



TUGAS AKHIR - TF 181801

**EKSTRAKSI DAN OPTIMASI PARAMETER PADA
PHOTOVOLTAIC MENGGUNAKAN FUZZY- *ANT*
*COLONY OPTIMIZATION (ACO)***

**AJENG AYU FATMA CHOIRUNISA
NRP. 0231154000039**

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

**DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019**

Halaman ini sengaja dikosongkan



TUGAS AKHIR - TF 181801

***EKSTRACTION AND OPTIMIZATION
PARAMETERS ON PHOTOVOLTAIC USING
FUZZY- ANT COLONY OPTIMIZATION (ACO)***

**AJENG AYU FATMA CHOIRUNISA
NRP. 0231154000039**

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

**DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019**

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ajeng Ayu Fatma Choirunisa
NRP : 023115 40000 039
Departemen/ Prodi : Teknik Fisika/ S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya berjudul **“EKSTRAKSI DAN OPTIMASI PARAMETER PADA PHOTOVOLTAIC MENGGUNAKAN FUZZY - ANT COLONY OPTIMIZATION (ACO)”** adalah bebas plagiasi. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar – benarnya.

Surabaya, 22 Juli 2019

Yang membuat pernyataan,



Ajeng Ayu Fatma Choirunisa
NRP. 02311540000039

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

**EKSTRAKSI DAN OPTIMASI PARAMETER PADA
PHOTOVOLTAIC MENGGUNAKAN FUZZY- ANT
COLONY OPTIMIZATION (ACO)**

TUGAS AKHIR

Oleh:

**Ajeng Ayu Fatma Choirunisa
NRP. 0231154000039**


**Surabaya, 29 Juli 2019
Mengetahui/Menyetujui
Menyetujui,
Dosen Pembimbing**



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



**Mengetahui,
Kepala Departemen
Teknik Fisika FTI-ITS**



**Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.
NIP. 19780902 200312 1 002**

Halaman ini sengaja dikosongkan

**EKSTRAKSI DAN OPTIMASI PARAMETER PADA
PHOTOVOLTAIC MENGGUNAKAN FUZZY- ANT
COLONY OPTIMIZATION (ACO)**

TUGAS AKHIR


Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Program Studi S-1 Teknik Fisika
Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Ajeng Ayu Fatma Choirunisa
NRP. 02311540000039

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

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

SURABAYA
22 Juli 2019

Halaman ini sengaja dikosongkan

EKSTRAKSI DAN OPTIMASI PARAMETER PADA PHOTOVOLTAIC MENGGUNAKAN FUZZY- ANT COLONY OPTIMIZATION (ACO)

Nama : Ajeng Ayu Fatma Choirunisa
NRP : 023115 40000 039
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.

Abstrak

Photovoltaic (PV) merupakan teknologi konversi listrik yang memanfaatkan cahaya matahari sebagai sumber energi menjadi energi listrik. Untuk mengetahui kinerja optimal pada PV dan untuk memperbaiki kinerja dari PV maka diperlukan pemodelan pada PV. Pemodelan PV dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu pemodelan analitik dan simulasi dengan *software*. Pada penelitian ini dilakukan pemodelan PV menggunakan metode simulasi dengan *software*. PV yang digunakan adalah PV *fixed* dan *tracker* dengan variasi *input* PV adalah temperatur, iradiasi, kecepatan angin dan RH, sedangkan untuk variasi *output* PV adalah tegangan dan arus. Pemodelan yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan Fuzzy dan Fuzzy yang telah dioptimasi dengan *Ant-Colony Optimization* (Fuzzy - ACO). Berdasarkan hasil simulasi didapatkan performa MSE dan RMSE terbaik pada model PV untuk *error* tegangan pada model PV *tracker* yaitu t74in2out Fuzzy dengan 4 *input* sebesar 0.022 Volt nilai MSE dan sebesar 0.148 Volt nilai RMSE dan t74in2out Fuzzy-ACO sebesar 0.013 Volt nilai MSE dan sebesar 0.144 Volt nilai RMSE. Sedangkan untuk nilai *error* arus terdapat nilai terkecil pada PV *Fixed* yaitu f32in2out Fuzzy dengan 2 *input* sebesar 0.817 A nilai MSE dan sebesar 0.904 A nilai RMSE dan f32in2out Fuzzy-ACO sebesar 0.669 A nilai MSE dan sebesar 0.818 A nilai RMSE.

Kata kunci: *Photovoltaic*, *Fuzzy*, *Ant-Colony Optimization* (ACO)

Halaman ini sengaja dikosongkan

EKSTRACTION AND OPTIMIZATION PARAMETERS ON PHOTOVOLTAIC USING FUZZY- ANT COLONY OPTIMIZATION (ACO)

Name : Ajeng Ayu Fatma Choirunisa
NRP : 023115 40000 039
Department : Teknik Fisika FTI-ITS
Supervisors : Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.

Abstract

Photovoltaic (PV) is an electrical conversion technology that utilizes sunlight as an energy source into electricity. To find out the optimal performance on PV and to improve the performance of PV, modeling on PV is needed. PV modeling can be done with two methods, namely analytic modeling and simulation with software. In this study PV modeling was carried out using a simulation method with software. PV used is fixed and tracker with variation in PV input are temperature, irradiation, wind speed and RH, while for variations in PV output are voltage and current. The modeling used in this study is Fuzzy and Fuzzy which has been optimized with Ant Colony Optimization (Fuzzy-ACO). Based on simulation results obtained the best MSE and RMSE performance on PV model for voltage error on the PV tracker model which t74in2out Fuzzy with 4 inputs of 0.022 Volt MSE value and 0.148 Volt RMSE value and t74in2out Fuzzy-ACO values of 0.013 Volt MSE value and 0.144 Volt RMSE. While for the current error value there is the smallest value on the PV Fixed that is f32in2out Fuzzy with 2 inputs of 0.817 A MSE value and equal to 0.904 A RMSE value and f32in2out Fuzzy-ACO is 0.669 A MSE value and equal to 0.818 A RMSE value.

Keywords: *Photovoltaic , Fuzzy, Ant-Colony Optimization (ACO)*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “**Ekstraksi dan Optimasi Parameter pada Photovoltaic Menggunakan Fuzzy- Ant Colony Optimization (ACO)**”.

Tak lupa penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Fisika ITS.
2. Bapak Dr. Imam Abadi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang memberikan semangat, ilmu dan bimbingan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc. dan Ibu Ir. Ronny Dwi Noriyanti, M.Kes. selaku dosen penguji yang memberikan ilmu dan bimbingan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak Dr.Ir. Totok Soehartanto, DEA selaku dosen wali yang telah membimbing penulis selama perkuliahan dan memberikan ilmu serta nasihat yang sangat bermanfaat.
5. Seluruh dosen pengajar di Departemen Teknik Fisika ITS.
6. Seluruh tim *Solar Tracker* yang ikut membantu dalam hal dukungan.
7. Orang tua, keluarga dan teman-teman yang telah memberikan dukungan penuh untuk menyelesaikan tugas akhir dengan baik dan benar.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan. Semoga laporan ini bermanfaat bagi pembaca dan Teknik Fisika ITS.

Surabaya, 22 Juli 2019

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
Abstrak	xi
<i>Abstract</i>	xv
KATA PENGANTAR	xvii
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR NOTASI	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.1 Rumusan Masalah	3
1.2 Tujuan	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Sistematika Laporan	4
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 <i>Photovoltaic</i> (PV)	5
2.2 <i>Fuzzy Logic</i> (FL)	9
2.3 <i>Ant Colony Optimization</i> (ACO)	16
2.4 <i>Fuzzy Ant Colony Optimization</i> (ACO)	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Diagram Alir Peneltian	23
3.2 Rancangan Penelitian	25
3.3 Ekstraksi Parameter Penelitian	26
3.4 Pengambilan Data Primer	27
BAB IV ANALISA DATA	41
4.1 Data Uji Coba	41
4.2 Batas Nilai Fuzzy	43
4.3 Hasil Optimasi Fuzzy ACO	47
4.4 Hasil Uji Coba Model PV Fuzzy dan Fuzzy-ACO	51
4.5 Hasil Pemodelan Fuzzy dan Fuzzy-ACO	52
4.6 Nilai MSE dan RMSE pada Model PV	80
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	87

5.1	Kesimpulan.....	87
5.2	Saran.....	87
DAFTAR PUSTAKA.....		89
LAMPIRAN A		93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur pembentuk PV (Villalva, Gazoli, & Filho, 2009).....	6
Gambar 2. 2 Rangkaian elektrik pada PV secara umum.....	7
Gambar 2. 3 Pengaruh Temperatur terhadap iradiasi yang konstan (Soufi, Bachouat, & Kahla, 2016).....	8
Gambar 2. 4 Pengaruh Iradiasi terhadap suhu yang konstan (Soufi, Bachouat, & Kahla, 2016).....	9
Gambar 2. 5 Grafik representasi linier naik.....	13
Gambar 2. 6 Grafik representasi linier turun	13
Gambar 2. 7 Representasi kurva segitiga.....	14
Gambar 2. 8 Representasi kurva trapesium	14
Gambar 2. 9 Representasi kurva <i>generalized bell</i>	15
Gambar 2. 10 Representasi kurva <i>Gaussian</i>	16
Gambar 2. 11 Jalur makan semut.....	17
Gambar 2. 12 Ilustrasi solusi dari dua semut	19
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	23
Gambar 3.2 P -V pada <i>Photovoltaic</i>	25
Gambar 3. 3 Pemodelan 2in2out.....	28
Gambar 3. 4 Pemodelan 3in2out.....	29
Gambar 3. 5 Pemodelan 4in2out.....	29
Gambar 3. 6 Kurva Fuzzy variabel Temperatur 3 MF.....	29
Gambar 3. 7 Kurva Fuzzy variabel iradiasi 3 MF	30
Gambar 3. 8 Kurva Fuzzy variabel kecepatan angin 3 MF	30
Gambar 3. 9 Kurva Fuzzy variabel RH 3 MF.....	30
Gambar 3. 10 Kurva Fuzzy variabel tempertur 5 MF.....	31
Gambar 3. 11 Kurva Fuzzy variabel iradiasi 5 MF	31
Gambar 3. 12 Kurva Fuzzy variabel kecepatan angin 5 MF	31
Gambar 3. 13 Kurva Fuzzy variabel RH 5 MF.....	32
Gambar 3. 14 Kurva Fuzzy variabel tempertur 7 MF.....	32
Gambar 3. 15 Kurva Fuzzy variabel iradiasi 7 MF	33
Gambar 3. 16 Kurva Fuzzy variabel kecepatan angin 7 MF	33
Gambar 3. 17 Kurva Fuzzy variabel RH 7 MF.....	33
Gambar 3. 18 Langkah Optimasi dengan ACO	35
Gambar 3. 19 Kurva Fuzzy-ACO variabel T PV <i>Fixed</i> 3MF	36

Gambar 3. 20	Kurva Fuzzy-ACO variabel IR PV <i>Fixed</i> 3MF ..36
Gambar 3. 21	Kurva Fuzzy-ACO variabel v PV <i>Fixed</i> 3MF37
Gambar 3. 22	Kurva Fuzzy-ACO variabel RH PV <i>Fixed</i> 3MF .37
Gambar 3. 23	Kurva Fuzzy-ACO variabel T PV <i>Fixed</i> 5MF37
Gambar 3. 24	Kurva Fuzzy-ACO variabel IR PV <i>Fixed</i> 5MF ..38
Gambar 3. 25	Kurva Fuzzy-ACO variabel v PV <i>Fixed</i> 5MF38
Gambar 3. 26	Kurva Fuzzy-ACO variabel RH PV <i>Fixed</i> 5MF .39
Gambar 3. 27	Kurva Fuzzy-ACO variabel T PV <i>Fixed</i> 7MF39
Gambar 3. 28	Kurva Fuzzy-ACO variabel IR PV <i>Fixed</i> 7MF ..39
Gambar 3. 29	Kurva Fuzzy-ACO variabel v PV <i>Fixed</i> 7MF40
Gambar 3. 30	Kurva Fuzzy-ACO variabel RH PV <i>Fixed</i> 7MF .40
Gambar 4. 1	Grafik tegangan f32in2out53
Gambar 4. 2	Grafik arus f32in2out53
Gambar 4. 3	Grafik tegangan f33in2out54
Gambar 4. 4	Grafik arus f33in2out55
Gambar 4. 5	Grafik tegangan f34in2out56
Gambar 4. 6	Grafik arus f34in2out56
Gambar 4. 7	Grafik tegangan t32in2out.....57
Gambar 4. 8	Grafik arus t32in2out58
Gambar 4. 9	Grafik tegangan t33in2out.....59
Gambar 4. 10	Grafik arus t33in2out59
Gambar 4. 11	Grafik tegangan t34in2out.....60
Gambar 4. 12	Grafik arus t32in2out61
Gambar 4. 13	Grafik tegangan f52in2out62
Gambar 4. 14	Grafik arus f52in2out63
Gambar 4. 15	Grafik tegangan f53in2out63
Gambar 4. 16	Grafik arus f53in2out64
Gambar 4. 17	Grafik tegangan f54in2out65
Gambar 4. 18	Grafik arus f54in2out66
Gambar 4. 19	Grafik tegangan t52in2out.....66
Gambar 4. 20	Grafik arus t52in2out67
Gambar 4. 21	Grafik tegangan t53in2out.....68
Gambar 4. 22	Grafik arus t53in2out69
Gambar 4. 23	Grafik tegangan t54in2out.....69
Gambar 4. 24	Grafik arus t54in2out70
Gambar 4. 25	Grafik tegangan f72in2out71

Gambar 4. 26	Grafik arus $f_{72in2out}$	72
Gambar 4. 27	Grafik tegangan $f_{73in2out}$	72
Gambar 4. 28	Grafik arus $f_{73in2out}$	73
Gambar 4. 29	Grafik tegangan $f_{74in2out}$	74
Gambar 4. 30	Grafik arus $f_{74in2out}$	75
Gambar 4. 31	Grafik tegangan $t_{72in2out}$	75
Gambar 4. 32	Grafik arus $t_{72in2out}$	76
Gambar 4. 33	Grafik tegangan $t_{73in2out}$	77
Gambar 4. 34	Grafik arus $t_{73in2out}$	78
Gambar 4. 35	Grafik tegangan $t_{73in2out}$	78
Gambar 4. 36	Grafik arus $t_{74in2out}$	79

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Spesifikasi Modul PV	25
Tabel 3. 2 Variasi <i>input</i> dan <i>output</i>	26
Tabel 3. 3 Ekstraksi variabel <i>input</i> dan <i>output</i>	26
Tabel 3. 4 Informasi lokasi pengambilan data	27
Tabel 3. 5 Data Pengukuran.....	27
Tabel 3. 6 Parameter nilai ACO	35
Tabel 4. 1 Tabel data PV <i>fixed</i>	42
Tabel 4. 2 Tabel data PV <i>tracker</i>	42
Tabel 4. 3 Batas Fuzzy 3 MF PV <i>Fixed</i>	43
Tabel 4. 4 Batas Fuzzy 5 MF PV <i>Fixed</i>	44
Tabel 4. 5 Batas Fuzzy 3 MF PV <i>Tracker</i>	45
Tabel 4. 6 Batas Fuzzy 5 MF PV <i>Tracker</i>	46
Tabel 4. 8 Batas Fuzzy-ACO 3 MF PV <i>Fixed</i>	47
Tabel 4. 9 Batas Fuzzy-ACO 5 MF PV <i>Fixed</i>	48
Tabel 4. 10 Batas Fuzzy 3 MF PV <i>Tracker</i>	49
Tabel 4. 11 Batas Fuzzy-ACO 5 MF PV <i>Tracker</i>	50
Tabel 4. 12 Uji coba model PV Fuzzy dan Fuzzy-ACO.....	52
Tabel 4. 13 Nilai MSE dan RMSE Tegangan PV <i>Fixed</i>	80
Tabel 4. 14 Nilai MSE dan RMSE Arus PV <i>Fixed</i>	81
Tabel 4. 15 Nilai MSE dan RMSE Tegangan PV <i>Tracker</i>	81
Tabel 4. 16 Nilai MSE dan RMSE Arus PV <i>Tracker</i>	82

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR NOTASI

I	= Arus Keluaran PV (A)
I_{ph}	= Arus Photo (A)
I_d	= Arus Dioda (A)
I_{sh}	= Arus <i>Shunt</i> (A)
I_o	= Arus saturasi (A)
I_n	= Arus Refrensi (A)
R_{pv}	= Hambatan PV (Ω)
ns	= nomor sel PV
V_{mpp}	= <i>Voltage Maximum Power Point</i> (V)
V	= <i>Output</i> tegangan (V)
V_T	= Tegangan Thermal (V)
W_1	= Konstanta $T_{Ambient}$
W_2	= Konstanta Iradiasi
W_3	= Konstanta Kecepatan Angin
W_5	= Konstanta <i>Relative Humidity</i>
IR	= Iradiasi (W/m^2)
T	= Temperatur ($^{\circ}C$)
v	= Kecepatan angin (m/s)
RH	= Kelembapan (%)
f32in2out	= PV <i>fixed 2 input 2 output 3 membership function</i>
f33in2out	= PV <i>fixed 3 input 2 output 3 membership function</i>
f34in2out	= PV <i>fixed 4 input 2 output 3 membership function</i>
f52in2out	= PV <i>fixed 2 input 2 output 5 membership function</i>
f53in2out	= PV <i>fixed 3 input 2 output 5 membership function</i>
f54in2out	= PV <i>fixed 4 input 2 output 5 membership function</i>
f72in2out	= PV <i>fixed 2 input 2 output 7 membership function</i>
f73in2out	= PV <i>fixed 3 input 2 output 7 membership function</i>
f74in2out	= PV <i>fixed 4 input 2 output 7 membership function</i>
t32in2out	= PV <i>tracker 2 input 2 output3 membership function</i>
t33in2out	= PV <i>tracker 3 input 2 output3 membership function</i>
t34in2out	= PV <i>tracker 4 input 2 output3 membership function</i>
t52in2out	= PV <i>tracker 2 input 2 output 5 membership function</i>
t53in2out	= PV <i>tracker 3 input 2 output 5 membership function</i>
t54in2out	= PV <i>tracker 4 input 2 output 5 membership function</i>

t72in2out = PV tracker 2 input 2 output 7 membership function
t73in2out = PV tracker 3 input 2 output 7 membership function
t74in2out = PV tracker 4 input 2 output 7 membership function

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemanfaatan energi, terutama energi terbarukan menjadi semakin meningkat dan semakin penting melihat dari sudut pelestarian lingkungan serta bahan bakar fosil yang kian menipis. (Broujeni & Fathi, 2013). Di antara berbagai jenis energi terbarukan, energi matahari adalah yang paling banyak digunakan untuk pembangkit listrik diseluruh dunia. Indonesia menjadi salah satu negara dengan potensi sumber energi terbarukan yang melimpah. Indonesia sebagai negara yang memiliki energi matahari yang melimpah, dimana rata-rata intensitas radiasi matahari berkisar 4,8 kWh/m² perhari di seluruh bagian di Indonesia (I. Abadi, A. Musyafa and A. Soeprijanto, 2014). Teknologi *photovoltaic* (PV) merupakan teknologi untuk mengkonversi energi surya menjadi energi listrik. PV sering dipilih sebagai pengkonversi energi surya menjadi listrik dikarenakan pembuatan yang mudah dan biaya perawatan yang murah. (Kermadi M, Berkouk EM, 2017). PV disebut sebagai teknologi yang menjanjikan sebagai salah satu sumber energi masa depan dikarenakan PV merupakan salah satu teknologi *renewable energy* yang ramah lingkungan dan bebas polusi serta dapat dibangun dimana saja (Adel Mellit dan Soteris A, 2014). Salah satu yang perlu diperhatikan dari PV adalah efisiensi untuk mengetahui kinerja optimal energi yang dikonversi dari sebuah PV. Untuk memperbaiki kinerja dari sistem PV, maka diperlukan pemodelan ulang. Pemodelan sel surya PV terdiri dari pemodelan matematis yang menggambarkan karakteristik non-linier (I-V) dari sebuah PV. Terdapat beberapa model PV yang dapat digunakan untuk pemodelan komponen yang berbeda pada PV (Adel Mellit dan Soteris A, 2014) yaitu dengan pemodelan analitik. Metode lainnya adalah simulasi dengan menggunakan software seperti PSpice, Matlab-Simulink dan LabView. (Adel Mellit dan Soteris A, 2014)

Pada penelitian sebelumnya terdapat pemodelan PV dengan menggunakan *Fuzzy Logic* (G.Francisco, 2011) untuk

memperkirakan produksi pembangkit energisurya atau PV. Pemodelan dengan Neuro-Fuzzy dan memiliki 5 *input* yaitu irradiasi, temperatur, kecepatan angin, kelembapan udara dan tekanan udara dengan *output* daya. Pada penelitian tersebut pengambilan data dilakukan pada kondisi awan cerah dan berawan pada waktu pagi siang dan sore hari. Setelah data diperoleh dilakukan pemodelan dengan menggunakan *fuzzy logic* dan kemudian dioptimasi menggunakan algoritma *Genetical Swarm Optimization* (GSO). Dan hasil menunjukkan bahwa optimasi menggunakan algoritma GSO menghasilkan *error* yang kecil yaitu 5%. Selain penelitian pemodelan pada PV, terdapat beberapa penelitian tentang optimasi pada PV. Pada penelitian ini (F. Abdolvahhab dan K.Ehsan, 2015) tentang optimasi energi pada *Hybrid PV* dan turbin angin dengan menggunakan beberapa algoritma, yaitu *Ant-Colony Optimization* (ACO), *Genetic Algorithm* (GA), *Algorithm Bee Colony* (ABC) dan dengan metode konvensional (*Branch and Bound*). Hasil menunjukkan bahwa algoritma ACO lebih optimal dan memiliki kemampuan pencarian yang lebih baik dibanding dengan *Bee Colony* dan *Genetic Algorithm*. Selain itu pada penelitian (T. Hajar dkk, 2015) menjelaskan tentang optimasi pada PV menggunakan pendekatan Fuzzy dan algoritma ACO, GA dan PSO. Algoritma metaheuristik digunakan untuk mengkonfirmasi ulang peletakan dan ukuran pada PV. Tujuannya adalah untuk mengurangi kerugian energi dan peningkatan tegangan pada PV. Hasil menunjukkan bahwa pendekatan dengan menggunakan fuzzy-ACO lebih akurat dibandingkan dengan fuzzy-GA dan fuzzy-PSO.

Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan pemodelan *photovoltaic* menggunakan fuzzy dan fuzzy yang dioptimasi dengan algoritma ACO pada model PV dengan *input* iradiasi, temperatur, kecepatan angin dan RH. Tujuan yang diharapkan dengan adanya tugas akhir ini adalah untuk memodelkan *photovoltaic* menggunakan Fuzzy-ACO dengan variabel *input* yang berbeda dan memperoleh hasil yang optimal.

1.1 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka didapatkan permasalahan dalam tugas akhir ini sebagai berikut:

- a. Bagaimana menentukan parameter pemodelan *Photovoltaic* dengan variasi *input* menggunakan metode Fuzzy dan Fuzzy-Ant Colony Optimization (ACO)?
- b. Bagaimana validasi model *photovoltaic*?
- c. Bagaimana perbandingan pemodelan *photovoltaic* menggunakan metode Fuzzy dan Fuzzy-Ant Colony Optimization (ACO) ?

1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Menentukan parameter pemodelan *Photovoltaic* dengan variasi *input* menggunakan metode Fuzzy dan Fuzzy-Ant Colony Optimization (ACO).
- b. Melakukan validasi model *photovoltaic*
- c. Melakukan perbandingan pemodelan *photovoltaic* menggunakan metode Fuzzy dan Fuzzy-Ant Colony Optimization (ACO).

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penenitian ini antara lain:

- a. PV yang digunakan memiliki kapasitas 250 watt peak.
- b. Jenis PV yang dimodelkan *solar cell* tipe *Poly Crystalline Solar Module*.
- c. Variabel *input* yang mempengaruhi PV adalah temperatur, irradiansi, kecepatan angin dan *relative humidity*.
- d. Metode yang digunakan yaitu Fuzzy-Ant Colony Optimization (ACO).
- e. Fuzzy yang digunakan adalah Fuzzy sugeno dengan representasi logika fuzzy berupa kurva segitiga.
- f. Fungsi keanggotaan yang digunakan adalah 3, 5, dan 7 *membership function*.

1.4 Sistematika Laporan

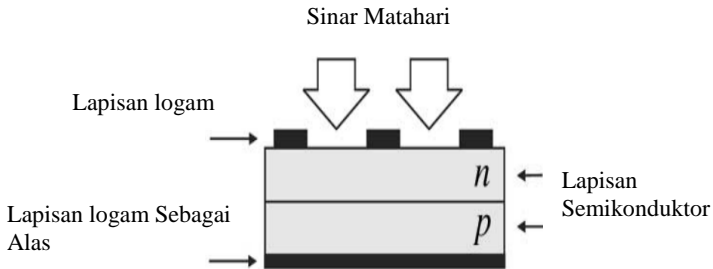
Sistematika penulisan laporan tugas akhir adalah sebagai berikut:

- a. **BAB I PENDAHULUAN**
Pada bab I ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, dan sistematika laporan.
- b. **BAB II DASAR TEORI**
Pada bab II ini dibahas mengenai teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan tentang PV, fuzzy dan optimasi dengan algoritma ACO
- c. **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**
Pada bab III ini berisi mengenai rancangan dari penelitian yang dilakukan, metode, dan langkah-langkah dalam penelitian.
- d. **BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**
Pada bab IV ini berisi tentang analisis hasil pemodelan PV menggunakan Fuzzy dan Fuzzy-ACO.
- e. **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**
Pada bab V ini diberikan kesimpulan tentang tugas akhir yang telah dilakukan berdasarkan data-data yang diperoleh serta diberikan saran sebagai penunjang maupun pengembangan untuk tugas akhir yang selanjutnya.

BAB II DASAR TEORI

2.1 *Photovoltaic* (PV)

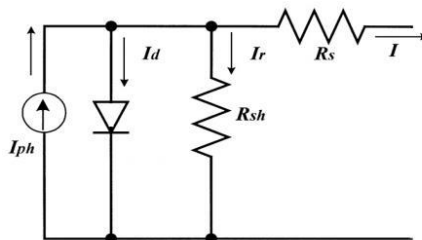
Sel Surya atau *Photovoltaic* adalah suatu sumber energi listrik yang berasal dari pemanfaatannya cahaya matahari sebagai sumber energi menjadi energi listrik (Dzulkarnain , Ashari, & Riawan, 2014). Menurut Sedra dan Smith dalam Villalva dkk sel surya pada dasarnya merupakan sambungan dioda semikonduktor *p-n junction* yang terpaparkan sinar matahari secara langsung. Sel surya terdiri dari *cell* yang terbuat dari beberapa jenis dari semikonduktor yang berbeda dalam proses pembuatannya. Semikonduktor yang pada umumnya dijadikan sebagai *cell* pada sel surya adalah silikon. Silikon (Si) pada sel surya terdiri layer tipis film Si yang terhubung dengan terminal elektrik. Salah satu sisi dari layar Si diolah untuk membentuk *p-n junction*. Lapisan logam tipis di tempatkan pada permukaan di atas sel surya yang berhadapan langsung dengan matahari (Villalva, Gazoli, & Filho, 2009), maka bentuk lapisan-lapisan penyusun sel surya dapat dilihat pada gambar 2.1. Cahaya matahari yang mengenai *cell* pada sel surya akan menghasilkan muatan yang berasal dari arus elektrik hal ini dapat terjadi jika *cell* mengalami arus pendek (Moller, 1993). Muatan dihasilkan ketika energi foton dari sinar matahari mampu untuk mengeluarkan elektron kovalen dari semikonduktor, hal ini bergantung dengan bahan semikonduktor dan juga panjang gelombang dari sinar matahari yang mengenai permukaan semikonduktor. Pada dasarnya, fenomena sel surya dapat dideskripsikan sebagai penyerapan radiasi panas matahari, menghasilkan arus, dan perpindahan pembawa muatan pada *p-n junction* serta mengoleksi muatan elektrik pada terminal dari sel surya (Fahrenbruch & Bube , 1983). Sel surya dalam menghasilkan pembawa muatan elektrik bergantung pada *flux* dari cahaya matahari yang mengenai sel surya dan kapasitas penyerapan dari semikonduktor penyusunnya. Kapasitas penyusun terutama bergantung dari besarnya nilai *bandgap* semikonduktor, yang terdapat pada permukaan *cell* , konsentrasi intrinsik dari permbawa muatan semikonduktor, dari



Gambar 2. 1 Struktur pembentuk PV (Villalva, Gazoli, & Filho, 2009)

mobilitas elektron, nilai rekomendasi, dari temperatur dan beberapa faktor lainnya (Villalva, Gazoli, & Filho, 2009).

Radiasi sinar matahari tersusun dari energi-energi foton yang memiliki jumlah energi yang berbeda-beda. Energi foton yang memiliki besar energi kurang dari *bandgap* semikonduktor penyusun sel surya tidak dapat digunakan untuk mengkonversi energi dari radiasi sinar matahari menjadi tegangan maupun arus listrik. Energi foton yang besarnya melebihi energi *bandgap* semikonduktor mampu menghasilkan listrik baik tegangan maupun arus, namun hanya yang besarnya sesuai dengan besar *bandgap* tersebut, sisanya akan menjadi panas pada badan sel surya. Semikonduktor yang mempunyai besar *bandgap* rendah mempunyai keuntungan rentang spektrum dari radiasi sinar matahari yang mampu dikonversikan menjadi energi listrik lebih besar, namun tegangan yang dihasilkan lebih kecil. Si bukanlah satu-satunya semikonduktor yang digunakan untuk menyusul sel surya, bahkan bukanlah yang terbaik, namun Si mempunyai keuntungan proses fabrikasinya yang ekonomis dalam skala yang besar. Material lain mungkin memang lebih besar dalam efisiensi, namun memiliki biaya produksi yang besar dan biaya komersialisasi yang mahal. Berikut adalah gambaran umum rangkaian *photovoltaic*.



Gambar 2. 2 Rangkaian elektrik pada PV secara umum (Moller, 1993)

Berdasarkan pada gambar 2..2 maka persamaan karakteristik arus dan tegangan ($V - I$) dari sel surya adalah sebagai berikut (Moller, 1993).

$$I = I_{ph} - I_{os} \left(e^{\frac{V+I.R_s}{n_s V_t}} - 1 \right) - \frac{V+I.R_s}{R_{sh}} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

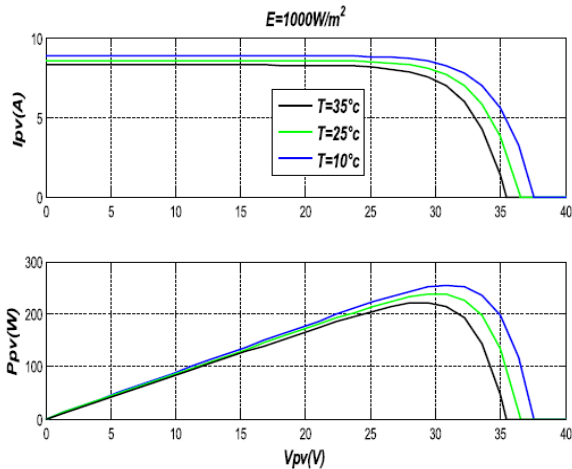
Arus yang keluar dari PV dapat dihitung dengan menggunakan hokum Kirchoff seperti:

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

Secara ideal, nilai I_{sh} adalah nol ketika nilai $R_{sh} \approx \infty$ maka persamaan (2.1) dapat ditulis kembali menjadi :

$$I = I_{ph} - I_d = I_{ph} - I_o \left[\exp \left(\frac{V+I.R_{pv}}{V_T} \right) - 1 \right] \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

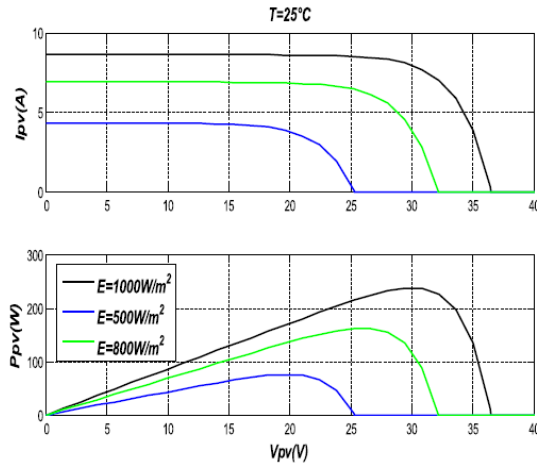
Temperatur dan iradiasi yang mengenai PV sangat berpengaruh terhadap nilai tegangan (V) dan arus (I) dari PV. Berikut adalah grafik dari temperatur dan iradiasi yang mempengaruhi tegangan dan arus ditunjukkan gambar 2.3 dan 2.4 (Soufi, Bachouat, & Kahla, 2016). Dari gambar 2.3 dapat diketahui bahwa kenaikan suhu pada iradiasi yang konstan akan berakibat pada penurunan tegangan dari PV yang menyebabkan daya yang keluar juga menurun dan berlaku sebaliknya. Gambar 2.3 dan 2.4 menjelaskan bahwa pada temperatur dan iradiasi berpengaruh terhadap tegangan dan arus yang dihasilkan oleh PV.



Gambar 2. 3 Pengaruh Temperatur terhadap iradiasi yang konstan (Soufi, Bachouat, & Kahla, 2016)

Pada $T\ 35^\circ\text{C}$ menghasilkan arus yang lebih kecil dibandingkan dengan $T\ 25^\circ\text{C}$ dan 10°C . Sedangkan gambar selanjutnya menjelaskan bahwa tegangan pada suhu 35°C lebih kecil dibandingkan tegangan pada suhu 25°C dan 10°C pada keadaan iradiasi bernilai $1000\ \text{W/m}^2$.

Pada gambar 2.4 menunjukkan pengaruh iradiasi yang diterima PV dan pengaruhnya terhadap arus yang dikeluarkan oleh PV. Grafik di atas menunjukkan bahwa pada iradiasi $1000\ \text{W/m}^2$ dapat menghasilkan arus yang lebih tinggi dibandingkan dengan iradiasi $500\ \text{W/m}^2$ dan $300\ \text{W/m}^2$. Kenaikan iradiasi yang diterima oleh PV akan meningkatkan nilai arus yang keluar dari PV yang berakibat meningkat pula daya yang keluar dari PV. Sebaliknya, bila iradiasi matahari menurun maka nilai arus dan daya yang keluar dari PV akan menurun. Output dari PV selain dipengaruhi oleh iradiasi dan suhu, juga dipengaruhi oleh kecepatan angin dan *relative humidity* dengan persamaan:



Gambar 2. 4 Pengaruh Iradiasi terhadap suhu yang konstan (Soufi, Bachouat, & Kahla, 2016)

$$T_{module} = (w1 \times T_{ambient}) + (w2 \times Irradiance + (w3 \times wind speed) + (w5 \times RH) + Constant \dots\dots\dots(2.4)$$

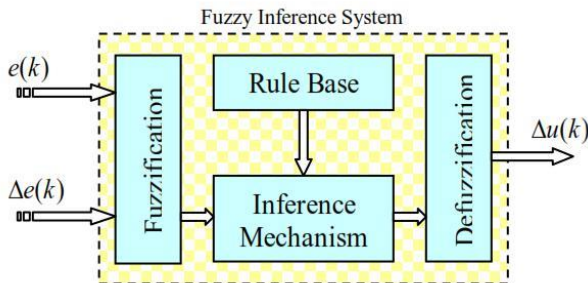
Nilai $w1, w2, w3$ dan $w4$ dan *Constant* dapat dilihat pada table koefisien parameter suhu akhir pada PV di bagian lampiran. Dari persamaan 2.4 dapat diketahui bahwa kecepatan angin dan RH berpengaruh terhadap temperatur pada PV. Semakin tinggi kecepatan angin maka temperatur akan semakin rendah dan daya yang dikeluarkan akan semakin tinggi. Sebaliknya, bila RH semakin rendah maka temperatur akan semakin tinggi dan nilai daya akan rendah (TamizhMani, Ji, Tang, & Petacci, 2003).

Untuk menentukan nilai $w1, w2, w3, w5$ dan konstanta, maka dipilih PV jenis *polycrystalline* dengan module *average* sesuai dengan jenis PV yang digunakan dalam penelitian.

2.2 Fuzzy Logic (FL)

Logika fuzzy adalah cabang dari sistem kecerdasan buatan (*Artificial Intelegent*) yang mengemulasi kemampuan manusia dalam berfikir ke dalam bentuk algoritma yang kemudian

dijalankan oleh mesin. Algoritma ini digunakan dalam berbagai aplikasi pemrosesan data yang tidak dapat direpresentasikan dalam bentuk biner. Logika *fuzzy* menginterpretasikan statemen yang samar menjadi sebuah pengertian yang logis. *Fuzzy logic* adalah sebuah metodologi ‘berhitung’ dengan variabel kata-kata (linguistic variabel), sebagai pengganti berhitung dengan bilangan. Kata-kata yang digunakan dalam *fuzzy logic* memang tidak sepresisi bilangan, namun kata-kata jauh lebih dekat dengan intuisi manusia. Pada dasarnya struktur logika *fuzzy* dapat digambarkan seperti berikut (Muna, 2005)



Gambar 2. 5 Sistematika *Fuzzy Logic* (Muna, 2005)

Fungsi dari bagian-bagian di atas adalah sebagai berikut:

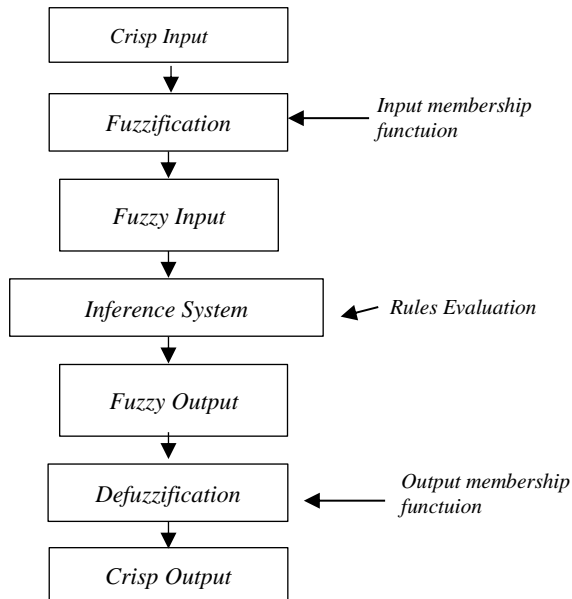
- a. *Input*
Masukkan pada *fuzzy logic* berupa bilangan *real*.
- b. Fuzzifikasi
Himpunan *fuzzy* merupakan suatu pengembangan lebih lanjut tentang konsep himpunan dalam matematika. Himpunan *fuzzy* adalah rentang nilai-nilai. Masing-masing nilai mempunyai derajat keanggotaan (*membership*) antara 0 sampai dengan 1. Pada kolom fuzzifikasi mengkonversi *crisp* (variabel fisis) menjadi suatu bilangan *fuzzy* (variabel linguistik) menggunakan operator fuzzifikasi. Bagian fuzzifikasi yang berguna untuk memetakan adalah fungsi keanggotaan (*membership function*) yang terdiri dari beberapa segitiga. Semakin banyak jumlah dari *membership function* yang ditentukan maka akan semakin bagus yang

akan diperoleh namun untuk melakukan eksekusi memerlukan waktu yang lama dan data yang lebih banyak (Muna, 2005)

c. Defuzzifikasi

Keputusan yang dihasilkan dari proses penalaran masih dalam bentuk fuzzy, yaitu berupa derajat keanggotaan keluaran. Hasil ini harus diubah kembali menjadi variabel numerik non fuzzy (*crisp*) melalui proses defuzzifikasi (Muna, 2005).

Berikut adalah flowchart pemodelan dengan fuzzy.



Gambar 2. 6 Flowchart Fuzzy (Muna, 2005)

2.2.1 Himpunan Fuzzy (*Fuzzy Set*)

Himpunan fuzzy adalah sekumpulan object x dimana masing-masing object memiliki nilai keanggotaan itu atau disebut juga dengan nilai kebenaran. Ada beberapa bagian yang harus diketahui mengenai fuzzy:

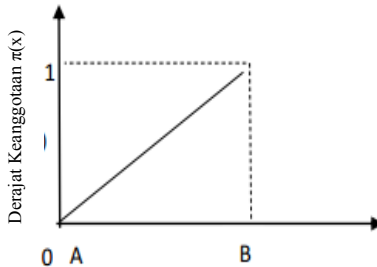
- a. Variabel Fuzzy:
Variabel fuzzy adalah variabel yang hendak dibahas dalam sistem fuzzy. Contoh : umur, temperatur, iradiasi, arus, tegangan.
- b. Himpunan Fuzzy
Himpunan fuzzy adalah kelompok yang memiliki suatu kondisi atau keadaan tertentu dalam variabel fuzzy: Contoh : variabel temperatur terbagi menjadi 5 himpunan fuzzy, yaitu : panas, dingin, sejuk, normal dan hangat
- c. Semesta pembicaraan
Semesta pembicaraan adalah keseluruhan nilai yang diperbolehkan untuk dioperasikan dalam suatu variabel fuzzy yang berupa bilangan *real* dan dapat berupa bilangan positif maupun bilangan negatif. Contoh semesta pembicaraan untuk variabel temperatur : [0 55]
- d. Domain
Domain himpunan fuzzy adalah keseluruhan nilai yang diizinkan dan boleh beroperasi dalam suatu himpunan fuzzy. Seperti semesta pembicaraan, domain merupakan himpunan bilangan real dan dapat berupa bilangan positif dan negative. Contoh domain himpunan fuzzy:
Dingin = [0, 20]
Sejuk = [15, 25]
Normal = [20,30]

2.2.2 Fungsi Keanggotaan Fuzzy

Keanggotaan adalah kurva yang menunjukkan titik-titik input data kedalam nilai keanggotaan yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melakukan pendekatan fungsi. 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 linier

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

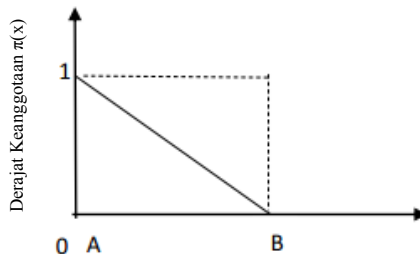


Gambar 2. 7 Grafik representasi linier naik (Muna, 2005)

Fungsi keanggotaan representasi linier naik:

$$\mu[x] = \begin{cases} \frac{(x-A)}{(B-A)}, & A \leq x \leq B \\ 0, & x \geq B \end{cases} \dots\dots\dots(2.5)$$

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



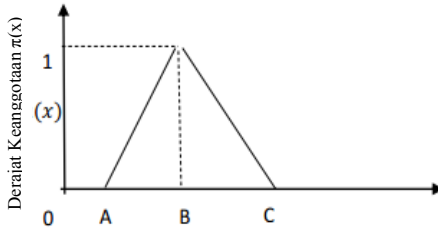
Gambar 2. 8 Grafik representasi linier turun (Muna, 2005)

Fungsi keanggotaan representasi linier turun :

$$\mu[x] = \begin{cases} \frac{(B-x)}{(B-A)}, & A \leq x \leq B \\ 0, & x \geq B \end{cases} \dots\dots\dots(2.6)$$

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 Berikut merupakan gambar dari representasi kurva segitiga :



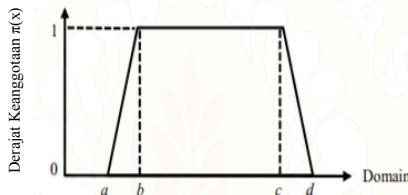
Gambar 2. 9 Representasi kurva segitiga (Muna, 2005)

Fungsi keanggotaan dari kurva segitiga:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0, & x \leq A \text{ atau } x \geq C \\ \frac{(x-a)}{(B-A)}, & A \leq x \leq B \\ \frac{(c-x)}{(c-B)}, & B \leq x \leq C \end{cases} \dots\dots\dots (2.7)$$

c. Representasi Kurva Trapesium

Kurva trapesium adalah representasi kurva yang berbentuk trapesium. Kurva trapesium memiliki beberapa titik yang memiliki derajat keanggotaan bernilai 1 (Muna, 2005). Representasi kurva trapesium ditunjukkan pada gambar 2.10 Fungsi keanggotaan trapesium dinyatakan dengan persamaan berikut :

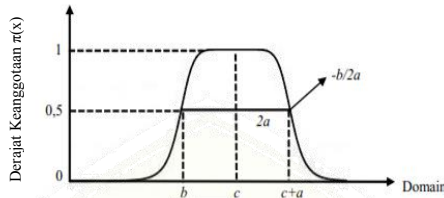


Gambar 2. 10 Representasi kurva trapesium (Muna, 2005)

$$T[x, a, b, c, d] = \begin{cases} 0; & x < a \\ (x - a)I(b - a); & a \leq x \leq b \\ 1; & b < x \leq c \\ (d - x)I(d - c); & c \leq x \leq d \\ 0; & x > d \end{cases} \dots \dots \dots (2.8)$$

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 2.9



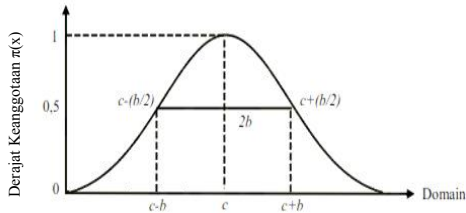
Gambar 2. 11 Representasi kurva *generalized bell* (Muna, 2005)

Fungsi keanggotaan *generalized bell* dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$bell(x; a, b, c) = \frac{1}{1 \pm \left| \frac{x - c}{a} \right|^{2b}} \dots \dots \dots (2.9)$$

e. Representasi Kurva Gaussian

Pada kurva gaussian, 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 2.10



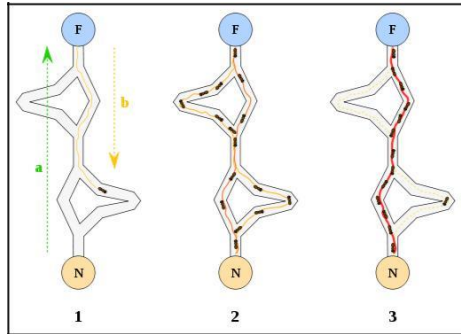
Gambar 2. 12 Representasi kurva *Gaussian* (Muna, 2005)

Fungsi keanggotaan gaussian dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$G(x; b, c) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2b^2}} \dots \dots \dots (2.10)$$

2.3 Ant Colony Optimization (ACO)

Ant Colony Optimization (ACO) diadopsi dari perilaku koloni semut yang dikenal sebagai sistem semut (Dorigo.M dkk, 1996). Ant colony Optimization adalah salah satu kecerdasan buatan yang bisaya digunakan untuk oprtimasi system, diantaranya sistem kendaraan (Ali. M dkk, 2015), *wind diesel* (M. Ali dan H. Nurrohmah, 2017). Motor listrik dan sistem tenaga ataupun renewable energi lainnya. Semut tergolong salah satu hewan yang pintar, mereka mampu mencapai makannya dengan jalur yang terpendek dan tercepat. Perilaku semut adalah inspirasi untuk Algoritma *Ant Colony Optimization* ini. Prinsip dari ACO adalah semut yang selalu meninggalkan suatu zat kimia khusus (feromon) pada jalur yang dilewatinya selama melakukan perjalanan. Feromon yang ditinggalkan pada tempat yang dilewati oleh semut ini menjadi pemandu bagi semut-semut lain dalam melakukan perjalanan. Semakin banyak semut yang melewati jalur tersebut maka jumlah feromon juga akan semakin banyak, sehingga kemungkinan semut-semut lain mengikuti jalur tersebut akan semakin besar. Ketika seekor semut menemukan jalur (pendek) dari koloni ke sumber makanan, semut lain akan lebih cenderung mengikuti jalan itu.



Gambar 2. 13 Jalur makan semut (M. Ali dan H. Nurrohmah, 2017).

Langkah - langkah penyelesaian komputasi pada ACO terlihat pada gambar 2.11 (M. Ali dan H. Nurrohmah, 2017). Gambar 2.11 merupakan jalur makanan semut dengan F adalah *food source* yang berarti sumber makanan dan N adalah *nest* yang berarti sarang semut. Gagasan awal algoritma semut ini berasal dari hasil pengamatan sumber makanan dari semut itu sendiri dimana semut secara individual memiliki kemampuan kognitif dalam menemukan jalur terpendek antara sumber makanan dan sarangnya. Semut mengambil rute terpendek, dan jejak rute yang panjang akan hilang. Seekor semut k ketika melewati ruas akan meninggalkan pheromone. Jumlah pheromone yang terdapat pada ruas $i - j$ setelah dilewati semut k diberikan dengan rumus(2.11).

$$\tau_{i,j} \leftarrow \tau_{i,j} + \Delta\tau^k \dots\dots\dots(2.11)$$

Dengan meningkatnya nilai pheromone pada ruas $i - j$,maka kemungkinan ruas ini akan dipilih lagi pada iterasi berikutnya semakin besar. Setelah sejumlah simpul dilewati maka akan terjadi penguapan pheromone dengan aturan sebagai berikut:

$$\tau_{i,j} \leftarrow (1 - \rho) \tau_{i,j} : \forall (i,j) \in A \dots\dots\dots(2.12)$$

Penurunan jumlah *pheromone* memungkinkan semut untuk mengeksplorasi lintasan yang berbeda selama proses pencarian. Ini juga akan menghilangkan kemungkinan memilih lintasan yang kurang bagus. Selain itu, ini juga membantu membatasi nilai

maksimum yang dicapai oleh suatu lintasan pheromone (M. Ali dan H. Nurrohmah, 2017).

2.2.3 Inisialisasi

Tahap inisialisasi ini dimulai dengan membuat variabel semut yang akan digunakan dengan rumus sebagai berikut

$$x_i^{(j)} = l_i + \frac{u_i - l_i}{m+v} (j - 1 + rand_i^{(j)}) \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana $(m + v)$ adalah jumlah awal variabel yang akan digunakan pada setiap variabel iterasi i , sedangkan $rand_i^{(j)}$ adalah angka secara random yang *uniform* antara $[0,1]$ dengan $i = 1,2,\dots,n; j= 1,2,\dots, m + v$.

2.2.4 Dynamic Exploitation Process

Tujuan dari proses ini adalah untuk menentukan radius semut berjalan pada variabel terpilih di proses inisialisasi. Setiap variabel yang terpilih akan diperbaharui nilainya. Nilai variabel yang terpilih secara random dapat ditingkatkan, dibuat tetap, atau diturunkan dengan persamaan (2.13). Setelah mendapatkan nilai variabel baru, kemudian variabel tersebut akan dibandingkan dengan nilai sebelumnya apakah lebih baik atau buruk. Jika nilai yang didapatkan lebih baik dari nilai sebelum diperbaharui, maka nilai sebelumnya akan digantikan oleh nilai yang sudah diperbaharui.

$$\hat{x}_i = \left\{ \begin{array}{l} \min(x_i^{(0)} + r_i \cdot \sigma_i, u_i), 0 \leq q < 1/3 \\ x_i^{(0)}, 1/3 \leq q < 2/3 \\ \max(x_i^{(0)} - r_i \cdot \sigma_i, l_i), 2/3 \leq q < 1 \end{array} \right\} \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan:

$x_i^{(0)}$: variabel terpilih setiap (i)

r_i : radius setiap (i)

σ_i : nilai random secara uniform antara $[0,1]$ setiap (i)

q : nilai random secara uniform antara $[0,1]$ setiap (i)

2.2.5 Ants' Solution Construction

Setelah variabel yang terpilih ditentukan, sebanyak m jumlah semut digunakan untuk membangun solusi. Setiap variabel yang terpilih diasosiasikan dengan feromon dimana akan menentukan solusi yang akan dibangun. Indeks $l_i^{(k)}$ dari variabel terpilih oleh semut sejumlah k pada setiap iterasi adalah sebagai berikut:

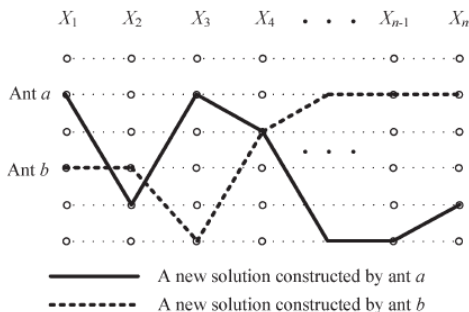
$$l_i^{(k)} = \begin{cases} \operatorname{argmax} \{ \tau_i^{(1)}, \tau_i^{(2)}, \dots, \tau_i^{(m)} \}, & \text{if } q < q_0 \\ L_i^{(k)}, & \text{otherwise} \end{cases} \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan:

- q : nilai secara random dengan rentang $[0,1]$
- I : jumlah iterasi, $1,2,3,\dots,n$
- k : jumlah solusi, $1,2,3,\dots,m$
- q_0 : parameter kontrol

q_0 adalah parameter yang membuat semut akan memilih variabel dengan feromon yang bedar dari solusi m dari iterasi sebelumnya atau secara random memilih indeks $L_i^{(k)} \in \{0,1, \dots, m + g_i\}$ sesuai dengan persamaan berikut ini:

$$p_i^{(j)} = \frac{\tau_i^{(j)}}{\sum_{u=0}^{m+g_i} \tau_i^{(u)}}, j = 0,1, \dots, m + g_i \dots\dots\dots(2.16)$$



Gambar 2. 14 Ilustrasi solusi dari dua semut (Hu, et al., 2010)

Gambar di atas menunjukkan ilustrasi dari dua semut yang menghasilkan solusi. Variabel yang dipilih oleh masing-masing

semut membentuk sebuah jalur. Jalur ini terbentuk berdasarkan feromon yang ditinggalkan

2.2.6 Pheromone Update

Pada awalnya, setiap variabel memiliki feromon awal τ_0 . Setelah mengevaluasi solusi m yang dibangun oleh semut, solusi tersebut diurutkan berdasarkan fungsi objektif yang digunakan untuk membentuk urutan mulai dari yang terbaik hingga terburuk. Feromon dari variabel yang dipilih, akan menguap dengan fungsi seperti berikut

$$\tau_i^{(j)} \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_i^{(j)} + \rho \cdot T_{min} \dots\dots\dots(2.19)$$

Keterangan:

ρ : laju penguapan feromon yang bernilai antara 0 sampai 1

T_{min} : nilai feromon awal

i : iterasi, (1,2,...,n)

j : jumlah semut (1,2,...,m)

Nilai dari variabel pada ψ solusi terbaik, mendapatkan penguatan feromon dengan persamaan berikut:

$$\tau_i^{(j)} \leftarrow (1 - \alpha) \cdot \tau_i^{(j)} + \alpha \cdot T_{max} \dots\dots\dots(2.20)$$

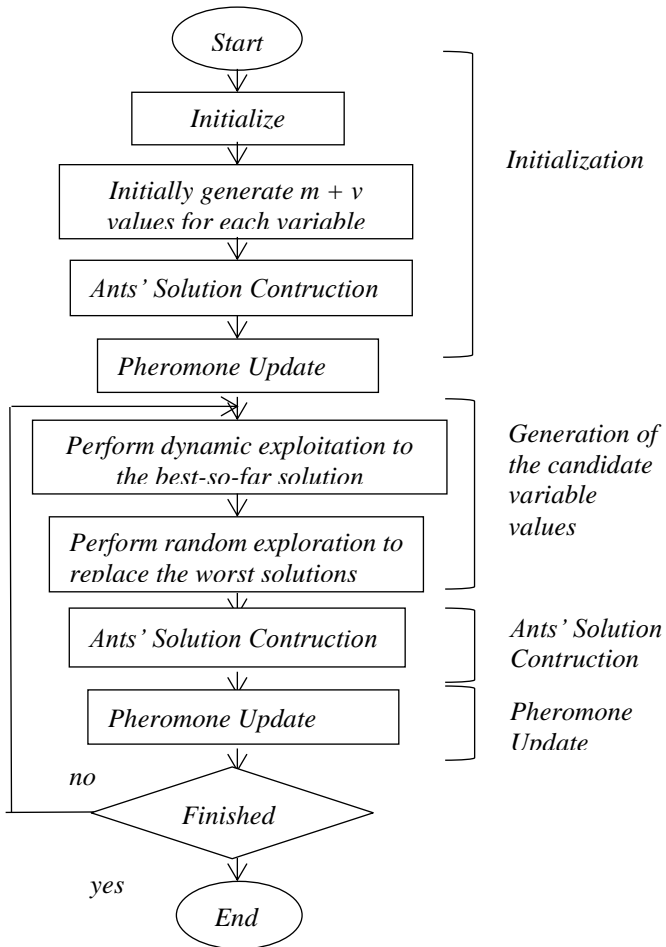
Keterangan:

α : laju penguatan feromon yang bernilai antara 0 sampai 1

T_{max} : nilai feromon maksimum awal

Ψ : jumlah solusi terbaik yang mendapatkan penguatan feromon (Hu, Zhang, Chung, Li, & Liu, 2010)

Adapun langkah dari optimasi ACO adalah sebagai berikut :



Gambar 2. 15 Flow Chart ACO_R dengan Fungsi Kontinyu (Hu, et al., 2010)

2.4 Fuzzy Ant Colony Optimization (ACO)

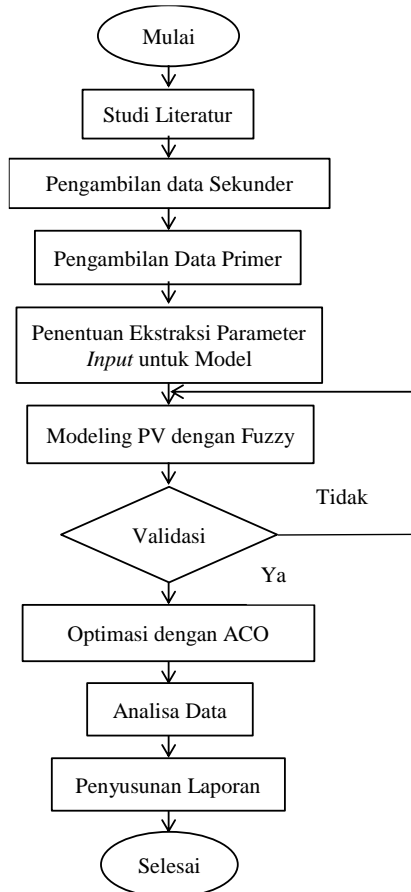
Fuzzy-ACO merupakan *membership function* Fuzzy yang telah dioptimasi dengan ACO. Berikut adalah langkah langkah optimasi Fuzzy dengan ACO (T. Hajar dkk, 2015).

- Langkah 1): Baca pengambilan data PV (temperatur, iradiasi, kecepatan angin dan RH), inialisasi parameter ACO dan algoritmanya.
- Langkah 2) : Evaluasi keanggotaan fuzzy berdasarkan tujuan dan fungsi fuzzy sebagai solusi terbaik.
- Langkah 3) : Pembaruan nilai *pheromone* ACO menggunakan persamaan (2.19) dan (2.10). Hasilkan solusi baru dengan memperbarui ACO, dan bandingkan nilai dari solusi baru dengan solusi terbaik. Jika nilai yang dihasilkan memiliki nilai yang lebih baik, maka nilai tersebut akan digunakan untuk optimasi.
- Langkah 4) : Periksa jumlah iterasi dan jika jumlah iterasi tidak memiliki nilai yang ditentukan, maka langkah tersebut diulangi
- Langkah 5) : Defuzzifikasi solusi terbaik dan cetak hasilnya
- Langkah 6) : Stop

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian tugas akhir ini, dilakukan dalam beberapa tahapan. Tahapan- tahapan tersebut digambarkan dalam suatu diagram alir berikut :



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian kali ini dimulai dengan studi literatur tentang topik yang diajukan dari berbagai jurnal dan dari internet yang berhubungan dengan pemodelan *photovoltaic* dengan Fuzzy dan optimasi dengan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO). Setelah studi literatur dilakukan langkah selanjutnya adalah pengambilan data sekunder. Data sekunder meliputi spesifikasi PV dan data tempat pengambilan data sekunder. Pada spesifikasi PV dibutuhkan *Maximum power* (P_{MPP}), *Maximum Voltage* (V_{MPP}), *Maximum Current* (I_{MPP}), *open circuit voltage* (V_{oc}), *short circuit current* (I_{sc}) pada keadaan STC (*Standar Test Condition*).

Setelah dilakukan pengambilan data sekunder, langkah selanjutnya adalah pengambilan data primer. Pengambilan data primer dilakukan dengan berbagai kondisi cuaca seperti cerah penuh, mendung penuh, *balance*, dominan cerah dan dominan mendung. Pengambilan data dimulai pada pukul 07.00 – 17.00 WIB. Pengambilan data primer berupa pada iradiasi, suhu, kecepatan angin, dan *Relative Humidity*. Selanjutnya dilakukan penentuan ekstraksi parameter input untuk model. Berikut adalah ekstraksi parameter *input* pada PV.

Setelah penentuan ekstraksi, kemudian memodelkan sistem dengan Logika Fuzzy pada *software*. Fuzzy yang digunakan adalah fuzzy sugeno dengan 5 *membership function* dan dengan melakukan pasangan input dan output. Langkah awal dengan menentukan input, fuzzifikasi, dan langkah terakhir adalah defuzzifikasi. Selanjutnya dilakukan validasi dengan cara membandingkan hasil pemodelan fuzzy dengan data primer PV pada cuaca *balance*. Kemudian diperoleh nilai RMSE dan MSE. Jika nilai rata-rata *error* melebihi 5% maka perlu dilakukan pemodelan ulang, bila kurang dari 5% maka langkah selanjutnya adalah optimasi dengan algoritma ACO. Algoritma ACO menirukan perilaku koloni semut dalam mencari makanan, semut akan mencari makanan dengan jalur terpendek dari sumber makanan ke sarang. Setelah melakukan optimasi model Fuzzy dengan ACO pada PV, langkah selanjutnya adalah analisa data.

3.2 Rancangan Penelitian

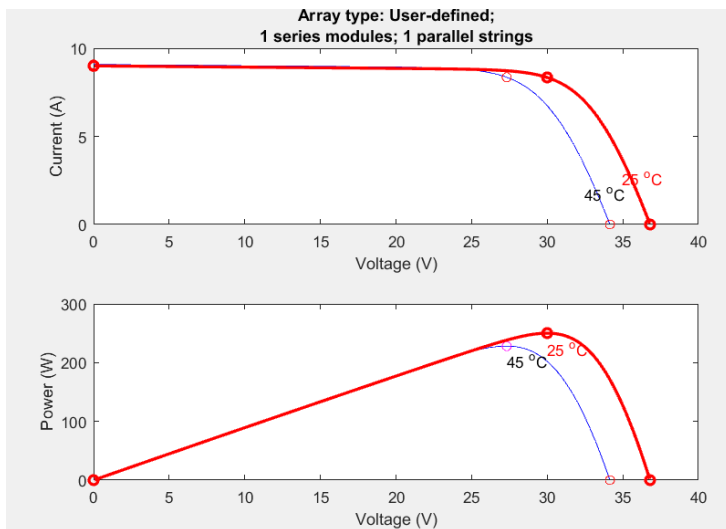
Rancangan penelitian membahas mengenai spesifikasi PV, alat ukur yang akan digunakan dan penentuan variabel pada data primer.

3.2.1 Photovoltaic (PV)

Modul PV yang digunakan adalah tipe ST Solar dengan daya maksimum 250 Watt. Spesifikasi PV ditampilkan dalam tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1 Spesifikasi Modul PV

Kategori	ST solar
Maximum Power at STC (P_{mpp})	250 W
Maximum Power Voltage at STC (V_{mpp})	30 V
Maximum Power Current at STC (I_{MPP})	8.34 A
Open Circuit Voltage (V_{OC})	36.8 V
Short Circuit Current at STC	9 A
Temperatur Coeff. of Short Circuit Current (μ)	0.00053 A/°C
Temperatur Coeff. of Short Circuit Voltage (Φ)	-0.0036 V/°C
PV Internal Resistance (R_{pv})	0.15603 Ohm



Gambar 3.2 P –V dan I-V pada Photovoltaic

Setelah diberi nilai saat STC (Iradiasi= 1000 Watt/m² dan suhu 25°C) maka diperoleh grafik karakteristik seperti gambar 3.3. Setelah mendapatkan kurva P-V dan I-V pada saat STC (irradiasi= 1000 w/m² dan suhu 25°C) dibandingkan nilai yang keluar dari PV dengan nilai yang ditunjukkan pada kurva P-V dan I-V.

3.3 Ekstraksi Parameter Penelitian

Pada tahap ini dilakukan penentuan variabel input pada PV dan output yang digunakan pada proses pengambilan data. Berikut adalah variabel yang digunakan sebagai berikut:

Tabel 3. 2 Variasi *input* dan *output*

No	Variabel Input	Satuan	Variabel Output	Satuan
1	Iradiasi	Watt/m ²	Arus	A(Ampere)
2	Suhu PV	⁰ C	Tegangan	V(Volt)
3	Kecepatan Angin	m/s		
4	<i>Reltive Humidity</i>	%		

Tabel di atas merupakan variabel pengukuran *input* dan *output*. Setelah diketahui variabel input dan outputnya, langkah selanjutnya adalah penentuan ekstraksi *input* dan *output* pada pemodelan. Berikut adalah tabel ekstraksi variabel *input* dan *output*.

Tabel 3. 3 Ekstraksi variabel *input* dan *output*

No	Ekstraksi Parameter	Keterangan
1	2in2out	<i>input</i> (Iradiasi dan Temperatur), <i>output</i> (Arus dan Tegangan)
2	3in2out	<i>input</i> (Iradiasi, Temperatur dan kecepatan angin), <i>output</i> (Arus dan Tegangan)
3	4in2out	<i>input</i> (Iradiasi, Temperatur, kecepatan angin dan <i>Reltive Humidity</i>), <i>output</i> (Arus dan Tegangan)

3.4 Pengambilan Data Primer

Pengambilan data primer dilakukan untuk mendapatkan nilai iradiasi matahari, suhu, kecepatan angin dan RH sebagai *input* PV dan *output* PV adalah tegangan dan arus. Pengambilan data dilakukan selama 5 hari dan dilakukan mewakili kondisi cerah penuh, mendung penuh, *balance*, dominan cerah dan dominan mendung. Pengambilan data dimulai pukul 07.00 – 17.00 WIB. Pengukuran iradiasi dilakukan dengan menggunakan alat ukur *pyranometer*, suhu diukur dengan menggunakan alat ukur termometer laser, kecepatan angin diukur menggunakan alat ukur *anemometer* dan RH diukur menggunakan alat ukur *envirometer*. Pengambilan data dilakukan di Gedung teknik Fisika lantai 3 karena permukaan yang rata dan bangunan tidak terhalang apapun seperti pohon dan bangunan lainnya. Berikut adalah informasi pengambilan data:

Tabel 3. 4 Informasi lokasi pengambilan data

Lokasi	Lantai 3 Gedung Teknik Fisika ITS
Lintang	7.3 ⁰ LS
Bujur	112.8 ⁰ BT
Ketinggian dari permukaan laut	7 meter

3.5 Pengolahan Data

Berikut adalah data primer yang diperoleh selama pengukuran di gedung lantai 3 Teknik Fisika ITS dengan berbagai kondisi cuaca.

Tabel 3. 5 Data Pengukuran

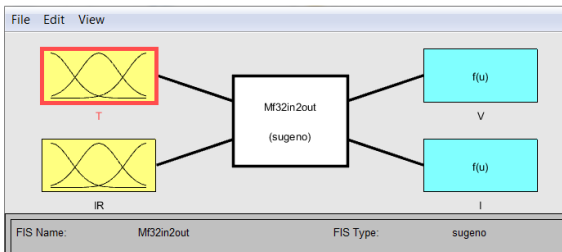
Pukul	Suhu (°C)	Iradiasi (W/m ²)	Vangin (m/s)	RH (%)	Tegangan (Volt)	Arus (A)
07.00	39.30	136.26	59.14	0.60	28.86	1.38
08.00	35.50	184.44	40.80	0.60	28.94	1.81
09.00	47.70	545.10	34.46	0.74	29.40	5.05
10.00	47.30	676.24	41.34	2.40	29.59	6.23
11.00	50.22	928.48	34.22	1.28	29.93	8.49

Tabel 3.5 Lanjutan

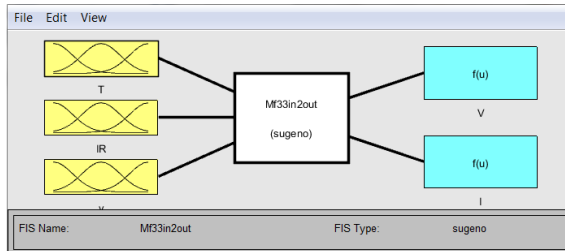
12.00	53.70	900.40	28.34	1.90	29.88	8.24
13.00	55.60	813.76	27.36	0.82	29.75	7.46
14.00	49.90	812.80	30.98	2.38	29.77	7.45
15.00	52.20	446.40	34.58	1.88	29.25	4.16
16.00	36.10	161.28	46.08	1.26	28.91	1.60
17.00	31.40	55.00	56.19	1.00	28.78	0.64

3.6 Perancangan Model Fuzzy

Perancangan model fuzzy dilakukan untuk menentukan pemodelan PV menggunakan fuzzy. *Membership function* yang digunakan adalah 3, 5 dan 7 untuk berbagai pemodelan. Untuk setiap cuaca cerah penuh, mendung penuh, *balance*, dominan cerah dan dominan mendung. Pemodelan dilakukan dengan memvariasikan pasangan *input* dan pasangan *output*. Berikut adalah pemodelan PV dengan fuzzy 3 *membership function* (MF), 5 *membership function* (MF) dan 7 *membership function* (MF).

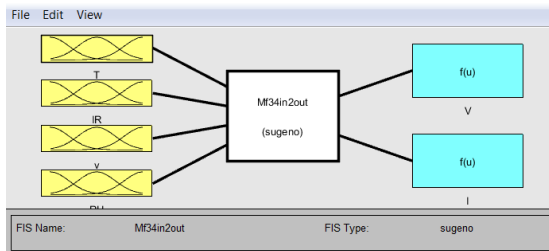
**Gambar 3.3** Pemodelan 2in2out

Gambar 3.3 merupakan model untuk fuzzy 3 *membership function* dengan 2 *input* yaitu temperatur dan iradiasi dan 2 *output* yaitu tegangan dan arus.



Gambar 3. 4 Pemodelan 3in2out

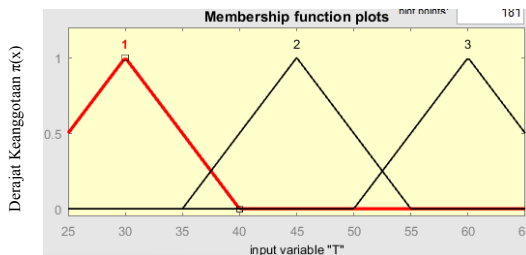
Pada gambar di atas merupakan model PV untuk fuzzy 3 *membership function* dengan 3 *input* yaitu temperatur, iradiasi dan kecepatan angin dan 2 *output* yaitu tegangan dan arus.



Gambar 3. 5 Pemodelan 4in2out

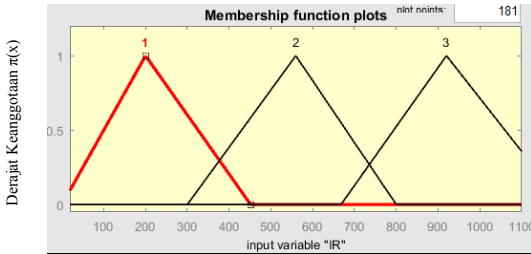
Gambar 3.5 merupakan model PV untuk fuzzy 3 *membership function* dengan 4 *input* yaitu temperatur, iradiasi, kecepatan angin dan RH dan 2 *output* yaitu tegangan dan arus.

Berikut adalah kurva untuk 3 *membership function* (MF), 5 *membership function* (MF) dan 7 *membership function* (MF) pada *input* dan *output* Fuzzy:



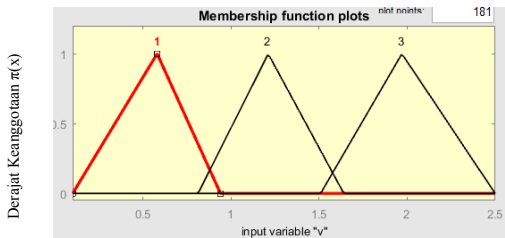
Gambar 3. 6 Kurva Fuzzy variabel Temperatur 3 MF

Gambar 3.6 merupakan kurva fuzzy variabel T (Temperatur) 3 *membership function* (MF) dengan model PV *Fixed* dengan semesta pembicaraan [18.50 70.17].



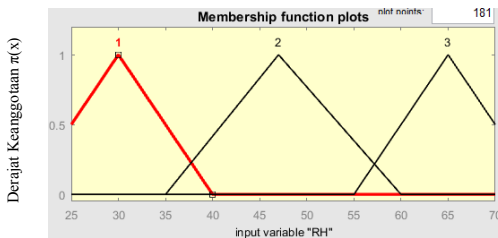
Gambar 3. 7 Kurva Fuzzy variabel iradiasi 3 MF

Gambar di atas menunjukkan kurva fuzzy variabel IR (Iradiasi) model PV *Fixed* 3 *membership function* (MF) dengan dengan semesta pembicaraan [19.3 1250].



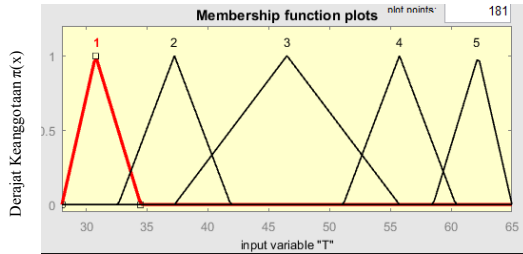
Gambar 3. 8 Kurva Fuzzy variabel kecepatan angin 3 MF

Kurva fuzzy variabel v (Kecepatan angin) 3 *membership function* (MF) terdapat pada gambar 3.8 merupakan model PV *Fixed* dengan semesta pembicaraan [0.1 2.5]



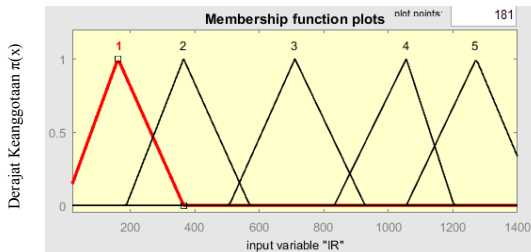
Gambar 3. 9 Kurva Fuzzy variabel RH 3 MF

Gambar 3.9 merupakan kurva fuzzy variabel RH (Kelembapan) 3 *membership function* (MF) dengan model PV *Fixed* dengan semesta pembicaraan [17.23 78.46]



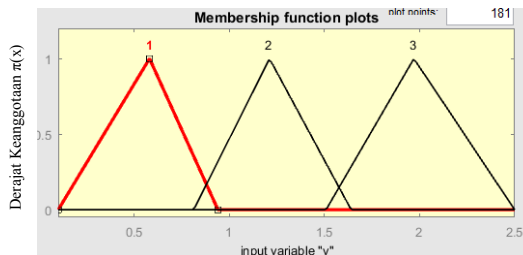
Gambar 3. 10 Kurva Fuzzy variabel tempertur 5 MF

Pada gambar di atas menunjukkan kurva fuzzy variabel T (Tempertur) 5 *membership function* (MF) dengan model PV *Fixed* dengan semesta pembicaraan [25.67 64.87]



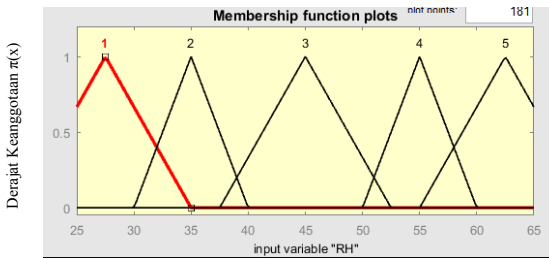
Gambar 3. 11 Kurva Fuzzy variabel iradiasi 5 MF

Gambar 3.11 merupakan kurva fuzzy variabel IR (Iradiasi) 5 *membership function* (MF) dengan model PV *Fixed* dengan semesta pembicaraan [19.3 1540]



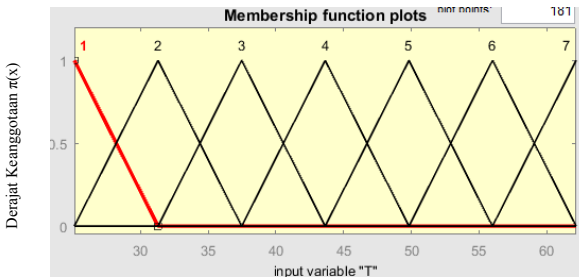
Gambar 3. 12 Kurva Fuzzy variabel kecepatan angin 5 MF

Pada gambar 3.12 merupakan kurva fuzzy variabel v (Kecepatan angin) 5 *membership function* (MF) dengan model PV *Fixed* dengan semesta pembicaraan $[0.1\ 2.5]$.



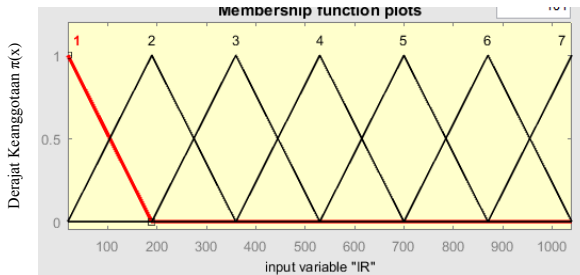
Gambar 3. 13 Kurva Fuzzy variabel RH 5 MF

Gambar di atas menunjukkan kurva fuzzy variabel RH (Kelembapan) 5 *membership function* (MF) dengan model PV *Fixed* dengan semesta pembicaraan $[17.23\ 75.40]$.



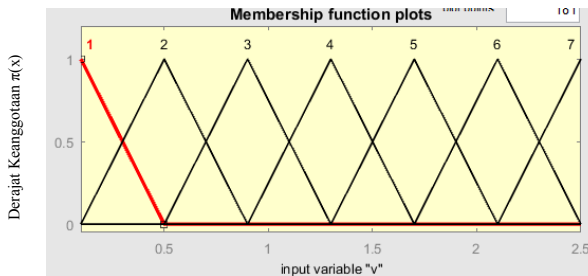
Gambar 3. 14 Kurva Fuzzy variabel tempertur 7 MF

Gambar 3.14 merupakan kurva fuzzy variabel T (Tempertur) 7 *membership function* (MF) dengan model PV *Fixed* dengan semesta pembicaraan $[15.67\ 65.17]$.



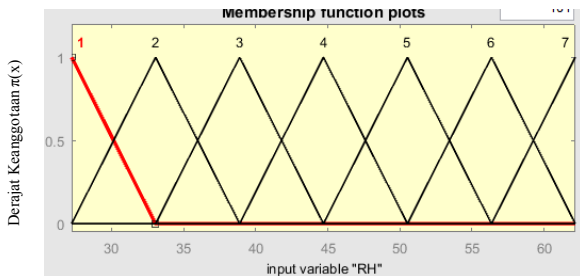
Gambar 3. 15 Kurva Fuzzy variabel iradiasi 7 MF

Gambar di atas merupakan kurva fuzzy variabel IR (Iradiasi) 7 *membership function* (MF) dengan model PV *Fixed* dengan semesta pembicaraan [19.3 1140].



Gambar 3. 16 Kurva Fuzzy variabel kecepatan angin 7 MF

Gambar 3.16 menunjukkan kurva fuzzy variabel v (Kecepatan angin) 7 *membership function* (MF) dengan model PV *Fixed* dengan semesta pembicaraan [0.1 2.5].



Gambar 3. 17 Kurva Fuzzy variabel RH 7 MF

Gambar 3.17 merupakan kurva fuzzy variabel RH (Kelebaran) 3 *membership function* (MF) dengan model PV *Fixed* dengan semesta pembicaraan [27.23 68.46].

3.7 Perancangan Model Fuzzy-ACO

Pada tahap perancangan model fuzzy-ACO diperlukan analisa *output* model yaitu dengan menganalisa nilai MSE dan RMSE, menentukan jumlah iterasi dan dilakukan optimasi model PV dengan algoritma ACO.

a. Analisa *Output* Pemodelan

Analisa *output* pemodelan dengan menggunakan fuzzy pada *software*. Setelah diperoleh nilai *output*, langkah selanjutnya adalah mencari nilai MSE dan RMSE. Adapun rumus untuk menentukan nilai MSE dan RMSE adalah sebagai berikut:

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

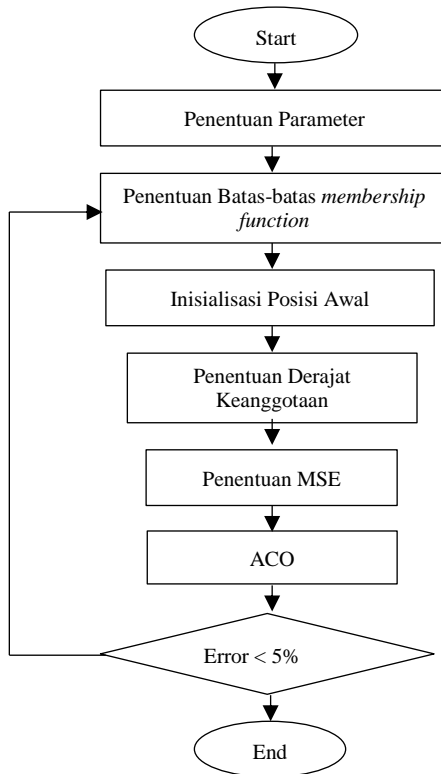
$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (y_t - t_\tau)^2 \dots \dots \dots (3.2)}$$

b. Menentukan Jumlah Iterasi

Iterasi digunakan untuk memperoleh *error* yang kecil. Semakin banyak iterasi, maka *error* yang diperoleh juga kecil. Oleh karena itu digunakan 100 iterasi untuk optimisasi ACO (*Ant Colony Optimization*) agar mendapatkan nilai optimasi yang lebih baik.

c. Langkah Optimasi dengan ACO

Setelah dilakukan analisa *output* model dengan nilai MSE dan RMSE, kemudian menentukan jumlah iterasi. Setelah itu dilakukan optimasi dengan algoritma ACO. Berikut adalah langkah optimasi dengan algoritma ACO



Gambar 3. 18 Langkah Optimasi dengan ACO

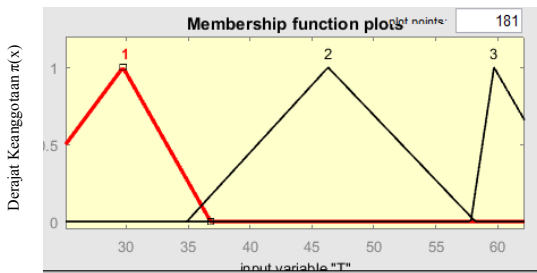
Berikut adalah parameter optimasi pada algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO).

Tabel 3. 6 Parameter nilai ACO

Parameter	Nilai
<i>Pheromone trail weight</i> (α)	0.72
<i>Heuristic weight</i> (β)	0.66
<i>Evaporation rate</i> (ρ)	0.075
<i>Total Ants</i> ($nAnt$)	40
<i>Iteration</i>	100

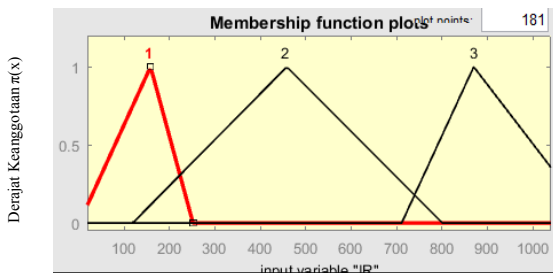
Pheromone trail weight (α) adalah ketetapan pengendali intensitas jarak semut. *Heuristic weight* (β) adalah tetapan pengendali visibilitas. *Evaporation rate* (ρ) adalah penguapan jejak pada semut. Nilai ini digunakan untuk menentukan seberapa besar pheromone yang akan hilang dan akan bertambah bila jalur dilewati. Semakin tinggi nilai (α) maka pengaruh *pheromone* semakin kuat. Semakin tinggi nilai (β), maka pemilihan jarak terdekat akan semakin kuat.

Berikut adalah Fuzzy yang telah dioptimasi dengan ACO.



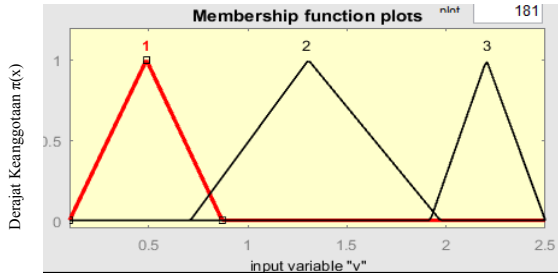
Gambar 3. 19 Kurva Fuzzy-ACO variabel T PV *Fixed* 3MF

Pada gambar 3.19 menunjukkan kurva fuzzy-ACO variabel T (Temperatur) dengan himpunan fuzzy 3 *membership function* (MF) dengan model PV *Fixed* dengan semesta pembicaraan [15.12 62.17].



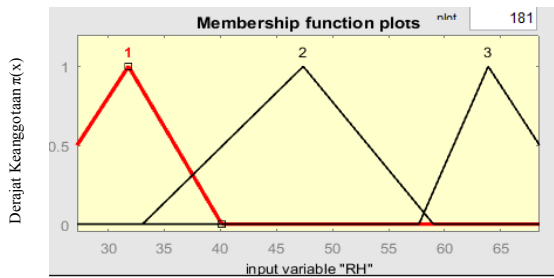
Gambar 3. 20 Kurva Fuzzy-ACO variabel IR PV *Fixed* 3MF

Kurva fuzzy-ACO variabel IR (Iradiasi) dengan himpunan fuzzy 3 *membership function* (MF) model PV *Fixed* terdapat pada gambar 3.16 dengan semesta pembicaraan [19.3 1140].



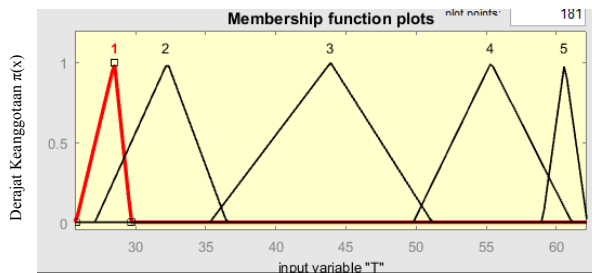
Gambar 3. 21 Kurva Fuzzy-ACO variabel v PV *Fixed* 3MF

Gambar 3.21 menunjukkan kurva fuzzy-ACO variabel v (Kecepatan angin) dengan himpunan fuzzy 3 *membership function* (MF) dengan model PV *Fixed* dengan semesta pembicaraan [0.1 2.5].



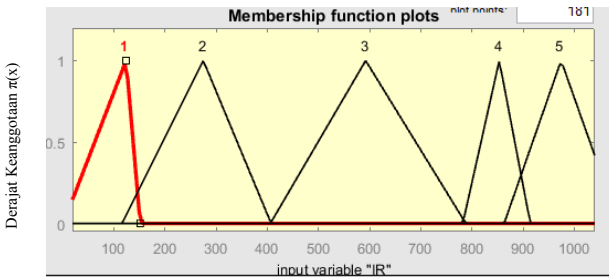
Gambar 3. 22 Kurva Fuzzy-ACO variabel RH PV *Fixed* 3MF

Gambar di atas merupakan kurva fuzzy-ACO variabel RH (Kelembapan) dengan himpunan fuzzy 3 *membership function* (MF) dengan model PV *Fixed* dengan semesta pembicaraan [17.23 68.46].



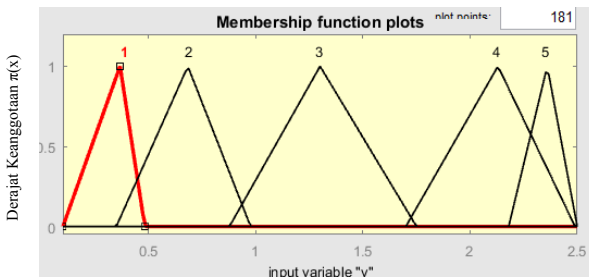
Gambar 3. 23 Kurva Fuzzy-ACO variabel T PV *Fixed* 5MF

Pada gambar 3.23 merupakan kurva fuzzy-ACO variabel T (Temperatur) dengan himpunan fuzzy 5 *membership function* (MF) dengan model PV *Fixed* dengan semesta pembicaraan [25.67 62.17].



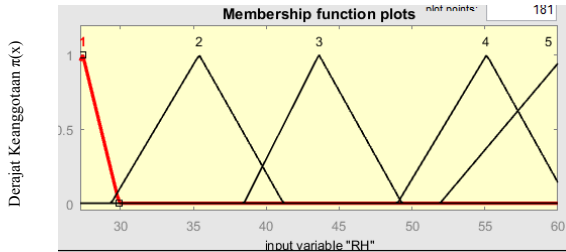
Gambar 3. 24 Kurva Fuzzy-ACO variabel IR PV *Fixed* 5MF

Gambar di atas menunjukkan kurva fuzzy-ACO variabel IR (Iradiasi) dengan himpunan fuzzy 5 *membership function* (MF) dengan model PV *Fixed* dengan semesta pembicaraan [19.3 1140].



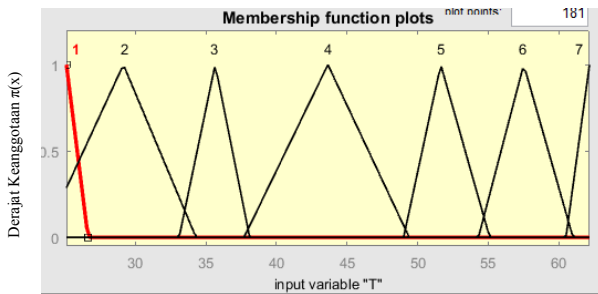
Gambar 3. 25 Kurva Fuzzy-ACO variabel v PV *Fixed* 5MF

Gambar di atas merupakan kurva fuzzy-ACO variabel v (Kecepatan angin) dengan himpunan fuzzy 5 *membership function* (MF) dengan model PV *Fixed* dengan semesta pembicaraan [0.1 2.5].



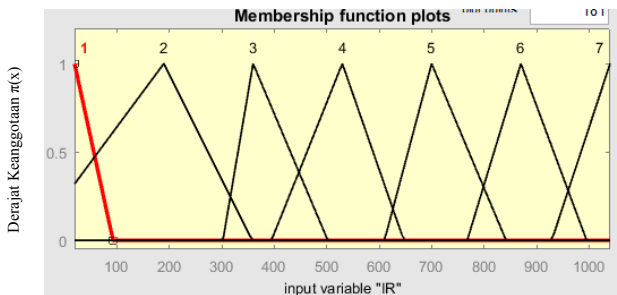
Gambar 3. 26 Kurva Fuzzy-ACO variabel RH PV *Fixed* 5MF

Gambar di atas merupakan kurva fuzzy-ACO variabel RH (Kelembapan) 5 *membership function* (MF) dengan model PV *Fixed* dengan semesta pembicaraan [27.23 68.46].



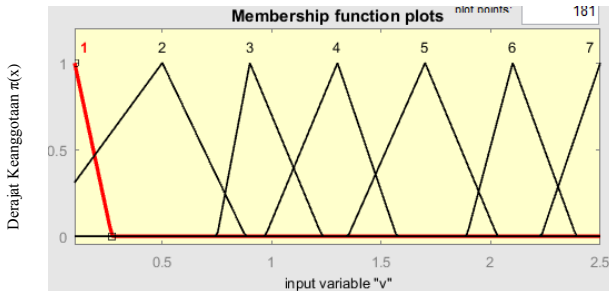
Gambar 3. 27 Kurva Fuzzy-ACO variabel T PV *Fixed* 7MF

Kurva fuzzy variabel T (Tempertur) 5 *membership function* (MF) dengan model PV *Fixed* terdapat pada gambar 3.27 dengan semesta pembicaraan [25.67 62.17]



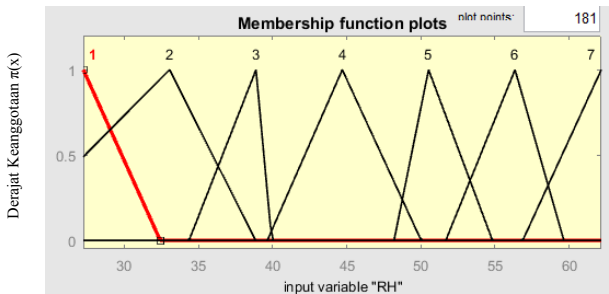
Gambar 3. 28 Kurva Fuzzy-ACO variabel IR PV *Fixed* 7MF

Pada gambar 3.28 menunjukkan kurva fuzzy variabel IR (Iradiasi) 7 *membership function* (MF) dengan model PV *Fixed* dengan semesta pembicaraan [19.3 1140].



Gambar 3. 29 Kurva Fuzzy-ACO variabel v PV *Fixed* 7MF

Gambar di atas menunjukkan kurva fuzzy variabel v (Kecepatan angin) 7 *membership function* (MF) dengan model PV *Fixed* dengan semesta pembicaraan [0.1 2.5].



Gambar 3. 30 Kurva Fuzzy-ACO variabel RH PV *Fixed* 7MF

Gambar 3.30 merupakan kurva fuzzy-ACO variabel RH (Kelembapan) 7 *membership function* (MF) dengan model PV *Fixed* dengan semesta pembicaraan [17.23 68.46].

Sedangkan untuk model PV *tracker* 3MF , 5MF dan , 7MF terdapat pada lampiran.

BAB IV ANALISA DATA

Pada bab ini menjelaskan mengenai hasil simulasi pada pemodelan PV dengan menggunakan Fuzzy-ACO dengan menggunakan pasangan *input* dan *output*. PV yang digunakan adalah PV *fixed* dan *tracker* sebagai perbandingan nilai *output*-nya. Simulasi dan pemodelan ini menggunakan *software* dengan data primer yang diperoleh dari pengambilan data langsung atau eksperimen yang meliputi 5 cuaca yaitu cerah penuh, mendung penuh, *balance*, dominan cerah dan dominan mendung. Data yang digunakan sebagai *input* adalah temperatur, iradiasi, kecepatan angin dan RH. Sedangkan untuk *output* adalah tegangan dan arus. Pada penelitian ini dilakukan pemodelan PV *fixed* dan *tracker* dengan variasi *input* dan *output*. Pada percobaan pertama 2in2out dengan variasi *input* temperatur dan iradiasi sedangkan untuk *output* adalah tegangan dan arus. Yang kedua adalah 3in2out dengan variasi *input* temperatur, iradiasi dan kecepatan angin sedangkan *output*-nya adalah tegangan dan arus. Yang ketiga adalah 4in2out dengan variasi *input* temperatur, iradiasi, kecepatan angin dan RH, sedangkan variasi *output* tegangan dan arus. Adapun percobaan dilakukan dengan variasi 3, 5 dan 7 *membership function*. Tabel percobaan dapat dilihat pada Tabel 3.3.

4.1 Data Uji Coba

Data pengukuran PV meliputi 5 cuaca yaitu yaitu cerah penuh, mendung penuh, *balance*, dominan cerah dan dominan mendung. Data yang digunakan sebagai *input* adalah temperatur, iradiasi, kecepatan angin dan RH. Sedangkan untuk *output* adalah tegangan dan arus. Pada uji coba model PV, data yang digunakan adalah *balance*. Hal ini dikarenakan pengambilan data pada *balance* mewakili data cerah dan data berawan.

Sedangkan untuk validasi data pengukuran dilakukan dengan menggunakan *proven* model (lampiran) pada *software*. Berikut adalah data uji coba untuk model PV.

Tabel 4. 1 Tabel data PV *fixed*

Waktu	Input				Output	
	T (°C)	IR (W/m ²)	v (m/s)	RH (%)	V (V)	I (A)
07.00	39.30	136.26	59.14	0.60	28.86	1.38
08.00	35.50	184.44	40.80	0.60	28.94	1.81
09.00	47.70	545.10	34.46	0.74	29.40	5.05
10.00	47.30	676.24	41.34	2.40	29.59	6.23
11.00	50.22	928.48	34.22	1.28	29.93	8.49
12.00	53.70	900.40	28.34	1.90	29.88	8.24
13.00	55.60	813.76	27.36	0.82	29.75	7.46
14.00	49.90	812.80	30.98	2.38	29.77	7.45
15.00	52.20	446.40	34.58	1.88	29.25	4.16
16.00	36.10	161.28	46.08	1.26	28.91	1.60
17.00	31.40	55.00	56.19	1.00	28.78	0.64

Data PV *Fixed* yang digunakan untuk pengujian model Fuzzy dan Fuzzy-ACO dapat dilihat pada tabel 4.1. Pengambilan data dilakukan pada pukul 07.00 – 17.00 dilokasi Lantai 3 Teknik Fisika ITS.

Tabel 4. 2 Tabel data PV *tracker*

Waktu	Input				Output	
	T (°C)	IR (W/m ²)	v(m/s)	RH (%)	V (V)	I (A)
7.00	44.00	143.10	0.60	59.14	28.85	1.44
8.00	35.50	229.58	0.60	40.80	29.01	2.21
9.00	49.00	646.60	0.74	34.46	29.54	5.96
10.00	49.90	659.06	2.40	41.34	29.56	6.07
11.00	50.80	964.66	1.28	34.22	29.98	8.82
12.00	50.30	973.98	1.90	28.34	30.00	8.90
13.00	54.60	852.60	0.82	27.36	29.81	7.81
14.00	53.70	966.18	2.38	30.98	29.97	8.83

Tabel 4.2 Lanjutan

15.00	48.50	595.18	1.88	34.58	29.47	5.51
16.00	35.48	243.62	1.26	46.08	29.03	2.34
17.00	32.20	26.54	1.00	56.19	28.73	0.39

Tabel di atas adalah data *PV Tracker* yang digunakan untuk pengujian model Fuzzy dan Fuzzy-ACO. Pengambilan data dilakukan pada pukul 07.00 – 17.00 dilokasi Lantai 3 Teknik Fisika ITS.

4.2 Batas Nilai Fuzzy

Berikut adalah batas model PV Fuzzy sebelum dilakukan optimasi menggunakan algoritma ACO(Ant Colony optimization). Berikut adalah batas fuzzy yang akan dioptimasi dengan ACO.

Tabel 4.3 Batas Fuzzy 3 MF PV *Fixed*

FIX 3	T (°C)	IR (W/m²)	Kecepatan Angin(m/s)	RH (%)
1	[21.11 30.23 39.36]	[1.36 190.2 427.6]	[0.1 0.58 0.939]	[27.16 34.46 41.36]
2	[34.80 43.92 53.05]	[284.6 529.6 756.7]	[0.812 1.21 1.63]	[36.4 47.4 59.69]
3	[48.48 57.61 66.73]	[631.7 870.0 1134]	[1.50 1.97 2.5]	[54.3 61.35 68.6]

Pada tabel di atas menunjukkan batas model Fuzzy untuk *PV Fixed 3 membership function*. Batas tersebut kemudian akan dilakukan optimasi dengan algoritma *Ant Colony Optimization*.

Batas pada tabel 4.4 adalah batas model Fuzzy untuk *PV Fixed 5 membership function*. Batas tersebut kemudian akan dilakukan optimasi dengan algoritma *Ant Colony Optimization*.

Tabel 4. 4 Batas Fuzzy 5 MF PV *Fixed*

FIX 5	T (°C)	IR (W/m²)	Kecepatan Angin(m/s)	RH (%)
1	[25.67 28.41 32.06]	[1.36 124.1 274.5]	[0.1 0.3667 0.6331]	[23.14 29.28 35.42]
2	[30.23 34.80 39.36]	[143.0 274.5 426.3]	[0.5 0.7669 1.033]	[31.32 35.42 39.52]
3	[34.80 43.92 53.05]	[379.0 529.6 690.5]	[0.7669 1.3 1.833]	[37.47 43.61 49.76]
4	[48.48 53.05 57.61]	[619.8 785.1 894.3]	[1.567 1.833 2.1]	[47.71 51.81 55.91]
5	[55.780 59.43 62.17]	[784.9 945.6 1087]	[1.967 2.233 2.5]	[51.81 57.95 64.09]

Tabel 4. 5 Batas Fuzzy 7 MF PV *Fixed*

FIX 7	T (°C)	IR (W/m²)	Kecepatan Angin(m/s)	RH (%)
1	[18.94 25.12 31.3]	[-150.8 19.3 189.4]	[-0.30 0.100 0.500]	[21.41 27.23 33.05]
2	[25.12 31.3 37.47]	[19.3 189.4 359.5]	[0.100 0.500 0.899]	[27.23 33.05 38.88]
3	[31.3 37.47 43.64]	[189.4 359.5 529.7]	[0.500 0.899 1.300]	[33.05 38.88 44.7]
4	[37.47 43.64 49.82]	[359.5 529.6 699.8]	[0.899 1.300 1.700]	38.88 44.7 50.52]

Tabel 4.5 Lanjutan

5	[43.64 49.82 55.99]	529.6 699.8 869.9]	[1.300 1.700 2.100]	[44.7 50.52 56.35]
6	[49.82 55.99 62.17]	[699.8 869.9 1040]	[1.700 2.100 2.500]	[50.52 56.35 62.17]
7	[55.99 62.17 68.35]	[869.9 1040 1210]	[2.100 2.500 2.901]	[56.35 62.17 68.00]

Pada tabel di atas adalah batas model Fuzzy untuk PV *Fixed 5 membership function*, kemudian batas tersebut akan dioptimasi dengan algoritma *Ant Colony Optimization*.

Tabel 4. 6 Batas Fuzzy 3 MF PV *Tracker*

TR 3	T (°C)	IR (W/m ²)	Kecepatan Angin(m/s)	RH (%)
1	[23.73 32.28 40.82]	[-4.61 245.3 559.6]	[0.1 0.58 0.939]	[27.16 34.46 41.36]
2	[36.54 45.09 53.63]	[370.3 694.7 995.5]	[0.812 1.21 1.63]	[36.4 47.4 59.69]
3	[49.36 57.9 66.45]	[829.8 1145 1495]	[1.50 1.97 2.5]	[54.3 61.35 68.6]

Tabel di atas menunjukkan batas model Fuzzy untuk PV *Tracker 3 membership function*. Batas tersebut kemudian akan dilakukan optimasi dengan algoritma *Ant Colony Optimization*.

Tabel 4. 7 Batas Fuzzy 5 MF PV *Tracker*

TR 5	T (°C)	IR (W/m ²)	Kecepatan Angin(m/s)	RH (%)
1	[28 30.56 33.98]	[-4.61 157.9 356.9]	[0.1 0.3667 0.6331]	[23.14 29.28 35.42]
2	[32.28 36.54 40.82]	[182.9 356.9 557.8]	[0.5 0.7669 1.033]	[31.32 35.42 39.52]
3	[36.54 45.09 53.63]	[495.3 694.7 907.5]	[0.7669 1.3 1.833]	[37.47 43.61 49.76]
4	[49.36 53.63 57.9]	[814 1033 1177]	[1.567 1.833 2.1]	[47.71 51.81 55.91]
5	[56.19 59.61 62.17]	[1033 1245 1433]	[1.967 2.233 2.5]	[51.81 57.95 64.09]

Batas model Fuzzy untuk PV *Tracker 5 membership function* dapat dilihat pada tabel 4.7. Kemudian batas tersebut akan dilakukan optimasi dengan algoritma *Ant Colony Optimization*.

Tabel 4. 8 Batas Fuzzy 7 MF PV *Tracker*

TR 7	T (°C)	IR (W/m ²)	Kecepatan Angin(m/s)	RH (%)
1	[22.30 28.00 33.7]	[-205.8 19.3 244.4]	[-0.30 0.100 0.500]	[21.41 27.23 33.05]
2	[28.00 33.70 39.39]	[19.3 244.4 469.5]	[0.100 0.500 0.899]	[27.23 33.05 38.88]
3	[33.7 39.39 45.08]	[244.4 469.5 694.7]	[0.500 0.899 1.300]	[33.05 38.88 44.7]

Tabel 4.8 Lanjutan

4	[39.39 45.08 50.78]	469.5 694.6 919.8]	[0.899 1.300 1.700]	38.88 44.7 50.52]
5	[45.08 50.78 56.47]	[694.6 919.8 1145]	[1.300 1.700 2.100]	[44.7 50.52 56.35]
6	[50.78 56.47 62.17]	[919.8 1145 1370]	[1.700 2.100 2.500]	[50.52 56.35 62.17]
7	[56.47 62.17 67.87]	[1145 1370 1595]	[2.100 2.500 2.901]	[56.35 62.17 68.00]

Pada tabel tersebut merupakan batas model Fuzzy untuk PV *Tracker 7 membership function*. Batas tersebut kemudian akan dilakukan optimasi dengan algoritma *Ant Colony Optimization*.

4.3 Hasil Optimasi Fuzzy ACO

Berikut adalah batas fuzzy yang sudah dioptimasi dengan algoritma *Ant Colony Optimization*.

Tabel 4.9 Batas Fuzzy-ACO 3 MF PV *Fixed*

FIX 3	T (°C)	IR (W/m²)	Kecepatan Angin(m/s)	RH (%)
1	[20.49 29.75 36.83]	[1.36 158.48 252.24]	[0.1 0.480 0.870]	[22.65 31.81 40.13]
2	[34.89 43.63 58.22]	[118.62 458.43 801]	[0.71 1.30 1.97]	[33.07 47.39 58.99]
3	[57.83 59.70 66.90]	[711.19 870 1134]	[1.92 2.20 2.50]	[57.71 63.88 73.04]

Tabel di atas adalah batas Fuzzy dengan model PV *Fixed 3 membership function* setelah dilakukan optimasi dengan algoritma *Ant Colony Optimization*.

Tabel 4. 10 Batas Fuzzy-ACO 5 MF PV *Fixed*

FIX 5	T (°C)	IR (W/m²)	Kecepatan Angin(m/s)	RH (%)
1	[25.75 28.49 29.69]	[1.36 124.10 151.63]	[0.10 0.366 0.482]	[22.10 29.016 31.25]
2	[27.13 32.26 36.46]	[116.16 275.00 407.52]	[0.349 0.68 0.97]	[28.08 34.94 38.01]
3	[35.3 43.9 51.14]	[405.95 592.22 787.86]	[0.87 1.30 1.75]	[37.54 44.881 49.52]
4	[49.8 55.34 61.09]	[782.43 853.339 914.34]	[1.70 2.13 2.49]	[48.18 53.07 56.61]
5	[58.90 60.58 62.20]	[862.77 974.18 1087.00]	[2.18 2.36 2.50]	[53.06 62.837 73.60]

Batas Fuzzy-ACO 5MF PV *fixed* adalah batas fuzzy setelah dilakukan optimasi dengan algoritma (ACO) *Ant Colony Optimization*.

Tabel 4. 11 Batas Fuzzy-ACO 7 MF PV *Fixed*

FIX 7	T (°C)	IR (W/m²)	Kecepatan Angin(m/s)	RH (%)
1	[18.94 25.12 26.65]	[-150.80 19.30 92.64]	[-0.300 0.100 0.270]	[21.41 27.23 32.42]
2	[23.5 29.15 34.30]	[-60.5 189.4 358.0]	[-0.08 0.5001 0.88]	[21.63 33.05 38.85]
3	[33.10 35.65 38.10]	[302.0 359.5 502.0]	[0.750 0.899 1.230]	34.36 38.88 39.94]

Tabel 4.11 Lanjutan

4	[37.7 43.64 49.40]	[394.51 529.60 646.86]	[0.970 1.300 1.570]	[39.64 44.70 50.02]
5	[49.00 51.634 55.10]	[609.89 699.80 841.72]	[1.348 1.700 2.030]	[48.19 50.52 54.83]
6	[54.30 57.50 61.00]	[767.56 869.9 995.26]	[1.890 2.100 2.390]	[51.68 56.35 59.65]
7	[60.50 62.17 68.35]	[928.74 1040.00 1210.0]	[2.230 2.500 2.901]	[56.87 62.17 68.00]

Tabel lanjutan di atas adalah batas Fuzzy dengan model PV *Fixed 7 membership function* setelah dioptimasi dengan algoritma *Ant Colony Optimization*.

Tabel 4. 12 Batas Fuzzy-ACO 3 MF PV *Tracker*

TR 3	T (°C)	IR (W/m ²)	Kecepatan Angin(m/s)	RH (%)
1	[23.73 32.27 35.43]	[-4.44 157.79 260.73]	[0.10 0.48 0.87]	[22.65 31.81 40.13]
2	[35.38 44.20 52.93]	[203.85 631.80 977.44]	[0.71 1.30 1.97]	[33.07 47.39 58.99]
3	[51.26 57.90 66.40]	[871.80 1150.00 1500.00]	[1.92 2.20 2.50]	[57.71 63.88 73.04]

Batas Fuzzy-ACO 3 MF PV *tracker* adalah batas Fuzzy dengan model PV *Tracker 3 membership function* setelah dilakukan optimasi dengan algoritma *Ant Colony Optimization*.

Tabel 4. 13 Batas Fuzzy-ACO 5 MF PV Tracker

TR 5	T (°C)	IR (W/m ²)	Kecepatan Angin(m/s)	RH (%)
1	[28.00 30.56 32.68]	[-7.47 106.20 238.53]	[0.100 0.366 0.482]	[22.1 29.016 31.25]
2	[31.13 35.69 40.16]	[132.57 356.9 573.27]	[0.349 0.683 0.976]	[28.08 34.94 38.01]
3	[39.69 45.09 50.92]	[534.26 694.70 887.53]	[0.877 1.300 1.75]	[37.54 44.881 49.52]
4	[49.53 53.75 60.04]	[873.29 1049 1267]	[1.700 2.130 2.490]	[48.18 53.07 56.61]
5	[57.08 59.97 62.2]	[1144 1290 1430]	[2.180 2.360 2.500]	[53.06 62.83 73.60]

Tabel di atas adalah batas Fuzzy setelah dilakukan optimasi dengan algoritma *Ant Colony Optimization* dengan model PV Tracker 5 membership function.

Tabel 4. 14 Batas Fuzzy-ACO 7 MF PV Tracker

TR7	T (°C)	IR (W/m ²)	Kecepatan Angin(m/s)	RH (%)
1	[22.30 28.00 33.13]	[-205.8 19.3 25.38]	[-0.300 0.100 0.270]	[21.41 27.23 32.42]
2	[26.50 33.70 37.5]	[-127.00 149.20 289.00]	[-0.08 0.5001 0.88]	[21.63 33.05 38.85]
3	[35.52 39.39 44.30]	[244.40 469.50 597.32]	[0.75 0.89 1.23]	[34.36 38.88 39.94]

Tabel 4.14 Lanjutan

4	[40.90 45.08 50.17]	[508.82 694.60 901.00]	[0.97 1.30 1.57]	[39.64 44.70 50.02]
5	[46.90 50.78 53.57]	[890.00 1020.18 1160.0]	[1.348 1.700 2.030]	[48.19 50.52 54.83]
6	[52.03 56.47 58.09]	[1060 1177.24 1280]	[1.890 2.100 2.390]	[51.68 56.35 59.65]
7	[57.01 62.17 67.87]	[1245.0 1370.0 1595.0]	[2.23 2.50 2.90]	[56.87 62.17 68.00]

Tabel di atas adalah batas Fuzzy dengan model PV *Tracker 7 membership function* setelah dilakukan optimasi dengan algoritma *Ant Colony Optimization*. Setelah tahap optimasi batas model Fuzzy dengan *Ant Colony Optimization* (ACO), langkah selanjutnya adalah pemodelan Fuzzy-ACO dengan batas Fuzzy yang sudah dioptimasi dengan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO). Variabel *input* model Fuzzy-ACO meliputi temperatur (T), iradiasi (IR), kecepatan angin (v) dan kelembapan (RH). Berikut adalah kurva variabel *input* Fuzzy. Setelah dilakukan pemodelan Fuzzy-ACO langkah selanjutnya adalah uji coba model Fuzzy dan Fuzzy-ACO dengan data yang sudah ditentukan yaitu pengambilan data pada cuaca *balance*.

4.4 Hasil Uji Coba Model PV Fuzzy dan Fuzzy-ACO

Pada tahap ini dilakukan uji coba pada model PV *Fixed* dan *Tracker* dengan Fuzzy dan Fuzzy-ACO. Kemudian dilakukan perbandingan nilai *output* pada model PV *Fixed* dan *Tracker* dengan Fuzzy dan Fuzzy - ACO. Data validasi merupakan data uji coba pada cuaca *balance* yang telah dilakukan validasi dengan *proven* model pada *software*. Berikut adalah hasil uji coba model PV Fuzzy dan Fuzzy-ACO dengan data cuaca *balance*.

Tabel 4. 15 Uji coba model PV Fuzzy dan Fuzzy-ACO

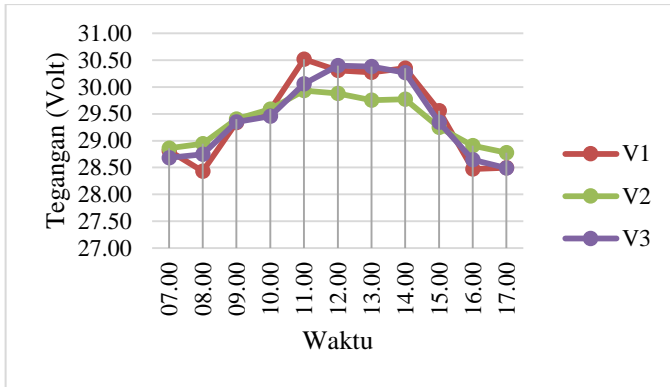
Pukul	Fuzzy		Validasi		Fuzzy-ACO	
	V1 (Volt)	I1 (A)	V2 (Volt)	I2 (A)	V3 (Volt)	I3 (A)
07.00	28.81	1.24	28.86	1.38	28.68	1.34
08.00	28.43	2.19	28.94	1.81	28.75	2.05
09.00	29.34	3.50	29.40	5.05	29.35	4.49
10.00	29.58	5.14	29.59	6.23	29.62	6.41
11.00	30.52	7.71	29.93	8.49	30.16	7.35
12.00	30.31	7.87	29.88	8.24	30.11	7.79
13.00	30.74	7.65	29.75	7.46	30.08	7.66
14.00	30.35	7.67	29.77	7.45	29.76	7.26
15.00	29.56	4.51	29.25	4.16	29.34	4.49
16.00	28.47	1.21	28.91	1.60	28.64	1.78
17.00	28.49	2.48	28.78	0.64	28.49	1.47

Data di atas merupakan data uji coba model PV f32in2out. Model PV *Fixed* dengan *input* 2 variabel temperatur dan iradiasi dan variabel output tegangan dan arus dengan kurva model 3 *membership function* (MF). Dari data uji coba di atas simpangan nilai terkecil terdapat pada pukul 7.00 dengan nilai tegangan Fuzzy dan Fuzzy-ACO 28.81 Volt dan 28.85 Volt dan nilai validasi adalah 29.20. Sedangkan untuk nilai arus Fuzzy dan Fuzzy-ACO adalah 1.24 A dan 1.27 A dan nilai validasi adalah 1.35 A. Sedangkan untuk tabel uji coba model PV yang lain terdapat pada lampiran. Sedangkan tabel uji coba untuk model PV *fixed* dan *tracker* terdapat pada lampiran.

4.5 Hasil Pemodelan Fuzzy dan Fuzzy-ACO

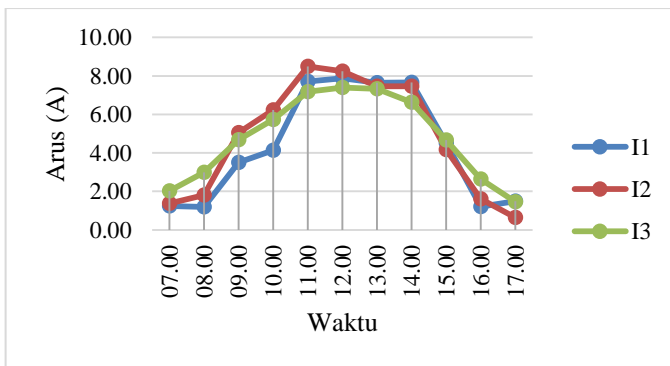
Berikut adalah hasil pemodelan Fuzzy sebelum dan setelah dilakukan optimasi dengan algoritma *Ant Colony Optimization*.

Pada gambar 4.1 merupakan nilai tegangan dari hasil pemodelan PV *fixed* 3 MF dengan Fuzzy(V1), validasi(V2) dan Fuzzy-ACO(V3) dengan 2 *input* yaitu temperatur dan iradiasi dengan model f32in2out. Pada grafik tersebut terdapat



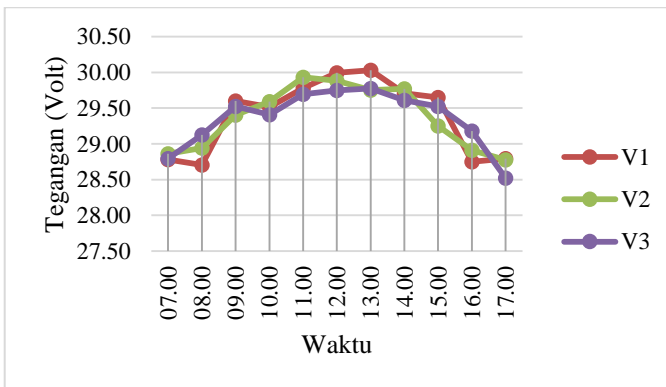
Gambar 4. 1 Grafik tegangan f32in2out

penyimpangan nilai tegangan pada pemodelan Fuzzy, validasi dan Fuzzy-ACO. Penyimpangan terbesar terhadap nilai *output* validasi terdapat pada model PV dengan Fuzzy. Sedangkan penyimpangan nilai tegangan Fuzzy-ACO terhadap validasi lebih kecil dibandingkan dengan Fuzzy. Hal ini dapat dilihat pada nilai tegangan pukul 08.00, 11.00 dan 16.00 WIB. Penyimpangan nilai tegangan Fuzzy lebih besar daripada penyimpangan nilai tegangan Fuzzy-ACO terhadap validasi. Sedangkan penyimpangan nilai tegangan Fuzzy-ACO terhadap validasi terbesar pada pukul 12.00 dan 13.00 WIB.



Gambar 4. 2 Grafik arus f32in2out

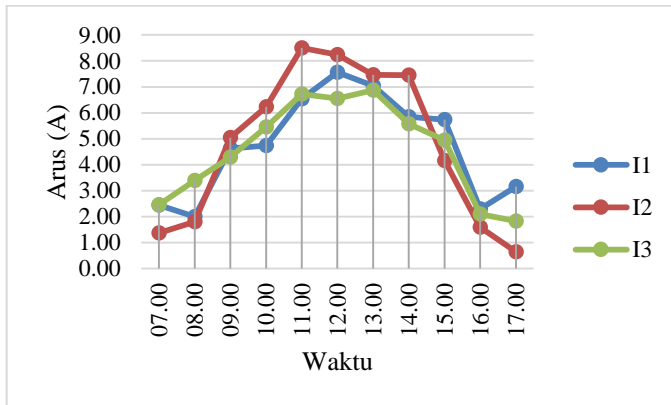
Gambar 4.2 adalah nilai arus dari hasil pemodelan PV *fixed* 3 MF dengan Fuzzy(I1), validasi(I2) dan Fuzzy-ACO(I3) dengan 2 *input* yaitu temperatur dan iradiasi dengan model f32in2out. Pada grafik tersebut terdapat penyimpangan nilai arus pada pemodelan Fuzzy, validasi dan Fuzzy-ACO. Penyimpangan nilai arus terbesar terhadap nilai *output* validasi terdapat pada model PV dengan Fuzzy. Hal ini dapat dilihat pada nilai arus pukul 09.00 dan 10.00 WIB. Penyimpangan nilai arus Fuzzy terhadap validasi lebih besar daripada penyimpangan nilai arus Fuzzy-ACO terhadap validasi. Sedangkan penyimpangan nilai arus Fuzzy-ACO terhadap validasi terbesar pada pukul 08.00, dan 16.00 WIB



Gambar 4. 3 Grafik tegangan f33in2out

Grafik di atas merupakan nilai tegangan dari hasil pemodelan PV *fixed* 3 MF dengan Fuzzy(V1), validasi(V2) dan Fuzzy-ACO(V3) dengan 3 *input* yaitu temperatur, iradiasi dan kecepatan angin dengan model f33in2out. Pada grafik tersebut terdapat penyimpangan nilai tegangan pada pemodelan Fuzzy (V1), validasi (V2) dan Fuzzy-ACO (V3). Penyimpangan terbesar terhadap nilai *output* validasi terdapat pada model PV dengan Fuzzy. Sedangkan penyimpangan nilai tegangan Fuzzy-ACO terhadap validasi lebih kecil dibandingkan dengan Fuzzy. Hal ini dapat dilihat pada nilai tegangan pukul 08.00WIB. Penyimpangan nilai tegangan Fuzzy lebih besar daripada penyimpangan nilai tegangan Fuzzy-ACO terhadap validasi. Sedangkan penyimpangan

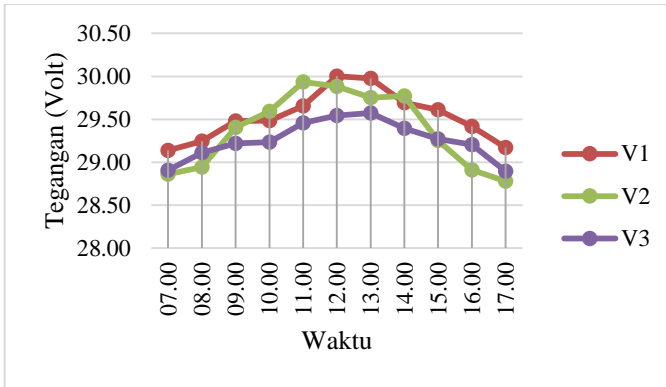
nilai tegangan Fuzzy-ACO terhadap validasi terbesar pada pukul 15.00, dan 17.00 WIB



Gambar 4. 4 Grafik arus f33in2out

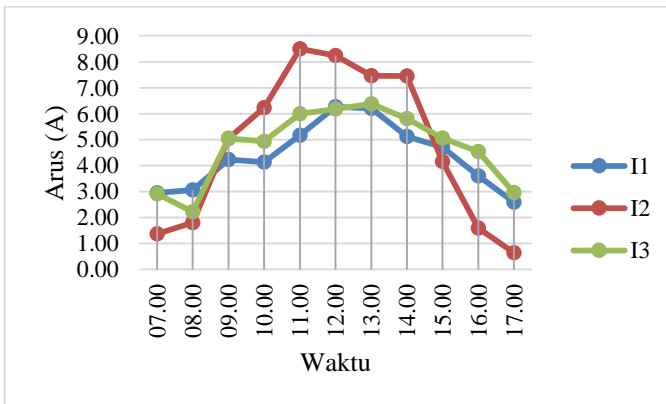
Grafik tersebut merupakan nilai arus dari hasil pemodelan PV *fixed* 3 MF dengan Fuzzy(I1), validasi(I2) dan Fuzzy-ACO(I3) dengan 3 *input* yaitu temperatur, iradiasi dan kecepatan angin dengan model f33in2out. Pada grafik tersebut terdapat penyimpangan nilai arus pada pemodelan Fuzzy, validasi dan Fuzzy-ACO. Penyimpangan nilai arus terbesar terhadap nilai *output* validasi terdapat pada model PV dengan Fuzzy. Hal ini dapat dilihat pada nilai arus pukul 07.00, 08.00, 11.00, 14.00 dan 17.00 WIB. Penyimpangan nilai arus Fuzzy terhadap validasi lebih besar daripada penyimpangan nilai arus Fuzzy-ACO terhadap validasi. Sedangkan penyimpangan nilai arus Fuzzy-ACO terhadap validasi terbesar pada pukul 08.00, 12.00, 14.00 dan 17.00 WIB.

Pada gambar 4.5 terdapat nilai tegangan dari hasil pemodelan PV *fixed* 3 MF dengan Fuzzy(V1), validasi(V2) dan Fuzzy-ACO(V3) dengan 4 *input* yaitu temperatur, iradiasi, kecepatan angin dan RH dengan model f34in2out. Pada grafik tersebut terdapat penyimpangan nilai tegangan pada pemodelan Fuzzy (V1), validasi (V2) dan Fuzzy-ACO (V3). Penyimpangan terbesar terhadap nilai *output* validasi terdapat pada model PV dengan Fuzzy. Hal ini dapat dilihat pada nilai tegangan pukul 08.00 – 17.00 WIB.



Gambar 4. 5 Grafik tegangan f34in2out

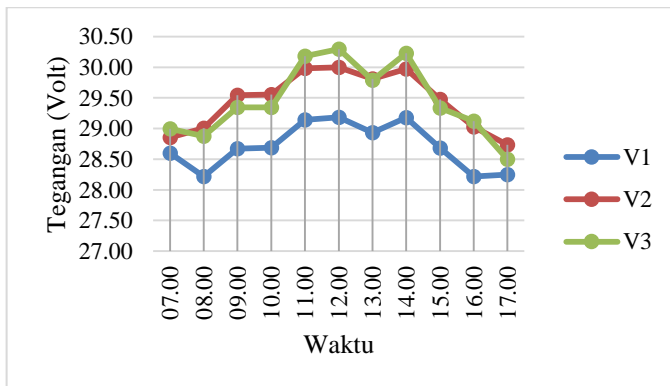
Penyimpangan nilai tegangan Fuzzy lebih besar daripada penyimpangan nilai tegangan Fuzzy-ACO terhadap validasi. Hal tersebut dikarenakan kesalahan dalam melakukan pemodelan dengan Fuzzy, sehingga terdapat penyimpangan nilai terhadap validasi yang cukup besar. Sedangkan penyimpangan nilai tegangan Fuzzy-ACO terhadap validasi terbesar pada pukul 11.00, dan 13.00 WIB.



Gambar 4. 6 Grafik arus f34in2out

Grafik 4.6 menampilkan nilai arus dari hasil pemodelan PV *fixed* 3 MF dengan Fuzzy(I1), validasi(I2) dan Fuzzy-ACO(I3)

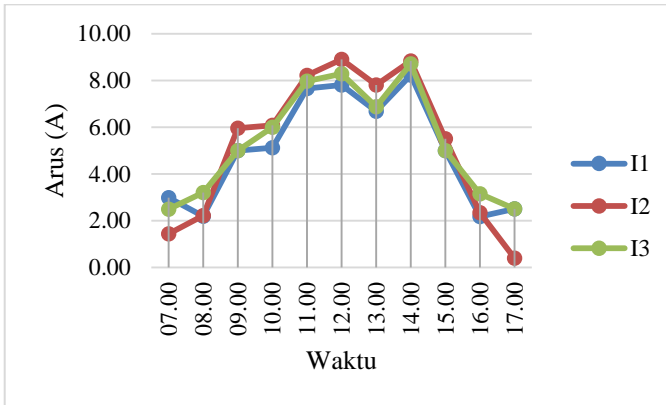
dengan 4 *input* yaitu temperatur, iradiasi, kecepatan angin dan RH dengan model f34in2out. Pada grafik tersebut terdapat penyimpangan nilai arus pada pemodelan PV *fixed* 3 MF dengan Fuzzy, validasi dan Fuzzy-ACO. Penyimpangan nilai arus terbesar terhadap nilai *output* validasi terdapat pada model PV dengan Fuzzy. Hal ini dapat dilihat pada nilai arus pukul 08.00, 11.00, 12.00, 13.00, 14.00 dan 16.00 WIB. Penyimpangan nilai arus Fuzzy terhadap validasi lebih besar daripada penyimpangan nilai arus Fuzzy-ACO terhadap validasi. Sedangkan penyimpangan nilai arus Fuzzy-ACO terhadap validasi terbesar pada pukul 11.00, 12.00, 14.00 dan 16.00 WIB.



Gambar 4. 7 Grafik tegangan t32in2out

Pada gambar 4.7 merupakan nilai tegangan dari hasil pemodelan PV *tracker* 3 MF dengan Fuzzy(V1), validasi(V2) dan Fuzzy-ACO(V3) dengan 2 *input* yaitu temperatur dan iradiasi dengan model t32in2out. Pada grafik tersebut terdapat penyimpangan nilai tegangan pada pemodelan Fuzzy (V1), validasi (V2) dan Fuzzy-ACO (V3). Penyimpangan terbesar terhadap nilai *output* validasi terdapat pada model PV dengan Fuzzy. Hal ini dapat dilihat pada nilai tegangan pukul 08.00 – 17.00 WIB. Penyimpangan nilai tegangan Fuzzy lebih besar daripada penyimpangan nilai tegangan Fuzzy-ACO terhadap validasi. Hal tersebut dikarenakan kesalahan dalam melakukan pemodelan dengan Fuzzy, sehingga terdapat penyimpangan nilai terhadap

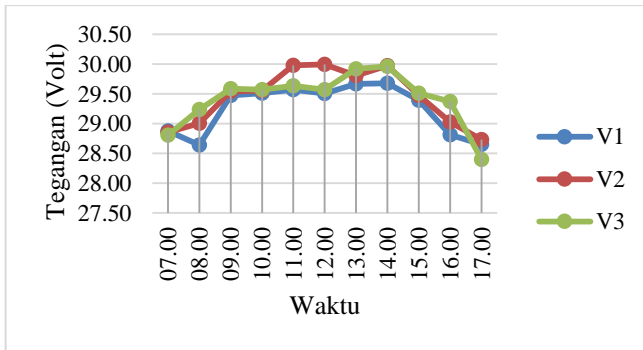
validasi yang cukup besar. Sedangkan penyimpangan nilai tegangan Fuzzy-ACO terhadap validasi terbesar pada pukul 11.00, dan 14.00 WIB.



Gambar 4. 8 Grafik arus t32in2out

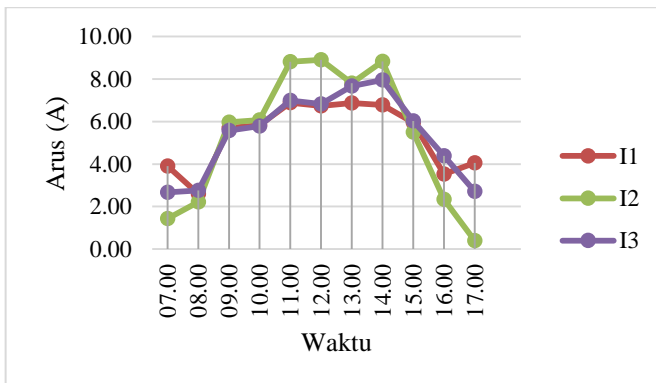
Grafik tersebut merupakan nilai arus dari hasil pemodelan PV *tracker* 3 MF dengan Fuzzy(I1), validasi(I2) dan Fuzzy-ACO(I3) dengan 2 *input* yaitu temperatur dan iradiasi dengan model t32in2out. Pada grafik tersebut terdapat penyimpangan nilai arus pada pemodelan Fuzzy, validasi dan Fuzzy-ACO. Penyimpangan nilai arus terbesar terhadap nilai *output* validasi terdapat pada model PV dengan Fuzzy. Hal ini dapat dilihat pada nilai arus pukul 10.00 dan 17.00 WIB. Penyimpangan nilai arus Fuzzy terhadap validasi lebih besar daripada penyimpangan nilai arus Fuzzy-ACO terhadap validasi. Sedangkan penyimpangan nilai arus Fuzzy-ACO terhadap validasi terbesar pada pukul 08.00 dan 17.00 WIB.

Pada grafik 4.9 merupakan nilai tegangan dari hasil pemodelan PV *tracker* 3 MF dengan Fuzzy(V1), validasi(V2) dan Fuzzy-ACO(V3) dengan 3 *input* yaitu temperatur, iradiasi, dan kecepatan angin dengan model t33in2out. Pada grafik tersebut terdapat penyimpangan nilai tegangan pada pemodelan Fuzzy (V1), validasi (V2) dan Fuzzy-ACO (V3). Penyimpangan terbesar terhadap nilai *output* validasi terdapat pada model PV dengan



Gambar 4. 9 Grafik tegangan t33in2out

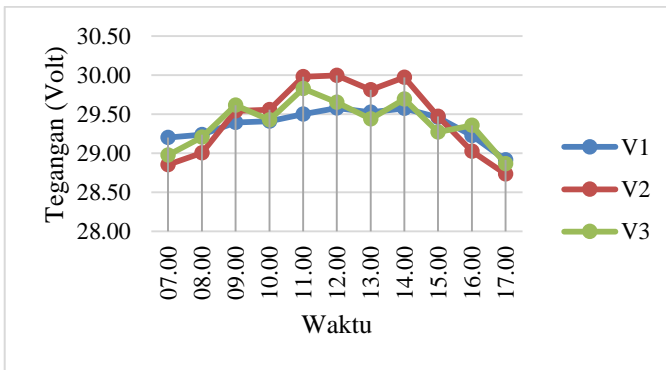
Fuzzy. Hal ini dapat dilihat pada nilai tegangan pukul 08.00, 11.00, 12.00 dan 14.00 WIB. Penyimpangan nilai tegangan Fuzzy lebih besar daripada penyimpangan nilai tegangan Fuzzy-ACO terhadap validasi. Hal tersebut dikarenakan kesalahan dalam melakukan pemodelan dengan Fuzzy, sehingga terdapat penyimpangan nilai terhadap validasi yang cukup besar. Sedangkan penyimpangan nilai tegangan Fuzzy-ACO terhadap validasi terbesar pada pukul 11.00, dan 12.00 WIB.



Gambar 4. 10 Grafik arus t33in2out

Grafik pemodelan PV *tracker* 3 MF merupakan nilai arus dari hasil dengan Fuzzy(I1), validasi(I2) dan Fuzzy-ACO(I3) dengan 3 *input* yaitu temperatur, iradiasi dan kecepatan angin

dengan model t33in2out. Pada grafik tersebut terdapat penyimpangan nilai arus pada pemodelan Fuzzy, validasi dan Fuzzy-ACO. Penyimpangan nilai arus terbesar terhadap nilai *output* validasi terdapat pada model PV dengan Fuzzy. Hal ini dapat dilihat pada nilai arus pukul 07.00, 12.00 dan 17.00 WIB. Penyimpangan nilai arus Fuzzy terhadap validasi lebih besar daripada penyimpangan nilai arus Fuzzy-ACO terhadap validasi. Sedangkan penyimpangan nilai arus Fuzzy-ACO terhadap validasi terbesar pada pukul 11.00 dan 12.00 WIB.

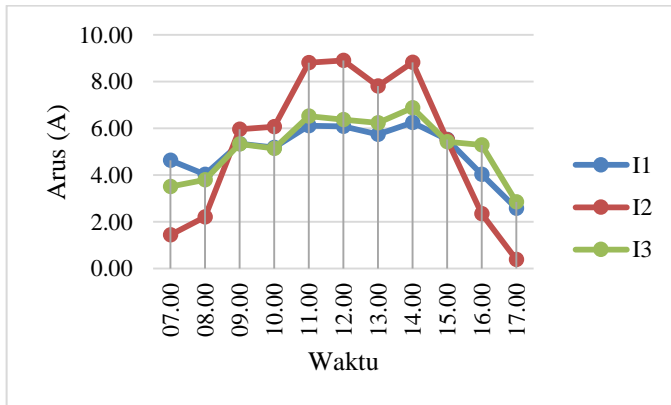


Gambar 4. 11 Grafik tegangan t34in2out

Pada gambar 4.11 merupakan nilai tegangan dari hasil pemodelan PV *tracker* 3 MF dengan Fuzzy(V1), validasi(V2) dan Fuzzy-ACO(V3) dengan 4 *input* yaitu temperatur, iradiasi, kecepatan angin dan RH dengan model t34in2out. Pada grafik tersebut terdapat penyimpangan nilai tegangan pada pemodelan Fuzzy (V1), validasi (V2) dan Fuzzy-ACO (V3). Penyimpangan terbesar terhadap nilai *output* validasi terdapat pada model PV dengan Fuzzy. Hal ini dapat dilihat pada nilai tegangan pukul 07.00, 11.00,12.00 dan 14.00 WIB. Penyimpangan nilai tegangan Fuzzy lebih besar daripada penyimpangan nilai tegangan Fuzzy

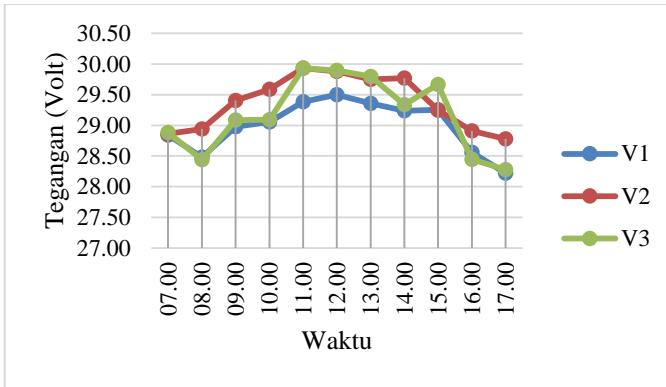
-ACO terhadap validasi. Hal tersebut dikarenakan kesalahan dalam melakukan pemodelan dengan Fuzzy, sehingga terdapat penyimpangan nilai terhadap validasi yang cukup besar.

Sedangkan penyimpangan nilai tegangan Fuzzy-ACO terhadap validasi terbesar pada pukul 12.00, dan 13.00 WIB.



Gambar 4. 12 Grafik arus t32in2out

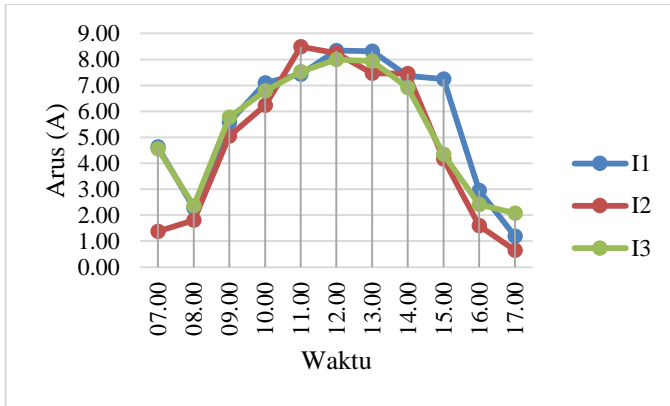
Grafik di atas merupakan nilai arus dari hasil pemodelan PV tracker 3 MF dengan Fuzzy(I1), validasi(I2) dan Fuzzy-ACO(I3) dengan 4 *input* yaitu temperatur, iradiasi, kecepatan angin dan RH dengan model t34in2out. Pada grafik tersebut terdapat penyimpangan nilai arus pada pemodelan Fuzzy, validasi dan Fuzzy-ACO. Penyimpangan nilai arus terbesar terhadap nilai *output* validasi terdapat pada model PV dengan Fuzzy. Hal ini dapat dilihat pada nilai arus pukul 07.00, 08.00, 11.00, 12.00, 13.00, 16.00 dan 17.00 WIB. Penyimpangan nilai arus Fuzzy terhadap validasi lebih besar daripada penyimpangan nilai arus Fuzzy-ACO terhadap validasi. Sedangkan penyimpangan nilai arus Fuzzy-ACO terhadap validasi terbesar pada pukul 07.00, 11.00, 12.00 dan 13.00 WIB.



Gambar 4. 13 Grafik tegangan f52in2out

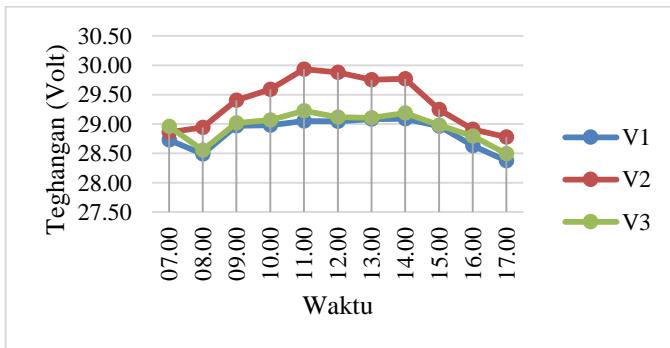
Grafik di atas menunjukkan hasil pemodelan PV *fixed* 5 MF nilai tegangan dari dengan Fuzzy(V1), validasi(V2) dan Fuzzy-ACO(V3) dengan 2 *input* yaitu temperatur dan iradiasi, dengan model f52in2out. Pada grafik tersebut terdapat penyimpangan nilai tegangan pada pemodelan Fuzzy (V1), validasi (V2) dan Fuzzy-ACO (V3). Penyimpangan terbesar terhadap nilai *output* validasi terdapat pada model PV dengan Fuzzy. Hal ini dapat dilihat pada nilai tegangan pukul 11.00,12.00, 13.00, 15.00 dan 17.00 WIB. Penyimpangan nilai tegangan Fuzzy lebih besar daripada penyimpangan nilai tegangan Fuzzy-ACO terhadap validasi. Hal tersebut dikarenakan kesalahan dalam melakukan pemodelan dengan Fuzzy, sehingga terdapat penyimpangan nilai terhadap validasi yang cukup besar. Sedangkan penyimpangan nilai tegangan Fuzzy-ACO terhadap validasi terbesar pada pukul 09.00, 10.00, 14.00, dan 17.00 WIB.

Grafik 4.14 menunjukkan nilai arus dari hasil pemodelan PV *fixed* 5 MF dengan Fuzzy(I1), validasi(I2) dan Fuzzy-ACO(I3) dengan 2 *input* yaitu temperatur dan iradiasi dengan model f52in2out. Pada grafik tersebut terdapat penyimpangan nilai arus pada pemodelan Fuzzy, validasi dan Fuzzy-ACO. Penyimpangan nilai arus terbesar terhadap nilai *output* validasi terdapat pada



Gambar 4. 14 Grafik arus f52in2out

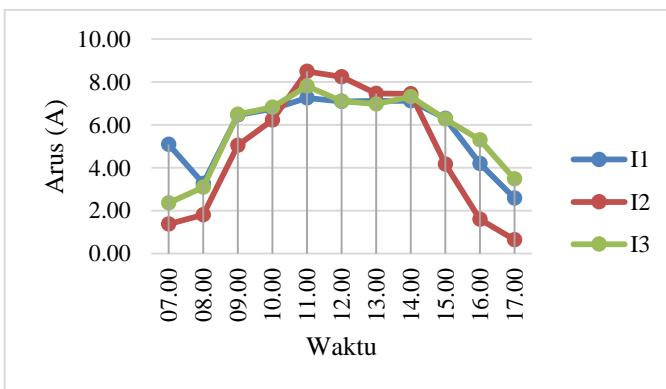
model PV dengan Fuzzy. Hal ini dapat dilihat pada nilai arus pukul 07.00, dan 15.00 WIB. Penyimpangan nilai arus Fuzzy terhadap validasi lebih besar daripada penyimpangan nilai arus Fuzzy-ACO terhadap validasi. Sedangkan penyimpangan nilai arus Fuzzy-ACO terhadap validasi terbesar pada pukul 07.00 WIB.



Gambar 4. 15 Grafik tegangan f53in2out

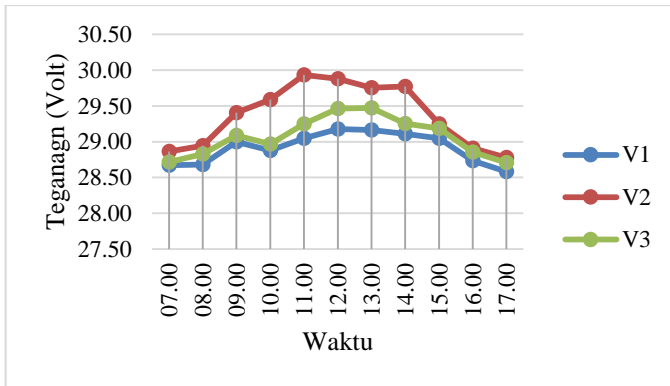
Dari hasil pemodelan PV *fixed* 5 MF diperoleh nilai tegangan dengan Fuzzy(V1), validasi(V2) dan Fuzzy-ACO(V3) dengan 3 *input* yaitu temperatur, iradiasi, dan kecepatan angin dengan model f53in2out. Pada grafik tersebut terdapat penyimpangan nilai tegangan pada pemodelan Fuzzy (V1), validasi (V2) dan Fuzzy-ACO (V3). Penyimpangan terbesar

terhadap nilai *output* validasi terdapat pada model PV dengan Fuzzy. Hal ini dapat dilihat pada nilai tegangan pukul 09.00 – 15.00 WIB. Penyimpangan nilai tegangan Fuzzy lebih besar daripada penyimpangan nilai tegangan Fuzzy-ACO terhadap validasi. Hal tersebut dikarenakan kesalahan dalam melakukan pemodelan dengan Fuzzy, sehingga terdapat penyimpangan nilai terhadap validasi yang cukup besar. Sedangkan penyimpangan nilai tegangan Fuzzy-ACO terhadap validasi terbesar pada pukul 09.00-15.00 WIB.



Gambar 4. 16 Grafik arus f53in2out

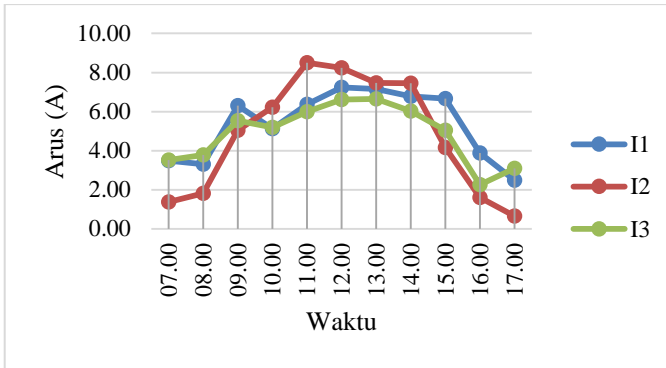
Pada gambar 4.11 merupakan nilai arus dari hasil pemodelan PV *fixed* 5 MF dengan Fuzzy(I1), validasi(I2) dan Fuzzy-ACO(I3) dengan 2 *input* yaitu temperatur, iradiasi dan kecepatan angin dengan model f53in2out. Pada grafik tersebut terdapat penyimpangan nilai arus pada pemodelan Fuzzy, validasi dan Fuzzy-ACO. Penyimpangan nilai arus terbesar terhadap nilai *output* validasi terdapat pada model PV dengan Fuzzy. Hal ini dapat dilihat pada nilai arus pukul 07.00, 15.00, 16.00 dan 17.00 WIB. Penyimpangan nilai arus Fuzzy terhadap validasi lebih besar daripada penyimpangan nilai arus Fuzzy-ACO terhadap validasi. Sedangkan penyimpangan nilai arus Fuzzy-ACO terhadap validasi terbesar pada pukul 07.00 WIB.



Gambar 4. 17 Grafik tegangan f54in2out

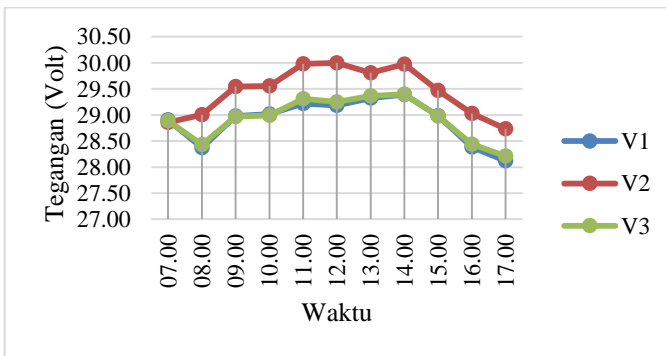
Grafik di atas menunjukkan hasil dari pemodelan PV *fixed* 5 MF dari Fuzzy(V1), validasi(V2) dan Fuzzy-ACO(V3) berupa nilai tegangan dengan 4 *input* yaitu temperatur, iradiasi, kecepatan angin dan RH dengan model f54in2out. Pada grafik tersebut terdapat penyimpangan nilai tegangan pada pemodelan Fuzzy (V1), validasi (V2) dan Fuzzy-ACO (V3). Penyimpangan terbesar terhadap nilai *output* validasi terdapat pada model PV dengan Fuzzy. Hal ini dapat dilihat pada nilai tegangan pukul 09.00, 10.00, 11.00, 12.00, 13.00 dan 14.00 WIB. Penyimpangan nilai tegangan Fuzzy lebih besar daripada penyimpangan nilai tegangan Fuzzy - ACO terhadap validasi. Hal tersebut dikarenakan kesalahan dalam melakukan pemodelan dengan Fuzzy, sehingga terdapat penyimpangan nilai terhadap validasi yang cukup besar. Sedangkan penyimpangan nilai tegangan Fuzzy-ACO terhadap validasi terbesar pada pukul 10.00, 11.00, 12.00, 13.00 dan 14.00, WIB.

Pada gambar 4.18 merupakan nilai arus dari hasil pemodelan PV *fixed* 5 MF dengan Fuzzy(I1), validasi(I2) dan Fuzzy-ACO(I3) dengan 4 *input* yaitu temperatur, iradiasi, kecepatan angin dan RH dengan model f54in2out. Pada grafik tersebut terdapat penyimpangan nilai arus pada pemodelan Fuzzy, validasi dan Fuzzy-ACO. Penyimpangan nilai arus terbesar terhadap nilai



Gambar 4. 18 Grafik arus f54in2out

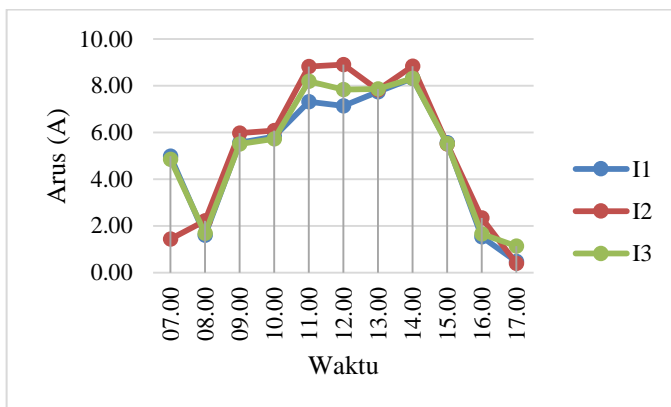
output validasi terdapat pada model PV dengan Fuzzy. Hal ini dapat dilihat pada nilai arus pukul 07.00, 11.00, 15.00, 16.00 dan 17.00 WIB. Penyimpangan nilai arus Fuzzy terhadap validasi lebih besar daripada penyimpangan nilai arus Fuzzy-ACO terhadap validasi. Sedangkan penyimpangan nilai arus Fuzzy-ACO terhadap validasi terbesar pada pukul 07.00 dan 11.00 WIB.



Gambar 4. 19 Grafik tegangan t52in2out

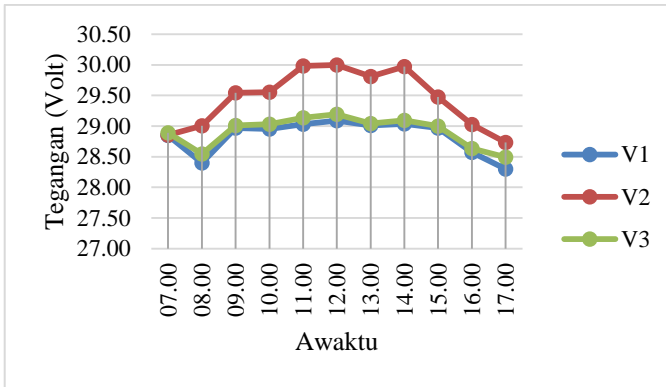
Grafik tersebut menunjukkan nilai tegangan dari hasil pemodelan PV *tracker* 5 MF dengan Fuzzy(V1), validasi(V2) dan Fuzzy-ACO(V3) dengan 2 *input* yaitu temperatur dan iradiasi, dengan model t52in2out. Pada grafik tersebut terdapat penyimpangan nilai tegangan pada pemodelan Fuzzy (V1),

validasi (V2) dan Fuzzy-ACO (V3). Penyimpangan terbesar terhadap nilai *output* validasi terdapat pada model PV dengan Fuzzy. Hal ini dapat dilihat pada nilai tegangan pukul 08.00- 17.00 WIB. Penyimpangan nilai tegangan Fuzzy lebih besar daripada penyimpangan nilai tegangan Fuzzy-ACO terhadap validasi. Hal tersebut dikarenakan kesalahan dalam melakukan pemodelan dengan Fuzzy, sehingga terdapat penyimpangan nilai terhadap validasi yang cukup besar. Sedangkan penyimpangan nilai tegangan Fuzzy-ACO terhadap validasi terbesar pada pukul 08.00 – 17.00 WIB.



Gambar 4. 20 Grafik arus t52in2out

Pada grafik di atas menunjukkan nilai arus dari hasil pemodelan PV *tracker* 5 MF dengan Fuzzy(I1), validasi(I2) dan Fuzzy-ACO(I3) dengan 2 *input* yaitu temperatur dan iradiasi dengan model t52in2out. Pada grafik tersebut terdapat penyimpangan nilai arus pada pemodelan Fuzzy, validasi dan Fuzzy-ACO. Penyimpangan nilai arus terbesar terhadap nilai *output* validasi terdapat pada model PV dengan Fuzzy. Hal ini dapat dilihat pada nilai arus pukul 07.00, 11.00 dan 12.00 WIB. Penyimpangan nilai arus Fuzzy terhadap validasi lebih besar daripada penyimpangan nilai arus Fuzzy-ACO terhadap validasi. Sedangkan penyimpangan nilai arus Fuzzy-ACO terhadap validasi terbesar pada pukul 07.00 WIB.

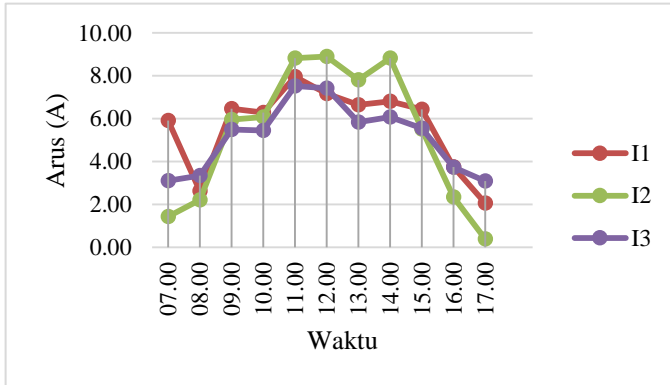


Gambar 4. 21 Grafik tegangan t53in2out

Hasil pemodelan PV *tracker* 5 MF dengan Fuzzy(V1), validasi(V2) dan Fuzzy-ACO(V3) menunjukkan nilai tegangan dari dengan 3 *input* yaitu temperatur, iradiasi dan kecepatan angin dengan model t53in2out. Pada grafik tersebut terdapat penyimpangan nilai tegangan pada pemodelan Fuzzy (V1), validasi (V2) dan Fuzzy-ACO (V3). Penyimpangan terbesar terhadap nilai *output* validasi terdapat pada model PV dengan Fuzzy. Hal ini dapat dilihat pada nilai tegangan pukul 08.00- 16.00 WIB. Penyimpangan nilai tegangan Fuzzy lebih besar daripada penyimpangan nilai tegangan Fuzzy-ACO terhadap validasi. Hal tersebut dikarenakan kesalahan dalam melakukan pemodelan dengan Fuzzy, sehingga terdapat penyimpangan nilai terhadap validasi yang cukup besar. Sedangkan penyimpangan nilai tegangan Fuzzy-ACO terhadap validasi terbesar pada pukul 08.00 – 16.00 WIB.

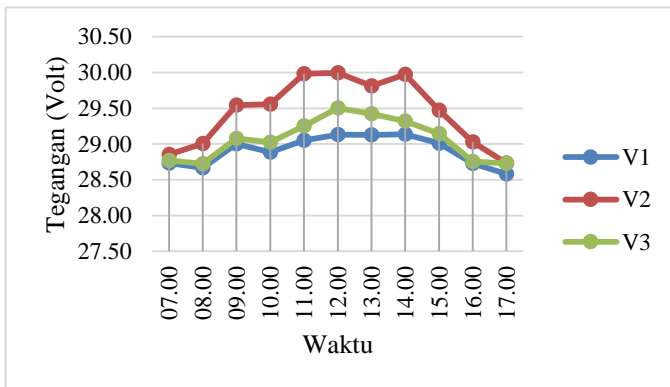
Pada gambar 4.22 menunjukkan nilai arus dari hasil pemodelan PV *tracker* 5 MF dengan Fuzzy(I1), validasi(I2) dan Fuzzy-ACO(I3) dengan 3 *input* yaitu temperatur, iradiasi dan kecepatan angin dengan model t53in2out. Pada grafik tersebut terdapat penyimpangan nilai arus pada pemodelan Fuzzy, validasi dan Fuzzy-ACO. Penyimpangan nilai arus terbesar terhadap nilai

output validasi terdapat pada model PV dengan Fuzzy. Hal ini dapat dilihat pada nilai arus pukul 07.00, 14.00 dan 17.00 WIB.



Gambar 4. 22 Grafik arus t53in2out

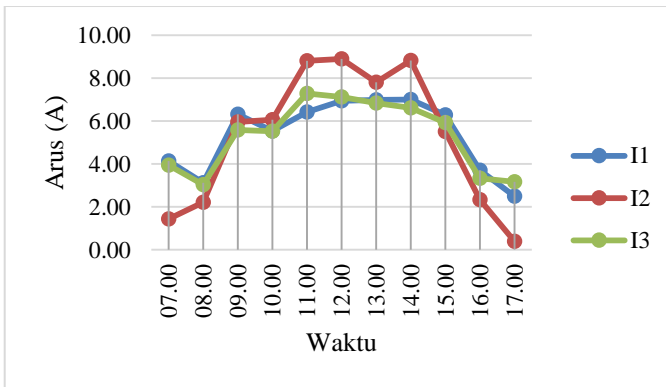
Penyimpangan nilai arus Fuzzy terhadap validasi lebih besar daripada penyimpangan nilai arus Fuzzy-ACO terhadap validasi. Sedangkan penyimpangan nilai arus Fuzzy-ACO terhadap validasi terbesar pada pukul 07.00 WIB.



Gambar 4. 23 Grafik tegangan t54in2out

Grafik di atas merupakan nilai tegangan dari hasil pemodelan PV *tracker* 5 MF dengan Fuzzy(V1), validasi(V2) dan Fuzzy-ACO(V3) dengan 4 *input* yaitu temperatur, iradiasi,

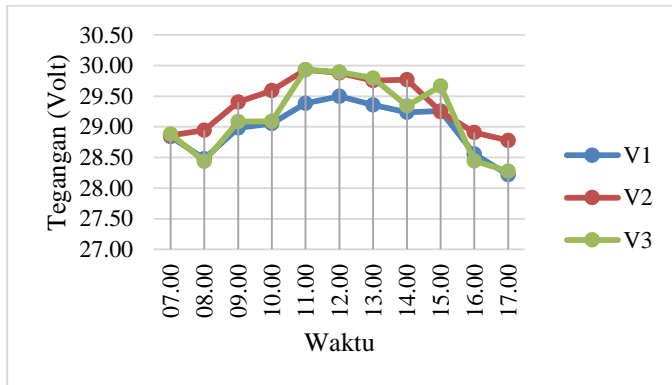
kecepatan angin dan RH dengan model t53in2out. Pada grafik tersebut terdapat penyimpangan nilai tegangan pada pemodelan Fuzzy (V1), validasi (V2) dan Fuzzy-ACO (V3). Penyimpangan terbesar terhadap nilai *output* validasi terdapat pada model PV dengan Fuzzy. Hal ini dapat dilihat pada nilai tegangan pukul 10.00- 14.00 WIB. Penyimpangan nilai tegangan Fuzzy lebih besar daripada penyimpangan nilai tegangan Fuzzy-ACO terhadap validasi. Hal tersebut dikarenakan kesalahan dalam melakukan pemodelan dengan Fuzzy, sehingga terdapat penyimpangan nilai terhadap validasi yang cukup besar. Sedangkan penyimpangan nilai tegangan Fuzzy-ACO terhadap validasi terbesar pada pukul 10.00 – 14.00 WIB.



Gambar 4. 24 Grafik arus t54in2out

Grafik di atas adalah hasil pemodelan PV *tracker* 5 MF dengan Fuzzy(I1), validasi(I2) dan Fuzzy-ACO(I3) menunjukkan nilai arus dengan 4 *input* yaitu temperatur, iradiasi, kecepatan angin dan RH dengan model t54in2out. Pada grafik tersebut terdapat penyimpangan nilai arus pada pemodelan Fuzzy, validasi dan Fuzzy-ACO. Penyimpangan nilai arus terbesar terhadap nilai *output* validasi terdapat pada model PV dengan Fuzzy. Hal ini dapat dilihat pada nilai arus pukul 07.00, 11.00, 14.00 dan 17.00 WIB. Penyimpangan nilai arus Fuzzy terhadap validasi lebih besar daripada penyimpangan nilai arus Fuzzy-ACO terhadap validasi.

Sedangkan penyimpangan nilai arus Fuzzy-ACO terhadap validasi terbesar pada pukul 07.00, 11.00, 14.00 dan 17.00 WIB.

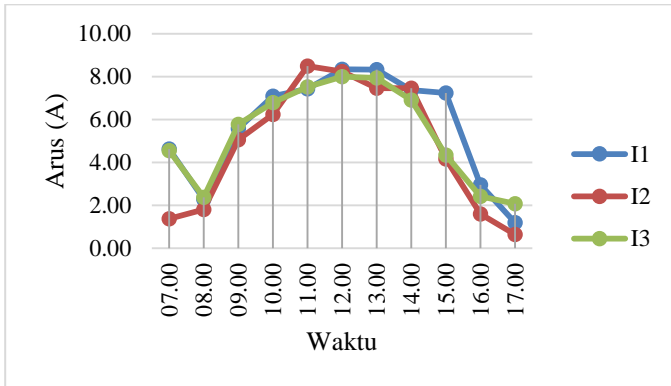


Gambar 4. 25 Grafik tegangan f72in2out

Pada gambar 4.25 menunjukkan nilai tegangan dari hasil pemodelan PV *fixed* 7 MF dengan Fuzzy(V1), validasi(V2) dan Fuzzy-ACO(V3) dengan 2 *input* yaitu temperatur dan iradiasi dengan model f72in2out. Pada grafik tersebut terdapat penyimpangan nilai tegangan pada pemodelan Fuzzy (V1), validasi (V2) dan Fuzzy-ACO (V3). Penyimpangan terbesar terhadap nilai *output* validasi terdapat pada model PV dengan Fuzzy. Hal ini dapat dilihat pada nilai tegangan pukul 08.00 - 15.00 WIB. Penyimpangan nilai tegangan Fuzzy lebih besar daripada penyimpangan nilai tegangan Fuzzy-ACO terhadap validasi. Hal tersebut dikarenakan kesalahan dalam melakukan pemodelan dengan Fuzzy, sehingga terdapat penyimpangan nilai terhadap validasi yang cukup besar. Sedangkan penyimpangan nilai tegangan Fuzzy-ACO terhadap validasi terbesar pada pukul 08.00 – 10.00 WIB.

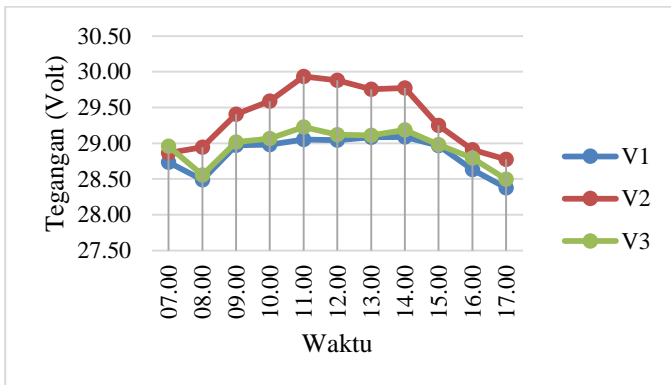
Pada gambar 3.26 menunjukkan nilai arus dari hasil pemodelan PV *fixed* 7 MF dengan Fuzzy(I1), validasi(I2) dan Fuzzy-ACO(I3) dengan 2 *input* yaitu temperatur dan iradiasi dengan model t54in2out. Pada grafik tersebut terdapat

penyimpangan nilai arus pada pemodelan Fuzzy, validasi dan Fuzzy-ACO. Penyimpangan nilai arus terbesar terhadap nilai



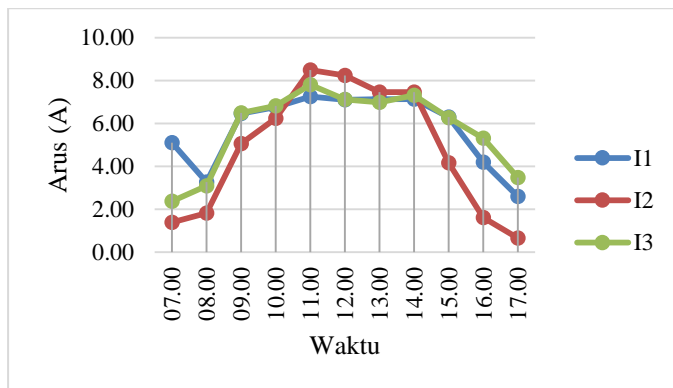
Gambar 4. 26 Grafik arus f72in2out

output validasi terdapat pada model PV dengan Fuzzy. Hal ini dapat dilihat pada nilai arus pukul 07.00 WIB. Penyimpangan nilai arus Fuzzy terhadap validasi lebih besar daripada penyimpangan nilai arus Fuzzy-ACO terhadap validasi. Sedangkan penyimpangan nilai arus Fuzzy-ACO terhadap validasi terbesar pada pukul 15.00 WIB.



Gambar 4. 27 Grafik tegangan f73in2out

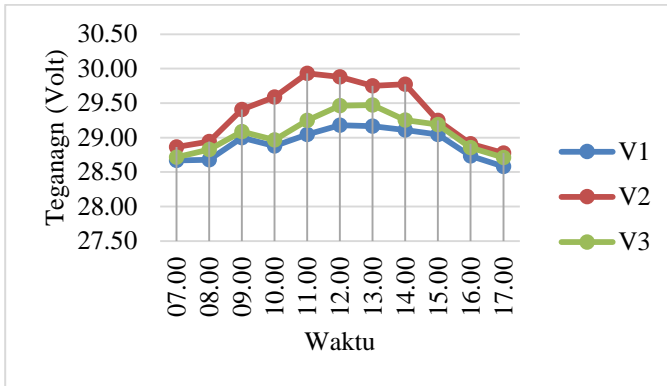
Pada grafik 4.27 menunjukkan nilai tegangan dari hasil pemodelan PV *fixed* 7 MF dengan Fuzzy(V1), validasi(V2) dan Fuzzy-ACO(V3) dengan 3 *input* yaitu temperature, iradiasi dan kecepatan angina dengan model f72in2out. Pada grafik tersebut terdapat penyimpangan nilai tegangan pada pemodelan Fuzzy (V1), validasi (V2) dan Fuzzy-ACO (V3). Penyimpangan terbesar terhadap nilai *output* validasi terdapat pada model PV dengan Fuzzy. Hal ini dapat dilihat pada nilai tegangan pukul 08.00 - 15.00 WIB. Penyimpangan nilai tegangan Fuzzy lebih besar daripada penyimpangan nilai tegangan Fuzzy-ACO terhadap validasi. Hal tersebut dikarenakan kesalahan dalam melakukan pemodelan dengan Fuzzy, sehingga terdapat penyimpangan nilai terhadap validasi yang cukup besar. Sedangkan penyimpangan nilai tegangan Fuzzy-ACO terhadap validasi terbesar pada pukul 08.00 - 15.00 WIB.



Gambar 4. 28 Grafik arus f73in2out

Grafik di atas merupakan nilai arus dari hasil pemodelan PV *fixed* 7 MF dengan Fuzzy(I1), validasi(I2) dan Fuzzy-ACO(I3) dengan 2 *input* yaitu temperatur, iradiasi dan kecepatan angin dengan model f73in2out. Pada grafik tersebut terdapat penyimpangan nilai arus pada pemodelan Fuzzy, validasi dan Fuzzy-ACO. Penyimpangan nilai arus terbesar terhadap nilai *output* validasi terdapat pada model PV dengan Fuzzy. Hal ini dapat dilihat pada nilai arus pukul 07.00, 16.00 dan 17.00 WIB.

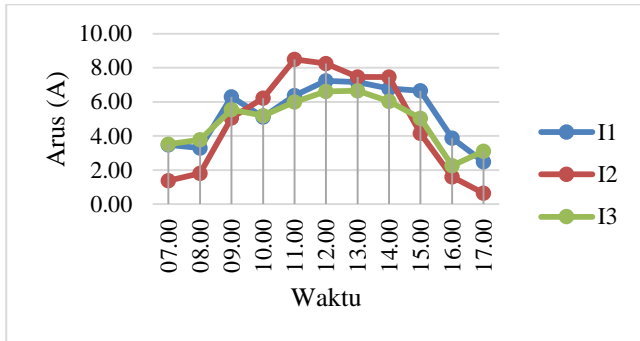
Penyimpangan nilai arus Fuzzy terhadap validasi lebih besar daripada penyimpangan nilai arus Fuzzy-ACO terhadap validasi. Sedangkan penyimpangan nilai arus Fuzzy-ACO terhadap validasi terbesar pada pukul 16.00 dan 17.00 WIB.



Gambar 4. 29 Grafik tegangan f74in2out

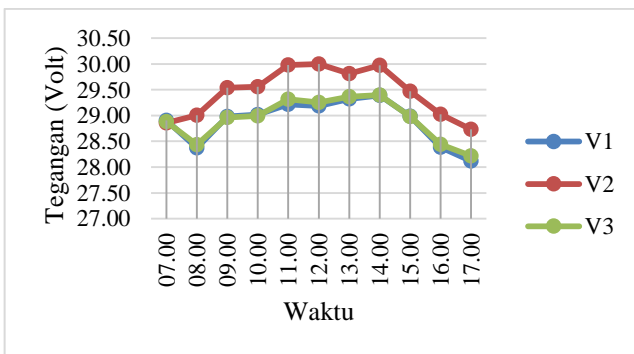
Hasil pemodelan PV *fixed* 7 MF dengan Fuzzy(V1), validasi(V2) dan Fuzzy-ACO(V3) menunjukkan nilai tegangan dengan 4 *input* yaitu temperatur, iradiasi, kecepatan angin dan RH dengan model f72in2out. Pada grafik tersebut terdapat penyimpangan nilai tegangan pada pemodelan Fuzzy (V1), validasi (V2) dan Fuzzy-ACO (V3). Penyimpangan terbesar terhadap nilai *output* validasi terdapat pada model PV dengan Fuzzy. Hal ini dapat dilihat pada nilai tegangan pukul 09.00 - 14.00 WIB. Penyimpangan nilai tegangan Fuzzy lebih besar daripada penyimpangan nilai tegangan Fuzzy-ACO terhadap validasi. Hal tersebut dikarenakan kesalahan dalam melakukan pemodelan dengan Fuzzy, sehingga terdapat penyimpangan nilai terhadap validasi yang cukup besar. Sedangkan penyimpangan nilai tegangan Fuzzy-ACO terhadap validasi terbesar pada pukul 11.00 – 14.00 WIB.

Pada gambar 4.30 merupakan nilai arus dari hasil pemodelan PV *fixed* 7 MF dengan Fuzzy(I1), validasi(I2) dan Fuzzy-ACO(I3) dengan 2 *input* yaitu temperatur, iradiasi, kecepatan angin dan RH



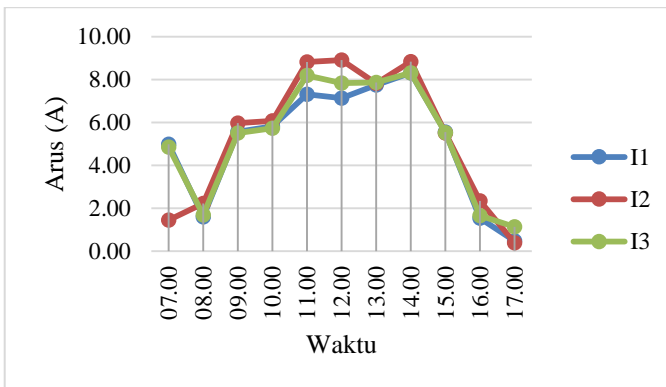
Gambar 4. 30 Grafik arus f74in2out

dengan model f74in2out. Pada grafik tersebut terdapat penyimpangan nilai arus pada pemodelan Fuzzy, validasi dan Fuzzy-ACO. Penyimpangan nilai arus terbesar terhadap nilai *output* validasi terdapat pada model PV dengan Fuzzy. Hal ini dapat dilihat pada nilai arus pukul 11.00, 12.00 dan 15.00 WIB. Penyimpangan nilai arus Fuzzy terhadap validasi lebih besar daripada penyimpangan nilai arus Fuzzy-ACO terhadap validasi. Sedangkan penyimpangan nilai arus Fuzzy-ACO terhadap validasi terbesar pada pukul 11.00 - 14.00 WIB.



Gambar 4. 31 Grafik tegangan t72in2out

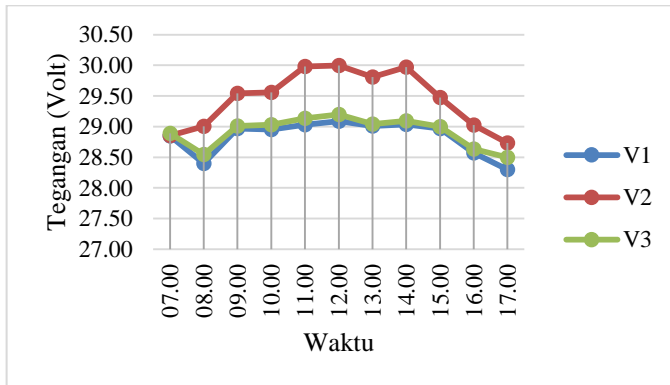
Pada Grafik 4.13 menunjukkan nilai tegangan dari hasil pemodelan PV *tracker* 7 MF dengan Fuzzy(V1), validasi(V2) dan Fuzzy-ACO(V3) dengan 2 *input* yaitu temperature dan iradiasi dengan model *t72in2out*. Pada grafik tersebut terdapat penyimpangan nilai tegangan pada pemodelan Fuzzy (V1), validasi (V2) dan Fuzzy-ACO (V3). Penyimpangan terbesar terhadap nilai *output* validasi terdapat pada model PV dengan Fuzzy. Hal ini dapat dilihat pada nilai tegangan pukul 09.00- 14.00 WIB. Penyimpangan nilai tegangan Fuzzy lebih besar daripada penyimpangan nilai tegangan Fuzzy-ACO terhadap validasi. Hal tersebut dikarenakan kesalahan dalam melakukan pemodelan dengan Fuzzy, sehingga terdapat penyimpangan nilai terhadap validasi yang cukup besar. Sedangkan penyimpangan nilai tegangan Fuzzy-ACO terhadap validasi terbesar pada pukul 09.00 – 14.00 WIB.



Gambar 4. 32 Grafik arus *t72in2out*

Grafik tersebut merupakan nilai arus dari hasil pemodelan PV *tracker* 7 MF dengan Fuzzy(I1), validasi(I2) dan Fuzzy-ACO(I3) dengan 2 *input* yaitu temperatur dan iradiasi dengan model *t72in2out*. Pada grafik tersebut terdapat penyimpangan nilai arus pada pemodelan Fuzzy, validasi dan Fuzzy-ACO. Penyimpangan nilai arus terbesar terhadap nilai *output* validasi terdapat pada model PV dengan Fuzzy. Hal ini dapat dilihat pada nilai arus pukul 11.00 dan 12.00 WIB. Penyimpangan nilai arus

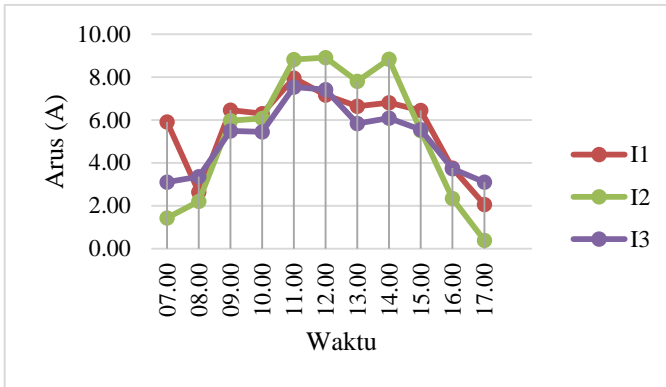
Fuzzy terhadap validasi lebih besar daripada penyimpangan nilai arus Fuzzy-ACO terhadap validasi. Sedangkan penyimpangan nilai arus Fuzzy-ACO terhadap validasi terbesar pada pukul 12.00 WIB.



Gambar 4. 33 Grafik tegangan t73in2out

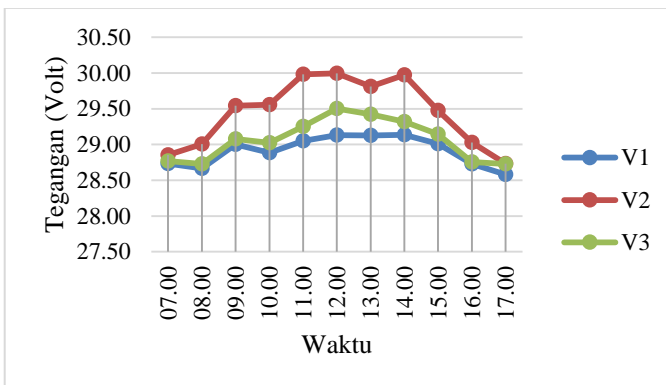
Hasil dari pemodelan PV *tracker* 7 MF dengan Fuzzy(V1), validasi(V2) dan Fuzzy-ACO(V3) menunjukkan nilai tegangan dari 3 *input* yaitu temperatur, iradiasi dan kecepatan angin dengan model t73in2out. Pada grafik tersebut terdapat penyimpangan nilai tegangan pada pemodelan Fuzzy (V1), validasi (V2) dan Fuzzy-ACO (V3). Penyimpangan terbesar terhadap nilai *output* validasi terdapat pada model PV dengan Fuzzy. Hal ini dapat dilihat pada nilai tegangan pukul 09.00- 14.00 WIB. Penyimpangan nilai tegangan Fuzzy lebih besar daripada penyimpangan nilai tegangan Fuzzy-ACO terhadap validasi. Hal tersebut dikarenakan kesalahan dalam melakukan pemodelan dengan Fuzzy, sehingga terdapat penyimpangan nilai terhadap validasi yang cukup besar. Sedangkan penyimpangan nilai tegangan Fuzzy-ACO terhadap validasi terbesar pada pukul 09.00 – 14.00 WIB.

Pada gambar 4.34 di atas merupakan nilai arus dari hasil pemodelan PV *tracker* 7 MF dengan Fuzzy(I1), validasi(I2) dan Fuzzy-ACO(I3) dengan 2 *input* yaitu temperatur, iradiasi dan kecepatan angin dengan model t72in2out. Pada grafik tersebut terdapat penyimpangan nilai arus pada pemodelan Fuzzy, validasi



Gambar 4. 34 Grafik arus t73in2out

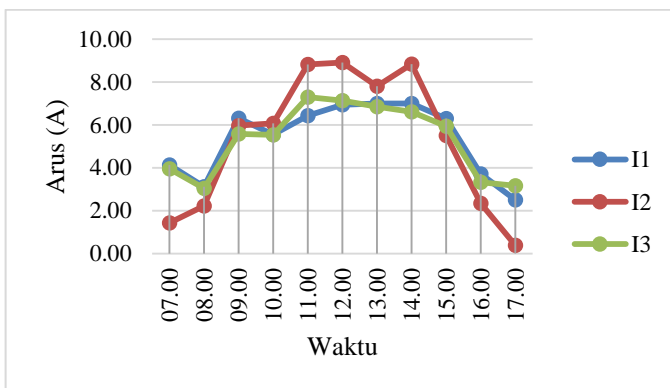
dan Fuzzy-ACO. Penyimpangan nilai arus terbesar terhadap nilai *output* validasi terdapat pada model PV dengan Fuzzy. Hal ini dapat dilihat pada nilai arus pukul 07.00, 13.00 dan 14.00 WIB. Penyimpangan nilai arus Fuzzy terhadap validasi lebih besar daripada penyimpangan nilai arus Fuzzy-ACO terhadap validasi. Sedangkan penyimpangan nilai arus Fuzzy-ACO terhadap validasi terbesar pada pukul 13.00, 14.00 dan 15.00 WIB.



Gambar 4. 35 Grafik tegangan t73in2out

Pada grafik di atas menunjukkan nilai tegangan dari hasil pemodelan PV *tracker* 7 MF dengan Fuzzy(V1), validasi(V2) dan

Fuzzy-ACO(V3) dengan 4 *input* yaitu temperatur, iradiasi, kecepatan angin dan RH dengan model t74in2out. Pada grafik tersebut terdapat penyimpangan nilai tegangan pada pemodelan Fuzzy (V1), validasi (V2) dan Fuzzy-ACO (V3). Penyimpangan terbesar terhadap nilai *output* validasi terdapat pada model PV dengan Fuzzy. Hal ini dapat dilihat pada nilai tegangan pukul 09.00- 14.00 WIB. Penyimpangan nilai tegangan Fuzzy lebih besar daripada penyimpangan nilai tegangan Fuzzy-ACO terhadap validasi. Hal tersebut dikarenakan kesalahan dalam melakukan pemodelan dengan Fuzzy, sehingga terdapat penyimpangan nilai terhadap validasi yang cukup besar. Sedangkan penyimpangan nilai tegangan Fuzzy-ACO terhadap validasi terbesar pada pukul 09.00 – 14.00 WIB.



Gambar 4. 36 Grafik arus t74in2out

Grafik di atas adalah nilai arus dari hasil pemodelan PV *tracker* 7 MF dengan Fuzzy(I1), validasi(I2) dan Fuzzy-ACO(I3) dengan 2 *input* yaitu temperatur, iradiasi, kecepatan angin dan RH dengan model t74in2out. Pada grafik tersebut terdapat penyimpangan nilai arus pada pemodelan Fuzzy, validasi dan Fuzzy-ACO. Penyimpangan nilai arus terbesar terhadap nilai *output* validasi terdapat pada model PV dengan Fuzzy. Hal ini dapat dilihat pada nilai arus pukul 11.00 - 14.00 WIB. Penyimpangan nilai arus Fuzzy terhadap validasi lebih besar daripada penyimpangan nilai arus Fuzzy-ACO terhadap validasi.

Sedangkan penyimpangan nilai arus Fuzzy-ACO terhadap validasi terbesar pada pukul 11.00 dan 12.00 WIB.

4.6 Nilai MSE dan RMSE pada Model PV

Berikut adalah nilai MSE dan nilai RMSE untuk masing-masing model Fuzzy dan Fuzzy-ACO.

Tabel 4. 16 Nilai MSE dan RMSE Tegangan PV *Fixed*

No	Model	Fuzzy		Fuzzy-ACO	
		MSE	RMSE	MSE	RMSE
1	f32in2out	0.161	0.402	0.108	0.328
2	f33in2out	0.037	0.193	0.036	0.191
3	f34in2out	0.079	0.281	0.073	0.271
4	f52in2out	0.317	0.563	0.130	0.361
5	f53in2out	0.317	0.563	0.235	0.458
6	f54in2out	0.269	0.519	0.138	0.372
7	f72in2out	0.209	0.457	0.142	0.377
8	f73in2out	0.033	0.182	0.024	0.156
9	f74in2out	0.047	0.218	0.022	0.148

Tabel di atas menunjukkan nilai MSE dan RMSE tegangan (Volt) pada model PV *Fixed* dengan 4 *input* yang berbeda dan dengan variasi 3, 5 dan 7 *membership function*. Berdasarkan nilai di atas error terkecil ada pada model Fuzzy PV *fixed* dengan 7 *membership function* yaitu f73in2out dengan 3 *input* temperatur, iradiasi dan kecepatan angin dengan 2 *output* tegangan dan arus. Hasil yang diperoleh yaitu 0.033 V untuk MSE tegangan dan 0.182 V untuk RMSE. Sedangkan setelah dilakukan optimasi nilai menunjukkan 0.024 V untuk MSE dan 0.156 V untuk RMSE. Sedangkan error terbesar ada pada model PV *fixed* yaitu dengan 5 *membership function* yaitu f53in2out dengan 2 *input* temperatur, iradiasi dan kecepatan angin, dengan 2 *output* tegangan dan arus. Hasil yang diperoleh yaitu 0.317 V untuk MSE dan 0.563 V untuk RMSE. Setelah dilakukan optimasi nilai menunjukkan 0.235 V untuk MSE dan 0.458 V untuk RMSE.

Tabel 4.13 merupakan tabel nilai MSE dan RMSE arus (A) pada model PV *Fixed* dengan 4 *input* yang berbeda dan dengan

Tabel 4. 17 Nilai MSE dan RMSE Arus PV *Fixed*

No	Model	Fuzzy		Fuzzy-ACO	
		MSE	RMSE	MSE	RMSE
1	f32in2out	0.817	0.904	0.669	0.818
2	f33in2out	1.807	1.344	1.547	1.244
3	f34in2out	3.329	1.825	3.038	1.743
4	f52in2out	2.234	1.495	1.409	1.187
5	f53in2out	3.304	1.810	3.021	1.738
6	f54in2out	2.759	1.661	2.590	1.612
7	f72in2out	2.176	1.475	1.612	1.270
8	f73in2out	2.588	1.609	1.814	1.347
9	f74in2out	2.291	1.514	1.801	1.342

variasi 3, 5 dan 7 *membership function*. Berdasarkan nilai di atas error terkecil ada pada model Fuzzy PV *Fixed* dengan 3 *membership function* yaitu f32in2out dengan 2 *input* temperatur dan iradiasi dengan 2 *output* tegangan dan arus. Hasil yang diperoleh yaitu 0.817 A untuk MSE arus dan 0.904 V untuk RMSE. Sedangkan setelah dilakukan optimasi nilai menunjukkan 0.669 A untuk MSE dan 0.818 A untuk RMSE. Sedangkan error terbesar ada pada model PV *Fixed* yaitu dengan 3 *membership function* yaitu f34in2out dengan 4 *input* temperatur, iradiasi, kecepatan angin dan RH, dengan 2 *output* tegangan dan arus. Hasil yang diperoleh yaitu 3.329 A untuk MSE dan 1.825 A untuk RMSE. Setelah dilakukan optimasi nilai menunjukkan 3.038 A untuk MSE dan 1.743 A untuk RMSE.

Tabel 4. 18 Nilai MSE dan RMSE Tegangan PV *Tracker*

No	Model	Fuzzy		Fuzzy-ACO	
		MSE	RMSE	MSE	RMSE
1	t32in2out	0.589	0.767	0.036	0.191
2	t33in2out	0.064	0.254	0.055	0.235
3	t34in2out	0.085	0.291	0.055	0.234
4	t52in2out	0.352	0.593	0.306	0.554
5	t53in2out	0.451	0.672	0.357	0.598
6	t54in2out	0.363	0.602	0.193	0.439
7	t72in2out	0.162	0.402	0.158	0.397

8	t73in2out	0.077	0.277	0.049	0.222
9	t74in2out	0.022	0.148	0.013	0.144

Tabel di atas merupakan tabel nilai MSE dan RMSE tegangan (Volt) pada model PV *Tracker* dengan 3 *input* yang berbeda dan dengan variasi 3, 5 dan 7 *membership function*. Berdasarkan nilai di atas error terkecil ada pada model Fuzzy-ACO PV *fixed* dengan 3 *membership function* yaitu t74in2out dengan 4 *input* temperatur, iradiasi, kecepatan angin dan RH dengan 2 *output* tegangan dan arus. Hasil yang diperoleh yaitu 0.022 V untuk MSE tegangan dan 0.148 V untuk RMSE. Sedangkan setelah dilakukan optimasi nilai menunjukkan 0.013 V untuk MSE dan 0.144 V untuk RMSE. Sedangkan error terbesar ada pada model PV *Tracker* yaitu dengan 3 *membership function* yaitu f32in2out dengan 2 *input* temperatur, dan iradiasi dengan 2 *output* tegangan dan arus. Hasil yang diperoleh yaitu 0.589 V untuk MSE dan 0.767 V untuk RMSE. Setelah dilakukan optimasi nilai menunjukkan 0.036 V untuk MSE dan 0.191 V untuk RMSE.

Tabel 4. 19 Nilai MSE dan RMSE Arus PV *Tracker*

No	Model	Fuzzy		Fuzzy-ACO	
		MSE	RMSE	MSE	RMSE
1	t32in2out	1.198	1.095	0.884	0.940
2	t33in2out	3.177	1.782	1.678	1.296
3	t34in2out	4.416	2.101	3.480	1.860
4	t52in2out	1.775	1.332	0.316	0.562
5	t53in2out	3.469	1.862	2.657	1.630
6	t54in2out	2.640	1.625	2.511	1.584
7	t72in2out	2.434	1.560	2.117	1.455
8	t73in2out	2.553	1.598	1.000	1.000
9	t74in2out	3.782	1.945	2.555	1.598

Tabel 4.19 menunjukkan hasil MSE dan RMSE arus (A) pada model PV *Tracker* dengan 4 *input* yang berbeda dan dengan variasi 3, 5 dan 7 *membership function*. Berdasarkan nilai di atas error terkecil ada pada model Fuzzy PV *tracker* dengan 3 *membership function* yaitu t32in2out dengan 2 *input* temperatur

dan iradiasi, dengan 2 *output* tegangan dan arus. Hasil yang diperoleh yaitu 1.198 A untuk MSE dan 1.095 A untuk RMSE. Sedangkan setelah dilakukan optimasi nilai menunjukkan 0.884 A untuk MSE dan 0.940 A untuk RMSE. Sedangkan *error* terbesar ada pada model PV *Fixed* yaitu dengan 3 *membership function* yaitu t34in2out dengan 3 *input* temperatur, iradiasi, kecepatan angin dan RH, dengan 2 *output* tegangan dan arus. Hasil yang diperoleh yaitu 4.416 A untuk MSE dan 2.101 A untuk RMSE. Setelah dilakukan optimasi nilai menunjukkan 3.480 A untuk MSE dan 1.860 A untuk RMSE. Sedangkan nilai persen MSE dan RMSE adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 20 Nilai persen MSE dan RMSE Tegangan PV *Fixed*

No	Model	Fuzzy		Fuzzy-ACO	
		Persen MSE	Persen RMSE	Persen MSE	Persen RMSE
1	f32in2out	0.0016	0.0040	0.0011	0.0033
2	f33in2out	0.0004	0.0019	0.0004	0.0019
3	f34in2out	0.0008	0.0028	0.0007	0.0027
4	f52in2out	0.0032	0.0056	0.0013	0.0036
5	f53in2out	0.0032	0.0056	0.0024	0.0046
6	f54in2out	0.0027	0.0052	0.0014	0.0037
7	f72in2out	0.0021	0.0046	0.0014	0.0038
8	f73in2out	0.0003	0.0018	0.0002	0.0016
9	f74in2out	0.0005	0.0022	0.0002	0.0015

Pada tabel 4.20 merupakan tabel nilai MSE dan RMSE tegangan (Volt) pada model PV *Fixed* dengan 4 *input* yang berbeda dan dengan variasi 3, 5 dan 7 *membership function*. Berdasarkan nilai di atas error terkecil ada pada model Fuzzy PV *fixed* dengan 3 *membership function* yaitu f73in2out dengan 3 *input* temperatur, iradiasi, kecepatan angin dengan 2 *output* tegangan dan arus. Hasil yang diperoleh yaitu 0.0003 V untuk MSE tegangan dan 0.0018 V untuk RMSE. Sedangkan setelah dilakukan optimasi nilai menunjukkan 0.0002 V untuk MSE dan 0.0016 V untuk RMSE. Sedangkan *error* terbesar ada pada model PV *fixed* yaitu dengan 5 *membership function* yaitu f53in2out dengan 3 *input* temperatur ,

iradiasi dan kecepatan angin, dengan 2 *output* tegangan dan arus. Hasil yang diperoleh yaitu 0.0032 V untuk MSE 0.0056 V untuk RMSE. Setelah dilakukan optimasi nilai menunjukkan 0.0024 V untuk MSE dan 0.0046 V untuk RMSE

Tabel 4. 21 Nilai persen MSE dan RMSE Arus PV *Fixed*

No	Model	Fuzzy		Fuzzy-ACO	
		Persen MSE	Persen RMSE	Persen MSE	Persen RMSE
1	f32in2out	0.0082	0.0090	0.0067	0.0082
2	f33in2out	0.0181	0.0134	0.0155	0.0124
3	f34in2out	0.0333	0.0183	0.0304	0.0174
4	f52in2out	0.0223	0.0150	0.0141	0.0119
5	f53in2out	0.0330	0.0181	0.0302	0.0174
6	f54in2out	0.0276	0.0166	0.0259	0.0161
7	f72in2out	0.0218	0.0148	0.0161	0.0127
8	f73in2out	0.0259	0.0161	0.0181	0.0135
9	f74in2out	0.0229	0.0151	0.0180	0.0134

Nilai MSE dan RMSE arus (A) pada model PV *Fixed* dengan 4 *input* yang berbeda dan dengan variasi 3, 5 dan 7 *membership function* terdapat pada tabel 4.21. Berdasarkan nilai di atas error terkecil ada pada model Fuzzy PV *Fixed* dengan 3 *membership function* yaitu f32in2out dengan 2 *input* temperatur dan iradiasi dengan 2 *output* tegangan dan arus. Hasil yang diperoleh yaitu 0.0082 A untuk MSE arus dan 0.0090 V untuk RMSE. Sedangkan setelah dilakukan optimasi nilai menunjukkan 0.0067 A untuk MSE dan 0.0082 A untuk RMSE. Sedangkan error terbesar ada pada model PV *Fixed* yaitu dengan 3 *membership function* yaitu f34in2out dengan 4 *input* temperatur, iradiasi, kecepatan angin dan RH, dengan 2 *output* tegangan dan arus. Hasil yang diperoleh yaitu 0.0333 A untuk MSE 0.0183 A untuk RMSE. Setelah dilakukan optimasi nilai menunjukkan 0.0304 A untuk MSE dan 0.0174 A untuk RMSE.

Tabel 4. 22 Nilai persen MSE dan RMSE Tegangan PV Tracker

No	Model	Fuzzy		Fuzzy-ACO	
		Persen MSE	Persen RMSE	Persen MSE	Persen RMSE
1	t32in2out	0.0059	0.0077	0.0004	0.0019
2	t33in2out	0.0006	0.0025	0.0006	0.0024
3	t34in2out	0.0009	0.0029	0.0006	0.0023
4	t52in2out	0.0035	0.0059	0.0031	0.0055
5	t53in2out	0.0045	0.0067	0.0036	0.0060
6	t54in2out	0.0036	0.0060	0.0019	0.0044
7	t72in2out	0.0016	0.0040	0.0016	0.0040
8	t73in2out	0.0008	0.0028	0.0005	0.0022
9	t74in2out	0.0002	0.0015	0.0001	0.0014

Tabel di atas merupakan tabel nilai MSE dan RMSE tegangan (Volt) pada model PV Tracker dengan 3 input yang berbeda dan dengan variasi 3, 5 dan 7 *membership function*. Berdasarkan nilai di atas error terkecil ada pada model Fuzzy-ACO PV fixed dengan 3 *membership function* yaitu t74in2out dengan 4 input temperatur, iradiasi, kecepatan angina dan RH dengan 2 output tegangan dan arus. Hasil yang diperoleh yaitu 0.0002 V untuk MSE tegangan dan 0.0015 V untuk RMSE. Sedangkan setelah dilakukan optimasi nilai menunjukkan 0.0001 V untuk MSE dan 0.0014 V untuk RMSE. Sedangkan error terbesar ada pada model PV Tracker yaitu dengan 3 *membership function* yaitu t32in2out dengan 2 input temperatur, dan iradiasi dengan 2 output tegangan dan arus. Hasil yang diperoleh yaitu 0.0059 V untuk MSE dan 0.0077 V untuk RMSE. Setelah dilakukan optimasi nilai menunjukkan 0.0004 V untuk MSE dan 0.0019 V untuk RMSE.

Tabel 4. 23 Nilai persen MSE dan RMSE Arus PV Tracker

No	Model	Fuzzy		Fuzzy-ACO	
		Persen MSE	Persen RMSE	Persen MSE	Persen RMSE
1	t32in2out	0.0120	0.0110	0.0088	0.0094
2	t33in2out	0.0318	0.0178	0.0168	0.0130

Tabel 4.23 Lanjutan

3	t34in2out	0.0442	0.0210	0.0348	0.0186
4	t52in2out	0.0178	0.0133	0.0032	0.0056
5	t53in2out	0.0347	0.0186	0.0266	0.0163
6	t54in2out	0.0264	0.0163	0.0251	0.0158
7	t72in2out	0.0243	0.0156	0.0212	0.0146
8	t73in2out	0.0255	0.0160	0.0100	0.0100
9	t74in2out	0.0378	0.0195	0.0256	0.0160

Pada tabel 4.23 menunjukkan table nilai MSE dan RMSE arus (A) pada model PV *Tracker* dengan 4 *input* yang berbeda dan dengan variasi 3, 5 dan 7 *membership function*. Berdasarkan nilai di atas error terkecil ada pada model Fuzzy PV *tracker* dengan 3 *membership function* yaitu t32in2out dengan 2 *input* temperatur dan iradiasi, dengan 2 *output* tegangan dan arus. Hasil yang diperoleh yaitu 1.198 A untuk MSE dan 1.095 A untuk RMSE. Sedangkan setelah dilakukan optimasi nilai menunjukkan 0.884 A untuk MSE dan 0.940 A untuk RMSE. Sedangkan error terbesar ada pada model PV *Fixed* yaitu dengan 3 *membership function* yaitu t34in2out dengan 3 *input* temperatur, iradiasi, kecepatan angin dan RH, dengan 2 *output* tegangan dan arus. Hasil yang diperoleh yaitu 0.442 A untuk MSE dan 0.0210 A untuk RMSE. Setelah dilakukan optimasi nilai menunjukkan 0.0348 A untuk MSE dan 0.0186 A untuk RMSE.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa data dan pembahasan yang telah dilakukan mengenai pemodelan dan simulasi PV *Fixed* dan *Tracker* maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- a. PV dapat dimodelkan dengan Fuzzy dan Fuzzy-ACO dengan *input* iradiasi 1370,2 (W/m²), temperatur 62,17° C·kecepatan angin 2,26 (m/s²) dan RH 58,46%.
- b. Validasi model dilakukan dengan cara membandingkan nilai *output* model dengan data pengukuran pada cuaca *balance* dikarenakan pada cuaca *balance* mewakili cuaca cerah dan cuaca mendung.
- c. Pemodelan dilakukan untuk memperoleh nilai MSE dan RMSE pada model PV *Fixed* dan PV *Tracker* dan diperoleh nilai minimum untuk *error* tegangan pada model PV *tracker* yaitu t74in2out Fuzzy dengan 4 *input* temperatur, iradiasi, kecepatan angin dan RH sebesar 0.022 Volt nilai MSE dan sebesar 0.148 Volt nilai RMSE dan t74in2out Fuzzy-ACO sebesar 0.013 Volt nilai MSE dan sebesar 0.144 Volt nilai RMSE . Sedangkan untuk nilai *error* arus terdapat nilai terkecil pada PV *Fixed* yaitu f32in2out Fuzzy dengan 2 *input* temperatur dan iradiasi sebesar 0.817 A nilai MSE dan sebesar 0.904 A nilai RMSE dan f32in2out Fuzzy-ACO sebesar 0.669 A nilai MSE dan sebesar 0.818 A nilai RMSE.

5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan pada penelitian selanjutnya adalah untuk menambah variabel *input* yaitu tekanan udara, dan untuk mengetahui pengaruh tekanan udara terhadap photovoltaic dan pengaruh variabel tekanan udara terhadap model PV Fuzzy dan Fuzzy-ACO serta ditambahkan variasi *membership function* pada model PV agar dapat diketahui perbandingan nilai model PV variasi *membership function*.

DAFTAR PUSTAKA

- Adel Mellit dan Soteris A. (2014). An ANFIS-based Modeling for a Photovoltaic Power Supply (PVPS) System.
- Ali. M dkk. (2015). Optimisasi Steering Control Mobil Listrik Auto-Pilot Menggunakan Metode Ant Colony Optimization (ACO). *J. Intake*, 34 -50.
- Broujeni, S. T., & Fathi, S. H. (2013). Hybrid PV/Wind Power System Control for Maximum Power Extraction and Output Voltage Regulation. Tehran: 3rd international Conference on Control, Instrumentation, and Automation (ICCIA 2013).
- Dorigo.M dkk. (1996). The Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE Transactions on Systems, Man,,* 1-13.
- Dzulkarnain , Y., Ashari, M., & Riawan, D. C. (2014). Desain dan Implementasi Multi-Input Konverter DC-DC pada Sistem Tenaga Listrik Hibrida. *POMITS*, 1-6.
- F. Abdolvahhab dan K.Ehsan. (2015). Size optimization for hybrid photovoltaic–wind energy system using. *Applied Soft Computing*, 196 - 209.
- Fahrenbruch, A. L., & Bube , R. H. (1983). *Fundamentals of Solar Cells*. San Farnsisco: CA: Academic.
- G.Francisco. (2011). Neuro-Fuzzy Predictive Model for PV Energy. *International Conference on Fuzzy Systems* (pp. 27-30). Taipei, Taiwan: IEEE.
- Hiu, X., Zhang, J., Chung, H., & liu, D. (2010). ACO variabel sampling ant colony optimization algorithm for continous optimization. *IEEE Trans*.
- 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.
- Kermadi M, Berkouk EM. (2017). Artificial Intelligence-Based Maximum Power Point Tracking Controllers for(Placeholder1) Photovoltaic System. *Renew Sustain Energy Rev*, 69-86.
- L. P. Ayuningtyas. (2017). 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,
- M. Ali dan H. Nurrohmah. (2017). The ACO-ANFIS Hybrid Method used for LFC Optimization in Wind – Diesel Hybrid Power System. in *Seminar Nasional Teknik Elektro (FORTEI 2017)*, 225 - 229.
- Moller, H. J. (1993). *Semiconductors for Solar Cells*. Norwood: Artech House.
- Muna, I. (2005). *Perancangan Aplikasi Fuzzy Interference Systems untuk Penilaian Kinerja pegawai Perpustakaan dan Pustakawan*. Semarang: UNNES.
- Soufi, Y., Bechouat, M., & Kahla, S. (2016). Fuzzy- PSO Controller Design fo Maximum Power Point Tracking in Photovoltaic System. *International Journal Of Hydrogen Energy*, 1-9.
- T. Hajar dkk. (2015). Simultaneous Reconfiguration, Optimal Placement of DSTATCOM, and Photovoltaic Array. *IEEE TRANSACTIONS ON SUSTAINABLE ENERG*, 210 - 218.
- Tamizh Mani, G., ji, L., Tang, Y., & Peracci, L. (2003). Photovoltaic Module Thermal/Wind Performance: Long-

- term Monitoring and Model Development For Energy Rating. *NCPV and Solar Program Review*, 936-939.
- Titri, S., Larbes, C., Toumi, K. Y., & Benatchba, K. (2017). A new MPPT controller based on the Ant colony optimization algorithm for Photovoltaic systems under partial shading conditions. *Applied Soft Computing*, 58, 465-479.
- Villalva, M. G., Gazoli, J. R., & Filho, E. R. (2009). Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 1198-1208.

LAMPIRAN A

A. Program Hasil Menggunakan Fuzzy

```

% Memanggil workspace data yang akan
dimodelkan
load('data1.mat')
% Memanggil data fuzzy
% dengan jenis dan jumlah MF 3 iterasi s trim
sebanyak 100
fis1=readfis('acoMt32in2out.fis'); % untuk
pengukuran 2 input
fis2=readfis('acoMt33in2out.fis'); % untuk
pengukuran 3 input
fis3=readfis('acoMt34in2out.fis'); % untuk
pengukuran 4 input

% membuat matriks data input
input1=buka(:,2:3); % pengukuran 2 input
input2=buka(:,2:4); % pengukuran 3 input
input3=buka(:,2:5); % pengukuran 3 input

% hasil pemodelan
output1=evalfis(input1,fis1); % pengukuran 2
input
output2=evalfis(input2,fis2); % pengukuran 3
input
output3=evalfis(input3,fis3); % pengukuran 3
input

% dengan jenis dan jumlah MF 5 iterasi s trim
sebanyak 100
fis4=readfis('acoMt52in2out.fis'); % untuk
pengukuran 2 input
fis5=readfis('acoMt53in2out.fis'); % untuk
pengukuran 3 input
fis6=readfis('acoMt54in2out.fis'); % untuk
pengukuran 4 input

```

```

% membuat matriks data input
input4=buka(:,2:3); % pengukuran 2 input
input5=buka(:,2:4); % pengukuran 3 input
input6=buka(:,2:5); % pengukuran 3 input

% hasil pemodelan
output4=evalfis(input4,fis4); % pengukuran 2
input
output5=evalfis(input5,fis5); % pengukuran 3
input
output6=evalfis(input6,fis6); % pengukuran 3
input

```

B. Program Optimasi Menggunakan ACO

```

% optimasi dengan ACO
MaxIt=100; % max numberof
iteration
m1=1;
n1=1;
nAnt=40; % Number of
Ant
alpha=0.72; % tetapan
pengendali intensitas jejak semut
beta=0.66; % tetapan
pengendali visibilitas
rho=0.075; % koefisien
penguapan / evaporasi
n=1;
% =====
% Batas-batas untuk 1
i=1;
a(:,i)=-4.61 ;
b(:,i)=157.9 ;
c(:,i)=356.9;
% Batas-batas untuk 2
d(:,i)=182.9 ;

```

```

e(:,i)=356.9 ;
f(:,i)=557.8;
% Batas-batas untuk 3
g(:,i)=495.3 ;
h(:,i)=694.7 ;
j(:,i)=907.5;
% Batas-batas untuk 4
k(:,i)=814 ;
l(:,i)=1033 ;
m(:,i)=1177;
% Batas-batas untuk 5
o(:,i)=1033 ;
p(:,i)=1245;
q(:,i)=1433;
% =====

% Inisialisasi posisi awal
x1(:,i)=(c(:,i)-(rand(n,1)*(c(:,i)-
b(:,i)))); %constraint: b<=x1<=c
x2(:,i)=(d(:,i)-(rand(n,1)*(d(:,i)-
a(:,i)))); %constraint: a<=x2<=d
x3(:,i)=(f(:,i)-(rand(n,1)*(f(:,i)-
e(:,i)))); %constraint: e<=x3<=f
x4(:,i)=(h(:,i)-(rand(n,1)*(h(:,i)-
g(:,i)))); %constraint: g<=x4<=h
x5(:,i)=(j(:,i)-(rand(n,1)*(j(:,i)-
h(:,i)))); %constraint: h<=x5<=j
x6(:,i)=(l(:,i)-(rand(n,1)*(l(:,i)-
k(:,i)))); %constraint: k<=x6<=l
x7(:,i)=(q(:,i)-(rand(n,1)*(q(:,i)-
m(:,i)))); %constraint: m<=x7<=q
x8(:,i)=(p(:,i)-(rand(n,1)*(p(:,i)-
o(:,i)))); %constraint: o<=x8<=p
% =====

% Selanjutnya menghitung MSE [mean square
error] yang dihasilkan oleh setiap partikel
% "myu" [derajat keanggotaan] tiap dimensi

```

```

myu1(:,i)=1; %
myu1=derajat keanggotaan 1 batas kiri (a)
(tetap)
myu2(:,i)=1; %
myu2=derajat keanggotaan 1 batas tengah (b)
(tetap)
myu3(:,i)=(c(:,i)-x1(:,i))/(c(:,i)-b(:,i));
% myu3=derajat keanggotaan 1 batas kanan (c)
y1=1; %
y1=derajat keanggotaan ideal 1 batas kiri (a)
adalah 1 (tetap)
y2=1; %
y2=derajat keanggotaan ideal 1 batas tengah
(b) adalah 1 (tetap)
y3=0; %
y3=derajat keanggotaan ideal 1 batas kanan
(c) adalah 0

myu4(:,i)=(x2(:,i)-d(:,i))/(e(:,i)-d(:,i));
% myu4=derajat keanggotaan 2 batas kiri (d)
myu5(:,i)=1; %
myu5=derajat keanggotaan 2 batas tengah (e)
(tetap)
myu6(:,i)=(f(:,i)-x3(:,i))/(f(:,i)-e(:,i));
% myu6=derajat keanggotaan 2 batas kanan (f)
y4=0; %
y4=derajat keanggotaan ideal 2 batas kiri (d)
adalah 0
y5=1; %
y5=derajat keanggotaan ideal 2 batas tengah
(e) adalah 1 (tetap)
y6=0; %
y6=derajat keanggotaan ideal 2 batas kanan
(f) adalah 0

myu7(:,i)=(x4(:,i)-g(:,i))/(h(:,i)-g(:,i));
% myu7=derajat keanggotaan 3 batas kiri (g)

```



```

myu8(:,i)=1; %
myu8=derajat keanggotaan 3 batas tengah (h)
(tetap)
myu9(:,i)=(j(:,i)-x5(:,i))/(j(:,i)-h(:,i));
% myu9=derajat keanggotaan 3 batas kanan (j)
y7=0; %
y7=derajat keanggotaan ideal 3 batas kiri (g)
adalah 0
y8=1; %
y8=derajat keanggotaan ideal 3 batas tengah
(h) adalah 1 (tetap)
y9=0; %
y9=derajat keanggotaan ideal 3 batas kanan
(j) adalah 0

myu10(:,i)=(x6(:,i)-k(:,i))/(l(:,i)-k(:,i));
% myu10=derajat keanggotaan 4 batas kiri (k)
myu11(:,i)=1; %
myu11=derajat keanggotaan 4 batas tengah (l)
(tetap)
myu12(:,i)=(m(:,i)-x7(:,i))/(m(:,i)-l(:,i));
% myu12=derajat keanggotaan 4 batas kanan (m)
y10=0; %
y10=derajat keanggotaan ideal 4 batas kiri
(k) adalah 0
y11=1; %
y11=derajat keanggotaan ideal 4 batas tengah
(l) adalah 1 (tetap)
y12=0; %
y12=derajat keanggotaan ideal P4 batas kanan
(m) adalah 0

myu13(:,i)=(x8(:,i)-o(:,i))/(p(:,i)-o(:,i));
% myu13=derajat keanggotaan 5 batas kiri (o)
myu14(:,i)=1; %
myu14=derajat keanggotaan 5 batas tengah (p)
(tetap)

```

```

myu15(:,i)=1; %
myu15=derajat keanggotaan 5 batas kanan (q)
(tetap)
y13=0; %
y13=derajat keanggotaan ideal 5 batas kiri
(o) adalah 0
y14=1; %
y14=derajat keanggotaan ideal 5 batas tengah
(p) adalah 1 (tetap)
y15=1; %
y15=derajat keanggotaan ideal 5 batas kanan
(q) adalah 1 (tetap)

mse(:,i)=((y1-myul(:,i)).^2)+((y2-
myu2(:,i)).^2)+((y3-myul3(:,i)).^2)+((y4-
myu4(:,i)).^2)+((y5-myul5(:,i)).^2)+...
((y6-myul6(:,i)).^2)+((y7-
myu7(:,i)).^2)+((y8-myul8(:,i)).^2)+((y9-
myu9(:,i)).^2)+((y10-myul10(:,i)).^2)+((y11-
myul11(:,i)).^2)+...
((y12-myul12(:,i)).^2)+((y13-
myul13(:,i)).^2)+((y14-myul14(:,i)).^2)+((y15-
myul15(:,i)).^2))/15;

%=====
%antPosition(AP)
AP1=x1;
AP2=x2;
AP3=x3;
AP4=x4;
AP5=x5;
AP6=x6;
AP7=x7;
AP8=x8;
%=====
%jarak terdekat xi, jarak terjauh xj
% x1

```

```

xi1(:,i)=AP1(:,i)+(mse(:,i)*rho(:,i));
xj1(:,i)=AP1(:,i)-(mse(:,i)*rho(:,i));
%x2
xi2(:,i)=AP2(:,i)+(mse(:,i)*rho(:,i));
xj2(:,i)=AP2(:,i)-(mse(:,i)*rho(:,i));
%x3
xi3(:,i)=AP3(:,i)+(mse(:,i)*rho(:,i));
xj3(:,i)=AP3(:,i)-(mse(:,i)*rho(:,i));
%x4
xi4(:,i)=AP4(:,i)+(mse(:,i)*rho(:,i));
xj4(:,i)=AP4(:,i)-(mse(:,i)*rho(:,i));
%x5
xi5(:,i)=AP5(:,i)+(mse(:,i)*rho(:,i));
xj5(:,i)=AP5(:,i)-(mse(:,i)*rho(:,i));
%x6
xi6(:,i)=AP6(:,i)+(mse(:,i)*rho(:,i));
xj6(:,i)=AP6(:,i)-(mse(:,i)*rho(:,i));
%x7
xi7(:,i)=AP7(:,i)+(mse(:,i)*rho(:,i));
xj7(:,i)=AP7(:,i)-(mse(:,i)*rho(:,i));
%x8
xi8(:,i)=AP8(:,i)+(mse(:,i)*rho(:,i));
xj8(:,i)=AP8(:,i)-(mse(:,i)*rho(:,i));

% city position(CP)
CP1(:,i)=[xi1(:,i),xj1(:,i)]
CP2(:,i)=[xi2(:,i),xj2(:,i)]
CP3(:,i)=[xi3(:,i),xj3(:,i)]
CP4(:,i)=[xi4(:,i),xj4(:,i)]
CP5(:,i)=[xi5(:,i),xj5(:,i)]
CP6(:,i)=[xi6(:,i),xj6(:,i)]
CP7(:,i)=[xi7(:,i),xj7(:,i)]
CP8(:,i)=[xi8(:,i),xj8(:,i)]

% nilai tau atau pheromone
tau1=ones*[xi1(:,i),xj1(:,i)]
tau2=ones*[xi2(:,i),xj2(:,i)]

```

```

tau3=ones*[xi3(:,i),xj3(:,i)]
tau4=ones*[xi4(:,i),xj4(:,i)]
tau5=ones*[xi5(:,i),xj5(:,i)]
tau6=ones*[xi6(:,i),xj6(:,i)]
tau7=ones*[xi7(:,i),xj7(:,i)]
tau8=ones*[xi8(:,i),xj8(:,i)]

%=====
%% jalur semut
for i=1:n1
    for z=1:n1
        if CP1(i,z)==0
            h1(i,z)=0;
        else
            h1(i,z)=1/CP1(i,z);
        end
        if CP2(i,z)==0
            h2(i,z)=0;
        else
            h2(i,z)=1/CP2(i,z);
        end
        if CP3(i,z)==0
            h3(i,z)=0;
        else
            h3(i,z)=1/CP3(i,z);
        end
        if CP4(i,z)==0
            h4(i,z)=0;
        else
            h4(i,z)=1/CP4(i,z);
        end
        if CP5(i,z)==0
            h5(i,z)=0;
        else
            h5(i,z)=1/CP5(i,z);
        end
    end
end

```

```

    if CP6(i, z)==0
        h6(i, z)=0;
    else
        h6(i, z)=1/CP6(i, z);
    end
    if CP7(i, z)==0
        h7(i, z)=0;
    else
        h7(i, z)=1/CP7(i, z);
    end
    if CP8(i, z)==0
        h8(i, z)=0;
    else
        h8(i, z)=1/CP8(i, z);
    end
end
end

for i=1:MaxIt
    % Posisi awal tiap semut
    for i=1:m1
        mh1=h1;
        %1
        for z=1:n1-1
            startplaces1(z, 1)=fix(1+rand*(n1-
1));
            c1=startplaces1(i, z);
            mh1(:, c1)=0;

temp=(tau1(c1, :).^beta) .* (mh1(c1, :).^alpha);
s1=(sum(temp));
P1=(1/s1) .*temp;
r=rand;
s1=0;
        for u=1:n1
            s1=s1+P1(u);
            if r<=s1

```



```

        c3=startplaces3(i,z);
        mh3(:,c3)=0;

temp3=(tau3(c3,:).^beta).*(mh3(c3,:).^alpha)
;
        s3=(sum(temp3));
        P3=(1/s3).*temp3;
        r=rand;
        s=0;
        for u=1:n1
            s3=s3+P3(u);
            if r<=s
                startplaces4(i,z+1)=u;
                break
            end
        end
        end
        end
    end
    %4
    for i=1:m1
        mh4=h4;
        for z=1:n1-1
            startplaces4(z,1)=fix(1+rand*(n1-
1));
            c4=startplaces4(i,z);
            mh4(:,c1)=0;

temp4=(tau4(c4,:).^beta).*(mh4(c4,:).^alpha)
;
            s4=(sum4(temp));
            P4=(1/s4).*temp;
            r=rand;
            s4=0;
            for u=1:n1
                s4=s4+P4(u);
                if r<=s4
                    startplaces4(i,z+1)=u;

```



```

temp6=(tau6(c6,:).^beta).* (mh6(c6,:).^alpha)
;
    s6=(sum(temp));
    P6=(1/s6).*temp;
    r=rand;
    s6=0;
        for u=1:n1
            s6=s6+P1(u);
            if r<=s6
                startplaces6(i,z+1)=u;
                break
            end
        end
end
end
%7
for i=1:m1
    mh7=h7;
    for z=1:n1-1
        startplaces7(z,1)=fix(1+rand*(n1-
1));
        c7=startplaces7(i,z);
        mh7(:,c7)=0;

temp7=(tau7(c7,:).^beta).* (mh7(c7,:).^alpha)
;
    s7=(sum(temp7));
    P7=(1/s7).*temp7;
    r=rand;
    s7=0;
        for u=1:n1
            s7=s7+P7(u);
            if r<=s7
                startplaces7(i,z+1)=u;
                break
            end
        end

```

```

                                end
        end
        end
        %8
        for i=1:m1
            mh8=h8;
            for z=1:n1-1
                startplaces8(z,1)=fix(1+rand*(n1-
1));
                c8=startplaces8(i,z);
                mh8(:,c8)=0;

temp8=(tau8(c8,:).^beta).* (mh8(c8,:).^alpha)
;
                s8=(sum(temp8));
                P8=(1/s8).*temp8;
                r=rand;
                s=0;
                for u=1:n1
                    s8=s8+P8(u);
                    if r<=s8
                        startplaces8(i,z+1)=u;
                        break
                    end
                end
            end
        end
    end
end
% Menghitung total jarak
for i=1:m1
    s1=0;
    %1
    for z=1:n1
        s1=s1+CP1(i);
        f1(i)=s1;
        cost1=f1;
        f1=f1-rho*min(f1);
    end
end

```

```
end
end
%2
for i=1:m1
s2=0;
for z=1:n1
    s2=s2+CP2(i);
    f2(i)=s2;
    cost2=f2;
    f2=f2-rho*min(f2);
end
end
%3
for i=1:m1
s3=0;
for z=1:n1
    s3=s3+CP3(i);
    f3(i)=s3;
    cost3=f3;
    f3=f3-rho*min(f3);
end
end
%4
for i=1:m1
s4=0;
for z=1:n1
    s4=s4+CP4(i);
    f4(i)=s4;
    cost4=f4;
    f4=f4-rho*min(f4);
end
end
%5
for i=1:m1
s5=0;
for z=1:n1
    s5=s5+CP5(i);
```

```
        f5(i)=s5;
        cost5=f5;
        f5=f5-rho*min(f5);
end
end
%6
for i=1:m1
s6=0;
for z=1:n1
    s6=s6+CP6(i);
    f6(i)=s6;
    cost6=f6;
    f6=f6-rho*min(f6);
end
end
%7
for i=1:m1
s7=0;
for z=1:n1
    s7=s7+CP7(i);
    f7(i)=s7;
    cost7=f7;
    f7=f7-rho*min(f7);
end
end
%8
for i=1:m1
s8=0;
for z=1:n1
    s8=s8+CP8(i);
    f8(i)=s8;
    cost8=f8;
    f8=f8-rho*min(f8);
end
end
```

```
%% Update Jalur semut dan pheromone
for i=1:m1
    %1
    for z=1:n1
        dt1=1/f1(i);
        tau1=(1-rho)*tau1+dt1;
    end
    %2
    for z=1:n1
        dt2=1/f2(i);
        tau2=(1-rho)*tau2+dt2;
    end
    %3
    for z=1:n1
        dt3=1/f3(i);
        tau3=(1-rho)*tau3+dt3;
    end
    %4
    for z=1:n1
        dt4=1/f4(i);
        tau4=(1-rho)*tau4+dt4;
    end
    %5
    for z=1:n1
        dt5=1/f5(i);
        tau5=(1-rho)*tau5+dt5;
    end
    %6
    for z=1:n1
        dt6=1/f6(i);
        tau6=(1-rho)*tau6+dt6;
    end
    %7
    for z=1:n1
        dt7=1/f7(i);
        tau7=(1-rho)*tau7+dt7;
    end
end
```

```
%8
for z=1:n1
dt8=1/f8(i);
tau8=(1-rho)*tau8+dt8;
end
end
```

LAMPIRAN B

A. Data Primer

1. Data PV Cerah Penuh

Tabel 1 Data PV *Fixed* Cuaca Cerah Penuh

Waktu	Input				Output	
	T ($^{\circ}\text{C}$)	IR (W/m^2)	v (m/s)	RH (%)	V (V)	I (A)
7.00	34.9	239.4	0.666	58.44	30.00	2.38
8.00	45.8	638.4	0.66	51.66	30.20	5.94
9.00	53.8	818.44	0.44	44.24	30.64	7.79
10.00	53.7	1004.4	2.4	33	30.90	8.10
11.00	58.9	1079.8	1.28	32.3	30.40	8.32
12.00	49.1	1040.2	3	33.84	30.44	8.18
13.00	50.8	889.42	2.9	30.64	30.80	8.03
14.00	49.9	812.8	2.38	30.98	30.70	7.67
15.00	52.2	446.4	0.98	34.58	30.00	4.47
16.00	32.7	187.3	1.26	55.5	29.76	2.16
17.00	33.5	87.18	0.8	58.4	29.10	1.26

Tabel 2 Data PV *Tracker* Cuaca Cerah Penuh

Waktu	Input				Output	
	T ($^{\circ}\text{C}$)	IR (W/m^2)	v (m/s)	RH (%)	V (V)	I (A)
7.00	44	143.1	0.666	58.44	29.7	2.38
8.00	47.3	804.52	0.66	51.66	30	6.12
9.00	53.1	1011.2	0.44	44.24	30.12	7.9
10.00	55	1064	2.4	33	30.5	8.102
11.00	62.5	1344.4	1.8	32.3	30.73	8.3
12.00	55.4	1370.2	3	33.84	30.4	8.23
13.00	54.6	852.6	2.9	30.64	30.3	8.1
14.00	53.7	966.18	2.38	30.98	30	7.79

Waktu	Input				Output	
	T ($^{\circ}\text{C}$)	IR (W/m^2)	v (m/s)	RH (%)	V (V)	I (A)
15.00	48.5	596.14	0.98	34.58	29.5	4.16
16.00	35.48	243.62	1.26	55.5	29.21	1.81
17.00	35.06	104.78	0.8	58.4	28.97	0.87

2. Data PV Mendung Penuh

Tabel 3 Data PV *Fixed* Cuaca Mendung Penuh

Waktu	Input				Output	
	T ($^{\circ}\text{C}$)	IR (W/m^2)	v (m/s)	RH (%)	V (V)	I (A)
7.00	31.5	65	0.8	68.3	28.4	1.19
8.00	33.9	151.7	0.86	58.28	28.9	1.79
9.00	38.6	272.58	1.2	48.16	29	2.8
10.00	44.9	459.06	2.2	41.34	29.3	4.38
11.00	50.8	464.66	1.86	34.22	29.8	4.71
12.00	50.3	973.98	1.26	28.34	30.36	7.9
13.00	33.8	332.48	1.86	53.8	30.05	3.41
14.00	32.9	273.64	2.2	55.08	29.8	2.78
15.00	31.34	133.44	1.8	35.58	29.18	1.76
16.00	33.4	90.48	2.48	46.26	29.4	1.06
17.00	28	19.12	2.3	59.44	27.12	0.5

Tabel 4 Data PV *Tracker* Cuaca Mendung Penuh

Waktu	Input				Output	
	T ($^{\circ}\text{C}$)	IR (W/m^2)	v (m/s)	RH (%)	V (V)	I (A)
7.00	31.5	65	0.8	68.3	28.4	1.19
8.00	33.9	151.7	0.86	58.28	28.9	1.79
9.00	38.6	272.58	1.2	48.16	29	2.8

Waktu	Input				Output	
	T ($^{\circ}\text{C}$)	IR (W/m^2)	v (m/s)	RH (%)	V (V)	I (A)
10.00	44.9	459.06	2.2	41.34	29.3	4.38
11.00	50.8	464.66	1.86	34.22	29.8	4.71
12.00	50.3	973.98	1.26	28.34	30.36	7.9
13.00	33.8	332.48	1.86	53.8	30.05	3.41
14.00	32.9	273.64	2.2	55.08	29.8	2.78
15.00	31.34	133.44	1.8	35.58	29.18	1.76
16.00	33.4	90.48	3.48	46.26	29.4	1.06
17.00	28	19.12	4.3	59.44	27.12	0.5

3. Data PV Balance

Tabel 5 Data PV *Fixed* Cuaca Balance

Waktu	Input				Output	
	T ($^{\circ}\text{C}$)	IR (W/m^2)	v (m/s)	RH (%)	V (V)	I (A)
7.00	39.3	136.26	59.14	0.6	28.86	1.38
8.00	35.5	184.44	40.8	0.6	28.94	1.81
9.00	47.7	545.1	34.46	0.74	29.40	5.05
10.00	47.3	676.24	41.34	2.4	29.59	6.23
11.00	50.22	928.48	34.22	1.28	29.93	8.49
12.00	53.7	900.4	28.34	1.9	29.88	8.24
13.00	55.6	813.76	27.36	0.82	29.75	7.46
14.00	49.9	812.8	30.98	2.38	29.77	7.45
15.00	52.2	446.4	34.58	1.88	29.25	4.16
16.00	36.1	161.28	46.076	1.26	28.91	1.60
17.00	31.4	55	56.188	1	28.78	0.64

Tabel 6 Data PV *Tracker* Cuaca *Balance*

Waktu	Input				Output	
	T (°C)	IR (W/m ²)	v (m/s)	RH (%)	V (V)	I (A)
7.00	44	143.1	0.6	59.14	28.85	1.44
8.00	35.5	229.58	0.6	40.8	29.01	2.21
9.00	49	646.6	0.74	34.46	29.54	5.96
10.00	49.9	659.06	2.4	41.34	29.56	6.07
11.00	50.8	964.66	1.28	34.22	29.98	8.82
12.00	50.3	973.98	1.9	28.34	30.00	8.90
13.00	54.6	852.6	0.82	27.36	29.81	7.81
14.00	53.7	966.18	2.38	30.98	29.97	8.83
15.00	48.5	595.18	1.88	34.58	29.47	5.51
16.00	35.48	243.62	1.26	46.076	29.03	2.34
17.00	32.2	26.54	1	56.188	28.73	0.39

4. Data PV Dominan Cerah

Tabel 7 Data PV *Fixed* Cuaca Dominan Cerah

Waktu	Input				Output	
	T (°C)	IR (W/m ²)	v (m/s)	RH (%)	V (V)	I (A)
7.00	34.9	239.4	58.44	0.1	29.60	2.48
8.00	45.8	638.4	51.66	1.8	30.00	5.94
9.00	53.8	818.44	44.24	2	30.26	7.63
10.00	53.7	1004.4	33	0.7	30.76	8.10
11.00	62.5	1040.2	32.3	1.5	30.86	8.32
12.00	48.3	1000.2	33.84	2.5	30.96	7.82
13.00	33.3	298.82	53.8	0.4	30.00	2.91
14.00	32.5	277.46	55.08	1.1	29.86	2.77
15.00	33.3	220.8	57.22	0.8	29.78	2.22
16.00	32.7	187.3	55.5	0.6	29.14	2.01
17.00	33.5	87.18	58.4	2.1	29.10	1.21

Tabel 8 *Tracker* Cuaca Dominan Cerah

Waktu	Input				Output	
	T ($^{\circ}\text{C}$)	IR (W/m^2)	v (m/s)	RH (%)	V (V)	I (A)
7.00	36.7	56.8	0.1	58.44	29.41	1.5
8.00	47.3	804.52	1.8	51.66	30.03	5.542
9.00	53.1	1011.2	2	44.24	30.12	7.924
10.00	55	1064	0.7	33	30.8	7.92
11.00	58.9	1079.8	1.5	32.3	30.4	8.26
12.00	55.15	1241.29	2.5	33.84	31.06	8.4
13.00	33.8	332.48	0.4	53.8	29.54	3.14
14.00	32.9	273.64	1.1	55.08	29.38	2.874
15.00	33.5	232.58	0.8	57.22	29.4	2.64
16.00	33	209.6	0.6	55.5	29	2.17
17.00	35.06	104.78	2.1	58.4	28.9	1.17

5. Data PV Dominan Mendung

Tabel 9 Data PV *Fixed* Cuaca Dominan Mendung

Waktu	Input				Output	
	T ($^{\circ}\text{C}$)	IR (W/m^2)	v (m/s)	RH (%)	V (V)	I (A)
7.00	30.7	154.76	68.3	0.9	29.44	1.56
8.00	31	160.6	58.28	0.86	29.50	1.63
9.00	36	263.75	48.16	1.2	30.00	2.63
10.00	44.7	540.91	41	2.2	30.20	5.19
11.00	46.3	878.64	35.5	1.86	30.66	8.21
12.00	48.2	1014.8	33.84	1.26	31.00	8.34
13.00	49.9	859.1	30.64	1.86	30.70	7.87
14.00	47	727.17	35.58	2.2	30.24	6.69
15.00	30.9	320.1	35.58	1.8	29.64	3.19
16.00	30.8	61.04	46.26	3.48	29.16	0.64
17.00	25.4	19.29	59.44	4.3	28.80	0.43

Tabel 10 Tracker Cuaca Dominan Mendung

Waktu	Input				Output	
	T ($^{\circ}\text{C}$)	IR (W/m^2)	v (m/s)	RH (%)	V (V)	I (A)
7.00	30.8	64.72	0.9	68.3	29.04	0.93
8.00	32.4	150.8	0.86	58.28	29.2	1.79
9.00	37.5	74.7	1.2	48.16	29.1	1.8
10.00	47.9	531.39	2.2	41	30	4.254
11.00	53.7	1171.8	1.86	35.5	30.56	6.786
12.00	55.61	1259.9	1.26	33.84	30.96	7.412
13.00	48.5	1011.8	1.86	30.64	30.7	6.67
14.00	48.04	915.17	2.2	35.58	30.06	7.6
15.00	33.14	125.12	1.8	35.58	29.18	1.77
16.00	32.4	92.46	3.48	46.26	29.14	1.03
17.00	28	29.34	4.3	59.44	27.12	0.51

B. Uji coba model PV Fuzzy dan Fuzzy-ACO**Tabel 11** Uji Coba Model PV *fixed* 2in2out 3MF

Pukul	Fuzzy		Validasi		Fuzzy-ACO	
	V1 (Volt)	I1 (A)	V2 (Volt)	I2 (A)	V3 (Volt)	I3 (A)
7.00	28.81	1.24	28.86	1.38	28.68	2.02
8.00	28.43	1.19	28.94	1.81	28.75	2.99
9.00	29.34	3.50	29.40	5.05	29.35	4.68
10.00	29.58	4.14	29.59	6.23	29.46	5.73
11.00	30.52	7.71	29.93	8.49	30.06	7.17
12.00	30.31	7.87	29.88	8.24	30.40	7.39
13.00	30.27	7.65	29.75	7.46	30.38	7.33
14.00	30.35	7.67	29.77	7.45	30.27	6.63
15.00	29.56	4.51	29.25	4.16	29.34	4.67
16.00	28.47	1.21	28.91	1.60	28.64	2.64
17.00	28.49	1.48	28.78	0.64	28.49	1.46

Tabel 12 Uji Coba Model PV *fixed* 3in2out 3MF

Pukul	Fuzzy		Validasi		Fuzzy-ACO	
	V1 (Volt)	I1 (A)	V2 (Volt)	I2 (A)	V3 (Volt)	I3 (A)
7.00	28.78	2.44	28.86	1.38	28.80	2.46
8.00	28.70	2.00	28.94	1.81	29.13	3.40
9.00	29.60	4.62	29.40	5.05	29.52	4.29
10.00	29.52	4.73	29.59	6.23	29.41	5.45
11.00	29.78	6.54	29.93	8.49	29.69	6.72
12.00	29.99	7.57	29.88	8.24	29.75	6.55
13.00	30.03	7.05	29.75	7.46	29.78	6.88
14.00	29.71	5.85	29.77	7.45	29.61	5.57
15.00	29.65	5.74	29.25	4.16	29.52	4.94
16.00	28.75	2.30	28.91	1.60	29.18	2.10
17.00	28.79	3.16	28.78	0.64	28.52	1.82

Tabel 13 Uji Coba Model PV *fixed* 4in2out 3MF

Pukul	Fuzzy		Validasi		Fuzzy-ACO	
	V1 (Volt)	I1 (A)	V2 (Volt)	I2 (A)	V3 (Volt)	I3 (A)
7.00	29.14	2.95	28.86	1.38	28.91	2.92
8.00	29.24	3.06	28.94	1.81	29.11	2.22
9.00	29.48	4.23	29.40	5.05	29.22	5.04
10.00	29.48	4.14	29.59	6.23	29.23	4.93
11.00	29.66	5.17	29.93	8.49	29.46	5.99
12.00	30.00	6.27	29.88	8.24	29.54	6.18
13.00	29.98	6.21	29.75	7.46	29.57	6.38
14.00	29.69	5.12	29.77	7.45	29.40	5.82
15.00	29.61	4.72	29.25	4.16	29.27	5.06
16.00	29.42	3.60	28.91	1.60	29.20	4.54
17.00	29.17	2.60	28.78	0.64	28.89	2.96

Tabel 14 Uji Coba Model PV *fixed* 2in2out 5MF

Pukul	Fuzzy		Validasi		Fuzzy-ACO	
	V1 (Volt)	I1 (A)	V2 (Volt)	I2 (A)	V3 (Volt)	I3 (A)
7.00	28.84	4.63	28.86	1.38	28.88	4.55
8.00	28.48	2.28	28.94	1.81	28.44	2.37
9.00	28.98	5.57	29.40	5.05	29.09	5.78
10.00	29.05	7.09	29.59	6.23	29.09	6.78
11.00	29.38	7.43	29.93	8.49	29.93	7.52
12.00	29.50	8.33	29.88	8.24	29.90	7.99
13.00	29.36	8.32	29.75	7.46	29.80	7.94
14.00	29.24	7.37	29.77	7.45	29.34	6.91
15.00	29.26	7.24	29.25	4.16	29.67	4.34
16.00	28.56	2.95	28.91	1.60	28.44	2.41
17.00	28.22	1.19	28.78	0.64	28.28	2.08

Tabel 15 Uji Coba Model PV *fixed* 3in2out 5MF

Pukul	Fuzzy		Validasi		Fuzzy-ACO	
	V1 (Volt)	I1 (A)	V2 (Volt)	I2 (A)	V3 (Volt)	I3 (A)
7.00	28.73	5.09	28.86	1.38	28.96	2.36
8.00	28.49	3.26	28.94	1.81	28.56	3.09
9.00	28.97	6.46	29.40	5.05	29.02	6.49
10.00	28.98	6.75	29.59	6.23	29.07	6.82
11.00	29.05	7.25	29.93	8.49	29.23	7.80
12.00	29.04	7.10	29.88	8.24	29.12	7.11
13.00	29.09	7.12	29.75	7.46	29.11	6.97
14.00	29.09	7.13	29.77	7.45	29.19	7.31
15.00	28.97	6.30	29.25	4.16	28.98	6.27
16.00	28.63	4.19	28.91	1.60	28.79	5.31
17.00	28.38	2.59	28.78	0.64	28.50	3.48

Tabel 16 Uji Coba Model PV *fixed* 4in2out 5MF

Pukul	Fuzzy		Validasi		Fuzzy-ACO	
	V1 (Volt)	I1 (A)	V2 (Volt)	I2 (A)	V3 (Volt)	I3 (A)
7.00	28.67	3.49	28.86	1.38	28.72	3.51
8.00	28.68	3.30	28.94	1.81	28.83	3.79
9.00	29.00	6.30	29.40	5.05	29.09	5.54
10.00	28.88	5.12	29.59	6.23	28.97	5.18
11.00	29.04	6.38	29.93	8.49	29.25	5.99
12.00	29.18	7.24	29.88	8.24	29.46	6.62
13.00	29.17	7.16	29.75	7.46	29.47	6.65
14.00	29.11	6.78	29.77	7.45	29.25	6.03
15.00	29.05	6.66	29.25	4.16	29.19	5.03
16.00	28.73	3.88	28.91	1.60	28.85	2.25
17.00	28.58	2.49	28.78	0.64	28.71	3.10

Tabel 17 Uji Coba Model PV *fixed* 2in2out 7MF

Pukul	Fuzzy		Validasi		Fuzzy-ACO	
	V1 (Volt)	I1 (A)	V2 (Volt)	I2 (A)	V3 (Volt)	I3 (A)
7.00	28.50	1.09	28.86	1.38	28.50	1.00
8.00	28.45	1.09	28.94	1.81	28.50	1.12
9.00	29.49	3.35	29.40	5.05	29.25	3.67
10.00	29.78	5.19	29.59	6.23	29.65	5.74
11.00	30.08	7.03	29.93	8.49	30.07	7.64
12.00	30.19	6.47	29.88	8.24	30.08	6.55
13.00	30.25	6.91	29.75	7.46	30.27	6.82
14.00	30.00	5.78	29.77	7.45	30.07	5.83
15.00	30.22	7.44	29.25	4.16	30.00	7.00
16.00	28.46	1.08	28.91	1.60	28.50	1.11
17.00	28.20	0.74	28.78	0.64	28.31	0.88

Tabel 18 Uji Coba Model PV *fixed* 3in2out 7MF

Pukul	Fuzzy		Validasi		Fuzzy-ACO	
	V1 (Volt)	I1 (A)	V2 (Volt)	I2 (A)	V3 (Volt)	I3 (A)
7.00	28.72	1.51	28.86	1.38	28.85	1.51
8.00	28.61	1.58	28.94	1.81	28.69	1.45
9.00	29.55	3.17	29.40	5.05	29.31	3.40
10.00	29.59	4.30	29.59	6.23	29.51	6.12
11.00	29.76	7.08	29.93	8.49	29.93	7.85
12.00	29.76	7.45	29.88	8.24	29.82	7.30
13.00	29.91	4.82	29.75	7.46	29.84	5.52
14.00	29.88	4.42	29.77	7.45	29.90	4.34
15.00	29.35	3.35	29.25	4.16	29.34	3.19
16.00	28.79	1.97	28.91	1.60	28.94	1.58
17.00	28.45	1.88	28.78	0.64	28.39	1.80

Tabel 19 Uji Coba Model PV *fixed* 4in2out 7MF

Pukul	Fuzzy		Validasi		Fuzzy-ACO	
	V1 (Volt)	I1 (A)	V2 (Volt)	I2 (A)	V3 (Volt)	I3 (A)
7.00	28.89	2.20	28.86	1.38	28.90	2.20
8.00	29.35	3.51	28.94	1.81	28.83	2.47
9.00	29.63	5.27	29.40	5.05	29.54	5.32
10.00	29.82	5.10	29.59	6.23	29.81	4.72
11.00	29.79	6.12	29.93	8.49	29.82	6.57
12.00	29.87	6.53	29.88	8.24	29.87	6.64
13.00	29.92	6.49	29.75	7.46	29.89	6.50
14.00	29.91	6.25	29.77	7.45	29.90	6.41
15.00	29.65	5.51	29.25	4.16	29.55	5.46
16.00	29.04	3.46	28.91	1.60	29.02	3.36
17.00	28.73	2.67	28.78	0.64	28.69	2.46

Tabel 20 Uji Coba Model PV *tracker* 2in2out 3MF

Pukul	Fuzzy		Validasi		Fuzzy-ACO	
	V1 (Volt)	I1 (A)	V2 (Volt)	I2 (A)	V3 (Volt)	I3 (A)
7.00	28.60	2.98	28.85	1.44	29.00	2.49
8.00	28.22	2.19	29.01	2.21	28.87	3.21
9.00	28.67	5.00	29.54	5.96	29.34	5.00
10.00	28.69	5.12	29.56	6.07	29.34	6.00
11.00	29.14	7.65	29.98	8.22	30.18	7.97
12.00	29.18	7.80	30.00	8.90	30.30	8.28
13.00	28.94	6.68	29.81	7.81	29.79	6.88
14.00	29.18	8.23	29.97	8.83	30.23	8.71
15.00	28.68	5.00	29.47	5.51	29.34	5.00
16.00	28.22	2.18	29.03	2.34	29.12	3.15
17.00	28.25	2.50	28.73	0.39	28.50	2.50

Tabel 21 Uji Coba Model PV *tracker* 3in2out 3MF

Pukul	Fuzzy		Validasi		Fuzzy-ACO	
	V1 (Volt)	I1 (A)	V2 (Volt)	I2 (A)	V3 (Volt)	I3 (A)
7.00	28.88	3.91	28.85	1.44	28.81	2.67
8.00	28.64	2.60	29.01	2.21	29.24	2.76
9.00	29.47	5.70	29.54	5.96	29.59	5.58
10.00	29.51	5.84	29.56	6.07	29.57	5.79
11.00	29.57	6.89	29.98	8.82	29.63	6.99
12.00	29.51	6.73	30.00	8.90	29.57	6.83
13.00	29.67	6.87	29.81	7.81	29.92	7.66
14.00	29.68	6.78	29.97	8.83	29.97	7.96
15.00	29.39	5.95	29.47	5.51	29.51	6.03
16.00	28.81	3.53	29.03	2.34	29.37	4.39
17.00	28.65	4.06	28.73	0.39	28.40	2.71

Tabel 22 Uji Coba Model PV *tracker* 4in2out 3MF

Pukul	Fuzzy		Validasi		Fuzzy-ACO	
	V1 (Volt)	I1 (A)	V2 (Volt)	I2 (A)	V3 (Volt)	I3 (A)
7.00	29.20	4.64	28.85	1.44	28.98	3.51
8.00	29.24	4.03	29.01	2.21	29.21	3.79
9.00	29.40	5.35	29.54	5.96	29.62	5.34
10.00	29.41	5.19	29.56	6.07	29.43	5.15
11.00	29.50	6.12	29.98	8.82	29.83	6.53
12.00	29.58	6.08	30.00	8.90	29.65	6.38
13.00	29.53	5.74	29.81	7.81	29.44	6.24
14.00	29.57	6.25	29.97	8.83	29.69	6.89
15.00	29.46	5.52	29.47	5.51	29.27	5.42
16.00	29.23	4.04	29.03	2.34	29.36	5.29
17.00	28.91	2.58	28.73	0.39	28.86	2.85

Tabel 23 Uji Coba Model PV *tracker* 2in2out 5MF

Pukul	Fuzzy		Validasi		Fuzzy-ACO	
	V1 (Volt)	I1 (A)	V2 (Volt)	I2 (A)	V3 (Volt)	I3 (A)
7.00	28.91	4.98	28.85	1.44	28.88	4.84
8.00	28.37	1.59	29.01	2.21	28.43	1.68
9.00	28.98	5.56	29.54	5.96	28.96	5.50
10.00	29.02	5.82	29.56	6.07	28.99	5.72
11.00	29.22	7.31	29.98	8.82	29.31	8.19
12.00	29.18	7.13	30.00	8.90	29.25	7.83
13.00	29.32	7.73	29.81	7.81	29.37	7.86
14.00	29.39	8.31	29.97	8.83	29.39	8.31
15.00	28.99	5.55	29.47	5.51	28.98	5.52
16.00	28.38	1.53	29.03	2.34	28.44	1.65
17.00	28.12	0.48	28.73	0.39	28.21	1.13

Tabel 24 Uji Coba Model PV *tracker* 3in2out 5MF

Pukul	Fuzzy		Validasi		Fuzzy-ACO	
	V1 (Volt)	I1 (A)	V2 (Volt)	I2 (A)	V3 (Volt)	I3 (A)
7.00	28.85	5.92	28.85	1.44	28.89	3.11
8.00	28.40	2.64	29.01	2.21	28.54	3.35
9.00	28.97	6.47	29.54	5.96	29.01	5.50
10.00	28.95	6.30	29.56	6.07	29.03	5.45
11.00	29.03	7.96	29.98	8.82	29.14	7.53
12.00	29.09	7.16	30.00	8.90	29.20	7.42
13.00	29.01	6.65	29.81	7.81	29.04	5.84
14.00	29.04	6.80	29.97	8.83	29.09	6.08
15.00	28.97	6.44	29.47	5.51	29.00	5.55
16.00	28.57	3.75	29.03	2.34	28.63	3.73
17.00	28.30	2.06	28.73	0.39	28.50	3.10

Tabel 25 Uji Coba Model PV *tracker* 4in2out 5MF

Pukul	Fuzzy		Validasi		Fuzzy-ACO	
	V1 (Volt)	I1 (A)	V2 (Volt)	I2 (A)	V3 (Volt)	I3 (A)
7.00	28.73	4.13	28.85	1.44	28.77	3.95
8.00	28.66	3.12	29.01	2.21	28.73	3.04
9.00	29.00	6.32	29.54	5.96	29.08	5.58
10.00	28.89	5.55	29.56	6.07	29.02	5.53
11.00	29.05	6.43	29.98	8.82	29.25	7.30
12.00	29.13	6.94	30.00	8.90	29.50	7.13
13.00	29.13	6.99	29.81	7.81	29.42	6.85
14.00	29.14	7.00	29.97	8.83	29.32	6.61
15.00	29.01	6.29	29.47	5.51	29.14	5.93
16.00	28.73	3.71	29.03	2.34	28.76	3.33
17.00	28.58	2.50	28.73	0.39	28.73	3.16

Tabel 26 Uji Coba Model PV *tracker* 2in2out 7MF

Pukul	Fuzzy		Validasi		Fuzzy-ACO	
	V1 (Volt)	I1 (A)	V2 (Volt)	I2 (A)	V3 (Volt)	I3 (A)
7.00	28.50	1.10	28.85	1.44	28.50	1.12
8.00	28.36	0.98	29.01	2.21	28.43	1.00
9.00	29.48	3.01	29.54	5.96	29.45	2.81
10.00	29.33	5.22	29.56	6.07	29.27	5.81
11.00	29.96	6.16	29.98	8.82	30.00	6.60
12.00	30.11	6.94	30.00	8.90	30.30	7.61
13.00	30.22	7.37	29.81	7.81	30.33	7.67
14.00	29.85	7.60	29.97	8.83	29.89	8.21
15.00	29.97	6.57	29.47	5.51	30.06	7.13
16.00	28.37	0.97	29.03	2.34	28.45	1.03
17.00	28.18	0.63	28.73	0.39	28.36	1.00

Tabel 27 Uji Coba Model PV *tracker* 3in2out 7MF

Pukul	Fuzzy		Validasi		Fuzzy-ACO	
	V1 (Volt)	I1 (A)	V2 (Volt)	I2 (A)	V3 (Volt)	I3 (A)
7.00	28.54	1.40	28.85	1.44	28.67	1.34
8.00	28.45	1.65	29.01	2.21	28.80	1.63
9.00	29.38	2.85	29.54	5.96	29.33	4.65
10.00	29.41	5.76	29.56	6.07	29.32	6.44
11.00	29.69	7.66	29.98	8.82	29.88	7.82
12.00	29.71	7.19	30.00	8.90	29.73	7.43
13.00	29.78	6.41	29.81	7.81	29.71	6.37
14.00	29.75	5.79	29.97	8.83	29.87	7.80
15.00	29.31	5.31	29.47	5.51	29.25	5.16
16.00	28.74	2.03	29.03	2.34	28.68	1.79
17.00	28.46	1.93	28.73	0.39	28.44	1.82

Tabel 28 Uji Coba Model PV *tracker* 4in2out 5MF

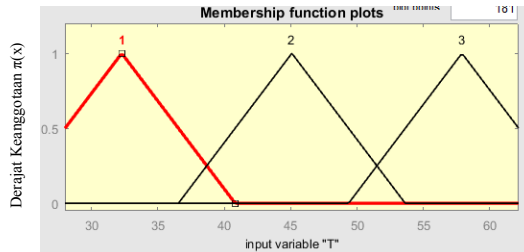
Pukul	Fuzzy		Validasi		Fuzzy-ACO	
	V1 (Volt)	I1 (A)	V2 (Volt)	I2 (A)	V3 (Volt)	I3 (A)
7.00	28.71	1.73	28.85	1.44	28.71	1.66
8.00	29.36	3.58	29.01	2.21	28.83	2.71
9.00	29.57	4.86	29.54	5.96	29.58	5.04
10.00	29.74	4.98	29.56	6.07	29.66	4.99
11.00	29.82	5.50	29.98	8.82	29.82	6.28
12.00	29.91	6.01	30.00	8.90	29.85	6.48
13.00	29.90	6.23	29.81	7.81	29.84	6.50
14.00	29.87	5.95	29.97	8.83	29.82	6.39
15.00	29.58	5.20	29.47	5.51	29.49	5.13
16.00	29.03	3.50	29.03	2.34	29.01	3.52
17.00	28.74	2.75	28.73	0.39	28.70	2.46

Tabel 29 Parameter- Parameter T akhir untuk PV

Technology	Module	T _{pv}	Irradiance	Wind Speed	Humidity	Const (°C)
		w1	w2 (°C/W m ⁻²)	w3 (°C/W m ⁻¹)	w4 (°C/R H%)	
Amorhous	1 PTL	0,945	0,025	-1,255	0,181	-2,1
	2 PTL	0,946	0,025	-1,304	0,58	-1,8
	3 PTL	0,981	0,028	-1,647	0,102	3,1
	4 PTL	0,993	0,028	-1,697	0,09	4,7
	5 NREL	0,979	0,023	-1,28	0,018	3,2
	6 NREL	0,959	0,029	-1,433	0,006	5,7
	7 NREL	0,947	0,026	-1,222	0,015	4,6

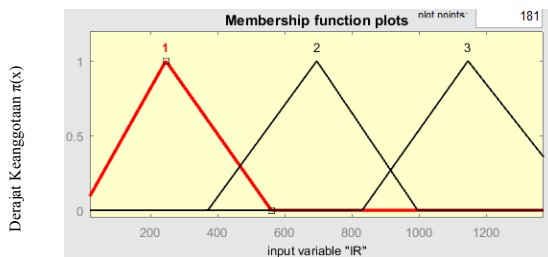
	Average	0,964	0,026	-1,406	0,082	2,5
Monocrystalline Si	1 PTL	0,959	0,03	-1,537	0,157	0,1
	2 PTL	0,955	0,031	-1,518	0,164	0,1
	3 NREL	0,969	0,025	-1,315	0,007	4,5
	Average	0,961	0,029	-1,457	0,109	1,57
Copper indium selenide	1 PTL	0,95	0,03	-1,611	0,089	1,4
	2 PTL	0,987	0,028	-1,414	0,128	1,3
	3 NREL	0,968	0,029	-1,373	-0,01	6
	Average	0,969	0,029	-1,466	0,069	2,9
EPG - Polycrystalline Si	1 PTL	0,949	0,028	-1,571	0,103	2,7
	2 PTL	0,961	0,029	-1,564	0,128	2,5
	3 NREL	0,969	0,022	-1,224	0,006	4,9
	Average	0,96	0,026	-1,453	0,079	3,4
Technology	Module	T _{pv}	Irradiance	Wind Speed	Humidity	Const (°C)
		w1	w2 (°C/W m ⁻²)	w3 (°C/W m ⁻¹)	w4 (°C/R H%)	
Polycrystalline Si	1 PTL	0,944	0,031	-1,713	0,127	27
	2 PTL	0,957	0,031	-1,789	0,125	3,5
	3 NREL	0,961	0,028	-1,384	0,012	5,5
	Average	0,954	0,03	-1,629	0,088	3,9
Cadmium telluride	1 PTL	0,976	0,033	-1,786	0,091	3,3
	2 PTL	1,012	0,033	-1,72	0,126	3,4
	3 NREL	0,935	0,027	-1,385	0,002	6,7
	Average	0,975	0,031	-1,631	0,073	4,1

LAMPIRAN C



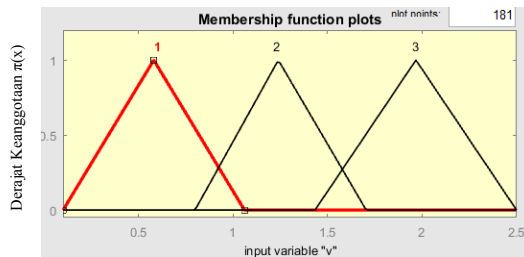
Gambar 1. Kurva Fuzzy variabel T PV Tracker 3 MF

Gambar 1 merupakan kurva fuzzy variabel T (Temperatur) 3MF dengan model PV Tracker dengan semesta pembicaraan [18 72.17]



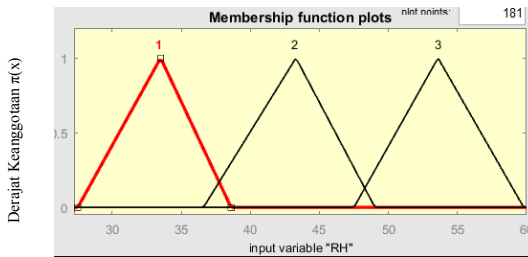
Gambar 2 Kurva Fuzzy variabel IR PV Tracker 3 MF

Gambar di atas menunjukkan kurva fuzzy variabel IR (Iradiasi) 3MF dengan model PV Tracker dengan semesta pembicaraan [19.13 1370]



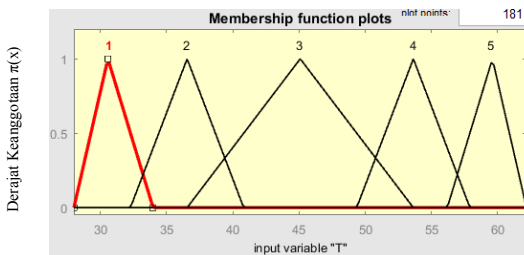
Gambar 3 Kurva Fuzzy variabel v angin PV Tracker 3 MF

Pada gambar 3 menunjukkan kurva fuzzy variabel v (Kecepatan angin) 3MF dengan model PV Tracker dengan semesta pembicaraan [0.1 2.5]



Gambar 4 Kurva Fuzzy variabel RH PV Tracker 3 MF

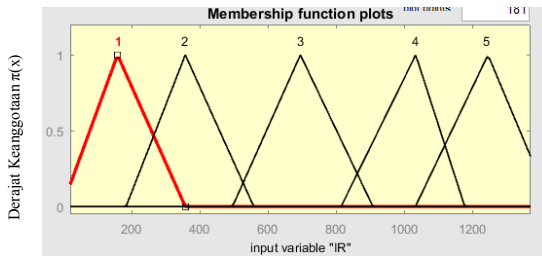
Gambar di atas merupakan kurva fuzzy variabel RH (Kelembapan) 3MF dengan model PV Tracker dengan semesta pembicaraan [27.23 60.0].



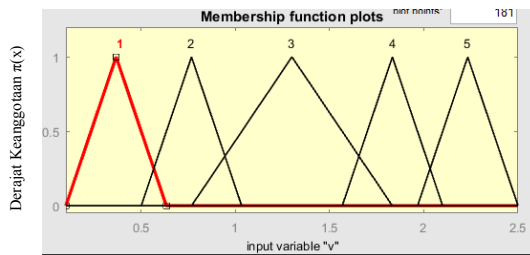
Gambar 5. Kurva Fuzzy variabel T PV Tracker 5 MF

Kurva fuzzy variabel T(Tempertur) 5 MF dengan model PV Tracker terdapat pada gambar 5 dengan semesta pembicaraan [28 62.17].

Pada gambar 6 menunjukkan kurva fuzzy variabel IR (Iradiasi) 5 MF dengan model PV Tracker dengan semesta pembicaraan [19.13 1370.2].

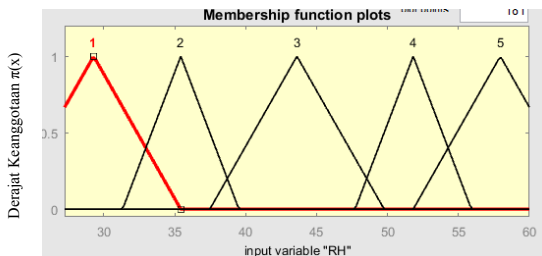


Gambar 6 Kurva Fuzzy variabel IR PV Tracker 5 MF



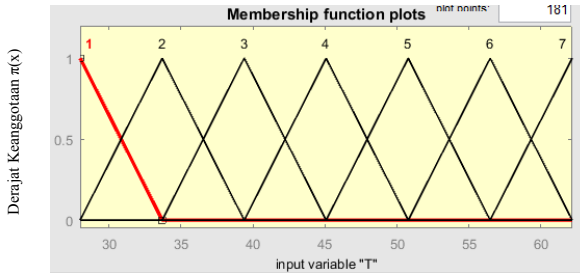
Gambar 7 Kurva Fuzzy variabel v angin PV Tracker 5 MF

Gambar di atas menunjukkan kurva fuzzy variabel v (Kecepatan angin) 5 MF dengan model PV Tracker dengan semesta pembicaraan [0.1 2.5]



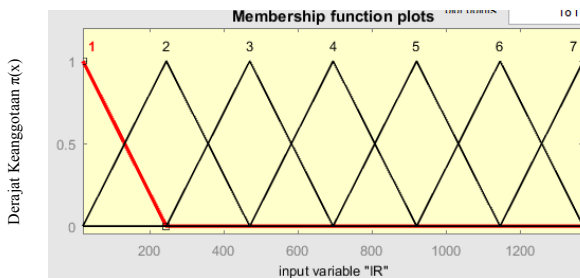
Gambar 8 Kurva Fuzzy variabel RH PV Tracker 5 MF

Gambar 8 merupakan kurva fuzzy variabel RH (Kelembapan) 5 MF dengan model PV Tracker dengan semesta pembicaraan [27.23 60]



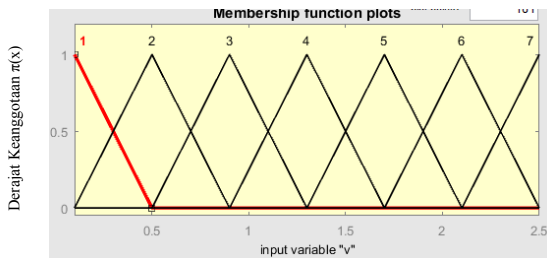
Gambar 9 Kurva Fuzzy variabel T PV Tracker 7 MF

Gambar di atas menunjukkan kurva fuzzy variabel T (Tempertur) 7 MF dengan model PV Tracker dengan semesta pembicaraan [28 62.17]



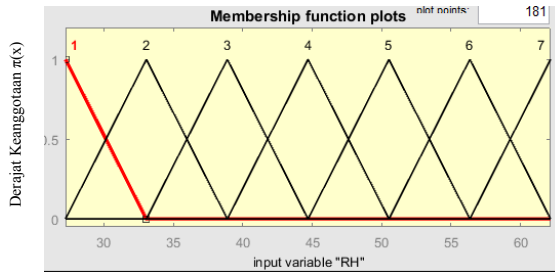
Gambar 10 Kurva Fuzzy variabel IR PV Tracker 7 MF

Kurva fuzzy variabel IR (Iradiasi) 7 MF dengan model PV Tracker dapat dilihat pada gambar 10 dengan semesta pembicaraan [19.13 1370.2].



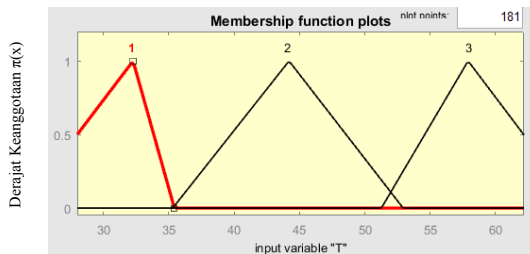
Gambar 11 Kurva Fuzzy variabel v angin PV Tracker 7 MF

Pada gambar 11 menunjukkan kurva fuzzy variabel v (Kecepatan angin) 5 MF dengan model PV Tracker dengan semesta pembicaraan [0.1 2.5]



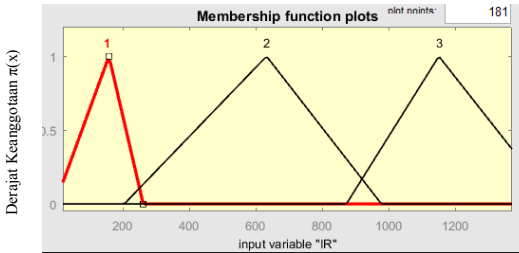
Gambar 12 Kurva Fuzzy variabel RH PV Tracker 7 MF

Pada gambar 12 adalah kurva fuzzy variabel RH (Kelembapan) 5 MF dengan model PV Tracker dengan semesta pembicaraan [27.23 60]



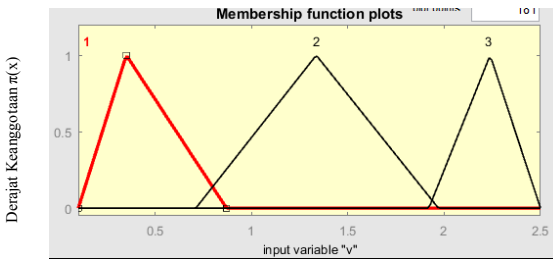
Gambar 13 Kurva Fuzzy-ACO variabel T PV Tracker 3MF

Gambar 13 merupakan kurva fuzzy-ACO variabel T (Temperatur) 3 MF dengan model PV Tracker dengan semesta pembicaraan [28 62.17]



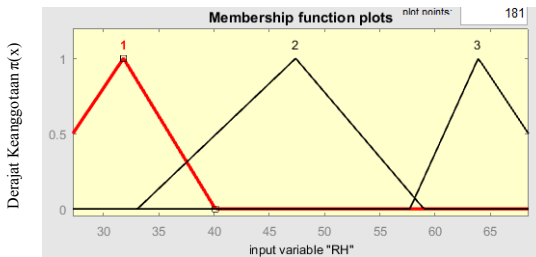
Gambar 14 Kurva Fuzzy-ACO variabel IR PV Tracker 3MF

Pada gambar di atas menunjukkan kurva fuzzy-ACO variabel IR (Iradiasi) 3 MF dengan model PV Tracker dengan semesta pembicaraan [19.3 1370].



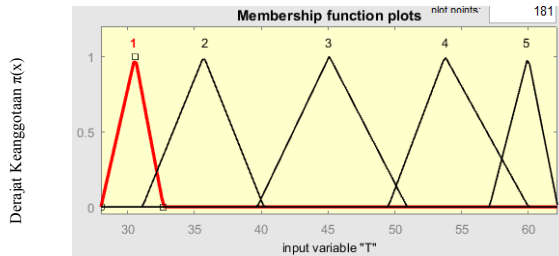
Gambar 15 Kurva Fuzzy-ACO variabel v PV Tracker 3MF

Gambar di atas merupakan kurva fuzzy-ACO variabel v (Kecepatan angin) 3 MF dengan model PV Tracker dengan semesta pembicaraan [0.1 2.5]



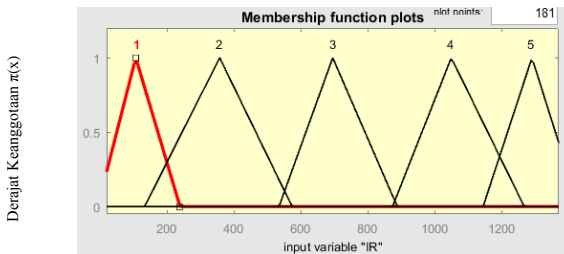
Gambar 16 Kurva Fuzzy-ACO variabel RH PV Tracker 3MF

Pada gambar 16 merupakan kurva fuzzy-ACO variabel RH (Kelembapan) 3 MF dengan model PV *Tracker* dengan semesta pembicaraan [22.7 69.17]



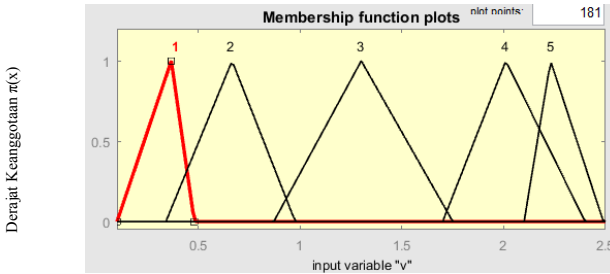
Gambar 17 Kurva Fuzzy-ACO variabel T PV *Tracker* 5MF

Kurva fuzzy-ACO variabel IR (Iradiasi) 5 MF dengan model PV *Tracker* dapat dilihat pada gambar 17 dengan semesta pembicaraan [28 68.5].



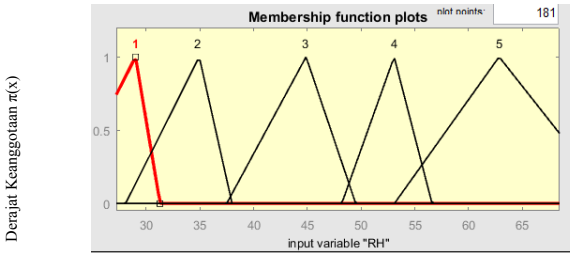
Gambar 18 Kurva Fuzzy-ACO variabel IR PV *Tracker* 5MF

Pada gambar 18 menunjukkan kurva fuzzy-ACO variabel IR (Iradiasi) 5 MF dengan model PV *Tracker* dengan semesta pembicaraan [19.13 1370]



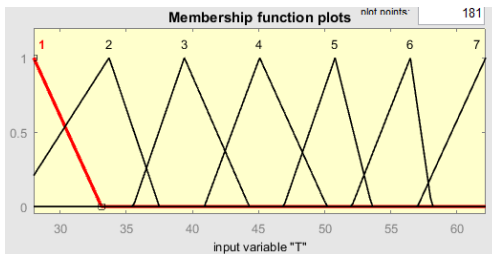
Gambar 19 Kurva Fuzzy-ACO variabel v PV Tracker 5MF

Gambar di atas merupakan kurva fuzzy-ACO variabel v (Kecepatan angin) 5 MF dengan model PV Tracker dengan semesta pembicaraan [0.1 2.5]



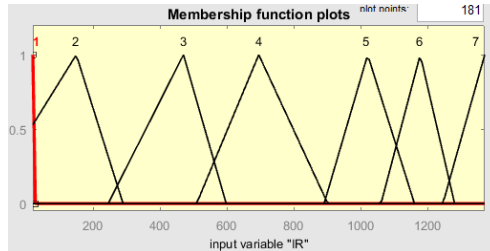
Gambar 20 Kurva Fuzzy-ACO variabel RH PV Tracker 5MF

Gambar 20 merupakan kurva fuzzy-ACO variabel RH (Kelembapan) 5 MF dengan model PV Tracker dengan semesta pembicaraan [27.18 68.5]



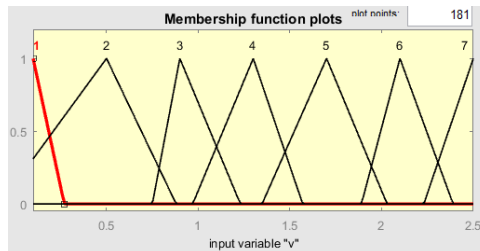
Gambar 21 Kurva Fuzzy-ACO variabel T PV Tracker 7MF

Kurva fuzzy variabel T (Tempertur) 5 *membership function* (MF) dengan model PV *Tracker* terdapat pada gambar 21 dengan semesta pembicaraan [28 62.17]



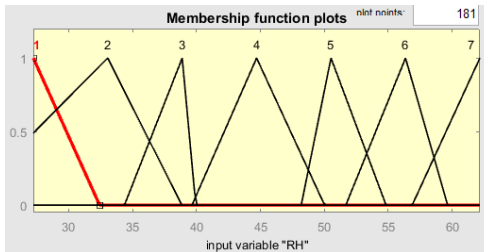
Gambar 22 Kurva Fuzzy-ACO variabel IR PV *Tracker* 7MF

Pada gambar di atas menunjukkan kurva fuzzy variabel IR (Iradiasi) 7 *membership function* (MF) dengan model PV *Tracker* dengan semesta pembicaraan [19.3 1340].



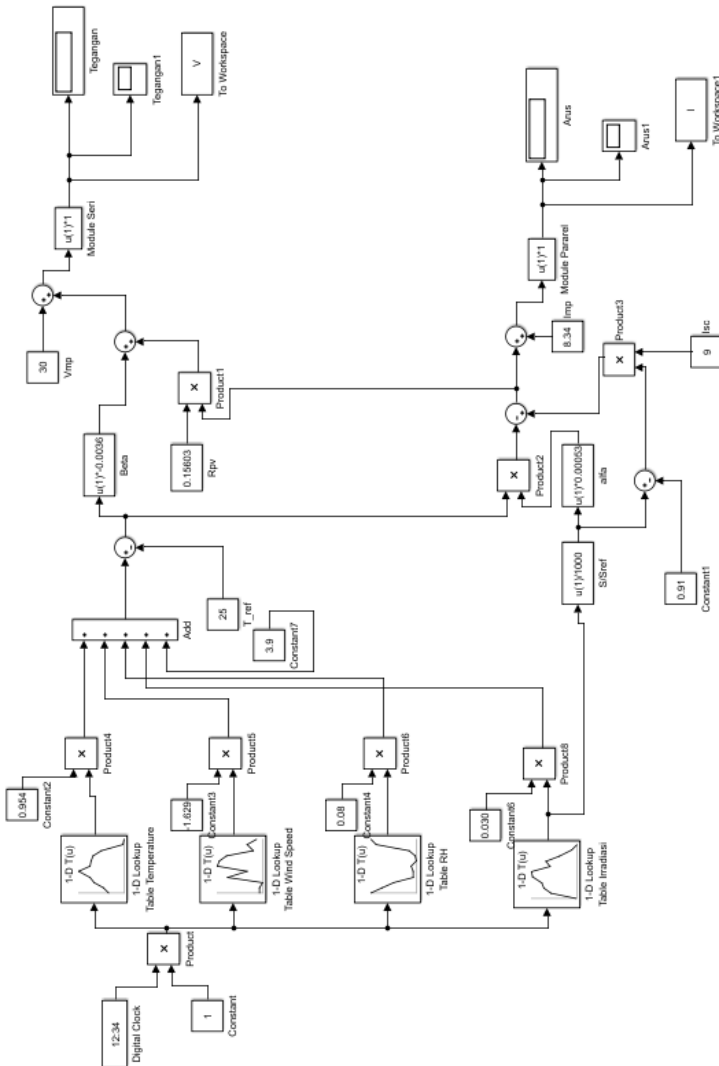
Gambar 23 Kurva Fuzzy-ACO variabel v PV *Tracker* 7MF

Pada gambar 23 menunjukkan kurva fuzzy variabel v (Kecepatan angin) 7 *membership function* (MF) dengan model PV *Tracker* dengan semesta pembicaraan [0.1 2.5].



Gambar 24 Kurva Fuzzy-ACO variabel RH PV Tracker 7MF

Gambar di atas merupakan kurva fuzzy-ACO variabel RH (Kelembapan) 7 *membership function* (MF) dengan model PV Tracker dengan semesta pembicaraan [27.23 62.46].



Gambar 25 Proven model pada software

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di kota Blitar pada tanggal 10 Juli 1997. Penulis memulai Pendidikan di TK Al-Hidayah Nglegok Blitar, SDN Sentul 4 Blitar, MTsN 1 Blitar, SMAN 2 Blitar dan terakhir melanjutkan Pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan program studi S-1 Departemen Teknik Fisika. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif di kegiatan mahasiswa seperti menjadi staff departemen EXT (2016-2017) dan sekertaris di Unit Kegiatan Mahasiswa PSHT ITS (2017-2018). Bagi pembaca yang ingin berdiskusi atau memiliki dan memberi kritik dan saran mengenai tugas akhir ini dapat menghubungi penulis melalui email dengan alamat ajengayu078@gmail.com.