



TUGAS AKHIR - TF 181801

**ANALISIS KOMPARATIF KONSUMSI ENERGI INTERNAL PADA
DISCRET-CONTINUOUS SOLAR TRACKER BERBASIS *FUZZY
ANT COLONY ALGORITHM***

NURUL AULIA REZA
NRP. 02311640000050

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

Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

Halaman ini sengaja dikosongkan



TUGAS AKHIR - TF 181801

**ANALISIS KOMPARATIF KONSUMSI ENERGI INTERNAL PADA
DISCRET-CONTINUOUS SOLAR TRACKER BERBASIS *FUZZY
ANT COLONY ALGORITHM***

NURUL AULIA REZA
NRP. 02311640000050

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

Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TF 181801

***COMPARATIF ANALYSIS INTERNAL ENERGY CONSUMPTION
ON DISCRET-CONTINUOUS SOLAR TRACKER BASED FUZZY
ANT COLONY ALGORITHM***

NURUL AULIA REZA
NRP. 02311640000050

Supervisors:
Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.

*Department Of Engineering Physics
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020*

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini.

Nama : Nurul Aulia Reza
NRP : 02311640000050
Departemen / Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FTIRS)
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Analisis Komparatif Konsumsi Energi Internal pada *Discret-Continuous Solar Tracker* Berbasis *Fuzzy Ant Colony Algorithm*” adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya-benarnya.

Surabaya, 26 Juli 2020

Yang membuat pernyataan,



Nurul Aulia Reza

NRP. 02311640000050

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR

**ANALISIS KOMPARATIF KONSUMSI ENERGI INTERNAL PADA
DISCRET-CONTINUOUS SOLAR TRACKER BERBASIS *FUZZY ANT
COLONY ALGORITHM***

Oleh:

Nurul Aulia Reza

NRP. 02311640000050

Surabaya, 1 Agustus 2020

**Menyetujui,
Pembimbing**



Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.

NIP. 19761006 199903 1 002

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



Dr. Suvanto, S.T., M.T.

NIP. 19711113 199512 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS KOMPARATIF KONSUMSI ENERGI INTERNAL PADA *DISCRET-CONTINUOUS SOLAR TRACKER* BERBASIS *FUZZY ANT* *COLONY ALGORITHM*

TUGAS AKHIR


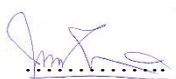

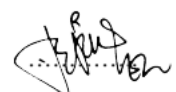
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FTIRS)
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Nurul Aulia Reza

NRP. 0231164000050

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

- | | | |
|-------------------------------------|--|-----------------|
| 1. Dr. Imam Abadi, S.T., M.T. |  | (Pembimbing) |
| 2. Ir. Harsono, M.Sc., Ph.D. |  | (Ketua Penguji) |
| 3. Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T. |  | (Penguji I) |
| 4. Erna Septyaningrum, S.T., M.T. |  | (Penguji II) |

SURABAYA

2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

**ANALISIS KOMPARATIF KONSUMSI ENERGI INTERNAL PADA
DISCRET-CONTINUOUS SOLAR TRACKER BERBASIS FUZZY ANT
COLONY ALGORITHM**

Nama : Nurul Aulia Reza
NRP : 0231164000050
Departemen : Teknik Fisika FTIRS - ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.

ABSTRAK

Beberapa penelitian mengenai *solar tracker* yang telah dilakukan biasanya masih mengabaikan energi yang dikonsumsi oleh sistem penggerakannya. Sehingga penting untuk mengetahui besar konsumsi energi pada sistem *solar tracker* untuk mengetahui performansi *netto* yang dihasilkan. Pada penelitian ini dilakukan simulasi konsumsi energi internal sistem *solar tracker discrete* 3 posisi, 5 posisi, dan *solar tracker continuous* untuk menghasilkan konsumsi energi harian, mingguan, bulanan, dan tahunan. Agar nilai konsumsi energi pada sistem *solar tracker* dapat lebih optimal maka digunakan metode *fuzzy* dan dibandingkan dengan F-ACO. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini yaitu konsumsi energi tahunan pada *solar tracker discrete* 3 posisi dan 5 posisi metode *fuzzy* masing-masing lebih optimal 1,82 kWh dan 1,88 kWh sedangkan dengan metode F-ACO masing-masing lebih optimal 4,93 kWh dan 4,43 kWh. Sedangkan untuk *solar tracker continuous* konsumsi energi metode *fuzzy* lebih optimal 1,44 kWh dan metode F-ACO lebih optimal 1,62 kWh. Rekomendasi penghematan konsumsi energi internal paling baik dapat dilihat pada efisiensi NEG yaitu pada *solar tracker discrete* 5 posisi sebesar 40,17%.

Kata kunci: konsumsi energi internal, *solar tracker discrete*, *solar tracker continuous*, *fuzzy*, F-ACO

Halaman ini sengaja dikosongkan

**COMPARATIF ANALYSIS INTERNAL ENERGY CONSUMPTION ON
DISCRET-CONTINUOUS SOLAR TRACKER BASED FUZZY ANT COLONY
ALGORITHM**

Name : Nurul Aulia Reza
NRP : 0231164000050
Department : Engineering Physics FTIRS - ITS
Supervisors : Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.

ABSTRACT

Researchs on solar tracker that has been done usually still ignores the energy consumed by the driving system. So it is important to know the amount of energy consumption in the solar tracker system to determine the netto performance. In this study a simulation of internal energy consumption of discrete solar tracker systems of 3 positions, 5 positions, and continuous solar tracker to produce daily, weekly, monthly, and annual energy consumption patterns. So that the value of energy consumption in the solar tracker system can be optimized, the fuzzy method is used and compared to the F-ACO. The results obtained from this study are the annual energy consumption of discrete solar tracker 3 positions and 5 positions of the fuzzy method respectively 1.82 kWh and 1.88 kWh more optimal while the F-ACO method is 4.93 kWh and 4.43 kWh more optimal respectively. Whereas for solar tracker continuous energy consumption of the fuzzy method is 1.44 kWh and the F-ACO method is 1.62 kWh more optimal. The best recommendations for saving internal energy consumption can be seen in NEG efficiency, in the 5 position discrete solar tracker by 40.17%.

Keywords: *internal energy consumption, solar tracker discrete, solar tracker continuous, fuzzy, F-ACO*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat, berkat, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan laporan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Komparatif Konsumsi Energi Internal pada *Discret-Continuous Solar Tracker Berbasis Fuzzy Ant Colony Algorithm***”.

Penulis dapat menyelesaikan penelitian dan laporan Tugas Akhir ini dengan tepat waktu tak luput dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Sehingga dalam laporan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Dr. Suyanto, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Teknik Fisika ITS yang telah memberikan fasilitas, sarana dan prasarana dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Imam Abadi, S.T., M.T. selaku pembimbing yang telah memberikan bimbingan, petunjuk, ilmu serta semangat dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ir. Harsono, M.Sc., Ph.D. selaku ketua penguji, Ibu Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T. dan Ibu Erna Septyaningrum, S.T., M.T. selaku penguji yang telah memberikan nasihat dan masukan yang bermanfaat untuk penulis.
4. Bapak Dr.Ir. Totok Soehartanto, DEA selaku dosen wali penulis yang telah memberikan masukan dan nasihat selama masa perkuliahan.
5. Seluruh Dosen Departemen Teknik Fisika ITS yang telah memberikan ilmu, pengalaman, masukan, dan nasihatnya selama perkuliahan.
6. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan doa agar tugas akhir ini dapat selesai tepat waktu.
7. Teman-teman tim *solar tracker* yang membantu, *sharing*, dan menjadikan pengerjaan tugas akhir ini lebih menyenangkan.
8. Sahabat-sahabatku yang telah mendukung dan meluangkan waktu mendengarkan keluh kesah penulis.

Serta pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu-persatu. Semoga laporan tugas akhir ini dapat dipergunakan dengan sebaik-baiknya.

Surabaya, 26 Juli 2020

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
COVER PAGE.....	v
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	vii
LEMBAR PENGESAHAN	ix
LEMBAR PENGESAHAN	xi
ABSTRAK	xiii
ABSTRACT.....	xv
KATA PENGANTAR	xvii
DAFTAR ISI.....	xix
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR TABEL.....	xxiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Sistematika Laporan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	7
2.1 <i>Photovoltaic</i>	7
2.2 <i>Solar Tracker</i>	8
2.3 Logika <i>Fuzzy</i>	11
2.4 <i>Ant Colony Optimization</i>	15
2.5 <i>Fuzzy-Ant Colony Optimization</i>	17
2.6 Konsumsi Energi	18

BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	21
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	21
3.2 Studi literatur.....	22
3.3 Pengambilan Data Sekunder	22
3.4 Konsumsi Energi Internal pada <i>Sistem Solar Tracker</i>	31
3.5 Perancangan Model Konsumsi Energi Internal pada Sistem <i>Solar Tracker</i>	33
3.6 Perancangan <i>Fuzzy</i> dan <i>Fuzzy Ant Colony</i>	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1 Parameter <i>Fuzzy</i>	47
4.2 Hasil Konsumsi Energi <i>Solar Tracker Discrete</i>	50
4.3 Hasil Konsumsi Energi <i>Solar Tracker Continuous</i>	56
4.4 Konsumsi Energi Tahunan	59
4.5 <i>Gross</i> dan <i>Netto Energy Gain</i>	62
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	67
5.1 Kesimpulan.....	67
5.2 Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA	69
LAMPIRAN.....	73
BIODATA PENULIS	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Panel <i>photovoltaic</i>	7
Gambar 2. 2 Karakteristik kurva tegangan dan arus akibat (a) suhu lingkungan dan (b) iradiasi matahari [14]	7
Gambar 2. 3 <i>Solar tracker dual-axis</i> [16].....	8
Gambar 2. 4 Tiga posisi panel pada <i>solar tracker discrete</i> [2]	9
Gambar 2. 5 Beberapa sudut pada <i>solar tracker continuous</i> (a) <i>single axis</i> , (b) <i>dual-axis</i> [2].....	11
Gambar 2. 6 Sistem <i>fuzzy inference</i> [20].....	12
Gambar 2. 7 Fungsi keanggotaan segitiga [21]	13
Gambar 2. 8 Fungsi keanggotaan trapesium [21].....	13
Gambar 2. 9 Fungsi keanggotaan <i>gaussian</i> [21]	14
Gambar 2. 10 Fungsi keanggotaan <i>bell</i> [21]	14
Gambar 2. 11 Langkah-langkah <i>ant colony optimization</i> [21].....	15
Gambar 3. 1 <i>Flow chart</i> penelitian tugas akhir	21
Gambar 3. 2 <i>Solar Panel Polycrystalline-250W</i>	23
Gambar 3. 3 Motor DC (a) <i>pitc</i> dan (b) <i>yaw</i>	24
Gambar 3. 4 Driver Motor DC L298N.....	25
Gambar 3. 5 Atmega32 (a) IC dan (b) <i>Pin Configuration</i>	25
Gambar 3. 6 Mikrokontroler STM32	26
Gambar 3. 7 Sensor Arus ACS712.....	27
Gambar 3. 8 Sensor Photodiode TCS3200.....	28
Gambar 3. 9 CMPS 10 PWM Mode.....	29
Gambar 3. 10 Raspberry Pi 3B.....	29
Gambar 3. 11 <i>Inverter</i> 12 VDC ke 220 VAC.....	31
Gambar 3. 12 Sistem <i>Solar Tracker</i>	32
Gambar 3. 13 Diagram Blok pada <i>Plant</i> Konsumsi Energi Internal	33
Gambar 3. 14 Diagram Skematik pada <i>Plant</i> Konsumsi Energi Internal.....	34
Gambar 3. 16 Fungsi keanggotaan tegangan <i>solar tracker discrete</i> 3 posisi.....	36
Gambar 3. 17 Fungsi keanggotaan <i>output</i> energi <i>solar tracker discrete</i> 3 posisi	36

Gambar 3. 18 Fungsi keanggotaan <i>input</i> arus <i>solar tracker discrete</i> 5 posisi	37
Gambar 3. 19 Fungsi keanggotaan <i>output</i> Energi <i>Solar tracker discrete</i> 5 posisi	37
Gambar 3. 21 Fungsi keanggotaan tegangan <i>solar tracker continuous</i>	38
Gambar 3. 22 Fungsi keanggotaan <i>output</i> energi <i>solar tracker continuous</i>	39
Gambar 3. 23 Diagram alir <i>ant colony optimization</i> pada <i>plant</i> konsumsi energi internal	40
Gambar 3. 24 Fungsi keanggotaan arus F-ACO <i>solar tracker discrete</i> 3 posisi.	42
Gambar 3. 25 Fungsi keanggotaan tegangan F-ACO <i>solar tracker discrete</i> 3 posisi	42
Gambar 3. 26 Fungsi keanggotaan energi F-ACO <i>solar tracker discrete</i> 3 posisi	42
Gambar 3. 29 Fungsi keanggotaan arus F-ACO <i>solar tracker continuous</i>	44
Gambar 3. 31 Fungsi keanggotaan energi F-ACO <i>solar tracker continuous</i>	44
Gambar 4. 1 Konsumsi energi harian <i>solar tracker discrete</i> 3 posisi	50
Gambar 4. 2 Konsumsi energi mingguan <i>solar tracker discrete</i> 3 posisi	51
Gambar 4. 3 Konsumsi energi bulanan <i>solar tracker discrete</i> 3 posisi.....	52
Gambar 4. 4 Konsumsi energi harian <i>solar tracker discrete</i> 5 posisi	53
Gambar 4. 5 Konsumsi energi mingguan <i>solar tracker discrete</i> 5 posisi	54
Gambar 4. 6 Konsumsi energi bulanan <i>solar tracker discrete</i> 5 posisi.....	55
Gambar 4. 7 Konsumsi energi harian <i>solar tracker continuous</i>	57
Gambar 4. 8 Konsumsi energi mingguan <i>solar tracker continuous</i>	58
Gambar 4. 9 Konsumsi energi bulanan <i>solar tracker continuous</i>	59
Gambar 4. 10 Profil konsumsi energi tahunan	60

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Spesifikasi <i>Solar Panel Polycrystalline-250W</i>	22
Tabel 3. 2 Spesifikasi Motor DC	23
Tabel 3. 3 Spesifikasi Driver Motor	24
Tabel 3. 4 Spesifikasi Mikrokontroler Atmega32	25
Tabel 3. 5 Spesifikasi Mikrokontroler STM32.....	26
Tabel 3. 6 Spesifikasi Sensor Arus ACS712	27
Tabel 3. 7 Spesifikasi Sensor Photodiode	28
Tabel 3. 8 Spesifikasi Sensor CMPS 10.....	28
Tabel 3. 9 Spesifikasi Raspberry Pi 3B	30
Tabel 3. 10 Spesifikasi <i>Inverter</i>	30
Tabel 3. 11 Konsumsi Energi pada <i>Solar Tracker Discrete</i>	31
Tabel 3. 12 Konsumsi Energi pada <i>Solar Tracker Continuous</i>	32
Tabel 3. 13 <i>Rule Base Solar Tracker Discrete</i>	39
Tabel 3. 14 <i>Rule Base Solar Tracker Continuous</i>	39
Tabel 3. 15 Parameter-parameter ACO	41
Tabel 4. 1 Batas <i>Fuzzy Solar Tracker Discrete 3 Posisi</i>	47
Tabel 4. 2 Batas <i>Fuzzy Solar Tracker Discrete 5 Posisi</i>	48
Tabel 4. 3 Batas <i>Fuzzy Solar Tracker Continuous</i>	48
Tabel 4. 4 Batas F-ACO <i>Solar Tracker Discrete 3 Posisi</i>	48
Tabel 4. 5 Batas F-ACO <i>Solar Tracker Discrete 5 Posisi</i>	49
Tabel 4. 6 Batas F-ACO <i>Solar Tracker Continuous</i>	49
Tabel 4. 7 Tabel Total Konsumsi Energi Tahunan pada Sistem <i>Solar Tracker</i> ...	60
Tabel 4. 8 Data Sekunder <i>Output Solar Tracker Discrete 3 Posisi</i>	62
Tabel 4. 9 Data Sekunder <i>Output Solar Tracker Discrete 5 Posisi</i>	63
Tabel 4. 10 Data Sekunder <i>Output Solar Tracker Continuous</i>	64
Tabel 4. 11 Peningkatan Efisiensi pada <i>Solar Tracker Discrete dan Continuous</i>	65

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR SIMBOL

α	= <i>Pheromone trail weight</i>
β	= Nilai heuristik
C	= Kapasitansi (F)
E	= Energi (Wh)
E_{Gross}	= Energi <i>output solar tracker</i> yang belum memperhitungkan konsumsi energi internal
I	= Arus (A)
i, j	= titik-titik yang akan dilewati semut
k	= semut
L	= Induktansi
NEG	= Energi <i>output solar tracker</i> yang sudah memperhitungkan konsumsi energi internal
N_i^k	= set titik lingkungan
p	= probabilitas semut memilih jalur terbaik
ρ	= Laju penguapan feromon
R	= Resistansi (Ω)
t	= Waktu operasi komponen <i>solar tracker</i> (s)
τ_{ij}	= jalur feromon
V	= Tegangan (V)

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi solar sekarang ini banyak dikembangkan karena sumber energinya yang murah, mudah diperoleh dimana saja, serta tidak menimbulkan polutan [1]. Energi solar merupakan salah satu energi terbarukan yang dapat menggantikan sumber energi berasal dari fosil dan batubara, dimana energi ini akan habis seiring dengan waktu dan jumlah permintaan yang semakin meningkat. Salah satu pembangkit energi solar adalah *Photovoltaic*. Sistem *Photovoltaic* (PV) berfungsi untuk mengkonversi energi solar menjadi energi listrik. PV dapat terpasang secara *fixed* atau secara *mobile*. PV *fixed* merupakan sistem dimana PV terpasang tetap di suatu lokasi tertentu, sedangkan *mobile* PV atau *solar tracker* adalah sistem dimana PV dipandu sedemikian rupa sehingga dia bisa mengikuti arah pergerakan matahari dengan akurat.

Beberapa penelitian yang ada selama ini mengenai *solar tracker* ternyata tidak mempertimbangkan konsumsi energi internal yang dibutuhkan oleh perangkat elektrik PV. Sehingga energi yang dihasilkan PV hanya bersifat *Gross Energy* (GE). Pada beberapa penelitian dilakukan dengan analisa *solar tracker discrete* 3 posisi dapat menghasilkan peningkatan performansi energi sebesar 62,89% dari *solar tracker continuous* [2]. Performansi pada sistem *solar tracker mobile* yaitu sebuah sistem pelacakan matahari berbasis PV *fixed* namun dipasang pada objek yang bergerak sehingga dihasilkan peningkatan performansi sebesar 52,37% [3]. Sistem *solar tracker* dapat meningkatkan performansi menggunakan sistem penjejak *dual-axes* yaitu sistem yang menjejak pada kedua sudut matahari dengan peningkatan performansi sebesar 52% [4]. Selain dari beberapa jenis sistem *solar tracker* yang digunakan, performansi PV dapat ditingkatkan dengan menggunakan MPPT (*Maximum Power Point Tracker*) yang dapat membantu membangkitkan daya maksimum dari panel dalam kondisi iklim yang bervariasi. Analisis performansi *solar tracker continuous dual axis* dengan MPPT (*Maximum Power Point Tracker*) *Fuzzy-PSO* didapatkan peningkatan performansi sebesar 28,84%

[5]. Metode-metode tersebut dilakukan untuk meningkatkan performansi PV namun masih mengabaikan perhitungan *Netto Energy Gain* (NEG).

Perhitungan konsumsi energi internal perlu dilakukan karena Indonesia terdiri dari dua musim yaitu musim penghujan dan kemarau, sehingga konsumsi energi internal bersifat random dari waktu ke waktu. Untuk mendapatkan gambaran yang jelas mengenai total konsumsi energi harian, mingguan, dan bulanan maka perlu dilakukan estimasi. Penelitian Dixit dkk [6] melakukan estimasi sudut kemiringan PV agar mendapatkan irradiansi yang paling optimal dengan menggunakan metode estimasi ANN (*artificial neural network*). Metode ini dilakukan dengan melakukan *training* data dengan enam sudut kemiringan berbeda. *Error* yang dihasilkan dari metode ini sebesar 6% dengan perbandingan kemiringan sudut perhitungan dengan estimasi dan menggunakan pendekatan statistik MSE (*mean square error*). Penelitian Ali dkk [7] melakukan estimasi radiasi solar dan temperatur agar mencapai MPPT yang paling optimal dengan metode ANFIS (*adaptif neuro fuzzy*) solar sel modul. Total daya yang dihasilkan dihitung secara analitik dan dibandingkan dengan hasil estimasi. *Error* yang didapat dari metode estimasi ini sebesar 0,6% - 2,8%. Penelitian Cesar dkk [8] melakukan estimasi performansi energi dengan enam teknologi PV yang berbeda. Metode estimasi yang digunakan adalah PVUSA (*photovoltaic for utility scale applications*). Metode ini menggunakan data klimatologi untuk perhitungan daya *output* PV dan dibandingkan dengan hasil estimasi, sehingga didapatkan *error* antara 1,009% - 5,2%. *Error* pendekatan statistik yang digunakan adalah MAPE (*mean absolute percentage error*). Beberapa penelitian tersebut menunjukkan metode estimasi dengan *error* terkecil adalah metode ANFIS. Sehingga pada penelitian ini diusulkan metode estimasi berbasis *fuzzy* diharapkan agar mendapat *error* estimasi seminimal mungkin.

Konsumsi energi internal minimal dapat dianalisis dengan strategi kontrol yang fleksibel. Beberapa penelitian mengenai konsumsi energi yaitu menggunakan sistem *close loop solar tracker continuous* dengan energi internal yang dibutuhkan sebesar 30% [9]. Kemudian pada penelitian Sharaf dkk [10] menggunakan sistem *single axis solar tracker continuous* dengan konsumsi energi internal sebesar 10%. Pada beberapa kondisi cuaca yang berbeda konsumsi energi bernilai tetap.

Penelitian I. Abadi dkk [11] membandingkan sistem *solar tracker hybrid* dengan *solar tracker continuous* dengan masing-masing konsumsi energi internya sebesar 71,68 Wh dan 62,29 Wh. Beberapa penelitian mengenai konsumsi energi masih banyak yang belum menggunakan metode optimisasi, namun pada penelitian Shivendra dkk [12] *input* dirancang sedemikian rupa sehingga daya yang dikonsumsi oleh sistem *solar tracker* dapat berkurang hingga 500 W dengan menggunakan metode optimisasi *ant colony*. Oleh karena itu pada penelitian ini menggunakan metode *fuzzy-ant colony* dikarenakan penelitian sebelumnya tidak melakukan *fuzzy*. Estimasi yang dilakukan adalah konsumsi energi internal pada *solar tracker discrete* 3 posisi, 5 posisi, dan *solar tracker continuous*. Estimasi tersebut digunakan untuk mendapatkan NEG paling optimal pada ketiga sistem *solar tracker*.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang di atas dapat dirumuskan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a) Bagaimanakah menentukan pola konsumsi energi harian, mingguan, dan bulanan pada *solar energy sistem*?
- b) Bagaimanakah menentukan parameter estimasi *fuzzy ant colony*?
- c) Bagaimanakah menentukan estimasi pola konsumsi energi tahunan *solar energy system*?
- d) Bagaimanakah rekomendasi penghematan konsumsi energi internal?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan untuk menjawab rumusan masalah di atas adalah sebagai berikut :

- a) Mengetahui pola konsumsi energi harian, mingguan, dan bulanan pada *solar energy sistem*.
- b) Mengetahui parameter parameter estimasi *fuzzy ant colony*.
- c) Mengetahui estimasi pola konsumsi energy tahunan *solar energy system*.
- d) Memberikan rekomendasi penghematan konsumsi energi internal.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a) Kapasitas pembangkitan *solar tracker* adalah 250W dengan tipe *solar panel Polycrystalline*.
- b) Variabel *input* konsumsi energi adalah arus dan tegangan.
- c) Komponen konsumsi energi yang digunakan adalah Motor DC *Built-in Gearbox*, driver motor DC L298N mikrokontroler Atmega32, mikrokontroler STM3200, sensor *photodiode* TCS3200, sensor sudut CSPM10, sensor arus TCS712, *inverter* dan Raspberry Pi 3B.
- d) Perhitungan konsumsi energi internal menggunakan pendekatan *Gross Energy* dan *Netto Energy Gain*.
- e) Model yang digunakan adalah *solar tracker discrete* dan *solar tracker continuous*.
- f) Metode optimasi yang digunakan adalah *fuzzy-ant colony optimization*.
- g) Metode *fuzzy* yang digunakan adalah Mamdani dengan lima fungsi keanggotaan.
- h) Representasi fungsi keanggotaan *fuzzy* menggunakan model kurva segitiga.
- i) Data yang diambil untuk simulasi konsumsi energi internal pada kondisi cuaca cerah.

1.5 Sistematika Laporan

Sistematika penulisan laporan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- a) BAB I PENDAHULUAN
Pada Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, dan sistematika laporan.
- b) BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI
Bab ini berisi mengenai teori-teori dasar yang digunakan untuk menunjang penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini diantaranya yaitu, *photovoltaic*, *solar tracker*, logika *fuzzy*, *ant colony optimization*, *fuzzy-ant colony optimization*, dan perhitungan konsumsi energi.
- c) BAB II METODOLOGI PENELITIAN

Pada Bab ini berisi mengenai langkah-langkah pengerjaan penelitian pada tugas akhir yang diawali dengan studi literatur, kemudian mencari spesifikasi-spesifikasi komponen yang digunakan pada *solar tracker*, membuat pola konsumsi energi, membuat simulasi menggunakan metode F-ACO, dan validasi model yang telah dibuat.

d) **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada Bab ini membahas mengenai hasil simulasi yang telah dibuat menggunakan *fuzzy* dan F-ACO berupa parameter-parameter fungsi keanggotaan, pola konsumsi energi yang dihasilkan, serta membandingkan performansi dari *solar trackerr discrete* dengan *continuous*.

e) **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi mengenai kesimpulan akhir untuk menjawab rumusan masalah yang didapat dari hasil melakukan penelitian serta memberikan saran untuk tugas akhir selanjutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

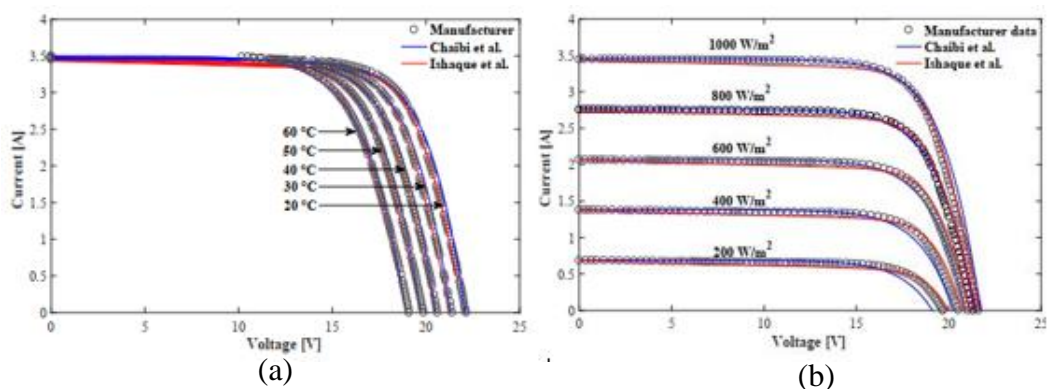
2.1 *Photovoltaic*

Photovoltaic adalah energi terbarukan yang dapat mengubah energi solar menjadi energi listrik. *Photovoltaic* dapat mengkonversi energi solar menjadi energi listrik karena elemen *photovoltaic* terdiri dari semikonduktor.



Gambar 2. 1 Panel *photovoltaic*

Prinsip kerja dari *photovoltaic* adalah ketika partikel sinar matahari (foton) mengenai permukaan semikonduktor akan menimbulkan energi yang cukup besar untuk memisahkan elektron dari struktur atom semikonduktor. Sehingga atom tersebut kehilangan muatan elektron yang disebut sebagai hole. Elektron yang terpisah bebas bergerak pada pita konduksi semikonduktor dan peristiwa ini akan menimbulkan arus listrik.

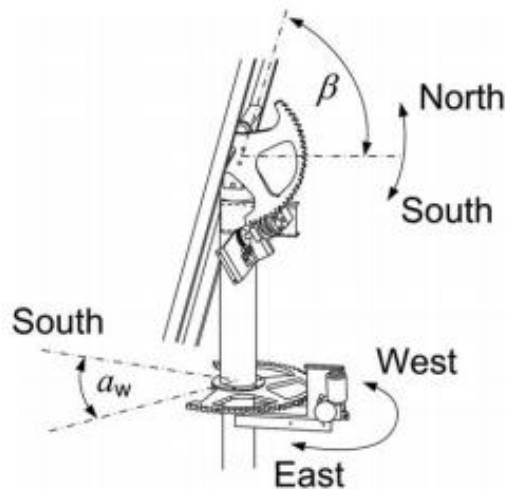


Gambar 2. 2 Karakteristik kurva tegangan dan arus akibat (a) suhu lingkungan dan (b) iradiasi matahari [14]

Tegangan dan arus yang dihasilkan oleh *photovoltaic* sebanding dengan suhu lingkungan dan iradiasi matahari. Semakin tinggi iradiasi matahari maka semakin tinggi pula arus keluaran PV. Semakin tinggi suhu lingkungan maka tegangan keluaran akan menurun [13].

2.2 Solar Tracker

Solar tracker adalah perangkat di mana panel surya dipasang untuk menjejak pergerakan matahari yang melintasi langit, *solar tracker* memastikan jumlah maksimum sinar matahari yang mengenai panel sepanjang hari [15]. Matahari bergerak 360° dari timur ke barat sehari, tetapi dari perspektif matahari dari setiap lokasi rotasi yang terlihat adalah 180° selama setengah hari. Efek horizon lokal membuat gerakan efektif matahari sekitar 150° . PV akan kehilangan 75% energi di pagi dan sore hari, sehingga PV dirancang dengan motor sehingga PV akan bergerak menuju posisi matahari untuk menghasilkan *output* daya maksimum yang bergerak dari timur ke barat dan dapat membantu menangkap kembali kerugian ini.



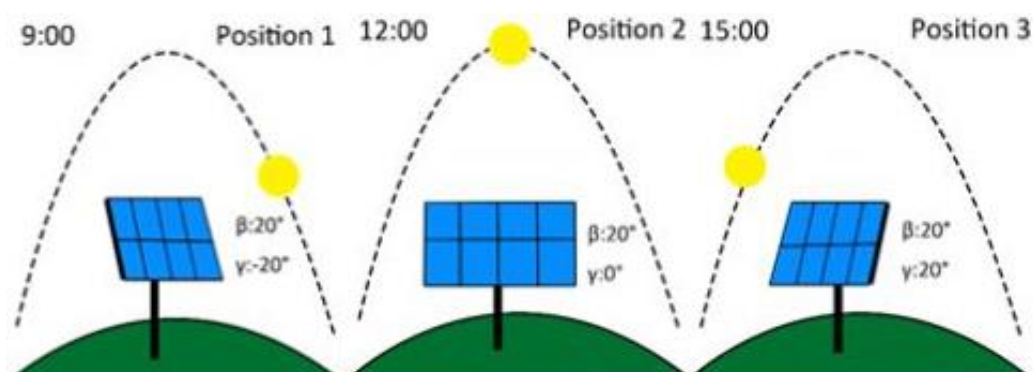
Gambar 2. 3 *Solar tracker dual-axis* [16]

Berdasarkan pergerakannya *solar tracker* dibagi menjadi *single axis* dan *dual axis solar tracker*. *Tracker* yang bergerak pada salah satu arah timur-barat atau arah selatan-utara dikenal sebagai *single axis solar tracker*. *Tracker* yang mencakup gerakan di arah timur-barat dan utara-selatan dikenal sebagai *dual axis solar tracker* [15]. Sistem *solar tracker* dapat direalisasikan sebagai sistem *close loop* atau *open*

loop. Sistem *close loop* untuk menjejak posisi matahari menggunakan sensor, contohnya sensor cahaya untuk menempatkan modul sel surya. Karena posisi permanen PV berubah, sistem ini dapat menghabiskan lebih banyak energi daripada *gain* terutama ketika cuaca berubah. Hal tersebut disebabkan karena sistem *close loop* menjejak posisi matahari secara akurat dan akan menjadi *feedback* untuk menggerakkan motor pada posisi tersebut. Sistem lainnya adalah dengan menggunakan sistem *open loop*, di mana perbedaannya terdapat pada pelacakan posisi relatif matahari yang ditentukan secara perhitungan dengan tepat kapan saja dan dimana saja. Sistem *open loop* memiliki kekurangan yaitu sistem *tracking* yang kurang akurat karena mengandalkan perhitungan posisi matahari, namun kelebihanannya yaitu dapat meningkatkan *gain* karena konsumsi dayanya yang rendah [9].

2.2.1 Solar Tracker Discrete

Solar tracker discrete bergerak melalui sejumlah posisi diskrit yang telah ditentukan sepanjang hari [17]. *Solar tracker discrete* berupaya mengurangi biaya dan kompleksitas dengan berfokus hanya pada beberapa posisi sehingga memungkinkan sistem kontrol yang lebih sederhana dan aktuator yang lebih murah. Penentuan posisi yang akan digunakan dapat ditentukan dengan menghitung model matematika untuk mengetahui posisi dari matahari.



Gambar 2. 4 Tiga posisi panel pada *solar tracker discrete* [2]

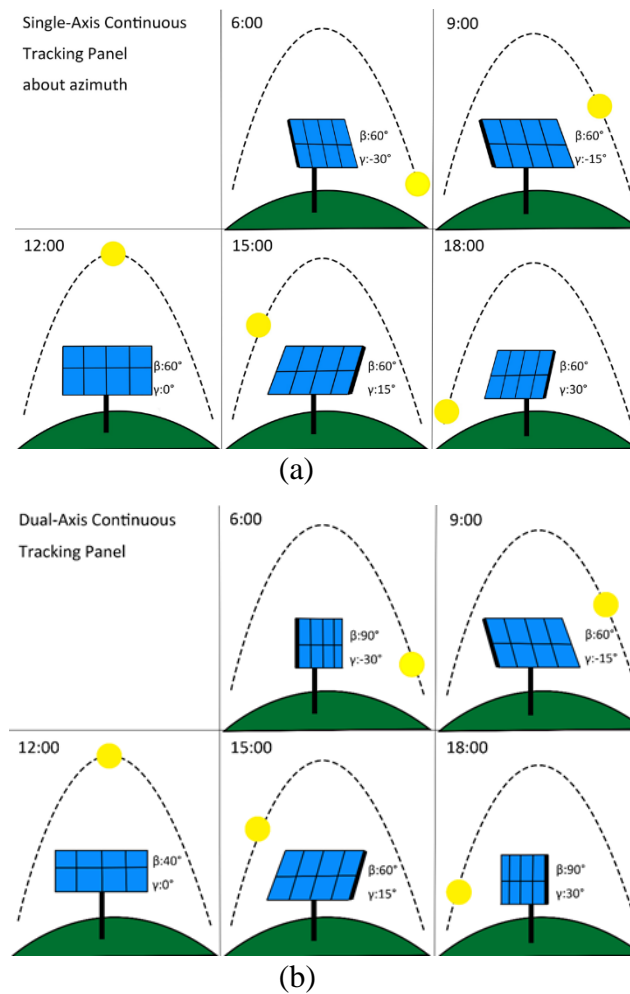
Jumlah pergerakan posisi *solar tracker discrete* bervariasi mengacu pada periode posisi matahari yaitu periode pagi, periode *solar noon*, dan periode sore. Sehingga biasanya jumlah pergerakan *solar tracker discrete* sebanyak tiga posisi

[18]. *Solar tracker discrete* adalah pendekatan memperbaiki sudut kemiringan panel PV yang menghadap matahari pada sudut yang telah dioptimalkan. Pada Gambar 2.4 posisi panel yang baik ditunjukkan ketika sudut kemiringan panel (β) dan sudut *azimuth* (γ) yang optimal. Sudut β adalah sudut antara permukaan panel terhadap sumbu horizontal. Sudut β positif ketika kemiringan permukaan menghadap selatan dan negatif untuk kemiringan permukaan menghadap ke utara. Sudut *azimuth* (γ) merupakan sudut proyeksi sumbu horizontal terhadap permukaan lokasi bujur, dimana nol ketika menghadap selatan, negatif ketika menghadap arah timur, dan positif ketika menghadap barat [2]. Sudut tersebut memegang peranan penting dalam pelacakan posisi matahari karena digunakan untuk menentukan posisi permukaan relatif terhadap sinar matahari dan permukaan panel yang sejajar dengan arah radiasi matahari.

2.2.2 Solar Tracker Continuous

Solar tracker continuous adalah sistem yang secara terus menerus menjejak posisi matahari sepanjang hari menggunakan sensor atau sistem kontrol yang kemudian akan menggerakkan PV [17]. Karena posisi matahari yang terus menerus berubah sepanjang hari menyebabkan intensitas matahari yang tertangkap oleh panel dapat lebih maksimal dengan *solar tracker continuous*. Penjejakan sinar matahari terus menerus merupakan hal yang kompleks dan memerlukan energi yang signifikan. Rotasi motor atau aktuator yang bekerja secara kontinyu menyebabkan sistem yang digunakan memakan lebih banyak konsumsi energi. *Gain* yang dihasilkan oleh *solar tracker continuous* dapat lebih maksimal karena memiliki *error* dalam penjejakan posisi matahari yang sangat kecil. *Solar tracker continuous* menggunakan sensor dalam menjejak posisi matahari sehingga lebih akurat untuk menggerakkan posisi panel tegak lurus dengan posisi matahari [19].

Pada sistem *solar tracker continuous single axis* bergerak pada satu sumbu rotasi motor untuk menggerakkan *solar panel* pada sudut *pitch*, sedangkan untuk sistem *dual-axis* membutuhkan dua motor untuk menggerakkan *solar panel* pada sudut *pitch* dan *yaw*. Dimana sudut *pitch* untuk menjejak sudut *altitude* matahari dengankan sudut *yaw* untuk menjejak sudut *azimuth* matahari.



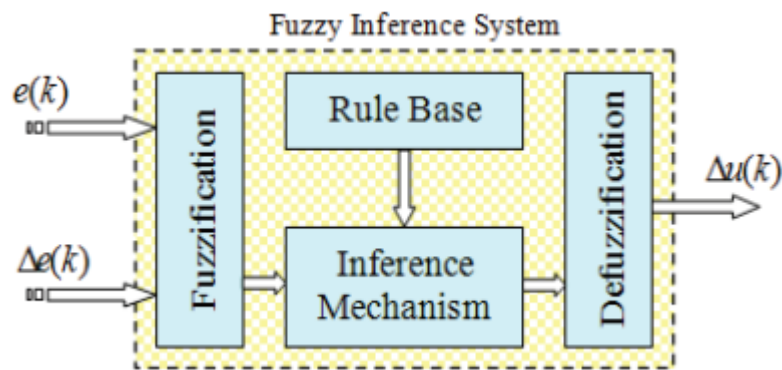
Gambar 2. 5 Beberapa sudut pada *solar tracker continuous* (a) *single axis*, (b) *dual-axis* [2]

2.3 Logika Fuzzy

Logika *fuzzy* adalah metode kontrol nonlinier adaptif yang berdasar pada *artificial intelligence* (AI). Salah satu keunggulan dalam penggunaan kontrol logika *fuzzy* adalah tidak memerlukan detail model matematika *plant* yang digunakan. Kontrol logika *fuzzy* menanamkan pengalaman dan intuisi operator, desainer, atau peneliti *plant*.

Kontrol logika *fuzzy* terdiri dari empat elemen yaitu fuzifikasi (*fuzzification*), *rule base*, *inference mechanism*, dan defuzifikasi (*defuzzification*). Berikut adalah penjelasan dari masing-masing elemen kontrol logika *fuzzy* :

- a. Fuzifikasi adalah proses untuk mengubah *input crisp* menjadi nilai keanggotaan *fuzzy*. Nilai *crisp* perlu dirubah ke nilai *fuzzy* agar kontrol yang diinginkan operator lebih mudah diterjemahkan.
- b. *Rule Base* terdiri dari data tabel informasi yang berkaitan dengan sistem untuk menghasilkan *output* dari setiap *rule*.
- c. *Inference mechanism* adalah pengambilan keputusan ahli dalam menafsirkan dan menerapkan keseluruhan *rule*.
- d. Defuzifikasi adalah proses mengubah kesimpulan dari *inference mechanism* yang masih berupa nilai *fuzzy* ke nilai *crisp*.



Gambar 2. 6 Sistem *fuzzy inference* [20]

2.3.1 Fungsi Keanggotaan Fuzzy

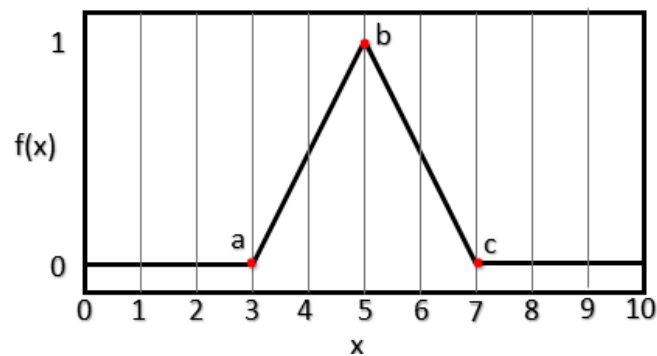
Kontrol logika *fuzzy* memiliki banyak fungsi keanggotaan, diantaranya yaitu fungsi segitiga, fungsi trapesium, fungsi *gaussian*, fungsi *bell* dan lain sebagainya. Fungsi keanggotaan yang akan digunakan pada sistem kontrol *fuzzy* ditentukan oleh ahli atau operator. Pada penelitian sebelumnya untuk kasus *solar tracker* fungsi keanggotaan yang efektif digunakan adalah fungsi keanggotaan segitiga [20]. Berikut merupakan persamaan-persamaan fungsi keanggotaan :

- a. Fungsi Keanggotaan Segitiga

Fungsi Keanggotaan segitiga memiliki 3 parameter yaitu a, b, dan c, dengan parameter b merupakan puncak kurva. Persamaan dari fungsi keanggotaan yang memenuhi distribusi fungsi segitiga dinyatakan melalui persamaan :

$$(x, a, b, c) = \max \left\{ \min \left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b} \right), 0 \right\} \dots\dots\dots(2.1)$$

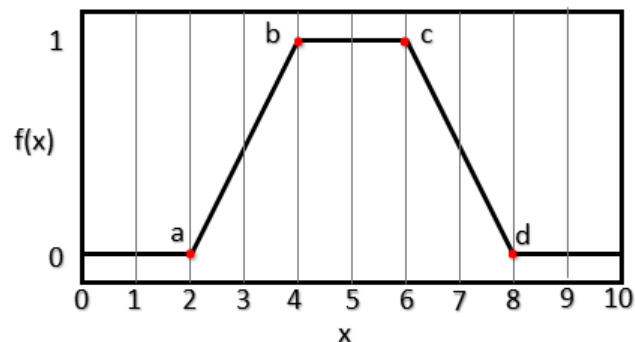
Berikut adalah kurva fungsi keanggotaan segitiga :



Gambar 2. 7 Fungsi keanggotaan segitiga [21]

b. Fungsi Keanggotaan Trapesium

Fungsi keanggotaan trapesium memiliki 4 parameter yaitu a, b, c, dan d, dengan parameter a dan b merupakan lebar kurva, parameter b dan c merupakan puncak kurva. Berikut adalah kurva fungsi keanggotaan trapesium :



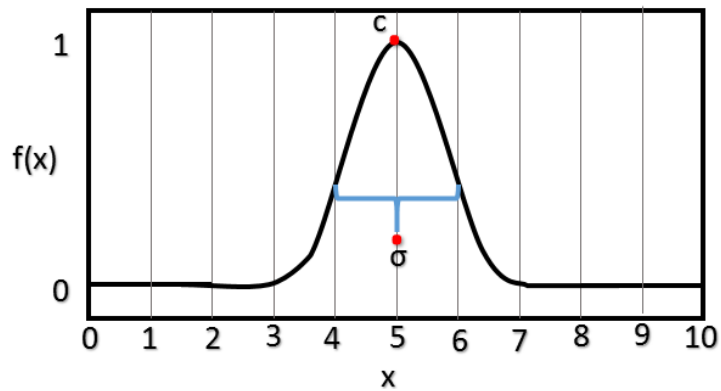
Gambar 2. 8 Fungsi keanggotaan trapesium [21]

Persamaan dari fungsi keanggotaan yang memenuhi distribusi fungsi trapesium dinyatakan melalui persamaan :

$$f(x; a, b, c, d) = \max \left\{ \min \left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{c-x}{c-b} \right), 0 \right\} \dots\dots\dots (2.2)$$

c. Fungsi Keanggotaan *Gaussian*

Fungsi keanggotaan *gaussian* memiliki 2 parameter yaitu c dan σ . Dimana parameter c merepresentasikan puncak kurva dan parameter varians σ merepresentasikan kurva. Berikut adalah kurva fungsi keanggotaan *gaussian* :



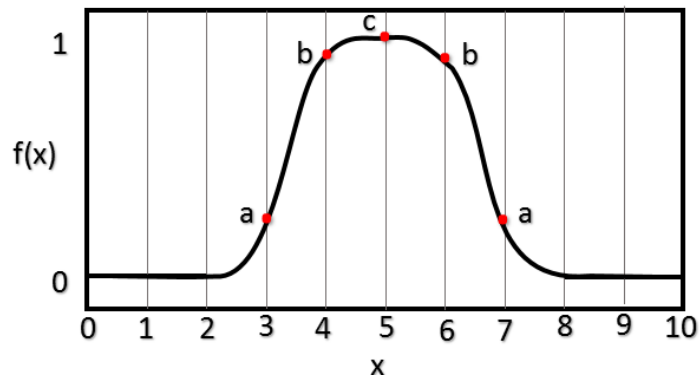
Gambar 2. 9 Fungsi keanggotaan *gaussian* [21]

Persamaan dari fungsi keanggotaan yang memenuhi distribusi fungsi *gaussian* dinyatakan melalui persamaan :

$$f(x; c, \sigma) = \exp\left(\frac{-0.5(x-c)^2}{\sigma^2}\right) \dots\dots\dots (2.3)$$

d. Fungsi Keanggotaan *Bell*

Fungsi keanggotaan *bell* memiliki 3 parameter yaitu a, b dan c. Dimana parameter a dan b merepresentasikan lebar kurva dan parameter c merepresentasikan puncak kurva. Berikut adalah kurva fungsi keanggotaan *bell* :

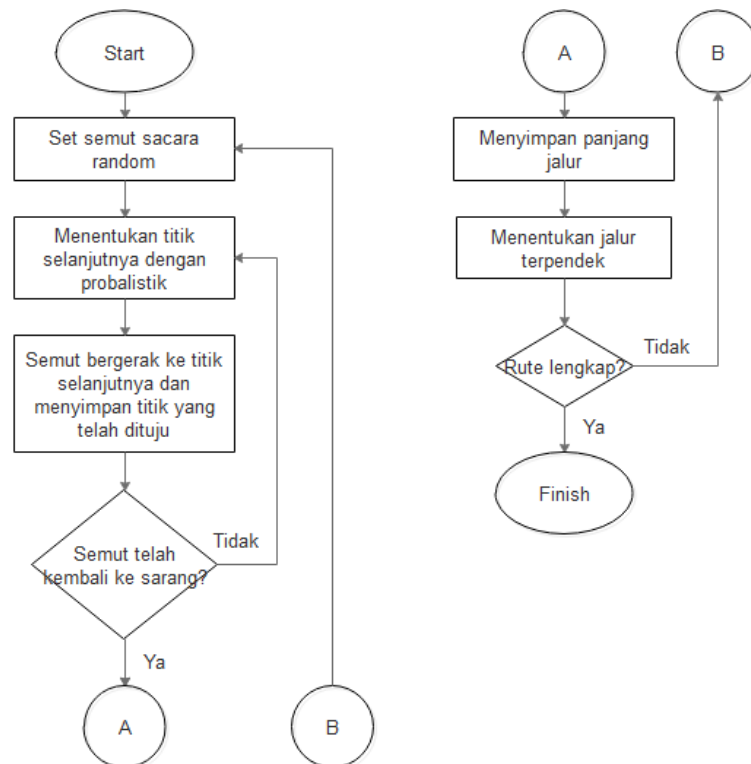


Gambar 2. 10 Fungsi keanggotaan *bell* [21]

Persamaan dari fungsi keanggotaan yang memenuhi distribusi fungsi *bell* dinyatakan melalui persamaan :

$$f(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left|\frac{x-c}{a}\right|^{2b}} \dots\dots\dots (2.4)$$

2.4 Ant Colony Optimization



Gambar 2. 11 Langkah-langkah *ant colony optimization* [21]

Ant colony optimization (ACO) adalah algoritma probabilistik yang meniru perilaku mencari makan semut agar dapat mencapai jalur paling optimal menuju sumber makanan. Metode ini dikembangkan oleh Dorigo dan kawan-kawan pada awal tahun 1990-an. Semut awalnya mencari jalan secara acak dan meninggalkan jejak feromon untuk diikuti semut lainnya. Semakin banyak semut yang melakukan perjalanan, maka jejak feromon yang tertinggal di jalan lebih tinggi, sehingga semakin besar kemungkinan semut selanjutnya memilih jalan tersebut. Akhirnya, sebagian besar semut mengikuti jejak tersebut sampai individu semut menemukan jalur terpendek melalui pertukaran informasi. Bagan proses optimisasi *ant colony* dapat dilihat pada Gambar 2.11.

2.4.1 Algoritma ACO

Algoritma dimulai dengan setiap semut terletak secara acak kemudian memulai proses pencarian *node* (titik) secara probabilistik. Semut akan berjalan menuju titik selanjutnya dengan memberikan jumlah feromon konstan pada semua

jalur. Ketika seekor semut k terletak di titik i , menggunakan jejak feromon untuk menghitung probabilitas memilih titik j berikutnya di lingkungan N_i^k dengan persamaan sebagai berikut [22]:

$$p_{ij}^{(k)} = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^\alpha}{\sum_{j \in N_i^{(k)}} \tau_{ij}^\alpha} & \text{if } j \in N_i^{(k)} \\ 0 & \text{if } j \notin N_i^{(k)} \end{cases} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

- p = probabilitas
- i, j = titik-titik yang akan dilewati semut
- k = semut
- τ_{ij} = jalur feromon
- α = konsentrasi feromon
- N_i^k = set titik lingkungan

Sebelum kembali ke sarang, seekor semut akan menyimpan jalur feromon yang telah dilewati $\Delta\tau^{(k)}$. Kemudian nilai feromon di-*update* dengan persamaan sebagai berikut :

$$\tau_{ij} \leftarrow \tau_{ij} + \Delta\tau^{(k)} \dots\dots\dots(2.6)$$

Ketika semut berjalan ke titik selanjutnya feromon yang telah dilalui mengalami evaporasi atau penurunan intensitas kadar feromon dengan persamaan sebagai berikut :

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - p)\tau_{ij}; \forall(i, j) \in A \dots\dots\dots(2.7)$$

Ketika semua semut kembali ke sarang, maka informasi feromon di-*update* sesuai dengan persamaan berikut :

$$\tau_{ij} = (1 - p)\tau_{ij} + \sum_{k=1}^N \Delta\tau_{ij}^k \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

$$\Delta\tau_{ij}^k = \frac{Q}{L_k} \dots\dots\dots(2.9)$$

Penurunan intensitas feromon menyebabkan semut-semut menjelajahi berbagai jalur selama proses pencarian. Semakin rendah intensitas feromon suatu jalur maka keputusan semut untuk melewati jalur tersebut juga semakin rendah, hal ini membantu dalam membatasi nilai maksimum yang diperoleh dari jalur feromon. Iterasi adalah suatu siklus lengkap yang melibatkan pergerakan semut, penguapan feromon dan penyimpanan kadar feromon [22]. Sehingga ketika semua semut telah kembali ke sarang, maka didapatkan *update* feromon sebagai berikut :

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Qf_{best}}{f_{worst}}; & \text{if } (i, j) \in \text{global best} \\ 0 & \end{cases} \dots\dots\dots(2.10)$$

2.5 Fuzzy-Ant Colony Optimization

Fuzzy-Ant Colony Optimization (F-ACO) dilakukan untuk mendapatkan jalur terpendek yang dapat diperoleh dengan menggunakan algoritma ACO. F-ACO menemukan jalur terpendek dengan cara semut akan mendekati jalan yang memiliki konsentrasi feromon tertinggi yang ditinggalkan oleh semut sebelumnya selama mencari makan. Semut akan memilih probabilitas feromon yang lebih tinggi daripada probabilitas feromon yang lebih rendah [23]. Hal tersebut dilakukan oleh semut sebagai cara untuk berkomunikasi dan mencari sumber makanan dikarenakan semut merupakan makhluk yang tidak memiliki mata.

Penggunaan ACO pada *fuzzy* bertujuan untuk mendapatkan hasil *output* yang optimal dengan dilakukan inisialisasi populasi acak semut. Berarti setiap semut akan mempertimbangkan satu *output* untuk setiap *rule base fuzzy*, kemudian mengevaluasi ciri masing-masing semut dan menghasilkan jalur optimal pada titik akhir [24]. Berikut adalah langkah-langkah optimisasi *fuzzy* menggunakan algoritma *ant colony* [25]:

- Langkah 1: Inisialisasi parameter-parameter ACO yaitu menetapkan jumlah iterasi, jumlah semut, α (konsentrasi feromon), β (nilai heuristik), ρ (laju penguapan feromon), arus dan tegangan konsumsi energi internal.
- Langkah 2: Tempatkan semut di titik awal secara acak, buat *rule base* untuk *input*

dan *output* bilangan *fuzzy*, dan fungsi keanggotaan *fuzzy*. Fungsi keanggotaan *fuzzy* didefinisikan agar dapat menentukan sejauh mana jalur yang dapat tercapai [26].

Langkah 3 : Ketika semut mulai bergerak dan kembali ke sarang konsentrasi feromon akan terus di-*update* untuk mendapatkan solusi terbaik selama iterasi berlangsung. Solusi terbaik ini akan digunakan oleh semut selanjutnya dalam memilih jalur untuk mendapatkan solusi baru. Apabila solusi terbaru yang didapatkan memiliki nilai yang lebih baik maka nilai tersebut akan digunakan untuk optimisasi bilangan *fuzzy*.

Langkah 4: Tentukan apakah algoritma yang telah memenuhi jumlah iterasi sudah mendapatkan solusi global. Jika tidak, kembali ke Langkah 2 untuk menerapkan iterasi baru dari awal titik. Jika sudah memenuhi solusi global maka lanjutkan ke langkah berikutnya.

Langkah 5: Tampilkan solusi terbaik pada defuzifikasi dan kurva konvergensi.

Langkah 6: Akhiri proses.

Penentuan *rule base* pada logika *fuzzy* memberikan peranan penting dalam keputusan nilai *output*. *Rule base* biasanya diatur oleh seorang ahli, namun apabila dilakukan pengaturan *rule base* secara manual maka parameter *fuzzy* tidak dapat sepenuhnya dioptimalkan. Oleh karena itu dalam mengoptimalkan parameter-parameter *fuzzy* digunakan algoritma *ant colony optimization*. Pada setiap iterasi, setiap semut sesuai dengan hubungan probabilitas pemilihan feromon, dan setiap *rule base fuzzy* akan mempengaruhi dalam penentuan nilai *output* dan menghasilkan solusi. Sehingga inisialisasi parameter *ant colony* dan *rule base* yang telah ditetapkan dapat memberikan nilai *output* yang lebih efisien.

2.6 Konsumsi Energi

Konsumsi energi internal merupakan energi yang dibutuhkan oleh sistem *solar tracker* pada penggunaan komponen-komponen penggerak yang menyebabkan *loss* energi yang cukup signifikan, sehingga energi *gain* yang dihasilkan dirasa kurang maksimal [16]. Pada penelitian ini energi yang dikonsumsi diantaranya aktuator, *sensing element*, mikrokontroler, dan data monitoring. Daya yang dikonsumsi untuk setiap aktuator diukur dan dihitung berdasarkan jumlah

gerakan yang dilakukan dalam sehari dan waktu yang dibutuhkan untuk suatu komponen dapat bekerja. Berikut adalah persamaan untuk menghitung konsumsi energi pada setiap komponen :

$$E (Wh) = Tegangan (V) \times Arus(I) \times Waktu Operasi (t) \dots\dots\dots(2.11)$$

Pergerakan aktuator atau dalam kasus ini adalah motor dapat diatur dengan kecepatan rendah agar lebih presisi dalam menjejak posisi matahari dan torsi yang tinggi. Untuk menggerakkan posisi *solar tracker* 60° sudut *pitch* membutuhkan waktu kurang lebih 27,7 detik sedangkan 60° sudut *yaw* membutuhkan waktu sekitar 13,8 detik [27]. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pengaturan pergerakan sudut dapat mempengaruhi waktu operasi komponen dan nilai konsumsi energi. Tingkat iradiasi suatu wilayah yang berbeda-beda juga mempengaruhi energi *gain* yang dihasilkan. Namun konsumsi energi yang dibutuhkan cenderung konstan karena jumlah komponen penggerak yang digunakan tetap dan PV terus melakukan *tracker*.

Konsumsi energi yang telah dihitung kemudian akan dihitung performansi pada *solar tracker*, hal ini dilakukan agar mendapatkan performansi terbaik. Daya keluaran *solar tracker* yang masih berupa *energy gross* (EG) selanjutnya akan dikurang dengan daya konsumsi energi sehingga menghasilkan *Netto Energy Gain* (NEG). Berikut adalah perhitungan performansi pada *solar tracker* :

$$E_{Gross} = \frac{E_{tracker(Wh)} - E_{fix(Wh)}}{E_{fix(Wh)}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.12)$$

$$NEG = \frac{(E_{tracker(Wh)} - E_{konsumsi(Wh)}) - E_{fix(Wh)}}{E_{fix(Wh)}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.13)$$

Energi *gain* yang dihasilkan oleh *solar tracker* akan lebih tinggi dibandingkan dengan PV fixed. Namun efisiensi *solar tracker* akan berkurang ketika mempertimbangkan konsumsi energi internalnya. Energi yang dikonsumsi dalam sistem solar tracker sering dianggap sebagai hilangnya energi (*losses*) yang dihasilkan dalam sistem PV. Apabila kapasitas sistem penggerak pada *solar tracker* dirasa terlalu besar tidak disarankan untuk menggunakan panel surya yang kecil karena akan menyebabkan kehilangan energi yang cukup tinggi pada *solar tracker*

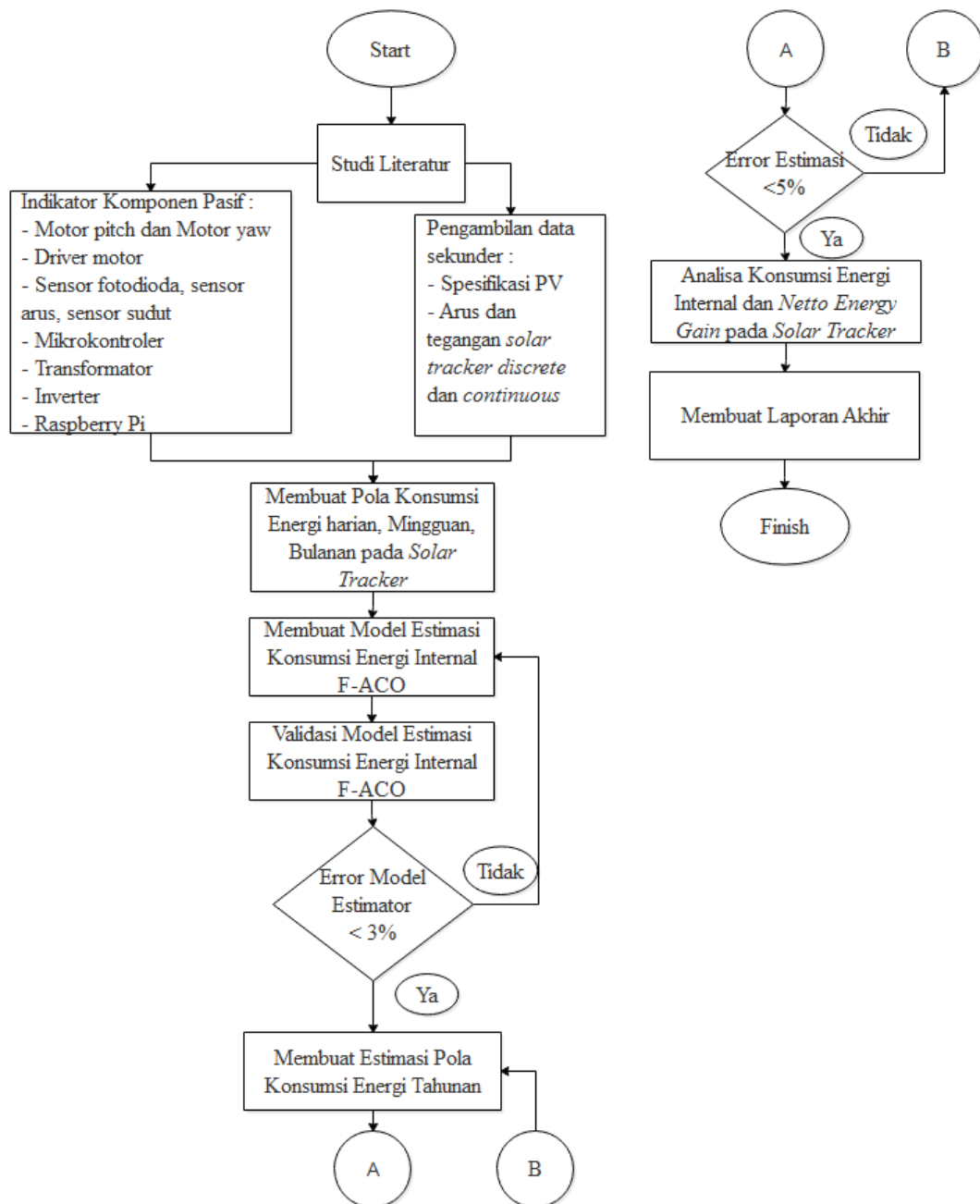
dibandingkan dengan sistem PV *fixed* [28]. Sehingga kapasitas sistem penggerak *solar tracker* harus disesuaikan dengan spesifikasi PV yang digunakan agar energi *gain* yang dihasilkan *solar tracker* dapat menjadi lebih optimal.

Kondisi iklim dan cuaca juga mempengaruhi energi *gain* pada *solar tracker*. Pada iklim yang terlalu panas menyebabkan panel surya menjadi *overheat* sehingga energi yang dihasilkan menjadi tidak stabil dan terjadi banyak *loss* energi ditambah dengan konsumsi energinya. Sedangkan pada kondisi iklim yang tropis cocok untuk menggunakan *solar tracker* karena ketika sudah dihitung konsumsi energinya tetap dihasilkan energi *gain* dibandingkan dengan PV *fixed*. [10]

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut ini merupakan diagram alir metodologi penelitian dalam tugas akhir ini mengenai Analisis Komparatif Konsumsi Energi Internal pada *Discrete-Continuous Solar Tracker* Berbasis *Fuzzy Ant Colony Algorithm* :



Gambar 3. 1 Flow chart penelitian tugas akhir

3.2 Studi literatur

Studi literatur dilakukan untuk mencari teori-teori dasar dan informasi terkait untuk menunjang penelitian pada tugas akhir ini. Studi literatur didapat dari jurnal, *handbook*, dan penelitian terdahulu terkait dengan *solar tracker*, estimasi, *fuzzy* dan *ant colony optimization*.

3.3 Pengambilan Data Sekunder

Data sekunder yang diperlukan pada tugas akhir ini adalah spesifikasi sumber energi yang digunakan yaitu *solar panel Polycrystalline-250W*. Spesifikasi komponen-komponen pasif yang digunakan yaitu motor DC *pitch* dan *yaw*, driver motor DC, mikrokontroler Atmega32, mikrokontroler STM3200 (digunakan pada sistem MPPT, *charging*, dan *inverter*), sensor *photodiode* TCS3200, sensor sudut CSPM10, sensor arus TCS712 (digunakan pada sistem MPPT dan *charging*), dan Raspberry Pi 3b untuk komunikasi data. Berikut adalah spesifikasi-spesifikasi *solar panel* dan komponen yang digunakan :

Tabel 3. 1 Spesifikasi *Solar Panel Polycrystalline-250W*

Spesifikasi <i>Solar Panel Polycrystalline-250W</i>	
	Spesifikasi
<i>Maximum Power at STC (P_{mpp})</i>	250 W
<i>Maximum Power Voltage at STC (V_{mpp})</i>	30 V
<i>Maximum Power Current at STC (I_{MPP})</i>	8.34 A
<i>Open Circuit Voltage (V_{OC})</i>	36.8 V
<i>Short Circuit Current at STC</i>	9 A
<i>Temperatur Coeff. of Short Circuit Current (μ)</i>	0.00053 A/°C
<i>Temperatur Coeff. of Short Circuit Voltage (Φ)</i>	-0.0036 V/°C
<i>PV Internal Resistance (R_{pv})</i>	0.15603 Ohm
<i>Dimensi</i>	1650 x 992 x 40 mm

Gambar di atas merupakan *solar panel* yang digunakan pada sistem *solar tracker discret* dan *continuous*, dimana *solar panel* berperan sebagai sumber energi pada sistem. Kedua sistem *solar tracker* menggunakan spesifikasi *solar panel* sama dengan spesifikasi yang telah dijabarkan pada Tabel 3.1. Dimana arus maksimum

dan tegangan maksimum yang dapat dihasilkan oleh *solar panel* masing-masing sebesar 8,34 A dan 30 V. Sehingga daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh *solar panel* sebesar 250 W.



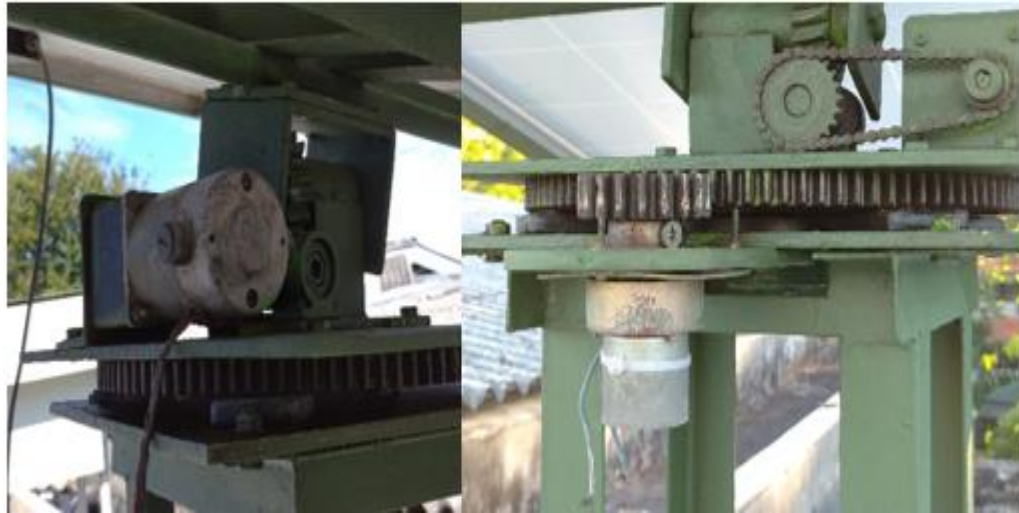
Gambar 3. 2 *Solar Panel Polycrystalline-250W*

Tabel 3. 2 Spesifikasi Motor DC

DC Motor Built-in Gearbox		
	Motor Pitch	Motor Yaw
Tegangan Operasi	DC 4,5 V – 18 V	DC 4,5 V – 18 V
Arus Operasi	1,5 A	1,5 A
Resistansi (R)	2,055 Ω	2,055 Ω
Induktasnsi (L)	0,005833	0,005833
Kecepatan	200 rpm	200 rpm
Torsi	3,6 Kg.cm	3,6 Kg.cm
Dimensi body (cm)	P = 10 x d = 6	P = 10 x d = 6
Dimensi Shaft (cm)	P = 3 x d = 0,5	P = 3 x d = 0,5
Berat	0,3 Kg	0,3 Kg

Motor DC adalah salah satu komponen utama yang paling dibutuhkan dalam sistem *solar tracker*, hal tersebut disebabkan karena motor DC merupakan sebuah aktuator pada sistem *solar tracker*. Terdapat dua jenis motor DC yang digunakan adalah motor *pitch* dan motor *yaw* dengan spesifikasi terdapat pada

Tabel 3.2. Motor *pitch* dan *yaw* digunakan pada *solar tracker continuous* sedangkan pada *solar tracker discrete* menggunakan motor *pitch* saja. Kedua motor tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut.

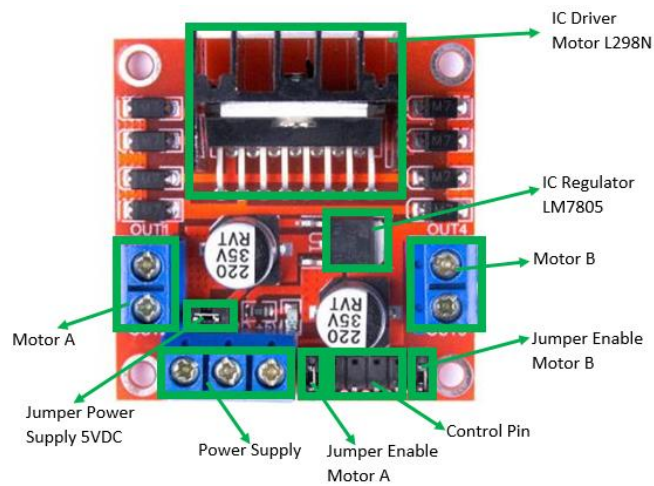


(a) (b)
Gambar 3. 3 Motor DC (a) *pitc* dan (b) *yaw*

Tabel 3. 3 Spesifikasi Driver Motor

Spesifikasi Driver Motor	
	Spesifikasi
Chip IC	IC L298N (<i>Double H Bridge Drive Chip</i>)
Tegangan Operasional	5 V
Arus Operasional	0 – 36 mA
Tegangan <i>Input</i>	5V – 35V
Arus <i>output</i> maksimum	2 A
Daya Maksimum	25 Watt

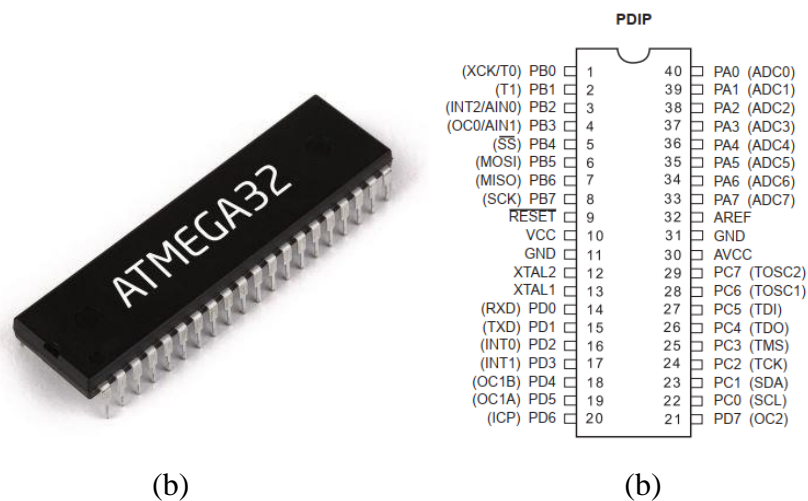
Tabel di atas merupakan spesifikasi driver Motor DC L298N. Driver Motor DC L298N merupakan suatu komponen yang berfungsi untuk mengatur pergerakan arah dan kecepatan motor DC. Motor DC tidak dapat berfungsi untuk menggerakkan *solar panel* tanpa menggunakan driver motor. Dapat dilihat pada Gambar 3.4 dimana komponen ini dapat bekerja dengan maksimal motor DC yang dapat diatur sebanyak dua buah yaitu pada *port* Motor A dan Motor B. Komponen ini dibutuhkan untuk setiap sistem *solar tracker discrete* dan *continuous*.



Gambar 3. 4 Driver Motor DC L298N

Tabel 3. 4 Spesifikasi Mikrokontroler Atmega32

Spesifikasi Mikrokontroler Atmega32	
	Spesifikasi
I/O	32 Programmable I/O Lines
Tegangan Operasi	2.7 - 5 V
Arus Operasi	12 - 15 mA
Kecepatan	0 - 16 MHz
Flash Memory	32 KB
Packages	40-pin PDIP, 44-lead TQFP, and 44-pad QFN/MLF
Dimensi	10 x 10 mm

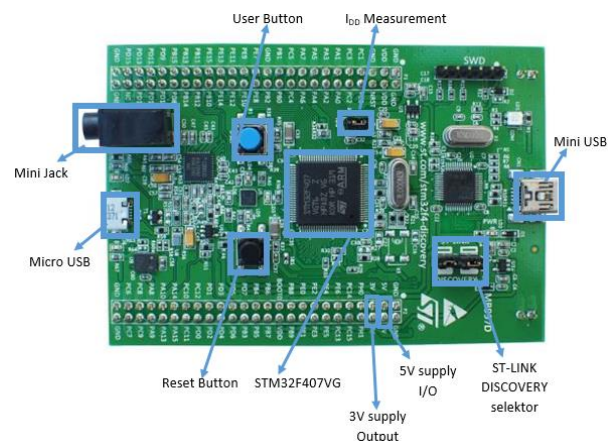


Gambar 3. 5 Atmega32 (a) IC dan (b) Pin Configuration

Mikrokontroler Atmega32 digunakan untuk mengatur dan memberi program untuk gerak dari motor DC. Mikrokontroler ini dipilih karena memiliki *flash memory* yang cukup besar dan 32 buah *port I/O* yang sangat memadai untuk berinteraksi dengan LCD, spesifikasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.4. Mikrokontroler ini digunakan pada masing-masing sistem *solar tracker*.

Tabel 3. 5 Spesifikasi Mikrokontroler STM32

Spesifikasi Mikrokontroler STM32	
	Spesifikasi
Tipe	STM32F407VG
Jumlah I/O	82
Tegangan Operasi	3.3 V
Arus Operasi	1 mA
Kapasitansi	3 pF
Resistansi	30 Ω
Dimensi	82,5 x 70 mm
Kecepatan	168 MHz
<i>Packages</i>	100 LQFP
<i>Core Size</i>	32-Bit
Besar Memori	1 MB
Besar RAM	192K x 8
Temperatur Operasi	-40 – 85 C

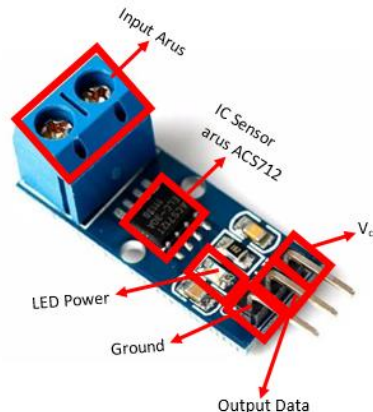


Gambar 3. 6 Mikrokontroler STM32

Mikrokontroler STM32 digunakan pada masing-masing sistem *solar tracker*. Mikrokontroler ini dibutuhkan tiga buah yang digunakan masing-masing untuk mengontrol subsistem MPPT (*Maximum Power Point Tracker*), *charging*, dan yang terakhir adalah *inverter*. Mikrokontroler ini memiliki kapasitas memori yang cukup besar dimana cocok untuk menyimpan data pada setiap subsistem dengan tegangan dan arus operasinya cukup kecil. Spesifikasi Mikrokontroler STM32 dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3. 6 Spesifikasi Sensor Arus ACS712

Spesifikasi Sensor Arus ACS712	
	Spesifikasi
Tipe	5A Module
Tegangan Operasi	4.5 - 5 V
Arus Operasi	6 - 11 mA
Resistansi	4,7 k Ω
Capasitansi	10 nF
Range Pengukuran Sensor	-5 – 5 A
Voltage 0A	2,5 V
<i>Scale Factor</i>	185 mA/V
Dimensi	33 mm x 14 mm
Berat	20 gram



Gambar 3. 7 Sensor Arus ACS712

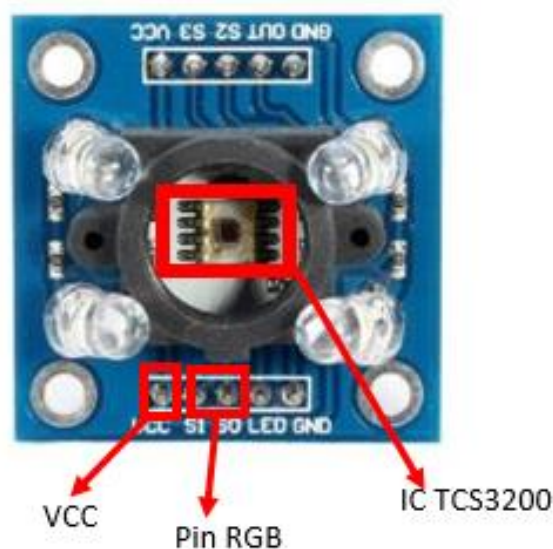
Tabel 3.6 merupakan spesifikasi sensor arus ACS712, sensor ini digunakan untuk mengukur besar arus keluaran pada subsistem. Sensor arus ini dibutuhkan

sebanyak dua buah untuk masing-masing subsistem MPPT dan *charging*. Sensor ini digunakan pada kedua sistem *solar tracker*.

Tabel 3. 7 Spesifikasi Sensor Photodioda

Spesifikasi Sensor Photodioda TCS3200	
	Spesifikasi
Tipe	TCS3200
Tegangan Operasi	5V
Arus Operasi	1.4 - 2 mA
Kapasitansi	0,1 μ F
Temperature range	-40 C – 85 C
Photodioda	8 x8 array untuk deteksi warna RGB
Dimensi	28,4 mm x 28,4 mm

Spesifikasi sensor photodioda TCS3200 dapat dilihat pada tabel 3.7. Sensor Photodioda TCS3200 adalah sensor yang digunakan untuk melakukan *tracker* matahari berdasarkan persebaran warnanya. Sensor ini dibutuhkan sebanyak empat buah pada *solar tracker continuous*.

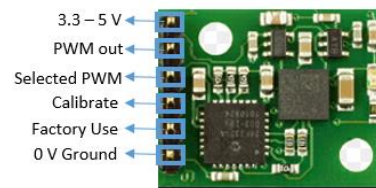


Gambar 3. 8 Sensor Photodioda TCS3200

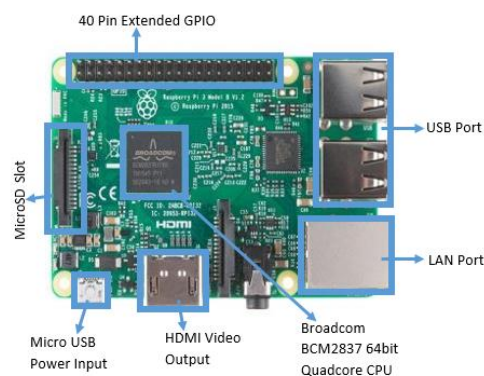
Tabel 3. 8 Spesifikasi Sensor CMPS 10

Spesifikasi Sensor CMPS 10	
	Spesifikasi
Tipe	<i>Tilt Compensated Compass Module – PWM Mode</i>
Tegangan Operasi	3,3 – 5 V
Arus Operasi	25 mA
<i>Pulse Widht</i>	1mS - 36.99mS
Sudut	0° - 359,9°
Dimensi	24 mm x 18 mm

Sensor CMPS 10 adalah sensor yang digunakan hanya pada sistem *solar tracker discrete* agar dapat melakukan *tracker* matahari berdasarkan posisi sudut matahari. Resolusi pengukuran sudut *pitch* dan *yaw* yang cukup rendah menjadi keunggulan dari komponen ini. Lebih lengkapnya dapat dilihat pada spesifikasi Tabel 3.8. Sensor ini hanya dibutuhkan satu buah saja pada *solar tracker discrete*.



Gambar 3. 9 CMPS 10 PWM Mode



Gambar 3. 10 Raspberry Pi 3B

Tabel 3.9 merupakan tabel spesifikasi Raspberry Pi 3B. Raspberry Pi 3B adalah *chip* komputer untuk menyimpan *database* tegangan dan arus dari

keseluruhan sistem yang akan dibuat. *Chip* ini dipilih karena memiliki RAM yang besar yaitu 1 GB. *Chip* ini digunakan pada kedua sistem *solar tracker*.

Tabel 3. 9 Spesifikasi Raspberry Pi 3B

Spesifikasi Raspberry Pi 3B	
	Spesifikasi
Tipe	Pi 3 model B
SoC	BCM2837
Tegangan Operasi	5 V
Arus Operasi	500 – 1000 mA
Kecepatan	1200 MHz
RAM	1GB
Port USB	4
<i>Ethernet</i>	100Base-T
<i>Wireless</i>	802.11n
<i>Bluetooth</i>	4.1
Dimensi	85 x 56 x 17mm

Tabel 3. 10 Spesifikasi *Inverter*

Spesifikasi Inverter	
	Spesifikasi
Tegangan <i>Input</i>	12 VDC
Tegangan <i>Output</i>	220 VAC
Frekuensi	50 – 60 Hz
Arus	5 A
Resistansi	100 Ω
Kapasitansi	1 F

Inverter berfungsi untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC. Pada penelitian ini tegangan DC merupakan tegangan keluaran *solar tracker* yang disimpan pada baterai yang kemudian diruban menjadi tegangan AC untuk disambungkan beban. Spesifikasi *inverter* dapat dilihat pada Tabel 3.10.



Gambar 3. 11 *Inverter 12 VDC ke 220 VAC*

3.4 Konsumsi Energi Internal pada Sistem Solar Tracker

Konsumsi energi dapat dihitung melalui persamaan (2.11). Konsumsi energi dibedakan pada sistem *solar tracker discrete* dan *solar tracker continuous* dikarenakan komponen yang digunakan pada kedua sistem tersebut berbeda dan waktu operasi dari kedua sistem yang berbeda. Dari pola ini dapat diketahui besar energi yang dibutuhkan pada sistem *solar tracker* dalam rentang harian, mingguan, dan bulanan. Pada penelitian ini *solar tracker* yang akan digunakan seperti pada Gambar 3.12.

Berikut adalah tabel hasil perhitungan konsumsi energi pada sistem *solar tracker discrete* dan *solar tracker continuous* :

Tabel 3. 11 Konsumsi Energi pada *Solar Tracker Discrete*

Komponen	Jumlah	Arus (A)	Tegangan (V)	Energi (W/h)
Motor DC Pitch	1	1,5	18	67.5
Driver motor	1	0,036	5	1.1
ACS712	2	0,011	5	1.8
Atmega32	1	0,015	5	0.75
STM 32	3	0,001	3,3	0.099
<i>Inverter</i>	1	5	12	50
CSPM 10	1	0,025	5	1.25
Raspberry	1	2,5	5	50
Total				172.499

Tabel di atas menunjukkan hasil perhitungan konsumsi energi pada *solar tracker discrete* dengan menggunakan persamaan (2.11). Konsumsi energi *solar*

tracker discrete dibedakan menjadi dua yaitu konsumsi pada tiga posisi dan lima posisi. Posisi tersebut diatur sedemikian rupa sehingga terpilih waktu-waktu dimana *solar tracker* akan bergerak. Pemilihan waktu ini akan mempengaruhi waktu operasi komponen konsumsi energi. Sehingga konsumsi energi yang dihasilkan pada *solar tracker discrete* tiga posisi dan lima posisi nantinya akan berbeda.



Gambar 3. 12 Sistem *Solar Tracker*

Tabel 3. 12 Konsumsi Energi pada *Solar Tracker Continuous*

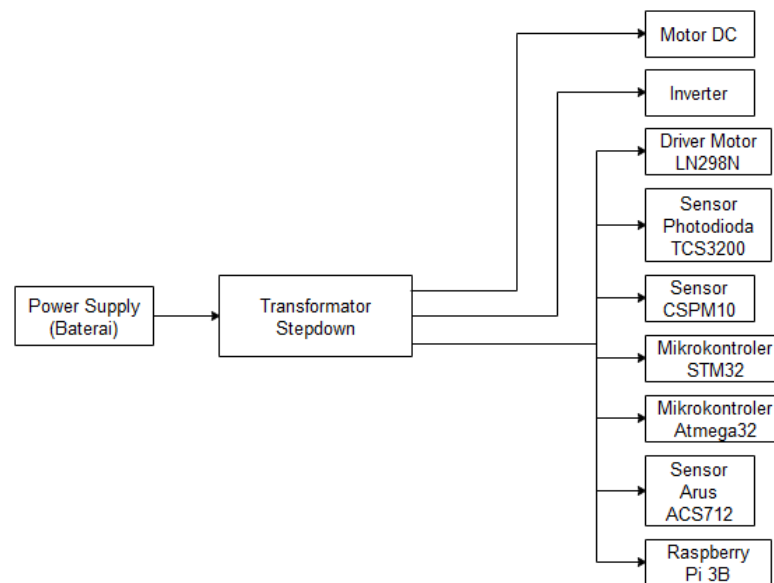
Komponen	Jumlah	Arus (A)	Tegangan (V)	Energi (Wh)
Motor DC Pitch	1	1,5	18	67,5
Motor DC Yaw	1	1,5	18	67,5
Driver motor	1	0,036	5	1,8
ACS712	2	0,011	5	1,1
Atmega32	1	0,015	5	0,825
STM 32	3	0,001	3,3	50
<i>Inverter</i>	1	5	12	0,099
Raspberry	1	2,5	5	50
TCS3200	4	0,002	5	0,1
Total				238,924

Tabel 3.12 menunjukkan perhitungan konsumsi energi *solar tracker continuous*. *Solar tracker continuous* bekerja selama 10 jam untuk *tracking* posisi

matahari yaitu dari pukul 07.00 – 17.00 WIB. Pada perhitungan yang dilakukan didapatkan total konsumsi energi pada *solar tracker continuous* sebesar 238,924 Wh.

3.5 Perancangan Model Konsumsi Energi Internal pada Sistem Solar Tracker

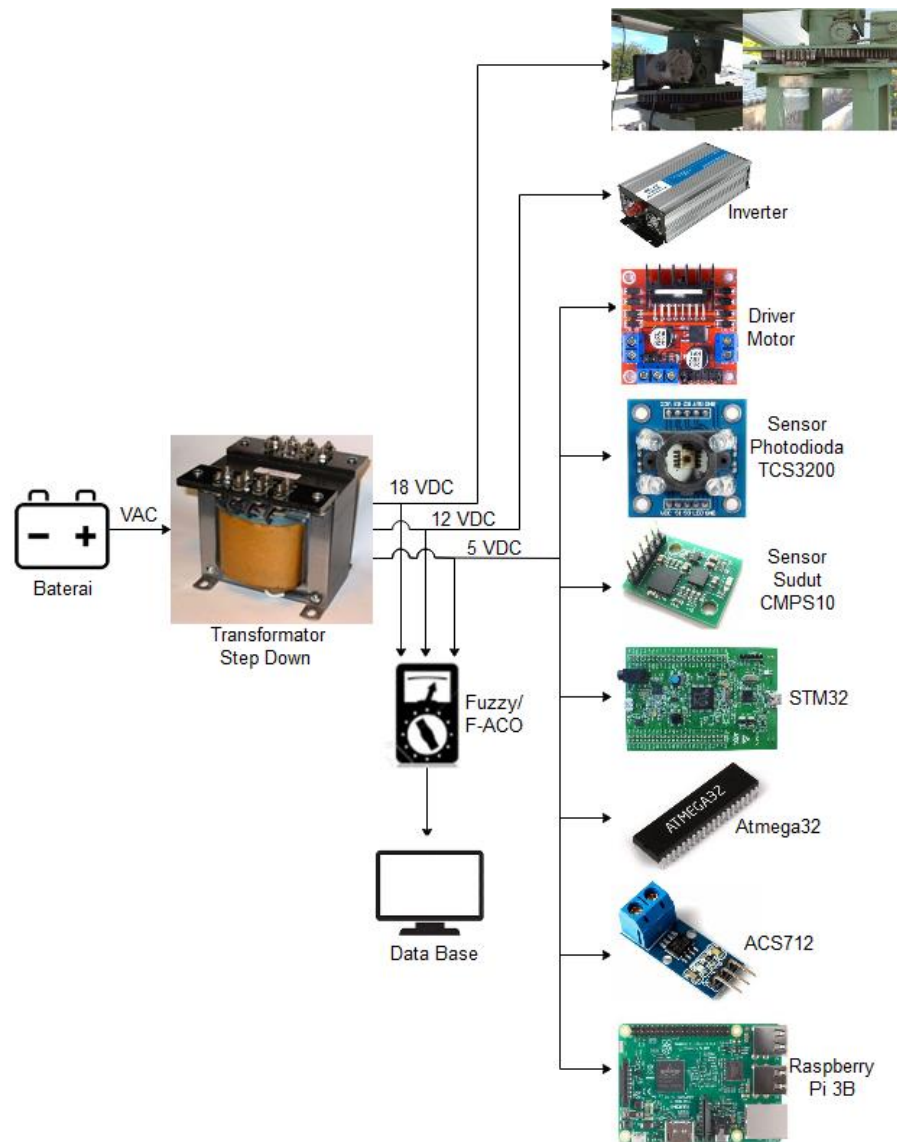
Perancangan model konsumsi energi dibedakan menjadi tiga model yaitu model *solar tracker discrete* tiga posisi dan lima posisi serta *solar tracker continuous*. Perancangan menggunakan komponen transformator *step down* dikarenakan tegangan sumber sebesar 30 V (sebagai kumparan primer) dan tegangan sekunder komponen-komponennya bervariasi antara 3,3 – 18 V. Tegangan sekunder dibagi menjadi tiga keluaran yaitu 18 V, 12V, dan 5 V.



Gambar 3. 13 Diagram Blok pada *Plant* Konsumsi Energi Internal

Keluaran pada tegangan sekunder ditentukan berdasarkan tegangan maksimum yang dibutuhkan tiap komponen. Sehingga dipilih transformator *step down* 4 kumparan untuk satu kumparan primer dan tiga kumparan sekunder. Komponen pada tegangan sekunder 18 V adalah motor DC dengan tegangan maksimum sebesar 18 V. Komponen pada tegangan sekunder 12 V adalah *inverter* dengan tegangan maksimum 12 V. Komponen pada tegangan sekunder 5 V diantaranya yaitu driver motor DC, sensor arus ACS712 dengan tegangan

maksimum 5 V, dan mikrokontroler Atmega32 dengan tegangan maksimum 5 V, mikrokontroler STM32 dengan tegangan maksimum sebesar 3,3 V, *raspberry* Pi 3B dengan tegangan maksimum 5 V, sensor sudut CSPM10 dengan tegangan maksimum 5 V (untuk *solar tracker discrete*), dan sensor photodiode TCS3200 dengan tegangan maksimum sebesar 5 V (untuk *solar tracker continuous*).



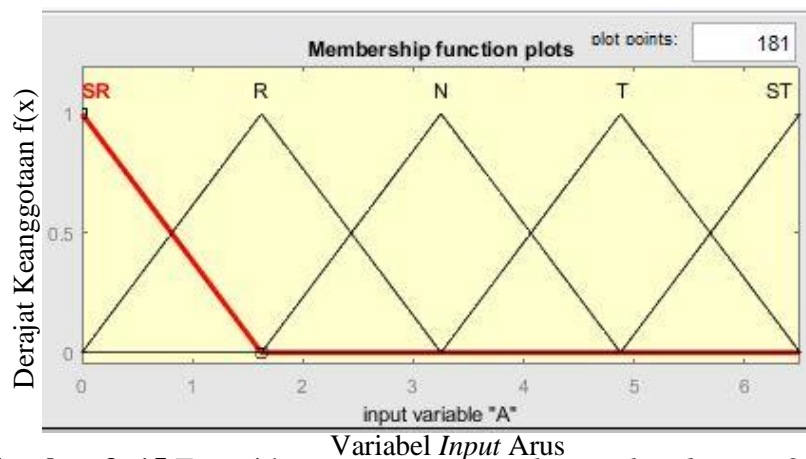
Gambar 3. 14 Diagram Skematik pada *Plant* Konsumsi Energi Internal

Sumber tegangan yang dibutuhkan transformator adalah sumber tegangan AC. Namun pada kasus *solar tracker* sumber tegangan yang dihasilkan merupakan sumber tegangan DC. Sehingga pada tegangan sumber diberi *thyristor* atau *switch*

untuk merubah sinyal AC menjadi sinyal DC. Hal tersebut dilakukan agar keluaran yang dihasilkan pada model konsumsi energi memiliki nilai berupa sinyal DC, apabila sumber tegangan yang digunakan adalah sumber tegangan DC kemudian langsung disambungkan ke transformator maka keluarannya adalah 0 karena transformator tidak dapat bekerja pada sumber tegangan DC. Pada kumparan sekunder diberi dioda agar sinyal energi berupa sinyal DC, tanpa dioda maka sinyal energi akan berubah kembali menjadi sinyal AC.

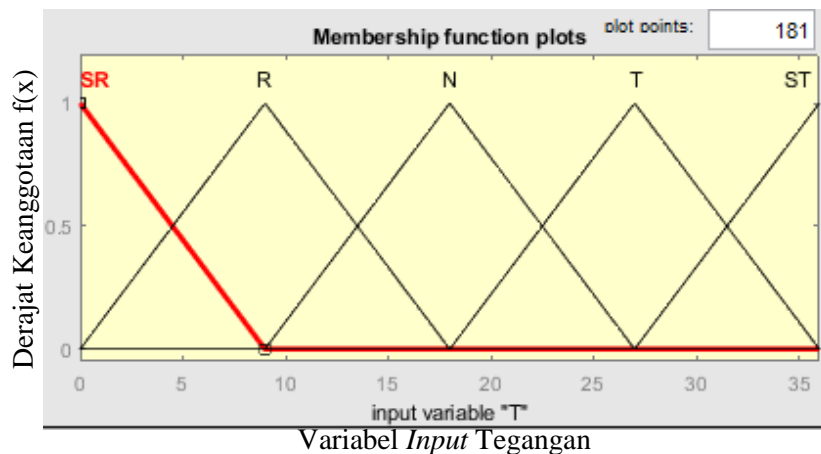
3.6 Perancangan *Fuzzy* dan *Fuzzy Ant Colony*

Estimasi konsumsi energi digunakan *fuzzy* dengan metode penyelesaian mamdani. Kemudian dilakukan proses penentuan fungsi keanggotaan *fuzzy* dan jumlah keanggotaan *fuzzy*. Jumlah keanggotaan *fuzzy* yang digunakan yaitu 5 yang terdiri dari bentuk fungsi keanggotaan segitiga. Pada *fuzzy* mamdani digunakan dua *input* yaitu arus dan tegangan dan *output* yaitu energi pada komponen *solar tracker discrete* dan *continuous*. Berikut merupakan pemodelan pada *solar tracker discrete*:



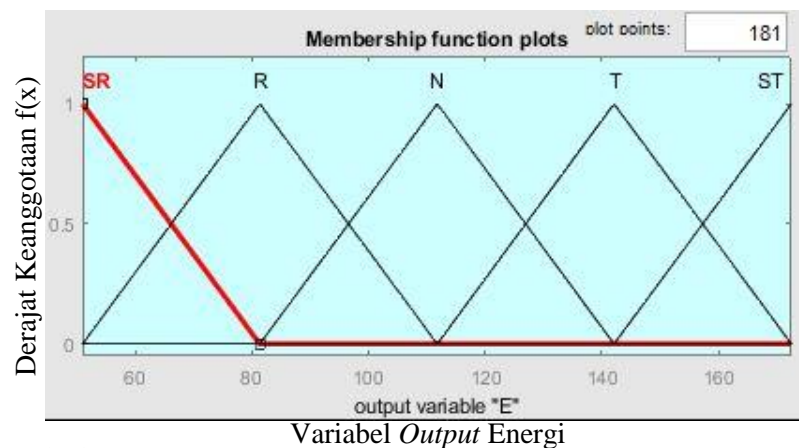
Gambar 3. 15 Fungsi keanggotaan arus *solar tracker discrete* 3 posisi

Kurva *input fuzzy* variabel "A" merepresentasikan arus dengan 5 fungsi keanggotaan terdapat pada Gambar 3.15 merupakan model *solar tracker discrete* 3 posisi dengan semesta pembicaraan [0 6.5]. *Range* tersebut didapatkan dari total arus pada setiap komponen konsumsi energi.



Gambar 3. 16 Fungsi keanggotaan tegangan *solar tracker discrete* 3 posisi

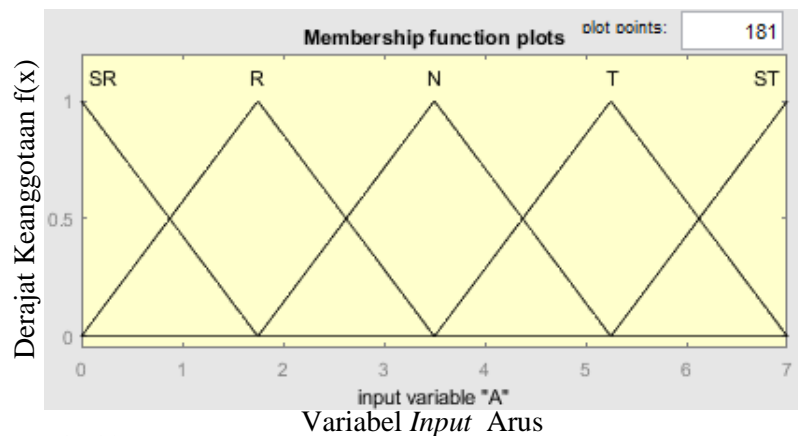
Gambar 3.16 merupakan kurva *input fuzzy* variabel “T” yang merepresentasikan tegangan pada model *solar tracker discrete* 3 posisi dengan semesta pembicaraan [5 36].



Gambar 3. 17 Fungsi keanggotaan *output energi solar tracker discrete* 3 posisi

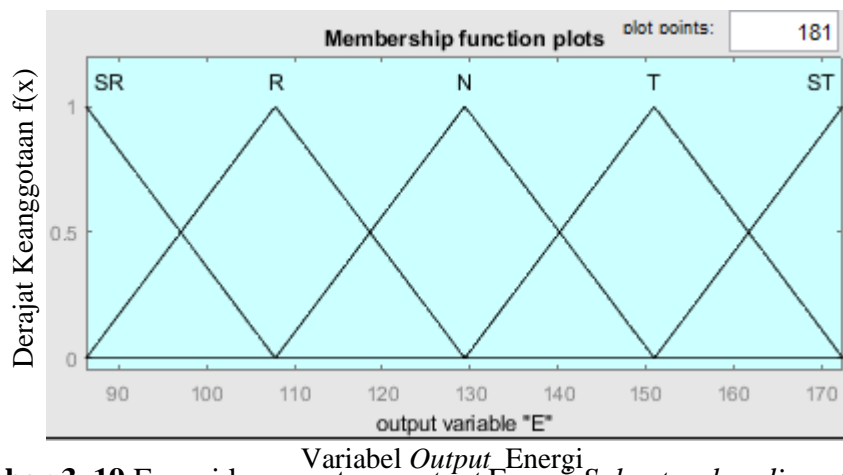
Pada gambar di atas menunjukkan kurva *output fuzzy* variabel “E” merupakan energi dengan 5 fungsi keanggotaan terdapat pada model *solar tracker discrete* 3 posisi dengan semesta pembicaraan [51 172.5].

Penentuan batas-batas fungsi keanggotaan didapatkan berdasarkan simulasi pemodelan konsumsi energi. Sehingga tegangan keluaran konsumsi energi *solar tracker discrete* pada tiga posisi dan lima posisi adalah sama dikarenakan komponen yang digunakan juga sama. Perbedaannya terletak pada fungsi keanggotaan *input* variabel arus dan fungsi keanggotaan *output* variabel energi. Berikut adalah perancangan *fuzzy* pada *solar tracker discrete* 5 posisi:



Gambar 3. 18 Fungsi keanggotaan *input* arus solar tracker discrete 5 posisi

Pada Gambar 3.18 merupakan kurva *input fuzzy* variabel “A” yang merepresentasikan variabel arus dengan 5 fungsi keanggotaan untuk model *solar tracker discrete* 5 posisi dengan semesta pembicaraan [0 7].

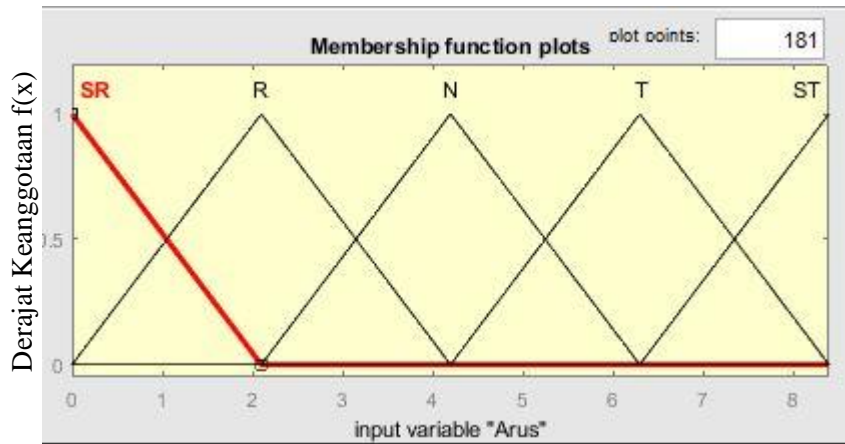


Gambar 3. 19 Fungsi keanggotaan *output* Energi Solar tracker discrete 5 posisi

Gambar di atas adalah kurva *output fuzzy* variabel “T” yaitu energi dengan 5 fungsi keanggotaan pada merupakan model *solar tracker discrete* 5 posisi dengan semesta pembicaraan [85 172].

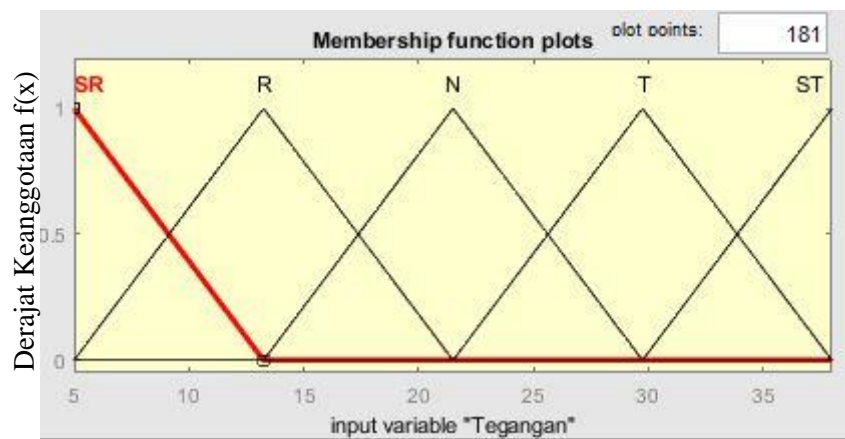
Selanjutnya menentukan *rule base* dengan membuat tabel kebenaran yang bertujuan untuk membuat keputusan *output*. *Rule base* pada *solar tracker discrete* 3 posisi dan 5 posisi dirancang memiliki *rule base* yang sama. Setiap sistem *solar tracker* memiliki nilai *input* dan *output* yang berbeda. Hal tersebut disebabkan karena waktu operasi komponen *solar tracker discrete* dan *continuous* berbeda.

Sehingga dibuat pula model *fuzzy* untuk *solar tracker continuous*. Berikut adalah kurva fungsi keanggotaan untuk *solar tracker continuous* :



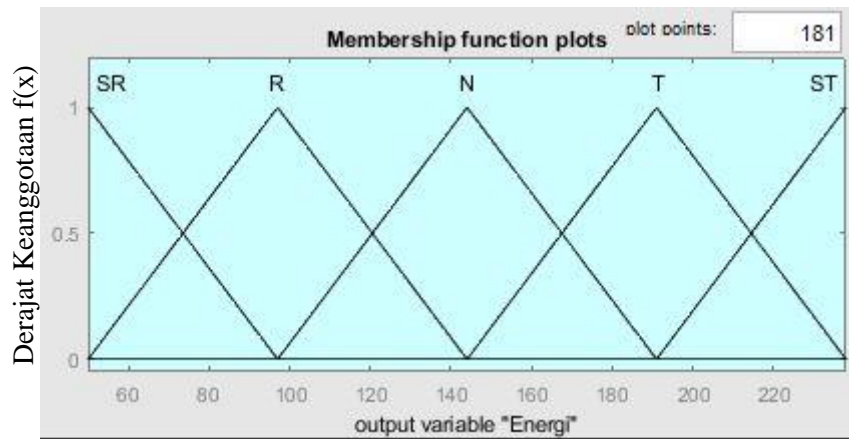
Variabel *Input* Arus
Gambar 3. 20 Fungsi keanggotaan arus *solar tracker continuous*

Gambar 3.20 merupakan kurva *input fuzzy* untuk *solar tracker continuous* pada variabel arus dengan 5 fungsi keanggotaan dengan semesta pembicaraan [0 8.5].



Variabel *Input* Tegangan
Gambar 3. 21 Fungsi keanggotaan tegangan *solar tracker continuous*

Kurva *input fuzzy* variabel Tegangan dengan 5 fungsi keanggotaan ditunjukkan pada Gambar 3.21 merupakan model *solar tracker continuous* dengan semesta pembicaraan [5 38].



Gambar 3. 22 Fungsi keanggotaan *output energi solar tracker continuous*

Gambar 3.22 adalah model kurva *output fuzzy solar tracker continuous* pada variabel Energi dengan 5 fungsi keanggotaan dengan semesta pembicaraan [50 238].

Tabel 3. 13 *Rule Base Solar Tracker Discrete*

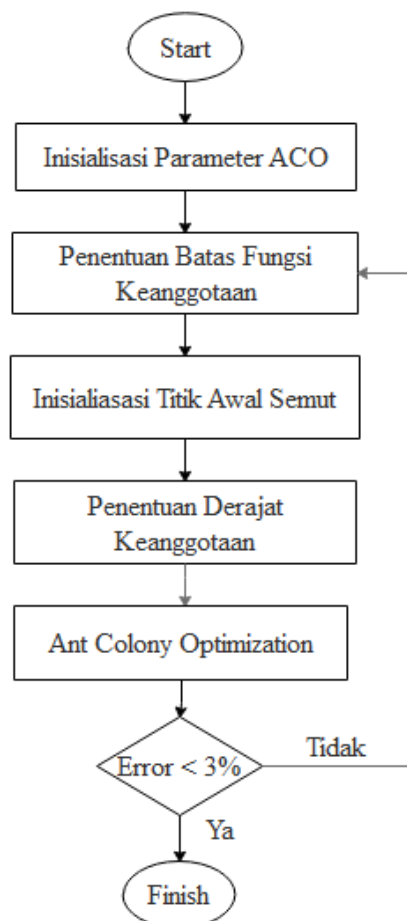
		Arus				
		SR	R	N	T	ST
Tegangan	SR	SR	SR	R	R	R
	R	SR	R	R	N	N
	N	R	N	N	N	T
	T	N	N	T	T	ST
	ST	T	T	T	ST	ST

Tabel 3. 14 *Rule Base Solar Tracker Continuous*

		Arus				
		SR	R	N	T	ST
Tegangan	SR	SR	SR	R	N	N
	R	R	R	R	N	N
	N	R	N	N	T	T
	T	N	T	T	T	T
	ST	N	T	T	ST	ST

Selanjutnya menentukan *rule base* dengan membuat tabel kebenaran yang bertujuan untuk membuat keputusan *output fuzzy* berupa konsumsi energi. Tabel 3.13 merupakan *rule base* yang telah dirancang. Dimana parameter SR merupakan sangat rendah, parameter R adalah rendah, parameter N adalah normal, parameter T adalah tinggi, dan parameter ST merupakan sangat tinggi. Penamaan parameter-parameter *fuzzy* ini akan digunakan untuk setiap sistem *solar tracker*.

Model *fuzzy* dan *rule base* yang telah dirancang selanjutnya dilakukan optimisasi *fuzzy ant colony*. Optimisasi dilakukan agar batas-batas *fuzzy* yang telah dibuat menjadi batas-batas yang nilainya paling optimal. Sehingga diharapkan konsumsi energi yang dihasilkan pada sistem *solar tracker* dapat diminimalisir dan performansi sistem *solar tracker* semakin meningkat. Berikut adalah proses optimisasi *fuzzy* menggunakan *ant colony*.



Gambar 3. 23 Diagram alir *ant colony optimization* pada *plant* konsumsi energi internal

Langkah awal optimisasi *ant colony* adalah dengan menentukan atau inisialisasi parameter ACO. Parameter-parameter yang dibutuhkan untuk metode optimisasi *ant colony* diantaranya yaitu jumlah iterasi, jumlah semut, konsentrasi feromon (α), nilai heuristik (β), dan laju penguapan feromon (ρ). Jumlah iterasi yang semakin banyak akan menghasilkan *error* yang lebih kecil, sehingga dilakukan iterasi sebanyak 500. Kemudian jumlah semut yang semakin banyak akan mempengaruhi pencarian global yang lebih baik, namun membutuhkan waktu komputasi yang lebih lama. Jumlah semut yang paling optimal digunakan adalah antara 30 – 50 ekor. Sehingga ditentukan jumlah semut yang digunakan sebanyak 40 ekor. *Pheromone trail weight* (α) merupakan ketetapan intensitas jarak antar semut. Kemudian nilai heuristik (β) merupakan ketetapan pengendali visibilitas. Ketika nilai α dan β kurang dari 0,5 maka akan menghasilkan nilai *local minimum*, namun apabila nilai α dan β lebih dari 1 maka kecepatan konvergensi akan semakin berkurang. Sehingga nilai α dan β paling baik digunakan antara 0.5 – 1. Pada penelitian ini digunakan nilai α dan β masing-masing adalah 0.75 dan 0.65. Laju penguapan feromon (ρ) merupakan besar penguapan jejak semut yang telah melewati suatu jalur. Nilai ρ yang paling baik digunakan antaran 0.02 – 0.1. Sehingga nilai ρ yang digunakan adalah 0.075. Lebih jelasnya parameter-parameter ACO ditulis dalam Tabel 3.15 berikut :

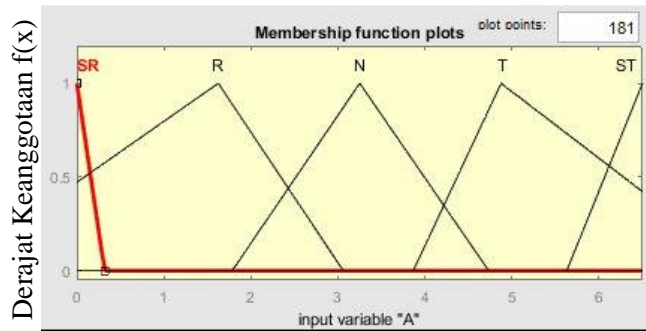
Tabel 3. 15 Parameter-parameter ACO

Parameter	Nilai
Jumlah iterasi	500
Jumlah semut	40
<i>Pheromone trail weight</i> (α)	0.75
Nilai heuristik (β)	0.65
Laju penguapan feromon (ρ)	0.075

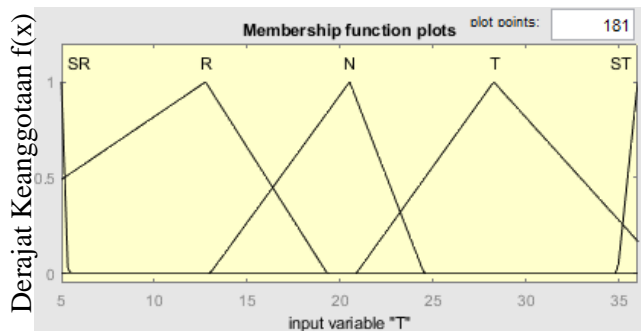
Parameter-parameter *ant colony* yang telah ditentukan selanjutnya adalah dilakukan optimisasi sampai mencapai iterasi maksimum. Semesta pembicaraan *fuzzy* diperlukan sebagai konstrain ACO sedangkan MSE (*Mean Square Error*) dari ACO dapat di definisikan sebagai persamaan berikut :

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - t_t)^2 \dots\dots\dots(3.1)$$

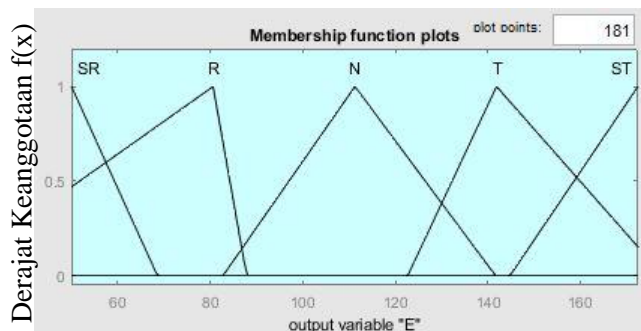
Batas-batas linguistik yang sudah ditentukan akan masuk algoritma ACO untuk mendapatkan batas-batas yang optimal dari setiap variabel linguistik. Batas-batas optimal variabel linguistik tersebut selanjutnya akan menjadi batas-batas hasil *update* fungsi keanggotaan baru yang paling optimal. Berikut adalah *fuzzy* yang telah dioptimisasi *ant colony* :



Gambar 3. 24 Fungsi keanggotaan arus F-ACO solar tracker discrete 3 posisi

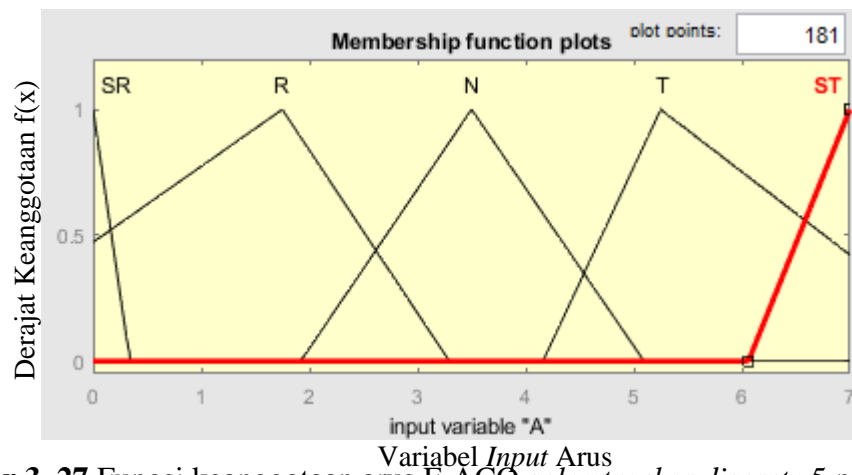


Gambar 3. 25 Fungsi keanggotaan tegangan F-ACO solar tracker discrete 3 posisi

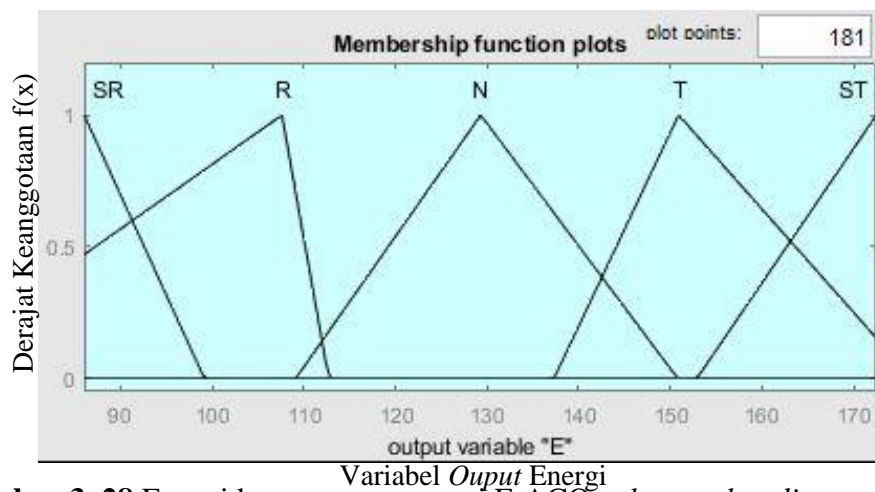


Gambar 3. 26 Fungsi keanggotaan energi F-ACO solar tracker discrete 3 posisi

Gambar 3.24, Gambar 3.25, dan Gambar 3.26 merupakan hasil fungsi keanggotaan F-ACO pada *solar tracker discrete* 3 posisi dimana masing-masing gambar menunjukkan variabel *input* arus dan tegangan serta variabel *output* energi. Batas-batas dari setiap variabel linguistik berubah ke batas-batas yang optimal. Terlihat bahwa variabel linguistik SR dan ST cenderung tetap atau lebih menyempit dikarenakan pada variabel linguistik SR arus dan tegangan yang kecil maka dianggap komponen tidak bekerja sedangkan ketika batas variabel linguistik ST melebar maka kemungkinan konsumsi energinya sangat tinggi adalah besar.



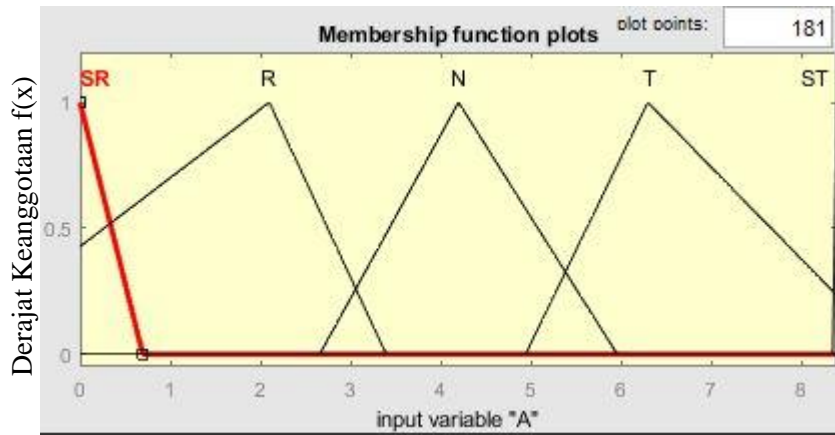
Gambar 3. 27 Fungsi keanggotaan arus F-ACO *solar tracker discrete* 5 posisi



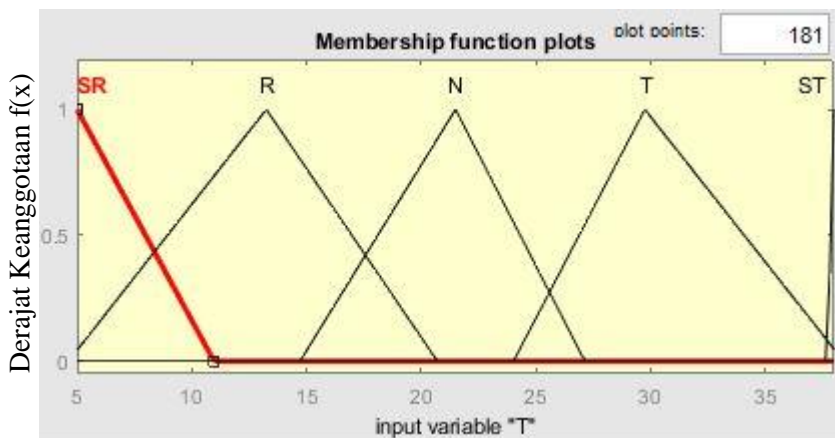
Gambar 3. 28 Fungsi keanggotaan energi F-ACO *solar tracker discrete* 5 posisi

Tegangan keluaran pada *solar tracker discrete* 3 posisi dan 5 posisi adalah sama sehingga model F-ACO variabel tegangan sama dengan *discrete* 3 posisi pada Gambar 3.25. Sedangkan Gambar 3.27 dan Gambar 3.28 merupakan variabel *input*

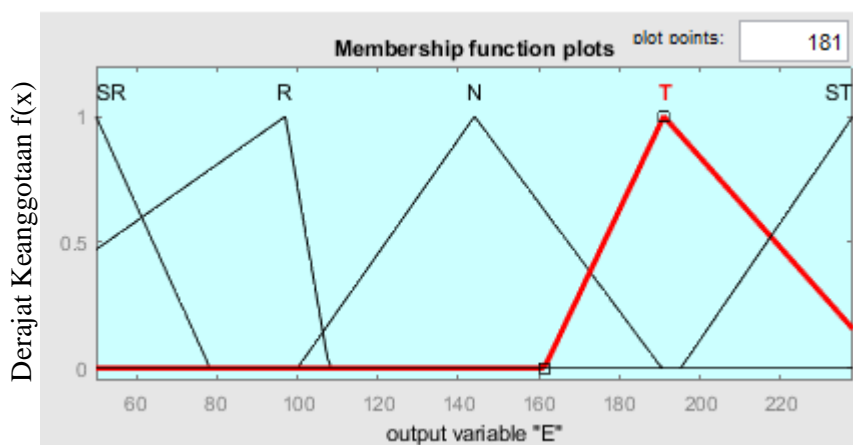
arus dan variabel *output* energi pada *solar tracker discrete* 5 posisi dengan batas-batas optimal pada setiap variabel linguistiknya.



Variabel *Input Arus*
Gambar 3. 29 Fungsi keanggotaan arus F-ACO *solar tracker continuous*



Variabel *Input Arus*
Gambar 3. 30 Fungsi keanggotaan tegangan F-ACO *solar tracker continuous*



Variabel *Input Arus*
Gambar 3. 31 Fungsi keanggotaan energi F-ACO *solar tracker continuous*

Gambar 3.29, Gambar 3.30, dan Gambar 3.31 adalah hasil optimisasi *fuzzy* dengan optimisasi *ant colony* fungsing keanggotaan *input* arus, tegangan, dan fungsi keanggotaan *output* energi. Pada proses optimisasi ini batas yang dirubah hanya batas bawah dari setiap variabel linguistik sedangkan batas atas dijaga tetap pada derajat keanggotaan yang bernilai satu.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil simulasi dan analisis pemodelan konsumsi energi internal pada sistem *solar tracker discrete* 3 posisi dan 5 posisi serta *solar tracker continuous*. Pemodelan konsumsi energi yang telah dibuat kemudian dibandingkan hasil *ouput*-nya dengan konsumsi energi yang menggunakan *fuzzy* dan F-ACO (*Fuzzy Ant Colony Optimization*). Dilakukan optimisasi *ant colony* agar mendapatkan nilai *fuzzy* yang optimal. Energi konsumsi yang dihasilkan akan lebih optimal pula, sehingga *gain* energi yang diperoleh *solar tracker* juga semakin optimal.

4.1 Parameter *Fuzzy*

Parameter *fuzzy* adalah batas-batas fungsi keanggotaan *fuzzy* yang merepresentasikan nilai *input* dan *output* sistem. *Input* yang digunakan untuk konsumsi energi internal adalah arus dan tegangan, sedangkan *output*-nya adalah energi. Batas-batas fungsi keanggotaan *fuzzy* yang telah ditentukan nantinya akan dioptimisasi menggunakan *ant colony optimization* yang nantinya disebut F-ACO. Batas-batas fungsi keanggotaan *fuzzy solar tracker discrete* 3 posisi yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Batas *Fuzzy Solar Tracker Discrete* 3 Posisi

Parameter	Input Arus	Input Tegangan	Output Energi
SR	[-1.625 0 1.625]	[-2.75 5 12.75]	[20.63 51 81.38]
R	[0 1.625 3.25]	[5 12.75 20.5]	[51 81.38 111.8]
N	[1.625 3.25 4.875]	[12.75 20.5 28.25]	[81.38 111.8 142.1]
T	[3.25 4.875 6.5]	[20.5 28.25 36]	[111.8 142.1 172.5]
ST	[4.875 6.5 8.125]	[28.25 36 43.75]	[142.1 172.5 202.9]

Tabel di atas adalah batas-batas *fuzzy* pada *solar tracker discrete* dengan 3 posisi sebelum dilakukan optimisasi. Kemudian ditentukan pula batas-batas fungsi keanggotaan *fuzzy* untuk *solar tracker discrete* 5 posisi sebagai berikut :

Tabel 4. 2 Batas *Fuzzy Solar Tracker Discrete 5 Posisi*

Parameter	Input Arus	Input Tegangan	Output Energi
SR	[-1.75 0 1.75]	[-2.75 5 12.75]	[64.68 86.24 107.8]
R	[0 1.75 3.5]	[5 12.75 20.5]	[86.24 107.8 129.4]
N	[1.75 3.5 5.25]	[12.75 20.5 28.25]	[107.8 129.4 151]
T	[3.5 5.25 7]	[20.5 28.25 36]	[129.4 151 172.5]
ST	[5.25 7 8.75]	[28.25 36 43.75]	[151 172.5 194]

Kemudian batas-batas fungsi keanggotaan *fuzzy solar tracker continuous* yang telah dirancang adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 3 Batas *Fuzzy Solar Tracker Continuous*

Parameter	Input Arus	Input Tegangan	Output Energi
SR	[-2.125 0 2.125]	[-9.5 0 9.5]	[3 50 97]
R	[0 2.125 4.25]	[0 9.5 19]	[50 97 144]
N	[2.125 4.25 6.375]	[9.5 19 28.5]	[97 144 191]
T	[4.25 6.375 8.5]	[19 28.5 38]	[144 191 238]
ST	[6.375 8.5 10.63]	[28.5 38 47.5]	[191 238 285]

Batas-batas *fuzzy* tersebut kemudian dimasukkan pada sistem ACO untuk dihitung nilai optimalnya sampai menuju iterasi maksimal sehingga didapatkan batas fungsi keanggotaan baru. Batas-batas fungsi keanggotaan F-ACO *solar tracker discrete 3 posisi, 5 posisi, dan solar tracker continuous* yang diperoleh dari hasil optimisasi adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 4 Batas F-ACO *Solar Tracker Discrete 3 Posisi*

Parameter	Input Arus	Input Tegangan	Output Energi
SR	[-2.125 0 0.7038]	[-3.25 5 10.98]	[3 50 78.32]
R	[-1.589 2.125 3.437]	[4.631 13.25 20.7]	[8.1 97 108]
N	[2.694 4.25 6.031]	[14.6 21.4 27.1]	[100 144 190.5]
T	[5.002 6.375 9.145]	[24.03 29.75 38.43]	[161.3 191 246.7]
ST	[8.452 8.5 10.63]	[37.73 38 46.25]	[195.2 238 285]

Batas-batas fungsi keanggotaan F-ACO untuk *solar tracker discrete* 5 posisi yang diperoleh dari optimisasi dapat dilihat pada Tabel 4.5 sebagai berikut :

Tabel 4. 5 Batas F-ACO *Solar Tracker Discrete* 5 Posisi

Parameter	Input Arus	Input Tegangan	Output Energi
SR	[-1.75 0 0.3415]	[-2.75 5 5.345]	[64.38 86 99.13]
R	[-1.568 1.75 3.295]	[-2.462 12.75 19.29]	[66.82 107.6 112.7]
N	[1.919 3.5 5.096]	[12.99 20.5 24.5]	[109.1 129.3 150.8]
T	[4.16 5.25 8.28]	[20.84 28.25 37.57]	[137.3 150.9 176.4]
ST	[6.06 7 8.28]	[34.92 36 43.75]	[152.9 172.5 194.1]

Batas-batas fungsi keanggotaan F-ACO (*fuzzy ant colony*) untuk *solar tracker continuous* yang diperoleh dari optimisasi *ant colony* adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 6 Batas F-ACO *Solar Tracker Continuous*

Parameter	Input Arus	Input Tegangan	Output Energi
SR	[-2.125 0 0.7038]	[-3.25 5 10.98]	[3 50 78.32]
R	[-1.589 2.125 3.437]	[4.631 13.25 20.7]	[8.099 97 107.9]
N	[2.694 4.25 6.031]	[14.62 21.41 27.05]	[100 144 190.5]
T	[5.002 6.375 9.145]	[24.03 29.75 38.43]	[161.3 191 246.7]
ST	[8.452 8.5 10.63]	[37.73 38 46.25]	[195.2 238 285]

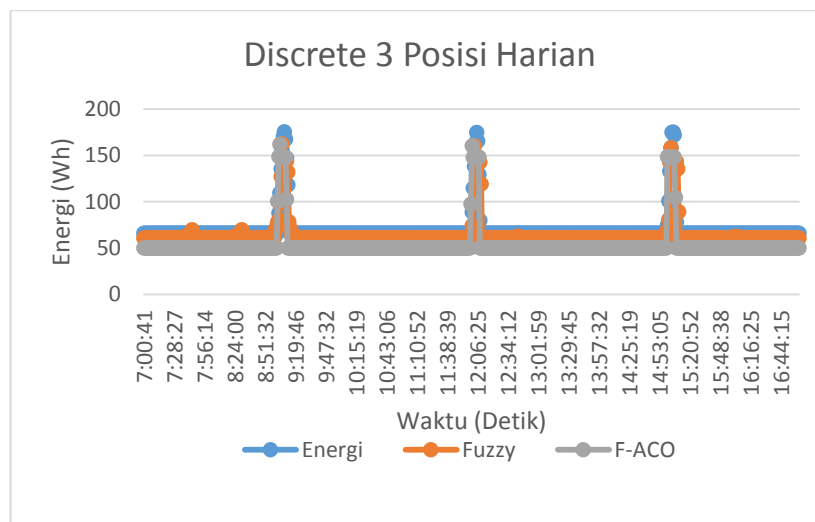
Batas-batas *fuzzy* dan batas-batas baru F-ACO selanjutnya akan digunakan ke dalam model simulasi konsumsi energi pada masing-masing sistem *solar tracker*. Kemudian dapat dibandingkan *output* konsumsi energi konvensional, menggunakan metode *fuzzy*, dan dengan metode F-ACO. Konsumsi energi konvensional merupakan perhitungan manual kebutuhan konsumsi energi pada *solar tracker* yang telah dilakukan pada sub bab 3.4. Perhitungan ini dilakukan dengan tujuan untuk membandingkan nilai konsumsi energi sebelum dilakukan optimisasi. Pada perhitungan ini diambil nilai tegangan dan arus yang paling tinggi pada spesifikasi-spesifikasi komponen konsumsi energi.

4.2 Hasil Konsumsi Energi Solar Tracker Discrete

Konsumsi energi *solar tracker discrete* yang didapatkan dari hasil simulasi dibedakan menjadi *solar tracker discrete* 3 posisi dan 5 posisi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa konsumsi energi menggunakan F-ACO lebih baik dibanding menggunakan *fuzzy* pada *solar tracker discrete* 3 posisi maupun 5 posisi. konsumsi energi untuk *solar tracker discrete* 3 posisi diketahui lebih rendah dibandingkan dengan *solar tracker discrete* 5 posisi hal tersebut disebabkan oleh bekerjanya komponen penggerak *solar tracker* 5 posisi membutuhkan lima kali kerja untuk menuju posisi yang diinginkan sedangkan untuk *solar tracker* 3 posisi membutuhkan tiga kali kerja untuk menuju posisi yang diinginkan.

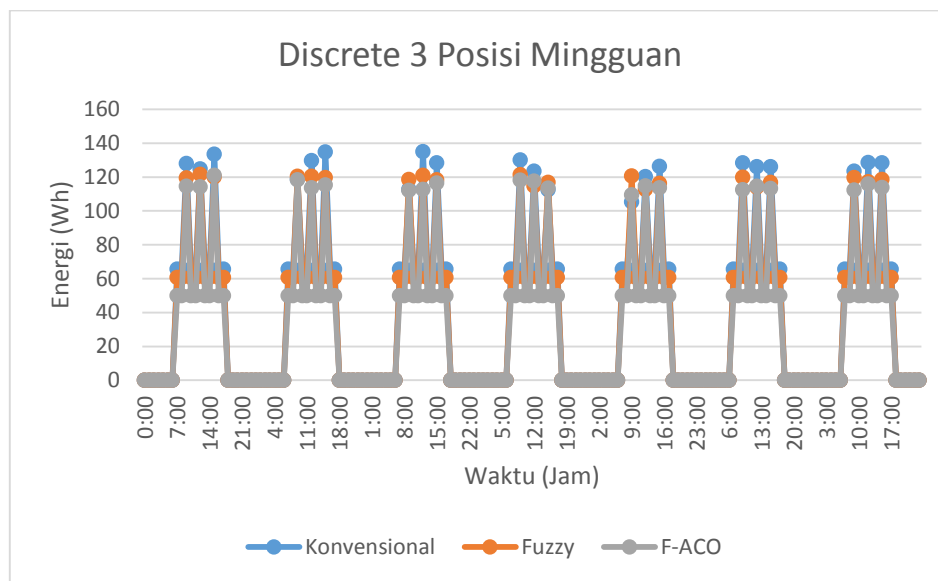
4.2.1 Konsumsi Energi Solar Tracker Discrete 3 Posisi

Pada *solar tracker discrete* 3 posisi, posisi tersebut ditentukan dengan membagi waktu operasi *tracker* menjadi 3 waktu bagian yaitu 07.00 – 10.00 WIB, 11.00 – 14.00 WIB, dan 15.00 – 17.00 WIB. Dari ketiga waktu bagian tersebut dapat diketahui irradiansi matahari tertinggi pada pukul 09.00, 12.00, dan 15.00. *Solar tracker* yang bergerak pada pukul 09.00 selanjutnya akan disebut sebagai posisi 1, begitu pula *solar tracker* yang bergerak pada pukul 12.00 dan 15.00 masing-masing disebut sebagai posisi 2 dan posisi 3. *Solar tracker* akan bergerak pada waktu dan posisi tersebut serta mengeluarkan energi untuk menggerakkan *solar tracker*. Berikut adalah konsumsi energi pada *solar tracker discrete* 3 posisi.



Gambar 4. 1 Konsumsi energi harian *solar tracker discrete* 3 posisi

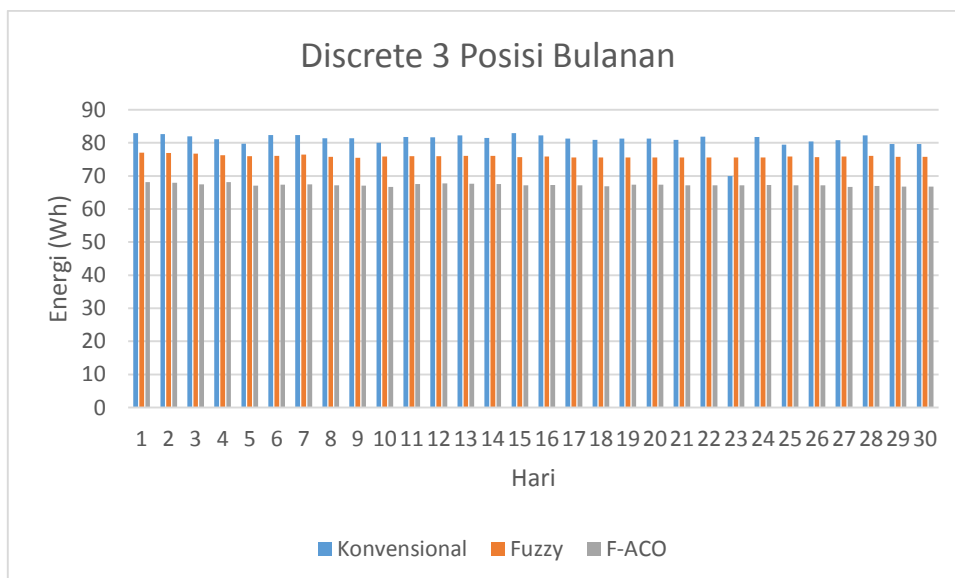
Gambar di atas merupakan profil konsumsi energi harian pada *solar tracker discrete* dengan 3 posisi. *Solar tracker discrete* 3 posisi setiap perubahan posisinya memerlukan waktu selama 9 – 11 detik. Terlihat bahwa puncak tertinggi terdapat pada konsumsi energi konvensional (garis warna biru) dengan posisi 1 yaitu sebesar 175,39 Wh. Sedangkan puncak terendah pada metode *fuzzy* (garis warna oranye) dengan posisi 2 sebesar 63,98 Wh. Rata-rata konsumsi energi tertinggi pada metode konvensional didapatkan sebesar 68,81 Wh, rata-rata konsumsi energi pada metode *fuzzy* sebesar 64,39 Wh, dan konsumsi energi terendah didapatkan dengan metode F-ACO (garis warna abu-abu) sebesar 53,91 Wh . Konsumsi energi lebih optimal dengan metode F-ACO dengan penghematan sebesar 14,89 Wh atau sebesar 27,62% sedangkan pada metode *fuzzy* konsumsi energi lebih optimal 4,41 Wh atau sebesar 6,85%.



Gambar 4. 2 Konsumsi energi mingguan *solar tracker discrete* 3 posisi

Profil konsumsi energi mingguan pada *solar tracker discrete* 3 posisi dapat dilihat pada Gambar 4.2. Pada konsumsi energi konvensional (garis warna biru) hari pertama dengan puncak posisi 1 dan hari kedua puncak posisi 1 masing-masing bernilai 128,01 Wh dan 118,77 Wh. Konsumsi energi dengan metode *fuzzy* (garis warna oranye) hari pertama puncak posisi 1 dan hari kedua puncak posisi 1 bernilai 119,46 Wh dan 120,52 Wh. Konsumsi energi dengan metode F-ACO (garis warna abu-abu) hari pertama puncak posisi 1 dan hari kedua puncak posisi 1 bernilai

114,70 Wh dan 118,37 Wh. Hal tersebut menunjukkan bahwa puncak pada hari yang berbeda dengan posisi dan waktu yang sama maka nilai konsumsi energinya akan berubah bergantung dengan kondisi lingkungan atau kondisi komponen yang digunakan. Selisih puncak konsumsi energi konvensional dengan metode *fuzzy* paling tinggi pada hari kedua dengan posisi 3 yaitu sebesar 15,26 Wh dan selisih paling rendah pada hari kedua dengan posisi 1 sebesar 1,74 Wh. Selisih puncak konsumsi energi konvensional dengan F-ACO paling tinggi pada hari ketiga dengan posisi 2 dan paling rendah selisihnya pada hari kedua posisi 1 dengan nilai masing-masing sebesar 22,32 Wh dan 0,39 Wh. Rata-rata konsumsi energi mingguan *solar tracker discrete* 3 posisi untuk metode konvensional sebesar 81,86 Wh, untuk metode *fuzzy* sebesar 76,49 Wh, dan untuk metode F-ACO sebesar 67,65 Wh. Sehingga didapatkan penurunan konsumsi energi dengan metode *fuzzy* sebesar 5,37 Wh atau sebesar 7,02% dan dengan metode F-ACO terdapat pengoptimalan energi sebesar 14,21 Wh atau sebesar 21,01%.



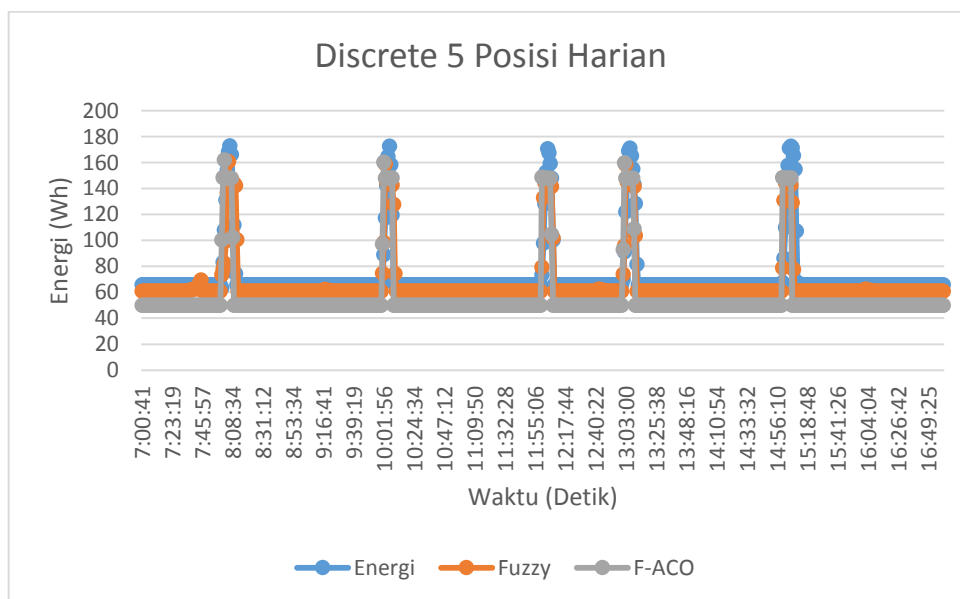
Gambar 4. 3 Konsumsi energi bulanan *solar tracker discrete* 3 posisi

Gambar 4.3 merupakan profil konsumsi energi bulanan pada *solar tracker discrete* 3 posisi. Konsumsi energi konvensional paling tinggi pada hari ke-15 sebesar 82,94 Wh dan paling rendah pada hari ke-23 sebesar 69,95 Wh. Konsumsi energi dengan metode *fuzzy* paling tinggi pada hari ke-1 sebesar 76,99 Wh dan paling rendah pada hari ke-9 sebesar 75,43 Wh. Konsumsi energi dengan metode

F-ACO paling tinggi pada hari ke-1 sebesar 68,17 Wh dan paling rendah pada hari ke-10 sebesar 66,69 Wh. Rata-rata konsumsi energi bulanan sebesar 80,98 Wh, dengan metode *fuzzy* sebesar 75,92 Wh, dengan metode F-ACO sebesar 67,28 Wh. Energi yang dibutuhkan oleh *solar tracker* dengan metode *fuzzy* lebih optimal 5,06 Wh atau sebesar 6,66%, dengan metode F-ACO lebih optimal 13,70 Wh atau sebesar 20,36%.

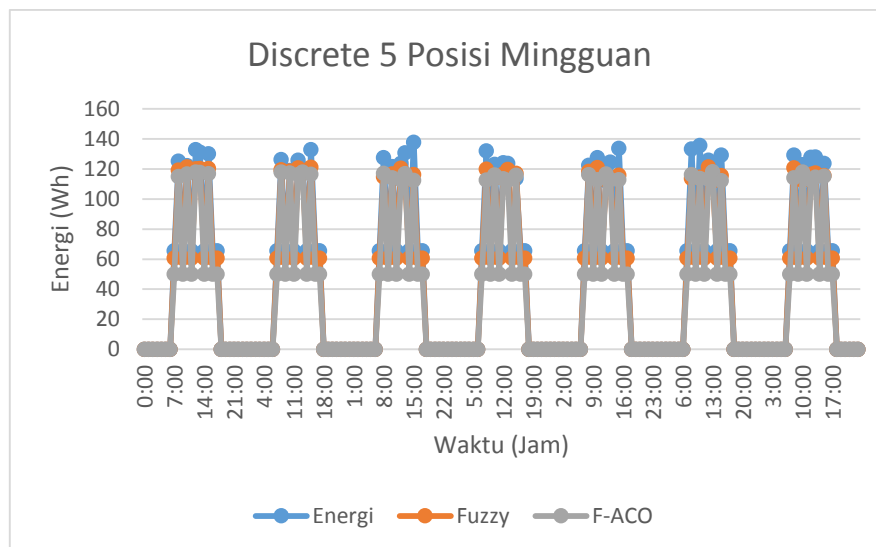
4.2.2 Konsumsi Energi *Solar Tracker Discrete 5 Posisi*

Solar tracker discrete 5 posisi dalam menentukan waktu pergerakannya sama halnya dengan menentukan waktu pergerakan *solar tracker discrete* untuk 3 posisi. Pada *solar tracker discrete 5* posisi, posisi tersebut ditentukan dengan membagi waktu operasi *tracker* dari pukul 07.00 – 17.00 WIB menjadi 5 waktu bagian yaitu 07.00 – 08.00 WIB, 09.00 – 10.00 WIB, 11.00 – 12.00 WIB, 13.00 – 14.00 WIB, dan 15.00 – 17.00 WIB. Dari kelima waktu bagian tersebut dapat diketahui irradiasi matahari tertinggi pada pukul 08.00 WIB, 10.00 WIB, 12.00 WIB, 13.00 WIB dan 15.00 WIB. *Solar tracker discrete 5* posisi yang bergerak pada pukul 08.00, 10.00, 12.00, 13.00, dan 15.00 masing-masing akan disebut sebagai posisi 1, posisi 2, posisi 3, posisi 4, dan posisi 5. Hasil simulasi konsumsi energi *solar tracker discrete 5* posisi dapat dilihat pada grafik sebagai berikut.



Gambar 4. 4 Konsumsi energi harian *solar tracker discrete 5* posisi

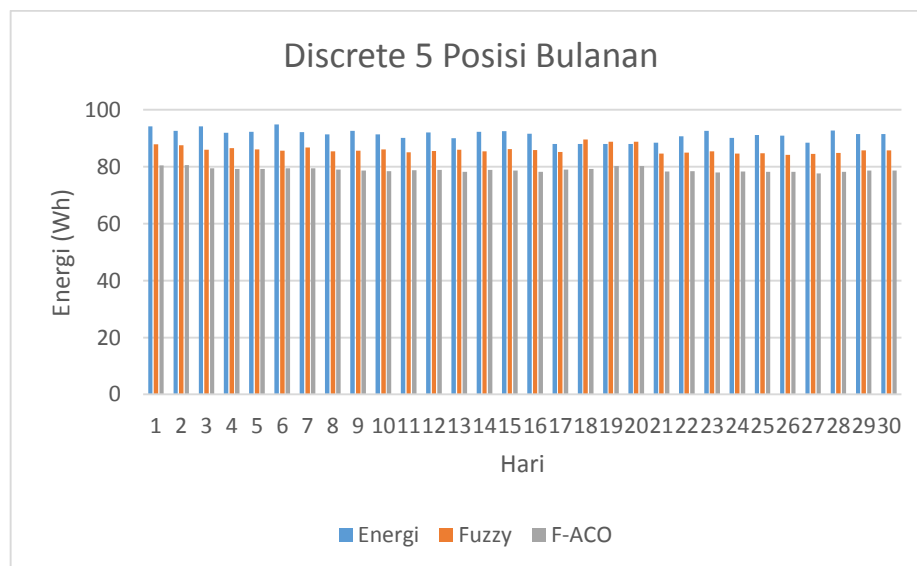
Profil konsumsi energi harian pada *solar tracker discrete* dengan 5 posisi dapat dilihat pada Gambar 4.4. *Solar tracker discrete* 5 posisi setiap perubahan posisinya memerlukan waktu selama 7 – 12 detik. Terlihat bahwa puncak tertinggi terdapat pada posisi 1 dengan metode konvensional (garis warna biru) sebesar 172,72 Wh, dengan metode *fuzzy* (garis warna oranye) sebesar 160,78 Wh, dan dengan metode F-ACO (garis warna abu-abu) sebesar 162,10 Wh. Sedangkan untuk puncak terendah pada posisi 5 untuk metode konvensional dengan nilai 67,53 Wh, untuk metode *fuzzy* pada posisi 1 yang bernilai 73,53 Wh, untuk metode F-ACO pada posisi 4 dengan nilai 92,91 Wh. Rata-rata konsumsi energi tertinggi didapatkan pada metode konvensional sebesar 71,28 Wh, rata-rata konsumsi energi dengan metode *fuzzy* sebesar 66,42 Wh, dan terendah didapatkan dengan metode F-ACO sebesar 56,45 Wh. Diketahui bahwa konsumsi energi lebih optimal dengan metode F-ACO dengan penghematan sebesar 14,82 Wh atau sebesar 26,25% sedangkan pada metode *fuzzy* konsumsi energi lebih optimal 4,85 Wh atau sebesar 7,30%.



Gambar 4. 5 Konsumsi energi mingguan *solar tracker discrete* 5 posisi

Gambar 4.5 merupakan profil konsumsi energi mingguan pada *solar tracker discrete* 5 posisi. Puncak konsumsi energi pada hari yang berbeda dengan posisi dan waktu yang sama memiliki nilai yang berbeda. Pada konsumsi energi konvensional (garis warna biru) hari pertama dengan puncak posisi 1 dan hari kedua

puncak posisi 1 masing-masing bernilai 125,25 Wh dan 126,42 Wh. Konsumsi energi dengan metode *fuzzy* (garis warna oranye) hari pertama puncak posisi 1 dan hari kedua puncak posisi 1 bernilai 119,46 Wh dan 119,67 Wh. Konsumsi energi dengan metode F-ACO (garis warna abu-abu) hari pertama puncak posisi 1 dan hari kedua puncak posisi 1 bernilai 115,02 Wh dan 118,00 Wh. Selisih puncak konsumsi energi konvensional dengan metode *fuzzy* paling tinggi pada hari ketiga dengan posisi 5 yaitu sebesar 21,54 Wh dan selisih paling rendah pada hari kedua dengan posisi 2 sebesar 0,55 Wh. Selisih puncak konsumsi energi konvensional dengan metode F-ACO paling tinggi pada hari ketiga dengan posisi 5 dan paling rendah selisihnya pada hari kedua posisi 2 dengan nilai masing-masing sebesar 25,26 Wh dan 1,81 Wh. Terlihat bahwa selisih tertinggi dan terendah konsumsi energi konvensional terhadap metode *fuzzy* serta konsumsi energi konvensional terhadap metode F-ACO terdapat pada hari dan posisi yang sama. Rata-rata konsumsi energi tertinggi didapatkan pada metode konvensional sebesar 93,31 Wh, rata-rata konsumsi energi dengan metode *fuzzy* sebesar 86,08 Wh, dan terendah didapatkan dengan metode F-ACO sebesar 79,39 Wh. Konsumsi energi *solar tracker discrete* 5 posisi dengan profil mingguan dengan metode *fuzzy* terdapat pengoptimalan energi sebesar 7,23 Wh atau sebesar 8,40% sedangkan dengan metode F-ACO terdapat pengoptimalan energi sebesar 13,92 Wh atau sebesar 17,54%.

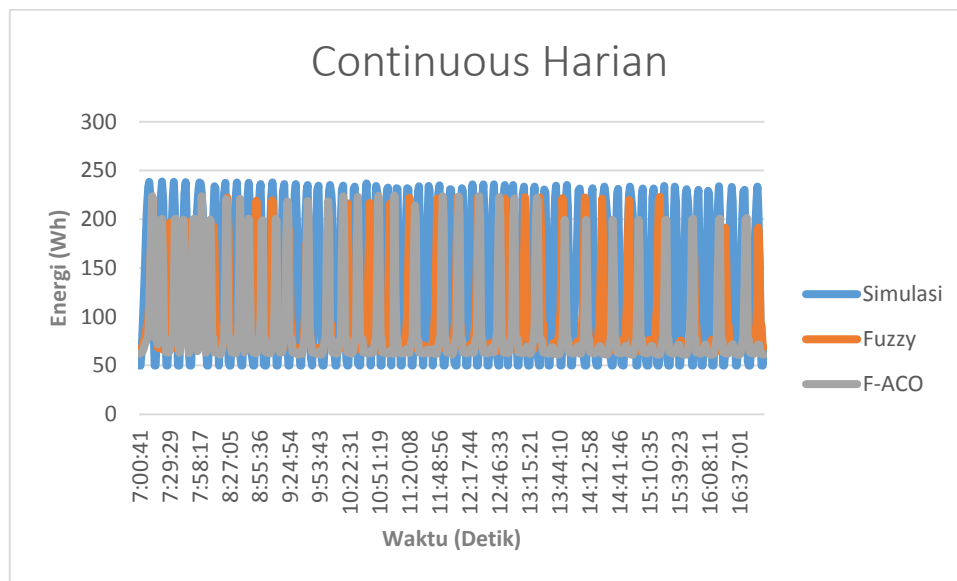


Gambar 4. 6 Konsumsi energi bulanan *solar tracker discrete* 5 posisi

Profil konsumsi energi bulanan pada *solar tracker discrete* 5 posisi dapat dilihat pada gambar di atas. Konsumsi energi konvensional (garis warna biru) paling tinggi pada hari ke-6 sebesar 94,84 Wh dan paling rendah pada hari ke-14 sebesar 87,99 Wh. Konsumsi energi dengan metode *fuzzy* (garis warna oranye) paling tinggi pada hari ke-18 sebesar 89,63 Wh dan paling rendah pada hari ke-26 sebesar 84,14 Wh. Konsumsi energi dengan metode F-ACO (garis warna abu-abu) paling tinggi pada hari ke-2 sebesar 80,58 Wh dan paling rendah pada hari ke-27 sebesar 77,69 Wh. Rata-rata konsumsi energi bulanan tertinggi pada metode konvensional yaitu sebesar 91,21 Wh, rata-rata konsumsi energi dengan metode *fuzzy* yaitu sebesar 85,98 Wh, dan terendah didapatkan dengan metode F-ACO sebesar 78,91 Wh. Energi yang dibutuhkan oleh *solar tracker* dengan metode *fuzzy* lebih optimal 5,23 Wh atau sebesar 6,08%, dengan metode F-ACO lebih optimal 12,30 Wh atau sebesar 15,59%.

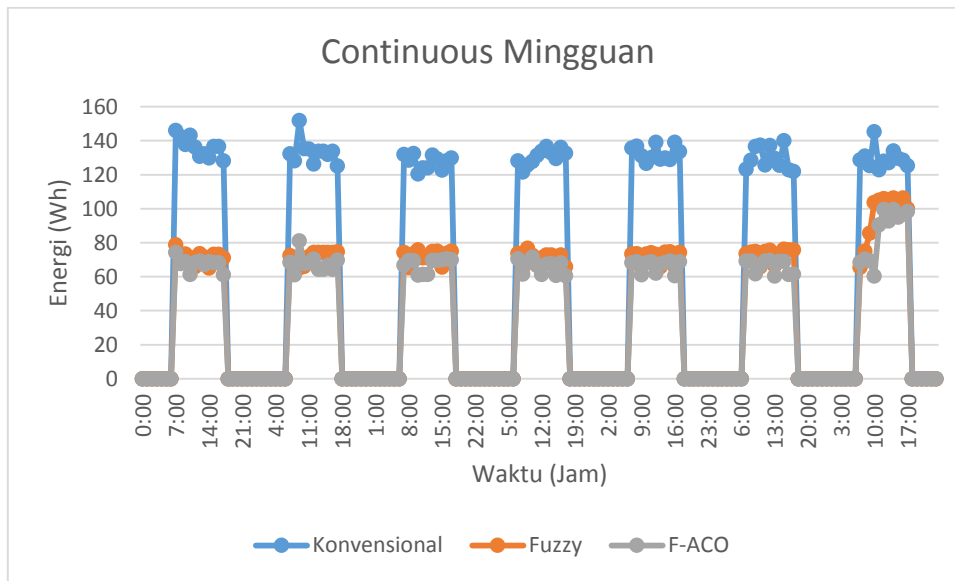
4.3 Hasil Konsumsi Energi Solar Tracker Continuous

Perbedaan antara *solar tracker continuous* dengan *solar tracker discrete* adalah pada komponen motor DC yang digunakan. *Solar tracker discrete* bekerja secara pasif yaitu pada sumbu *pitch* saja sehingga hanya membutuhkan satu motor DC, sedangkan untuk *solar tracker continuous* bekerja secara aktif pada dua sumbu yaitu sumbu *pitch* dan sumbu *yaw* sehingga dibutuhkan dua buah motor DC. *Solar tracker continuous* bekerja dengan menjejak posisi matahari secara terus-menerus sedangkan *solar tracker discrete* bekerja pada posisi dan waktu tertentu yang telah ditentukan, sehingga komponen penggerak lainnya seperti *sensing element*, mikrokontroler dan *data logger* juga bekerja secara terus menerus. Namun motor DC memiliki kemampuan tertentu untuk menyesuaikan sudut *pitch* dan *yaw* dengan sudut matahari *altitude* dan *azimuth*. Sehingga secara jumlah komponen dan lama waktu operasinya untuk *solar tracker continuous* lebih tinggi dan membutuhkan lebih banyak energi yang dikonsumsi dibandingkan dengan *solar tracker discrete*. Berikut adalah hasil simulasi model konsumsi energi *solar tracker continuous* pada harian, mingguan, dan bulanan dengan metode *fuzzy* dan F-ACO.



Gambar 4. 7 Konsumsi energi harian *solar tracker continuous*

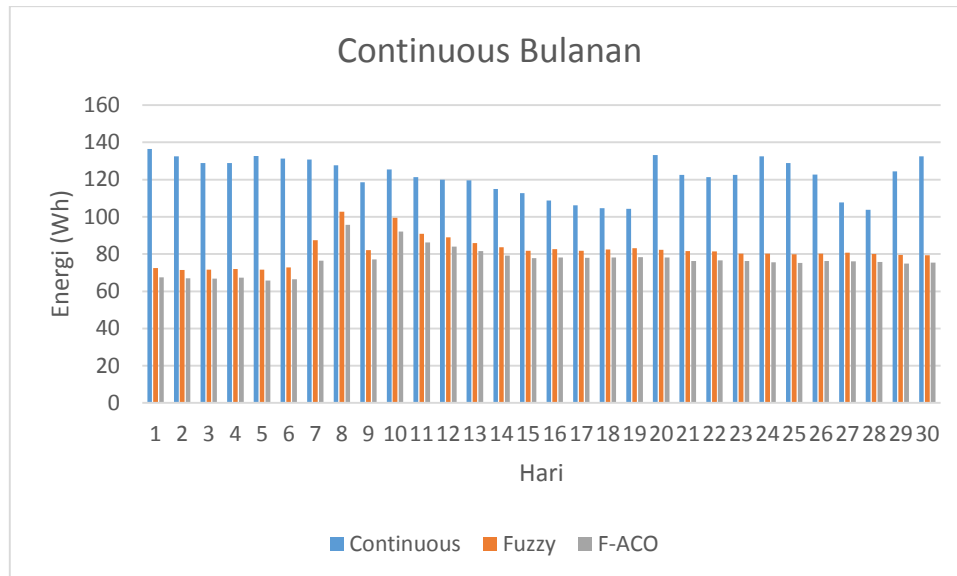
Gambar di atas menunjukkan profil konsumsi energi pada *solar tracker continuous* harian. Dapat dilihat bahwa grafik pada metode konvensional (garis warna biru) mengalami fluktuatif namun ketika ditambah dengan metode *fuzzy* (garis warna oranye) dan F-ACO (garis warna abu-abu) grafik fluktuatif cenderung lebih optimal. Setelah pukul 09.00 konsumsi energi dengan metode *fuzzy* dan F-ACO mengalami fluktuatif yang rendah antara 50 – 100 Wh kemudian meningkat kembali menjadi 50 – 220 Wh. Terlihat bahwa puncak tertinggi terdapat pada metode konvensional sebesar 238,66 Wh, dengan metode *fuzzy* sebesar 222,82 Wh, dan dengan metode F-ACO sebesar 224,13 Wh. Rata-rata konsumsi energi pada metode konvensional yaitu sebesar 136,57 Wh, konsumsi energi pada metode *fuzzy* yaitu sebesar 90,74 Wh, dan konsumsi energi pada metode F-ACO yaitu sebesar 87,54 Wh. Ketika menggunakan metode *fuzzy* konsumsi energi terdapat pengoptimalan sebesar 45,82 Wh atau sebesar 50,5% dan dengan metode F-ACO diketahui nilai konsumsi energi lebih optimal sebesar 49,54 Wh atau sebesar 55,99%. Pengoptimalan nilai konsumsi energi dengan metode *fuzzy* dan F-ACO cukup tinggi hal ini terjadi karena ketika menggunakan metode *fuzzy* dan F-ACO hasil konsumsi energi yang fluktuatif cenderung rendah pada waktu tertentu dan tertinggi hanya pada waktu-waktu tertentu saja.



Gambar 4. 8 Konsumsi energi mingguan *solar tracker continuous*

Profil konsumsi energi mingguan pada *solar tracker continuous* dapat dilihat pada Gambar 4.8. Konsumsi energi konvensional (garis warna biru) paling tinggi pada hari kedua dengan nilai 151,89 Wh. Konsumsi energi dengan metode *fuzzy* (garis warna oranye) dan dengan metode F-ACO memiliki nilai paling tinggi masing-masing sebesar 106,38 Wh dan 99,62 Wh yang sama-sama terdapat pada hari ke-7. Selisih puncak konsumsi energi konvensional dengan metode *fuzzy* paling tinggi pada hari kedua yaitu sebesar 86,94 Wh dan selisih paling rendah pada hari ke-7 sebesar 17,80 Wh. Selisih puncak konsumsi energi konvensional dengan metode F-ACO paling tinggi dan paling rendah terdapat pada hari ketujuh dengan nilai masing-masing sebesar 84,93 Wh dan 27,00 Wh. Terlihat bahwa selisih terendah konsumsi energi konvensional terhadap metode *fuzzy* serta konsumsi energi konvensional terhadap metode F-ACO terdapat pada hari yang sama. Konsumsi energi mingguan didapatkan dengan merata-rata hasil simulasi perjam kemudian dibuat plot dalam satu minggu. Sehingga hasil rata-rata profil konsumsi energi mingguan lebih rendah dibandingkan dengan rata-rata profil konsumsi energi harian. Rata-rata konsumsi energi mingguan pada metode konvensional, metode *fuzzy*, dan metode F-ACO masing-masing bernilai 131,50 Wh, 75,40 Wh, dan 69,54 Wh. Konsumsi energi *solar tracker continuous* dengan profil mingguan dengan metode *fuzzy* terdapat pengoptimalan energi sebesar 56,09 Wh atau 74,39%

sedangkan dengan metode F-ACO terdapat pengoptimalan energi sebesar 61,95 Wh atau sebesar 89,07%.



Gambar 4. 9 Konsumsi energi bulanan *solar tracker continuous*

Gambar di atas merupakan profil konsumsi energi bulanan pada *solar tracker continuous*. Konsumsi energi konvensional paling tinggi pada hari ke-1 sebesar 136,47 Wh dan paling rendah pada hari ke-28 sebesar 103,80 Wh. Konsumsi energi dengan metode *fuzzy* paling tinggi pada hari ke-2 sebesar 102,69 Wh dan paling rendah pada hari ke-8 sebesar 71,37 Wh. Konsumsi energi dengan metode F-ACO paling tinggi pada hari ke-5 sebesar 95,78 Wh dan paling rendah pada hari ke-8 sebesar 65,77 Wh. Rata-rata konsumsi energi konvensional bulanan sebesar 121,93 Wh, dengan metode *fuzzy* sebesar 81,68 Wh, dan dengan metode F-ACO sebesar 76,67 Wh. Energi yang dibutuhkan oleh *solar tracker* dengan metode *fuzzy* lebih optimal 40,24 Wh atau sebesar 49,27% dan dengan metode F-ACO lebih optimal 45,25 Wh atau sebesar 59,02%.

4.4 Konsumsi Energi Tahunan

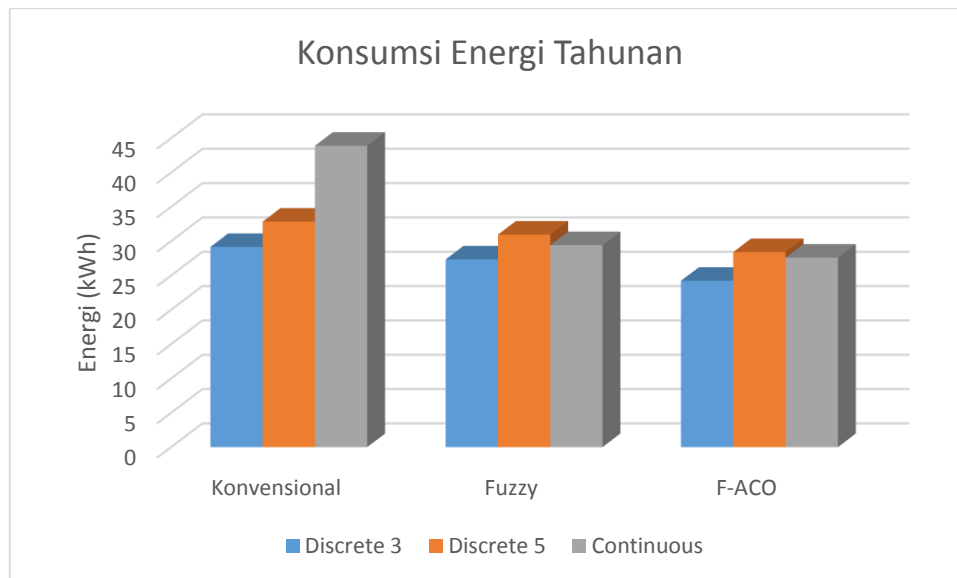
Konsumsi energi tahunan merupakan estimasi total konsumsi energi pada sistem *solar tracker* yang dibutuhkan dalam satu tahun. Sehingga pada profil tahunan ini akan diketahui sistem *solar tracker discrete* atau *solar tracker*

continuous yang nilai konsumsi energinya lebih cocok menggunakan *fuzzy* atau F-ACO. Berikut adalah hasil perhitungan estimasi konsumsi energi dalam satu tahun:

Tabel 4. 7 Tabel Total Konsumsi Energi Tahunan pada Sistem *Solar Tracker*

	Konvensional (kWh)	Fuzzy (kWh)	F-ACO (kWh)
Discrete 3	29,15	27,33	24,22
Discrete 5	32,83	30,95	28,40
Continuous	43,89	29,40	27,60

Tabel di atas menunjukkan konsumsi energi tahunan pada *solar tracker discrete 3* posisi menggunakan *fuzzy* lebih optimal 1,82 kWh atau sebesar 6,66% dan menggunakan F-ACO lebih optimal 4,93 kWh atau sebesar 20,36%. Konsumsi energi tahunan pada *solar tracker discrete 5* posisi menggunakan *fuzzy* lebih optimal 1,88 kWh atau sebesar 6,08% dan menggunakan F-ACO 4,43 kWh atau 15,59%. Konsumsi energi tahunan pada *solar tracker continuous* menggunakan *fuzzy* lebih optimal 1,44 kWh atau 49,27% dan menggunakan F-ACO lebih optimal 1,62 kWh atau sebesar 59,02%.



Gambar 4. 10 Profil konsumsi energi tahunan

Gambar di atas merupakan profil konsumsi energi tahunan yang dibutuhkan oleh sistem *solar tracker*. Pada konsumsi energi konvensional tertinggi terdapat pada *solar tracker continuous* yaitu 43,89 kWh disusul dengan *solar tracker*

discrete 5 posisi dengan jumlah 32,83 kWh dan paling rendah pada *solar tracker discrete* 3 posisi sebesar 29,15 kWh. Penghematan energi menggunakan *continuous* terhadap *discrete* 3 posisi adalah 50,55% sedangkan penghematan energi *continuous* terhadap *discrete* 5 posisi sebesar 33,67%. Ketika menggunakan metode *fuzzy* dan F-ACO konsumsi energi bekerja secara optimal pada sistem *solar tracker continuous* yang dapat mencapai penurunan konsumsi energi sebesar 59,02% dibandingkan dengan sistem *solar tracker discrete* dimana penurunan konsumsi energi mencapai 20,36%, sehingga konsumsi energi tahunan *solar tracker discrete* memiliki nilai tertinggi. Pada simulasi menggunakan *fuzzy* konsumsi energi tertinggi terdapat pada *solar tracker discrete* 5 posisi dengan jumlah 30,95 kWh kemudian *solar tracker continuous* yaitu sebesar 29,40 kWh dan paling rendah pada *solar tracker discrete* 3 posisi sebesar 27,33 kWh. Penghematan energi menggunakan *discrete* 5 posisi terhadap *continuous* adalah 5,26% sedangkan penghematan energi *discrete* 5 posisi terhadap *discrete* 3 posisi sebesar 13,23%. Konsumsi energi tahunan menggunakan F-ACO tertinggi terdapat pada sistem *solar tracker discrete* 5 posisi dengan jumlah 28,40 kWh disusul dengan *solar tracker continuous* yaitu 27,60 kWh dan paling rendah pada *solar tracker discrete* 3 posisi sebesar 24,22 kWh. Penghematan energi menggunakan *discrete* 5 posisi terhadap *continuous* adalah 2,91% sedangkan penghematan energi *discrete* 5 posisi terhadap *discrete* 3 posisi sebesar 17,27%.

Dari analisa tersebut dapat diketahui bahwa ketika menggunakan metode *fuzzy* dan F-ACO konsumsi energi akan lebih optimal jika digunakan pada sistem *solar tracker continuous* dibandingkan dengan sistem *solar tracker discrete*. Meskipun konsumsi energi *solar tracker continuous* lebih optimal setelah dioptimisasi, namun untuk total konsumsi energi harian, mingguan, bulanan, dan tahunan tetap lebih tinggi dibandingkan dengan total konsumsi energi pada *solar tracker discrete*. Hasil konsumsi energi yang didapatkan pada *solar tracker discrete* dan *continuous* lebih baik ketika menggunakan F-ACO dibandingkan dengan *fuzzy*. Hal tersebut telah sesuai karena setiap semut akan mempertimbangkan satu *output* untuk setiap *rule base fuzzy*, kemudian mengevaluasi ciri masing-masing semut dan menghasilkan jalur yang paling optimal. [25]

4.5 Gross dan Netto Energy Gain

Perhitungan *gross* dan *netto energy gain* (NEG) dibutuhkan untuk mengetahui performansi *solar tracker discrete* atau performansi *solar tracker continuous* yang lebih baik berdasarkan konsumsi energinya. Pada sistem *solar tracker* digunakan *fuzzy* dan F-ACO sebagai kontrolnya. Hasil data *output fixed* PV dan *solar tracker discrete* menggunakan kontrol *fuzzy* dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4. 8 Data Output Solar Tracker Discrete 3 Posisi

Waktu	Fixed			Tracker Fuzzy		
	Arus (A)	Tegangan (V)	Energi (Wh)	Arus (A)	Tegangan (V)	Energi (Wh)
7:00	0,53	28,76	153,33	1,62	28,92	470,01
8:00	1,15	28,84	332,91	2,67	29,07	778,67
9:00	3,05	29,11	890,78	4,79	29,38	1174,05
10:00	5,15	29,44	1519,24	6,51	29,63	1931,09
11:00	6,47	29,64	1494,53	7,42	29,77	2210,88
12:00	7,00	29,71	1933,07	8,06	29,86	2407,81
13:00	6,43	29,62	1291,74	7,98	29,85	2385,42
14:00	5,01	29,40	1475,22	7,18	29,74	2138,48
15:00	3,12	29,12	909,35	5,80	29,53	771,46
16:00	1,32	28,85	382,46	3,61	29,20	421,42
17:00	0.25	28,71	306,65	1,32	28,87	384,40

Dari tabel di atas total energi yang dihasilkan oleh *fixed* PV sebesar 10689,33 Wh sedangkan total energi yang dihasilkan oleh *solar tracker discrete* 3 posisi menggunakan kontrol *fuzzy* sebesar 15073,73 Wh. Sehingga dapat dihitung *gross energy* dan NEG menggunakan persamaan 2.12 dan 2.13 sebagai berikut :

$$E_{gross} = \frac{15073,73 - 10689,33}{10689,33} \times 100\% = 42,919\%$$

$$NEG = \frac{(15073,73 - 846,96) - 10689,33}{10689,33} \times 100\% = 32,996\%$$

Berdasarkan hasil *output* energi pada sistem *solar tracker discrete* 3 posisi dapat menghasilkan kenaikan performansi *gross energy* meningkat sebesar 4384,40 Wh dari *fixed* PV. Kenaikan performansi NEG meningkat sebesar 3537,43 Wh dari *fixed* PV. Selain itu dihitung pula nilai *gross energy* dan NEG pada *solar tracker discrete* 3 posisi menggunakan kontrol F-ACO. Dihasilkan kenaikan performansi

gross energy meningkat sebesar 5005,14 Wh dari *fixed* PV dan kenaikan performansi NEG meningkat sebesar 4255,23 Wh dari *fixed* PV.

Tabel 4. 9 Data *Output Solar Tracker Discrete 5* Posisi

Waktu	Fixed			Tracker Fuzzy		
	Arus (A)	Tegangan (V)	Energi (Wh)	Arus (A)	Tegangan (V)	Energi (Wh)
7:00	0,53	28,76	153,33	1,75	28,94	506,82
8:00	1,15	28,84	332,91	2,82	29,10	747,12
9:00	3,05	29,11	890,78	4,93	29,40	1209,10
10:00	5,15	29,44	1519,24	6,60	29,65	1958,71
11:00	6,47	29,64	1494,53	7,48	29,78	2228,36
12:00	7,00	29,71	1933,07	8,08	29,87	2415,96
13:00	6,43	29,62	1291,74	8,03	29,86	2401,31
14:00	5,01	29,40	1475,22	7,25	29,75	2158,86
15:00	3,12	29,12	909,35	5,87	29,54	778,56
16:00	1,32	28,85	382,46	3,67	29,21	412,62
17:00	0,25	28,71	306,65	1,34	28,87	390,18

Total energi yang dihasilkan oleh *fixed* PV sebesar 10689,33 Wh kemudian untuk total energi yang dihasilkan oleh *solar tracker discrete 5* posisi menggunakan kontrol *fuzzy* sebesar 15207,65 Wh dengan total konsumsi energi yang dibutuhkan sebesar 966,56 Wh. Selanjutnya dapat dihitung *gross energy* dan NEG sebagai berikut :

$$E_{gross} = \frac{15207,65 - 10689,33}{10689,33} \times 100\% = 42,26\%$$

$$NEG = \frac{(15207,65 - 966,56) - 10689,33}{10689,33} \times 100\% = 33,22\%$$

Berdasarkan hasil *output* energi pada sistem *solar tracker discrete 5* posisi dapat menghasilkan kenaikan performansi *gross energy* meningkat sebesar 4518,31 Wh dari *fixed* PV dan performansi NEG meningkat sebesar 3551,75 Wh dari *fixed* PV. Nilai *gross energy* dan NEG pada *solar tracker discrete 5* posisi menggunakan kontrol F-ACO selanjutnya dihitung. Dihasilkan kenaikan performansi *gross energy* meningkat sebesar 5178,88 Wh dari *fixed* PV dan kenaikan performansi NEG meningkat sebesar 4294,06 Wh dari *fixed* PV. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa *gross energy* dan NEG yang dihasilkan pada *solar tracker discrete 5* posisi lebih tinggi dibandingkan dengan *solar tracker discrete 3* posisi.

Tabel 4. 10 Data Output Solar Tracker Continuous

Waktu	Fixed			Tracker Fuzzy		
	Arus (A)	Tegangan (V)	Energi (Wh)	Arus (A)	Tegangan (V)	Energi (Wh)
7:00	1,41	28,88	407,77	2,36	29,02	687,34
8:00	3,33	29,15	972,13	4,75	29,37	1398,17
9:00	5,42	29,46	1598,27	6,49	29,63	1925,35
10:00	6,90	29,69	2051,59	6,97	29,69	2071,48
11:00	7,57	29,79	2255,82	7,15	29,72	2128,17
12:00	6,87	29,68	2041,17	7,37	29,76	2193,42
13:00	5,23	29,44	1541,52	7,00	29,71	2081,11
14:00	3,34	29,15	977,02	5,62	29,50	1661,72
15:00	1,48	28,87	428,54	2,95	29,10	861,24
16:00	0,29	28,71	84,60	0,61	28,76	175,87
17:00	0,00	28,68	2,85	0,02	28,68	6,50

Dapat diketahui dari tabel di atas total energi yang dihasilkan oleh *fixed* PV adalah 10628,62 Wh sedangkan total energi yang dihasilkan oleh *solar tracker continuous* menggunakan kontrol *fuzzy* sebesar 15190,41 Wh. Diketahui pula *gross energy* dan NEG masing-masing sebesar 42,91% dan 32,99% dengan perhitungan sebagai berikut :

$$E_{gross} = \frac{15190,41 - 10628,62}{10628,62} \times 100\% = 42,91\%$$

$$NEG = \frac{(15190,41 - 1054,70) - 10628,62}{10628,62} \times 100\% = 32,99\%$$

Berdasarkan hasil *output* energi pada sistem *solar tracker continuous* dapat menghasilkan kenaikan performansi *gross energy* meningkat sebesar 4561,79 Wh dari *fixed* PV. Kenaikan performansi NEG meningkat sebesar 3507,09 Wh dari *fixed* PV. Selain itu dihitung pula nilai *gross energy* dan NEG pada *solar tracker* menggunakan kontrol F-ACO. Dihasilkan kenaikan performansi *gross energy* meningkat sebesar 4998,73 Wh dari *fixed* PV dan kenaikan performansi NEG meningkat sebesar 4057,36 Wh dari *fixed* PV.

Tabel 4.11 merupakan hasil perhitungan efisiensi *gross energy* dan NEG pada sistem *solar tracker*. *Gross energy* pada *solar tracker continuous* menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi kurang lebih 1% dibandingkan pada *solar tracker discrete* 3 posisi, namun masih lebih rendah dibandingkan dengan *solar*

tracker discrete 5 posisi. Total energi yang dihasilkan oleh masing-masing sistem *solar tracker* tidak terlampaui jauh begitu pula dengan konsumsi energinya. Konsumsi energi yang dibutuhkan oleh sistem *solar tracker continuous*, *solar tracker discrete* 5 posisi, dan *solar tracker discrete* 3 posisi masing-masing sebesar 1054,70 Wh, 966,56 Wh, dan 846,96 Wh. Dibutuhkan sebesar 8-10% konsumsi energi internal pada sistem *solar tracker*. Sehingga efisiensi NEG yang dihasilkan paling baik pada *solar tracker discrete* 5 posisi meskipun konsumsi energi paling rendah pada *solar tracker discrete* 3 posisi.

Tabel 4. 11 Peningkatan Efisiensi pada *Solar Tracker Discrete* dan *Continuous*

	Discrete 3 Posisi		Discrete 5 Posisi		Continuous	
	Kontrol Fuzzy	Kontrol F-ACO	Kontrol Fuzzy	Kontrol F-ACO	Kontrol Fuzzy	Kontrol F-ACO
Gross Energy	41,01%	46,82%	42,26%	48,44%	42,91%	47,03%
NEG	33,09%	39,80%	33,22%	40,17%	32,99%	38,17%

Energi yang dihasilkan oleh *solar tracker discrete* 5 posisi itu sendiri lebih tinggi dibandingkan pada *solar tracker continuous* ataupun pada *solar tracker discrete* 3 posisi. Hal ini disebabkan karena energi yang dihasilkan oleh sistem *solar tracker* sangat bergantung terhadap kondisi cuaca. Pada penelitian ini dilakukan pengambilan data pada kondisi cuaca cerah sehingga *solar tracker discrete* 5 posisi lebih menguntungkan dibandingkan dengan *solar tracker continuous* ataupun pada *solar tracker discrete* 3 posisi. Namun, pada kondisi cuaca yang berawan atau mendung terdapat kemungkinan *solar tracker discrete* 3 posisi lebih menguntungkan dibandingkan *solar tracker discrete* 5 posisi atau *continuous* karena konsumsi energi internalnya yang cukup rendah.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis pada tugas akhir ini maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- a. Konsumsi energi dapat ditentukan dengan membuat model menggunakan transformator *step down* dengan beban konsumsi energi internal berdasarkan spesifikasi komponen-komponen yang dibutuhkan oleh sistem *solar tracker*. Hasil pemodelan kemudian dibuat plot harian, mingguan, dan bulanan pada *solar tracker discrete* 3 posisi, 5 posisi, serta *solar tracker continuous*. Didapatkan rata-rata konsumsi energi *solar tracker discrete* 3 posisi harian sebesar 68,81 Wh, mingguan sebesar 81,86 Wh, dan bulanan sebesar 80,98 Wh. Rata-rata konsumsi energi *solar tracker discrete* 5 posisi harian sebesar 71,28 Wh, mingguan 93,19 Wh, dan bulanan sebesar 91,21 Wh. Rata-rata konsumsi energi *solar tracker continuous* harian sebesar 136,57 Wh, mingguan sebesar 131,50 Wh, dan bulanan sebesar 91,21 Wh.
- b. Parameter estimasi konsumsi energi pada sistem *solar tracker* yang digunakan adalah keluaran arus dan tegangan sistem penggerak *solar tracker discrete* dan *continuous* yang akan menjadi variabel input *fuzzy*.
- c. Konsumsi energi tahunan pada *solar tracker discrete* 3 posisi F-ACO lebih optimal 4,93 kWh, pada *solar tracker discrete* 5 posisi F-ACO lebih optimal 4,43 kWh, dan pada *solar tracker continuous* F-ACO lebih optimal 1,62 kWh.
- d. Rekomendasi penghematan konsumsi energi internal paling baik dapat dilihat pada efisiensi NEG yaitu pada *solar tracker discrete* 5 posisi sebesar 40,17%, pada *solar tracker discrete* 3 sebesar 39,80%, dan pada *solar tracker continuous* sebesar 38,17%.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya yaitu dengan menambahkan pemodelan pengaruh konsumsi energi internal terhadap performansi *State of Charge* (SOC) dan *solar tracker* pada variasi kondisi cuaca seperti cerah, mendung, atau *balance*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kianoosh Azizi, Ali Ghaffari, "Design and Manufacturing of a High-Precision Sun Tracking System Based on Image Processing," *International Journal of Photoenergy*, vol. 2013, pp. 1-7, 2013.
- [2] Shengnan (Steven) Hong, Zheng Fu, dan Richard E. Stamper, "Discrete-Position Solar Tracking for Photovoltaic System," *Rose-Hulman Scholar Institutional Repository*, pp. 1-5, 2018.
- [3] Imam Abadi, Chairul Imran, dan Nadia Fasa, "Smart Solar Tracking System Based on Fuzzy-Pi Controller for Maximizing the Power of PV," *AIP Conference Proceedings*, pp. 020022-1 - 020022-11, 2019.
- [4] Dwi Nur Fitriyanah dan Imam Abadi, "Fuzzy Logic Control Design of Mobile PV Using Bacterial Foraging Optimization," *International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)*, pp. 215 - 220, 2018.
- [5] Imam Abadi, Dwi Nur Fitriyanah, dan Arfa UI Umam, "Design of Maximum Power Point Tracking (MPPT) on Two Axes Solar Tracker Based on Particle Swarm Fuzzy," *AIP Conference Proceedings*, pp. 020041-1 - 020041-10, 2019.
- [6] T V Dixit, Anamika Yadav, S Gupta, "Optimization of PV Array Inclination in India Using ANN Estimator: Method Comparison Study," *Indian Academy of Sciences*, vol. 40, p. 1457–1472, 2015.
- [7] Ali Chikh, Ambrish Chandra, "An Optimal Maximum Power Point Tracking Algorithm for PV Systems With Climatic Parameters Estimation," *IEEE TRANSACTIONS ON SUSTAINABLE ENERGY*, vol. 6, no. 2, pp. 644 - 652, 2015.
- [8] César Luiz de Azevedo Dias, David Alves Castelo Branco, Maurício Cardoso, "Performance Estimation of Photovoltaic Technologies in Brazil," *Renewable Energy*, vol. 114, pp. 367 - 375 , 2017.
- [9] George Cristina Lazaroiu, Michela Longo, Mariacristina Roscia, Mario Pagao, "Comparative Analysis of Fixed and Sun Tracking Low Power PV

- System Considering Energy Consumption," *Energy Conversion and Management*, vol. 92, pp. 143-148, 2015.
- [10] S.A. Sharaf Eldin, M.S. Abd-Elhady, H.A. Kandil, "Feasibility of Solar Tracking System for PV Panels in Hot and Cold Region," *Renewable Energy*, vol. 85, pp. 228-233, 2016.
- [11] I Abadi, E H Setyawan, dan M Ardiansyah, "Design Of Automatic Switching System And Data Acquisition On Mobile Hybrid Solar Tracking System For Stand Alone Small PV With Reflector," *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, pp. 1-8, 2019.
- [12] Shivendra Kumar dan Dr. Nidhi Singh Pal, "Ant Colony Optimization for Less Power Consumption and Fast Charging of Battery in Solar Grid System," *IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Computer and Electronics (UPCON)*, pp. 244 -249, 2017.
- [13] Imam Abadi, Choirul Imron, Mardlijah , Ronny D. Noriyati, "Implementation of Maximum Power Point Tracking (MPPT) Technique on Solar Tracking System Based on Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)," *E3S Web of Conferences*, vol. 43, pp. 1-8, 2018.
- [14] Y. Chaibia, A. Allouhib, M. Malvonic, M. Salhia, R. Saadani, "Solar Irradiance and Temperature Influence on The Photovoltaic Cell Equivalent-Circuit Models," *Solar Energy*, vol. 188, pp. 1102-1110, 2019.
- [15] Shashwati Ray, Abhishek Kumar Tripathi, "Design and Development of Tilted Single Axis and Azimuth-Altitude Dual Axis Solar Tracking System," *1st IEEE International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES-2016)*, pp. 1-6, 2016.
- [16] Sebastijan Seme, Gorazd Stumberger ˇ, Joze Vor ˇ si ˇ c, "Maximum Efficiency Trajectories of a Two-Axis Sun Tracking System Determined Considering Tracking System Consumption," *TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS*, vol. 26, no. 4, pp. 1280-1290, 2011.
- [17] J. O. Hubach, "Solar Tracking Using a Parallel Manipulator Mechanism to Achieve Two-Axis Position Tracking," *Spring 5*, vol. 13, 2019.

- [18] Wafa Batayneha, Ahmad Bataineha, Ibrahim Solimana, Saleh Abed Hafees, "Investigation of a Single-Axis Discrete Solar Tracking Sstem for Reduced Actuations and Maximum Energy Collection," *Automation in Construction*, vol. 98, pp. 102-109, 2019.
- [19] A.R. Amelia, Y.M. Irwan, I. Safwati, W.Z. Leow, M.H. Mat, Mohd Shukor Abdul Rahim, dan S. Md. Esa, "Technologies of solar tracking systems: A review," *Shukor Abdul Rahim2, S. Md. Esa*, vol. 767, pp. 1-10, 2020.
- [20] Mehmet Ali Usta, Ömur Akyazı, İsmail H. Altaş, "Design and Performance of Solar Tracking System with Fuzzy Logic Controller Used Different Membership Functions," *IEEE Electrical and Electronics Engineering*, vol. 2, pp. 381-385, 2011.
- [21] Evelia Lizárraga Olivas, Oscar Castillo, Fevrier Valdez and José Soria, "Ant Colony Optimization for Membership Function Design for a Water Tank Fuzzy Logic Controller," *IEEE Workshop on Hybrid Intelligent Models and Applications (HIMA)*, pp. 27-34, 2013.
- [22] S. S. Rao, *Engineering Optimization Theory and Practice*, Hoboken: John Wiley & Sons, Inc, 2009.
- [23] K. Harinadha Reddy, S. Govinda Raju, A. Amerandra, "Fuzzy Inference ACO Islanding Detection and Stability Analysis of Intergrated Power System," *IEEE*, pp. 1-5, 2018.
- [24] Fatemeh Khosravi Purian, Ehsan Sadeghian, "Mobile Robots Path Planning Using Ant Colony Optimization and Fuzzy Logic Algorithms in Unknown Dynamic Environments," *IEEE*, 2013.
- [25] Chih Ta Yen, Ming Feng Cheng, "A study of fuzzy control with ant colony algorithm used in mobile robot for shortest path planning and obstacle avoidance," *Springer*, no. 10.1007/s00542-016-3192-9, 2016.
- [26] Jelmer van Ast, Robert Babuska, Bart De Schutter, "Fuzzy Ant Colony Optimization for Optimal Control," *American Control*, pp. 1003-1008, 2009.
- [27] Fabio Moacir Hoffmann, Rolf Fredi Molz, Joao Victor Kothe, Elpidio Oscar Benitez Nara, dan Leonel Pablo Carvalho Tedesco, "Monthly Profile Analysis

Based on a Two-Axis Solar Tracker Proposal for Photovoltaic Panels," *Renewable Energy*, vol. 115, pp. 750-759, 2018.

- [28] Tiberiu Toudorache, Constantin Daniel Oancea, Liviu Kreindler, "Performance Evaluation of a Solar Tracking PV Panel," vol. 74, pp. 3-10, 2012.

LAMPIRAN

A. Data Konsumsi Energi

Tabel 1 Konsumsi Energi *Solar Tracker Discrete* 3 Posisi Tiap Jam

Pukul	Konvensional (Wh)	Fuzzy (Wh)	F-ACO (Wh)
7:00	65,68	60,72	50
8:00	65,68	60,72	50
9:00	128,01	119,46	114,70
10:00	65,68	60,72	50
11:00	65,68	60,72	50
12:00	124,78	121,54	114,15
13:00	65,68	60,72	50
14:00	65,68	60,72	50
15:00	133,62	120,18	121,04
16:00	65,68	60,72	50
17:00	65,68	60,72	50

Tabel 2 Konsumsi Energi *Solar Tracker Discrete* 3 Posisi Per Hari

Hari ke-	Konvensional (Wh)	Fuzzy (Wh)	F-ACO (Wh)
1	82,89	76,99	68,17
2	82,62	76,95	67,94
3	81,98	76,71	67,41
4	81,06	76,26	68,13
5	79,76	75,96	67,09
6	82,36	76,05	67,31
7	82,37	76,49	67,47
8	81,33	75,79	67,18
9	81,40	75,49	67,06
10	80,01	75,88	66,69
11	81,79	75,97	67,50
12	81,63	75,98	67,70
13	82,21	76,07	67,59
14	81,46	76,06	67,59
15	82,94	75,65	67,15
16	82,22	75,85	67,26
17	81,33	75,55	67,18
18	80,87	75,60	66,86
19	81,33	75,55	67,36
20	81,33	75,55	67,36
21	80,86	75,59	67,20

Hari ke-	Konvensional (Wh)	Fuzzy (Wh)	F-ACO (Wh)
22	81,91	75,58	67,15
23	69,95	75,59	67,13
24	81,75	75,54	67,29
25	79,44	75,91	67,13
26	80,45	75,71	67,17
27	80,84	75,90	66,69
28	82,23	76,02	67,00
29	79,62	75,74	66,82
30	79,62	75,74	66,82

Tabel 3 Konsumsi Energi *Solar Tracker Discrete* 5 Posisi Tiap Jam

Waktu	Konvensional (Wh)	Fuzzy (Wh)	F-ACO (Wh)
7:00	65,68	60,72	50
8:00	125,25	119,46	115,02
9:00	65,68	60,72	50
10:00	122,45	121,54	116,84
11:00	65,68	60,72	50
12:00	133,09	120,18	118,09
13:00	131,32	120,52	117,84
14:00	65,68	60,72	50
15:00	130,27	120,50	117,00
16:00	65,68	60,72	50
17:00	65,68	60,72	50

Tabel 4 Konsumsi Energi *Solar Tracker Discrete* 5 Posisi Per Hari

Hari ke-	Konvensional (Wh)	Fuzzy (Wh)	F-ACO (Wh)
1	94,22	87,86	80,43
2	92,65	87,59	80,58
3	94,20	85,98	79,45
4	91,94	86,56	79,18
5	92,29	86,07	79,27
6	94,84	85,64	79,48
7	92,17	86,80	79,44
8	91,33	85,36	79,03
9	92,58	85,60	78,62
10	91,38	86,05	78,41
11	90,09	85,06	78,77
12	92,01	85,50	78,87
13	90,02	86,01	78,24

Hari ke-	Konvensional (Wh)	Fuzzy (Wh)	F-ACO (Wh)
14	92,25	85,37	78,88
15	92,48	86,18	78,65
16	94,19	86,36	79,23
17	87,99	85,22	79,02
18	88,03	89,63	79,28
19	88,03	88,77	80,29
20	88,03	88,77	80,29
21	88,49	84,65	78,31
22	90,67	84,93	78,41
23	92,65	85,41	77,99
24	90,11	84,59	78,27
25	91,12	84,73	78,18
26	90,96	84,14	78,27
27	88,41	84,52	77,69
28	92,76	84,87	78,20
29	91,54	85,76	78,70
30	91,54	85,76	78,70

Tabel 5 Konsumsi Energi *Solar Tracker Continuous* Tiap Jam

Waktu	Konvensional (Wh)	Fuzzy (Wh)	F-ACO (Wh)
7:00	146,04	78,78	74,36
8:00	142,47	72,35	67,84
9:00	137,72	73,37	68,96
10:00	143,27	71,29	61,31
11:00	136,39	65,80	68,24
12:00	130,90	73,62	69,22
13:00	132,32	71,66	67,24
14:00	129,83	65,18	68,82
15:00	136,74	73,21	68,28
16:00	136,74	73,21	68,28
17:00	128,25	71,09	61,17

Tabel 6 Konsumsi Energi *Solar Tracker Continuous* Posisi Per Hari

Hari ke-	Konvensional (Wh)	Fuzzy (Wh)	F-ACO (Wh)
1	136,47	72,55	67,46
2	132,50	71,37	67,04
3	128,95	71,62	66,80
4	128,89	72,03	67,27

Hari ke-	Konvensional (Wh)	Fuzzy (Wh)	F-ACO (Wh)
5	132,75	71,54	65,77
6	131,25	72,78	66,51
7	130,75	87,44	76,51
8	127,74	102,69	95,78
9	118,57	82,07	77,06
10	125,41	99,56	92,13
11	121,29	90,79	86,24
12	119,91	88,99	83,99
13	119,58	85,85	81,51
14	115,02	83,62	79,13
15	112,64	81,81	77,79
16	108,75	82,68	78,20
17	106,23	81,74	78,06
18	104,55	82,44	78,18
19	104,36	83,22	78,39
20	133,13	82,25	78,15
21	122,48	81,60	76,33
22	121,40	81,34	76,55
23	122,58	80,28	76,24
24	132,51	80,26	75,49
25	128,95	79,87	75,22
26	122,78	80,27	76,21
27	107,69	80,71	76,07
28	103,80	80,03	75,72
29	124,34	79,52	74,82
30	132,50	79,40	75,42

B. Data Output Solar Tracker

Tabel 7 Output Solar Tracker Discrete 3 Posisi

Waktu	Fixed			Tracker Fuzzy			Tracker F-ACO		
	Arus (A)	Tegangan (V)	Energi (Wh)	Arus (A)	Tegangan (V)	Energi (Wh)	Arus (A)	Tegangan (V)	Energi (Wh)
7:00	0,53	28,76	153,33	1,62	28,92	470,01	1,67	28,93	484,33
8:00	1,15	28,84	332,91	2,67	29,07	778,67	2,71	29,08	774,88
9:00	3,05	29,11	890,78	4,79	29,38	1174,05	4,80	29,38	1177,57
10:00	5,15	29,44	1519,24	6,51	29,63	1931,09	6,55	29,64	1113,37
11:00	6,47	29,64	1494,53	7,42	29,77	2210,88	7,48	29,78	1996,77
12:00	7,00	29,71	1933,07	8,06	29,86	2407,81	8,11	29,87	2423,44
13:00	6,43	29,62	1291,74	7,98	29,85	2385,42	8,04	29,86	2401,80
14:00	5,01	29,40	1475,22	7,18	29,74	2138,48	7,22	29,74	2150,33
15:00	3,12	29,12	909,35	5,80	29,53	771,46	5,82	29,53	1722,18
16:00	1,32	28,85	382,46	3,61	29,20	421,42	3,63	29,21	1061,65
17:00	0,25	28,71	306,65	1,32	28,87	384,40	1,33	28,87	388,10

Tabel 8 Output Solar Tracker Discrete 5 Posisi

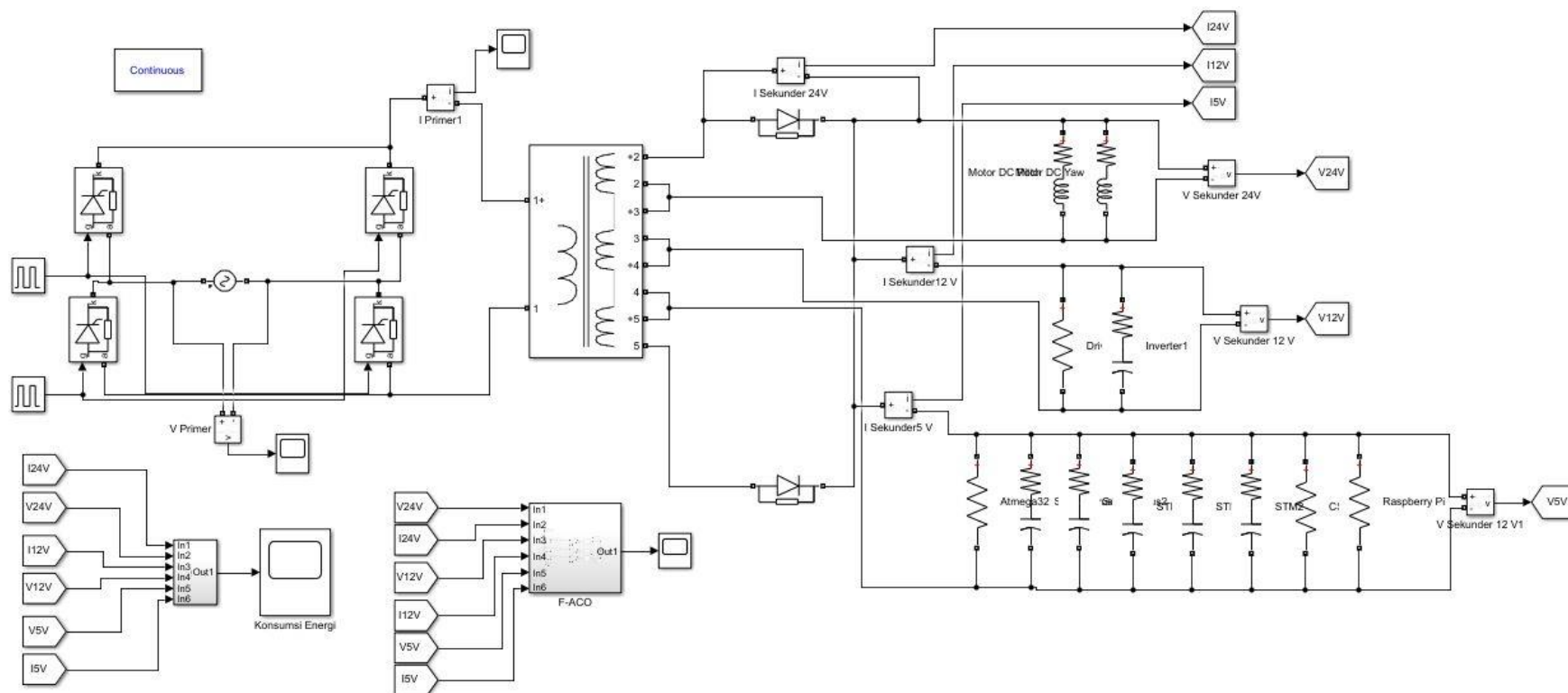
Waktu	Fixed			Tracker Fuzzy			Tracker F-ACO		
	Arus (A)	Tegangan (V)	Energi (Wh)	Arus (A)	Tegangan (V)	Energi (Wh)	Arus (A)	Tegangan (V)	Energi (Wh)
7:00	0,53	28,76	153,33	1,75	28,94	506,82	1,79	28,95	518,93
8:00	1,15	28,84	332,91	2,82	29,10	747,12	2,87	29,10	744,53
9:00	3,05	29,11	890,78	4,93	29,40	1209,10	4,97	29,41	1221,27
10:00	5,15	29,44	1519,24	6,60	29,65	1958,71	6,66	29,66	1136,90
11:00	6,47	29,64	1494,53	7,48	29,78	2228,36	7,55	29,79	2015,54

Waktu	Fixed			Tracker Fuzzy			Tracker F-ACO		
	Arus (A)	Tegangan (V)	Energi (Wh)	Arus (A)	Tegangan (V)	Energi (Wh)	Arus (A)	Tegangan (V)	Energi (Wh)
12:00	7,00	29,71	1933,07	8,08	29,87	2415,96	8,14	29,88	2433,75
13:00	6,43	29,62	1291,74	8,03	29,86	2401,31	8,09	29,87	2418,65
14:00	5,01	29,40	1475,22	7,25	29,75	2158,86	7,31	29,76	2176,08
15:00	3,12	29,12	909,35	5,87	29,54	778,56	5,92	29,55	1750,93
16:00	1,32	28,85	382,46	3,67	29,21	412,62	3,71	29,22	1055,71
17:00	0,25	28,71	306,65	1,34	28,87	390,18	1,36	28,88	395,88

Tabel 9 Output Solar Tracker Continuous

Waktu	Fixed			Tracker Fuzzy			Tracker F-ACO		
	Arus (A)	Tegangan (V)	Energi (Wh)	Arus (A)	Tegangan (V)	Energi (Wh)	Arus (A)	Tegangan (V)	Energi (Wh)
7:00	1,41	28,88	407,77	2,36	29,02	687,34	1,31	28,86	534,31
8:00	3,33	29,15	972,13	4,75	29,37	1398,17	3,61	29,19	1239,68
9:00	5,42	29,46	1598,27	6,49	29,63	1925,35	6,15	29,57	1863,79
10:00	6,90	29,69	2051,59	6,97	29,69	2071,48	7,47	29,77	2112,34
11:00	7,57	29,79	2255,82	7,15	29,72	2128,17	7,89	29,83	2212,92
12:00	6,87	29,68	2041,17	7,37	29,76	2193,42	7,93	29,84	2280,61
13:00	5,23	29,44	1541,52	7,00	29,71	2081,11	6,92	29,70	2093,50
14:00	3,34	29,15	977,02	5,62	29,50	1661,72	5,40	29,47	1768,06
15:00	1,48	28,87	428,54	2,95	29,10	861,24	3,05	29,12	1099,44
16:00	0,29	28,71	84,60	0,61	28,76	175,87	0,90	28,80	355,43
17:00	0,00	28,68	2,85	0,02	28,68	6,50	0,15	28,70	67,21

C. Model Simulink Konsumsi Energi Internal



Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Nurul Aulia Reza. Penulis lahir di Kediri, 1 Juni 1998. Penulis telah menempuh pendidikan di SDN Pare 2 pada tahun 2010, SMP Negeri 2 Pare pada tahun 2013, SMA Negeri 2 Pare pada tahun 2016. Kemudian penulis melanjutkan kuliah di Institut Teknologi Sepuluh Nopember program studi S-1 Teknik Fisika. Bidang minat pada tugas akhir penulis yaitu rekayasa instrumentasi dan kontrol. Pada bulan Juli 2020 penulis telah menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Analisis Komparatif Konsumsi Energi Internal pada *Discret-Continuous Solar Tracker* Berbasis *Fuzzy Ant Colony Algorithm*”. Bagi pembaca yang memiliki kritik dan saran mengenai tugas akhir ini dapat menghubungi via *email* : aulianurul1004@gmail.com.

Halaman ini sengaja dikosongkan