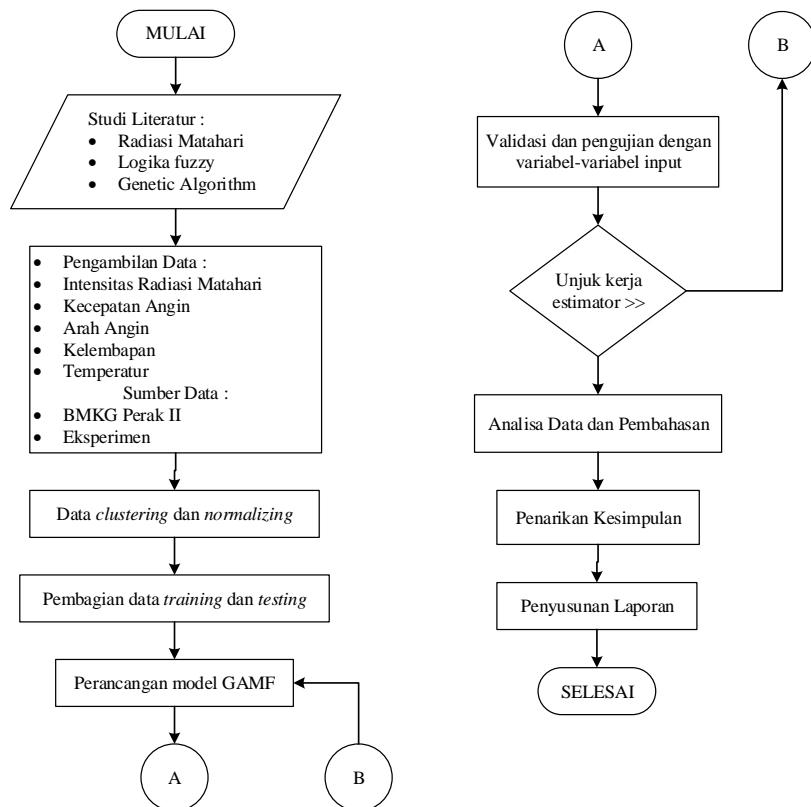
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Estimasi paparan radiasi matahari perjam pada permukaan horizontal menggunakan metode GAMF (*Genetic Algorithm Modified Fuzzy*) (studi kasus di Surabaya) dilakukan sesuai dengan metode penelitian berikut.

3.1 Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Studi Literatur

Pada tahap studi literatur dilakukan studi terhadap beberapa literatur dari referensi *text book*, *manual book*, ataupun jurnal-jurnal ilmiah yang memuat materi-materi berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Adapun materi-materi yang mendukung tugas akhir ini adalah radiasi matahari, metode logika fuzzy dan *genetic algorithm*. Pada materi radiasi matahari didapatkan skematika proses terjadinya radiasi matahari hingga sampai ke permukaan bumi. Teori mengenai metode logika fuzzy diperkulkan dalam perancangan model estimator dalam proses *training* dan *testing* data, pembuatan *rules* dan *membership function* sehingga didapatkan hasil estimasi radiasi matahari. Teori mengenai *genetic algorithm* untuk merancang model optimasi agar hasil estimasi radiasi matahari yang diperoleh lebih optimum. Dari studi literatur ini, diharapkan dapat membantu peneliti dalam menentukan langkah-langkah dan pola pikir yang akan dijadikan acuan dalam menyelesaikan permasalahan pada penelitian ini.

3.3 Pengambilan Data

Pada penelitian ini, terdapat dua jenis sumber data yang digunakan. Untuk data sekunder menggunakan data yang diambil dari Badan Meterorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Perak II Surabaya. Sedangkan untuk data primer, menggunakan data hasil pengukuran. Untuk dokumentasi pengambilan data dapat dilihat pada lampiran D. Adapun rincian untuk masing-masing jenis data dijelaskan pada uraian berikut :

3.3.1 Pengambilan Data Sekunder

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder yang diambil dari Badan Meterorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Perak II Surabaya. Data yang digunakan berupa data radiasi matahari perjam (W/m^2), temperatur udara ($^{\circ}\text{C}$), kelembapan relatif (%), arah angin ($^{\circ}$), dan kecepatan angin (m/s) yang diambil dalam kurun waktu 3 tahun yaitu selama bulan Januari 2015 sampai dengan Desember 2017. Berikut ini akan

ditampilkan contoh pasangan data yang akan diolah pada penelitian tugas akhir ini :

Tabel 3.1. Contoh Data Sekunder (BMKG)

Angin		Temperatur (°C)	Kelembaban (%)	Radiasi Matahari (W/m ²)
Arah (°)	Kecepatan (m/s)			
164,00	0,17	33,80	54,00	64,39
261,33	0,51	33,60	55,00	197,41
309,17	0,86	32,90	61,00	434,40
308,33	1,37	28,30	82,00	525,38

3.3.2 Pengambilan Data Primer

Data primer yang digunakan yaitu data *real* atau data hasil pengukuran. Pengukuran dilakukan dengan cara langsung menggunakan alat ukur. Variabel-variabel yang diukur meliputi : radiasi matahari perjam (W/m²), temperatur udara (°C), kelembapan relatif (%), arah angin (°), dan kecepatan angin (m/s). Rentang waktu pengukuran yaitu dari bulan Februari 2018 sampai April 2018. Adapun informasi pengambilan data primer adalah sebagai berikut :

Tabel 3.2. Informasi Pengambilan Data Primer (*real*)

Nama Tempat	Teknik Kimia lantai 4
Posisi Lintang	7,3°LS
Posisi Bujur	112,8°BT
Kondisi	Terbuka dan tidak terhalang dinding

Tempat tersebut dipilih karena memiliki permukaan yang bidang dan tidak banyak benda tinggi yang menghalangi, seperti pepohonan dan bangunan bertingkat sehingga tidak mengurangi keakuratan dalam pengukuran radiasi matahari.

Alat ukur yang digunakan untuk melakukan pengambilan data primer antara lain : *pyranometer*, *digital thermometer*,

anemometer, RH *meter* dan *windsock*. Adapun spesifikasi dari masing-masing alat ukur yang digunakan dalam pengambilan data adalah sebagai berikut :

- ***Phyranometer***

Phyranometer merupakan alat ukur intensitas radiasi matahari dengan satuan daya persatuhan luas (W/m^2). Adapun jenis *phyranometer* yang digunakan dalam pengambilan data kali ini yaitu merek Lutron SPM-11165D dengan spesifikasi yang ditunjukkan pada Tabel 3.3. :

Tabel 3.3. Spesifikasi *Phyranometer*

No	Keterangan	Spesifikasi	
1	<i>Spectral renponse</i>	400-1100 nm	
2	<i>Measuring unit</i>	<i>Solar power</i> W/m^2 , $\text{Btu}/(\text{ft}^2 \cdot \text{h})$	
		<i>Transmission</i> : %	
		<i>Solar power integration</i> : Wh/m^2 , $\text{Btu}/(\text{ft}^2)$	
3	<i>Solar power range/ solar power resolution</i>	<i>Range</i> $2000 \text{ W}/\text{m}^2$, $634 \text{ Btu}/(\text{ft}^2 \cdot \text{h})$	
		$0.1 \text{ W}/\text{m}^2$	$<1000 \text{ W}/\text{m}^2$
		$1 \text{ W}/\text{m}^2$	$\geq 1000 \text{ W}/\text{m}^2$
		$0.1 \text{ Btu}/(\text{ft}^2 \cdot \text{h})$	$<317 \text{ Btu}/(\text{ft}^2 \cdot \text{h})$
		$1 \text{ Btu}/(\text{ft}^2 \cdot \text{h})$	$\geq 317 \text{ Btu}/(\text{ft}^2 \cdot \text{h})$
4	<i>Solar power accuracy</i>	$\pm 10 \text{ W}/\text{m}^2$ typically $\pm 3 \text{ Btu}/(\text{ft}^2 \cdot \text{h})$ typically, atau $\pm 5\%$ pembacaan	
5	<i>Operating temperature</i>	$0 - 50^\circ \text{C}$	
6	<i>Weight</i>	346 g	
7	<i>Dimension</i>	<i>Main instrument</i> : $182 \times 73 \times 47.5 \text{ mm}$	
		<i>Sensor probe</i> : 38mm DIA x 25 mm	



Gambar 3.2 Phranometer

- **Digital Thermometer**

Thermometer yaitu alat untuk mengukur temperatur. Adapun temperatur yang diukur dalam penelitian ini yaitu temperatur udara dengan satuan derajat celcius (°C). Dikarenakan pada RH meter sudah terdapat termometer udara sehingga dalam eksperimen ini, alat tersebut juga digunakan untuk mengambil data temperatur udara.

- **RH meter (Relative Humidity Meter)**

RH meter merupakan alat ukur yang digunakan untuk mengukur kelembaban udara dengan satuan persen. RH meter yang digunakan yaitu Krisbow KW06-291 dengan spesifikasi pada Tabel 3.4. :



Gambar 3.3 RH meter

Tabel 3.4. Spesifikasi RHmeter

No	Keterangan	Spesifikasi
1	<i>Display</i>	1999 counts LCD display
2	<i>Measurement rate</i>	1.5 times per second, nominal
3	<i>Dimension/Wt</i>	H x W x D = 251 x 63.8 x 40 mm 250 g
4	<i>Power</i>	9V, NEDA 1604 or 6F22 battery
5	<i>Measurement range</i>	<i>Humidity :</i> 25% - 95% RH <i>Temperature :</i> -20°C – 50 °C
6	<i>Resolution</i>	0.1% RH 0.1 °C
7	<i>Accuracy</i>	<i>Humidity</i> ± 5% RH (at 25°C, 35%-95% RH) <i>Temperature</i> ±3%rdg ±2°C (at -20°C-200°C)

- **Anemometer**

Anemometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin. Pada pengambilan data kali ini alat yang digunakan yaitu merek CONSTANT AN15 dengan satuan kecepatan angin yang digunakan yaitu m/s. Untuk lebih jelasnya alat yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.4. Adapun spesifikasi dari anemometer yang digunakan untuk pengukuran diitunjukkan oleh Tabel 3.5:

Tabel 3.5. Spesifikasi Anemometer

No	Keterangan	Spesifikasi		
1	Air velocity	Range	Resolution	Accuracy
	m/s (meters per sec)	1,1 – 30 m/s	0.01 m/s	±(3% + 0.0 m/s)
	kph (km per hour)	0.8 -108 km/h	0.1 km/h	± (3% + 1 km/h)
	fpm (feet per minute)	80 – 5900 ft/min	1 ft/min	± (3% +40 ft/m)
	mph (miles per hour)	0.9-67 mph	0.1 mph	± (3% + 0.4mph)
	knt (knots)	0.8-58 knots	0.1 knots	± (3% + 0.4 knots)
2	Operating temperature	0 - 50°C		
3	Operating humidity	<80%		
4	Power	9V battery		
5	Size	165 x 54 x 34 mm		
6	Weight	±139g		

**Gambar 3.4** Anemometer

- **Windsock**

Wind Sock adalah alat untuk mengetahui datangnya arah angin dengan cara melihat arah tiupan angin pada kain/polymer yang membentuk kerucut dengan kedua ujung yang terbuka. Dalam eksperimen ini, *wind sock* ditempatkan pada posisi yang tinggi agar angin tidak terhalang oleh bangunan sekitar.

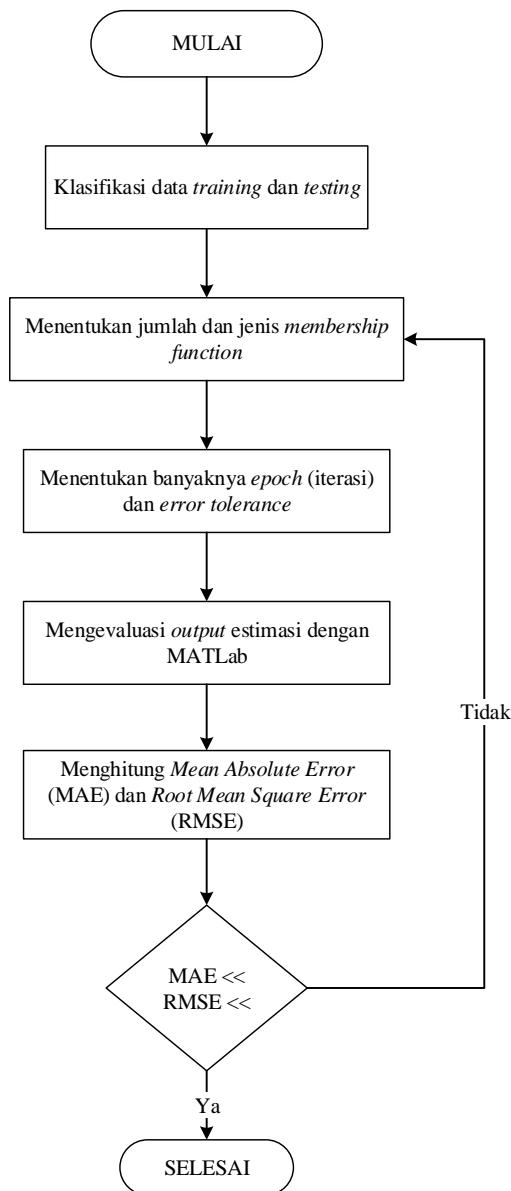
Berikut ini adalah data hasil pengukuran yang akan diolah pada penelitian tugas akhir ini :

Tabel 3.6. Contoh Data Primer (Data Hasil Pengukuran)

Angin		Temperatur (°C)	Kelembaban (%)	Intensitas Radiasi Matahari (W/m ²)
Arah (°)	Kecepatan (m/s)			
45,00	3,53	34,20	21,20	538,00
45,00	3,53	34,20	21,20	538,00
45,00	3,40	34,20	21,10	518,00
45,00	3,40	34,20	21,10	518,00
45,00	3,40	34,20	21,10	518,00
281,25	2,95	25,20	63,40	137,20
281,25	2,95	25,20	63,40	137,20
78,75	2,50	32,80	11,50	688,50
78,75	2,50	32,80	11,50	688,50
315,00	2,32	28,20	73,90	127,50
315,00	2,32	28,20	73,90	127,50
315,00	2,06	26,60	68,80	140,90

3.4 Perancangan Model Fuzzy Sugeno

Proses training data diperlukan untuk menghasilkan membership function dan juga rule based yang akan digunakan untuk proses estimasi radiasi matahari menggunakan data testing. Adapun tahapan dari pemodelan Fuzzy-Sugeno dijelaskan pada Gambar 3.5 berikut :



Gambar 3.5 Diagram Alir Metode Fuzzy Sugeno

3.4.1 Klasifikasi data *training* dan *testing*

Dari total data yang telah diperoleh, baik data sekunder (data BMKG) maupun primer (data hasil pengukuran) dibagi kedalam 2 katagori yaitu data *training* dan data *testing* dengan perbandingan masing-masing klasifikasi sebesar 80 : 20.

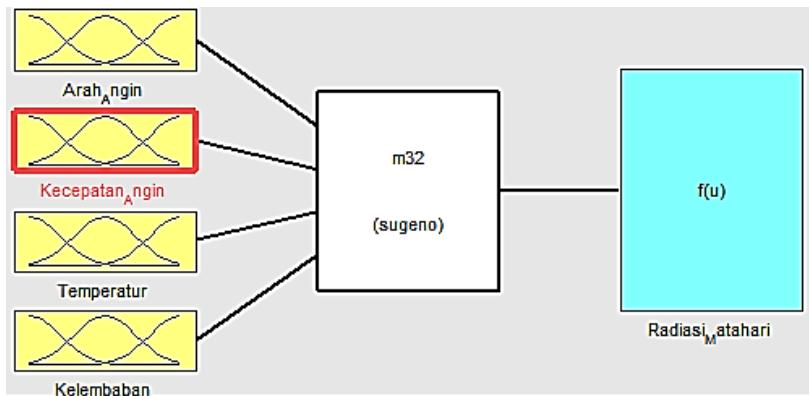
Adapun proses *training* dan *testing* yang akan dilakukan terbagi menjadi 3 percobaan dengan variasi *input* yang berbeda. Variabel *input* yang digunakan antara lain : kelembapan, temperatur, kecepatan angin dan arah angin. Sedangkan variabel *output* yaitu radiasi matahari. Hal tersebut dilakukan untuk mencari variasi *input* yang menghasilkan *output* estimasi terbaik. Variasi variabel *input* yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 3.7. Skema Percobaan Variasi Input

No	Percobaan	Variasi Input
1	P1	Temperatur, Kelembaban Udara
2	P2	Temperatur, Kelembaban Udara, Kecepatan Angin
3	P3	Temperatur, Kelembaban Udara, Kecepatan Angin, Arah Angin

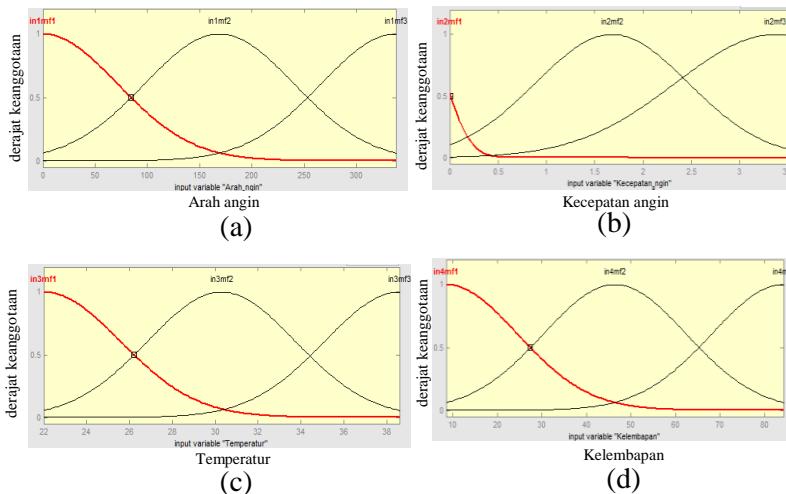
3.4.2 Menentukan jumlah dan jenis *membership function*

Untuk mendapatkan hasil estimasi yang baik diperlukan jenis fungsi keanggotaan yang tepat. Dalam penelitian ini digunakan jenis fungsi keanggotaan *gauss* dengan jumlah fungsi keanggotaan 3. Fungsi keanggotaan yang digunakan adalah jenis *gauss* karena dinilai memberikan hasil estimasi radiasi matahari yang lebih mendekati target jika dibandingkan dengan jenis fungsi keanggotaan yang lainnya yaitu *trim*, *trap* dan *gbell*. Adapun skema fungsi keanggotaan yang diperoleh dari hasil *training* untuk keempat variabel *input* berupa temperatur, kelembapan udara, kecepatan angin dan arah angin serta *output* yang diperoleh berupa radiasi matahari, ditunjukkan dalam Gambar 3.6 berikut :



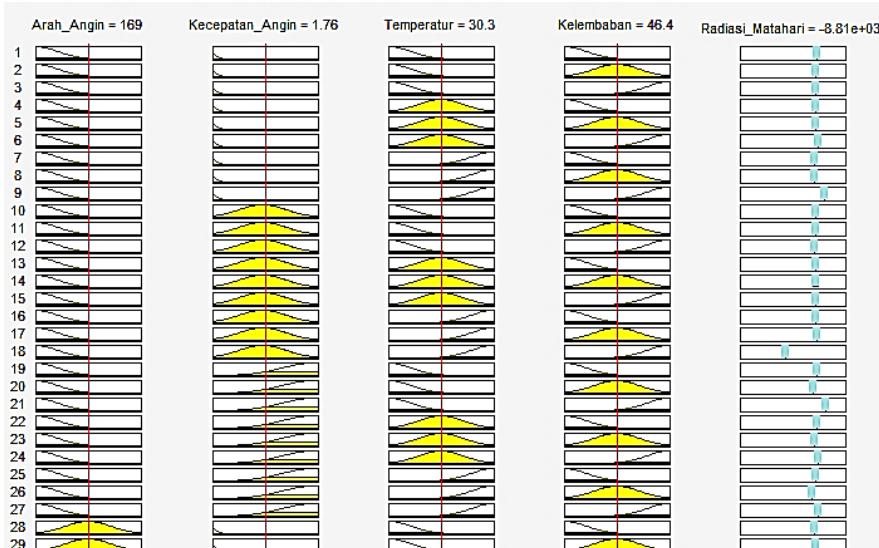
Gambar 3.6 Membership Functions

Kurva *membership function* yang dihasilkan pada proses *training* memberikan hasil yang berbeda-beda untuk masing-masing variabel *input*. Dengan ketentuan untuk masing-masing variabel *input* dapat dilihat pada gambar 3.7 :



Gambar 3.7 Kurva Gauss untuk Variabel Input (a) Arah Angin (b) Kecepatan Angin (c)Temperatur (d) Kelembapan

Untuk jumlah *membership functions* 3, hasil dari data *training* menghasilkan *rule based* untuk pasangan input output yang akan digunakan untuk *testing* dengan jumlah *rule based* 9 untuk 2 variasi variabel input, 27 untuk 3 variasi input dan 81 untuk 4 variasi variabel input. Adapun *rule based* yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Rule Based

Pada Gambar 3.8 kolom pertama sampai keempat merupakan *rule* yang dikasilkan melalui proses *training data* dari 4 *input* yang digunakan. Sedangkan kolom kelima merupakan hasil estimasi radiasi dari sistem fuzzy yang dibuat.

3.4.3 Menentukan jumlah *epoch* (iterasi)

Epoch atau iterasi digunakan untuk memperoleh *error* yang paling diinginkan, idealnya makin besar iterasi maka *error* yang diperoleh makin kecil. Pada percobaan kali ini banyaknya iterasi yang digunakan sebesar 100.

3.4.4 Menganalisa *output* dari estimasi

Setelah mendapatkan *output* estimasi yang diperoleh dari MATLAB dengan *command* “*evalfis*” selanjutnya dilakukan estimasi dengan Microsoft Excel untuk mendapatkan nilai *error*.

Adapun jenis perhitungan yang dilakukan *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Mean Absolute Error* (MAE). Adapun rumus perhitungan untuk menentukan RMSE dan MAE dijelaskan pada persamaan (3.1) dan (3.2) berikut :

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (y_t - t_\tau)^2} \quad (3.1)$$

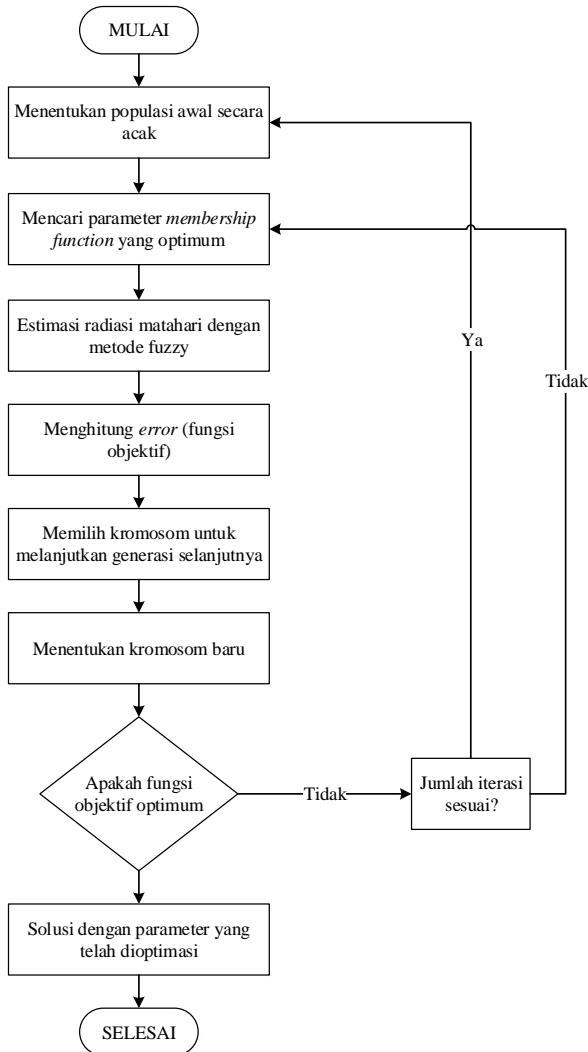
$$\text{MAE} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N |(y_t - t_\tau)| \quad (3.2)$$

3.5 Perancangan Model GAMF (*Genetic Algorithm Modified Fuzzy*)

Hasil estimasi yang telah didapatkan dari metode fuzzy berperan sebagai populasi awal kemudian dioptimisasi untuk mendapatkan hasil yang lebih optimum dengan metode *genetic algorithm*. Proses optimisasi dilakukan untuk ketiga percobaan variasi *input*.

Fungsi objektif yang digunakan dalam proses optimisasi menggunakan algoritma genetik yaitu *error*. Besarnya *error* dapat diperoleh dari selisih radiasi matahari target dengan radiasi matahari estimasi yang telah diperoleh dari metode fuzzy.

Adapun bagan dari metode GAMF yang akan dilakukan dari tahap fuzzy sampai dengan optimisasi menggunakan algoritma genetik ditunjukkan oleh gambar 3.9 berikut :



Gambar 3.9 Diagram Alir Metode GAMF

Radiasi matahari yang diperoleh setelah melalui proses optimisasi dengan algoritma genetik, menjadi hasil estimasi baru secara keseluruhan dari metode GAMF.

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dijelaskan mengenai hasil simulasi untuk estimasi radiasi matahari menggunakan metode *Genetic Algorithm Modified Fuzzy* (GAMF). Pengujian ini merupakan hasil dari simulasi menggunakan *software* MATLab dengan dua jenis data yaitu data sekunder berasal dari BMKG Maritim Perak II Surabaya dan data primer berdasarkan data hasil pengukuran.

4.1 Analisis Data

Pada bagian ini akan dijelaskan karakteristik data untuk masing-masing jenis data. Analisis data dibagi menjadi dua bagian yaitu analisis data BMKG dan analisis data hasil pengukuran, secara lebih rinci dijelaskan pada sub bab berikut :

4.1.1 Data BMKG

Analisis data telah dilakukan pada data sekunder yang diperoleh dari BMKG Maritim Perak II Surabaya dalam jangka waktu 3 tahun yaitu pada periode Januari 2015 hingga Desember 2017. Data yang diperoleh terdiri dari kecepatan angin, arah angin, temperatur, kelembapan, dan radiasi matahari dengan jumlah 10542 pasang data. Adapun karakteristik data sekunder BMKG Maritim Perak II Surabaya adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1. Karakteristik Data Sekunder (BMKG)

	Temperatur (°C)	Kelembapan (%)	Kec. Angin (m/s)	Arah Angin (°)	Radiasi Matahari (W/m ²)
Range	22,4-37,7	30,94-100	0-8,75	0-359	0-1207
Span	15,3	69,06	8,75	359	1207
Mean	28,94	76,33	1,87	157,3	400,96
Std. Dev	2,45	11,48	1,17	96,04	295,33
Max	37,7	100	8,75	359	1207
Min	22,4	30,94	0	0	0

Data yang diperoleh diklasifikasikan menjadi dua jenis data yaitu data *training* dan data *testing*. Pembagian yang dilakukan menggunakan perbandingan 80:20 sehingga diperoleh data *training* berjumlah 8434 pasang data dan data *testing* berjumlah 2108 pasang data.

4.2 Data Hasil Pengukuran

Data hasil pengukuran didapatkan dari hasil pengukuran dengan alat ukur. Adapun jumlah data hasil pengukuran berjumlah 685 pasang data dan diklasifikasikan menjadi data *training* dan data *testing* dengan perbandingan 80:20. Sehingga diperoleh data *training* berjumlah 548 pasang data dan data *testing* berjumlah 137 pasang data. Adapun karakteristik dari data hasil pengukuran adalah sebagai berikut :

Tabel 4.2. Karakteristik Data Primer (Data Hasil Pengukuran)

	Temperatur (°C)	Kelembapan (%)	Kec. Angin (m/s)	Arah Angin (°)	Radiasi Matahari (W/m2)
Range	22,6-38,6	8,5-84,2	0-3,53	0-337,50	21,8-1073
Span	16	75,70	3,53	337,50	1051,2
Mean	30,62	35,35	0,79	127,77	534.15
Std. Dev	4,77	17,40	0,573	96,04	313,704
Max	38,60	84,20	0	359	1073
Min	22,60	8,50	0-3,53	0	21,8

4.1 Analisis Percobaan

Pada bagian ini akan dijelaskan hasil estimasi yang didapatkan setelah dilakukan simulasi menggunakan MATLab dan pengolahan data menggunakan Microsoft Excel. Analisis percobaan dibagi menjadi dua bagian yaitu analisis percobaan BMKG dan analisis percobaan hasil pengukuran, secara lebih rinci dijelaskan pada sub bab berikut

4.2.1 Data BMKG

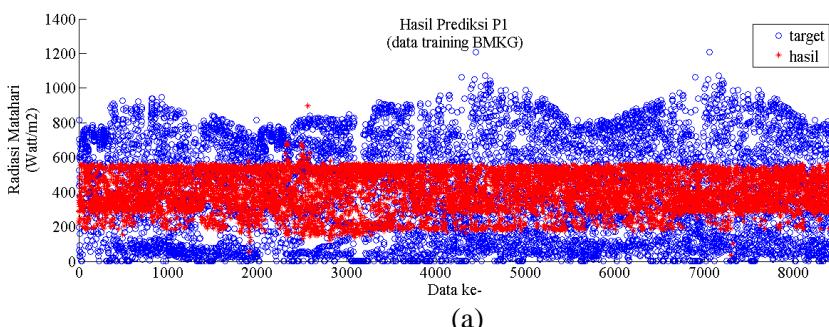
Pada penilitian ini dilakukan tiga percobaan dengan variabel *input* sebagai variasi, dan *output* berupa radiasi matahari. Adapun data yang digunakan yaitu data BMKG Maritim Perak II.

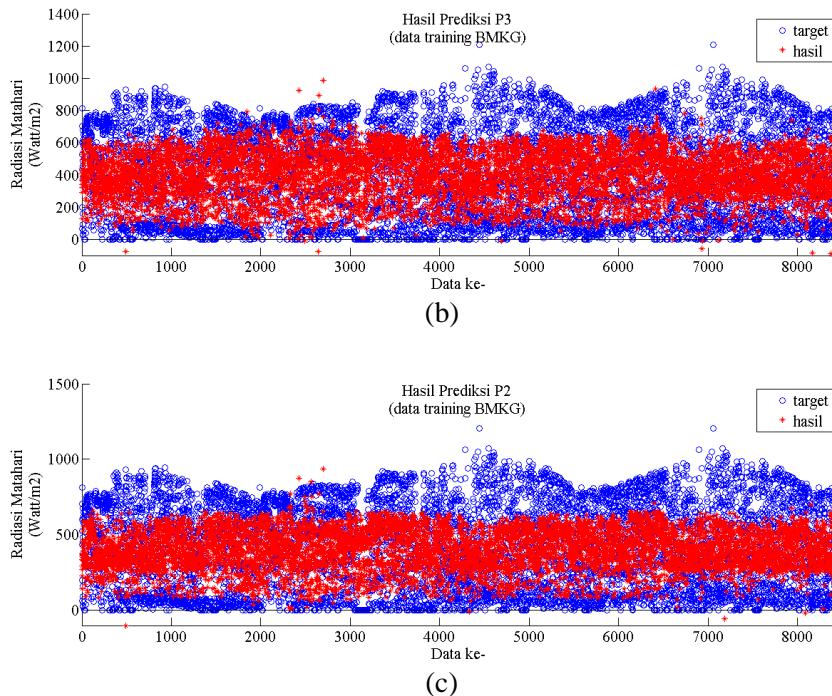
Adapun skenario percobaan variasi variabel input yang digunakan untuk mengestimasai radiasi matahari dari data BMKG ditunjukkan pada Tabel 4.3 berikut :

Tabel 4.3. Skenario Percobaan Variasi *Input* Data Sekunder

Percobaan	Variasi data Input	Output
P1	Temperatur udara dan kelembapan	Radiasi matahari
P2	Temperatur udara, kelembapan, dan kecepatan angin	Radiasi matahari
P3	Temperatur udara, kelembapan, kecepatan angin, dan arah angin	Radiasi matahari

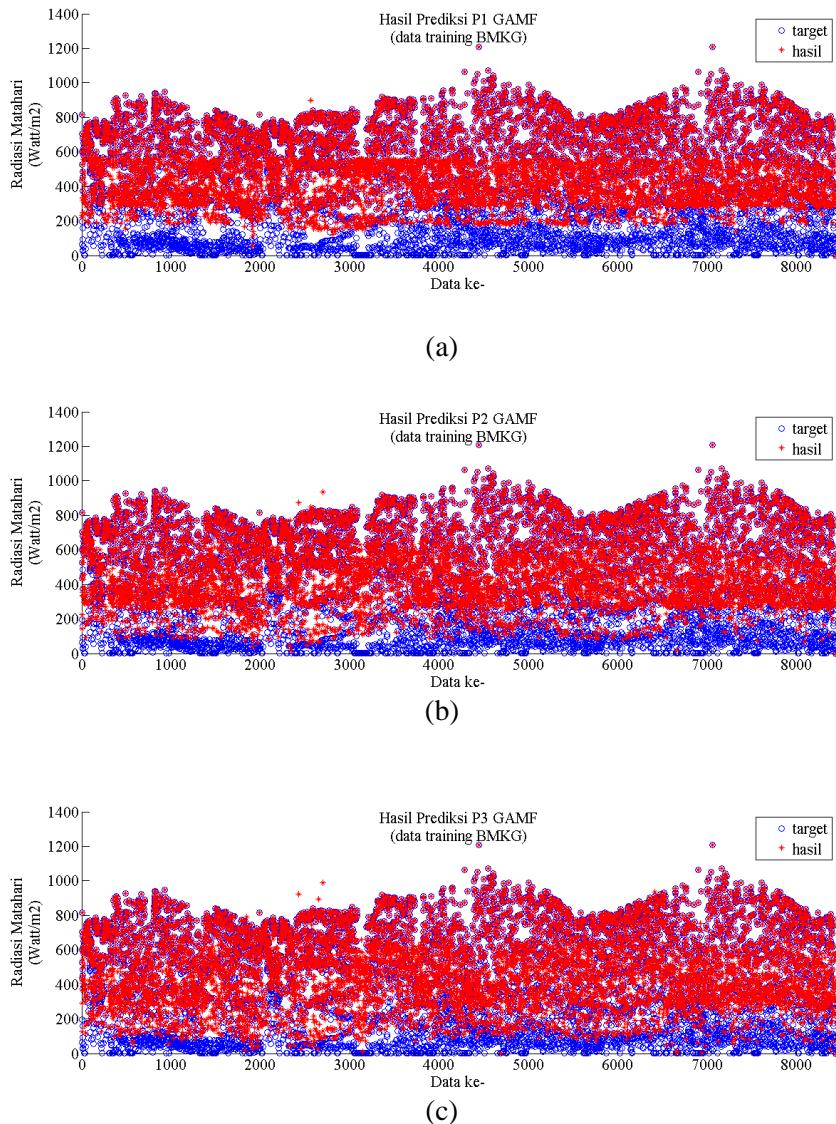
Berdasarkan hasil dari komputasi yang dilakukan menggunakan *software* MATLAB dengan menggunakan metode Fuzzy-Sugeno, tahapan estimasi terbagi menjadi 2 yaitu *training* dan *testing*. Berikut merupakan hasil *training* dari simulasi pada percobaan P1, P2, P3 dengan metode Fuzzy dan GAMF:





Gambar 4.1 Hasil Prediksi Fuzzy (data *training* BMKG)
 (a) P1 (b) P2 (c) P3

Pada Gambar 4.1 dapat dilihat persebaran radiasi matahari target dan hasil estimasi untuk masing-masing percobaan dengan metode Fuzzy. Data yang digunakan adalah data *training* BMKG. Pada Gambar 4.1(a) error maksimal sebesar 2119435,15, error minimal sebesar 0,01, dan MAE sebesar 232. Pada Gambar 4.1(b) error maksimal sebesar 1879834,90, error minimal sebesar 0, dan MAE sebesar 219. ada Gambar 4.1(c) error maksimal sebesar 1493389,78, error minimal sebesar 0,01, dan MAE sebesar 209. Berdasarkan pemodelan yang ditunjukkan pada gambar dan hasil perhitungan untuk *training* data menggunakan data BMKG akan diperoleh hasil terbaik ketika menggunakan variasi variabel *input* sebanyak 4 buah.



Gambar 4.2 Hasil Prediksi GAMF (data training BMKG)
(a) P1 (b) P2 (c) P3

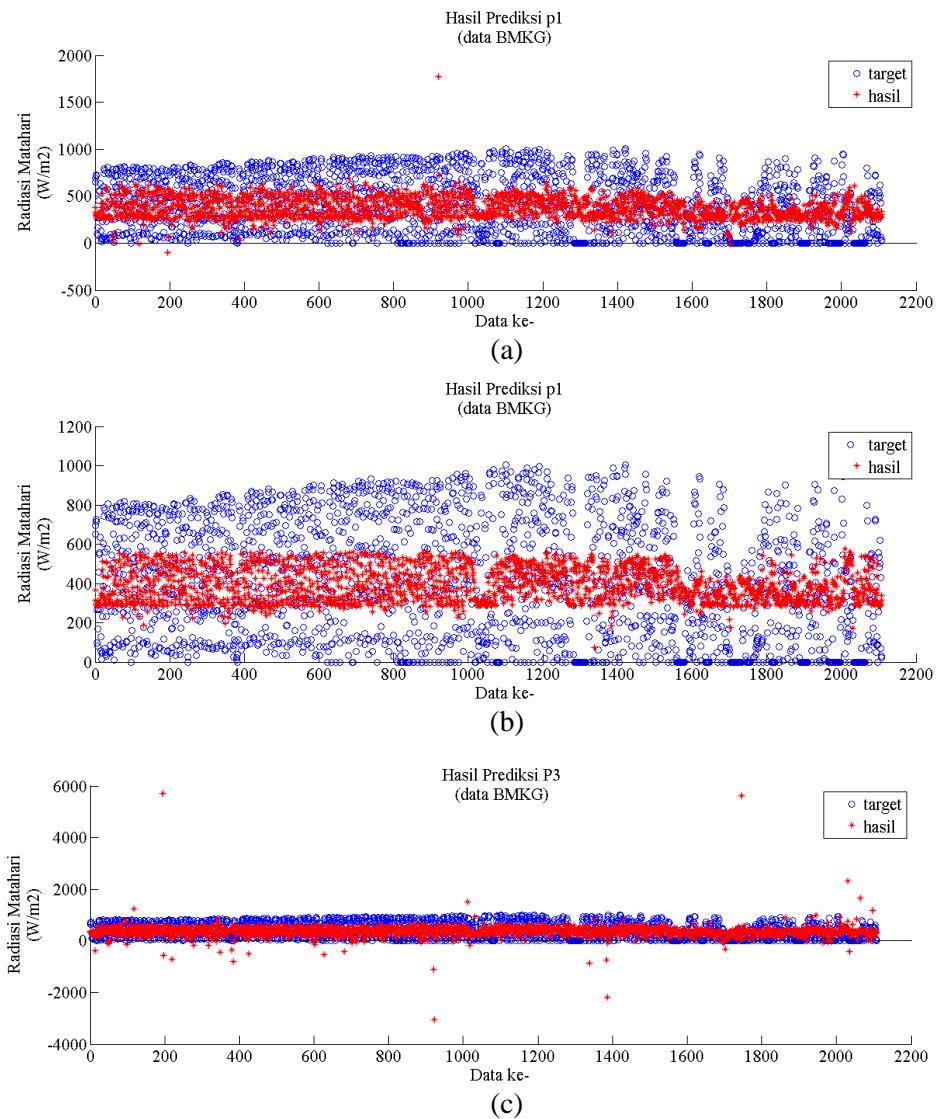
Berdasarkan hasil prediksi yang ditujukan pada Gambar 4.2 dapat dilihat persebaran radiasi matahari target dan hasil estimasi untuk masing-masing percobaan dengan metode GAMF. Pada Gambar ini dapat dilihat bahwa persebaran hasil estimasi lebih merata dari pada gambar sebelumnya, hal ini menandakan bahwa hasil estimasi mendekati target yang dituju. Berdasarkan pengolahan data yang dilakukan, metode GAMF memiliki nilai MAE yang lebih kecil jika dibandingkan metode Fuzzy yaitu sebesar 115,39 ; 109 dan 103,88 untuk masing-masing variasi input. Jika disajikan dalam prosentase, metode GAMF dapat mengoptimalkan hasil estimasi untuk masing-masing percobaan secara berturut-turut sebesar 29,11% ; 28,91% ; dan 28,52% dibanding metode fuzzy.

Berdasarkan hasil training yang yang telah dilakukan diperoleh perbandingan hasil *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Mean Absolute Error* (MAE) untuk metode Fuzzy dan GAMF sebagai berikut :

Tabel 4.4. Analisis RMSE dan MAE data *training* BMKG

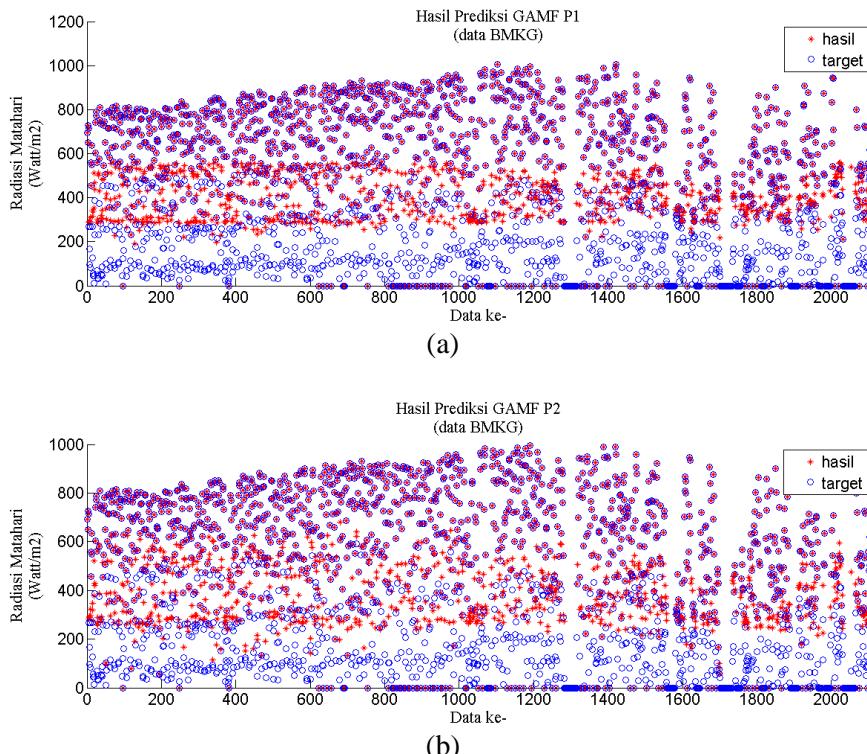
P-	Struktur	RMSE (<i>training</i>)		MAE (<i>training</i>)	
		Fuzzy	GAMF	Fuzzy	GAMF
P1	3, Gauss, 100	271,22	191,95	231,83	115,39
P2	3, Gauss, 100	262,15	186,35	219,06	109,00
P3	3, Gauss, 100	253,56	181,25	208,82	103,88

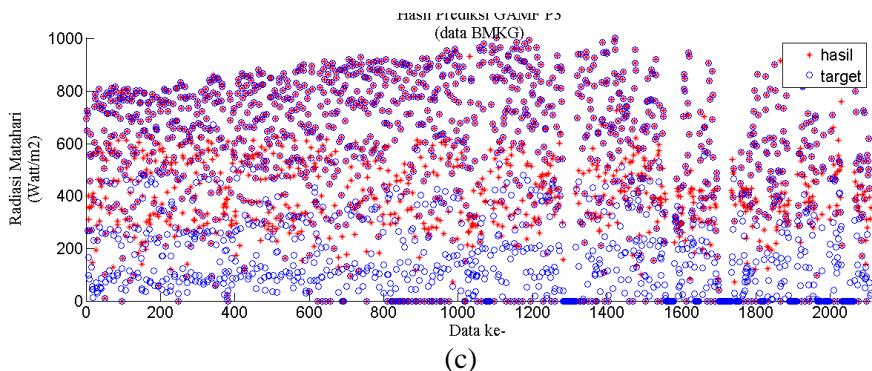
Berdasarkan Tabel 4.4 dapat dilihat terjadi penurunan RMSE dan MAE yang cukup signifikan pada metode GAMF jika dibandingkan dengan metode Fuzzy. RMSE dan MAE terkecil yaitu 181,25 dan 104, diperoleh pada saat variasi input yang diberikan berjumlah 4, sehingga hasil estimasi paling optimum untuk *training* data BMKG yaitu menggunakan percobaan P3 dengan metode GAMF. Adapun untuk tahapan testing data BMKG untuk percobaan P1, P2 dan P3 dengan metode Fuzzy dan GAMF dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 4.3 Hasil Prediksi Fuzzy (data testing BMKG)
 (a) P1 (b) P2 (c) P3

Hasil estimasi Fuzzy menggunakan data *testing* BMKG pada Gambar 4.3 menunjukan bahwa persebaran radiasi matahari target dan hasil estimasi untuk masing-masing percobaan dengan metode Fuzzy. Data yang digunakan adalah data training BMKG. Pada Gambar 4.3(a) error maksimal sebesar 577830,89, error minimal sebesar 0,0044, dan MAE sebesar 265. Pada Gambar 4.3(b) error maksimal sebesar 1775652,14, error minimal sebesar 0,15, dan MAE sebesar 257. ada Gambar 4.3(c) error maksimal sebesar 5616792,55, error minimal sebesar 0,06, dan MAE sebesar 289. Sehingga, untuk training data menggunakan data BMKG, hasil estimasi terbaik didapatkan ketika menggunakan variasi variabel input sebanyak 3 buah.





Gambar 4.4 Hasil Prediksi GAMF (data *testing* BMKG) (a) P1 (b) P2 (c) P3

Gambar 4.4 menunjukkan persebaran radiasi matahari target dan hasil estimasi untuk masing-masing percobaan dengan metode GAMF.. Berdasarkan pemodelan yang ditunjukkan pada gambar dan pengolahan data yang dilakukan, metode GAMF memiliki nilai MAE yang lebih kecil jika dibandingkan metode Fuzzy yaitu sebesar 74 ; 65 dan 72 untuk masing-masing variasi input. Jika disajikan dalam persentase, metode GAMF dapat mengoptimalkan hasil estimasi untuk masing-masing percobaan secara berturut-turut sebesar 53,96% ; 57,49% ; dan 62,63% dibanding metode fuzzy.

Dari sejumlah variasi input yang telah diberikan menggunakan data *testing* BMKG diperoleh perbandingan hasil *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Mean Absolute Error* (MAE) untuk metode Fuzzy dan GAMF adalah sebagai berikut :

Tabel 4.5. Analisis RMSE dan MAE Data *testing* BMKG

P-	Struktur	RMSE (<i>testing</i>)		MAE (<i>testing</i>)	
		Fuzzy	GAMF	Fuzzy	GAMF
P1	3, Gauss, 100	301,19	138,67	265	74
P2	3, Gauss, 100	297,89	126,61	257	65
P3	3, Gauss, 100	388,46	145,19	289	72

Tabel 4.5 menunjukkan hasil perbandingan untuk masing-masing metode, dapat dilihat terjadi penurunan RMSE dan MAE yang cukup signifikan pada metode GAMF jika dibandingkan dengan metode Fuzzy. Untuk data *testing* BMKG nilai RMSE dan MAE terkecil yaitu 126,61 dan 65, diperoleh pada saat variasi input yang diberikan berjumlah 3, sehingga hasil estimasi paling optimum untuk *training* data BMKG yaitu menggunakan percobaan P2 dengan metode GAMF.

Berikut merupakan radiasi matahari aktual dan hasil estimasi radiasi matahari untuk masing metode yaitu Fuzzy dan GAMF pada tiga percobaan dengan variasi variabel *input* :

Tabel 4.6. Hasil Estimasi P1, P2 dan P3 Data BMKG

Data Aktual	Hasil Estimasi					
	Fuzzy-Sugeno			GAMF		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3
693,52	366,48	380,00	374,00	694,00	693,52	693,52
649,90	315,45	326,11	324,55	650,00	650,00	650,00
726,68	299,72	306,46	308,72	727,00	727,00	727,00
715,15	292,14	297,02	322,67	715,00	715,00	715,00
267,70	288,55	281,17	266,29	288,88	281,48	268,00
96,57	289,60	290,15	399,59	290,89	291,45	401,39
166,43	289,71	288,25	309,32	288,96	287,50	308,51
82,76	309,83	321,40	352,66	310,73	322,33	353,68
267,53	289,03	298,39	356,99	289,55	298,90	357,62
456,08	294,07	293,95	186,78	456,00	456,00	456,00
558,25	293,71	281,61	272,52	558,00	558,00	558,00
549,58	295,75	288,49	197,65	550,00	550,00	550,00
636,30	296,11	319,95	366,67	636,00	636,00	636,00
268,88	315,11	318,64	361,19	315,24	318,77	361,35
56,03	339,31	273,01	146,46	339,11	272,84	146,37

Tabel 4.6. Lanjutan

Data Aktual	Hasil Estimasi					
	Fuzzy-Sugeno			GAMF		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3
45,02	339,31	273,01	395,99	339,18	272,90	395,84
12,90	350,44	376,23	405,55	353,15	379,15	408,70
44,27	513,81	523,93	564,50	510,71	520,78	561,11
230,92	468,18	429,88	373,49	468,35	430,03	373,62
386,23	439,28	421,91	382,63	439,04	421,67	386,00
604,62	378,92	340,51	229,43	605,00	605,00	605,00
740,85	335,74	297,25	224,77	741,00	741,00	741,00
787,62	324,05	287,95	324,62	788,00	788,00	788,00
772,35	304,84	268,52	170,80	772,00	772,00	772,00
560,77	293,06	255,60	149,19	561,00	561,00	561,00
68,65	287,91	260,73	194,49	289,38	262,06	195,48
36,35	291,92	264,85	236,73	289,11	262,30	234,45
50,14	303,54	290,16	288,36	302,70	289,35	287,56
31,23	505,68	596,68	585,71	501,90	592,23	581,33
231,60	510,67	568,95	565,38	511,56	569,93	566,36
374,80	430,42	386,17	463,25	430,65	386,36	463,50
577,82	435,29	462,12	446,99	578,00	578,00	578,00
752,07	343,30	372,89	493,08	752,00	752,00	752,00
807,60	324,05	287,95	299,21	808,00	808,00	808,00
733,77	304,64	274,66	300,98	734,00	734,00	734,00
281,42	290,39	260,42	304,42	289,96	281,00	303,96
49,37	304,37	295,58	372,66	302,11	293,38	369,90
53,22	320,13	280,65	462,04	318,83	279,51	460,16
46,18	343,98	271,88	438,58	342,61	270,80	436,83
86,52	303,65	269,22	355,31	305,35	270,72	357,29
dst	dst	dst	dst	dst	dst	dst

4.2.2 Data Hasil Pengukuran

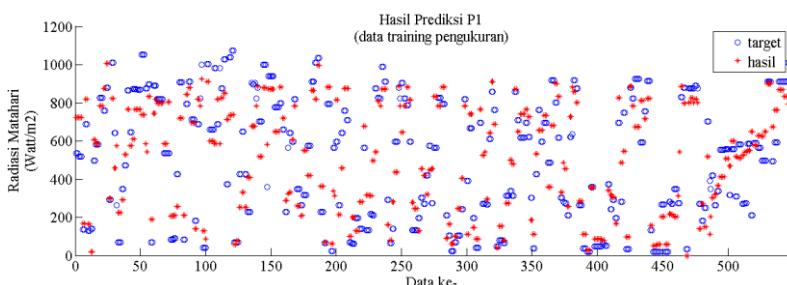
Pada penilitian ini dilakukan tiga percobaan dengan variabel *input* sebagai variasi, dan *output* berupa radiasi matahari. Adapun data yang digunakan yaitu data hasil pengukuran.

Adapun skenario percobaan variasi variabel input yang digunakan untuk mengestimasai radiasi matahari dari data hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 4.7 berikut :

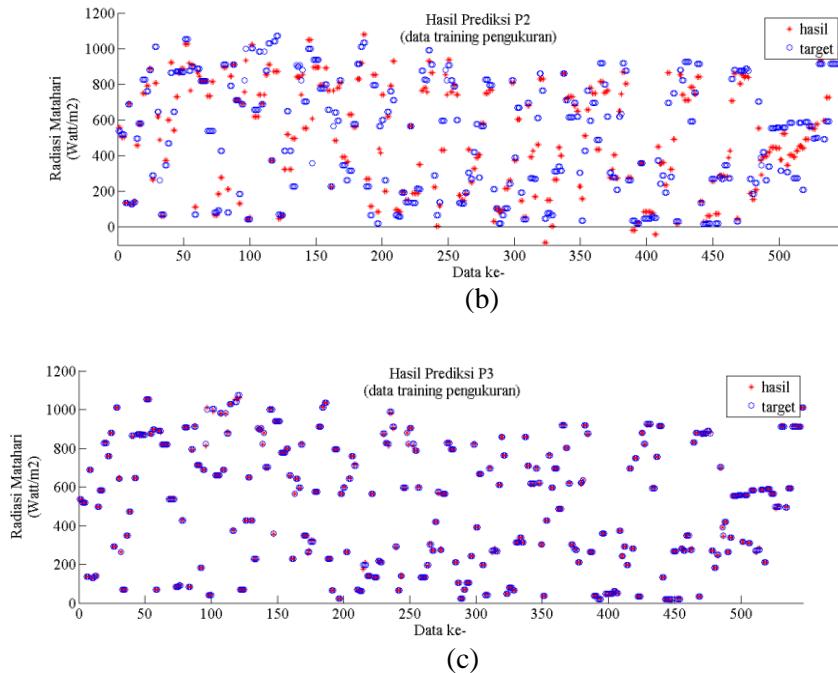
Tabel 4.7. Skenario Percobaan Variasi *Input* Data Hasil Pengukuran

P-	Variasi data <i>input</i>	<i>Output</i>
P1	Temperatur udara dan kelembapan	Radiasi matahari
P2	Temperatur udara, kelembapan, dan kecepatan angin	Radiasi matahari
P3	Temperatur udara, kelembapan, kecepatan angin, dan arah angin	Radiasi matahari

Berdasarkan hasil dari komputasi yang dilakukan menggunakan *software* MATLAB dengan menggunakan metode Fuzzy-Sugeno, tahapan estimasi terbagi menjadi 2 yaitu *training* dan *testing*. Berikut merupakan hasil *training* data hasil pengukuran dari simulasi pada percobaan P1, P2, P3 dengan metode Fuzzy dan GAMF:

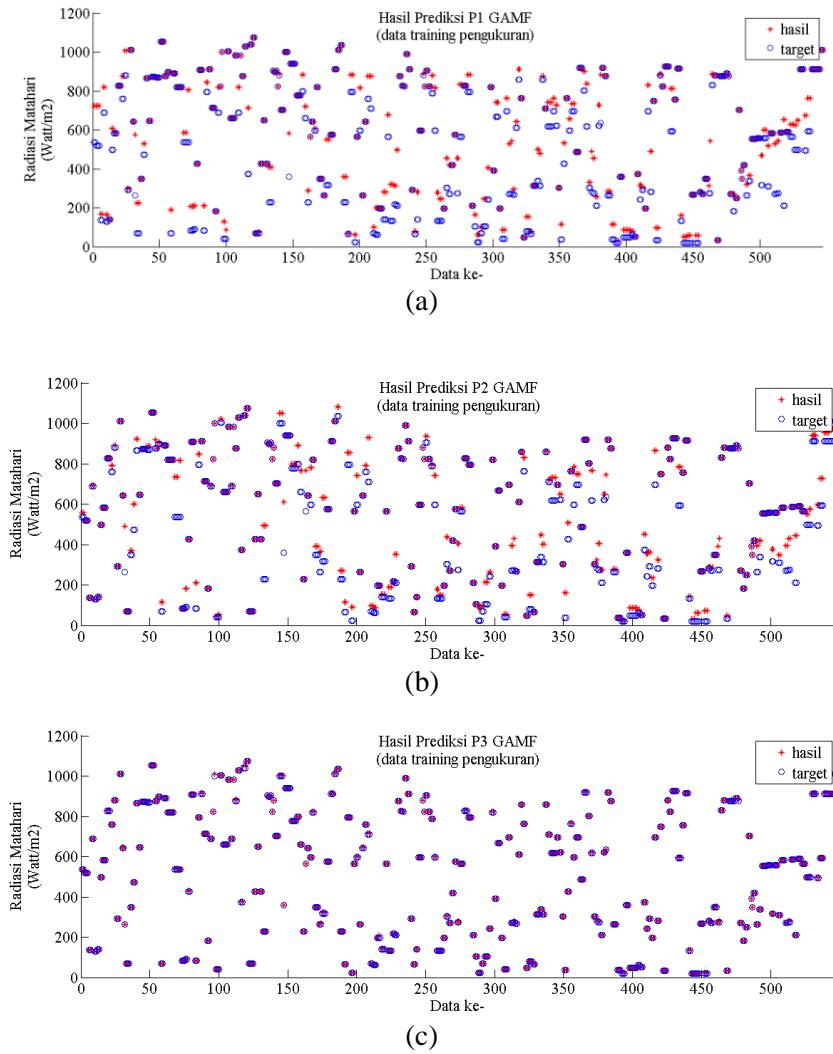


(a)



Gambar 4.5 Hasil Prediksi Fuzzy (data *training* Pengukuran)
(a) P1 (b) P2 (c) P3

Persebaran radiasi matahari target dan radiasi matahari hasil estimasi untuk masing-masing percobaan P1, P2 dan P3. dengan metode Fuzzy ditunjukkan oleh Gambar 4.5. Data yang digunakan adalah data *training* BMKG. Pada Gambar 4.5(a) error maksimal sebesar 226,23, error minimal sebesar 0,36, dan MAE sebesar 140,24. Pada Gambar 4.5(b) error maksimal sebesar 349,39, error minimal sebesar 0,02, dan MAE sebesar 94,45. ada Gambar 4.5(c) error maksimal sebesar 10,62, error minimal sebesar 0,003 dan MAE sebesar 2,94. Sehingga, untuk *training* data menggunakan data BMKG, hasil estimasi terbaik didapatkan ketika menggunakan variasi variabel input sebanyak 4 buah yaitu dengan *input* berupa kelembapan, temperatur, arah angin dan kecepatan angin.



Gambar 4.6 Hasil Prediksi GAMF (data *training* Pengukuran)
 (a) P1 (b) P2 (c) P3

Pada Gambar 4.6 dapat dilihat persebaran radiasi matahari target dan hasil estimasi untuk masing-masing percobaan dengan

metode GAMF. Pada Gambar ini dapat dilihat bahwa persebaran hasil estimasi lebih merata dari pada gambar sebelumnya, hal ini menandakan bahwa hasil estimasi mendekati target yang dituju. Berdasarkan pengolahan data yang dilakukan, metode GAMF memiliki nilai MAE yang lebih kecil jika dibandingkan metode Fuzzy yaitu sebesar 56 ; 35 dan 0 untuk masing-masing variasi input. Jika disajikan dalam prosentase, metode GAMF dapat mengoptimalkan hasil estimasi untuk masing-masing percobaan secara berturut-turut sebesar 30,52% ; 26,59% ; dan 81,63% dibanding metode fuzzy.

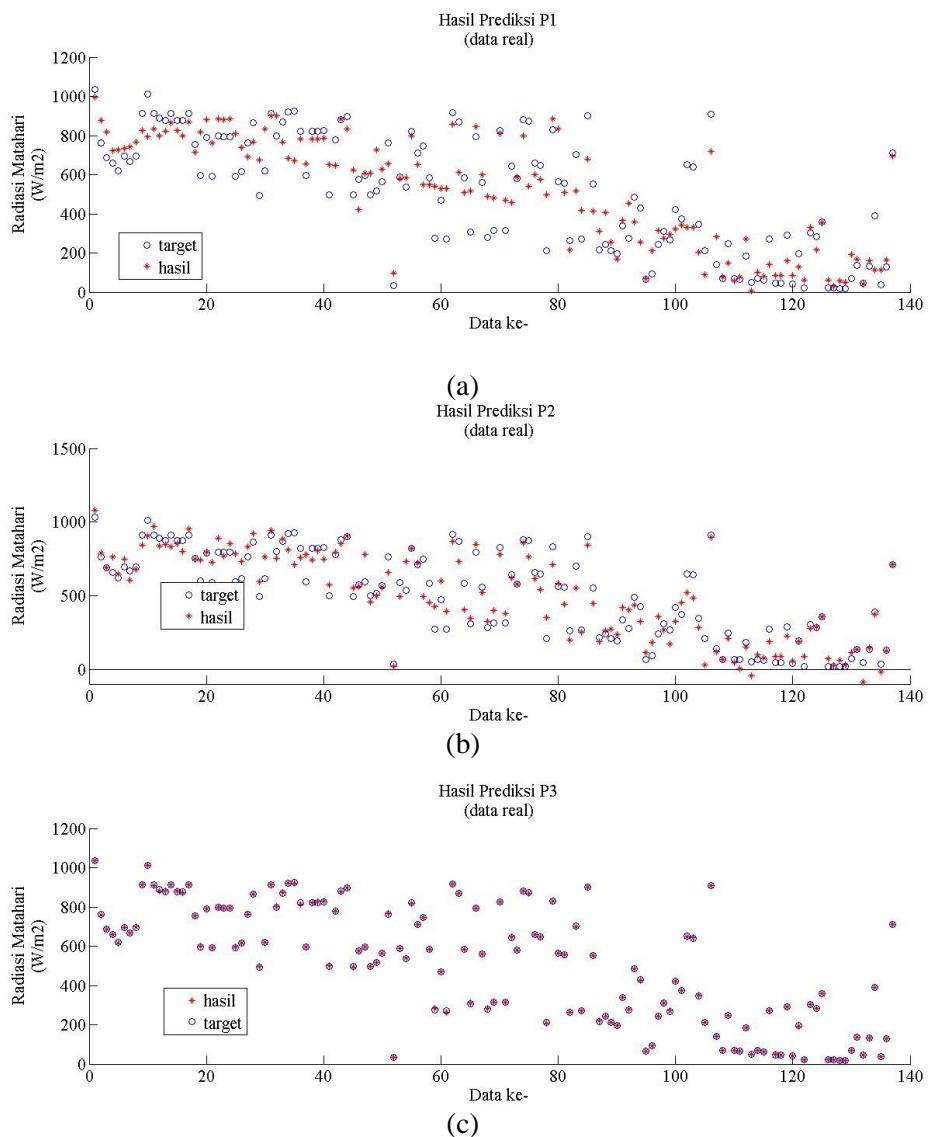
Berdasarkan hasil *training* yang untuk data hasil pengukuran diperoleh perbandingan hasil *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Mean Absolute Error* (MAE) untuk metode Fuzzy dan GAMF ditunjukkan pada Tabel 4.8 berikut :

Tabel 4.8. Analisis RMSE dan MAE Data *training* Pengukuran

P-	Struktur	RMSE (<i>training</i>)		MAE (<i>training</i>)	
		Fuzzy	GAMF	Fuzzy	GAMF
P1	3, Gauss, 100	140,24	97,43	111,60	56,18
P2	3, Gauss, 100	94,45	69,34	69,83	35,21
P3	3, Gauss, 100	2,94	0,54	1,57	0,07

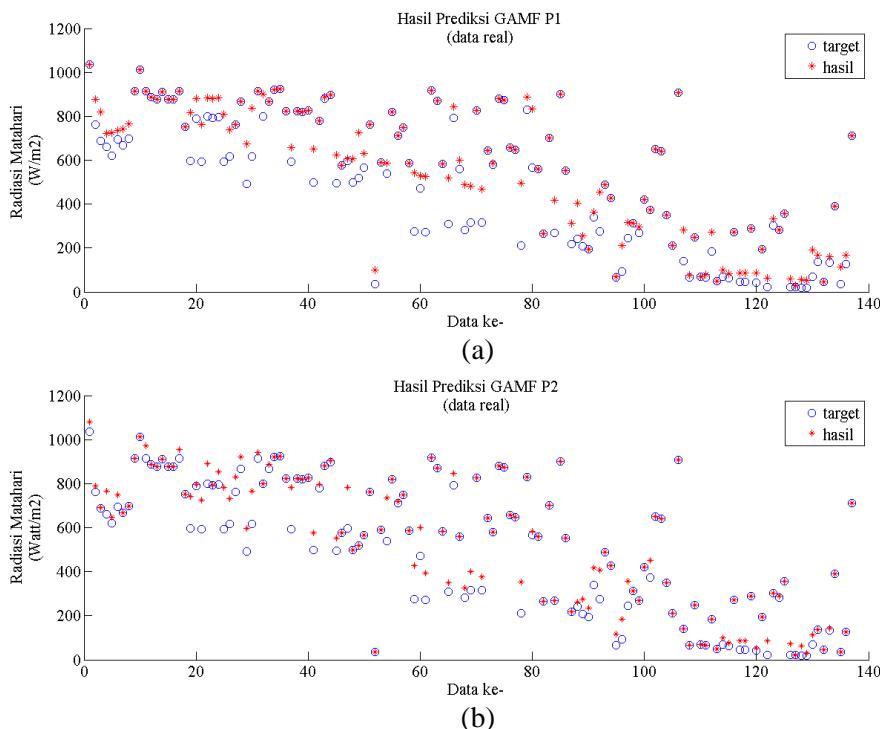
Berdasarkan Tabel 4.8 dapat dilihat terjadi penurunan RMSE dan MAE yang cukup signifikan pada metode GAMF jika dibandingkan dengan metode Fuzzy. RMSE dan MAE terkecil yaitu 0,54 dan 0, diperoleh pada saat variasi input yang diberikan berjumlah 4, yaitu dengan varasi berupa kelembapan, arah angin, temperatur dan kecepatan angin, sehingga hasil estimasi paling optimum untuk *training* data hasil pengukuran yaitu menggunakan percobaan P3 dengan metode GAMF.

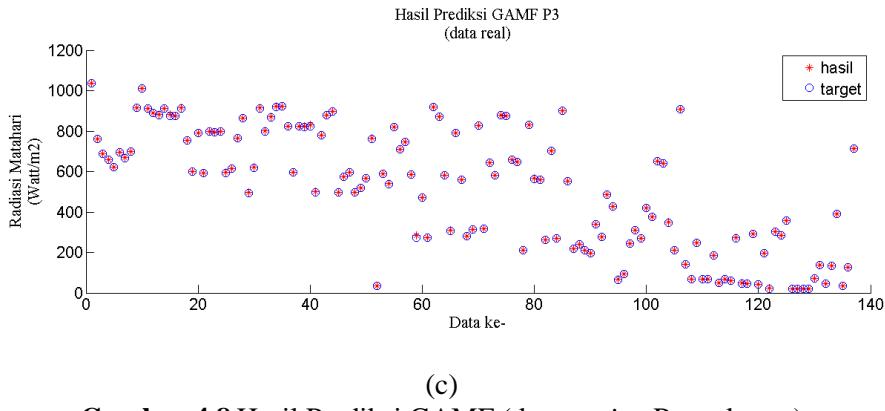
Adapun untuk tahapan estimasi radiasi matahari pada *testing* data hasil pengukuran untuk masing-masing percobaan P1, P2 dan P3 dengan metode Fuzzy dan GAMF dapat dilihat pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 dibawah ini :



Gambar 4.7 Hasil Prediksi Fuzzy (data *testing* Pengukuran)
 (a) P1 (b) P2 (c) P3

Pada Gambar 4.7 dapat dilihat persebaran radiasi matahari target dan hasil estimasi untuk masing-masing percobaan dengan metode Fuzzy. Data yang digunakan adalah data training BMKG. Pada Gambar 4.7(a) error maksimal sebesar 226,2327, error minimal sebesar 0,3642, dan MAE sebesar 126,44. Pada Gambar 4.7(b) error maksimal sebesar 303,0732, error minimal sebesar 0,0213, dan MAE sebesar 8,68. ada Gambar 4.7(c) error maksimal sebesar 9,3783, error minimal sebesar 0,0035, dan MAE sebesar 2,1. Sehingga, untuk training data menggunakan data BMKG, hasil estimasi terbaik didapatkan ketika menggunakan variasi variabel input sebanyak 4 buah.





Gambar 4.8 Hasil Prediksi GAMF (data *testing* Pengukuran)
(a) P1 (b) P2 (c) P3

Pada Gambar 4.8 dapat dilihat persebaran radiasi matahari target dan hasil estimasi untuk masing-masing percobaan dengan metode GAMF. Pada gambar ini dapat dilihat bahwa persebaran hasil estimasi yang ditunjukkan oleh bintang berwarna merah berhimpit target berwarna biru untuk masing-masing data jika dibandingkan dengan Gambar 4.7 saat metode estimasi yang digunakan hanya fuzzy saha, hal ini menandakan bahwa hasil estimasi mendekati target yang dituju. Berdasarkan hasil pemodelan yang ditunjukkan pada gambar 4.8 serta pengolahan data yang dilakukan, metode GAMF memiliki nilai MAE yang lebih kecil jika dibandingkan metode Fuzzy yaitu sebesar 49,85 ; 30,31 dan 0,65 untuk masing-masing variasi input. Jika disajikan dalam persentase, metode GAMF dapat mengoptimalkan hasil estimasi untuk masing-masing percobaan secara berturut-turut sebesar 31,02% ; 32,28% ; dan 31,43% dibanding metode fuzzy.

Berdasarkan hasil estimasi radiasi pada data *testing* hasil pengukuran dan perhitungan data menggunakan *microsoft excel* sehingga diperoleh perbandingan hasil *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Mean Absolute Error* (MAE) untuk metode Fuzzy dan GAMF sebagai berikut :

Tabel 4.9. Analisis RMSE dan MAE Data *testing* Pengukuran

P-	Struktur	RMSE (<i>testing</i>)		MAE (<i>testing</i>)	
		Fuzzy	GAMF	Fuzzy	GAMF
P1	3, Gauss, 100	126,44	87,21	99,31	49,85
P2	3, Gauss, 100	84,68	57,34	65,78	30,31
P3	3, Gauss, 100	2,10	1,44	1,26	0,65

Berdasarkan Tabel 4.9 dapat dilihat terjadi penurunan RMSE dan MAE yang cukup signifikan pada metode GAMF jika dibandingkan dengan metode Fuzzy untuk semua jenis variasi variabel *input*. Pada tabel diketahui nilai RMSE dan MAE terkecil sebesar 1,44 dan 0,65, diperoleh pada saat variasi *input* yang diberikan berjumlah 4 dengan metode GAMF, sehingga hasil estimasi paling optimum untuk data *testing* hasil pengukuran yaitu menggunakan percobaan P3 dengan variabel input kelembapan, temperatur, kecepatan angin dan arah angin.

Hasil estimasi untuk data hasil pengukuran selengkapnya dapat dilihat pada LAMPIRAN C.

“Halaman ini memang dikosongkan”

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan mengenai estimasi radiasi matahari dengan menggunakan metode GAMF, maka dapat ditarik kesimpulan sesuai dengan rumusan masalah penelitian sebagai berikut :

- Parameter estimasi terbaik untuk data BMKG yaitu dengan variasi variabel *input* menggunakan 3 *input* yaitu kelembapan, temperatur dan kecepatan angin. Sedangkan untuk data hasil pengukuran, menggunakan variasi 4 *input* yaitu kelembapan, temperatur, kecepatan angin dan arah angin. Hal tersebut dapat dilihat berdasarkan nilai RMSE dan MAE terkecil.
- Rancangan metode GAMF untuk estimasi radiasi matahari menggunakan Fuzzy jenis Sugeno, dan hasil estimasi yang dihasilkan oleh Fuzzy dioptimasi menggunakan metode algoritma genetik. Pada model Fuzzy jenis fungsi keanggotaan yang digunakan adalah Gaussian dengan jumlah fungsi keanggotaan sebanyak 3. Pada optimasi GA fungsi objektif yang digunakan yaitu *error*, dengan jumlah iterasi sebanyak 100.
- Akurasi hasil estimasi radiasi matahari dengan menggunakan metode GAMF dapat dilihat dari hasil RMSE dan MAE yang dihasilkan. Untuk data BMKG, RMSE dan MAE paling optimum yaitu sebesar 126,61 dan 65. Sedangkan untuk data hasil pengukuran 1,44 dan 0,65.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebelum melakukan pengolahan data, sebaiknya gunakan *software* SPSS untuk mengetahui karakteristik data yang akan digunakan, khususnya untuk data yang berjumlah banyak, seperti data BMKG, langkah tersebut juga dapat mengurangi kemungkinan terjadinya data *missing* dan dapat diketahui pula regresi dari tiap variabel.

“Halaman ini memang dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Abadi, A. Musyafa and A. Soeprijanto, "Extreme Learning Machine Approach to Estimate Hourly Solar Radiation On Horizontal Surface (PV) in Surabaya -East Java," *International Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE)*, vol. 1, pp. 370-374, 2014.
- [2] R. Wardani, "Direktorat Jendral Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi," 14 September 2017. [Online]. Available: <http://ebtke.esdm.go.id>. [Accessed 8 Desember 2017].
- [3] A. Kassem, "Development of Neural Network Model to Estimate Hourly and Diffuse Solar Radiation on Horizontal Surface at Alexandria City (Egypt)," *Applied Science Research*, vol. 5, 2009.
- [4] N. U. Hidayatullah, "Estimasi Radiasi Matahari Perjam Pada Permukaan Horizontal Dengan Extreme Learning Machine (Studi Kasus Di Surabaya)," *Teknik Fisika*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2014.
- [5] I. Abdurrahman, "Estimasi Radiasi Matahari Perjam Pada Permukaan Horizontal Dengan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (Anfis) (Studi Kasus Di Surabaya)," *Teknik Fisika*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017.
- [6] A. W. Duffie and W. A. Beckman., *Solar Engineering Of Thermal Processes*, New York: John Wiley & Sons, 2008.
- [7] A. F. Zobaa and R. Bansal, *Handbook of Renewable Energy Technology*, 2011.
- [8] Planning and Installing Photovoltaic Systems: A guide for installers, architects and engineers., London, Sterling, VA: Earthscan, 2005.

- [9] P. G. Sabrian, "Kajian Potensi Energi Matahari di Pulau Tarakan. Program Studi Meteorologi," Institut Teknologi Bandung. Bandung , 2013.
- [10] V. Quaschning, Understanding Renewable Energy Systems, London, Sterling, VA: Earthscan, 2005.
- [11] S. Abidah, "Analisis Komparasi Metode Tsukamoto dan Sugeno dalam Prediksi Jumlah Siswa Baru," *Jurnal Speed*, vol. 8, 2016.
- [12] I. H. Muna, "Perancangan Aplikasi Fuzzy Inference Systems Untuk Penilaian Kinerja Pegawai Perpustakaan Dan Pustakawan.," UNNES, Semarang, 2005.
- [13] L. P. Ayuningtyas, "Analisa Perbandingan Logic Fuzzy Metode Tsukamoto, Sugeno, Dan Mamdani (Studi Kasus : Prediksi Jumlah Pendaftar Mahasiswa Baru Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung)," *JURNAL TEKNIK INFORMATIKA*, vol. April, p. 9, 2017.
- [14] O. Kisi, "Modeling solar radiation of Mediterranean region in Turkey by using," *Elsevier*, vol. 64, no. Energy, pp. 429-436, 2014.
- [15] H. Sadeghzadeh, "Techno-economic optimization of a shell and tube heat exchanger," *Elsevier*, vol. 93, no. Eergy Conversion and Managemenr, pp. 84-91, 2015.

LAMPIRAN A

MATLAB SCRIPT

1. PROGRAM HASIL ESTIMASI MENGGUNAKAN FUZZY

```
clear all
clc
close all

% Memanggil workspace data yang akan diestimasi
load ('dataaktual.mat')

% Memanggil data fuzzy
% data fuzzy dibuat dengan toolbox fuzzy
% dengan jenis gauss dan jumlah MF 3 iterasi
sebanyak 100
fis1=readfis('m11.fis'); % untuk pengukuran 2
                           input
fis2=readfis('m21.fis'); % untuk pengukuran 3
                           input
fis3=readfis('m32.fis'); % untuk pengukuran 4
                           input
fis4=readfis('p1.fis'); % untuk BMKG 2 input
fis5=readfis('p2.fis'); % untuk BMKG 2 input
fis6=readfis('p31.fis'); % untuk BMKG 2 input

% ESTIMASI DATA TRAINING
% membuat matriks data input
input1=real(:,3:4); % pengukuran 2 input
input2=real(:,2:4); % pengukuran 3 input
input3=real(:,1:4); % pengukuran 4 input
input4=bmkg(:,3:4); % BMKG 2 input
input5=bmkg(:,2:4); % BMKG 3 input
input6=bmkg(:,1:4); % BMKG 4 input

% hasil estimasi radiasi matahari
output1=evalfis(input1,fis1); % pengukuran 2
                               input
```

```

output2=evalfis(input2,fis2); % pengukuran 3
                                input
output3=evalfis(input3,fis3); % pengukuran 4
                                input
output4=evalfis(input4,fis4); % BMKG 2 input
output5=evalfis(input5,fis5); % BMKG 3 input
output6=evalfis(input6,fis6); % BMKG 4 input
outreal=[output1 output2 output3];
outbmkg=[output4 output5 output6];

% ESTIMASI DATA Testing
% membuat matriks data input
input7=real1(:,3:4); % pengukuran 2 input
input8=real1(:,2:4); % pengukuran 3 input
input9=real1(:,1:4); % pengukuran 4 input
input10=bmkg1(:,3:4); % BMKG 2 input
input11=bmkg1(:,2:4); % BMKG 3 input
input12=bmkg1(:,1:4); % BMKG 4 input

% hasil estimasi radiasi matahari
output7=evalfis(input1,fis1); % pengukuran 2
                                input
output8=evalfis(input2,fis2); % pengukuran 3
                                input
output9=evalfis(input3,fis3); % pengukuran 4
                                input
output10=evalfis(input4,fis4); % BMKG 2 input
output11=evalfis(input5,fis5); % BMKG 3 input
output12=evalfis(input6,fis6); % BMKG 4 input
outreal=[output7 output8 output9];
outbmkg=[output10 output11 output12];

% selanjutnya hasil estimasi diolah dengan excel
untuk dihitung RMSE dan MAE, dilanjutkan dengan
optimasi menggunakan GA

```

2. FUNGSI OBJEKTIF

```

function [gamf] = ofsart(x,y)
%Variabel - variabel Konstan
er=x(1);

```

```
%MEMANGGIL DATA AKTUAL
load ('dataradiasi.mat')

ac = realtest;
% data disesuaikan dengan variabel yang akan
dioptimasi
% realtest/realtrain/bmkgtest/bmkgtrain
```

```
% Persamaan
gamf = ac(y) - er* ac(y);
end
```

3. PROGRAM OPTIMASI MENGGUNAKAN *GENETIC ALGORITHM*

```
%GENETIC ALGORITHM%
clear clc
clc
close all
```

```
% Constrain
% memanggil matriks constrain
% raa = batas bawah constraint
% rbb = batas atas constraint
% disesuaikan untuk masing masing percobaan
load ('prop.mat')
```

```
%Pembangkitan Populasi dan Parameter
Npop      = 200;      %populasi
Maxit     = 100;      %generasi
el        = 0.90;     %elatism
Pc        = 0.8;      %probabilitas crossover
Pm        = 0.01;     %probabilitas mutasi
Nvar      = 1;        %jumlah variabel desain yang
dioptimasi
Nbit      = 20;       %jumlah bit
```

```
for dt=1:137      %jumlah data
```

```

eBangkit      = [];
rb            = rbb(dt);
ra            = raa(dt);
Individu      = [];
eIndividu     = [];
david         = [];
Dadatfit     = [];
Datfit        = [];
summary       = [];
eDadatfit    = [];
efitnessmax  = [];
eIndividuMax = [];

Bangkit = round(rand(Npop,Nbit*Nvar));
popsize = size(Bangkit,1);

tic
for i = 1:Nvar
    batas(i) = ra(i)-rb(i);
end
for i =1:Npop
    for j = 1:Nvar
        Desimal(i,j) =
bi2de(Bangkit(i,((j*Nbit)-(Nbit-
1)):(j*Nbit)), 'left-msb');
        Individu(i,j) =
(Desimal(i,j)*batas(:,j)-
batas(:,j)+rb(:,j)*(2^Nbit-1))/(2^Nbit-1);
    end
end

Datfit=[];
variabel = [];
for i = 1:size(Individu,1)
    fitness = ofsart(Individu(i,:),dt);
    Datfit= [Datfit;fitness];
    [fitemax,nmax]=max(Datfit);
end

Dadatfit = [];

```

```

for generasi=1:Maxit
    disp('GA processing')
    clear command windows
    clear command history
    clear memory

    if generasi > 1
        sort_fit = sortrows(sort,Nbit*Nvar+1);
        Individul = sort_fit(round((1-
el)*Npop+1):Npop,:);
        remain =
        sort_fit(round(el*Npop)+1:Npop,:);

        X = Individul;
        M = size(X,1);

        sumfitness = sum(Datfit);
        for i=1:M
            Prob(i) = Datfit(i)/sumfitness;
        end
        for i=2:M
            Prob(i) = Prob(i)+Prob(i-1);
        end
        for i=1:M
            n=rand;
            k=1;
            for j=1:M-1
                if (n>Prob(j))
                    k=j+1;
                end
            end
            Xparents(i,:) = X(k,:);
        end

%Crossover
        [M,d] = size(Xparents);
        Xcrossed = Xparents;
        for i=1:2:M-1
            c=rand;
            if (c<=Pc)

```

```

        p=ceil((d-1)*rand);
        Xcrossed(i,:) = [Xparents(i,1:p)
Xparents(i+1,p+1:d)];
        Xcrossed(i+1,:) =
[Xparents(i+1,1:p) Xparents(i,p+1:d)];
    end
end
if (M/2~=floor(M/2))
c=rand;
if (c<=Pc)
    p=ceil((d-1)*rand);
    str=ceil((M-1)*rand);
    Xcrossed(M,:) = [Xparents(M,1:p)
Xparents(str,p+1:d)]; %the first child is chosen
end
end

%Mutasi
[M,d] = size(Xcrossed);
Xnew=Xcrossed;
for i=1:M
    for j=1:d
        p=rand;
        if (p<=Pm)
            Xnew(i,j)=1-Xcrossed(i,j);
        end
    end
end
disp('New fitness calculation');

Bangkit =
[Xnew(:,1:Nbit*Nvar);remain(:,1:Nbit*Nvar)];
end
eBangkit = [eBangkit; Bangkit];

for i =1:Npop
    for j = 1:Nvar;

```

```

        Desimal(i,j) =
bi2de(Bangkit(i,((j*Nbit)-(Nbit-
1)):(j*Nbit)),'left-msb');
        Individu(i,j) =
(Desimal(i,j)*batas(:,j)-
batas(:,j)+rb(:,j)*(2^Nbit-1))/(2^Nbit-1);
    end
end

Datfit = [];
for i = 1:Npop
    fitness = ofsart(Individu(i,:),dt);
    Datfit = [Datfit;fitness];
    [fitemax,nmax] = max(Datfit);
end

Dadatfit = Datfit;
eDadatfit = [eDadatfit;Dadatfit];
eIndividu = [eIndividu;Individu];
[fitnessmax,nmax] = max(eDadatfit);
efitnessmax = [efitnessmax;fitnessmax];
BangkitMax = eBangkit(nmax,:);
IndividuMax = eIndividu(nmax,:);
eIndividuMax = [eIndividuMax;IndividuMax];
BangkitMaxlast = BangkitMax;
schedmax = BangkitMax;
sort = [Bangkit Dadatfit];
summary = [summary; sort];
david = [david; Dadatfit];
clc
min_variable_design(dt)=eIndividuMax(1,:)
min_objective_function(dt)=fitness(1,:)

end
time(dt)= toc
save gatesting1.mat %menyimpan file
end

```

“Halaman ini memang dikosongkan”

LAMPIRAN B
DATA HASIL PENGUKURAN

Data ke-	Temperatur (°C)	Kec. Angin (m/s)	Kelembapan (%)	Arah angin (°)	Radiasi matahari (Watt/m ²)
1	45,00	3,53	34,20	21,20	538,00
2	315,00	2,32	28,20	73,90	127,50
3	101,25	0,49	34,80	19,10	825,50
4	45,00	0,67	31,80	33,10	644,20
5	112,25	1,30	34,60	17,80	865,50
6	11,25	1,25	34,60	13,20	1052,00
7	191,25	1,12	34,80	29,10	888,50
8	202,50	1,12	30,60	15,30	538,00
9	112,25	1,03	34,60	50,70	909,20
10	213,25	0,98	32,50	77,20	712,20
11	56,25	0,94	36,80	36,80	1002,00
12	45,00	0,94	30,20	27,00	981,90
13	11,25	0,94	32,80	15,00	1073,00
14	11,25	0,89	24,80	45,30	428,40
15	11,25	0,89	28,60	38,40	701,50
16	78,75	0,89	36,70	26,30	938,90
17	315,00	0,85	32,70	67,40	227,40
18	135,00	0,80	25,50	50,80	348,40
19	157,50	0,80	38,20	15,90	912,50
20	11,25	0,76	22,80	46,10	65,60
21	78,75	0,58	35,60	16,50	598,20
22	33,75	0,45	23,00	52,70	67,90
23	213,25	0,63	34,50	51,10	566,00
24	45,00	0,63	29,60	34,30	874,60
25	56,25	0,27	22,80	52,20	67,40
26	33,75	0,58	28,40	21,70	906,00
27	326,25	0,54	28,10	56,50	131,10
28	135,00	0,49	27,80	42,50	576,00
29	303,75	0,49	38,20	16,80	794,30
30	33,75	0,45	23,00	52,70	67,90
31	101,52	0,42	23,40	73,20	389,80
32	112,25	0,27	35,60	13,60	697,40

Data ke-	Temperatur (°C)	Kec. Angin (m/s)	Kelembapan (%)	Arah angin (°)	Radiasi matahari (Watt/m²)
33	337,50	0,31	32,20	17,50	763,50
34	22,50	0,27	31,50	47,30	311,60
35	67,50	0,27	34,20	17,10	615,60
36	45,00	0,22	23,40	73,30	35,50
37	112,25	0,22	34,20	12,70	693,60
38	56,25	0,18	35,60	18,20	617,50
39	0,00	0,13	35,70	38,40	633,80
40	45,00	0,09	23,40	73,30	35,50
41	78,75	0,09	22,80	54,40	46,90
42	22,50	0,09	29,50	46,70	244,20
43	315,00	0,09	32,00	24,50	747,80
44	112,25	0,09	31,60	18,70	924,60
45	281,25	0,04	24,20	68,40	133,50
46	11,25	0,04	27,20	58,30	269,30
47	22,50	0,04	24,40	49,20	348,40
48	157,50	0,04	35,40	16,00	876,20
49	258,75	0,00	28,10	52,20	184,20
50	303,75	0,00	25,60	45,10	264,20
51	11,25	0,00	31,40	32,60	315,90
52	112,25	0,00	31,60	26,40	271,60
53	225,00	0,00	32,20	22,60	590,00
54	90,00	0,00	38,20	18,40	912,70
55	157,50	0,00	38,60	16,00	913,40
56	45,00	3,53	34,20	21,20	538,00
57	315,00	2,06	26,60	68,80	140,90
58	90,00	1,65	32,20	11,30	760,00
59	123,75	1,39	27,80	36,20	264,20
60	78,75	1,25	27,80	36,10	646,70
61	11,25	1,25	34,60	13,20	1052,00
62	157,50	0,04	35,90	15,90	888,50
63	202,50	1,12	30,60	15,30	538,00
64	112,25	1,03	34,60	50,70	909,20
65	157,50	0,98	25,40	64,80	184,20
66	56,25	0,94	36,80	36,80	1002,00
67	157,50	0,04	36,00	16,00	876,50

Data ke-	Temperatur (°C)	Kec. Angin (m/s)	Kelembapan (%)	Arah angin (°)	Radiasi matahari (Watt/m²)
68	11,25	0,89	22,60	51,90	68,90
69	56,25	0,89	27,40	44,20	227,40
70	11,25	0,89	28,60	38,40	701,50
71	78,75	0,89	36,70	26,30	938,90
72	315,00	0,85	32,70	67,40	227,40
73	135,00	0,80	25,50	50,80	348,40
74	157,50	0,80	38,20	15,90	912,50
75	11,25	0,76	22,80	46,10	65,60
76	135,00	0,72	23,60	38,30	264,20
77	22,50	0,63	24,80	61,00	61,20
78	213,25	0,63	34,50	51,10	566,00
79	225,00	0,63	35,60	32,00	826,00
80	56,25	0,27	22,80	52,20	67,40
81	101,25	0,58	34,80	18,80	823,00
82	326,25	0,54	28,10	56,50	131,10
83	135,00	0,49	27,80	42,50	576,00
84	303,75	0,49	38,20	16,80	794,30
85	33,75	0,45	23,00	52,70	67,90
86	112,25	0,40	35,40	12,80	667,30
87	112,25	0,00	31,60	26,40	271,60
88	337,50	0,31	32,20	17,50	763,50
89	22,50	0,27	31,50	47,30	311,60
90	67,50	0,27	34,20	17,10	615,60
91	45,00	0,22	23,40	73,30	35,50
92	157,50	0,18	32,10	42,50	487,40
93	33,75	0,13	30,80	56,30	304,20
94	11,25	0,13	36,30	27,00	918,30
95	56,25	0,09	22,40	57,90	20,90
96	78,75	0,09	22,80	54,40	46,90
97	213,25	0,09	29,80	46,60	290,60
98	67,50	0,09	24,60	22,50	34,00
99	112,25	0,09	31,60	18,70	924,60
100	281,25	0,04	24,20	68,40	133,50
101	45,00	0,04	22,60	57,30	21,10
102	67,50	0,04	29,80	46,20	272,50

Data ke-	Temperatur (°C)	Kec. Angin (m/s)	Kelembapan (%)	Arah angin (°)	Radiasi matahari (Watt/m²)
103	157,50	0,04	36,00	16,00	876,50
104	11,25	0,00	23,60	51,70	248,20
105	303,75	0,00	25,60	42,00	338,60
106	11,25	0,00	31,40	32,60	315,90
107	112,25	0,00	31,60	26,40	271,60
108	225,00	0,00	32,20	22,60	590,00
109	90,00	0,00	38,20	18,40	912,70
110	157,50	0,00	38,60	16,00	913,40
111	45,00	3,40	34,20	21,10	518,00
112	315,00	2,06	26,60	68,80	140,90
113	90,00	1,65	32,20	11,30	760,00
114	11,25	1,34	24,40	44,50	70,00
115	78,75	1,25	27,80	36,10	646,70
116	11,25	1,25	34,60	13,20	1052,00
117	67,50	1,12	35,00	22,90	819,50
118	22,50	1,07	24,40	52,50	82,10
119	326,25	1,03	24,40	46,60	82,10
120	157,50	0,98	25,40	64,80	184,20
121	78,75	0,94	27,80	34,70	658,70
122	157,50	0,04	36,00	16,00	876,50
123	11,25	0,89	22,60	51,90	68,90
124	56,25	0,89	27,40	44,20	227,40
125	11,25	0,89	28,60	38,40	701,50
126	337,50	0,89	32,60	19,20	778,20
127	337,50	0,85	29,20	58,00	564,90
128	135,00	0,80	23,60	38,70	264,20
129	157,50	0,80	38,20	15,90	912,50
130	303,75	0,76	38,20	16,90	796,40
131	135,00	0,72	23,60	38,30	264,20
132	22,50	0,63	24,80	61,00	61,20
133	337,50	0,63	28,20	48,60	133,50
134	225,00	0,63	35,60	32,00	826,00
135	11,25	0,58	28,20	51,20	140,90
136	101,25	0,58	34,80	18,80	823,00
137	135,00	0,54	23,20	55,60	195,10

Data ke-	Temperatur (°C)	Kec. Angin (m/s)	Kelembapan (%)	Arah angin (°)	Radiasi matahari (Watt/m²)
138	135,00	0,49	27,60	42,20	276,00
139	303,75	0,49	38,20	16,80	794,30
140	315,00	0,45	24,80	46,30	104,30
141	112,25	0,40	35,40	12,80	667,30
142	112,25	0,00	31,60	26,40	271,60
143	35,75	0,27	22,80	64,90	47,00
144	281,25	0,27	32,70	31,60	338,60
145	67,50	0,27	34,20	17,10	615,60
146	281,25	0,22	33,30	37,60	428,40
147	157,50	0,18	32,10	42,50	487,40
148	33,75	0,13	30,80	56,30	304,20
149	11,25	0,13	36,30	27,00	918,30
150	56,25	0,09	22,40	57,90	20,90
151	78,75	0,09	22,80	54,40	46,90
152	213,25	0,09	29,80	46,60	290,60
153	67,50	0,09	24,60	22,50	34,00
154	112,25	0,09	35,40	16,90	594,20
155	56,25	0,04	22,60	59,30	18,40
156	45,00	0,04	22,60	57,30	21,10
157	112,25	0,00	31,80	25,00	274,60
158	157,50	0,04	36,00	16,00	876,50
159	11,25	0,00	23,60	51,70	248,20
160	303,75	0,00	25,60	42,00	338,60
161	281,25	0,00	26,80	29,40	559,20
162	112,25	0,00	31,80	25,00	274,60
163	90,00	0,00	33,20	21,80	566,40
164	90,00	0,00	38,20	18,40	912,70
165	157,50	0,00	38,60	14,30	913,20
166	45,00	3,40	34,20	21,10	518,00
167	303,75	1,83	32,20	21,10	497,70
168	213,25	1,61	35,60	45,50	878,90
169	11,25	1,34	24,40	44,50	70,00
170	90,00	1,25	33,60	27,40	870,70
171	315,00	1,21	33,60	32,10	874,60
172	67,50	1,12	35,00	22,90	819,50

Data ke-	Temperatur (°C)	Kec. Angin (m/s)	Kelembapan (%)	Arah angin (°)	Radiasi matahari (Watt/m²)
173	22,50	1,07	24,40	52,50	82,10
174	326,25	1,03	24,40	46,60	82,10
175	78,75	2,50	32,80	11,50	688,50
176	78,75	0,94	27,80	34,70	658,70
177	202,50	0,94	36,60	16,30	1028,00
178	22,50	0,89	22,80	51,30	67,50
179	56,25	0,89	27,40	44,20	227,40
180	56,25	0,89	36,20	36,20	999,90
181	337,50	0,89	32,60	19,20	778,20
182	123,75	0,85	27,40	48,30	641,20
183	135,00	0,80	23,60	38,60	264,20
184	45,00	0,80	31,80	13,70	1012,00
185	303,75	0,76	38,20	16,90	796,40
186	45,00	0,67	31,80	33,10	644,20
187	22,50	0,63	24,80	61,00	61,20
188	337,50	0,63	28,20	48,60	133,50
189	101,25	0,58	34,80	18,80	823,00
190	11,25	0,58	28,20	51,20	140,90
191	303,75	0,58	38,60	16,70	789,40
192	135,00	0,54	23,20	55,60	195,10
193	135,00	0,49	27,60	42,20	276,00
194	123,75	0,45	23,00	49,50	210,90
195	315,00	0,45	24,80	46,30	104,30
196	112,25	0,40	35,40	12,80	667,30
197	112,25	0,00	31,80	25,00	274,60
198	35,75	0,27	22,80	64,90	47,00
199	281,25	0,27	32,70	31,60	338,60
200	67,50	0,27	34,20	17,10	615,60
201	281,25	0,22	33,30	37,60	428,40
202	157,50	0,18	32,10	42,50	487,40
203	112,25	0,09	31,40	30,60	280,80
204	157,50	0,04	35,40	16,00	876,20
205	56,25	0,09	22,40	57,90	20,90
206	78,75	0,09	22,80	53,00	61,20
207	281,25	0,09	23,60	41,80	194,70

Data ke-	Temperatur (°C)	Kec. Angin (m/s)	Kelembapan (%)	Arah angin (°)	Radiasi matahari (Watt/m²)
208	67,50	0,09	24,60	22,50	34,00
209	112,25	0,09	35,40	16,90	594,20
210	56,25	0,04	22,60	59,30	18,40
211	45,00	0,04	22,60	57,30	21,10
212	90,00	0,04	36,10	36,90	829,90
213	157,50	0,04	35,80	15,00	877,20
214	11,25	0,89	28,60	38,40	701,50
215	0,00	0,00	30,20	39,80	553,60
216	281,25	0,00	26,80	29,40	559,20
217	112,25	0,00	31,80	25,00	274,60
218	90,00	0,00	33,20	21,80	566,40
219	101,25	0,00	32,20	18,10	493,40
220	157,50	0,00	38,60	14,30	913,20
221	45,00	3,40	34,20	21,10	518,00
222	303,75	1,83	32,20	21,10	497,70
223	213,25	1,61	35,60	45,50	878,90
224	11,25	1,34	24,40	44,50	70,00
225	90,00	1,25	33,60	27,40	870,70
226	45,00	0,63	29,60	34,30	874,60
227	67,50	1,12	35,00	22,90	819,50
228	22,50	1,07	24,40	52,50	82,10
229	56,25	1,03	36,20	28,80	792,60
230	78,75	2,50	32,80	11,50	688,50
231	78,75	0,94	27,80	34,70	658,70
232	202,50	0,94	36,60	16,30	1028,00
233	22,50	0,89	22,80	51,30	67,50
234	112,25	0,89	34,20	38,70	906,00
235	56,25	0,89	36,20	36,20	999,90
236	337,50	0,89	32,60	19,20	778,20
237	123,75	0,85	27,40	48,30	641,20
238	22,50	0,80	28,80	36,40	315,90
239	45,00	0,80	31,80	13,70	1012,00
240	303,75	0,76	38,20	16,90	796,40
241	45,00	0,67	31,80	33,10	644,20
242	135,00	0,63	23,20	55,50	194,70

Data ke-	Temperatur (°C)	Kec. Angin (m/s)	Kelembapan (%)	Arah angin (°)	Radiasi matahari (Watt/m²)
243	337,50	0,63	28,20	48,60	133,50
244	56,25	0,63	36,20	23,90	990,50
245	90,00	0,58	27,20	42,80	595,00
246	303,75	0,58	38,60	16,70	789,40
247	135,00	0,54	27,60	42,10	304,20
248	11,25	0,49	35,40	37,10	564,90
249	123,75	0,45	23,00	49,50	210,90
250	315,00	0,45	24,80	46,30	104,30
251	123,75	0,38	23,40	55,60	195,10
252	90,00	0,31	29,80	47,40	269,30
253	337,50	0,27	23,60	53,40	79,00
254	112,25	0,27	31,40	31,40	314,90
255	112,25	0,27	35,60	13,60	697,40
256	78,75	0,22	33,60	22,40	762,90
257	112,25	0,18	31,40	18,60	920,00
258	135,00	0,49	27,60	42,20	276,00
259	157,50	0,04	35,40	16,00	876,20
260	337,50	0,09	34,20	57,20	357,60
261	78,75	0,09	22,80	53,00	61,20
262	281,25	0,09	23,60	41,80	194,70
263	101,25	0,09	36,50	19,50	880,30
264	112,25	0,09	35,40	16,90	594,20
265	56,25	0,04	22,60	59,30	18,40
266	326,25	0,04	24,80	57,00	283,30
267	90,00	0,04	36,10	36,90	829,90
268	157,50	0,04	35,90	15,90	888,50
269	11,25	0,89	28,60	38,40	701,50
270	0,00	0,00	30,20	39,80	553,60
271	281,25	0,00	26,80	29,40	559,20
272	247,50	0,00	32,20	24,50	585,70
273	90,00	0,00	33,20	21,80	566,40
274	101,25	0,00	32,20	18,10	493,40
275	157,50	0,00	38,60	14,30	913,20
276	281,25	2,95	25,20	63,40	137,20
277	292,50	1,65	26,80	33,30	581,20

Data ke-	Temperatur (°C)	Kec. Angin (m/s)	Kelembapan (%)	Arah angin (°)	Radiasi matahari (Watt/m²)
278	337,50	1,43	32,00	57,50	290,60
279	337,50	1,30	32,20	58,80	348,40
280	123,75	1,25	34,60	19,30	870,70
281	33,75	1,21	35,40	19,90	898,50
282	67,50	1,12	35,00	22,90	819,50
283	326,25	1,07	24,40	46,60	92,30
284	56,25	1,03	36,20	28,80	792,60
285	101,25	0,58	34,80	18,80	823,00
286	78,75	0,94	27,80	34,70	658,70
287	33,75	0,94	28,80	15,30	375,20
288	11,25	0,89	24,80	45,30	428,40
289	123,75	0,89	34,20	38,70	898,50
290	56,25	0,89	36,20	36,20	999,90
291	337,50	0,89	32,60	19,20	778,20
292	213,25	0,85	32,20	21,10	595,00
293	22,50	0,80	28,80	36,40	315,90
294	33,75	0,80	32,00	8,50	1035,00
295	56,25	0,45	22,60	56,00	21,80
296	90,00	1,65	32,20	11,30	760,00
297	135,00	0,63	23,20	55,40	194,70
298	67,50	0,63	24,80	40,10	217,20
299	56,25	0,63	36,20	23,90	990,50
300	90,00	0,58	27,20	42,80	595,00
301	78,75	0,58	35,60	16,50	598,20
302	135,00	0,54	27,60	42,10	304,20
303	11,25	0,49	35,40	37,10	564,90
304	157,50	0,45	24,20	84,20	104,30
305	303,75	0,45	25,80	40,60	241,50
306	123,75	0,38	23,40	55,60	195,10
307	90,00	0,31	29,80	47,40	269,30
308	337,50	0,27	23,60	53,40	79,00
309	112,25	0,27	31,40	31,40	314,90
310	112,25	0,27	35,60	13,60	697,40
311	78,75	0,22	33,60	22,40	762,90
312	112,25	0,18	31,40	18,60	920,00

Data ke-	Temperatur (°C)	Kec. Angin (m/s)	Kelembapan (%)	Arah angin (°)	Radiasi matahari (Watt/m²)
313	135,00	0,49	27,60	42,20	276,00
314	11,25	0,11	29,10	55,80	264,20
315	337,50	0,09	34,20	57,20	357,60
316	45,00	0,09	22,00	52,50	50,00
317	56,25	0,09	35,80	33,40	693,60
318	101,25	0,09	36,50	19,50	880,30
319	315,00	0,09	32,20	16,50	753,50
320	56,25	0,04	22,60	58,00	18,80
321	326,25	0,04	24,80	57,00	283,30
322	101,25	0,04	35,30	34,30	879,70
323	157,50	0,04	35,90	15,90	888,50
324	101,52	0,42	23,40	73,20	389,80
325	0,00	0,00	30,20	39,80	553,60
326	112,25	0,00	31,20	28,30	307,90
327	247,50	0,00	32,20	24,50	585,70
328	101,25	0,00	32,20	20,20	496,50
329	90,00	0,00	34,60	16,70	592,40
330	56,25	0,00	36,20	14,20	1012,00
331	281,25	2,95	25,20	63,40	137,20
332	292,50	1,65	26,80	33,30	581,20
333	337,50	1,43	32,00	57,50	290,60
334	337,50	1,30	32,20	58,80	348,40
335	123,75	1,25	34,60	19,30	870,70
336	33,75	1,21	35,40	19,90	898,50
337	67,50	1,12	35,00	22,90	819,50
338	326,25	1,07	24,40	46,60	92,30
339	56,25	1,03	36,20	20,30	912,40
340	56,25	0,98	37,10	37,10	999,90
341	45,00	0,94	30,20	27,00	981,90
342	33,75	0,94	28,80	15,30	375,20
343	11,25	0,89	24,80	45,30	428,40
344	123,75	0,89	34,20	38,70	898,50
345	11,25	0,89	27,40	35,50	357,60
346	303,75	0,89	38,60	16,80	798,00
347	213,25	0,85	32,20	21,10	595,00

Data ke-	Temperatur (°C)	Kec. Angin (m/s)	Kelembapan (%)	Arah angin (°)	Radiasi matahari (Watt/m²)
348	22,50	0,80	28,80	36,40	315,90
349	33,75	0,80	32,00	8,50	1035,00
350	56,25	0,45	22,60	56,00	21,80
351	90,00	1,65	32,20	11,30	760,00
352	135,00	0,63	23,20	55,40	194,70
353	67,50	0,63	24,80	40,10	217,20
354	56,25	0,63	36,20	19,10	912,40
355	90,00	0,58	27,20	42,80	595,00
356	78,75	0,58	35,60	16,50	598,20
357	191,25	0,54	25,60	38,60	269,60
358	11,25	0,49	35,40	37,10	564,90
359	157,50	0,45	24,20	84,20	104,30
360	303,75	0,45	25,80	40,60	241,50
361	78,75	0,36	22,80	55,00	42,20
362	303,75	0,31	34,00	38,50	612,10
363	337,50	0,27	23,60	53,40	79,00
364	258,75	0,27	38,00	26,00	858,70
365	112,25	0,27	35,60	12,00	620,20
366	202,50	0,22	32,20	18,80	594,50
367	112,25	0,18	31,40	18,60	920,00
368	78,75	0,13	24,40	41,20	209,50
369	11,25	0,11	29,10	55,80	264,20
370	337,50	0,09	34,20	57,20	357,60
371	45,00	0,09	22,00	52,50	50,00
372	56,25	0,09	35,80	33,40	693,60
373	101,25	0,09	34,80	18,90	822,40
374	315,00	0,09	32,20	16,50	753,50
375	56,25	0,04	22,60	58,00	18,80
376	326,25	0,04	24,60	55,90	269,60
377	101,25	0,04	35,30	34,30	879,70
378	157,50	0,04	35,80	15,00	877,20
379	22,50	0,00	24,40	49,40	348,40
380	0,00	0,00	30,20	39,80	553,60
381	112,25	0,00	31,20	28,30	307,90
382	247,50	0,00	32,20	24,50	585,70

Data ke-	Temperatur (°C)	Kec. Angin (m/s)	Kelembapan (%)	Arah angin (°)	Radiasi matahari (Watt/m²)
383	101,25	0,00	32,20	20,20	496,50
384	90,00	0,00	34,60	16,70	592,40
385	56,25	0,00	36,20	14,20	1012,00
386	78,75	2,50	32,80	11,50	688,50
387	292,50	1,65	26,80	33,30	581,20
388	67,50	1,43	31,40	14,20	1012,00
389	326,25	1,30	32,20	26,00	470,90
390	123,75	1,25	34,60	18,50	867,50
391	123,75	1,12	25,10	61,40	70,10
392	67,50	1,12	32,60	22,70	538,00
393	11,25	1,07	24,80	45,20	428,40
394	56,25	1,03	36,20	20,30	912,40
395	337,50	0,94	23,60	72,20	42,20
396	45,00	0,94	30,20	27,00	981,90
397	11,25	0,94	32,80	15,10	1040,00
398	135,00	0,89	27,80	48,10	650,30
399	112,25	0,89	34,20	38,70	906,00
400	78,75	0,89	36,70	26,30	939,00
401	303,75	0,89	38,60	16,80	798,00
402	90,00	0,85	34,80	19,00	821,00
403	67,50	0,80	26,80	20,50	576,00
404	45,00	0,76	33,00	49,80	227,40
405	337,50	0,72	29,20	58,70	564,90
406	45,00	0,67	36,20	23,20	710,00
407	33,75	0,63	28,30	51,20	140,90
408	15,00	0,63	33,00	36,80	211,20
409	56,25	0,63	36,20	19,10	912,40
410	101,25	0,09	36,50	19,50	880,30
411	56,25	0,54	28,50	58,50	133,50
412	191,25	0,54	25,60	38,60	269,60
413	101,25	0,49	34,80	19,10	825,50
414	56,25	0,45	22,60	56,00	21,80
415	90,00	0,85	34,80	19,00	821,00
416	78,75	0,36	22,80	55,00	42,20
417	303,75	0,31	34,00	38,50	612,10

Data ke-	Temperatur (°C)	Kec. Angin (m/s)	Kelembapan (%)	Arah angin (°)	Radiasi matahari (Watt/m²)
418	56,25	0,27	22,80	52,20	67,40
419	258,75	0,27	38,00	26,00	858,70
420	112,25	0,27	35,60	12,00	620,20
421	202,50	0,22	32,20	18,80	594,50
422	303,75	0,18	38,60	18,40	799,80
423	78,75	0,13	24,40	41,20	209,50
424	11,25	0,11	29,10	55,80	264,20
425	78,75	0,09	22,80	54,50	47,00
426	258,75	0,09	32,60	47,60	375,20
427	112,25	0,09	31,40	30,60	280,80
428	101,25	0,09	34,80	18,90	822,40
429	157,50	0,09	38,20	14,10	914,00
430	56,25	0,04	22,60	58,00	18,80
431	326,25	0,04	24,60	55,90	269,60
432	67,50	0,04	23,80	22,40	34,00
433	11,25	0,00	23,40	53,60	270,80
434	303,75	0,00	25,60	46,60	419,50
435	325,00	0,00	26,60	38,10	558,20
436	292,50	0,00	32,00	27,50	583,20
437	33,75	0,00	29,40	23,70	209,50
438	101,25	0,00	32,20	19,10	498,60
439	90,00	0,00	34,60	16,70	592,40
440	78,75	2,50	32,80	11,50	688,50
441	101,25	0,49	34,80	19,10	825,50
442	67,50	1,43	31,40	14,20	1012,00
443	326,25	1,30	32,20	26,00	470,90
444	123,75	1,25	34,60	18,50	867,50
445	123,75	1,12	25,10	61,40	70,10
446	67,50	1,12	32,60	22,70	538,00
447	11,25	1,07	24,80	45,20	428,40
448	213,25	0,98	32,50	77,20	712,20
449	337,50	0,94	23,60	72,20	42,20
450	78,75	2,50	32,80	11,50	688,50
451	11,25	0,94	32,80	15,10	1040,00
452	135,00	0,89	27,80	48,10	650,30

Data ke-	Temperatur (°C)	Kec. Angin (m/s)	Kelembapan (%)	Arah angin (°)	Radiasi matahari (Watt/m²)
453	101,25	0,09	34,80	18,90	822,40
454	78,75	0,89	36,70	26,30	938,90
455	112,25	0,89	34,60	11,90	659,20
456	90,00	0,85	34,80	19,00	821,00
457	67,50	0,80	26,80	20,50	576,00
458	45,00	0,76	33,00	49,80	227,40
459	337,50	0,72	29,20	57,50	564,90
460	45,00	0,67	36,20	23,20	710,00
461	33,75	0,63	28,30	51,20	140,90
462	15,00	0,63	33,00	36,80	211,20
463	101,25	0,61	23,60	54,90	290,60
464	101,25	0,09	34,80	18,90	822,40
465	56,25	0,54	28,50	58,50	133,50
466	135,00	0,49	26,20	47,60	419,50
467	101,25	0,49	34,80	19,10	825,50
468	56,25	0,45	22,60	56,00	21,80
469	90,00	0,85	34,80	19,00	821,00
470	78,75	0,36	22,80	55,00	42,20
471	258,75	0,31	38,00	21,10	858,70
472	56,25	0,27	22,80	52,20	67,40
473	33,75	0,27	29,40	23,70	710,00
474	168,75	0,23	24,00	54,00	304,20
475	112,25	0,22	34,20	12,70	693,60
476	303,75	0,18	38,60	18,40	799,80
477	112,25	0,27	35,60	12,00	620,20
478	45,00	0,09	23,40	73,30	35,50
479	78,75	0,09	22,80	54,50	47,00
480	258,75	0,09	32,60	47,60	375,20
481	112,25	0,09	31,40	30,60	280,80
482	112,25	0,09	31,60	18,70	924,60
483	157,50	0,09	38,20	14,10	914,00
484	11,25	0,04	27,20	58,30	269,30
485	22,50	0,04	24,40	49,30	348,40
486	67,50	0,04	23,80	22,40	34,00
487	11,25	0,00	23,40	53,60	270,80

Data ke-	Temperatur (°C)	Kec. Angin (m/s)	Kelembapan (%)	Arah angin (°)	Radiasi matahari (Watt/m²)
488	303,75	0,00	25,60	46,60	419,50
489	325,00	0,00	26,60	38,10	558,20
490	292,50	0,00	32,00	27,50	583,20
491	33,75	0,00	29,40	23,70	209,50
492	101,25	0,00	32,20	19,10	498,60
493	157,50	0,00	38,60	16,00	913,40
494	315,00	2,32	28,20	73,90	127,50
495	101,25	0,49	34,80	19,10	825,50
496	45,00	0,67	31,80	33,10	644,20
497	112,25	1,30	34,60	17,80	865,50
498	123,75	1,25	34,60	18,50	867,50
499	191,25	1,12	34,80	29,10	888,50
500	67,50	1,12	32,60	22,70	538,00
501	112,25	1,03	34,60	50,70	909,20
502	213,25	0,98	32,50	77,20	712,20
503	78,75	0,36	22,80	55,00	42,20
504	78,75	2,50	32,80	11,50	688,50
505	11,25	0,94	32,80	15,00	1073,00
506	11,25	0,89	24,80	45,30	428,40
507	101,25	0,09	36,50	19,50	880,30
508	78,75	0,89	36,70	26,30	938,90
509	112,25	0,89	34,60	11,90	659,20
510	135,00	0,80	25,50	50,80	348,40
511	67,50	0,80	26,80	20,50	576,00
512	45,00	0,76	33,00	49,80	227,40
513	78,75	0,58	35,60	16,50	598,20
514	33,75	0,45	23,00	52,70	67,90
515	33,75	0,63	28,30	51,20	140,90
516	45,00	0,63	29,60	34,30	874,60
517	101,25	0,61	23,60	54,90	290,60
518	33,75	0,58	28,40	21,70	906,00
519	326,25	0,54	28,10	56,50	131,10
520	135,00	0,49	26,20	47,60	419,50
521	101,25	0,49	34,80	19,10	825,50
522	56,25	0,45	22,60	56,00	21,80

Data ke-	Temperatur (°C)	Kec. Angin (m/s)	Kelembapan (%)	Arah angin (°)	Radiasi matahari (Watt/m²)
523	101,52	0,42	23,40	73,20	389,80
524	112,25	0,27	35,60	13,60	697,40
525	258,75	0,31	38,00	21,10	858,70
526	22,50	0,27	31,50	47,30	311,60
527	33,75	0,27	29,40	23,70	710,00
528	168,75	0,23	24,00	54,00	304,20
529	112,25	0,22	34,20	12,70	693,60
530	56,25	0,18	35,60	18,20	617,50
531	112,25	0,27	35,60	12,00	620,20
532	45,00	0,09	23,40	73,30	35,50
533	78,75	0,09	22,80	54,50	47,00
534	22,50	0,09	29,50	46,70	244,20
535	315,00	0,09	32,00	24,50	747,80
536	112,25	0,09	31,60	18,70	924,60
537	157,50	0,09	38,20	14,10	914,00
538	11,25	0,04	27,20	58,30	269,30
539	22,50	0,04	24,40	49,20	348,40
540	157,50	0,04	35,40	16,00	876,20
541	258,75	0,00	28,10	52,20	184,20
542	303,75	0,00	25,60	45,10	264,20
543	325,00	0,00	26,60	38,10	558,20
544	292,50	0,00	32,00	27,50	583,20
545	225,00	0,00	32,20	22,60	590,00
546	90,00	0,00	38,20	18,40	912,70
547	157,50	0,00	38,60	16,00	913,40
548	33,75	0,80	32,00	8,50	1035,00
549	90,00	1,65	32,20	11,30	762,70
550	78,75	2,50	32,80	11,50	688,50
551	112,25	0,89	34,60	11,90	659,20
552	112,25	0,27	35,60	12,00	620,20
553	112,25	0,22	34,20	12,70	693,60
554	112,25	0,40	35,40	12,80	667,30
555	112,25	0,27	35,60	13,60	697,40
556	157,50	0,09	38,20	14,10	914,00
557	56,25	0,00	36,20	14,20	1012,00

Data ke-	Temperatur (°C)	Kec. Angin (m/s)	Kelembapan (%)	Arah angin (°)	Radiasi matahari (Watt/m²)
558	157,50	0,00	38,60	14,30	913,20
559	157,50	0,04	35,90	15,90	888,50
560	157,50	0,04	35,80	15,90	877,20
561	157,50	0,80	38,20	15,90	912,50
562	157,50	0,04	36,00	16,00	876,50
563	157,50	0,04	35,40	16,00	876,20
564	157,50	0,00	38,60	16,00	913,40
565	315,00	0,09	32,20	16,50	753,50
566	78,75	0,58	35,60	16,50	598,20
567	303,75	0,58	38,60	16,70	789,40
568	90,00	0,00	34,60	16,70	592,40
569	303,75	0,89	38,60	16,80	798,00
570	303,75	0,49	38,20	16,80	794,30
571	303,75	0,76	38,20	16,90	796,40
572	112,25	0,09	35,40	16,90	594,20
573	67,50	0,27	34,20	17,10	615,60
574	337,50	0,31	32,20	17,50	763,50
575	112,25	1,30	34,60	17,80	865,50
576	101,25	0,00	32,20	18,10	493,40
577	56,25	0,18	35,60	18,20	617,50
578	90,00	0,00	38,20	18,40	912,70
579	303,75	0,18	38,60	18,40	799,80
580	123,75	1,25	34,60	18,50	867,50
581	112,25	0,18	31,40	18,60	920,00
582	112,25	0,09	31,60	18,70	924,60
583	101,25	0,58	34,80	18,80	823,00
584	202,50	0,22	32,20	18,80	594,50
585	101,25	0,09	34,80	18,90	822,40
586	90,00	0,85	34,80	19,00	821,00
587	101,25	0,49	34,80	19,10	825,50
588	101,25	0,00	32,20	19,10	498,60
589	337,50	0,89	32,60	19,20	778,20
590	101,25	0,09	36,50	19,50	880,30
591	33,75	1,21	35,40	19,90	898,50
592	101,25	0,00	32,20	20,20	496,50

Data ke-	Temperatur (°C)	Kec. Angin (m/s)	Kelembapan (%)	Arah angin (°)	Radiasi matahari (Watt/m²)
593	67,50	0,80	26,80	20,50	576,00
594	213,25	0,85	32,20	21,10	595,00
595	303,75	1,83	32,20	21,10	497,70
596	45,00	3,40	34,20	21,10	518,00
597	90,00	0,00	33,20	21,80	566,40
598	78,75	0,22	33,60	22,40	762,90
599	67,50	0,09	24,60	22,50	34,00
600	225,00	0,00	32,20	22,60	590,00
601	67,50	1,12	32,60	22,70	538,00
602	67,50	1,12	35,00	22,90	819,50
603	33,75	0,27	29,40	23,70	710,00
604	315,00	0,09	32,00	24,50	747,80
605	247,50	0,00	32,20	24,50	585,70
606	112,25	0,00	31,80	25,00	274,60
607	326,25	1,30	32,20	26,00	470,90
608	112,25	0,00	31,60	26,40	271,60
609	11,25	0,13	36,30	27,00	918,30
610	90,00	1,25	33,60	27,40	870,70
611	292,50	0,00	32,00	27,50	583,20
612	112,25	0,00	31,20	28,30	307,90
613	56,25	1,03	36,20	28,80	792,60
614	281,25	0,00	26,80	29,40	559,20
615	112,25	0,09	31,40	30,60	280,80
616	112,25	0,27	31,40	31,40	314,90
617	225,00	0,63	35,60	32,00	826,00
618	11,25	0,00	31,40	32,60	315,90
619	45,00	0,67	31,80	33,10	644,20
620	292,50	1,65	26,80	33,30	581,20
621	101,25	0,04	35,30	34,30	879,70
622	45,00	0,63	29,60	34,30	874,60
623	78,75	0,94	27,80	34,70	658,70
624	78,75	1,25	27,80	36,10	646,70
625	15,00	0,63	33,00	36,80	211,20
626	90,00	0,04	36,10	36,90	829,90
627	11,25	0,49	35,40	37,10	564,90

Data ke-	Temperatur (°C)	Kec. Angin (m/s)	Kelembapan (%)	Arah angin (°)	Radiasi matahari (Watt/m²)
628	325,00	0,00	26,60	38,10	558,20
629	135,00	0,72	23,60	38,30	264,20
630	11,25	0,89	28,60	38,40	701,50
631	191,25	0,54	25,60	38,60	269,60
632	123,75	0,89	34,20	38,70	899,70
633	0,00	0,00	30,20	39,80	553,60
634	67,50	0,63	24,80	40,10	217,20
635	303,75	0,45	25,80	40,60	241,50
636	78,75	0,13	24,40	41,20	209,50
637	281,25	0,09	23,60	41,80	194,70
638	303,75	0,00	25,60	42,00	338,60
639	135,00	0,49	27,60	42,20	276,00
640	157,50	0,18	32,10	42,50	487,40
641	11,25	0,89	24,80	45,30	428,40
642	11,25	0,76	22,80	46,10	65,60
643	326,25	1,07	24,40	46,60	92,30
644	22,50	0,09	29,50	46,70	244,20
645	22,50	0,27	31,50	47,30	311,60
646	90,00	0,31	29,80	47,40	269,30
647	135,00	0,49	26,20	47,60	419,50
648	258,75	0,09	32,60	47,60	375,20
649	135,00	0,89	27,80	48,10	650,30
650	123,75	0,85	27,40	48,30	641,20
651	22,50	0,04	24,40	49,20	348,40
652	123,75	0,45	23,00	49,50	210,90
653	112,25	1,03	34,60	50,70	909,20
654	11,25	0,58	28,20	51,20	140,90
655	22,50	0,89	22,80	51,30	67,50
656	11,25	0,00	23,60	51,70	248,20
657	11,25	0,89	22,60	51,90	68,90
658	56,60	0,27	22,80	52,20	67,40
659	258,75	0,00	28,10	52,20	184,20
660	45,00	0,09	22,00	52,50	50,00
661	33,75	0,45	23,00	52,70	67,90
662	78,75	0,09	22,80	53,00	61,20

Data ke-	Temperatur (°C)	Kec. Angin (m/s)	Kelembapan (%)	Arah angin (°)	Radiasi matahari (Watt/m²)
663	11,25	0,00	23,40	53,60	270,80
664	78,75	0,09	22,80	54,40	46,90
665	78,75	0,09	22,80	54,50	47,00
666	101,25	0,61	23,60	54,90	290,60
667	78,75	0,36	22,80	55,00	42,20
668	135,00	0,54	23,20	55,60	195,10
669	56,25	0,45	22,60	56,00	21,80
670	33,75	0,13	30,80	56,30	304,20
671	326,25	0,04	24,80	57,00	283,30
672	337,50	0,09	34,20	57,20	357,60
673	45,00	0,04	22,60	57,30	21,10
674	56,25	0,09	22,40	57,90	20,90
675	56,25	0,04	22,60	58,60	18,80
676	56,25	0,04	22,60	59,30	18,40
677	123,75	1,12	25,10	61,40	70,10
678	281,25	2,95	25,20	63,40	137,20
679	35,75	0,27	22,80	64,90	47,00
680	281,25	0,04	24,20	68,40	133,50
681	101,52	0,42	23,40	73,20	389,80
682	45,00	0,09	23,40	73,30	35,50
683	315,00	2,32	28,20	73,90	127,50
684	213,25	0,98	32,50	77,20	712,20
685	45,00	3,53	34,20	21,20	538,00

LAMPIRAN C
HASIL ESTIMASI DATA PENGUKURAN

Aktual	Error			ESTIMASI FUZZY			ESTIMASI GAMF			GA Elapsed Time		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
1035,00	3,78	4,32	0,10	995,92	1079,74	1034,00	1035,00	1079,71	1035,00	33,32	34,75	27,47
762,70	14,85	3,54	0,33	875,96	789,72	760,17	875,96	789,70	762,70	27,68	28,36	29,53
688,50	18,82	0,44	0,07	818,06	691,54	688,96	818,08	691,53	688,98	35,89	29,89	31,09
659,20	9,56	16,26	0,24	722,23	766,36	657,63	722,22	766,39	659,20	32,56	31,89	30,10
620,20	17,16	4,64	0,41	726,60	648,97	617,66	726,63	648,98	620,20	29,54	33,78	31,85
693,60	5,77	8,06	0,16	733,62	749,48	694,69	733,62	749,50	694,71	28,80	34,09	29,69
667,30	11,29	9,37	0,20	742,67	604,76	668,61	742,64	667,30	668,63	31,16	34,17	30,91
697,40	9,66	2,65	0,04	764,74	678,93	697,71	764,77	697,40	697,68	28,23	26,86	30,44
914,00	9,81	7,89	0,07	824,36	841,86	914,67	914,00	914,00	914,64	32,54	28,98	31,05
1012,00	21,45	10,54	0,05	794,96	905,31	1011,48	1012,00	1012,00	1012,00	32,66	31,70	31,10
913,20	8,89	6,47	0,25	832,06	972,24	910,87	913,20	972,28	913,20	30,28	29,72	25,24
888,50	9,97	5,75	0,70	799,91	837,39	882,26	888,50	888,50	888,50	27,68	29,31	27,32
877,20	6,52	3,57	0,48	820,03	845,85	881,42	877,20	877,20	881,41	31,42	32,36	29,54
912,50	5,07	8,99	0,05	866,25	830,44	912,99	912,50	912,50	912,96	27,07	31,72	31,21

Aktual	Error			ESTIMASI FUZZY			ESTIMASI GAMF			GA Elapsed Time		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
876,50	5,81	2,61	0,74	825,58	853,61	882,96	876,50	876,50	882,99	32,30	33,94	30,57
876,20	8,71	8,34	0,37	799,85	803,15	873,00	876,20	876,20	876,20	32,37	30,67	30,96
913,40	4,77	4,42	0,06	869,85	953,77	913,91	913,40	953,77	913,95	32,31	32,85	30,60
753,50	4,94	0,84	0,07	716,27	747,15	754,00	753,50	753,50	754,03	30,84	28,10	31,32
598,20	36,45	24,29	0,43	816,25	743,49	600,80	816,24	743,50	600,77	31,61	26,80	31,33
789,40	11,71	0,75	0,07	881,82	795,32	788,82	881,84	795,32	789,40	26,51	32,27	30,82
592,40	28,77	22,68	0,01	762,82	726,78	592,46	762,83	726,76	592,46	29,60	33,30	30,84
798,00	10,70	11,46	0,00	883,36	889,42	798,03	883,39	889,45	798,00	29,70	33,96	30,52
794,30	11,06	3,21	0,02	882,15	768,77	794,11	882,15	794,30	794,30	31,67	33,08	31,28
796,40	10,96	7,29	0,05	883,70	854,43	796,01	883,69	854,46	796,40	33,10	34,15	31,39
594,20	36,49	31,85	0,46	811,01	783,47	596,93	811,02	783,45	596,93	33,71	34,93	30,94
615,60	20,14	18,85	0,12	739,56	731,66	614,83	739,58	731,64	615,60	33,31	37,78	31,06
763,50	9,69	8,73	0,07	689,51	830,14	764,02	763,50	830,15	764,03	32,98	26,42	30,45
865,50	11,46	6,42	0,23	766,34	921,10	863,48	865,50	921,07	865,50	34,22	30,40	31,27
493,40	36,64	21,11	0,99	674,18	597,53	498,30	674,18	597,56	498,28	25,99	35,81	31,59
617,50	35,23	23,92	0,45	835,07	765,24	620,30	835,05	765,21	620,28	32,46	33,79	31,38

Aktual	Error			ESTIMASI FUZZY			ESTIMASI GAMF			GA Elapsed Time		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
912,70	1,19	3,10	0,12	901,85	940,97	913,82	912,70	940,99	913,80	32,40	34,93	31,28
799,80	12,77	5,87	0,03	901,97	752,82	800,00	901,93	799,80	800,04	31,01	25,31	31,09
867,50	11,53	2,22	0,61	767,46	886,74	872,83	867,50	886,76	872,79	33,07	39,12	30,93
920,00	25,81	11,61	0,14	682,52	813,17	921,32	920,00	920,00	921,29	34,45	33,38	31,10
924,60	27,18	23,05	0,24	673,27	711,51	922,42	924,60	924,60	924,60	35,14	30,13	31,65
823,00	4,78	7,92	1,25	783,63	757,79	812,73	823,00	823,00	823,00	25,36	29,81	29,16
594,50	10,52	31,49	0,18	657,04	781,71	595,57	657,04	781,71	595,57	31,73	31,03	31,23
822,40	4,69	9,94	0,25	783,83	740,67	820,38	822,40	822,40	822,40	28,94	32,97	31,39
821,00	4,50	1,59	0,45	784,02	807,92	824,69	821,00	821,00	824,69	28,51	36,03	31,46
825,50	5,01	9,39	0,61	784,18	748,01	830,51	825,50	825,50	830,54	29,86	37,63	31,02
498,60	30,35	15,60	0,22	649,94	576,39	499,70	649,92	576,38	499,70	35,05	30,86	31,42
778,20	16,74	2,44	0,02	647,93	797,18	778,01	778,20	797,19	778,20	28,19	27,74	31,58
880,30	0,64	3,18	0,26	885,91	852,30	878,03	885,93	880,30	880,30	32,89	34,95	30,00
898,50	7,38	0,71	0,07	832,16	904,91	897,89	898,50	904,88	898,50	38,44	35,58	31,27
496,50	25,92	11,01	0,91	625,22	551,16	491,97	625,19	551,16	496,50	34,55	34,26	31,16
576,00	27,04	2,31	0,02	420,26	562,71	575,87	576,00	576,00	576,00	32,57	25,38	28,46

Aktual	Error			ESTIMASI FUZZY			ESTIMASI GAMF			GA Elapsed Time		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
595,00	1,94	31,35	0,06	606,55	781,55	594,62	606,54	781,53	595,00	31,00	29,01	31,50
497,70	21,87	7,65	0,06	606,55	459,62	497,99	606,55	497,70	498,00	31,24	30,17	30,80
518,00	39,93	3,04	0,05	724,85	502,27	518,26	724,84	518,00	518,26	29,53	32,83	31,56
566,40	11,12	1,25	0,27	629,39	559,32	564,85	629,38	566,40	566,40	30,32	35,26	31,95
762,90	14,10	13,62	0,27	655,37	659,03	764,99	762,90	762,90	764,96	28,66	28,92	31,75
34,00	189,55	35,08	0,43	98,45	22,07	34,15	98,45	34,00	34,15	29,81	34,08	31,94
590,00	1,93	16,22	0,01	578,61	494,29	590,07	590,00	590,00	590,06	26,56	37,06	31,27
538,00	8,74	36,45	0,28	585,00	734,10	539,51	585,02	734,10	539,51	28,28	34,25	31,59
819,50	2,76	0,02	0,18	796,92	819,33	818,05	819,50	819,50	819,50	38,34	35,92	31,66
710,00	8,43	1,33	0,04	650,16	719,46	710,29	710,00	719,44	710,28	35,80	31,53	31,92
747,80	26,76	34,00	0,03	547,71	493,56	748,04	747,80	747,80	748,02	28,93	31,31	30,30
585,70	6,31	22,35	0,03	548,75	454,77	585,88	585,70	585,70	585,88	33,13	36,82	29,42
274,60	97,37	55,96	2,91	541,97	428,27	282,59	541,98	428,27	282,59	33,25	30,33	30,18
470,90	12,37	27,73	0,03	529,16	601,47	471,03	529,15	601,48	471,04	28,38	32,31	30,63
271,60	94,11	44,79	2,44	527,20	393,25	264,98	527,20	393,25	271,60	26,86	35,66	30,35
918,30	6,59	5,41	0,07	857,74	868,63	917,68	918,30	918,30	918,30	27,91	32,98	29,74

Aktual	Error			ESTIMASI FUZZY			ESTIMASI GAMF			GA Elapsed Time		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
870,70	29,83	15,99	0,05	610,97	731,47	871,14	870,70	870,70	871,14	26,02	32,30	31,34
583,20	12,47	30,87	0,03	510,46	403,19	583,00	583,20	583,20	583,20	30,00	37,62	30,25
307,90	68,46	13,18	0,71	518,68	348,50	310,10	518,69	348,48	310,09	29,99	31,87	32,25
792,60	6,44	6,75	0,00	843,66	846,06	792,63	843,64	846,10	792,60	29,85	32,37	30,73
559,20	7,13	6,78	0,04	599,06	521,28	559,00	599,07	559,20	559,20	35,07	36,22	29,52
280,80	73,92	15,61	0,23	488,38	324,64	281,45	488,37	324,63	281,45	30,32	34,53	30,61
314,90	52,59	27,54	0,02	480,50	401,62	314,83	480,51	401,62	314,90	32,35	31,98	31,43
826,00	1,93	5,36	0,01	810,05	781,76	826,04	826,00	826,00	826,08	34,18	34,83	28,82
315,90	48,26	19,78	0,16	468,35	378,38	316,39	468,35	378,39	316,41	30,31	35,67	31,37
644,20	28,93	3,62	0,26	457,83	620,85	645,87	644,20	644,20	645,87	33,70	34,08	31,01
581,20	0,98	0,50	0,03	586,89	578,30	581,01	586,90	581,20	581,20	35,26	32,75	31,69
879,70	9,36	2,09	0,07	797,32	861,28	880,29	879,70	879,70	880,32	37,79	34,85	30,89
874,60	38,05	12,49	0,38	541,84	765,40	871,24	874,60	874,60	874,60	26,97	34,56	31,75
658,70	9,10	6,12	0,09	598,73	618,39	659,30	658,70	658,70	659,29	27,39	26,77	31,04
646,70	10,79	16,14	0,03	576,95	542,32	646,91	646,70	646,70	646,89	34,21	35,12	29,22
211,20	135,19	66,69	1,01	496,71	352,04	209,08	496,72	352,05	211,20	26,69	32,48	31,54

Aktual	Error			ESTIMASI FUZZY			ESTIMASI GAMF			GA Elapsed Time		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
829,90	6,86	14,63	0,00	886,80	708,47	829,93	886,83	829,90	829,90	32,24	31,09	31,80
564,90	47,77	3,07	0,06	834,76	582,24	565,24	834,75	582,24	565,24	26,96	31,77	31,32
558,20	9,16	20,94	0,04	507,09	441,34	558,00	558,20	558,20	558,20	29,78	33,94	31,15
264,20	18,88	24,12	0,24	214,33	200,47	263,55	264,20	264,20	264,20	28,72	35,52	31,67
701,50	26,05	21,12	0,15	518,76	553,35	700,44	701,50	701,50	701,50	30,34	28,26	31,52
269,60	55,21	7,15	0,15	418,46	250,32	270,00	418,45	269,60	270,00	32,03	34,46	32,03
899,70	24,57	6,27	0,05	678,64	843,30	899,28	899,70	899,70	899,70	30,85	30,03	30,34
553,60	25,35	19,22	0,05	413,29	447,18	553,88	553,60	553,60	553,88	31,63	26,62	29,82
217,20	43,68	12,03	0,46	312,08	191,06	218,20	312,07	217,20	218,20	26,46	30,47	27,04
241,50	67,49	8,47	0,21	404,50	261,96	242,00	404,49	261,96	242,01	30,69	26,88	29,46
209,50	21,64	31,18	0,26	254,83	274,83	210,04	254,84	274,82	210,04	29,48	27,83	31,46
194,70	14,08	20,21	0,17	167,29	234,06	195,03	194,70	234,05	195,03	29,90	33,95	31,75
338,60	7,76	23,76	0,10	364,89	419,04	338,92	364,88	419,05	338,94	31,31	30,78	31,67
276,00	64,56	47,04	0,58	454,18	405,83	277,61	454,19	405,83	277,60	31,21	36,02	31,55
487,40	26,40	10,40	0,11	358,70	436,71	486,87	487,40	487,40	487,40	28,25	37,36	31,23
428,40	40,58	24,42	0,48	254,56	323,79	426,36	428,40	428,40	428,40	25,50	31,25	30,87

Aktual	Error			ESTIMASI FUZZY			ESTIMASI GAMF			GA Elapsed Time		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
65,60	7,08	75,92	0,73	70,25	115,40	66,08	70,24	115,40	66,08	32,03	33,73	31,73
92,30	129,29	99,61	0,10	211,63	184,24	92,39	211,63	184,24	92,39	27,06	38,94	31,47
244,20	29,35	45,64	0,01	315,88	355,65	244,18	315,87	355,65	244,20	28,84	29,02	31,48
311,60	11,91	14,80	0,01	274,48	265,47	311,56	311,60	311,60	311,60	29,37	30,96	31,00
269,30	10,02	36,16	0,19	296,28	171,92	269,82	296,28	269,30	269,81	29,97	35,56	31,31
419,50	23,49	22,31	0,18	320,94	325,91	420,25	419,50	419,50	420,26	26,10	27,69	32,16
375,20	9,03	20,19	0,05	341,33	450,93	375,01	375,20	450,95	375,20	29,68	33,89	31,13
650,30	48,95	20,15	0,13	331,99	519,25	649,46	650,30	650,30	650,30	30,15	23,64	32,53
641,20	48,51	24,47	0,15	330,16	484,32	642,16	641,20	641,20	642,16	36,21	33,78	31,77
348,40	41,06	19,30	0,75	205,35	281,17	351,03	348,40	348,40	351,01	32,04	37,44	31,62
210,90	57,56	84,46	0,12	89,51	32,78	210,65	210,90	210,90	210,90	31,61	34,58	31,48
909,20	20,83	1,63	0,03	719,77	894,33	908,93	909,20	909,20	909,20	29,43	32,12	32,16
140,90	99,64	14,57	0,05	281,29	120,38	140,83	281,29	140,90	140,90	29,70	32,37	31,81
67,50	13,11	2,70	0,11	76,35	65,68	67,43	76,35	67,50	67,50	33,83	33,83	32,17
248,20	40,01	15,82	0,71	148,90	208,94	246,43	248,20	248,20	248,20	34,16	35,43	31,64
68,90	15,34	32,56	0,07	58,33	46,47	68,95	68,90	68,90	68,95	32,35	36,95	31,39

Aktual	Error			ESTIMASI FUZZY			ESTIMASI GAMF			GA Elapsed Time		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
67,40	17,34	93,93	4,53	79,09	4,09	64,34	79,09	67,40	67,40	30,22	37,58	31,61
184,20	46,86	16,47	0,11	270,51	153,87	183,99	270,52	184,20	184,20	31,88	37,59	31,16
50,00	111,58	183,84	0,34	-5,79	-41,92	50,17	50,00	50,00	50,17	33,71	34,68	31,66
67,90	47,52	45,11	1,65	100,17	98,53	69,02	100,17	98,53	69,02	29,23	35,01	32,24
61,20	33,04	25,10	1,22	81,42	76,56	61,95	81,42	76,56	61,95	28,99	33,21	31,95
270,80	48,36	29,88	0,39	139,85	189,90	271,86	270,80	270,80	271,86	30,18	37,08	31,32
46,90	80,76	83,40	2,98	84,78	86,01	48,30	84,78	86,01	48,30	31,56	36,26	31,09
47,00	80,78	83,72	3,80	84,97	86,35	45,21	84,97	86,35	47,00	29,79	33,47	31,86
290,60	44,67	22,25	0,28	160,79	225,94	289,77	290,60	290,60	290,60	26,02	27,24	30,81
42,20	103,25	28,13	0,99	85,77	54,07	42,62	85,77	54,07	42,62	27,91	21,85	31,91
195,10	34,12	4,37	1,65	128,53	186,58	191,88	195,10	195,10	195,10	31,65	22,46	31,82
21,80	186,22	303,07	1,28	62,40	87,87	22,08	62,40	87,87	22,08	35,60	23,66	31,74
304,20	9,26	9,02	0,06	332,38	276,76	304,01	332,37	304,20	304,20	34,00	23,23	32,00
283,30	23,61	1,66	0,11	216,42	287,99	283,00	283,30	288,00	283,30	36,58	24,82	32,18
357,60	0,36	0,08	0,11	356,30	357,90	357,99	357,60	357,89	357,99	33,18	31,56	31,47
21,10	183,54	248,56	3,55	59,83	73,55	21,85	59,83	73,55	21,85	33,54	23,51	31,91

Aktual	Error			ESTIMASI FUZZY			ESTIMASI GAMF			GA Elapsed Time		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
20,90	35,15	11,30	4,94	28,25	23,26	21,93	28,25	23,26	21,93	33,48	22,04	32,64
18,80	205,36	227,48	9,38	57,41	61,57	17,04	57,41	61,57	18,80	27,23	27,12	31,66
18,40	176,63	58,91	1,51	50,90	29,24	18,68	50,90	29,24	18,68	31,18	26,90	31,80
70,10	171,21	63,36	0,04	190,12	114,52	70,13	190,12	114,52	70,13	33,62	30,41	33,23
137,20	21,64	0,79	0,15	166,89	136,12	137,00	166,89	137,20	137,20	33,28	26,77	32,45
47,00	13,97	286,25	1,36	40,44	-87,54	46,36	47,00	46,81	47,00	33,83	36,09	32,18
133,50	19,35	7,86	0,47	159,34	144,00	134,13	159,33	143,99	134,13	33,48	33,24	31,94
389,80	70,96	4,04	0,04	113,20	374,04	389,96	389,80	389,80	389,96	33,89	29,60	31,75
35,50	219,68	149,87	1,06	113,49	-17,70	35,88	113,49	35,50	35,88	33,45	27,40	32,07
127,50	29,98	0,24	0,41	165,73	127,81	128,02	165,72	127,81	128,02	33,38	41,06	32,14
712,20	2,19	0,03	0,02	696,60	712,42	712,04	712,20	712,41	712,20	33,37	40,80	32,06

LAMPIRAN D DOKUMENTASI PENGUKURAN



Gambar 1. Pengukuran Radiasi Matahari



Gambar 2. Pengukuran Kecepatan Angin



Gambar 3. Pengukuran Arah Angin, Kelembapan dan Temperatur

BIODATA PENULIS



Nama penulis yaitu Sartika Arie Kusumawarni, biasa dipanggil Tika. Penulis lahir di Tegal pada tanggal 21 Februari 1996. Penulis adalah anak pertama dari dua bersaudara dari bapak Abdul Jalal dan ibu Sri Murdiati. Penulis menempuh pendidikan di SD Mangkukusuman 1 Tegal, SMP N 7 Tegal, SMA N 1 Tegal dan Departemen Teknik Fisika, fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Bidang minat yang menjadi fokus penulis adalah Instrumentasi. Pada bulan Juni 2018 penulis telah menyelesaikan tugas akhir dengan judul Estimasi Paparan Radiasi Matahari Perjam pada Permukaan Horizontal Menggunakan Metode GAMF (Genetic Algorithm Modified Fuzzy) (Studi Kasus di Surabaya).