



TUGAS AKHIR - TF 181801

PERANCANGAN *PASSIVE SMART DISCRETE SOLAR TRACKER* PADA PV BERBASIS *FUZZY - ANT COLONY CONTROLLER*

NAJELA RAFIA ELCHOIR
NRP. 0231164000056

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



FINAL PROJECT - TF 181801

***PERANCANGAN PASSIVE SMART DISCRETE SOLAR
TRACKER PADA PV BERBASIS FUZZY - ANT COLONY
CONTROLLER***

NAJELA RAFIA ELCHOIR
NRP. 02311640000056

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 : Najela Rafia Elchoir
NRP : 02311640000056
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 “Perancangan *Passive Smart Discrete Solar Tracker* pada PV Berbasis *Fuzzy – Ant Colony Controller*” adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 31 Juli 2020

Yang membuat pernyataan,



Najela Rafia Elchoir

NRP. 02311640000056

Halaman ini sengaja dikosongkan

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**PERANCANGAN *PASSIVE SMART DISCRETE SOLAR
TRACKER* PADA PV BERBASIS *FUZZY – ANT COLONY
CONTROLLER***

Oleh:

Najela Rafia Elchoir

NRP. 02311640000056

Surabaya, 2 Agustus 2020

**Menyetujui,
Pembimbing**



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

NIP. 197610061999031002

Mengetahui,

Kepala Departemen

Teknik Fisika FT-IRS - ITS



Dr. Suvanto, S.T., M.T.
NIP. 19711113 199512 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN *PASSIVE SMART DISCRETE SOLAR TRACKER* PADA PV BERBASIS *FUZZY – ANT COLONY CONTROLLER*

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Progam Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FT-IRS)
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

NAJELA RAFIA ELCHOIR

NRP. 0231164000056

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

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

(Pembimbing I)

2. Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.

(Ketua Penguji)

3. Dr. Suyanto, S.T., M.T.

(Penguji I)

4. Erna Septyaningrum, S.T., M.T.

(Penguji II)

SURABAYA

2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERANCANGAN *PASSIVE SMART DISCRETE SOLAR TRACKER* PADA PV BERBASIS *FUZZY – ANT COLONY CONTROLLER*

Nama : Najela Rafia Elchoir
NRP : 02311640000056
Departemen : Teknik Fisika FT-IRS - ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.

ABSTRAK

Solar tracker merupakan gabungan sistem mekanik dan elektrik yang dapat menggerakkan suatu sistem panel surya agar selalu mengikuti arah matahari. Sistem *solar tracker* ini diharapkan dapat mengoptimalkan daya keluaran dari *photovoltaic*. Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah ada sistem *solar tracking* banyak dikembangkan dengan dengan metode penjejakan aktif sehingga konsumsi daya dari komponen-komponen penyusun *solar tracker* juga semakin besar , sehingga pada penelitian ini diterepkan sistem penjejak matahari pasif agar bisa mengurangi konsumsi internal energi dari *solar tracker*. Pada penelitian ini dilakukan perancangan *passive smart discrete solar tracker* dengan 3 posisi dan 5 posisi penjejakan berbasis *fuzzy-ant colony controller*. Perancangan *passive solar tracker* Berbasis *Fuzzy-Ant Colony Controller* memiliki indeks performansi (rata-rata) dengan nilai *rise time* sebesar 0,45 detik, *settling time* sebesar 0,701 detik, *maximum overshoot* sebesar 0,5% dan *error steady state* sebesar 0,05 %. Dari perancangan yang dilakukan, *passive solar tracker* 3 posisi dengan kontrol Fuzzy-ACO mampu meningkatkan efisiensi dengan *gross energi gain* sebesar 42,79% selama 10 jam dibandingkan dengan PV *fixed*. Sedangkan pada *passive solar tracker* 5 posisi menggunakan kontrol Fuzzy-ACO mampu meningkatkan efisiensi dengan *gross energi gain* sebesar 43,99%.

Kata Kunci: *Solar tracker, passive solar tracker, FLC, fuzzy-ant colony controller*

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERANCANGAN *PASSIVE SMART DISCRETE SOLAR TRACKER* PADA PV BERBASIS *FUZZY – ANT COLONY CONTROLLER*

Name : Najela Rafia Elchoir
NRP : 02311640000056
Department : Engineering Physics FT-IRS - ITS
Supervisors : Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.

ABSTRACT

Solar tracker is a combination of mechanical and electrical systems that can move a solar panel system to always follow the direction of the sun. The solar tracker system is expected to optimize the output power of photovoltaics. Based on studies that have been there solar tracking system has been developed with an active tracking method so that the power consumption of the components of the solar tracker is also greater, so that in this study passive solar tracking systems are applied so that they can reduce the internal energy consumption of the solar tracker. In this research, a passive smart discrete solar tracker design with 3 positions and 5 tracking positions is based on fuzzy-ant colony controller. The design of passive solar tracker based on Fuzzy-Ant Colony Controller has a performance index (average) with a rise time value of 0.45 seconds, a settling time of 0.701 seconds, a maximum overshoot of 0.5% and an error steady state of 0.05%. From the design done, 3 position passive solar tracker with Fuzzy-ACO control can increase efficiency with gross energy gain of 42.79% for 10 hours compared to fixed PV. While the 5 position passive solar tracker using Fuzzy-ACO control can increase efficiency with gross energy gain of 43.99%.

Keywords: Solar tracker, passive solar tracker, FLC, fuzzy-ant colony controller

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunianya sehingga saya mampu menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul “**Perancangan *Passive Smart Discrete Solar Tracker* pada PV Berbasis *Fuzzy – Ant Colony Controller***” dengan tepat waktu. Laporan ini dapat diselesaikan karena adanya dukungan dari beberapa pihak. Sehingga dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Suyanto, S.T., M.T. selaku Kepala Departemen Teknik Fisika FT-IRS - ITS.
2. Bapak Dr. Imam Abadi, S.T., M.T. selaku pembimbing Tugas Akhir dan Dosen Wali yang telah membina dan membimbing penulis dengan baik.
3. Bapak Dr. Ir. Ali Musyafa’, Msc dan Ibu Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes selaku penguji yang telah memberikan nasihat dan masukan yang bermanfaat dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh Dosen Teknik Fisika ITS atas segala ilmu dan bimbingan, dan pengalaman yang bermanfaat selama perkuliahan.
5. Dosen dan Asisten di Laboratorium Pengukuran Fisis yang telah membantu banyak dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
6. Keluarga yang telah memberikan dukungan dan doa yang tiada henti kepada penulis
7. Nida Amirah Purnomo yang selalu memberikan dukungan dan semangat kepada saya dan selalu bersedia menjadi tempat berkeluh kesah saya selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini.
8. Richarta Vichotama yang selalu memberikan dukungan, semangat dan telah membantu saya dalam banyak hal selama proses pengerjaan Tugas Akhir.
9. Dani Mayrawan yang telah membantu saya dalam pengerjaan Tugas Akhir ini terutama meminjamkan laptop untuk mengerjakan Tugas Akhir.
10. Seluruh teman-teman tim *solar tracker* yang telah membantu banyak dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.

11. Seluruh teman-teman Teknik Fisika 2016 yang telah memberikan dukungan kepada penulis.
12. Seluruh teman-teman dekat saya yang menjadi keluarga saya dan selalu mendukung dalam pengerjaan Tugas Akhir ini

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

Surabaya, 25 Juni 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
COVER PAGE.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
LEMBAR PENGESAHAN	ix
ABSTRAK	xi
ABSTRACT.....	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
DAFTAR NOTASI.....	xxiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Laporan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	6
2.1 <i>Solar cell</i>	6
2.2 <i>Solar tracker</i>	7
2.3 Posisi Matahari.....	8
2.4 Sensor CMPS10.....	10
2.5 Motor DC.....	10

2.6	Smart Solar Tracker	13
2.7	Fuzzy Logic Controller	14
2.8	<i>Ant Colony Optimization (ACO)</i>	15
2.9	Fuzzy <i>Ant Colony Optimization (ACO)</i>	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		21
3.1	Diagram Alir	21
3.2	Studi literatur	23
3.3	Pengambilan Data Awal	23
3.4	Pemodelan <i>Passive Solar tracker</i>	29
3.5	Validasi Pemodelan <i>Solar tracker</i>	33
3.6	Perancangan Sistem Kontrol Fuzzy Ant-Colony	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		45
4.1	Uji Set Point.....	45
4.2	Uji Tracking <i>Set Point</i>	48
4.3	Penentuan Waktu Pergerakan <i>Solar tracker</i> 3 Posisi	49
4.4	Penentuan Waktu Pergerakan <i>Solar tracker</i> 5 Posisi	49
4.5	Uji Performansi PV.....	50
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		65
5.1	Kesimpulan	65
5.2	Saran	66
DAFTAR PUSTAKA.....		67
LAMPIRAN		69
BIODATA PENULIS.....		83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Struktur Sel Surya [11]	6
Gambar 2. 2 <i>Schematic diagram solar tracker 1-axis 3-step position</i> [8]	7
Gambar 2. 3 Sensor Posisi CPMS10 [14].....	10
Gambar 2. 4 Model motor DC [15]	11
Gambar 2. 5 Model motor DC pada Simulink [15].....	13
Gambar 2. 6 Sistematika Fuzzy Logic Controller [16]	14
Gambar 2. 7 Jalur makan semut [17].....	16
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	22
Gambar 3. 2 pagambilan Data panel surya.....	27
Gambar 3. 3 Grafik Iradiansi Matahari	28
Gambar 3. 4 Grafik Temperatur Matahari.....	28
Gambar 3. 5 Pemodelan Posisi Matahari.....	30
Gambar 3. 6 Pemodelan Motor DC berbasis Simulink	31
Gambar 3. 7 Pemodelan Panel Surya	33
Gambar 3. 8 Validasi sudut <i>altitude</i> terhadap NOAA.....	34
Gambar 3. 9 Grafik validasi tegangan panel surya.....	35
Gambar 3. 10 Grafik validasi arus panel surya	35
Gambar 3. 11 Grafik validasi daya panel surya.....	36
Gambar 3. 12 Diagram blok sistem <i>solar tracker</i>	37
Gambar 3. 13 Fungsi Keanggotaan fuzzy error.....	38
Gambar 3. 14 Fungsi Keanggotaan fuzzy delta <i>error</i>	38
Gambar 3. 15 Fungsi Keanggotaan FLC-ACO <i>error</i>	42
Gambar 3. 16 Fungsi Keanggotaan FLC-ACO delta error pada pasif	43
Gambar 4. 1 Pemodelan uji <i>set point</i> pada Simulink	45
Gambar 4. 2 Respon Uji <i>Tracking</i> sudut <i>altitude</i>	48
Gambar 4. 3 Pemodelan <i>Passive Solar Tracker</i> berbasis simulink.....	51
Gambar 4. 4 Daya <i>output</i> PV <i>fixed</i>	52
Gambar 4. 5 Respon Tegangan <i>Ouput solar tracker</i> 3 posisi dan PV <i>Fixed</i>	53
Gambar 4. 6 Respon Arus <i>Ouput solar tracker</i> 3 posisi dan PV <i>Fixed</i>	53
Gambar 4. 7 Respon Daya <i>Ouput solar tracker</i> 3 Posisi dan PV <i>Fixed</i>	54

Gambar 4. 8 Respon Tegangan <i>Ouput solar tracker</i> 3 posisi F-ACO dan PV <i>Fixed</i>	55
Gambar 4. 9 Respon Arus <i>Ouput solar tracker</i> 3 posisi F-ACO dan PV <i>Fixed</i> ..	56
Gambar 4. 10 Respon Daya <i>Ouput solar tracker</i> 3 Posisi F-ACO dan PV <i>Fixed</i>	56
Gambar 4. 11 Respon Tegangan <i>Ouput solar tracker</i> 5 posisi dan PV <i>Fixed</i>	58
Gambar 4. 12 Respon Arus <i>Ouput solar tracker</i> 5 posisi dan PV <i>Fixed</i>	58
Gambar 4. 13 Respon Daya <i>Ouput solar tracker</i> 5 Posisi dan PV <i>Fixed</i>	59
Gambar 4. 14 Respon Tegangan <i>Ouput solar tracker</i> 5 posisi F-ACO dan PV <i>Fixed</i>	60
Gambar 4. 15 Respon Arus <i>Ouput solar tracker</i> 5 Posisi F-ACO dan PV <i>Fixed</i>	61
Gambar 4. 16 Respon Daya <i>Ouput solar tracker</i> 5 Posisi F-ACO dan PV <i>Fixed</i>	61

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Parameter motor DC.....	26
Tabel 3. 2 Parameter Panel surya	26
Tabel 3. 3 Batas-batas Fungsi Keanggotaan Fuzzy 5 MF.....	39
Tabel 3. 4 <i>Rulebase</i> Fuzzy 5 MF.....	39
Tabel 3. 5 Parameter nilai ACO	41
Tabel 4. 1 Indeks Performansi pada sudut <i>pitch passive solar tracker</i>	47
Tabel 4. 2 Peningkatan Performansi <i>Solar Tracker</i> terhadap PV <i>fixed</i>	63

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR NOTASI

n	= Hari dalam setahun (1 tahun = 365 hari)
β	= <i>Surface slope</i> (derajat)
γ	= <i>Surface azimuth</i> (derajat)
γ_s	= Sudut <i>azimuth</i> matahari (derajat)
θ_z	= Sudut <i>zenith</i> (derajat)
δ	= Sudut deklinasi (derajat)
ω	= Sudut jam (derajat)
ϕ	= Lintang (derajat)
θ	= Sudut <i>Shaft</i> Rotor
ω	= Kecepatan Angular (rad/s)
μ	= <i>Temperature Coeff. of Short Circuit Current</i>
Φ	= <i>Temperature Coeff. of Short Circuit Voltage</i>
B_m	= <i>Viscous Friction Coefficient</i>
E_b	= Tegangan Balik EMF (Volt)
I	= Arus PV (A)
I_a	= Arus Armatur (A)
I_d	= Arus diode (A)
I_{sh}	= Arus <i>shunt</i> (A)
J_m	= Inersia Motor (Nm.s ²)
K_b	= Konstanta Tegangan Balik EMF (Vs/rad)
K_T	= Konstanta Torsi (Nm/A)
L_a	= Induktansi Armatur (H)
R	= Resistansi (R)
R_a	= Resistansi Armatur (R)
R_{pv}	= Resistansi internal PV
S	= Radiasi matahari (W/m ²)
S_{ref}	= Radiasi matahari pada kondisi standar (1000 W/m ²)
T	= Temperatur permukaan PV (°C)
T_{ref}	= Temperatur referensi (25°C)
T_m	= Torsi Motor (Nm)
V_a	= Tegangan Armatur (Volt)
V_{oc}	= <i>Open Circuit Voltage</i> (Volt)
V_{mp}	= <i>Maximum Power Voltage</i> (Volt)
I_{sc}	= Arus short circuit (A)

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Solar tracker merupakan sebuah *plant solar cell* atau *photovoltaic* yang dirancang agar dapat memaksimalkan penyerapan energi matahari dengan cara mengikuti arah datang sinar matahari secara otomatis [1]. Dengan ikutnya berputar solar panel, maka tingkat penyerapan energi photon dari matahari dapat dimaksimalkan. Pada umumnya, *solar tracker* mempunyai dua tipe yaitu aktif dan pasif [1], [2]. *Solar tracker* aktif memiliki prinsip kerja berdasarkan posisi matahari melalui sensor *Light Dependent Resistor* (LDR) yang terdapat pada *photovoltaic*. Namun kelemahan dari *solar tracker* aktif yaitu rentan terhadap cahaya yang menyebar sehingga menjadi gangguan pada pembacaan sensor LDR tersebut dan dipengaruhi oleh cuaca yang berawan. Sedangkan *solar tracker* pasif dapat berfungsi pada kondisi tersebut dimana sistem pasif ini menggunakan pergerakan posisi matahari. Metode pasif adalah metode yang proses penjejakannya tidak melakukan pengukuran langsung terhadap besaran fisis dari objek, tapi didasarkan atas perhitungan astronomi.

Solar tracker dapat diklasifikasikan menurut jumlah sumbu rotasi. *Solar tracker* berdasarkan sumbu rotasi terbagi menjadi dua yaitu satu sumbu dan dua sumbu [3]. *Solar tracker* satu sumbu terdiri dari sumbu tunggal dari salah satu sudut *horizontal* atau *vertical* dengan merubah posisi pada sudut *pitch* (timur dan barat) sesuai dengan perubahan sudut elevasi pada matahari. *Solar tracker* dua sumbu merupakan sistem penjejak matahari dengan merubah posisi pada sudut *pitch* dan sudut *yaw* sehingga dapat menjejak matahari dari timur ke barat dan utara ke selatan sehingga dapat digunakan dengan jelas dimanapun belahan dunia [4]. *Solar tracker* dua sumbu ini ditunjukkan untuk menghasilkan peningkatan efisiensi lebih dari *solar tracker* satu sumbu yang hanya menggunakan satu perangkat aktuasi (mis. Motor).

Dengan demikian, *solar tracker* menjadi solusi untuk meningkatkan daya dari panel surya. Namun, pemanfaatan energi belum dilakukan dengan maksimal

karena teknologi yang sudah berkembang saat ini belum signifikan dalam meningkatkan efisiensi dari panel surya dan seringkali *internal energy consumption* tidak diperhitungkan. *Solar tracker* secara *continuous* adalah hal yang kompleks dan dapat membutuhkan biaya energi yang signifikan. Sehingga, untuk mengurangi *internal energy consumption* dapat diimplementasikan sebuah metode yaitu *discrete solar tracker* [3] [5] [6].

Penelitian ini merujuk pada beberapa penelitian sebelumnya yang telah dilakukan, salah satunya yaitu penelitian yang dilakukan oleh Shengnan (Steven) Hong dkk. [7] dengan merancang *solar tracker* menggunakan *discrete-position tracking*. Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan efisiensi yang dihasilkan oleh *discrete tracker* dengan *fixed tracker* dan *continuous solar tracker*. Tipe *solar tracker* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *passive tracker*, sehingga dibutuhkan data-data yang menunjang untuk pemodelan gerakan matahari. Dibandingkan dengan PV *fixed*, *discrete solar tracker* 2 posisi memiliki efisiensi lebih tinggi 20%. Huang dan Sun [8] melakukan penelitian *solar tracker* sumbu tunggal dengan sistem tiga posisi diskrit. Simulasi dan optimalisasi radiasi matahari menggunakan model Liu dan Jordan menunjukkan bahwa pelacakan tiga posisi optimal pada siang hari yaitu 50° sebelum dan sesudah siang. Hasil percobaan menunjukkan bahwa pelacak tiga posisi sumbu tunggal pada sudut kemiringan yang dioptimalkan menghasilkan keuntungan tahunan sekitar 25% dibandingkan dengan PV *fixed* pada sudut kemiringan yang dioptimalkan yang sama. Kemudian Imam Abadi, Ali Musyafa', Adi Soeprianto [9] melakukan penelitian tentang *passive solar tracker* dua sumbu menggunakan *Type-2 Fuzzy Logic Controller* untuk meningkatkan efisiensi dari PV. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Type-2 FLC memiliki performansi yang lebih baik daripada Type-1 FLC. Efisiensi *solar tracker* yang diusulkan selama periode percobaan adalah 48,56% dari *fixed system*.

Kemudian dari penelitian yang dilakukan oleh D. Junianto dan kawan-kawan [10] dilakukan perbandingan performansi panel surya jika menggunakan metode kontrol konvensional (algoritma P&O) dibandingkan metode kontrol dengan kecerdasan buatan (algoritma P&O-Fuzzy). Hasilnya, P&O konvensional memiliki efisiensi rata-rata 85,03% sedangkan algoritma P&O-Fuzzy mampu

meningkatkan efisiensi penelusuran MPP dengan rata-rata efisiensi 89,67 %. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa penggunaan metode kontrol berdasarkan kecerdasan buatan dapat lebih meningkatkan kinerja sistem dibandingkan dengan metode konvensional.

Dari keempat penelitian yang telah dilakukan, maka dalam tugas akhir ini dirancang sebuah *Passive Smart Discrete Solar tracker three and five positions* dengan metode pelacakan yang relatif murah, mudah dirawat, dan memiliki efisiensi kerja yang tinggi berbasis *Fuzzy – Ant Colony Controller* dengan harapan mampu meningkatkan akurasi pelacakan *solar tracker* menggunakan *software* MATLAB/SIMULINK.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang tersebut, maka didapatkan rumusan masalah yang akan diselesaikan sebagai berikut:

- a) Bagaimana menentukan parameter perancangan *passive solar tracker* pada panel surya?
- b) Bagaimana menentukan parameter kontrol Fuzzy yang di-optimisasi dengan *Ant Colony Algorithm*?
- c) Bagaimana performansi daya yang dihasilkan *solar tracker* dengan menggunakan *tracking* 3 posisi dan 5 posisi?

1.3 Tujuan

Dari perumusan masalah tersebut didapatkan tujuan penelitian yang akan dilakukan, yaitu sebagai berikut:

- a) Mengetahui parameter perancangan *passive solar tracker* pada panel surya
- b) Mengetahui parameter kontrol Fuzzy yang di-optimisasi dengan *Ant Colony Algorithm*
- c) Mengetahui performansi daya yang dihasilkan *solar tracker* dengan menggunakan *tracking* 3 posisi dan 5 posisi

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a) Metode *tracking* adalah *passive tracking*.

- b) Spesifikasi panel surya yang digunakan adalah 250 WP.
- c) Kontrol yang digunakan dalam sistem penjejak matahari adalah *Fuzzy-Ant Colony Controller* dan dibandingkan dengan *fuzzy Logic Controller (FLC)*.
- d) Metode *fuzzy* yang digunakan adalah Sugeno dengan lima fungsi keanggotaan.
- e) Metode optimisasi yang digunakan adalah *Ant Colony Optimization*.
- f) Sumbu rotasi *solar tracker* adalah *single axis*.
- g) Pengambilan data dilakukan di dep. Teknik Fisika, kampus ITS Sukolilo.

1.5 Sistematika Laporan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan sistematika laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Pada bab ini berisi dasar teori yang terkait dengan tugas akhir tentang perancangan *passive solar tracker* berbasis Fuzzy Ant-Colony Controller. Bab ini terdiri dari dasar teori tentang panel surya, sensor CMPS10, posisi matahari, motor DC, *solar tracker*, serta control yang digunakan yakni Fuzzy Ant-Colony Controller.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian yang dimulai pengambilan data pengukuran, pemodelan *Passive single axis solar tracker*, simulasi, pengujian dan validasi.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan tentang hasil simulasi dan pengujian dari kontrol yang digunakan yakni Fuzzy Ant-Colony controller dalam sistem *passive single axis solar tracker*. Didapatkan hasil pengujian *set point* pada sistem pasif

solar tracker. Hasil uji *tracking* pasif *solar tracker*. Serta hasil performansi dari sistem *passive single axis solar tracker*.

BAB V PENUTUP

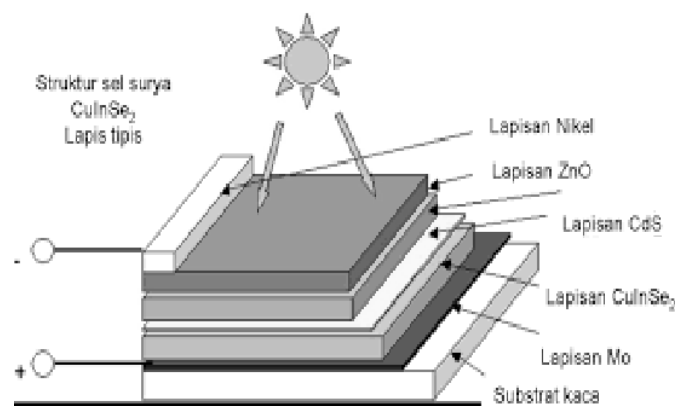
Pada bab V ini diberikan kesimpulan dari penelitian tugas akhir yang telah dilakukan berdasarkan hasil yang diperoleh, serta diberikan saran sebagai penunjang maupun pengembangan tugas akhir selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 *Solar cell*

Jumlah energi sangat besar yang dihasilkan dari sinar matahari, membuat *solar cell* menjadi alternatif sumber energi yang sangat menjanjikan di masa depan [1], [2], [3], [4]. Ada dua cara untuk memanfaatkan energi matahari menjadi energi listrik. Yang pertama dengan memanfaatkan energi panas yang dipancarkan oleh matahari, yang kedua dengan memanfaatkan energi yang dibawa oleh cahaya matahari yaitu berupa partikel foton. Diperlukan sebuah perangkat khusus untuk dapat menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan partikel foton yaitu dengan menggunakan *Solar cell* atau *photovoltaic (PV)*. *Solar cell* atau *photovoltaic (PV)* merupakan suatu perangkat semikonduktor yang mampu menghasilkan listrik dari energi cahaya yang berasal dari matahari. Pada saat energi foton atau cahaya mengenai permukaan *solar cell*, maka foton akan mendorong elektron bebas di dalam kristal silikon dan kemudian bergerak keluar melalui sirkuit eksternal dan kembali lagi melalui sisi lain *solar cell* sehingga nantinya akan menghasilkan arus listrik [11]. Struktur dari sel surya ditunjukkan pada Gambar 2.1 sebagai berikut.



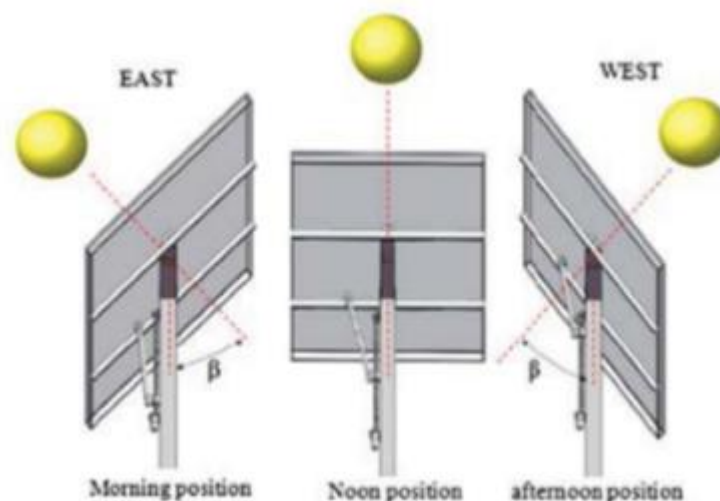
Gambar 2. 1. Struktur Sel Surya [11]

Untuk dapat menghasilkan arus listrik, partikel foton yang sampai pada permukaan *solar cell* harus memiliki energi yang lebih tinggi daripada pita energi

(*band gap*) material pembentuk *solar cell* tersebut. *Band gap* adalah jumlah energi minimal yang diperlukan elektron pada suatu material untuk dapat tereksitasi. *Solar cell* juga memiliki kelebihan menjadi sumber energi yang praktis mengingat tidak membutuhkan transmisi karena dapat dipasang secara modular di setiap lokasi yang membutuhkan. *Solar cell* dapat menerima energi cahaya secara terus menerus dalam intensitas tertentu.

2.2 *Solar tracker*

Solar tracker merupakan sebuah perangkat yang bisa mengarahkan panel surya ke arah datangnya cahaya matahari. Efisiensi konversi energi matahari menjadi energi listrik dapat ditingkatkan ketika modul dari panel surya terus disesuaikan dengan sudut optimal yang mengarah ke arah datangnya cahaya matahari. Karena peningkatan efisiensi maka akan terjadi peningkatan energi yang dihasilkan oleh panel surya. Penggunaan *solar tracker* dapat membuat perbedaan yang cukup besar terhadap hasil yang didapatkan jika dibandingkan dengan panel surya yang diam tanpa mengikuti arah datangnya sinar matahari [1]- [4].



Gambar 2. 2 *Schematic diagram solar tracker 1-axis 3-step position* [8]

Solar tracking system secara umum dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu *single axis* dan *dual axis*. Untuk *single axis* dibagi menjadi dua yaitu *vertical rotating axis* dan *inclined rotating axis*. *Vertical rotating axis* merupakan sistem penjejak yang digunakan untuk mengendalikan sudut *azimuth* (*pitch*) dari timur ke barat. Sedangkan *inclined rotating axis* merupakan sistem penjejak yang

digunakan mengendalikan sudut *tilt* (*yaw*) dari utara ke selatan . Untuk sistem penjejak *dual axis* menggabungkan antara *vertical rotating axis* dan *inclined rotating axis* [12].

Berdasarkan metode penjejukan, sistem *solar tracker* dibagi menjadi dua, yaitu metode penjejak aktif dan pasif. metode penjejak aktif adalah metode yang proses penjejakannya melakukan pengukuran langsung terhadap objek [1]- [2] sehingga membutuhkan sebuah sensor yang bisa melacak cahaya matahari secara langsung untuk mengarahkan *solar tracker*. Sedangkan metode penjejak pasif adalah metode yang proses penjejakannya tidak melakukan pengukuran langsung terhadap besaran fisis dari objek atau teknik penjejukan didasarkan atas perhitungan astronomi.

2.3 Posisi Matahari

Posisi matahari ditentukan berdasarkan sudut elevasi atau disebut sebagai sudut *altitude* (α) dan sudut *azimuth* (β). Kedua posisi sudut tersebut berubah setiap waktu sepanjang tahun. Dalam proses penjejukan matahari, untuk mengetahui letak posisi matahari secara garis besar diperlukan dua parameter, yaitu lokasi tempat dan waktu saat melakukan pengukuran. Parameter pertama yaitu terkait lokasi pengukuran adalah koordinat bujur dan lintang. Sedangkan parameter yang terkait waktu pengukuran adalah jam dan tanggal. Di suatu lokasi di permukaan bumi pada jam dan tanggal yang sama, matahari berada pada posisi yang sama untuk tahun yang berbeda [13]. *Solar tracker* akan berkerja dengan baik ketika sudut *pitch* dan *yaw* pada *photovoltaic* (PV) dapat menjejak sudut *azimuth* dan *altitude* dari matahari. Sudut *azimuth* (γ) dan *altitude* (α) dapat dihitung dengan persamaan (2.3) dan (2.2) [9]

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

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

$$\gamma = \cos^{-1} \left(\frac{\cos \delta \cos \omega \sin \phi}{\sin \theta_z} - \frac{\sin \delta \cos \phi}{\sin \theta_z} \right) \quad (2.3)$$

Sudut deklansi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.4) sebagai berikut.

$$\delta = 23.45 \sin \left[360 \frac{(284+n)}{365} \right] \quad (2.4)$$

Jika parameter pada permukaan *tracking* ialah sudut datang (θ_i), sudut *pitch* (β) dan sudut *yaw* (γ_s), dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (8.9).

$$\theta_i = \cos^{-1}(\cos \theta_z \cos \beta + \sin \theta_z \sin \beta \cos(\gamma_s - \gamma)) \quad (2.5)$$

$$\gamma_s = \sigma_{ew} \sigma_{ns} \gamma_{so} + \left(\frac{1 - \sigma_{ew} \sigma_{ns}}{2} \right) \sigma_w 180^\circ \quad (2.6)$$

$$\beta = \theta_z$$

$$\gamma = \gamma_s$$

Dimana:

$$\gamma_{so} = \sin^{-1} \left(\frac{\sin \omega \cos \delta}{\sin \theta_z} \right) \quad (2.7)$$

$$\sigma_{ew} = 1 \text{ if } |\omega| < \omega_{ew}$$

- 1 otherwise

$$\sigma_{ns} = 1 \text{ if } \varphi(\varphi - \delta) \geq 0$$

-1 otherwise

$$\sigma_w = 1 \text{ if } \omega \geq 0$$

-1 otherwise

$$\omega_{ew} = \cos^{-1}(\cos \varphi \tan \delta)$$

Keterangan :

n = Hari dalam setahun (1 tahun = 365 hari)

β = *Surface slope* (derajat)

γ = *Surface azimuth* (derajat)

γ_s = Sudut *azimuth* matahari (derajat)

θ_z = Sudut *zenith* (derajat)

δ = Sudut deklinasi (derajat)

ω = Sudut jam (derajat)

ϕ = Lintang (derajat)

2.4 Sensor CMPS10

Sensor CMPS10 merupakan suatu sensor posisi angular yang digunakan untuk mengindera posisi aktual dari *photovoltaic* (PV) pada arah *altitude* dan *azimuth* matahari dan mengkonversinya menjadi bilangan desimal yang merepresentasikan sudut putar. CMPS10 merupakan modul terintegrasi yang menggunakan prinsip kompas kompensator kemiringan. [14]



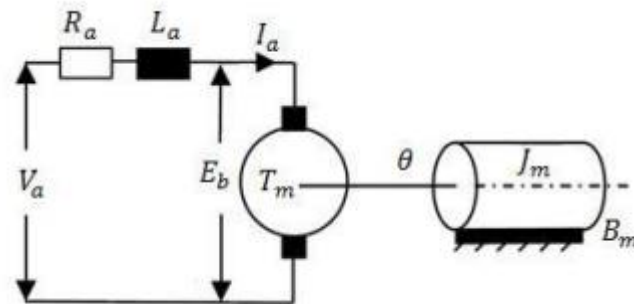
Gambar 2. 3 Sensor Posisi CPMS10 [14]

Sensor CMPS10 pada Gambar 2.3 merupakan modul yang terdiri dari magnetometer 3 poros dan accelerometer 3 poros serta dilengkapi dengan processor 16 bit. Sedangkan, output dari sensor ini adalah bernilai desimal dengan rentang pengukuran sudut *pitch* adalah -90° sampai 90° dan sudut *yaw* adalah 0° hingga 360° sedangkan output sensor memiliki format bilangan *decimal* -90 sampai 90 untuk sudut *pitch* dan 0 sampai 359.9 untuk sudut *yaw*. resolusi pengukuran sudut *pitch* dan *yaw* PV panel adalah masing- masing 1° dan 0.1° . Sensor ini juga dilengkapi dengan piranti *auto calibration* untuk menghilangkan *offset* yang disebabkan oleh pengaruh sumber elektromagnetik disekitar objek pengukuran [12].

2.5 Motor DC

Motor DC merupakan salah satu komponen yang digunakan pada *solar tracker system*. Motor berfungsi sebagai penggerak sistem *photovoltaic* (PV) pada *single axis* maupun *dual axis* sehingga bisa mengikuti arah datangnya matahari.

Motor DC mempunyai kelebihan yaitu rpm yang besar, torsi cukup besar (tergantung tipe), aplikasi daya rendah dan performansi yang linier [15].



Gambar 2. 4 Model motor DC [15]

Menurut hukum Tegangan Kirchoff :

$$V(t) = R_a \cdot I_a(t) + L_a \cdot \frac{di(t)}{dt} + Eb(t) \quad (2.9)$$

Dimana V adalah tegangan yang diaplikasikan ke motor

$$Eb(t) = K_b \cdot \omega(t) \quad (2.10)$$

Torsi yang dihasilkan oleh motor sebanding dengan arus. Menurut Hukum Newton Kedua (rotasi) :

$$Tm(t) = Jm \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} + Bm \cdot \omega(t) \quad (2.11)$$

Dimana Tm adalah torsi motor

$$Tm(t) = Kt \cdot Ia(t) \quad (2.12)$$

Dimana :

Va = Tegangan Armatur (V)

Ra = Resistansi Armatur (R)

La = Induktansi Armatur (H)

Ia = Arus Armatur (A)

Eb = *Back EMF* (V)

ω = Kecepatan *Angular* (rad/s)

Tm = Torsi Motor (Nm)

Θ = Posisi *Angular Shaft Rotor* (rad)

Jm = Inersia Motor (Nm.s²)

B_m = *Viscous Friction Coefficient* (Nm.sec/rad)

K_t = *Konstanta Torsi* (Nm/A)

K_b = *Back EMF Constant* (Vs/rad)

Persamaan (2.9), (2.10), (2.11) dan (2.12) dapat diatur kembali yaitu pada persamaan (2.13) dan (2.14) untuk pembuatan blok diagram.

$$V(t) = R_a \cdot I_a(t) + L_a \cdot \frac{di(t)}{dt} + K_b \cdot \omega(t) \quad (2.13)$$

$$K_t \cdot I_a(t) = Jm \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} + B_m \cdot \omega(t) \quad (2.14)$$

Transformasi Laplace dari persamaan (2.13) dan (2.14) yaitu

$$V(s) = R_a \cdot I_a(s) + L_a \cdot I_a(s)S + K_b \cdot \omega(s) \quad (2.15)$$

$$K_t \cdot I_a(s) = Jm \cdot \omega(s)S + B_m \cdot \omega(s) \quad (2.16)$$

Jika arus didapatkan dari persamaan (2.16) dan disubstitusikan ke persamaan (2.15) maka

$$V(s) = \omega(s) \frac{1}{K_t} \cdot [L_a \cdot Jm \cdot S^2 + (R_a \cdot Jm + L_a \cdot B_m)S + (R_a \cdot B_m + K_b \cdot K_t)] \quad (2.17)$$

Hubungan antara kecepatan *shaft rotor* dan tegangan *armature* kemudian dapat direpresentasikan dalam fungsi transfer berikut ini

$$\frac{\omega(s)}{V(s)} = \frac{K_t}{[L_a \cdot Jm \cdot S^2 + (R_a \cdot Jm + L_a \cdot B_m)S + (R_a \cdot B_m + K_b \cdot K_t)]} \quad (2.18)$$

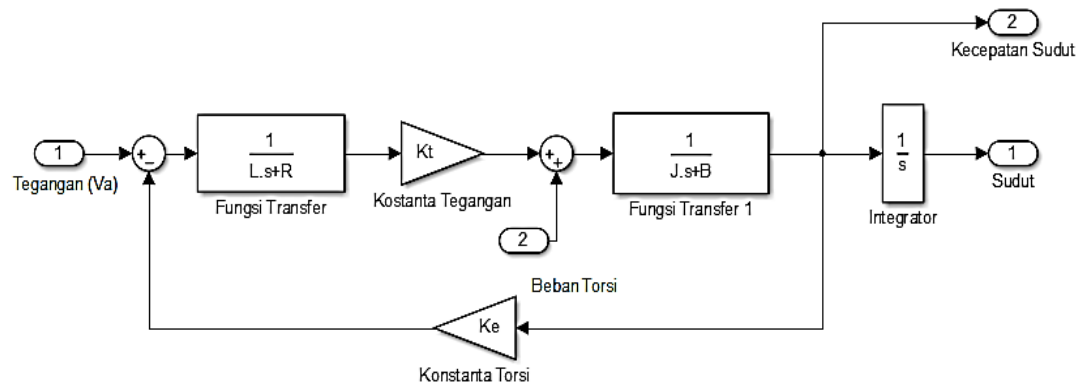
Hubungan antara posisi dan kecepatan yaitu :

$$\theta(s) = \frac{1}{s} \omega(s) \quad (2.19)$$

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

$$\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{K_t}{[L_a \cdot Jm \cdot S^2 + (R_a \cdot Jm + L_a \cdot B_m)S + (R_a \cdot B_m + K_b \cdot K_t)]} \quad (2.20)$$

Berdasarkan persamaan (2.18) dapat digambarkan ke dalam model Matlab/Simulink untuk Motor DC yaitu sebagaimana pada gambar dibawah.



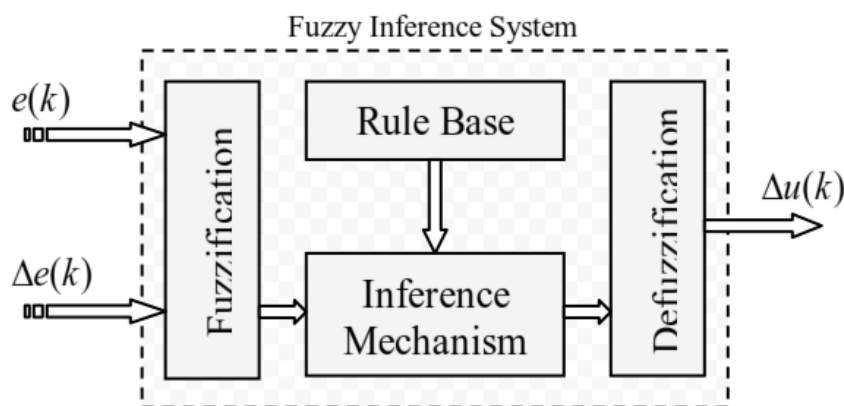
Gambar 2. 5 Model motor DC pada Simulink [15]

2.6 Smart Solar Tracker

Smart Solar tracker adalah sistem *solar tracker* yang memanfaatkan algoritma kecerdasan buatan (*artificial intelligence*) yang diimplementasikan terhadap sistem kontrol. Penelitian-penelitian sebelumnya terkait dengan perancangan dan pembuatan *smart solar tracker* telah dilakukan dengan tujuan agar *solar tracker* yang dirancang bisa menghemat konsumsi daya listrik. Beberapa penelitian yang telah dilakukan oleh V. Ramchandani dkk (2013) “*Implementation of Maximum Power Point Tracking Using Kalman Filter for Solar Photovoltaic Array on FPGA*” dan penelitian oleh M. A. Usta dkk (2011) “*Design and Performance of Solar Tracking System with Fuzzy Logic Controller*”. Metode yang digunakan oleh keduanya adalah dengan memfilter sensor inputan sehingga mencegah gerakan yang tidak perlu. Metode yang dilakukan oleh V. Ramchandani dkk (2013) sangat kompleks jika diimplementasikan menggunakan perangkat prosesor digital yang mempunyai *resource* yang besar seperti DSP, FPGA, mikrokontroler 32 bit dan sebagainya sehingga biaya pembuatan alat *solar tracker* ini menjadi mahal. Maka pada penelitian ini dirancang *smart solar tracker* dengan biaya murah yang bisa dibuat dengan mengimplementasikan algoritma kendali cerdas pada mikrokontroler 8 bit ATmega8535 yang berbiaya murah. Sistem kontrol cerdas yang digunakan dalam sistem *solar tracker* adalah *Fuzzy Logic Controller* (FLC).

2.7 Fuzzy Logic Controller

Logika fuzzy adalah cabang dari sistem kecerdasan buatan (*Artificial Intelligent*) yang mengemulasi kemampuan manusia dalam berfikir ke dalam bentuk algoritma yang kemudian dijalankan oleh mesin. Logika *fuzzy* adalah sebuah logika berdasarkan metode dan prinsip dasar berpikir yang dimiliki oleh manusia. Prinsip yang dimiliki oleh logika *fuzzy* dapat digunakan untuk memodelkan fungsi nonlinier dari sebuah sistem yang kompleks dengan terdiri dari beberapa *input* dan *output*. [16]



Gambar 2. 6 Sistematika Fuzzy Logic Controller [16]

Fungsi dari bagian-bagian diatas adalah sebagai berikut:

1. *Input*

Input atau masukkan pada *fuzzy* logic berupa *crisp* (variabel fisis) atau bilangan *real*. *input* tersebut dapat berupa data linguistik maupun data numeric.

2. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi berfungsi untuk memetakan data *input* dalam bentuk *crisp* menjadi bilangan *fuzzy* dengan menentukan derajat keanggotaan *fuzzy* untuk masing-masing nilai *input*.

3. *Inference Engine*

Inference Engine adalah pemrosesan informasi sistem (seperti program komputer) yang sistematis menggunakan langkah-langkah kesimpulan yang

mirip dengan otak manusia. *Inference Engine* berisi aturan-aturan dasar yang mendefinisikan himpunan *fuzzy* atas daerah-daerah masukan dan keluaran serta sebagai acuan sistem. Aturan dasar ini menggunakan persamaan *IF – THEN*. Untuk mendapatkan aturan “*IF-THEN*” ada dua cara utama:

- Menanyakan ke operator manusia yang dengan cara manual telah mampu mengendalikan sistem tersebut, dikenal dengan “*human expert*”.
- Dengan menggunakan algoritma pelatihan berdasarkan data-data masukan dan keluaran.

4. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi berfungsi untuk memetakan *output* himpunan *fuzzy* ke dalam data *crisp* dengan kata lain defuzzifikasi akan mengembalikan setiap *output* himpunan *fuzzy* menjadi bilangan *crisp*

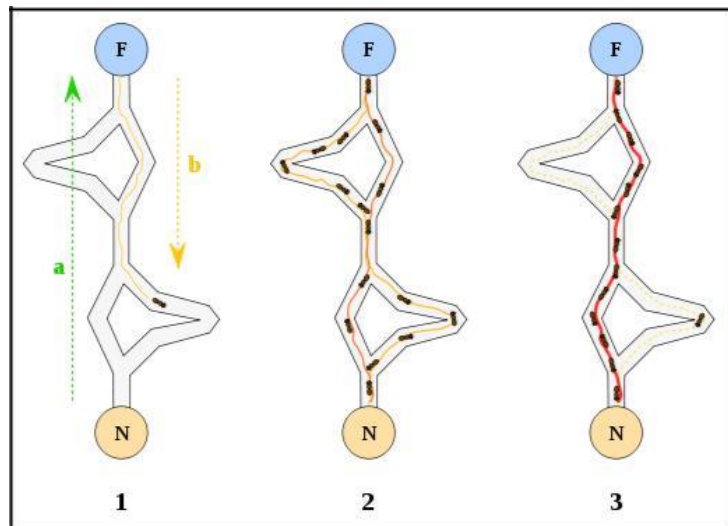
5. Output

Dari hasil defuzzifikasi, keluaran dari sistem fuzzy merupakan bilangan *crisp*.

2.8 *Ant Colony Optimization (ACO)*

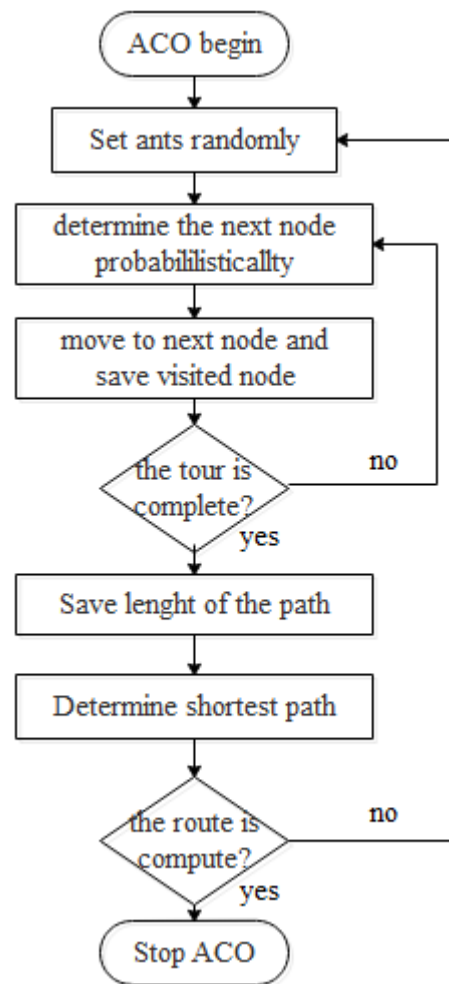
Ant Colony Optimization (ACO) diadopsi dari perilaku koloni semut yang dikenal sebagai sistem semut agar dapat mencapai jalur paling cepat saat menuju sumber makanan. *Ant colony Optimization* adalah salah satu kecerdasan buatan yang bisaya digunakan untuk optimisasi pada suatu sistem. Algoritma ini pertama kali diperkenalkan oleh Dorigo (Dorigo et al, 1996). Semut tergolong salah satu hewan yang pintar, mereka mampu mencapai makanannya dengan jalur yang terpendek dan tercepat sehingga jarak yang ditempuh adalah jarak yang optimal. Perilaku semut dalam menuju sumber makanan adalah inspirasi untuk Algoritma *Ant Colony Optimization*. Prinsip dari *Ant Colony Optimization (ACO)* adalah semut selalu meninggalkan suatu zat kimia khusus yang disebut feromon pada jalur yang dilewatinya selama melakukan perjalanan saat menuju sumber makanan. Feromon yang ditinggalkan oleh semut- semut akan menjadi pemandu bagi semut-semut yang lain dalam menentukan jalur menuju makanannya. Semakin banyak semut yang melewati jalur tersebut maka jumlah feromon yang

tertinggal juga akan semakin banyak, sehingga kemungkinan semut-semut lain mengikuti jalur tersebut akan semakin besar. Semakin banyaknya feromon yang tertinggal pada jalur mengindikasikan bahwa jalur tersebut adalah jalur tercepat yang paling banyak dilewati semut dalam mencari sumber makanannya. Ketika seekor semut menemukan jalur terpendek dari koloni ke sumber makanan, semut lain akan lebih cenderung mengikuti jalan itu. [17]



Gambar 2. 7 Jalur makan semut [17]

Langkah - langkah penyelesaian komputasi pada ACO terlihat pada gambar di atas. Gambar 2.7 merupakan jalur makanan semut dengan ujung F adalah *food source* yang berarti sumber makanan dan N adalah *nest* yang berarti sarang semut atau titik awal dari koloni semut. Gagasan awal algoritma *Ant Colony Optimization* ini berasal dari hasil pengamatan sumber makanan dari semut itu sendiri dimana semut secara individual memiliki kemampuan kognitif dalam menemukan jalur terpendek antara sumber makanan dan sarangnya, sehingga konsentrasi feromon yang dihasilkan juga semakin banyak dilihat dari konsentrasi feromon yang paling optimal. Ketika semut mengambil rute terpendek, jejak rute panjang yang dilewati akan hilang karena zat feromon juga akan terjadi penguapan ketika tidak ada semut yang melewatinya lagi. Berikut Langkah-langkah dalam proses optimisasi menggunakan *ant colony*:



Gambar 2. 8 Diagram alir *Ant Colony Optimization* [18]

Dalam algoritma *ant colony*, semut yang berada pada posisi acak akan mulai menuju ke sumber makanan dengan meninggalkan zat feromon. Semut k dalam titik i memilih titik berikutnya j dengan menggunakan probabilitas.

$$p_{ij}^{(k)} = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^{\alpha}}{\sum_{j \in N_i^{(k)}} \tau_{ij}^{\alpha}} & \text{if } j \in N_i^{(k)} \\ 0 & \text{if } j \notin N_i^{(k)} \end{cases} \quad (2.21)$$

Seekor semut k ketika melewati jalur dalam mencari makanan akan meninggalkan feromon. Sebelum kembali ke sarang, seekor semut akan menyimpan jalur feromon yang telah dilewati $\Delta\tau^{(k)}$. Jumlah feromon yang terdapat pada jalur $i - j$ setelah dilewati semut k diberikan dengan rumus :

$$\tau_{i,j} \leftarrow \tau_{i,j} + \Delta\tau^k \quad (2.22)$$

Dengan meningkatnya nilai feromon pada jalur $i - j$, maka probabilitas jalur tersebut akan dipilih lagi pada iterasi berikutnya semakin besar. Setelah sejumlah jalur dilewati dan semut berjalan ke titik selanjutnya, maka akan terjadi evaporasi atau penguapan kadar feromon dengan aturan sebagai berikut:

$$\tau_{i,j} \leftarrow (1 - \rho) \tau_{i,j} : \forall (i,j) \in A \quad (2.23)$$

Penurunan jumlah konsentrasi feromon memungkinkan semut untuk mengeksplorasi lintasan yang berbeda selama proses pencarian makanan dengan mencari kadar feromon yang lebih tinggi. Sehingga kemungkinan semut tidak akan memilih lintasan yang kurang bagus. [17]

2.9 Fuzzy Ant Colony Optimization (ACO)

Fuzzy-ACO merupakan *membership function* Fuzzy yang telah dioptimisasi dengan ACO. Fuzzy-ACO dilakukan untuk mendapatkan jalur terpendek dengan menggunakan algoritma ACO. Fuzzy-ACO menemukan jalur terpendek dan tercepat dengan adanya konsentrasi zat feromon paling tinggi yang ditinggalkan oleh semut-semut sebelumnya selama mencari makan. Berikut adalah langkah langkah optimisasi Fuzzy dengan ACO [19]:

- Langkah 1: Pengambilan data *solar tracker*, kemudian inisialisasi parameter-parameter ACO dan algoritmanya yaitu menetapkan jumlah iterasi, jumlah semut, α (konsentrasi feromon), β (nilai heuristik), ρ (laju penguapan feromon),
- Langkah 2: Buat *rule base* untuk *input* dan *output bilangan fuzzy*, dan fungsi keanggotaan *fuzzy*, dan tempatkan semut pada posisi awal.
- Langkah 3: Konsentrasi feromon akan terus di-*update* Ketika semut mulai bergerak untuk mendapatkan solusi terbaik selama iterasi berlangsung. Hasilkan solusi baru dengan memperbarui ACO, dan bandingkan nilai dari solusi baru dengan solusi terbaik. Jika nilai yang dihasilkan memiliki nilai yang lebih baik, maka nilai tersebut akan digunakan untuk optimisasi. Solusi baru dengan solusi terbaik tersebut akan digunakan untuk optimisasi bilangan *fuzzy*.

Langkah 4) : Periksa jumlah iterasi dan jika jumlah iterasi tidak memiliki nilai yang ditentukan, maka langkah tersebut diulangi pada Langkah 2.

Langkah 5) : Defuzzifikasi solusi terbaik dan cetak hasilnya

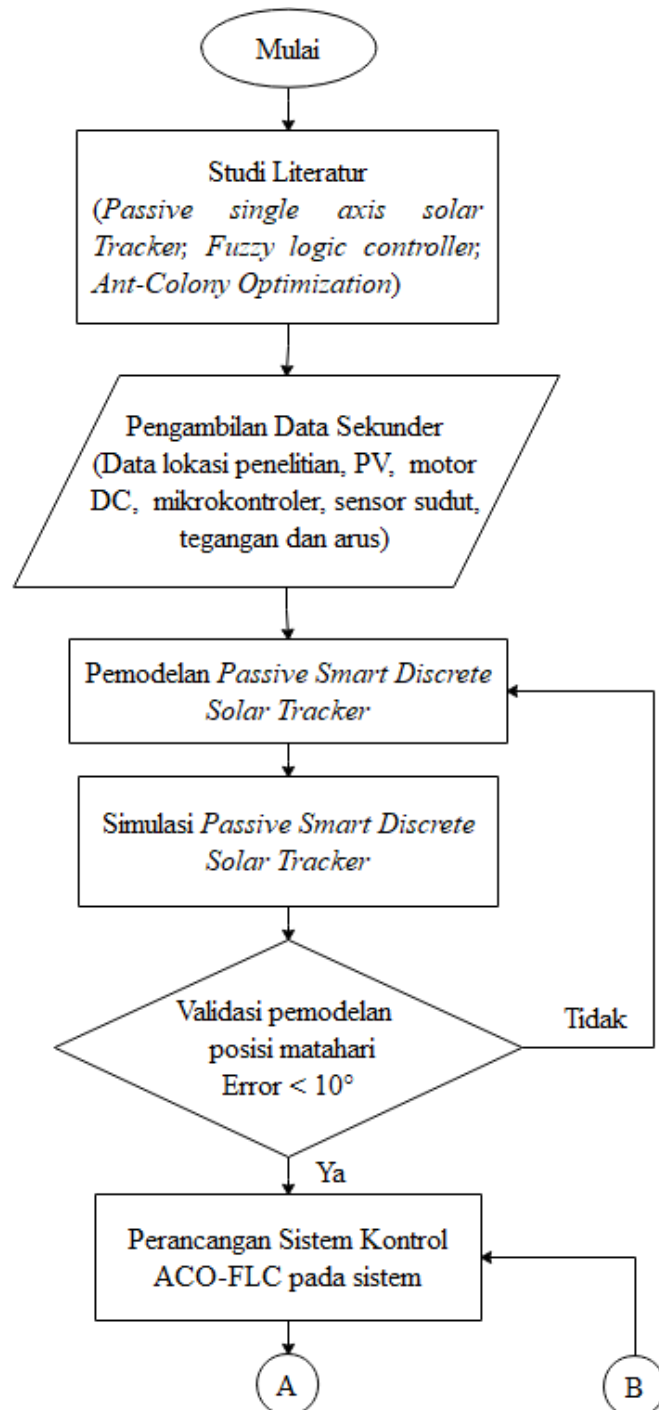
Langkah 6) : Stop

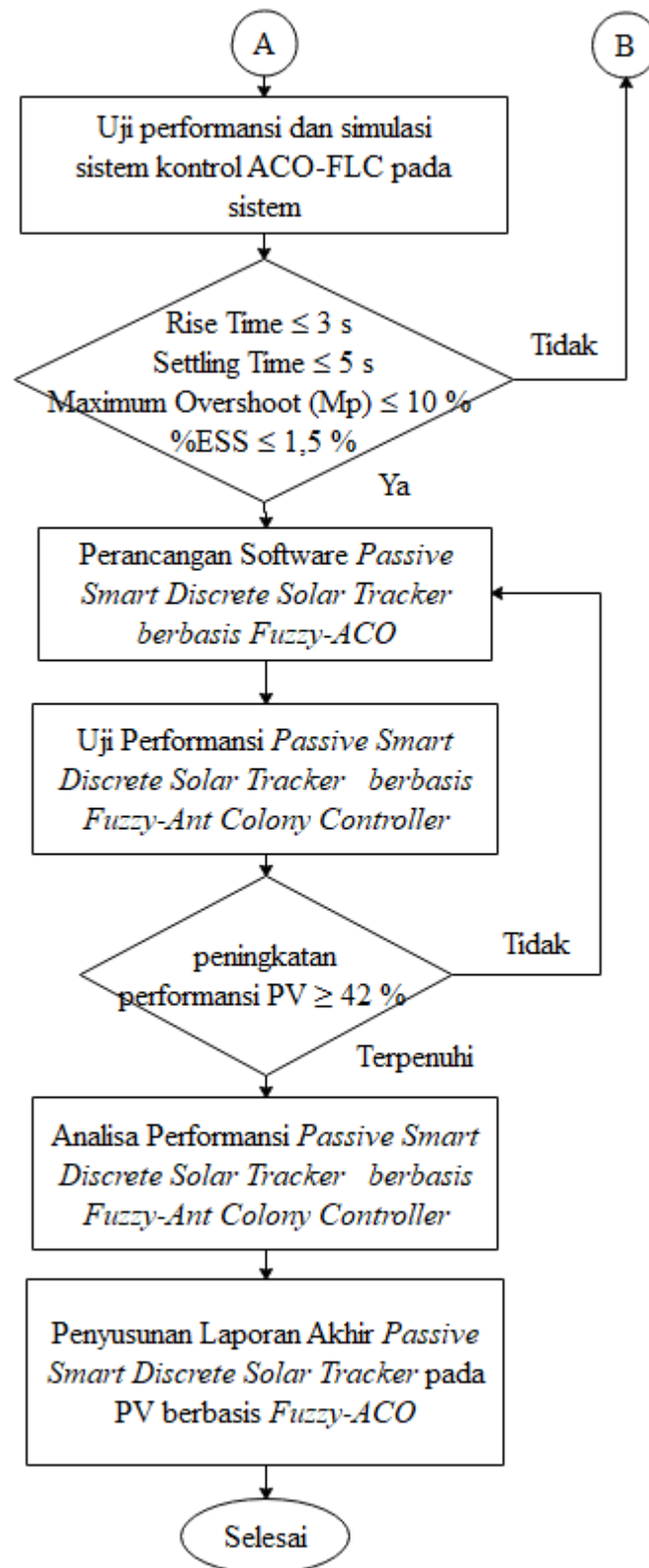
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Dalam penelitian tugas akhir ini, terdapat beberapa tahapan. Pada Gambar 3.1 merupakan diagram alir dari penelitian yang telah dilakukan.





Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Studi literatur

Sebelum dilakukan sebuah penelitian perlu dilakukan pencarian informasi dan fakta-fakta terkait yang menunjang bahwa sebuah penelitian dapat dilakukan. Studi literatur yang dilakukan pada penelitian “Perancangan *Passive Smart Discrete Solar tracker* pada PV Berbasis *Fuzzy – Ant Colony Controller*” dapat berupa jurnal, buku, dan informasi lainnya mengenai penelitian serupa atau dasar informasi dari komponen dari kelengkapan yang digunakan.

3.3 Pengambilan Data Awal

Pengambilan data yang diperlukan dalam tugas akhir ini berupa pemodelan dan simulasi pada sistem *solar tracker* pasif, adapun data yang diambil dari sistem *solar tracker* pasif meliputi pengambilan data astronomi (*altitude*), data dari motor DC berdasarkan spesifikasi motor DC yang dipakai, data panel surya berdasarkan dimensi panel maupun eksperimen, dan *controller*.

3.3.1 Pengambilan Data Posisi Matahari

Passive tracking menggunakan perhitungan astronomi dalam penjejakannya. Dalam penelitian ini, sudut *altitude* matahari merupakan nilai *set point* yang digunakan dalam sistem *solat tracker*. Sudut *altitude* dapat ditentukan dengan mengetahui posisi matahari dari lokasi pengambilan data. Parameter astronomi yang digunakan untuk mengetahui sudut *altitude* dari suatu lokasi penelitian adalah garis lintang dan garis bujur. Pengambilan data posisi matahari dilakukan di Teknik fisika ITS, kampus ITS Sukolilo, Surabaya tepatnya pada tanggal 13 Juni 2020 pada pukul 07.00 WIB sampai pukul 17.00 WIB. Pengambilan data lintang dan bujur pada lokasi penelitian dilakukan dengan menggunakan sebuah aplikasi SunCalc org. Aplikasi SunCalc org menunjukkan Posisi lintang dan bujur lokasi penelitian yaitu sebesar -7.283804° dan 112.796311° . Lokasi ini adalah area terbuka dimana tidak ada pohon atau bangunan yang menghalangi cahaya matahari langsung untuk mengenai panel surya. Pengambilan data yang dilakukan menggunakan aplikasi SunCalc org dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Pengambilan data Lintang dan Bujur menggunakan SunCalc org

3.3.2 Pengambilan Data Motor DC

Sistem penjejak matahari pada panel surya menggunakan aktuator berupa satu buah motor DC yang digunakan sebagai penggerak sudut *pitch* dari panel surya. Motor DC pada *single axis solar tracker* digunakan untuk menggerakkan panel surya dari arah timur ke barat maupun sebaliknya (sudut *pitch*). Motor DC yang digunakan pada sistem ini adalah motor DC dengan tegangan 12 V. Dalam mempermudah pengaturan dari gerak arah motor diperlukan sebuah *motor driver*, dimana *motor driver* juga berperan sebagai pengatur kecepatan (PWM) dari motor. Pengambilan data pada motor DC bertujuan untuk mengetahui parameter-parameter yang akan digunakan pada pemodelan *solar tracker* di Simulink. Adapun parameter-parameter yang digunakan untuk pemodelan antara lain Konstanta tegangan (K_e), Konstanta Torsi (K_t), Inersia Motor (J_m), Resistansi Motor (R), Induktansi Motor (L), dan *Viscous Friction Coefficient* (B_m).

Parameter-parameter motor DC dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

- Konstanta Tegangan (K_e)

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

- Konstanta Tegangan (K_e)

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

- Konstanta Torsi (K_t)

Konstanta torsi diperoleh dari persamaan 3.2 sebagai berikut:

$$K_t = \frac{K_e}{0.011827} \quad (3.2)$$

- Inersia Motor (J_m)

Inersia Motor diperoleh dari persamaan 3.3 sebagai berikut.

$$J_m = \frac{\text{Akselerasi Torsi}}{\text{Akselerasi}} \quad (3.3)$$

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

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

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

Nilai resistansi dan induktansi motor didapatkan dari pengukuran, yaitu dengan cara menghubungkan kutub positif dan kutub negatif pada motor DC ke LCR meter. Pengambilan data dilakukan sebanyak 20 kali dan setelah itu dirata-rata hasilnya. Nilai Resistansi (R) dari motor DC sebesar 2,055 Ohm dan nilai Induktansi Motor (L) sebesar 0,005833 Henry.

- *Viscous Friction Coefficient* (Bm)

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

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

Berdasarkan persamaan 3.1, 3.2, 3.3, dan 3.6, nilai yang didapatkan untuk parameter yang digunakan untuk pemodelan motor DC pada *simulink* matlab dapat ditunjukkan pada Tabel 3.1 sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Parameter motor DC

Parameter-parameter	Motor Dc
Resistansi (R) Ohm	2,055
Induktasnsi (L) Henry	0,005833
konstanta tegangan (Ke) Vol.sec/rad	28,52839
Konstanta Torsi (Kt) Nm/A	28,52839
Momen Inesia (J) Nms ²	45,66596
Koefisien Gesekan (B) Nms/rad	0,678999

3.3.3 Pengambilan Data Panel Surya

Input yang digunakan dalam pemodelan panel surya di Simulink matlab adalah radiasi matahari dan temperatur, dimana data radiasi dan temperatur didapat dari data primer dimana data tersebut diambil secara langsung. Adapun beberapa parameter yang digunakan untuk pemodelan panel surya di *simulink* matlab dimana data tersebut didapat dari *datasheet* spesifikasi *photovoltaic* adalah sebagai berikut :

Tabel 3. 2 Parameter Panel surya

Parameter-Parameter	Nilai Parameter
<i>Temperature Coeff of Short Circuit Voltage</i> (Φ)	-0.0036V/°C
<i>Temperature Coeff of Short Circuit Curent</i> (μ)	0.00053 A/°C
Pmax (<i>Maximum Power</i>)	250 W

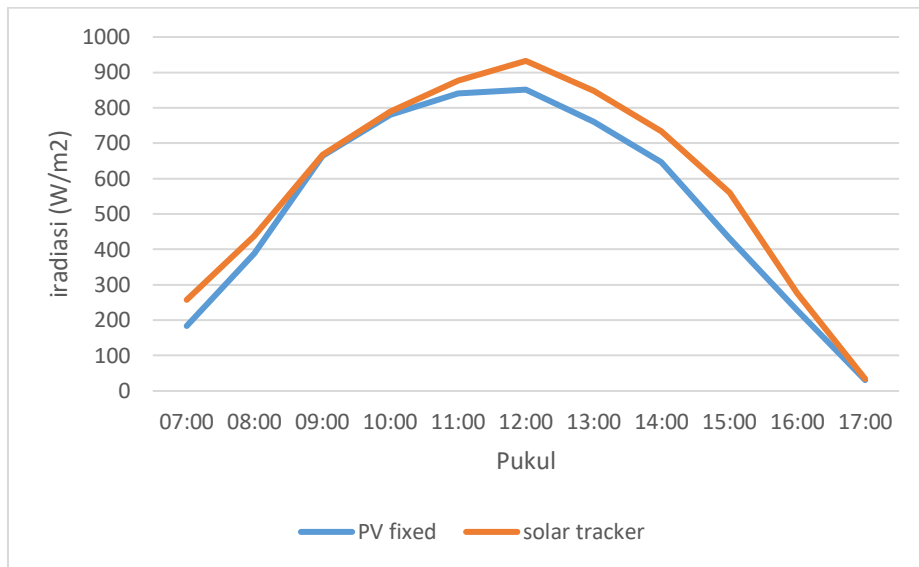
Parameter-Parameter	Nilai Parameter
PV Internal Resistance (RPV)	0.15603 Ohm
Imp (<i>Maximum Power Current</i>)	8.34 A
Vmp (<i>Maximum Power Voltage</i>)	30 V
Voc (<i>Open Circuit Voltage</i>)	36.8 V
Isc ++(<i>Short Circuit Current</i>)	9 A

3.3.4 Pengambilan Data Temperatur dan Radiasi Matahari

Dalam memodelkan PV *fixed* dan *solar tracker* pada Simulink matlab, diperlukan data primer berupa temperatur dan iradiasi matahari yang dilakukan dengan pengukuran langsung di lokasi penelitian. Dalam penentuan radiasi yang diterima oleh *Photovoltaic*, maka digunakan irradiansi sesuai dengan luas bidang yang dikenasi oleh sinar matahari. Pengambilan data dilakukan dari pukul 07.00 sampai dengan pukul 17.00 WIB yang bertempat di Teknik Fisika ITS yang ditunjukkan pada Gambar 3.3 berikut.

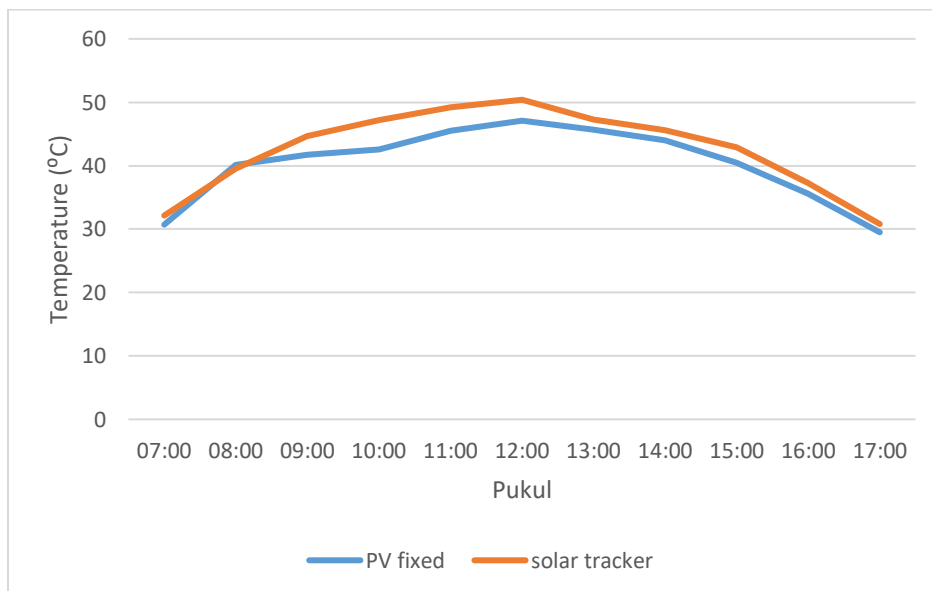


Gambar 3. 3 Pengambilan Data Panel Surya



Gambar 3. 4 Grafik Iradiansi Matahari

Gambar 3.4 menunjukkan besar iradiasi dari *PV fixed* dan *solar tracker* dari data iradiasi setelah pengukuran. Dari grafik dapat dilihat bahwa iradiasi pada *solar tracker* lebih besar dari pada *PV fixed*

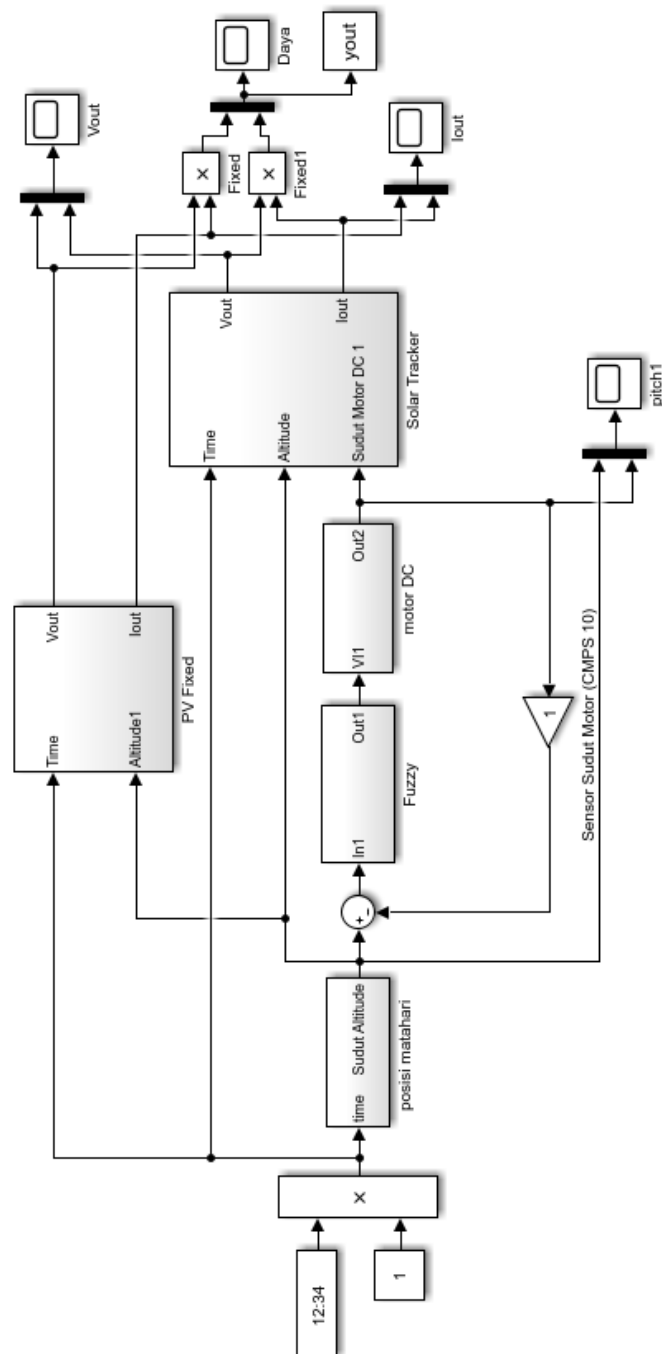


Gambar 3. 5 Grafik Temperatur Matahari

Gambar 3.5 menunjukkan besar temperatur dari *PV fixed* dan *solar tracker* dari data temperatur setelah pengukuran. Dari grafik dapat dilihat bahwa temperatur pada *solar tracker* lebih besar dari pada *PV fixed*. Data iradiasi dan temperatur yang diperoleh akan digunakan dalam pemodelan *passive solar tracker*.

3.4 Pemodelan *Passive Solar tracker*

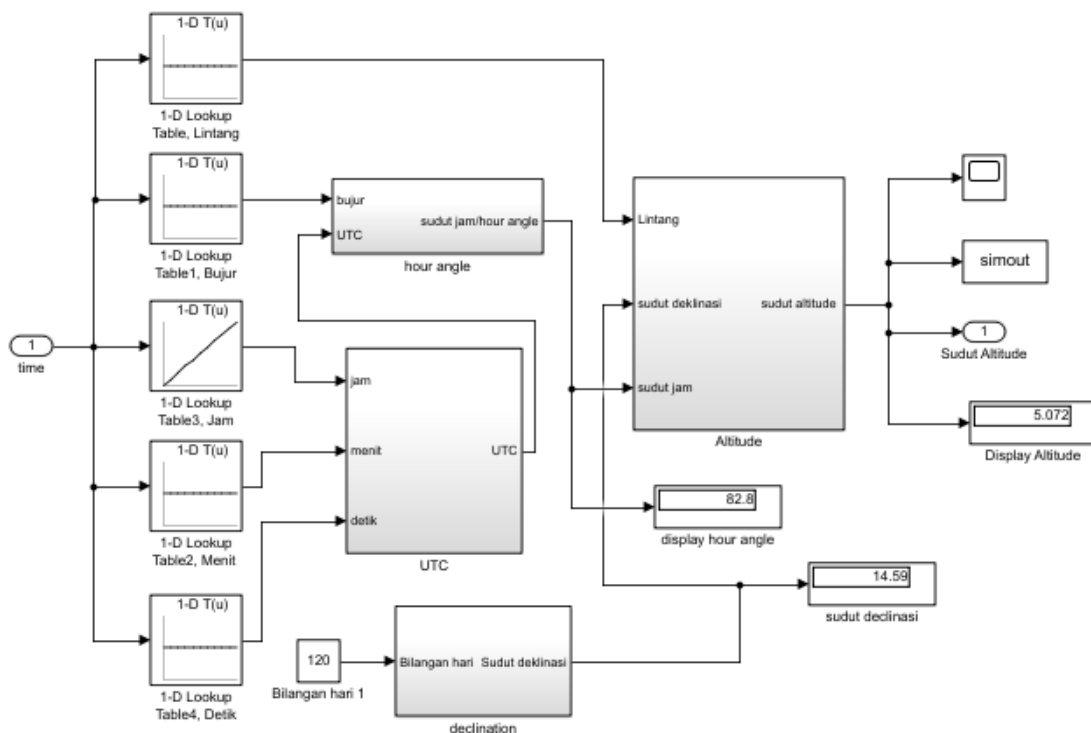
Beberapa komponen pada sistem *passive solar tracker* yang dimodelkan secara matematis adalah model dari posisi matahari, kontroler FLC, motor DC dan PV *fixed* dan *solar tracker*. Parameter-parameter untuk pemodelan diambil dari data teknis maupun dari data perhitungan. Pemodelan dari setiap komponen diterapkan pada *simulink* matlab seperti pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Pemodelan *Passive Solar Tracker*

3.4.1 Pemodelan Posisi Matahari

Output dari pemodelan *passive solar tracker* yaitu sudut *altitude* dari matahari. *input* yang digunakan pada model posisi matahari adalah posisi bujur dan lintang pada lokasi pengambilan data, waktu saat pengambilan data perbedaan waktu GMT, dan bilangan hari. Pemodelan posisi matahari dilakukan secara matematis pada persamaan (2.2) – (2.7) yang kemudian akan digunakan untuk menghitung UTC, *Hour Angle* dan sudut deklinasi. Sehingga dapat diterapkan ke dalam *software simulink* pada Gambar 3.7 berikut.



Gambar 3. 7 Pemodelan Posisi Matahari

3.4.2 Pemodelan Motor DC

Pemodelan pada motor DC menggunakan hukum dasar fisika, yang terdiri dari elektrik dan mekanik, secara elektrik model motor DC diturunkan menggunakan Hukum Kirchoff II tentang rotasi. Parameter-parameter motor DC diperoleh dari data primer.

Berdasarkan hukum tegangan Kirchoff II dan hukum Newton II didapatkan fungsi transformasi laplace sebagai berikut :

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

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

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

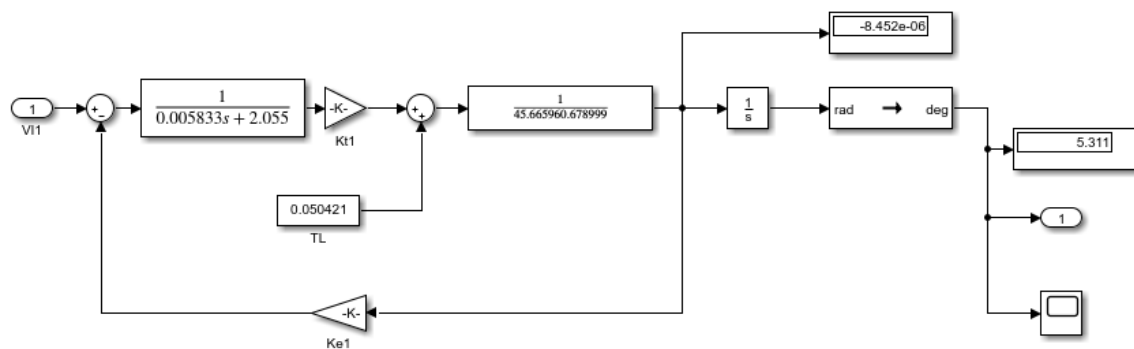
$$I_a = V_a(s) - Kb \cdot \omega(s) \frac{1}{(R_a + L_a S)} \quad (3.10)$$

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

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

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

Dari model matematis persamaan 3.10 dan 3.13 , dapat diterapkan kedalam model Matlab/*simulink* pada Gambar 3.8 berikut



Gambar 3. 8 Pemodelan Motor DC berbasis Simulink

3.4.3 Pemodelan Panel surya

Pemodelan panel surya didapat spesifikasi panel surya pada tabel. Hubungan antara *input* dan *output* panel surya dimodelkan berdasarkan rangkaian

ekuivalen *single diode. input* dari panel surya berupa besar radiasi matahari dan temperatur sedangkan *output* panel surya berupa nilai tegangan dan arus.

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

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (3.14)$$

Idealnya $I_{sh} = 0$ karena $R_{sh} \approx \infty$, sehingga persamaan (3.14) dapat ditulis kembali menjadi,

$$I = I_{ph} - I_d = I_{ph} - I_o \left[\exp\left(\frac{V+IR_{pv}}{V_T}\right) - 1 \right] \quad (3.15)$$

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

$$I = \left[\mu \left(\frac{S}{S_{ref}} \right) (T - T_{ref}) + \left(\frac{S}{S_{ref}} - 1 \right) I_{sc} \right] + I_{mp} \quad (3.16)$$

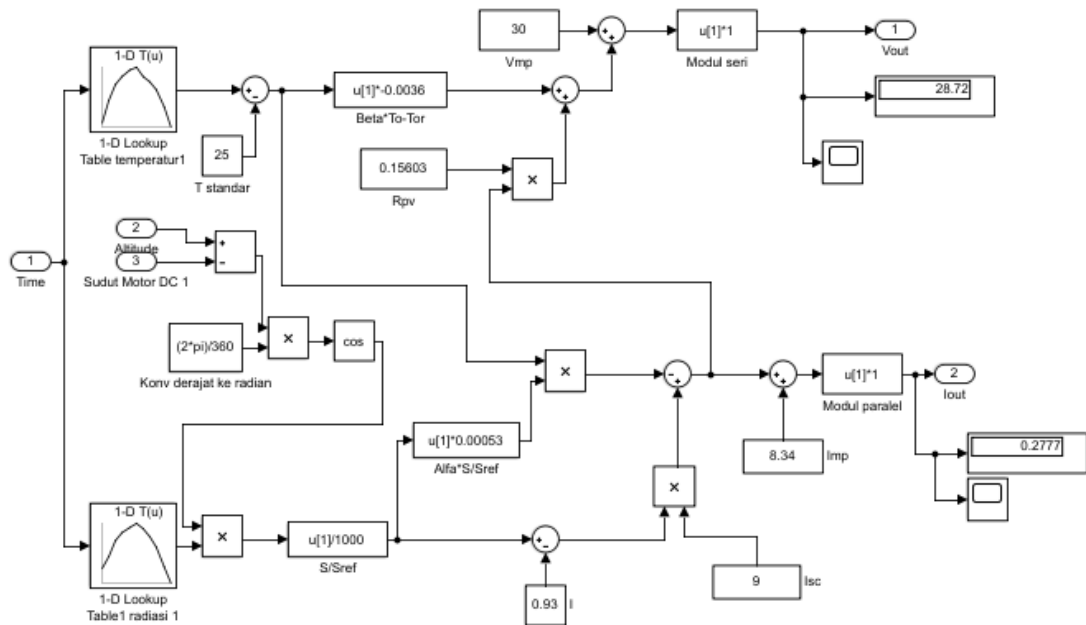
$$V = -\Phi(T - T_{ref}) - R_{pv}(I - I_{mp}) + V_{mp} \quad (3.17)$$

$$\Phi_{ref} = \frac{2V_{mp} - V_{oc}}{\frac{I_{sc}}{I_{sc} - I_{mp}} + \ln\left(1 - \frac{I_{mp}}{I_{sc}}\right)} \quad (3.18)$$

$$R_{pv} = \frac{\Phi_{ref} \ln\left(1 - \frac{I_{mp}}{I_{sc}}\right) + V_{oc} - V_{mp}}{I_{mp}} \quad (3.19)$$

I dan V dapat direpresentasikan sebagai fungsi radiasi dan temperatur seperti pada persamaan 3.16 dan 3.17. Nilai $S_{ref}=1000 \text{ W/m}^2$, $T_{ref} = 25^\circ\text{C}$, nilai RPV dapat diketahui pada persamaan 3.19, dan nilai dari parameter lainnya yaitu, arus hubung pendek (I_{sc}), arus daya maksimum (I_r), tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}), arus rangkaian pendek (I_{sc}), tegangan maksimum (V_{mp}), arus maksimum (I_{mp}) dapat dilihat pada data spesifikasi panel surya yang telah diberikan pada Tabel 3.2

Berdasarkan nilai perhitungan dari persamaan rangkaian ekuivalen dan nilai parameter panel surya yang didapat dari *spesifikasi /datasheet* panel surya dilakukan pemodelan pada *simulink* sebagai berikut



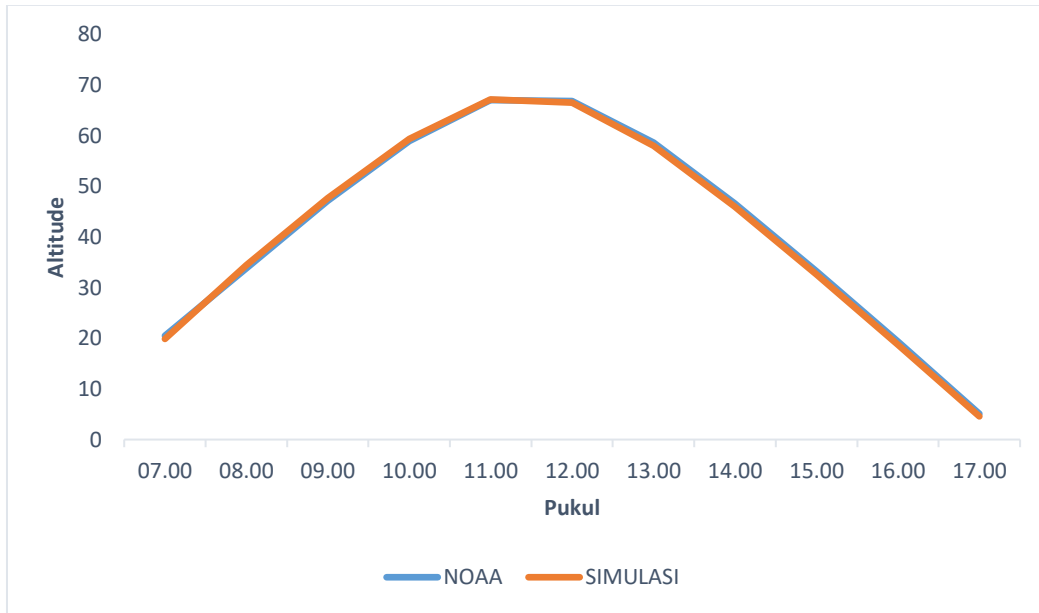
Gambar 3. 9 Pemodelan Panel Surya

3.5 Validasi Pemodelan *Solar tracker*

Validasi model digunakan sebagai bentuk pembuktian hasil simulasi dari pemodelan yang dibuat telah sesuai dengan data hasil pengukuran yang telah dilakukan. Pemodelan yang perlu di validasi antara lain pemodelan posisi matahari dan output dari panel surya Hasil validasi yang dimodelkan antara lain sebagai berikut :

3.5.1 Validasi Pemodelan Posisi Matahari

Pemodelan posisi matahari divalidasi menggunakan *software* aplikasi yang dibuat oleh *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Data model diperoleh dari data posisi matahari di teknik fisika dari jam 07:00 sampai dengan jam 17:00 yang berupa *altitude* yang dibandingkan dengan hasil *altitude* yang didapat dari *National Ocean and Atmospheric Administration* (NOAA).

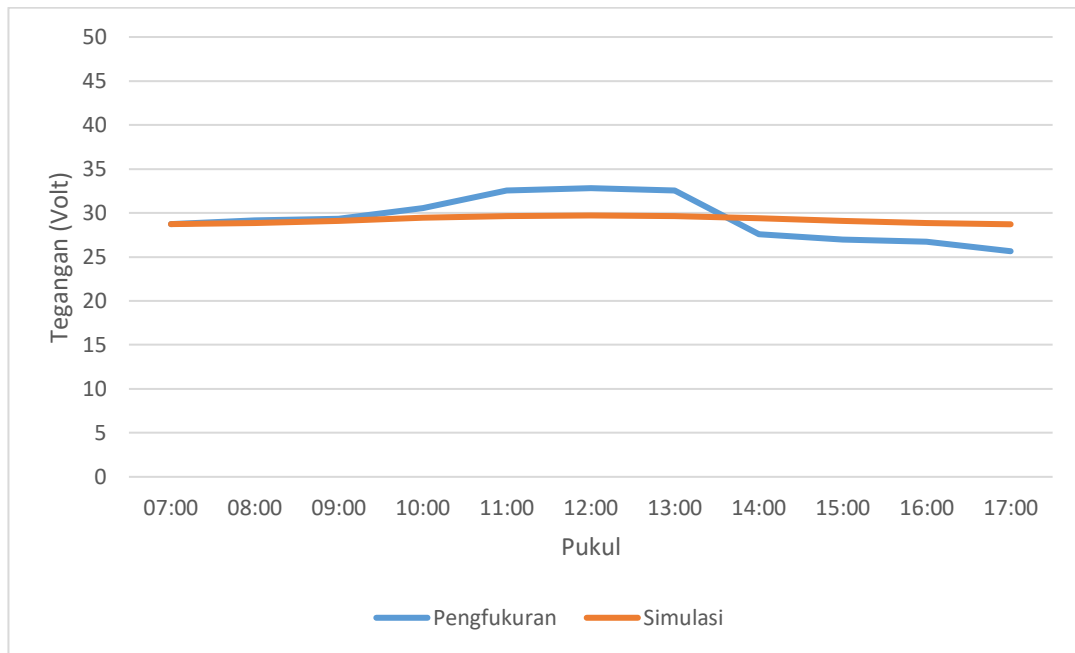


Gambar 3. 10 Validasi sudut *altitude* terhadap NOAA

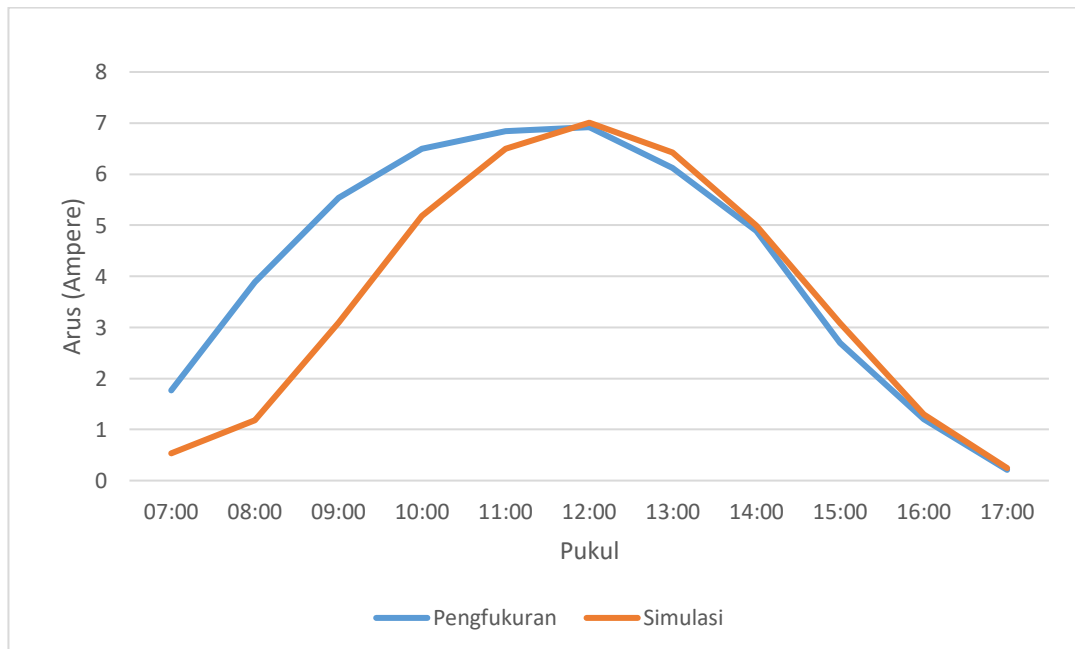
Dari Gambar 3.10 menunjukkan perbandingan grafik sudut *altitude* dari pemodelan posisi matahari yang telah di buat dan sudut *altitude* yang di peroleh dari *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Dapat dilihat pada grafik di atas bahwa model posisi matahari yang dibuat telah mendekati nilai *altitude* standar dari NOAA. Sehingga dari hasil tersebut dapat dikatakan model posisi matahari yang telah dibuat dapat dijadikan *input* pada pemodelan *passive controller*.

3.5.2 Validasi Panel Surya

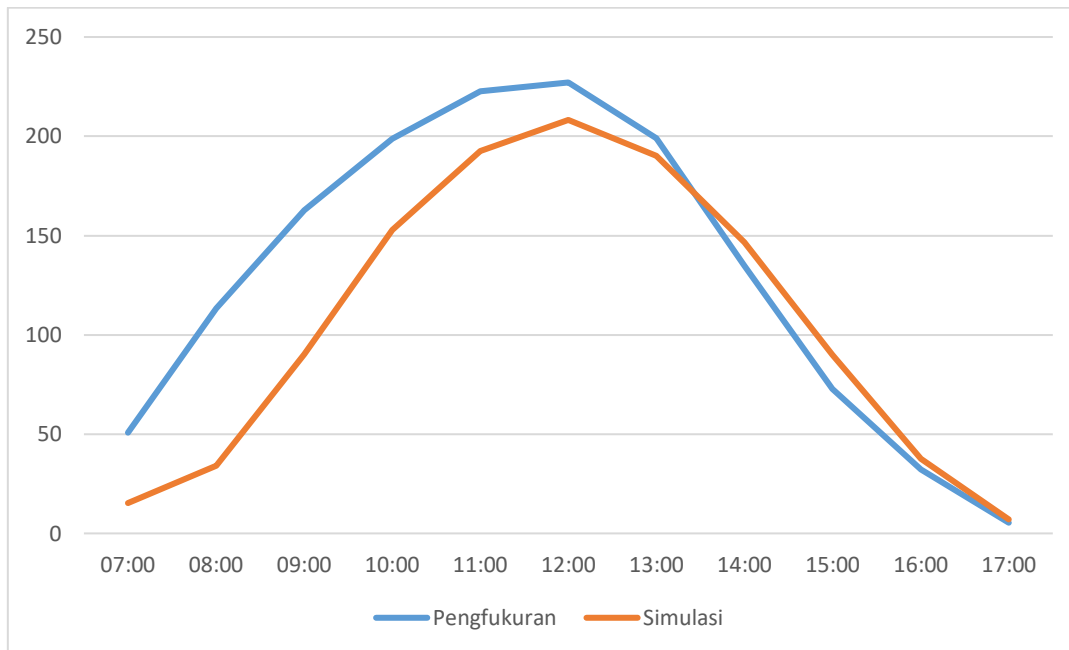
Validasi panel surya dilakukan dengan membandingkan antara hasil simulasi yang dibuat dengan data primer dari hasil pengukuran yang telah dilakukan pada tanggal 13 Juni 2020 bertempat di Teknik Fisika ITS . Data yang dibandingkan adalah data *output* yang berupa tegangan dan arus keluaran dari *photovoltaic* (PV). Pada Gambar 3.11 dan 3.12 merupakan hasil validasi antara model yang dibuat pada Simulink dengan data aktual dari tegangan dan arus pada panel surya dengan pengukuran selama 10 jam dari pukul 07.00 sampai dengan 17.00 WIB.



Gambar 3. 11 Grafik validasi tegangan panel surya



Gambar 3. 12 Grafik validasi arus panel surya

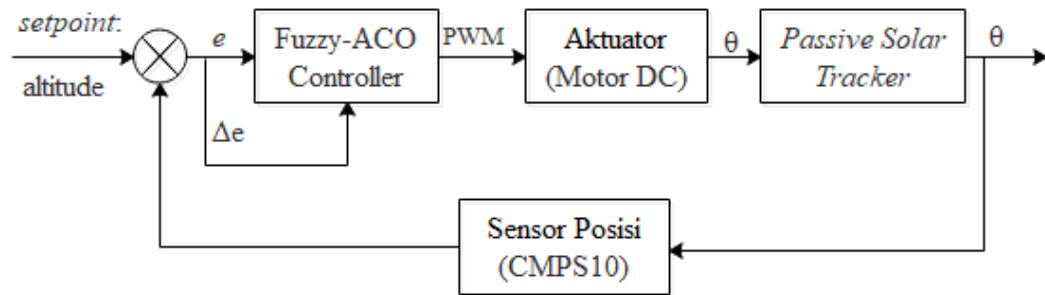


Gambar 3. 13 Grafik validasi daya panel surya

Gambar 3.11, 3.12, dan 3.13 di atas menunjukkan grafik validasi *output solar tracker* dari hasil simulasi dan pengukuran. Dari model yang dibuat di simulasi dengan data aktual terdapat *error* yang disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu *error* pada saat pengukuran data primer yaitu suhu dan radiasi. Sedangkan pada simulasi suhu dan radiasi yang digunakan dalam kondisi yang ideal. Selain itu, terdapat gangguan eksternal yaitu gangguan angin saat pengambilan data yang tidak dimodelkan dalam simulasi, sehingga terdapat *error* yang dihasilkan dari simulasi dan percobaan [20].

3.6 Perancangan Sistem Kontrol Fuzzy Ant-Colony

Sistem kontrol yang dikembangkan pada penelitian ini adalah sistem kontrol Fuzzy-ACO yang digunakan sebagai kontrol pada pasif *solar tracker*. variabel yang dikontrol adalah sudut *pitch*. Terdapat beberapa komponen yang digunakan, blok diagram sistem pengendalian *solar tracker* pasif dapat dijelaskan pada Gambar 3.14 sebagai berikut.



Gambar 3. 14 Diagram blok sistem *solar tracker*

Input dari pasif solar tracker terdiri dari 2 buah yaitu *error* dan *selesih error*, yang didefinisikan pada persamaan berikut :

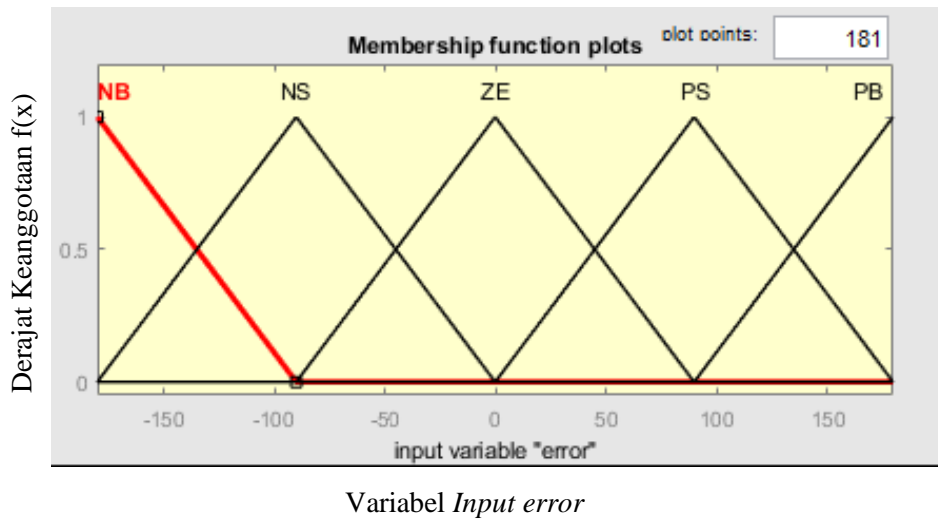
$$e(k) = \alpha_s - \theta_s \quad (3.21)$$

$$\Delta e(k) = e(k) - e(k-1) \quad (3.22)$$

Dimana $e(k)$ adalah error saat ini dan $e(k-1)$ adalah error sebelumnya. Sedangkan outputnya adalah berupa sinyal PWM (*pulse width modulation*) yang nilainya bervariasi dan memiliki rentang nilai -255 sampai 255. Sinyal ini digunakan untuk mengatur tegangan referensi yang diberikan pada motor DC sebagai aktuator dalam pemodelan *passive smart solar tracker*.

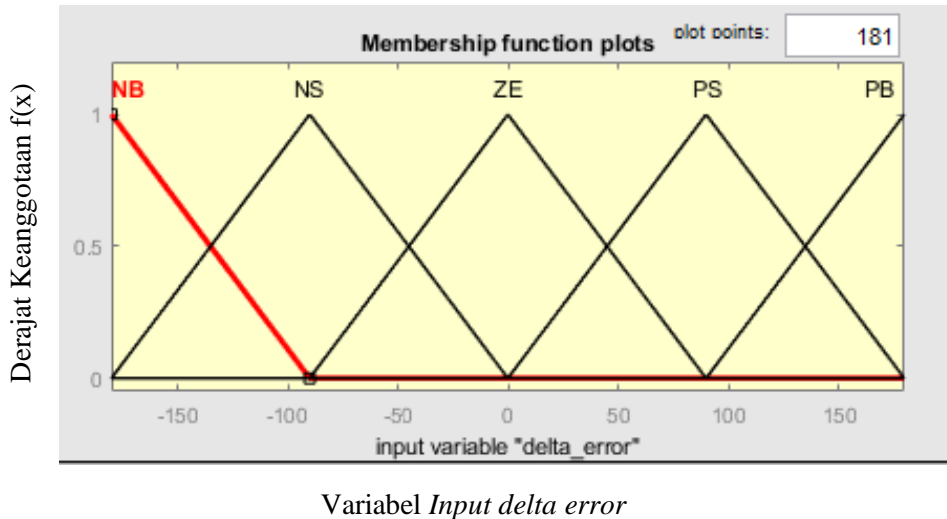
3.6.1 Fungsi Keanggotaan Fuzzy

Sistem kontrol Fuzzy-ACO menerapkan algoritma Fuzzy Sugeno dengan *input* kontrol fuzzy berupa nilai *error* dan *delta-error* yang selanjutnya akan dipetakan ke dalam ruang bilangan fuzzy melalui proses *fuzzifikasi*. Fuzzy Sugeno dipilih karena *output* kontrol yang digunakan dalam sistem *solar tracker* adalah sebuah sinyal PWM untuk mengatur kecepatan *angular* dan gerak dari motor DC, karena kelebihan tersebut tipe Fuzzy Sugeno sangat cocok untuk digunakan pada sistem. Pada proses ini akan dibentuk fungsi keanggotaan dan jumlah bilangan fuzzy. Adapun fungsi keanggotaan *input* yang digunakan adalah segitiga. Terdapat 5 *membership function* diantaranya adalah NB (*Negatif Big*), NS (*Negative Small*), ZE (*Zero*), PS (*Positive Small*) dan PB (*Positive Big*).



Gambar 3. 15 Fungsi Keanggotaan fuzzy error

Gambar 3.15 merupakan kurva *input fuzzy* variabel *input "error"* dari sudut *pitch* yang dikontrol dengan 5 fungsi keanggotaan dan memiliki *range* -180° sampai 180° yang merepresentasikan sudut *angular* dari *solar tracker single axis*.



Gambar 3. 16 Fungsi Keanggotaan fuzzy delta error

Gambar 3.16 merupakan kurva *input fuzzy* variabel *input "delta error"* dari sudut *pitch* yang dikontrol dengan 5 fungsi keanggotaan dan memiliki *range* -180° sampai 180° yang merepresentasikan sudut *angular* dari *solar tracker single axis*. Berikut merupakan batas-batas dari fungsi keanggotaan *fuzzy* 5 MF untuk variabel *error* dan *delta error*.

Tabel 3. 3 Batas-batas Fungsi Keanggotaan Fuzzy 5 MF

Bilangan Fuzzy	Parameter <i>input</i> yang dioptimisasi	
	<i>Error</i> (kHz)	<i>Delta error</i> (kHz)
NB	[-300 -180 -90]	[-300 -180 -90]
NS	[-180 -90 0]	[-180 -90 0]
ZE	[-90 0 90]	[-90 0 90]
PS	[0 90 180]	[0 90 180]
PB	[90 180 300]	[90 180 300]

Rule base pada perancangan sistem kontrol ini bergantung pada jumlah *membership function* pada variabel *input*, apabila memiliki dua *input* dan masing-masing memiliki jumlah fungsi keanggotaan yang sama maka jumlah *rule base* dapat ditentukan dengan rumus N^2 (N =jumlah fungsi keanggotaan). Dari dua variabel *input* dan satu variabel *output* tersebut dirancang 25 *rulebase* sebagai pengambil keputusan dari sistem kontrol seperti ditunjukkan pada Tabel 3.4

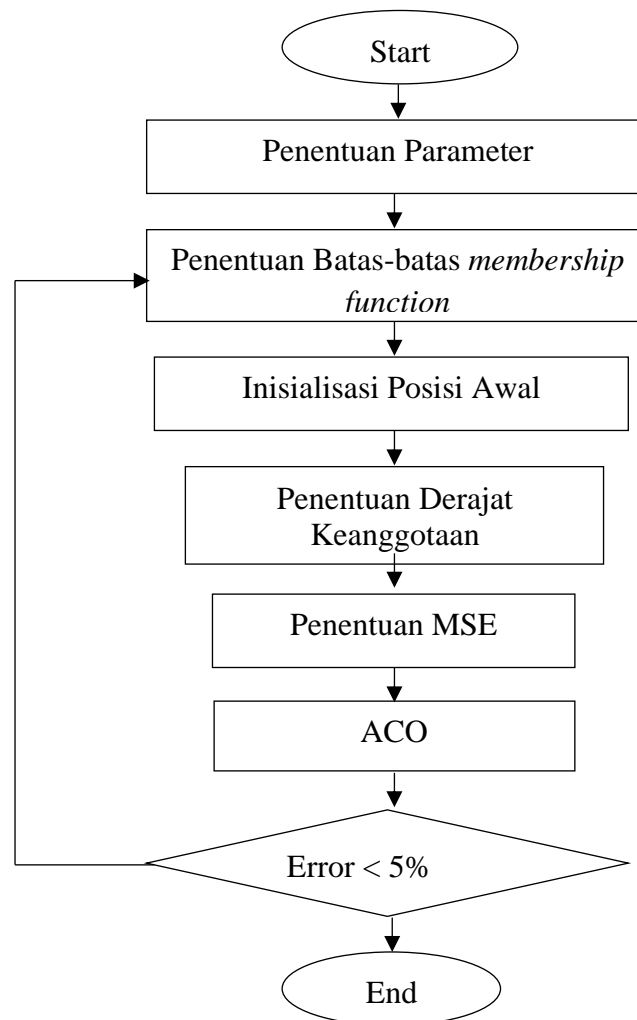
Tabel 3. 4 *Rulebase* Fuzzy 5 MF

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

Lima kategori himpunan fuzzy *output* dinyatakan dengan CCWF (*Counter Clockwise Fast*), CCWS (*Counter Clockwise Slow*), S (*Stop*), CWF (*Clockwise Fast*), CWS (*Clockwise Slow*). Untuk CCWF dan CWF memiliki sinyal PWM -255 dan 255, CCWS dan CWS memiliki nilai PWM -170 dan 170 sedangkan pada S memiliki sinyal *low* (0). Nilai PWM positif menandakan motor bergerak searah jarum jam, sedangkan nilai negatif menandakan motor bergerak berlawanan arah jarum jam.

3.6.2 Optimisasi Keanggotaan Fuzzy dengan Ant-Colony Optimization

Pemodelan kontrol pada *solar tracker* bertujuan untuk meningkatkan performansi *solar tracker* sehingga motor memiliki kecepatan dan akurasi tinggi, serta tidak terjadi osilasi saat mencapai *setpoint*. Sehingga *solar tracker* bisa memiliki performansi lebih tinggi jika menggunakan sistem kontrol FLC-ACO daripada menggunakan kontrol FLC tanpa optimisasi atau dibandingkan dengan panel surya dalam keadaan *fixed*. Berikut merupakan nilai parameter ACO yang digunakan dalam optimisasi. Berikut merupakan langkah dalam melakukan optimisasi menggunakan algoritma ACO.



Gambar 3. 17 Diagram Alir Optimisasi dengan ACO

Langkah awal dari optimisasi adalah menentukan parameter yang akan digunakan. Parameter-parameter yang dibutuhkan dalam metode optimisasi *Ant-*

Colony antara lain yaitu *Feromon trail weight* (α), *Heuristic weight* (β), *Evaporation rate*(ρ), *Total Ants* ($nAnt$), dan *Iteration*. *Pheromone trail weight* (α) adalah konsentrasi feromon sebagai ketetapan pengendali intensitas jarak semut. *Heuristic weight* (β) adalah tetapan pengendali visibilitas. *Evaporation rate*(ρ) adalah laju penguapan jejak pada semut. Nilai ini digunakan untuk menentukan seberapa besar laju feromon akan hilang dan akan bertambah bila jalur dilewati. Jumlah semut ($nAnt$) 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. Semakin tinggi nilai (α) maka pengaruh *pheromone* semakin kuat. Semakin tinggi nilai(β), maka pemilihan jarak terdekat akan semakin kuat. Dan semakin besar nilai *Iteration*, maka akan menghasilkan *error* yang lebih kecil, sehingga dilakukan iterasi sebanyak 500. Nilai parameter-parameter ACO dapat dilihat pada Tabel 3.5.

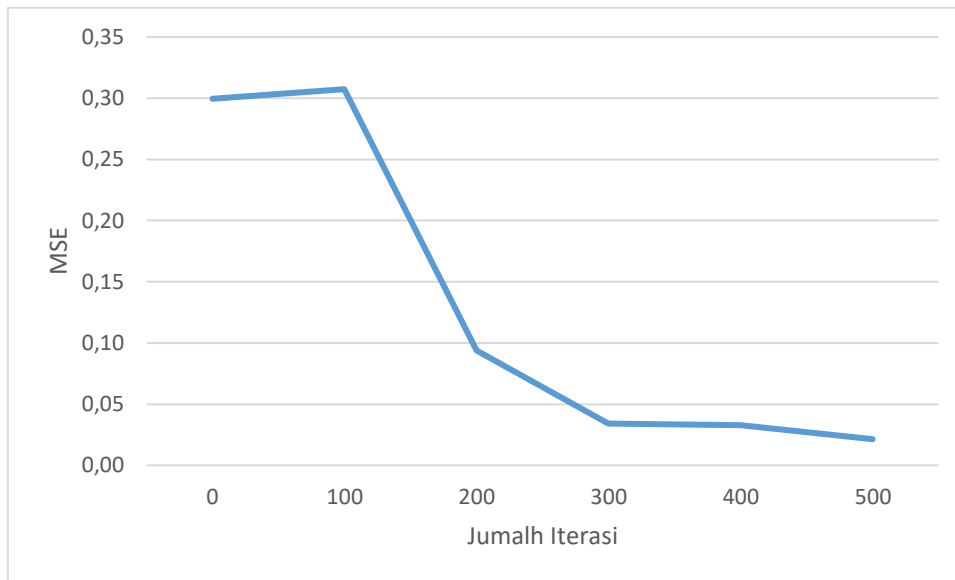
Tabel 3. 5 Parameter nilai ACO

Parameter	Nilai
<i>Feromon trail weight</i> (α)	0.73
<i>Heuristic weight</i> (β)	0.67
<i>Evaporation rate</i> (ρ)	0.075
<i>Total Ants</i> ($nAnt$)	40
<i>Iteration</i>	500

Langkah selanjutnya setelah penentuan parameter-parameter nilai ACO adalah dilakukan optimisasi sampai mencapai itersi maksimum. Setelah diperoleh nilai *output*, langkah selanjutnya adalah mencari nilai MSE. Adapun rumus untuk menentukan nilai MSE adalah sebagai berikut:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (y_t - t_\tau)^2 \quad (3.20)$$

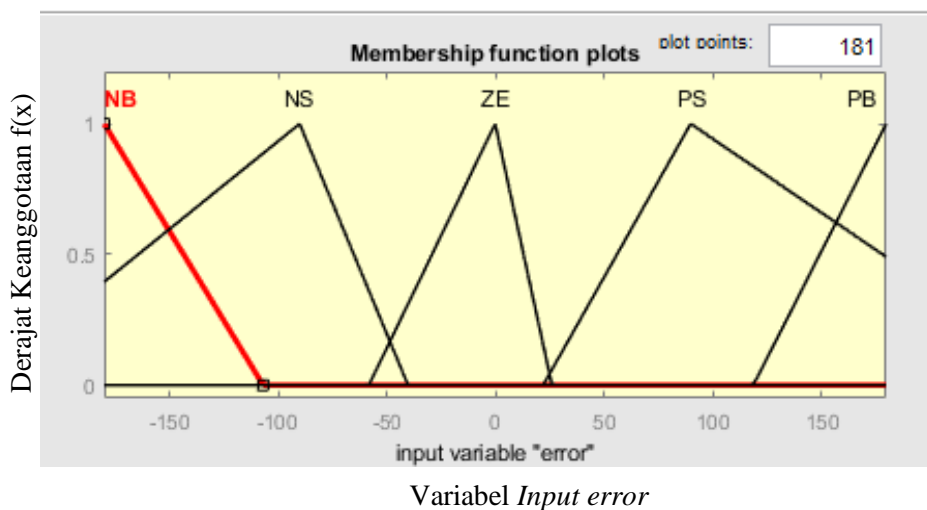
Berdasarkan fungsi di atas nilai MSE yang didapatkan menghasilkan *error* terkecil yaitu 0,0214 yaitu pada iterasi ke 500. Hasil konvergensi di setiap iterasi yang dijalankan sebanyak 500 iterasi dapat dilihat pada Gambar 3.18 berikut.



Gambar 3.18 Grafik Konvergensi *Ant - Colony Algorithm*

Respon untuk mencapai situasi konvergen terjadi pada iterasi ke 300. Selanjutnya memulai pencarian posisi terbaik dan memperbarui fungsi keanggotaan *fuzzy logic control* yang dibuat sebelumnya dari setiap iterasi perpindahan semut yang dilakukan. Dimana jalur terbaik menghasilkan fungsi keanggotaan yang menjadi batas-batas baru untuk *fuzzy logic control*. Batas-batas optimal variabel tersebut selanjutnya akan menjadi batas-batas fungsi keanggotaan untuk sistem *fuzzy-ACO*.

Setelah dilakukan optimisasi, diperoleh bentuk fungsi keanggotaan *input* dengan parameter parameter yang sudah dioptimalkan seperti pada Gambar 3.19



Gambar 3.19 Fungsi Keanggotaan FLC-ACO *error*

Gambar 3.19 merupakan kurva *input fuzzy* variabel *input "error"* dari sudut *pitch* yang dikontrol dengan 5 fungsi keanggotaan dan memiliki *range* -180° sampai 180° yang merepresentasikan sudut *angular* dari *solar tracker single axis*.

Setelah dilakukan optimisasi maka akan diperoleh batas-batas baru yang optimal dari setiap *membership function*. Batas tersebut selanjutnya akan menjadi batas-batas fungsi keanggotaan untuk sistem *fuzzy-ACO*. Dari variabel tersebut akan dilakukan Fuzzifikasi dan setelah itu melalui proses Inferensi untuk mendapatkan *output* kendali F-ACO yang akan di terapkan pada sistem *passive solar tracker*.

input error hasil optimisasi terdiri dari 5 buah fungsi keanggotaan dengan batas-batas sebagai berikut:

NB [a = -300 ; b = -180; c = -106,8066]

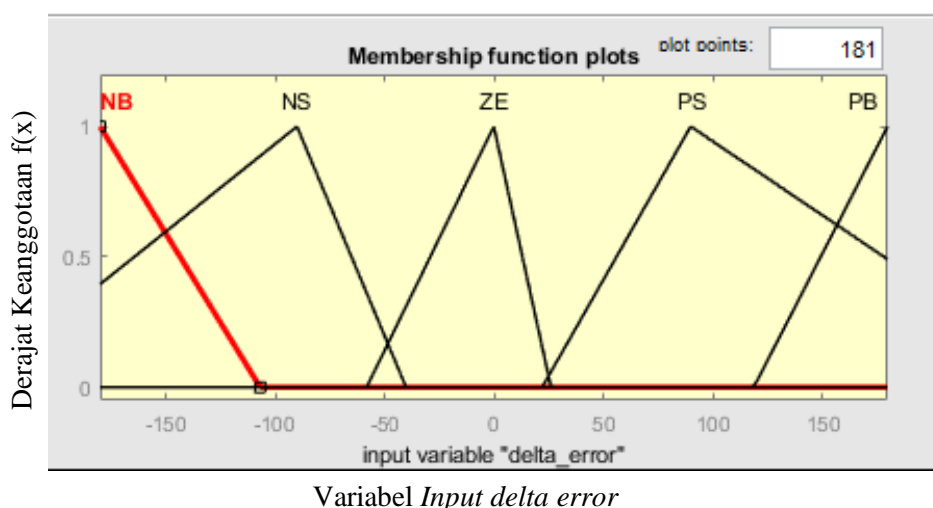
NS [a = -238,7598 ; b = -90; c = -40,0908]

ZE [a = -58,1563 ; b = 0; c = 26,1691]

PS [a = 22,0901 ; b = 90 ; c = 266,88889]

PB [a = 118,8387 ; b = 180; c = 300]

Berikut fungsi keanggotaan *input "delta error"* dengan parameter parameter yang sudah dioptimalkan seperti pada Gambar 3.19



Gambar 3. 20 Fungsi Keanggotaan FLC-ACO delta error

Gambar 3.19 merupakan kurva *input fuzzy* variabel *input "delta error"* dari sudut *pitch* yang dikontrol dengan 5 fungsi keanggotaan dan memiliki *range*

-180° sampai 180° yang merepresentasikan sudut *angular* dari *solar tracker single axis*.

Input selisih (delta) *error* hasil optimisasi terdiri dari 5 buah fungsi keanggotaan dengan parameter sebagai berikut:

NB [a = -300 ; b = -180; c = -106,8066]

NS [a = -238,7598 ; b = -90; c = -40,0908]

ZE [a = -58,1563 ; b = 0; c = 26,1691]

PS [a = 22,0901 ; b = 90 ; c = 266,88889]

PB [a = 118,8387 ; b = 180; c = 300]

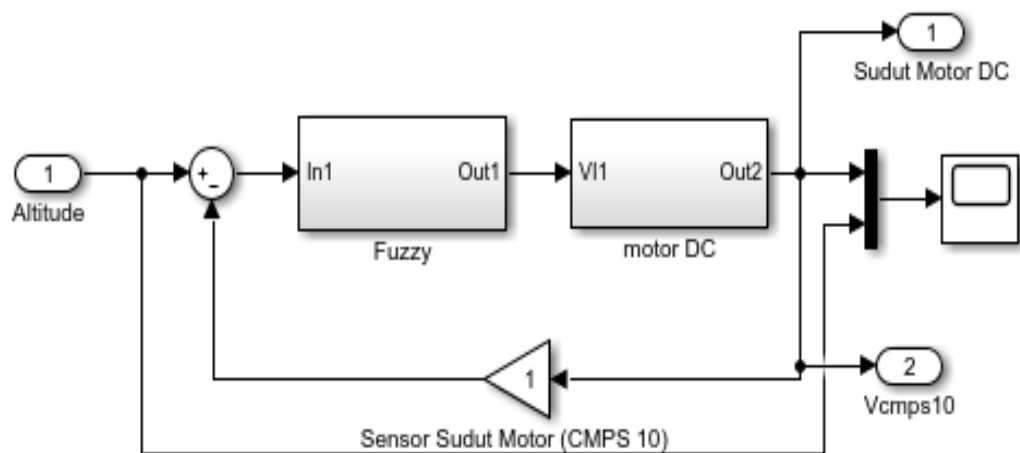
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai hasil dari simulasi yang telah dibuat, adapun hasil simulasi dari sistem adalah uji *set point*, uji *tracking set point* serta uji perfromansi dari PV pada sistem *passive single axis solar tracker*.

4.1 Uji Set Point

Uji set point digunakan untuk mengetahui performansi control yang digunakan dalam sistem. Uji set point dilakukan dengan simulasi dengan metode penjejakan yang digunakan adalah *passive tracking*. Performansi control yang diperhatikan antara lain *rise time* (t_r), *settling time* (t_s), *maximum overshoot* (M_{ov}), serta *error steady state* (e_{ss}). Berikut adalah simulasi uji *set point* yang diterapkan pada *software* Simulink.

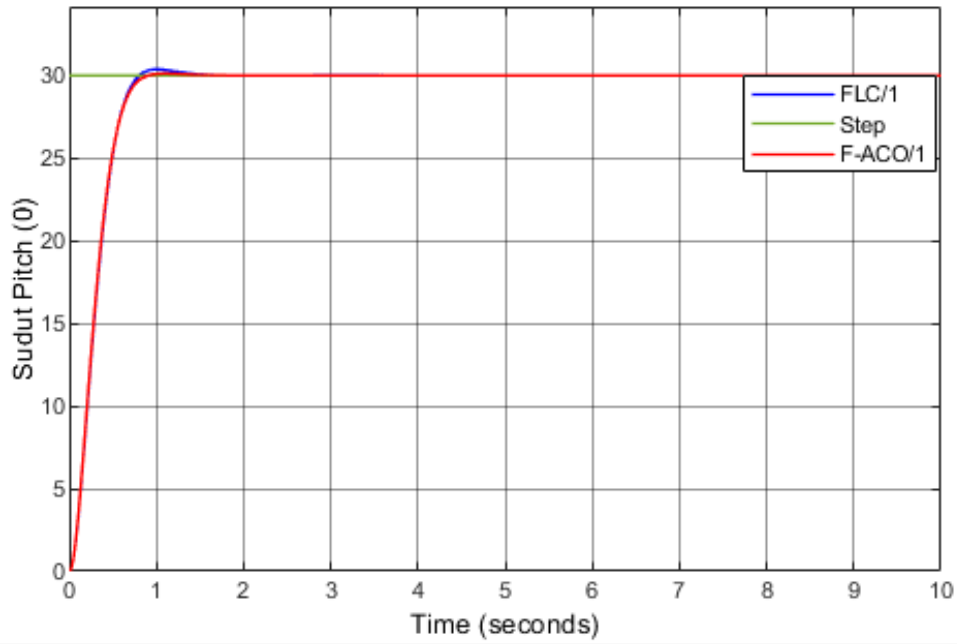


Gambar 4. 1 Pemodelan uji *set point* pada Simulink

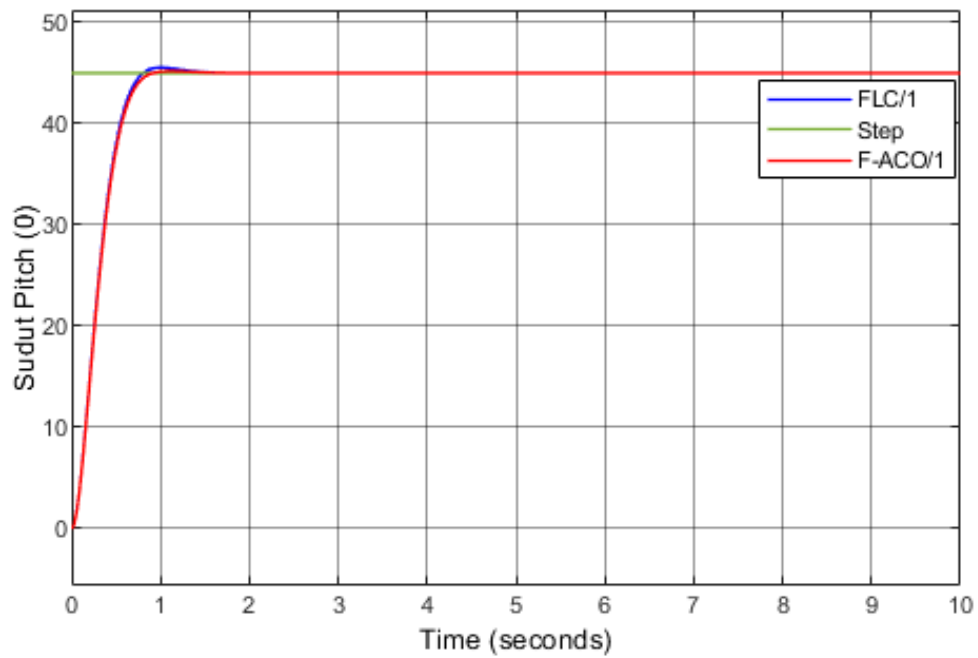
4.1.1 Hasil Uji Set Point pada *Passive Solar tracker*

Uji *set point* pada *passive solar tracker* dilakukan dengan memberikan nilai *input* berupa nilai *step* yang merepresentasikan sudut *altitude*. Uji *set point* pada *passive discrete solar tracker* diwakilkan dengan sudut 30°, 45° dan 60°. Berikut

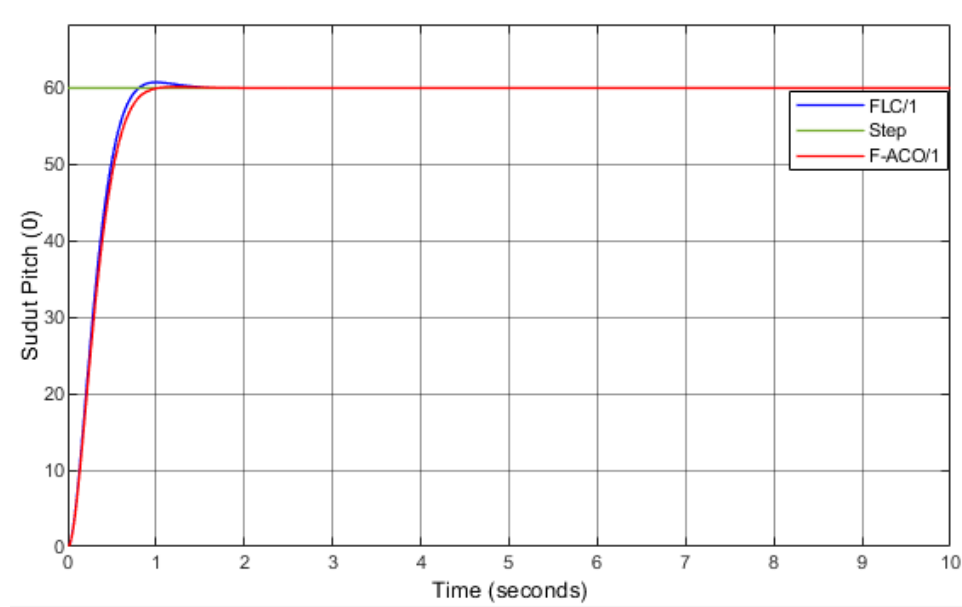
ini merupakan hasil respon sudut *output motor pitch* terhadap nilai *input sudut altitude*.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.2 Uji *set point* pada *solar tracker* (a) 30° (b) 45° (c) 60°

Gambar 4.2 diatas menunjukkan respon controller *Fuzzy - Ant colony* terhadap *set point* sudut *altitude*. Pada grafik dapat dilihat bahwa respon kontrol menggunakan *fuzzy-ant colony* dapat mencapai *set point* dengan *error* yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan kontroler fuzzy sebelum dioptimisasi. Dari grafik diatas dapat diketahui indeks performansi dari respon kontrol *fuzzy* dan *fuzzy-ACO* seperti pada Tabel 4.1 dibawah

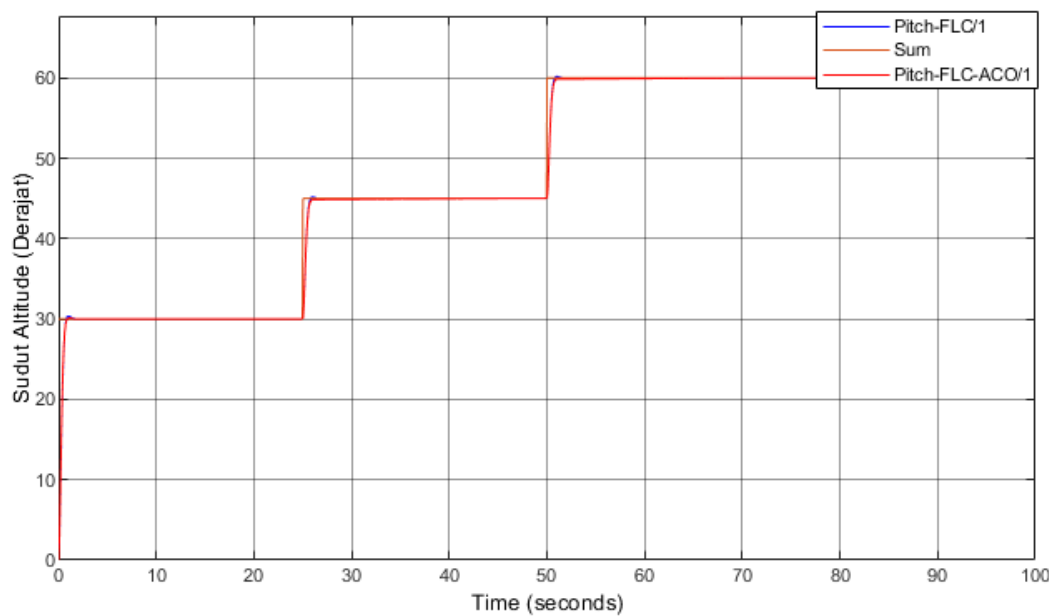
Tabel 4. 1 Indeks Performansi pada sudut *pitch passive solar tracker*

Indeks Performansi	set point					
	30°		45°		60°	
	Fuzzy	F-ACO	Fuzzy	F-ACO	Fuzzy	F-ACO
<i>Rise Time</i> (detik)	0,5	0,45	0,5	0,5	0,5	0,5
<i>% error steady state</i>	0,1	0,07	0,07	0,04	0,07	0,03
<i>%Maximum overshoot</i>	1,5	0,5	1,5	0,5	1,5	0,5
<i>Settling Time</i> (s)	0,647	0,635	0,642	0,664	0,719	0,805

Pada Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa error yang dihasilkan oleh *fuzzy*-ACO lebih kecil dibandingkan dengan kontrol *fuzzy*, berkisar sekitar 0,1% dengan selisih sekitar 0,03% dibandingkan dengan *fuzzy*. Dalam respon kontrol *fuzzy* terdapat *overshoot* sebesar 1,5% sedangkan pada *fuzzy*-ACO dihasilkan nilai *maximum overshoot* sebesar 0,5% yang berarti pada kontrol *fuzzy*-ACO terdapat lebih sedikit osilasi yang menghambat untuk mencapai *set point*. Sehingga dari keseluruhan respon yang dihasilkan dapat disimpulkan bahwa kontrol *fuzzy*-ACO memiliki respon yang lebih cepat dalam mencapai set point dengan nilai *error* yang lebih kecil daripada menggunakan kontrol *fuzzy*.

4.2 Uji Tracking Set Point

Uji *tracking* pada sistem penjejak matahari berfungsi untuk mengetahui respon dari sistem ketika diberikan *set point* yang berubah-ubah. Pengujian *tracking* sudut *altitude* dilakukan berdasarkan sudut *pitch* PV. Pada uji *tracking* diberikan *input* berupa variasi *set point* sudut *altitude*. Hasil respon uji *tracking set point* dapat dilihat pada Gambar 4.2



Gambar 4. 2 Respon Uji *Tracking* sudut *altitude*

Pada awal pengujian *tracking set point* sudut *pitch* diberikan nilai *set point* sebesar 30° kemudian dinaikkan menjadi 45° dan 60° . dari gambar 4.2 dapat diketahui bahwa hasil respon *tracking* sudut *pitch* pada sistem pengendali Fuzzy-ACO dapat mengikuti perubahan sudut *altitude* matahari dengan baik. Dari hasil uji *tracking* sudut *altitude* pada *passive solar tracker* dapat dikatakan bahwa kontroller Fuzzy-ACO dapat diterapkan dan menghasilkan respon yang baik sehingga dapat diterapkan pada sistem ini.

4.3 Penentuan Waktu Pergerakan *Solar tracker* 3 Posisi

Sesuai dengan konsep penjejakan dari *Discrete Solar tracker*, sudut-sudut yang menentukan pergerakan *solar tracker* ditentukan dari perhitungan astronomi dari lokasi pengambilan data. Untuk menentukan kapan sistem penjejak matahari berpindah posisi, maka waktu operasi dibagi menjadi 3 yaitu 07.00 – 10.00 WIB, 11.00 – 13.00 WIB, dan 14.00 – 17.00 WIB. Setelah dilakukan optimisasi menggunakan *Ant-Colony Optimization* pada batas-batas fuzzy, dapat diketahui 3 sudut dengan radiasi dan keluaran daya paling optimum berdasarkan 3 bagian waktu yang telah ditentukan untuk menentukan posisi *solar tracker*. Hasil dari optimisasi yang berupa 3 sudut paling optimum tersebut merupakan set point sudut *altitude* untuk pergerakan *solar tracker* pasif menjadi 3 posisi. 3 posisi optimum tersebut terdapat pada pukul 10.00, 12.00, dan 14.00 tepatnya pada sudut $52,12^\circ$, $58,87^\circ$, dan $42,74^\circ$. *Solar tracker* yang bergerak pada pukul 10.00 selanjutnya akan disebut sebagai posisi 1, *solar tracker* yang bergerak pada pukul 12.00 selanjutnya akan disebut sebagai posisi 2, dan *solar tracker* yang bergerak pada pukul 14.00 selanjutnya akan disebut sebagai posisi 3. *Solar tracker* akan bergerak pada pukul dan posisi tersebut.

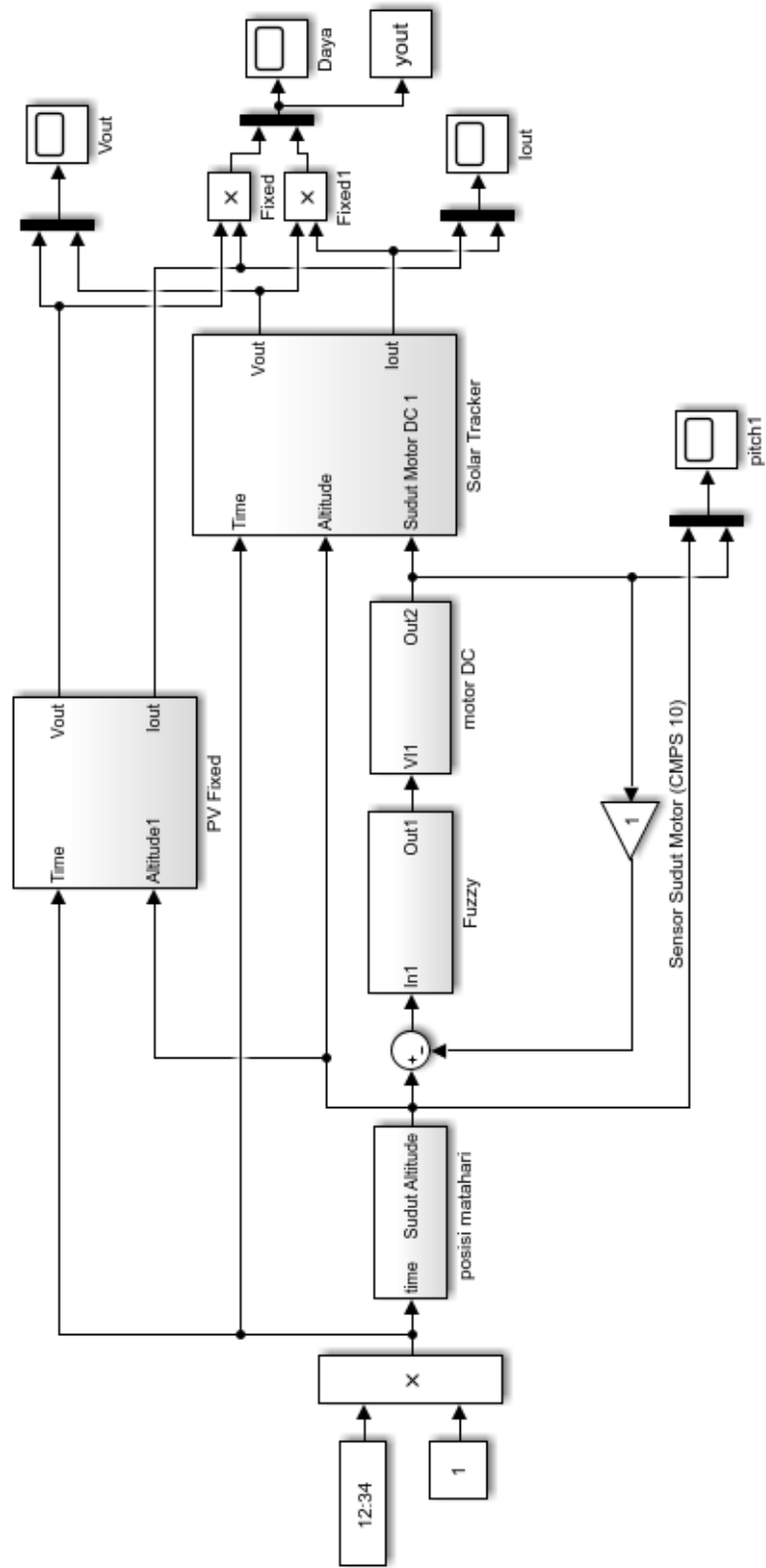
4.4 Penentuan Waktu Pergerakan *Solar tracker* 5 Posisi

Sistem *solar tracker discrete* 5 posisi 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. Sama halnya dengan *solar tracker discrete* 3 posisi, setelah dilakukan optimisasi menggunakan *Ant-Colony Optimization* pada batas-batas fuzzy, dapat diketahui 5 sudut dengan radiasi dan keluaran daya paling optimum berdasarkan 5 bagian waktu yang telah ditentukan untuk menentukan posisi *solar tracker*. Hasil dari optimisasi yang berupa 5 sudut paling optimum tersebut merupakan set point sudut *altitude* untuk pergerakan *solar tracker* pasif menjadi 5 posisi. 5 posisi optimum tersebut terdapat pada pukul 08.00 WIB, 10.00 WIB, 12.00 WIB, 13.00 WIB dan 15.00 WIB tepatnya pada sudut $29,96^\circ$, $52,12^\circ$, $58,87^\circ$, $52,79^\circ$, dan $30,77^\circ$. *Solar tracker discrete* 5 posisi yang bergerak pada pukul 08.00 selanjutnya akan disebut sebagai posisi 1, *solar tracker* yang bergerak pada pukul 10.00 selanjutnya akan disebut sebagai posisi 2, *solar tracker* yang bergerak pada pukul 12.00 selanjutnya akan disebut sebagai posisi 3, *solar tracker* yang bergerak pada pukul 13.00 selanjutnya akan disebut sebagai posisi 4, dan *solar tracker* yang bergerak pada pukul 15.00 selanjutnya akan disebut sebagai posisi 5

4.5 Uji Performansi PV

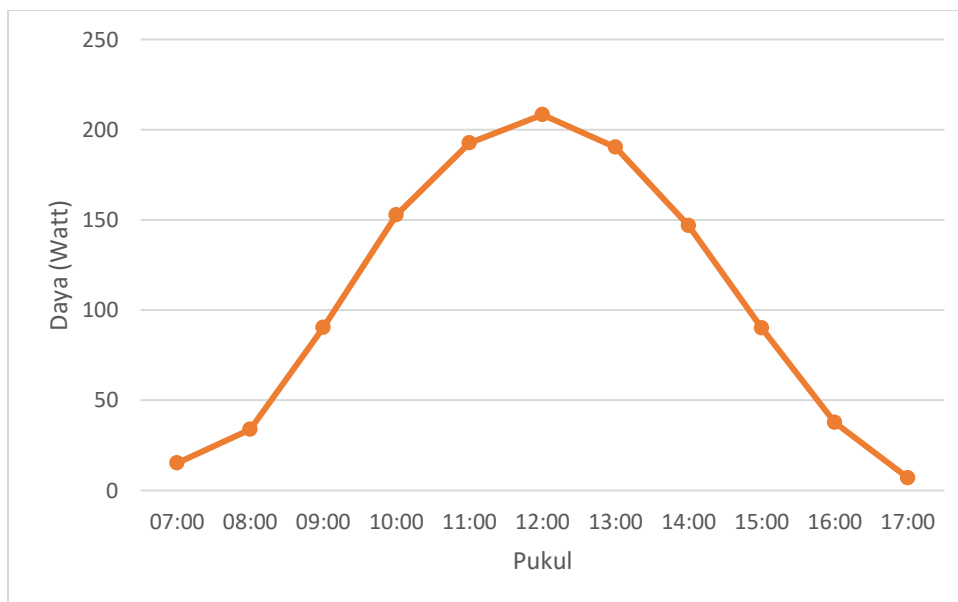
Uji performansi bertujuan untuk mengetahui peningkatan performansi pada PV panel dengan *passive smart discrete solar tracker* yang telah dirancang. Uji performansi dilakukan melalui pengukuran tegangan (Volt), arus (A) serta daya (watt) dari output PV panel. Pada tahap ini dihitung peningkatan nilai efisiensi energi yang dihasilkan dari sistem *passive smart discrete solar tracker* 3 posisi dan *passive smart discrete solar tracker* 5 posisi dengan kontroler Fuzzy-ACO terhadap PV *fixed*. Pengambilan data dilakukan dalam rentang waktu selama 10 jam (600 menit) dimulai pada pukul 07:00 – 17:00 WIB. Dalam uji performansi, data primer yang dibutuhkan untuk memodelkan *passive solar tracker* yaitu berupa sudut *altitude*, temperatur, serta radiasi matahari. Uji performansi dilakukan melalui simulasi menggunakan pemodelan berbasis *Simulink*. Gambar 4.3 menunjukkan simulasi uji performansi pasif *solar tracker* yang diterapkan pada *software simulink*.



Gambar 4.3 Pemodelan *Passive Solar Tracker* berbasis simulink

4.5.1 Daya Output PV Fixed

Untuk mengetahui performansi dari *passive solar tracker* diperlukan data output dari PV *fixed*. Data primer yang digunakan dalam pemodelan PV *fixed* berupa temperatur dan radiasi. Tegangan, arus dan daya yang dihasilkan oleh PV mengalami naik turun sesuai dengan perubahan radiasi dan temperatur yang diterima oleh PV.

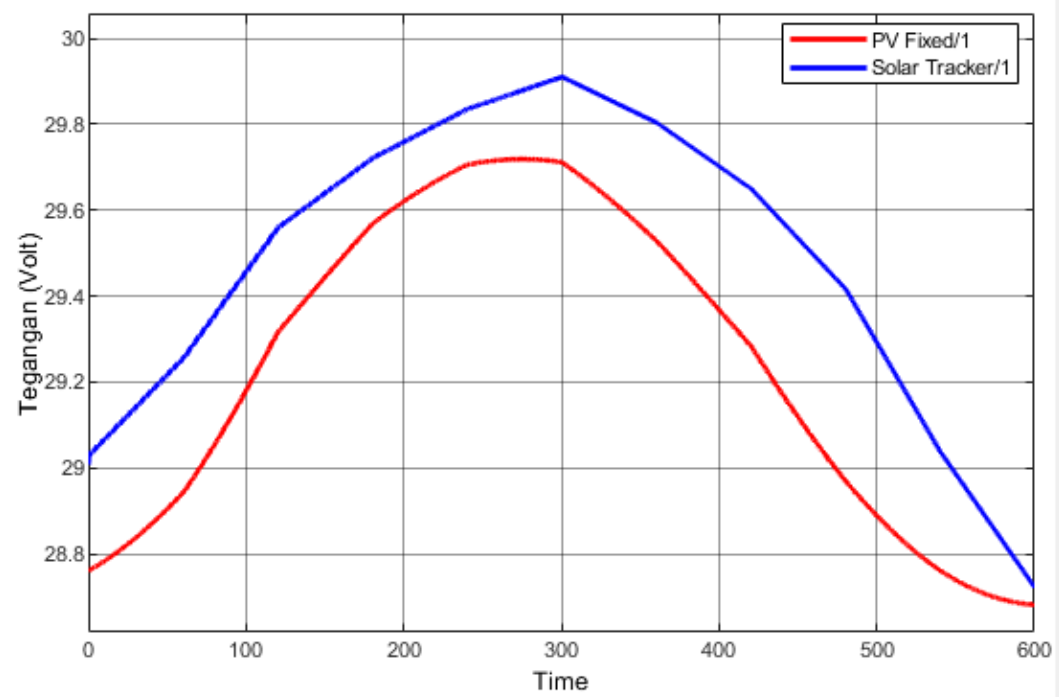


Gambar 4. 4 Daya output PV *fixed*

Dari hasil simulasi pada Gambar 4.4, diketahui PV *fixed* memiliki tegangan maksimum (*solar noon*) sebesar 29,72 volt dan arus maksimum sebesar 7,01 A, sehingga dihasilkan daya maksimum sebesar 208,24 watt.

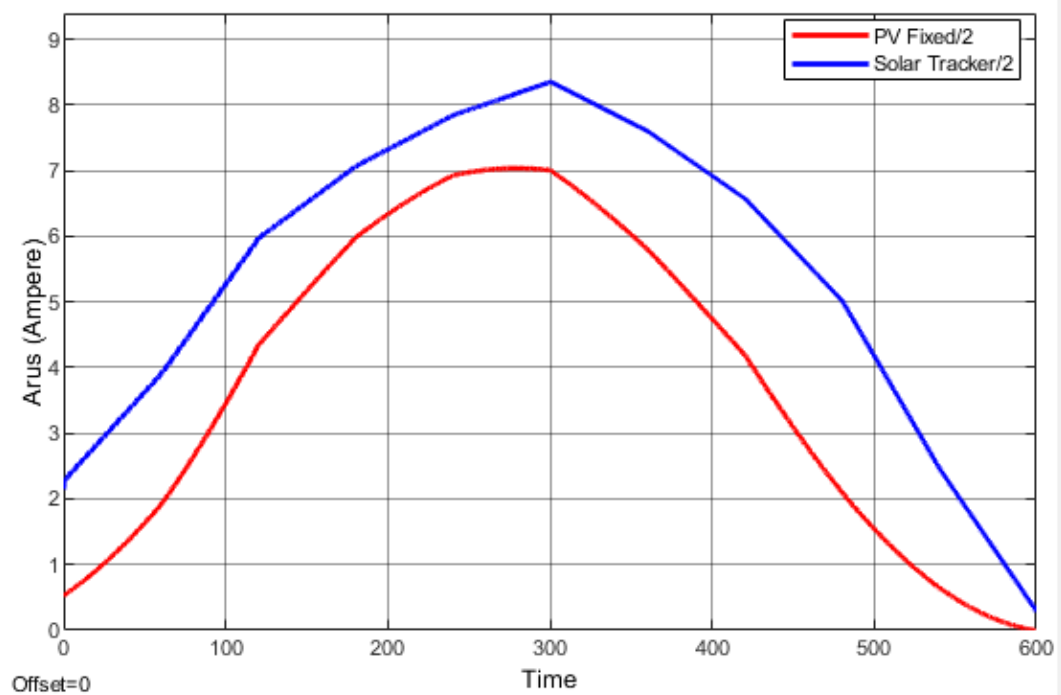
4.5.2 Uji Performansi *passive solar tracker* 3 posisi dengan kontrol Fuzzy

Pada uji performansi data yang digunakan pada pemodelan PV panel berupa data primer berupa sudut *altitude*, temperatur, serta radiasi. Pada Gambar 4.5 menunjukkan profil tegangan output PV panel dengan *passive solar tracker* 3 posisi dengan kontrol Fuzzy selama 10 jam operasi. Keluaran dari *passive solar tracker* 3 posisi memiliki tegangan maksimum (*solar noon*) sebesar 29,91 volt, arus maksimum sebesar 8,35 A. Tegangan maksimum terjadi pada $t = 301$ menit tepat pada saat *solar noon* dengan posisi *altitude* 66.71° .



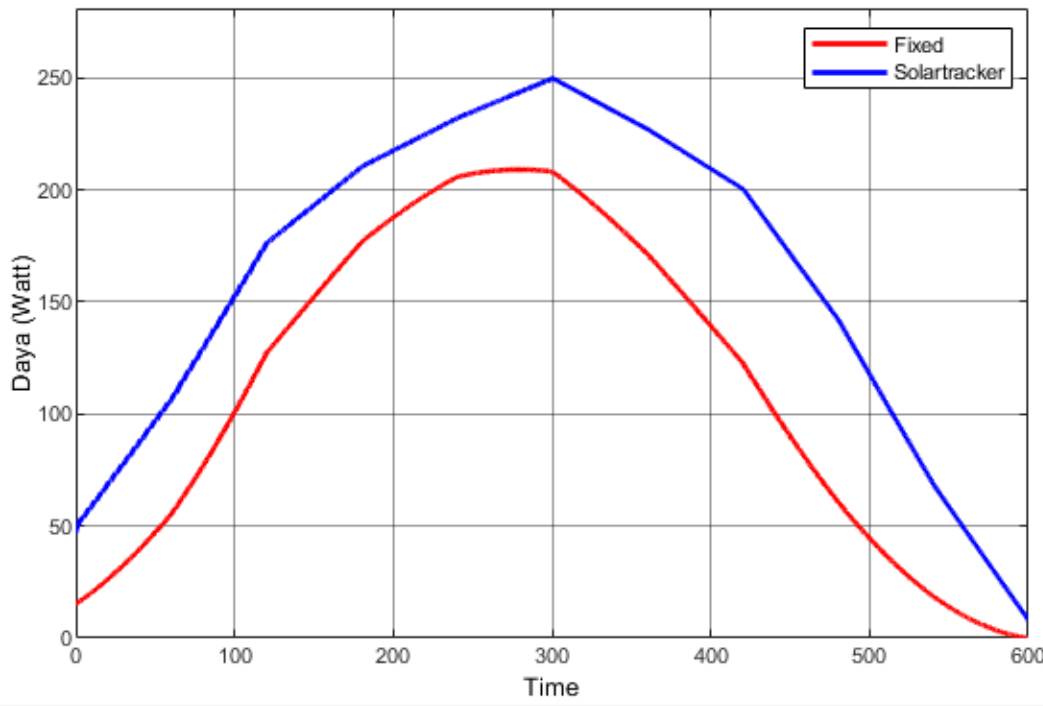
Gambar 4. 5 Respon Tegangan *Ouput solar tracker 3 posisi dan PV Fixed.*

Pada Gambar 4.6 Menyajikan profil arus yang dihasilkan oleh PV *fixed* dan *passive solar tracker* dengan *controller Fuzzy*. Rata-rata penyimpanan arus pada PV *fixed* sebesar 3,89 A, sedangkan pada *solar tracker* sebesar 5,53 A.



Gambar 4. 6 Respon Arus *Ouput solar tracker 3 posisi dan PV Fixed.*

Dari grafik dapat dilihat bahwa nilai maksimum tegangan, arus dan daya baik pada PV *fixed* maupun *solar tracker* diperoleh pada pukul 11.00 WIB yaitu saat *noon time*.



Gambar 4. 7 Respon Daya Output *solar tracker* 3 Posisi dan PV *Fixed*

Pada gambar 4.7 menunjukkan capaian daya hasil simulasi pada PV *fixed* dan *solar tracker*. Pada grafik tersebut kurva daya output *solar tracker* lebih besar dibandingkan dengan PV *fixed*. Daya maksimum yang dihasilkan oleh *solar tracker* sebesar 249,7759 watt terjadi pada $t = 300$ menit, dan PV *fixed* sebesar 209,04 watt. Dari daya output dapat dihitung efisiensi energi yang dihasilkan oleh PV *fixed* maupun *solar tracker*. Perhitungan efisiensi pada PV *fixed* maupun *solar tracker* diambil pada jam 07.00 WIB hingga 17.00 WIB dengan nilai daya maksimum berdasarkan spesifikasi panel surya sebesar 250 watt.

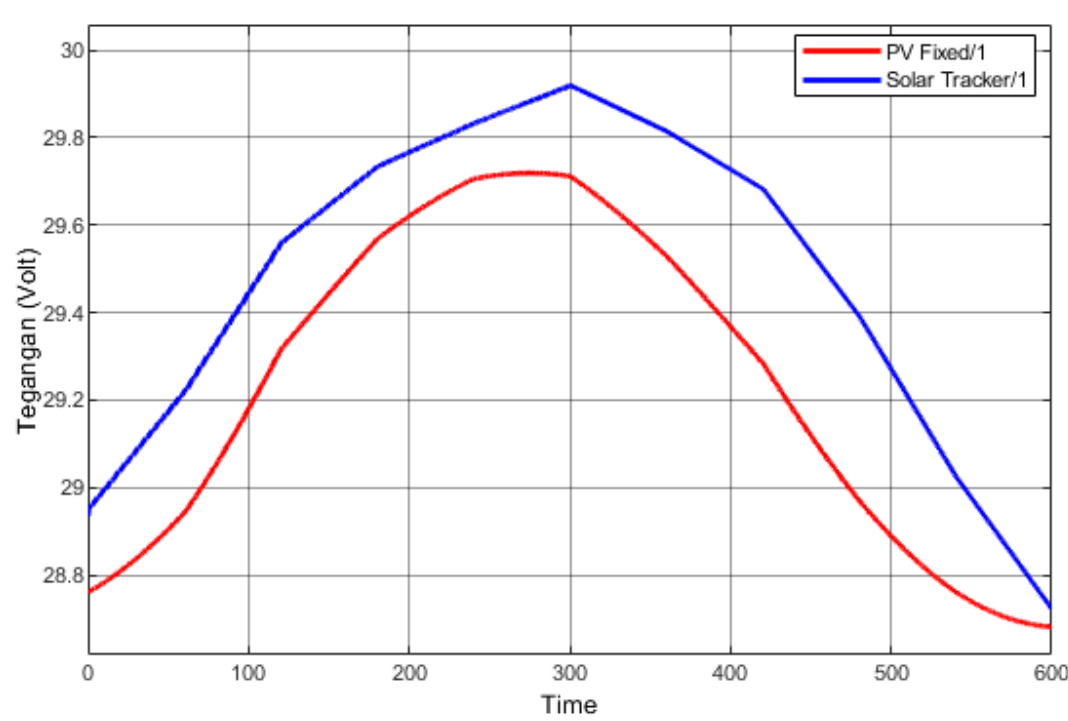
Adapun besar energi yang dihasilkan oleh PV *fixed* sebesar 1052,84 Wh, dan besar energi yang dihasilkan oleh *passive solar tracker* sebesar 1459,56 Wh. Sehingga untuk mengetahui besar peningkatan efisiensi energi dapat diketahui menggunakan persamaan 4.1 sebagai berikut.

$$\eta_{PV} = \frac{W_{pv\ tracker} - W_{pv\ fixed}}{W_{pv\ fixed}} \times 100\% \quad (4.1)$$

dimana W = energi listrik yang dihasilkan. Sehingga dari persamaan 4.1 dapat diketahui peningkatan *efisiensi gross energi gain* sebesar 38,63% terhadap PV *fixed*.

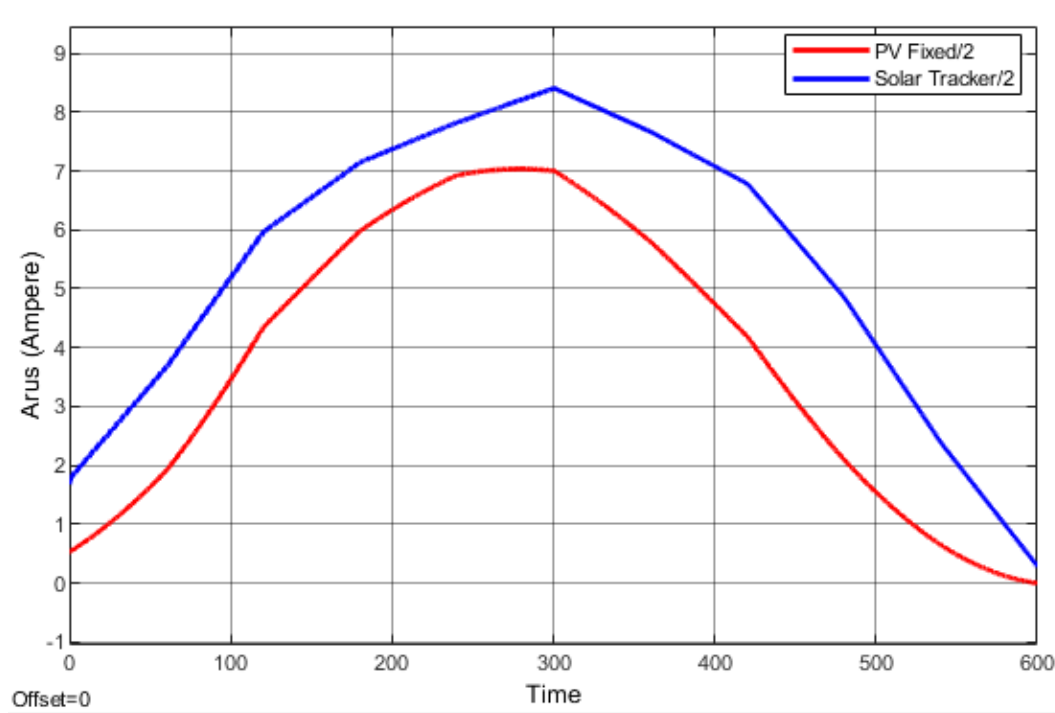
4.5.3 Uji Performansi *passive solar tracker* 3 posisi dengan kontrol Fuzzy-ACO

Pada uji performansi *solar tracker*, data yang digunakan pada PV panel berupa data primer yaitu sudut *altitude*, temperatur, serta radiasi. Gambar 4.8 menunjukkan profil tegangan *output* PV panel dengan *solar tracker* dengan kontrol *Fuzzy* selama 10 jam operasi. Keluaran dari *passive solar tracker* memiliki tegangan maksimum (*solar noon*) sebesar 29,92 volt dan arus maksimum sebesar 8,41 A. Tegangan maksimum terjadi pada $t = 301$ menit tepat pada saat *solar noon* dengan posisi *altitude* 66.71° .



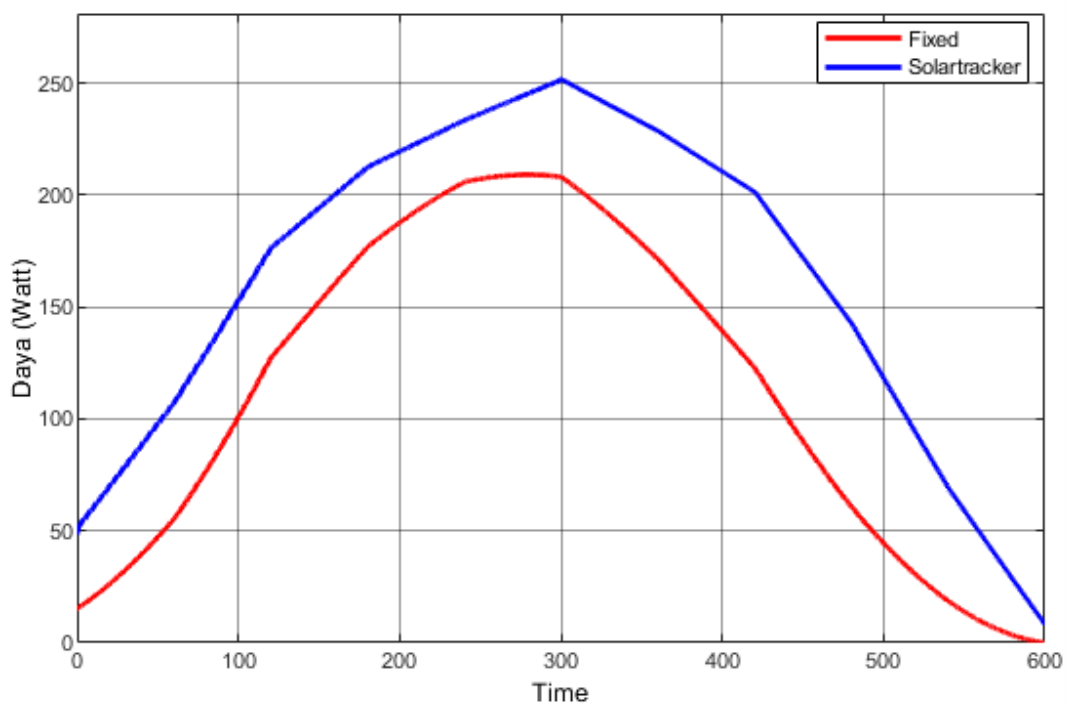
Gambar 4. 8 Respon Tegangan *Output solar tracker* 3 posisi F-ACO dan PV *Fixed*.

Pada Gambar 4.8 Menyajikan profil arus yang dihasilkan oleh PV *fixed* dan *passive solar tracker* dengan *controller Fuzzy*. Rata-rata penyimpanan arus pada PV *fixed* sebesar 3,89 A, sedangkan pada *solar tracker* sebesar 5,57 A.



Gambar 4. 9 Respon Arus *Ouput solar tracker 3* posisi F-ACO dan PV *Fixed*.

Nilai maksimum tegangan, arus dan daya baik pada PV *fixed* maupun *solar tracker* diperoleh pada pukul 11.00 WIB yaitu saat *noon time*.



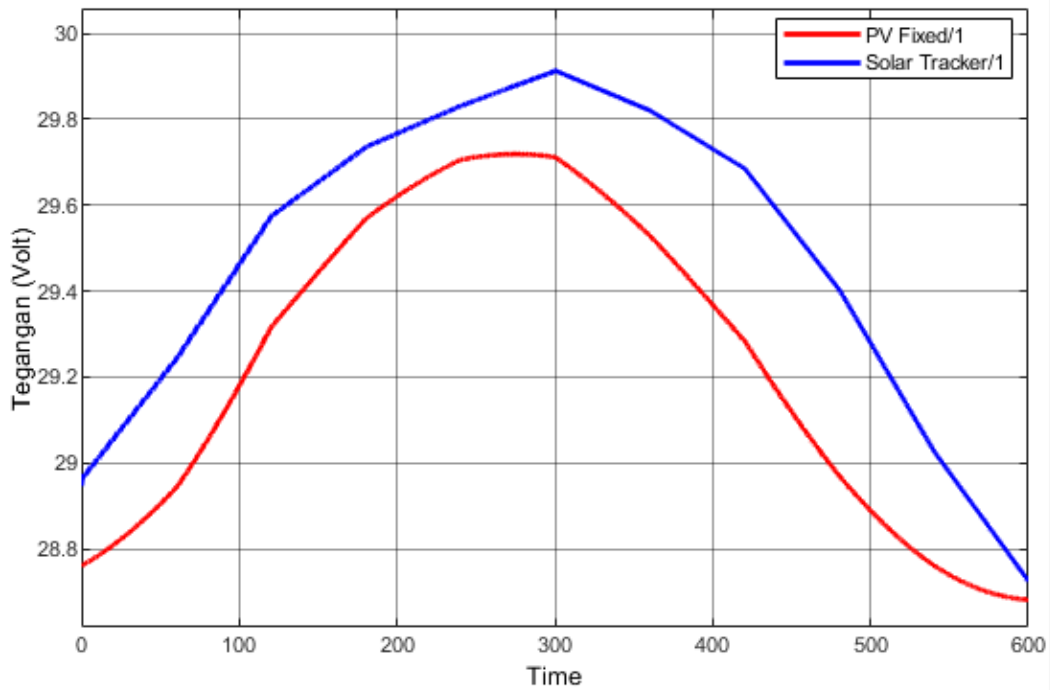
Gambar 4. 10 Respon Daya *Ouput solar tracker 3* Posisi F-ACO dan PV *Fixed*

Pada gambar 4. 10 Capaian daya hasil simulasi pada PV *fixed* dan *passive solar tracker* 3 posisi dengan kontrol Fuzzy-ACO. Pada grafik tersebut menunjukkan kurva daya output *solar tracker* lebih besar dibandingkan dengan PV *fixed*. Daya maksimum yang dihasilkan oleh *solar tracker* 3 posisi dengan kontrol Fuzzy-ACO sebesar 251,54 watt terjadi pada $t = 301$ menit, sedangkan daya maksimum yang dihasilkan oleh PV *fixed* sebesar 209,04 watt. Dari daya output PV panel tersebut dapat dihitung efisiensi energi yang dihasilkan oleh PV *fixed* maupun *passive solar tracker*. Perhitungan efisiensi energi pada PV *fixed* maupun *solar tracker* diambil dalam rentang waktu selama 10 jam (600 menit) yaitu dari jam 07.00 WIB hingga 17.00 WIB dengan nilai daya maksimum berdasarkan spesifikasi panel surya yang digunakan sebesar 250 watt.

Adapun besar energi yang dihasilkan oleh PV *fixed* sebesar 1052,84 Wh, dan besar energi yang dihasilkan oleh *passive solar tracker* 3 posisi dengan kontrol Fuzzy-ACO sebesar 1503,42 Wh. Dari persamaan 4.1 dapat diketahui peningkatan *efisiensi gross energi gain* sebesar 42,79% dibandingkan dengan PV *fixed*. Sehingga pada penelitian ini dapat dikatakan sistem *passive solar tracker* 3 posisi dengan kontrol Fuzzy-ACO dapat meningkatkan *efisiensi* dan lebih optimal dibandingkan dengan *passive solar tracker* 3 posisi dengan kontrol Fuzzy tanpa optimisasi yang memiliki *efisiensi* 38,63%. Sehingga dapat diketahui peningkatan *efisiensi gross energygain* dari *Solar tracker-FACO* terhadap *Solar tracker-FLC* adalah sebesar 3,01%.

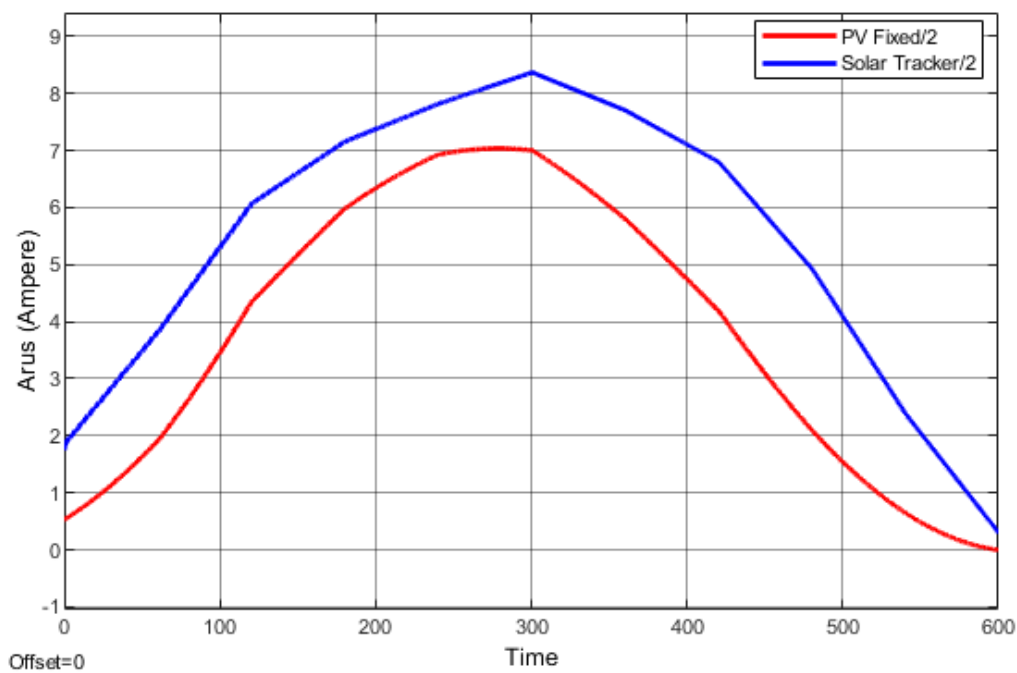
4.5.4 Uji Performansi *passive solar tracker* 5 posisi dengan kontrol Fuzzy

Sama seperti *passive solar tracker* 3 posisi, uji performansi data yang digunakan pada PV panel berupa data primer berupa sudut *altitude*, temperatur, serta radiasi. Pada Gambar 4.11 menunjukkan profil tegangan output PV panel dengan *passive solar tracker* 5 posisi dengan kontrol Fuzzy selama 10 jam operasi. Keluaran dari *passive solar tracker* 5 posisi memiliki tegangan maksimum (*solar noon*) sebesar 29,91 volt, arus maksimum sebesar 8,37 A. Tegangan maksimum terjadi pada $t = 301$ menit tepat pada saat *solar noon* dengan posisi *altitude* 66.71°.



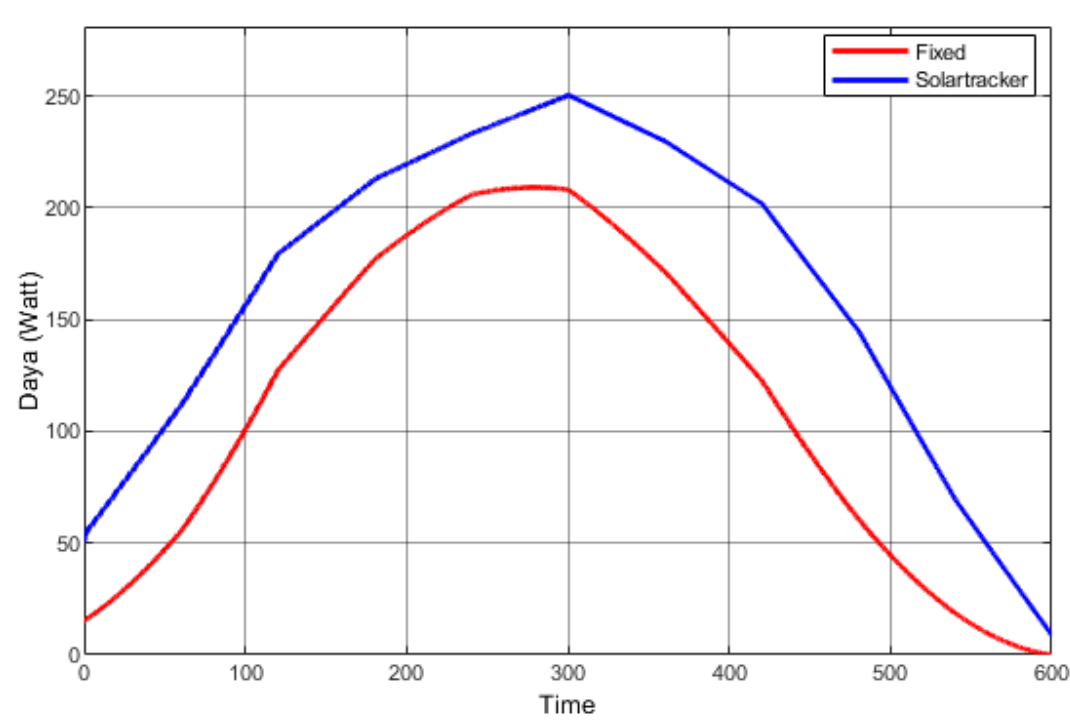
Gambar 4. 11 Respon Tegangan *Ouput solar tracker 5 posisi dan PV Fixed.*

Pada Gambar 4.12 Menyajikan profil arus yang dihasilkan oleh PV *fixed* dan *passive solar tracker* dengan controller Fuzzy. Rata-rata penyimpanan arus pada PV *fixed* sebesar 3,89 A, sedangkan pada *solar tracker* sebesar 5,61 A.



Gambar 4. 12 Respon Arus *Ouput solar tracker 5 posisi dan PV Fixed.*

Nilai maksimum tegangan, arus dan daya baik pada PV *fixed* maupun *solar tracker* diperoleh pada pukul 11.00 WIB yaitu saat *noon time*. Dari grafik dapat dilihat bahwa pada saat *noon time* selisih nilai tegangan, arus dan daya kecil, hal tersebut karena posisi kedua PV (*fixed* PV dan *passive solar tracker*) sama yaitu tegak lurus terhadap matahari.



Gambar 4. 13 Respon Daya Output *solar tracker* 5 Posisi dan PV *Fixed*

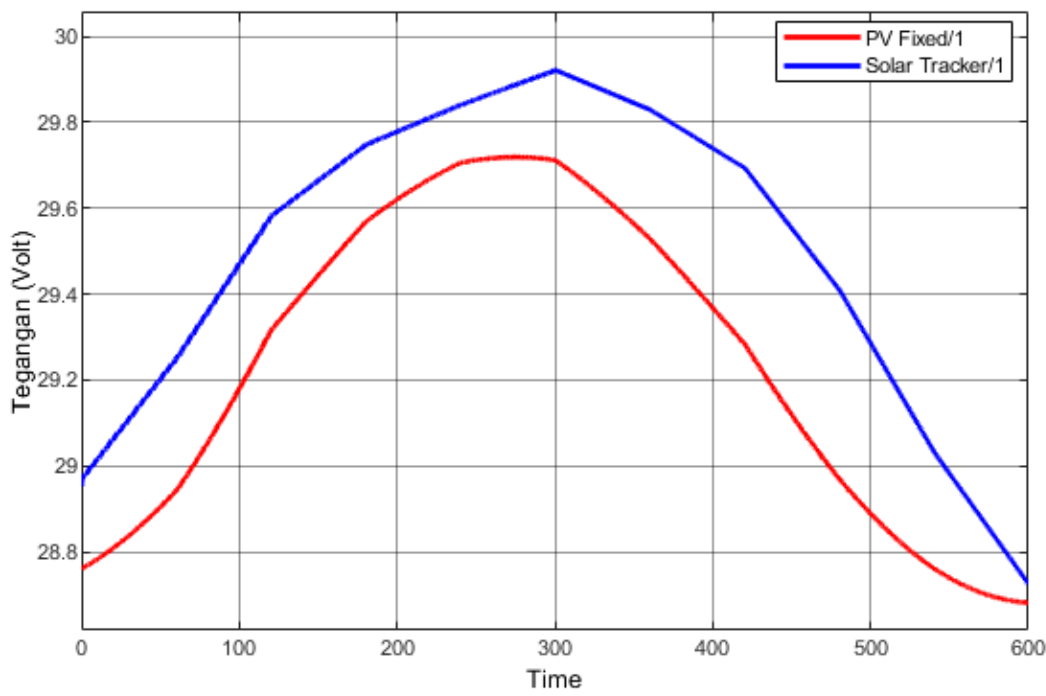
Pada gambar 4. 13 Capaian daya hasil simulasi pada PV *fixed* dan *solar tracker*. Pada grafik tersebut menunjukkan kurva daya output *solar tracker* lebih besar dibandingkan dengan PV *fixed*. Daya maksimum yang dihasilkan oleh *solar tracker* sebesar 250,3 watt terjadi pada $t = 300$ menit, dan PV *fixed* sebesar 209,04 watt. Dari daya output dapat dihitung efisiensi energi yang dihasilkan oleh PV *fixed* maupun *solar tracker*. Perhitungan efisiensi pada PV *fixed* maupun *solar tracker* diambil pada jam 07.00 WIB hingga 17.00 WIB dengan nilai daya maksimum berdasarkan spesifikasi panel surya sebesar 250 watt.

Adapun besar energi yang dihasilkan oleh PV *fixed* sebesar 1052,84 Wh, dan besar energi yang dihasilkan oleh *passive solar tracker* 5 posisi sebesar 1469,27 Wh. Sehingga dari persamaan 4.1 dapat diketahui peningkatan efisiensi

gross energi gain pada *passive smart discrete solar tracker* 5 posisi dengan kontrol *Fuzzy* sebesar 39,55% dibandingkan dengan *PV fixed*.

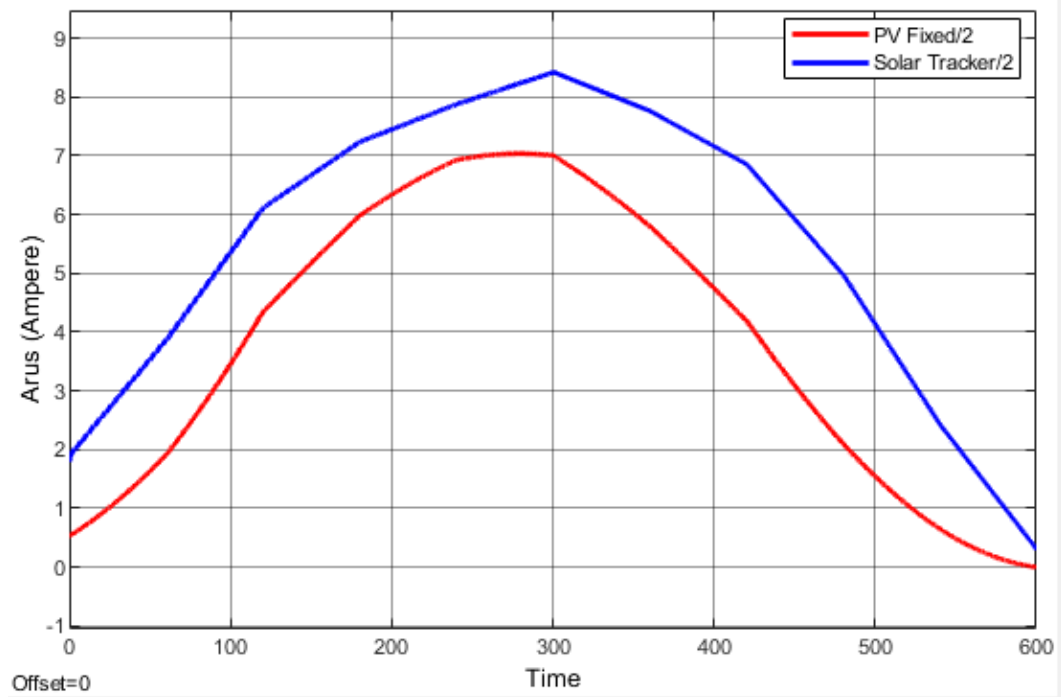
4.5.5 Uji Performansi *passive solar tracker* 5 posisi dengan kontrol *Fuzzy-ACO*

Pada uji performansi data yang digunakan pada PV panel berupa data primer berupa sudut *altitude*, temperatur, serta radiasi. Pada Gambar 4.14 menunjukkan profil tegangan output PV panel pada *passive discrete solar tracker* 5 posisi dengan kontrol *Fuzzy* selama 10 jam operasi. Keluaran dari *passive solar tracker* memiliki tegangan maksimum (*solar noon*) sebesar 29,92 volt, arus maksimum sebesar 8,42 A. Tegangan maksimum terjadi pada $t = 301$ menit tepat pada saat *solar noon* dengan posisi *altitude* 66.71° .



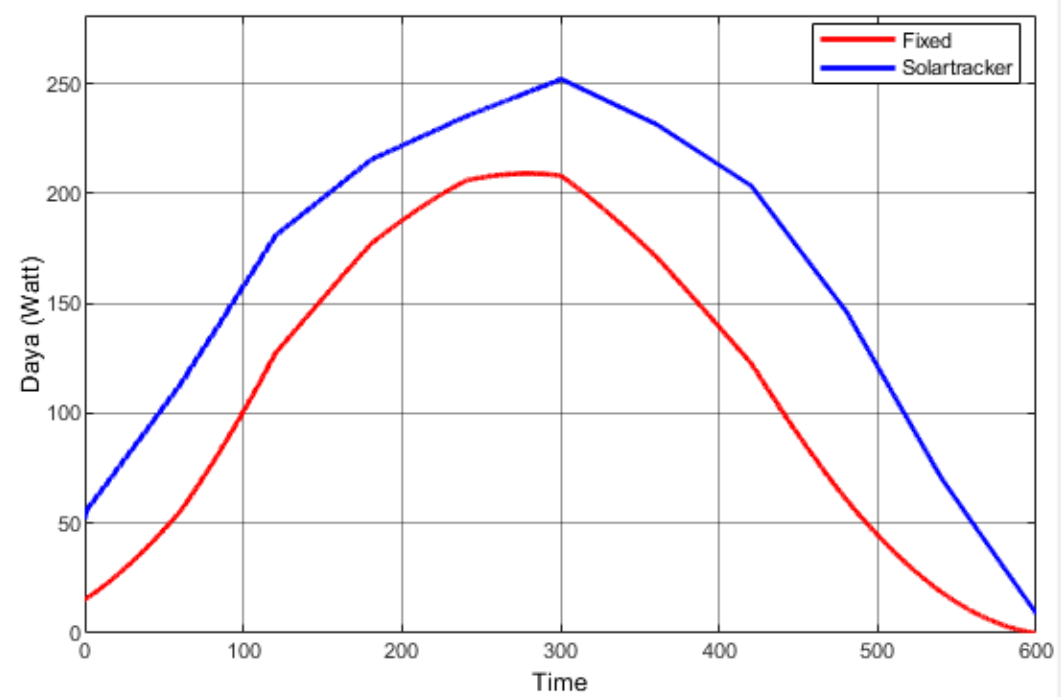
Gambar 4. 14 Respon Tegangan Ouput *solar tracker* 5 posisi F-ACO dan *PV Fixed*.

Pada Gambar 4.15 Menyajikan profil arus yang dihasilkan oleh *PV fixed* dan *passive solar tracker* dengan *controller Fuzzy*. Rata-rata penyimpanan arus pada *PV fixed* sebesar 3,89 A, sedangkan pada *solar tracker* sebesar 5,56 A.



Gambar 4.15 Respon Arus Ouput *solar tracker* 5 Posisi F-ACO dan PV *Fixed*.

Dari grafik dapat dilihat bahwa nilai maksimum tegangan, arus dan daya baik pada PV *fixed* maupun *solar tracker* diperoleh pada pukul 11.00 WIB yaitu saat *noon time*.



Gambar 4.16 Respon Daya Ouput *solar tracker* 5 Posisi F-ACO dan PV *Fixed*

Pada Gambar 4.16 Capaian daya hasil simulasi pada PV *fixed* dan *solar tracker*. Pada grafik tersebut menunjukkan kurva daya output *solar tracker* lebih besar dibandingkan dengan PV *fixed*. Daya maksimum yang dihasilkan oleh *passive discrete solar tracker* 5 posisi dengan kontroler Fuzzy-ACO sebesar 251,54 watt terjadi pada $t = 300$ menit, dan daya maksimum yang dihasilkan PV *fixed* sebesar 209,04 watt. Dari daya output dapat dihitung efisiensi energi yang dihasilkan oleh PV *fixed* maupun *solar tracker*. Perhitungan efisiensi pada PV *fixed* maupun *solar tracker* diambil pada jam 07.00 WIB hingga 17.00 WIB yaitu selama 10 jam (600 menit) dengan nilai daya maksimum berdasarkan spesifikasi panel surya sebesar 250 watt.

Adapun besar energi yang dihasilkan oleh PV *fixed* sebesar 1052,84 Wh, dan besar energi yang dihasilkan oleh *passive solar tracker* 5 posisi dengan kontroler Fuzzy-ACO sebesar 1516,06 Wh. Sehingga dari persamaan 4.1 dapat diketahui peningkatan *efisiensi gross energi gain* sebesar 43,99%. Pada penelitian ini dapat dikatakan sistem *passive solar tracker* 5 posisi dengan kontrol Fuzzy-ACO dapat meningkatkan performansi energi dari *solar tracker* dan lebih optimal dibandingkan dengan *passive solar tracker* 5 posisi dengan kontrol Fuzzy tanpa optimisasi yang memiliki *efisiensi* 39,55%. Sehingga dapat diketahui peningkatan efisiensi *gross energy gain* dari *Solar tracker-FACO* terhadap *Solar tracker-FLC* adalah sebesar 3,1%

4.5.6 Uji Performansi *Passive Smart Discrete Solar Tracker*

Uji performansi *passive solar tracker* 3 posisi dan 5 posisi menggunakan kontrol Fuzzy-ACO dilakukan untuk mengetahui performansi *photovoltaic* antara PV *fixed* dengan *solar tracker* yang telah dirancang. Variabel *output* dari *solar tracker* adalah tegangan *output* dan arus *output photovoltaic* (PV) yang kemudian dibandingkan dengan PV *fixed*. Dari simulasi uji performansi yang telah dilakukan, maka dapat diketahui peningkatan *efisiensi gross energy gain* dari *Solar tracker* terhadap PV *fixed*. Berikut Tabel 4.2 menunjukkan peningkatan performansi energi dari *passive discrete solar tracker* 3 posisi dan *passive discrete solar tracker* 5 posisi.

Tabel 4. 2 Peningkatan Performansi *Solar Tracker* terhadap PV *fixed*

	Fuzzy (%)	F-ACO (%)
Solar tracker 3 posisi	38,63	42,79
Solar tracker 5 posisi	39,55	43,99

Berdasarkan Tabel 4.2 di atas, *solar tracker* 3 posisi dengan kontrol *fuzzy* mengalami peningkatan efisiensi *gross energy gain* sebesar 38,63% dibandingkan dengan PV *fixed*. Sedangkan jika menggunakan kontrol F-ACO, performansi *solar tracker* mengalami peningkatan yang lebih besar yaitu 42,79%. Kemudian pada *solar tracker* 5 posisi dengan kontrol *fuzzy* mengalami peningkatan efisiensi *gross energy gain* sebesar 39,55% dibandingkan dengan PV dalam keadaan *fixed*. Sedangkan jika menggunakan kontrol F-ACO, performansi dari *solar tracker* semakin meningkat yakni sebesar 43,99%.

Dari analisa tersebut dapat diketahui bahwa ketika menggunakan metode *fuzzy* dan F-ACO, performansi *solar tracker* yang dihasilkan akan lebih optimal jika dibandingkan dengan *photovoltaic* (PV) *fixed*. Hasil performansi *solar tracker* yang didapatkan pada *solar tracker discrete* 3 posisi dan 5 posisi lebih baik ketika menggunakan F-ACO dibandingkan dengan *fuzzy*. Hal tersebut membuktikan bahwa optimisasi menggunakan algoritma *Ant-Colony* mampu meningkatkan performansi kontroler yang digunakan [19]

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan analisa Tugas Akhir yang telah dilakukan, maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a. Beberapa Parameter-parameter dari setiap komponen pada sistem *passive solar tracker* Berbasis *Fuzzy-Ant Colony Controller* diperoleh dalam bentuk data sekunder maupun eksperimen. Parameter tersebut diantaranya parameter astronomi (posisi bujur dan lintang), parameter motor DC yakni konstanta torsi (K_e), konstanta torsi (K_t), resistansi (R), induktansi (L), viscous friction coefficient (B_m), inersia motor (J_m), dan torsi motor (T_m). Sedangkan untuk parameter photovoltaic yakni I_{sh} (arus shunt), R_{PV} (tahanan equivalen dari PV), R_{sh} (tahanan shunt) dan I_o (arus saturasi).
- b. Perancangan *passive solar tracker* Berbasis *Fuzzy-Ant Colony Controller* memiliki indeks peformansi (rata-rata) dengan nilai *rise time* sebesar 0,45 detik, *settling time* sebesar 0,701 detik, *maximum overshoot* sebesar 0,5% dan *error steady state* sebesar 0,05 % . Dari indeks performansi yang dihasilkan *passive solar tracker* dengan kontrol Fuzzy-ACO dapat disimpulkan bahwa kontrol fuzzy-ACO memiliki respon yang lebih cepat dalam mencapai set point dengan nilai error yang lebih kecil daripada menggunakan kontrol fuzzy.
- c. Peningkatan efesiensi daya menggunakan Fuzzy-Ant Colony Controller pada *passive solar tracker* 3 posisi mampu meningkatkan efesiensi *gross energi gain* sebesar 42,79% selama 10 jam dibandingkan dengan PV *fixed*. Sedangkan jika menggunakan kontrol FLC mampu meningkatkan efesiensi *gross energi gain* sebesar 38,63% dibandingkan dengan PV *fixed*. Pada *passive solar tracker* 5 posisi menggunakan Fuzzy-Ant Colony Controller mampu meningkatkan efesiensi *gross energi gain* sebesar 43,99%. Sedangkan jika menggunakan kontrol FLC mampu meningkatkan efesiensi *gross energi gain* sebesar 39,55% dibandingkan dengan PV *fixed*

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat dikembangkan untuk penelitian selajutnya yaitu agar pada penelitian selanjutnya dapat memasukkan gangguan internal dan eksternal pada pemodelan *solar tracker* sehingga pemodelan yang dihasilkan bisa mendekati kondisi yang sebenarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Banerjee, "Solar Tracking System," vol. 5, no. IJSRP, 2015.
- [2] L. S. S. Ali Basrah Pulungan, "A Riview of Solar Tracking Control Strategies," *Proceeding of EECSI*, vol. 5, 2018.
- [3] B. V. R. R. P. A. D. S. a. M. P. D. R., "Comparison of Efficiencies of Solar Tracker Systems with Static Panel Single-Axis Tracking System and Dual-Axis Tracking System with Fixed Mount," *International Journal of Engineering and Technology*, vol. 5, 2013.
- [4] K. A. P. Imam Abadi, "Pitch And Yaw Angle Control Designin Solar Panel System Using Pso-Fuzzy Method," vol. 13, no. 3, 2018.
- [5] C. I. N. F. Imam Abadi, "Smart solar tracking system based on fuzzyPi controller for maximizing the power of PV," *AIP Conference Proceedings 2088020022*, 2019.
- [6] A. P. A.A Smirnov, "Comparison of Discrete Sun Tracking Methods for Photovoltaic Panels," 2019.
- [7] S. Hong, Z. Fu and R. E. and Stamper, "Discrete-Position Solar Tracking for Photovoltaic System," no. 31, 2019.
- [8] F. S. B.J. Huang, "Feasibility study of one axis three positions tracking solar PV with low concentration ratio reflector," *Energy Convers. Manag.* 48 (2007) 1273–1280.
- [9] I. M. A. & S. A. Abadi, "Type-2 Fuzzy Logic Controller Based PV Passive Two-Axis Solar Tracking System," *International Review of Electrical Engineering (IREE)*, vol. 10, no. 3, 2015.
- [10] T. D. J. S., "Optimalisasi Stand-Alone Photovoltaic System dengan Implementasi Algoritma P&O-Fuzzy MPPT," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 10, no. 1, 2018.
- [11] N. Jenny, *The Physics Of Solar Cell.*, Imperial College Press, 2003.

- [12] C. H. A.H.B.B, "Rancang Bangun Dual-Axis PV Solar Tracker System Menggunakan Interval Type-2 Fuzzy Logic Controller," 2014.
- [13] A. Z. a. R. Bansal, "Handbook of Renewable Energy," 2011.
- [14] H. Santoso, "Rancang Bangun Solar Tracking System Menggunakan Kontrol PID Pada Sumbu Azimuth,," 2012.
- [15] M. Namazov, "DC Motor Position Control Using Fuzzy Proportional-Derivative Controllers with Different Defuzzification Methods. Turkish Journal of Fuzzy Systems," no. eISSN:1309-1190, 2010.
- [16] A. A. Yasser Ali Almatheel, "Speed Control of DC Motor Using Fuzzy Logic Controller," *International Conference on Communication, Control, Computing and Electronics Engineering (ICCCCEE)*, 2017.
- [17] M. A. d. H. Nurrohmah, "The ACO-ANFIS Hybrid Method used for LFC Optimization in Wind – Diesel Hybrid Power System," *Teknik Elektro (FORTEI 2017)*, 225 - 229, 2017.
- [18] O. C. F. V. a. J. S. Evelia Lizárraga Olivas, "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.
- [19] T. H. dkk., "Simultaneous Reconfiguration, Optimal Placement of DSTATCOM, and Photovoltaic Array," *IEEE Transactions On Sustainable Energi*, 210 - 218, 2015.
- [20] A. B. C.S. Chin, "Design, modeling and testing of a standalone single axis active solar tracker using," *Renewable Energy* 36, pp. 3075-3090, 2011.

LAMPIRAN

A. Data Validasi Posisi Matahari

PUKUL	<i>ALTITUDE</i>	
	simulasi	NOAA
07.00	18,34	17,68
08.00	29,96	30,58
09.00	41,97	42,53
10.00	52,12	52,55
11.00	58,55	58,68
12.00	58,87	58,56
13.00	52,79	52,24
14.00	42,74	42,12
15.00	30,77	30,13
16.00	17,83	17,20
17.00	4,42	3,92

B. Validasi Tegangan Output PV

Pukul	Vout	
	Pengukuran	Simulasi
07:00	28,72	28,76137
08:00	29,13	28,8433
09:00	29,36	29,12459
10:00	30,58	29,44611
11:00	32,57	29,64349
12:00	32,82	29,7154
13:00	32,53	29,62344
14:00	27,58	29,40565
15:00	26,97	29,11822
16:00	26,73	28,8548
17:00	25,65	28,70999

C. Validasi Arus Output PV

Pukul	Arus	
	Pengukuran	Simulasi
07:00	1,77	0,533126
08:00	3,89	1,177177
09:00	5,54	3,096657
10:00	6,5	5,185982

Pukul	Arus	
	Pengukuran	Simulasi
11:00	6,84	6,495196
12:00	6,92	7,007761
13:00	6,12	6,420073
14:00	4,89	4,988446
15:00	2,7	3,085951
16:00	1,2	1,300531
17:00	0,21	0,245303

D. Validasi Daya Output PV

Pukul	Pout	
	Pengukuran	Simulasi
07:00	50,83440	15,33343
08:00	113,31570	33,95366
09:00	162,65440	90,18889
10:00	198,77000	152,707
11:00	222,77880	192,5403
12:00	227,11440	208,2384
13:00	199,08360	190,1846
14:00	134,86620	146,6885
15:00	72,81900	89,85739
16:00	32,07600	37,52656
17:00	5,38650	7,042653

E. Data performansi Output Solar tracker 3 posisi FLC

Pukul	Tegangan	Arus	Daya
7.00	28,92667	1,624845	47,00135
8.00	29,07766	2,676376	77,82275
9.00	29,38524	4,793575	140,8604
10.00	29,63985	6,514679	193,0941
11.00	29,77383	7,4254	221,0826
12.00	29,86731	8,061561	240,7771
13.00	29,85923	7,988684	238,536
14.00	29,74322	7,189524	213,8396
15.00	29,53533	5,806548	171,4983
16.00	29,20807	3,613934	105,556
17.00	28,87338	1,329527	38,38796

F. Data performansi *Output Solar tracker 3 posisi FLC-ACO*

Pukul	Tegangan	Arus	Daya
7.00	28,93433	1,673915	48,4336
8.00	29,08359	2,714392	78,94425
9.00	29,38737	4,807224	141,2717
10.00	29,64545	6,550547	194,1939
11.00	29,7827	7,482229	222,841
12.00	29,87515	8,111783	242,3407
13.00	29,86745	8,041326	240,1739
14.00	29,74921	7,227894	215,0241
15.00	29,53878	5,828668	172,1717
16.00	29,21087	3,631888	106,0906
17.00	28,87537	1,339424	38,67637

G. Data performansi *Output Solar tracker 5 posisi FLC*

Pukul	Tegangan	Arus	Daya
7.00	28,94634	1,750904	50,68226
8.00	29,10146	2,828907	82,32533
9.00	29,40673	4,931255	145,0121
10.00	29,65391	6,604774	195,8573
11.00	29,78265	7,481919	222,8314
12.00	29,8714	8,087771	241,593
13.00	29,86721	8,039796	240,1263
14.00	29,75351	7,255478	215,876
15.00	29,54579	5,873605	173,5403
16.00	29,21727	3,672894	107,3119
17.00	28,87732	1,346322	38,87817

H. Data performansi *Output Solar tracker 5 posisi FLC*

Pukul	Tegangan	Arus	Daya
7.00	28,95281	1,79236	51,89385
8.00	29,10861	2,874734	83,6795
9.00	29,41423	4,979349	146,4637
10.00	29,66389	6,668787	197,8222
11.00	29,79362	7,552185	225,0069
12.00	29,88031	8,144889	243,3718
13.00	29,8759	8,095488	241,86
14.00	29,76221	7,311237	217,5986
15.00	29,55352	5,923122	175,0491

Pukul	Tegangan	Arus	Daya
16.00	29,22359	3,713431	108,5198
17.00	28,88038	1,362852	39,35967

I. Optimasi menggunakan ACO

```

clear all
close all
clc
%optimasi dengan ACO
MaxIt=500; % max numberof iteration
m1=1;
n1=1;
nAnt=40; % Number of Ant
alpha=0.73; % tetapan pengendali intensitas
jejak semut
beta=0.67; % tetapan pengendali visibilitas
rho=0.075; % koefisien penguapan / evaporasi
n=1;
% =====
% Batas-batas untuk 1
i=1;
a(:,i)=-300 ;
b(:,i)=-180 ;
c(:,i)=-90;
% Batas-batas untuk 2
d(:,i)=-180 ;
e(:,i)=-90 ;
f(:,i)=0;
% Batas-batas untuk 3
g(:,i)=-90 ;
h(:,i)=0 ;
j(:,i)=90;
% Batas-batas untuk 4
k(:,i)=0 ;
l(:,i)=90 ;
m(:,i)=180;
% Batas-batas untuk 5
o(:,i)=90 ;
p(:,i)=180;
q(:,i)=300;
% =====

% Inisialisasi posisi awal
x1(:,i)=(c(:,i)-(rand(n,1)*(c(:,i)-b(:,i)))); %constraint:
b<=x1<=c
x2(:,i)=(d(:,i)-(rand(n,1)*(d(:,i)-a(:,i)))); %constraint:
a<=x2<=d
x3(:,i)=(f(:,i)-(rand(n,1)*(f(:,i)-e(:,i)))); %constraint:
e<=x3<=f
x4(:,i)=(h(:,i)-(rand(n,1)*(h(:,i)-g(:,i)))); %constraint:
g<=x4<=h

```



```

x5(:,i)=(j(:,i)-(rand(n,1)*(j(:,i)-h(:,i)))); %constraint:
h<=x5<=j
x6(:,i)=(l(:,i)-(rand(n,1)*(l(:,i)-k(:,i)))); %constraint:
k<=x6<=l
x7(:,i)=(q(:,i)-(rand(n,1)*(q(:,i)-m(:,i)))); %constraint:
m<=x7<=q
x8(:,i)=(p(:,i)-(rand(n,1)*(p(:,i)-o(:,i)))); %constraint:
o<=x8<=p
% =====
% Selanjutnya menghitung MSE [mean square error] yang dihasilkan
oleh setiap partikel
% "myu" [derajat keanggotaan] tiap dimensi
myu1(:,i)=1; % myu1=derajat
keanggotaan 1 batas kiri (a) (tetap)
myu2(:,i)=1; % myu2=derajat
keanggotaan 1 batas tengah (b) (tetap)
myu3(:,i)=(c(:,i)-x1(:,i))/(c(:,i)-b(:,i)); % myu3=derajat
keanggotaan 1 batas kanan (c)
y1=1; % y1=derajat
keanggotaan ideal 1 batas kiri (a) adalah 1 (tetap)
y2=1; % y2=derajat
keanggotaan ideal 1 batas tengah (b) adalah 1 (tetap)
y3=0; % y3=derajat
keanggotaan ideal 1 batas kanan (c) adalah 0

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

myu7(:,i)=(x4(:,i)-g(:,i))/(h(:,i)-g(:,i)); % myu7=derajat
keanggotaan 3 batas kiri (g)
myu8(:,i)=1; % myu8=derajat
keanggotaan 3 batas tengah (h) (tetap)
myu9(:,i)=(j(:,i)-x5(:,i))/(j(:,i)-h(:,i)); % myu9=derajat
keanggotaan 3 batas kanan (j)
y7=0; % y7=derajat
keanggotaan ideal 3 batas kiri (g) adalah 0
y8=1; % y8=derajat
keanggotaan ideal 3 batas tengah (h) adalah 1 (tetap)
y9=0; % y9=derajat
keanggotaan ideal 3 batas kanan (j) adalah 0

myu10(:,i)=(x6(:,i)-k(:,i))/(l(:,i)-k(:,i)); % myu10=derajat
keanggotaan 4 batas kiri (k)
myu11(:,i)=1; % myu11=derajat
keanggotaan 4 batas tengah (l) (tetap)
myu12(:,i)=(m(:,i)-x7(:,i))/(m(:,i)-l(:,i)); % myu12=derajat
keanggotaan 4 batas kanan (m)

```

```

y10=0; % y10=derajat
keanggotaan ideal 4 batas kiri (k) adalah 0
y11=1; % y11=derajat
keanggotaan ideal 4 batas tengah (l) adalah 1 (tetap)
y12=0; % y12=derajat
keanggotaan ideal P4 batas kanan (m) adalah 0

myu13(:,i)=(x8(:,i)-o(:,i))/(p(:,i)-o(:,i)); % myu13=derajat
keanggotaan 5 batas kiri (o)
myu14(:,i)=1; % myu14=derajat
keanggotaan 5 batas tengah (p) (tetap)
myu15(:,i)=1; % myu15=derajat
keanggotaan 5 batas kanan (q) (tetap)
y13=0; % y13=derajat
keanggotaan ideal 5 batas kiri (o) adalah 0
y14=1; % y14=derajat
keanggotaan ideal 5 batas tengah (p) adalah 1 (tetap)
y15=1; % y15=derajat
keanggotaan ideal 5 batas kanan (q) adalah 1 (tetap)

mse(:,i)=((y1-myul(:,i)).^2)+((y2-myu2(:,i)).^2)+((y3-
myu3(:,i)).^2)+((y4-myu4(:,i)).^2)+((y5-myu5(:,i)).^2)+...
((y6-myu6(:,i)).^2)+((y7-myu7(:,i)).^2)+((y8-
myu8(:,i)).^2)+((y9-myu9(:,i)).^2)+((y10-myu10(:,i)).^2)+((y11-
myu11(:,i)).^2)+...
((y12-myu12(:,i)).^2)+((y13-myu13(:,i)).^2)+((y14-
myu14(:,i)).^2)+((y15-myu15(:,i)).^2))/15;

%=====
%antPosition(AP)
AP1=x1;
AP2=x2;
AP3=x3;
AP4=x4;
AP5=x5;
AP6=x6;
AP7=x7;
AP8=x8;
%=====
%jarak terdekat xi, jarak terjauh xj
%x1
xi1(:,i)=AP1(:,i)+(mse(:,i)*rho(:,i));
xj1(:,i)=AP1(:,i)-(mse(:,i)*rho(:,i));
%x2
xi2(:,i)=AP2(:,i)+(mse(:,i)*rho(:,i));
xj2(:,i)=AP2(:,i)-(mse(:,i)*rho(:,i));
%x3
xi3(:,i)=AP3(:,i)+(mse(:,i)*rho(:,i));
xj3(:,i)=AP3(:,i)-(mse(:,i)*rho(:,i));
%x4
xi4(:,i)=AP4(:,i)+(mse(:,i)*rho(:,i));
xj4(:,i)=AP4(:,i)-(mse(:,i)*rho(:,i));
%x5
xi5(:,i)=AP5(:,i)+(mse(:,i)*rho(:,i));
xj5(:,i)=AP5(:,i)-(mse(:,i)*rho(:,i));
%x6
xi6(:,i)=AP6(:,i)+(mse(:,i)*rho(:,i));

```

```

xj6(:,i)=AP6(:,i)-(mse(:,i)*rho(:,i));
%x7
xi7(:,i)=AP7(:,i)+(mse(:,i)*rho(:,i));
xj7(:,i)=AP7(:,i)-(mse(:,i)*rho(:,i));
%x8
xi8(:,i)=AP8(:,i)+(mse(:,i)*rho(:,i));
xj8(:,i)=AP8(:,i)-(mse(:,i)*rho(:,i));

```

```

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

```

```

% nilai tau atau pheromone
tau1=ones*[xi1(:,i),xj1(:,i)];
tau2=ones*[xi2(:,i),xj2(:,i)];
tau3=ones*[xi3(:,i),xj3(:,i)];
tau4=ones*[xi4(:,i),xj4(:,i)];
tau5=ones*[xi5(:,i),xj5(:,i)];
tau6=ones*[xi6(:,i),xj6(:,i)];
tau7=ones*[xi7(:,i),xj7(:,i)];
tau8=ones*[xi8(:,i),xj8(:,i)];

```

```

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

```

```

end

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

for i=1:MaxIt
    % Posisi awal tiap semut
    for i=1:m1
        mh1=h1;
        %1
        for z=1:n1-1
            startplaces1(z,1)=fix(1+rand*(n1-1));
            c1=startplaces1(i,z);
            mh1(:,c1)=0;
            temp=(tau1(c1,:).^beta).* (mh1(c1,:).^alpha);
            s1=(sum(temp));
            P1=(1/s1).*temp;
            r=rand;
            s1=0;
            for u=1:n1
                s1=s1+P1(u);
                if r<=s1
                    startplaces1(i,z+1)=u;
                    break
                end
            end
        end
    end
end
for i=1:m1
    mh2=h2;
    %2
    for z=1:n1-1
        startplaces2(z,1)=fix(1+rand*(n1-1));
        c2=startplaces2(i,z);
        mh2(:,c1)=0;
        temp2=(tau2(c2,:).^beta).* (mh2(c2,:).^alpha);
        s2=(sum(temp2));
        P2=(1/s2).*temp2;
        r=rand;
        s2=0;
        for u=1:n1
            s2=s2+P2(u);

```

```

        if r<=s2
            startplaces2(i,z+1)=u;
            break
        end
    end
end
end

%3
for i=1:m1
mh3=h3;
for z=1:n1-1
    startplaces3(z,1)=fix(1+rand*(n1-1));
    c3=startplaces3(i,z);
    mh3(:,c3)=0;
    temp3=(tau3(c3,:).^beta).*(mh3(c3,:).^alpha);
    s3=(sum(temp3));
    P3=(1/s3).*temp3;
    r=rand;
    s=0;
    for u=1:n1
        s3=s3+P3(u);
        if r<=s
            startplaces4(i,z+1)=u;
            break
        end
    end
end
end

end
%4
for i=1:m1
mh4=h4;
for z=1:n1-1
    startplaces4(z,1)=fix(1+rand*(n1-1));
    c4=startplaces4(i,z);
    mh4(:,c1)=0;
    temp4=(tau4(c4,:).^beta).*(mh4(c4,:).^alpha);
    s4=(sum4(temp));
    P4=(1/s4).*temp;
    r=rand;
    s4=0;
    for u=1:n1
        s4=s4+P4(u);
        if r<=s4
            startplaces4(i,z+1)=u;
            break
        end
    end
end

end
end
%5
for i=1:m1
mh5=h5;
for z=1:n1-1
    startplaces5(z,1)=fix(1+rand*(n1-1));
    c5=startplaces5(i,z);
    mh5(:,c5)=0;

```

```

temp5=(tau5(c5,:).^beta).*(mh5(c5,:).^alpha);
s5=(sum(temp5));
P5=(1/s5).*temp5;
r=rand;
s5=0;
    for u=1:n1
        s5=s5+P1(u);
        if r<=s5
            startplaces5(i,z+1)=u;
            break
        end
    end
end
end
%6
for i=1:m1
mh6=h6;
for z=1:n1-1
    startplaces6(z,1)=fix(1+rand*(n1-1));
    c6=startplaces6(i,z);
    mh6(:,c6)=0;
temp6=(tau6(c6,:).^beta).*(mh6(c6,:).^alpha);
s6=(sum(temp));
P6=(1/s6).*temp;
r=rand;
s6=0;
    for u=1:n1
        s6=s6+P1(u);
        if r<=s6
            startplaces6(i,z+1)=u;
            break
        end
    end
end
end
%7
for i=1:m1
mh7=h7;
for z=1:n1-1
    startplaces7(z,1)=fix(1+rand*(n1-1));
    c7=startplaces7(i,z);
    mh7(:,c7)=0;
temp7=(tau7(c7,:).^beta).*(mh7(c7,:).^alpha);
s7=(sum(temp7));
P7=(1/s7).*temp7;
r=rand;
s7=0;
    for u=1:n1
        s7=s7+P7(u);
        if r<=s7
            startplaces7(i,z+1)=u;
            break
        end
    end
end
end
end
%8
for i=1:m1

```

```

mh8=h8;
for z=1:n1-1
    startplaces8(z,1)=fix(1+rand*(n1-1));
    c8=startplaces8(i,z);
    mh8(:,c8)=0;
    temp8=(tau8(c8,:).^beta).*(mh8(c8,:).^alpha);
    s8=(sum(temp8));
    P8=(1/s8).*temp8;
    r=rand;
    s8=0;
    for u=1:n1
        s8=s8+P8(u);
        if r<=s8
            startplaces8(i,z+1)=u;
            break
        end
    end
end
end
end
end
% Menghitung total jarak
for i=1:m1
    s1=0;
    %1
    for z=1:n1
        s1=s1+CP1(i);
        f1(i)=s1;
        cost1=f1;
        f1=f1-rho*min(f1);
    end
end
%2
for i=1:m1
    s2=0;
    for z=1:n1
        s2=s2+CP2(i);
        f2(i)=s2;
        cost2=f2;
        f2=f2-rho*min(f2);
    end
end
%3
for i=1:m1
    s3=0;
    for z=1:n1
        s3=s3+CP3(i);
        f3(i)=s3;
        cost3=f3;
        f3=f3-rho*min(f3);
    end
end
%4
for i=1:m1
    s4=0;
    for z=1:n1
        s4=s4+CP4(i);
        f4(i)=s4;
        cost4=f4;
    end
end

```

```

        f4=f4-rho*min(f4);
    end
    end
    %5
    for i=1:m1
        s5=0;
        for z=1:n1
            s5=s5+CP5(i);
            f5(i)=s5;
            cost5=f5;
            f5=f5-rho*min(f5);
        end
    end
    end
    %6
    for i=1:m1
        s6=0;
        for z=1:n1
            s6=s6+CP6(i);
            f6(i)=s6;
            cost6=f6;
            f6=f6-rho*min(f6);
        end
    end
    end
    %7
    for i=1:m1
        s7=0;
        for z=1:n1
            s7=s7+CP7(i);
            f7(i)=s7;
            cost7=f7;
            f7=f7-rho*min(f7);
        end
    end
    end
    %8
    for i=1:m1
        s8=0;
        for z=1:n1
            s8=s8+CP8(i);
            f8(i)=s8;
            cost8=f8;
            f8=f8-rho*min(f8);
        end
    end
    end
    %% Update Jalur semut dan pheromone
    for i=1:m1
        %1
        for z=1:n1
            dt1=1/f1(i);
            tau1=(1-rho)*tau1+dt1;
        end
        %2
        for z=1:n1
            dt2=1/f2(i);
            tau2=(1-rho)*tau2+dt2;
        end
        %3
        for z=1:n1
            dt3=1/f3(i);

```



```
tau3=(1-rho)*tau3+dt3;
end
%4
for z=1:n1
dt4=1/f4(i);
tau4=(1-rho)*tau4+dt4;
end
%5
for z=1:n1
dt5=1/f5(i);
tau5=(1-rho)*tau5+dt5;
end
%6
for z=1:n1
dt6=1/f6(i);
tau6=(1-rho)*tau6+dt6;
end
%7
for z=1:n1
dt7=1/f7(i);
tau7=(1-rho)*tau7+dt7;
end
%8
for z=1:n1
dt8=1/f8(i);
tau8=(1-rho)*tau8+dt8;
end
end
```

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Najela Rafia Elchoir. Penulis lahir di Malang, 25 Juni 1998. Pada tahun 2010 penulis telah menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SDN Sukonolo. Pada tahun 2013 penulis telah menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Bululawang. Pada tahun 2016 penulis telah menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Kepanjen. Pada tahun yang sama, penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Departemen Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Semasa perkuliahan, penulis aktif berorganisasi menjadi Badan Pengurus Harian di Himpunan Mahasiswa Teknik Fisika ITS. Konsentrasi Tugas Akhir yang didalami adalah bidang rekayasa instrumentasi dan kontrol. Pada bulan Juli 2020 penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Perancangan *Passive Smart Discrete Solar Tracker* Pada PV Berbasis *Fuzzy – Ant Colony Controller*”**. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, anda dapat menghubungi melalui email: najelaelchoir25@gmail.com.