

TUGAS AKHIR - TF 141581

# PERANCANGAN MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) PADA PASSIVE TWO AXIS SOLAR TRACKER BERBASIS ANT COLONY OPTIMIZATION

CHERVILIA PRADITA NRP. 02311440000035

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

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



FINAL PROJECT - TF 141581

# DESIGN OF MAXIMUM POWER POINT TRACKING ON PASSIVE TWO AXIS SOLAR TRACKER BASED ON ANT COLONY OPTIMIZATION

CHERVILIA PRADITA NRP. 02311440000035

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

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

# PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama	: Chervilia Pradita
NRP	: 023114410000035
Departemen/Prodi	: Teknik Fisika/S1 Teknik Fisika
Fakultas	: Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi	: Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "Perancangan Maximum Power Point Tracking (MPPT) pada Passive Two Axis Solar Tracker Berbasis Ant Colony Optimization" 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, 23 Juni 2018 Yang membuat pernyataan,

Chervilia Pradita NRP. 02311440000035

### LEMBAR PENGESAHAN I TUGAS AKHIR

# PERANCANGAN MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) PADA PASSIVE TWO AXIS SOLAR TRACKER BERBASIS ANT COLONY OPTIMIZATION

Oleh: <u>Chervilia Pradita</u> NRP. 02311440000035

Surabaya, 9 Juli 2018

Menyetujui, Dosen Pembimbing

<u>Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.</u> NIPN. 1971006 199903 1 002



## PERANCANGAN MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) PADA PASSIVE TWO AXIS SOLAR TRACKER BERBASIS ANT COLONY OPTIMIZATION

#### **TUGAS AKHIR**

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

### Oleh: CHERVILIA PRADITA NRP. 02311440000035

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

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

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

3. Ir. Ronny Dwi Noriyanti, M.Kes

4. Ir. Zulkifli, M.Sc.

. (Pembimbing) ..... (Penguji I) (Penguji II) . (Penguji III)

SURABAYA JULI, 2018

### PERANCANGAN MAXIMUM POWER POINT TRACKING (MPPT) PADA PASSIVE TWO AXIS SOLAR TRACKER BERBASIS ANT COLONY OPTIMIZATION

Nama	: Chervilia Pradita
NRP	: 02311440000035
Departemen	: Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing	: Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.

#### ABSTRAK

Pada dekade ini, banyak peneliti yang mulai menaruh perhatian besar di bidang energi baru dan terbarukan (EBT) karena menipisnya cadangan energi konvensional. Salah satu penerapan EBT yang dikembangkan adalah photovoltaic (PV), namun pemanfaatannya masih kurang karena konversi yang dihasilkan modul PV masih belum maksimal. Oleh karena itu dirancang sistem Maximum Power Point Tracking (MPPT) pada passive two axis solar tracker berbasis Ant Colony Optimization (ACO). Sistem ini diharapkan dapat meningkatkan daya output dari PV fixed, karena MPPT dapat mempertahankan output PV pada titik maksimumnya dan kontrol Ant Colony Optimization (ACO) ini memiliki kecepatan konvergensi yang cepat. Simulasi dilakukan dengan membandingkan hasil output PV fixed dan solar tracker menggunakan kontrol ACO. Solar tracker dengan menggunakan MPPT berbasis ACO dapat meningkatkan performansi atau unjuk kerja energi yang dihasilkan hingga 13,23% dengan nilai energi PV fixed dan solar tracker sebesar 110,59 Wh dan 124,23 Wh pada pukul 13:00 WIB. Sedangkan peningkatan daya rata-rata sebesar 11,49% dihitung selama 11 jam.

Kata Kunci: Ant Colony Optimization, MPPT, performansi, Photovoltaic

### DESIGN OF MAXIMUM POWER POINT TRACKING ON PASSIVE TWO AXIS SOLAR TRACKER BASED ON ANT COLONY OPTIMIZATION

Name	: Chervilia Pradita
NRP	: 02311440000035
Departement	: Engineering Physics
Supervisor	: Dr. Imam Abadi, S.T., M.T

#### ABSTRACT

In this decade, many researchers are starting to pay great attention in the field of new and renewable energy (EBT) due to depletion of conventional energy reserves. One of the developed application of EBT is photovoltaic (PV), but its utilization is not maximum enough because of the ability of PV modul to track the solar energy is not maximum. So, the writer designed a system of Maximum Power Point Tracking (MPPT) on passive two axis solar tracker based on the Ant Colony Optimization (ACO). The system is expected to increase the output power of fixed PV, because MPPT can maintain PV output at its maximum point and the Ant Colony Optimization (ACO) control has a fast convergence speed. The simulation is done by comparing the output of fixed PV and solar tracker using ACO control. The results obtained, solar tracker with MPPT-based ACO control can increase the energy performance up to 13,28% with the energy's value of PV fixed and solar tracker are 110,59 Wh dan 125,23 Wh respectively. The average value of increased work is 11,49%

Keyword: Ant Colony Optimization, MPPT, performance, Photovoltaic

#### **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya serta shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW sehingga dapat terselesaikannya tugas akhir beserta laporan tugas akhir yang berjudul "Perancangan Maximum Power Point Tracking (MPPT) pada Passive Two Axis Solar Tracker Berbasis Ant Colony Optimization".

Penulis telah banyak memperoleh bantuan dari berbagai pihak dalam penyelesaian tugas akhir dan laporan tugas akhir ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

- 1. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Fisika ITS yang telah memberikan ilmu, bimbingan serta sarana dan prasarana selama menempuh pendidikan di Teknik Fisika ITS.
- 2. Bapak Dr. Imam Abadi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah dengan sabar memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
- 3. Bapak Totok Ruki Biyanto, S.T., M.T., Ph.D selaku Kepala Laboratorium Rekayasa Instrumensi yang telah memberikan ilmu, petunjuk, dan kemudahan perizinan.
- 4. Bapak Ir. Jerri Susatio, M.T. selaku dosen wali yang telah membimbing penulis selama perkuliahan dan memberikan ilmu serta nasihat yang sangat bermanfaat.
- 5. Seluruh dosen Teknik Fisika ITS atas segala ilmu, bimbingan, petunjuk, dan nasihat yang sangat bermanfaat.
- 6. Keluarga, atas segala cinta, kasih sayang, doa, perhatian, serta dukungan moril dan materiil yang telah diberikan.
- 7. Seluruh teman seperjuangan dalam tugas akhir, terima kasih untuk semuanya.
- 8. Seluruh teman–teman Departemen Teknik Fisika ITS angkatan 2014, terima kasih untuk semuanya.
- 9. Seluruh karyawan dan civitas akademika Teknik Fisika ITS, terima kasih atas segala bantuan dan kerjasamanya.
- 10.Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuannya.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan. Namun, semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi yang berarti dan menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca, keluarga besar Teknik Fisika ITS khususnya, dan civitas akademika ITS pada umumnya. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat sebagai referensi pengerjaan laporan tugas akhir bagi mahasiswa lainnya.

Surabaya, 9 Juli 2018

Penulis

# **DAFTAR ISI**

HALA	MAN JUDUL	i
COVE	R	iii
PERN	YATAAN BEBAS PLAGIARISME	v
LEME	BAR PENGESAHAN I	. vii
LEME	BAR PENGESAHAN II	ix
ABST	RAK	xi
ABST	RACT	xiii
КАТА	PENGANTAR	xv
DAFT	AR ISI	xvii
DAFT	AR GAMBAR	xix
DAFT	AR TABELx	xiii
DAFT	AR NOTASI	xxv
BAB I	PENDAHULUAN	1
1.1	Latar Belakang	1
1.2	Perumusan Masalah	3
1.3	Tujuan	3
1.4	Batasan Masalah	3
1.5	Sistematika Laporan	4
BAB I	I DASAR TEORI	5
2.1	Photovoltaic	5
2.2	Solar Tracker	7
2.3	Maximum Power Point Tracking (MPPT) berbasis A	nt
	Colony Optimization (ACO)	10
2.4	Konverter DC DC	. 16
2.5	PWM (Pulse Width Modulation) dan Duty Cycle	. 19
BAB I	II METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1	Diagram Alir	21
3.2	Pemodelan PV dan konverter DC-DC	23
3.3	Pengambilan Data Primer	32
3.4	Perancangan Sistem Kontrol Ant Colony Optimizati	on
	-	. 35
3.5	Simulasi Perancangan MPPT berbasis Ant Colony	
	Optimization	. 39
BAB I	V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	

4.1	Simulasi MPPT Berbasis Ant Colony Optimization .	43
4.2	Simulasi MPPT Berbasis Kontrol Konvensional	
	(P&O)	46
4.3	Perbandingan Daya Output dan Peningkatan Daya	
	dari MPPT dengan Metode ACO dan P&O	48
4.4	Uji Indeks Performansi Sistem Kontrol Ant Colony	,
	Optimization pada Passive Two Axis Solar Tracker	52
4.5	Uji Parameter pada ACO (Ant Colony Optimization	ı)56
BAB V	V KESIMPULAN DAN SARAN	59
5.1	Kesimpulan	59
5.2	Saran	59
DAFT	AR PUSTAKA	61
LAMP	PIRAN A	63
LAMP	PIRAN B	71
LAMP	PIRAN C	75
LAMP	PIRAN D	81

# DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Rangkaian Ekivalensi Sel PV Dengan Dua Dioda
(Titri, et al., 2017)
Gambar 2. 2 (a) Kurva P-V dengan variasi iradiasi, (b) kurva P-V
dengan variasi suhue (Titri, et al., 2017) (Adapted)6
Gambar 2. 3 Tracking system: a) Horizontal single-axis tracker
(HSAT), b) Vertikal single-axis tracker (VSAT), c) Tilted single-
axis tracker (TSAT), d) Polar-atitude dual-axis tracker (PADAT),
e) Azimuth-atitude dual-axis tracker (AADAT) (Seme, et al., 2017)
(adapted)
Gambar 2. 4 Blok Diagram MPPT10
Gambar 2. 5 Flow Chart ACO <sub>R</sub> dengan Fungsi Kontinyu (Hu, et
al., 2010)
Gambar 2. 6 Ilustrasi Solusi yang Dihasilkan dari Dua Semut . 15
Gambar 2. 7 Konfigurasi Buck Converter (Steve Roberts, 2015)
Gambar 2. 8 Rangkaian Boost Converter (Steve Roberts, 2015)
Gambar 2. 9 Rangkaian Buck Boost Converter
Gambar 2. 10 Contoh nilai duty cycle pada sinyal PWM
Gambar 2. 11 Contoh Perhitungan Duty Cycle
Combar 3 1 Diagram Alir Penelitian 21
Combar 3. 2 Diagram Blok MPDT Secara Garis Besar
Combar 3. 2 Diagram Diok Mil 1 1 Secara Garis Desar
Cambar 3. 4 Damadalan DV nada Simulink MATLAD 2015a 25
Gambar 3. 4 Pennodelan P v pada Simulink MATLAB 2013a25
Gambar 3. 5 Grafik Karakteristik PV
Gambar 3. 6 Grafik Perbandingan Tegangan Simulasi Dan
Percobaan
Gambar 3. 7 Grafik Perbandingan Daya Simulasi Dan Percobaan

Gambar 3.8 Rangkaian Motor DC	
Gambar 3. 9 Pemodelan Konverter Buck Boost	
Gambar 3. 10 Flowchart Sistem Kontrol Ant Colony Optin	nization
Gambar 3. 11 Blok Kontrol Berbasis Ant Colony Optin	nization
Gambar 3. 12 Blok Konverter Buck Boost	
Gambar 3. 13 Blok PV Dengan Tiga Pengaruh, yaitu	Iradiasi,
Suhu, dan Rh	
Gambar 3. 14 Integrasi MPPT Berbasis Ant Colony Optin	nization
	41
Gambar 4. 1 Grafik Iradiasi PV Fixed Matahari Selama	12 Jam
Gambar 4. 2 Grafik Suhu Lingkungan Selama 12 Jam	
Gambar 4. 3 Grafik Perbandingan Antara Vpv dan Vout	Dengan
Metode ACO	
Gambar 4. 4 Grafik Perbandingan Antara Ppv, Pout, dan S	Set Point
PV Fixed Dengan Metode ACO	
Gambar 4. 5 Grafik Iradiasi Solar Tracker Selama 12 Jam	ı45
Gambar 4.6 Perbandingan Tegangan Input Dan Output Da	ari Solar
Tracker ACO	
Gambar 4. 7 Perbandingan Pin, Pout, dan Set Point Solar	Tracker
Metode ACO	
Gambar 4. 8 Grafik Perbandingan Vpv dan Vout PV	V Fixed
Dengan Metode P&O	
Gambar 4. 9 Grafik perbandingan Ppv, Pout, dan Set P	oint PV
Fixed Dengan Metode P&O	
Gambar 4. 10 Perbandingan Pin, Pout, dan Set Point Solar	Tracker
Metode P&O	
Gambar 4. 11 Grafik Perbandingan Daya Output PV	✓ Fixed
Dengan Metode ACO dan P&O	
-	

Gambar 4. 12 Grafik Perbandingan Daya Output Solar Tracker
Dengan Metode ACO dan P&O49
Gambar 4. 13 Grafik Perbandingan Energi PV Fixed dan Solar
Tracker dengan Metode ACO51
Gambar 4. 14 Grafik Perbandingan Energi PV Fixed dan Solar
Tracker dengan Metode P&O52
Gambar 4. 15 Grafik Indeks Performansi Sistem Pagi Hari53
Gambar 4. 16 Grafik Respon Uji Indeks Performansi Siang Hari
Gambar 4. 17 Grafik Hasil Uji Indeks Performansi Sore Hari 55
Gambar 4. 18 Perbandingan Daya dengan Parameter yang
Berbeda

# DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Parameter PV	24
Tabel 3. 2 Tabel perbandingan pemodelan PV	
Tabel 3. 3 Parameter konverter buck boost	
Tabel 3. 4 Data Primer PV Fixed	
Tabel 3. 5 Data Primer Mobile Tracker PV	
Tabel 3. 6 Data Primer Mobile Fixed PV	
Tabel 3. 7 Parameter ant colony optimization	
Tabel 4. 1 Tabel Indeks Performansi Pagi Hari	53
Tabel 4. 2 Tabel Indeks Performansi Siang Hari	
Tabel 4. 3 Tabel Indeks Performansi Sore Hari	55
Tabel 4. 4 Tabel Perbandingan Parameter	56
Tabel 4. 5 Hasil Uji Parameter ACO	

## **DAFTAR NOTASI**

q	: muatan listrik, 1,6021 x 10 <sup>-19</sup> C
V	: Tegangan (Volt)
$n_2$	: jumlah solar cell yang terhubung seri
k	: konstanta Boltzman, 1,3865 x 10 <sup>-23</sup> J/K
Т	: suhu sel, K
$\mathbf{I}_{\mathrm{ph}}$	: arus pada terminal PV, A
Ι	: arus <i>output</i> PV, A
Id	: arus saturasi dari diode, A
R <sub>s</sub>	: resistansi seri ekivalen array PV, Ohm
R <sub>p</sub>	: resistansi paralel ekivalen array PV, Ohm
α	: sudut <i>altitude</i> , °(derajat)
β	: sudut <i>azimuth</i> , °(derajat)
$\beta_{so}$	: kemiringan <i>azimuth</i> karena cuaca, °(derajat)
$\gamma_{s}$	: sudut yaw, °(derajat)
δ	: sudut deklinasi, °(derajat)
ω	: sudut jam, °(derajat)
UTC	: Universal Time Conversion
$\varphi$	: lintang, °(derajat)
$\theta_z$	: sudut zenith, °(derajat)
$\theta_i$	: sudut datang, °(derajat)
n	: jumlah hari dalam 1 tahun (365 hari)
Ra	: Resistansi Armatur (R)
La	: Induktansi Armatur (H)
Ia	: Arus Armatur (A)
Eb	: <i>Back</i> e.m.f (V)
ω	: Kecepatan Angular (rad/s)
Tm	: Torsi Motor DC (Nm)
Jm	: Inersia Motor DC (Nm.s <sup>2</sup> )
Bm	: Konstanta Peredaman (Nm.sec/rad)
Kt	: Konstanta Torsi motor DC (Nm/A)
Kb	: Konstanta e.m.f motor DC (Vs/rad)

### BAB I PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Pada dekade ini, banyak peneliti yang mulai menaruh perhatian besar di bidang energi baru dan terbarukan (EBT) karena menipisnya cadangan energi konvensional yang bersumber dari energi fosil akibat aktifitas eksplorasi dan eksploitasi vang dilakukan secara terus menerus. Oleh karena itu diperlukan sebuah usaha yang serius untuk mengembangkan sebuah strategi pemenuhan kebutuhan energi non konvensional di masa mendatang. Indonesia sendiri memiliki potensi EBT sebesar 441,7 GW, namun yang terealisasi masih sebesar 8,89 GW (BPPT, 2016). Untuk memanfaatkan potensi EBT ini pemerintah membuat rencana pembangunan proyek EBT meliputi PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro), PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya), PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Biomass), dan lain sebaginya. PLTS sangat cocok dibangun di wilayah negara tropis seperti Indonesia karena memiliki iriradiasi matahari yang cukup besar vaitu 4,8 kWh/m<sup>2</sup>/day (EBTKE, 2014). PLTS memanfaatkan photovoltaic (PV) untuk merubah energi surva menjadi listrik. Energi surya adalah energi yang ramah lingkungan dan tidak menimbulkan emisi gas yang menyebabkan efek greenhouse.

*Photovoltaic* (PV) adalah alat konversi energi surya secara langsung tanpa ada bantuan mesin kalor. Adam dan Day adalah peneliti PV pertama dan berhasil membuat sel surya dari selenium dengan efisiensi 1-2%. Lalu Zocharalski menemukan kristal murni *silicon* untuk membuat *solar cell* yang memiliki efisiensi sebesar 6%. (Akarslan, 2016). Untuk meningkatkan efisiensi PV dapat dilakukan dengan banyak cara, salah satunya adalah dengan penggunaan *solar tracker* (penjejak matahari). *Solar tracker* ini dapat mengikuti arah matahari sehingga intensitas matahari yang diterima lebih besar dan menjadikan daya yang dihasilkan lebih besar pula. *Solar tracker* terbagi menjadi 2 jenis, yaitu sumbu tunggal dan sumbu ganda. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penggunaan *solar tracker* dengan sumbu ganda dapat meningkatkan efisiensi sebesar 30% dibandingkan dengan sumbu tunggal (Abdallah & Nijmeh, 2004). Selain itu ada pula *solar tracker* dengan metode *open loop* dan *close loop*. Metode *close loop* (*active solar* tracker) memanfaatkan sensor cahaya untuk menentukan posisi matahari, dimana akan sangat bergantung dengan cuaca. Sedangkan metode *open loop* (*passive solar tracker*) menggunakan algoritma matematika untuk menentukan posisi matahari sehingga tidak bergantung pada cuaca. Berdasarkan uraian diatas, dalam penelitian ini digunakan sistem *passive two axis solar tracker*.

Selain penggunaan solar tracker, dapat pula digunakan metode MPPT. MPPT adalah sebuah algoritma yang digunakan untuk menjaga output PV pada titik maksimumnya pada suhu dan iradiasi matahari yang berbeda (Titri, et al., 2017). Desain dari MPPT terdiri dari dua bagian yaitu hardware (DC-DC converter) dan software (Algoritma MPPT) (Jouda, et al., 2016). Banyak algoritma MPPT yang sudah dikembangkan, yaitu Fuzzy Logic, Particle Swarm Optimization, Genetic Algorithm, Artificial Intelligent, Ant Colony, dan lain sebagainya. Untuk metode seperti Fuzzy Logic memiliki kelebihan memiliki keakuratan untuk mendeteksi adanya error sedangkan kelemahannya adalah sulit untuk mencapai konvergensi saat terjadi perubahan iradiasi yang cepat. Selain itu untuk Artificial Neural Network (ANN) memiliki kelebihan efektif untuk semua tipe kondisi iradiasi dan hasil yang diberikan akurat, sedangkan kelemahannya adalah membutuhkan waktu komputasi yang tinggi. Kelebihan PSO yaitu efektif digunakan untuk sistem nonlinier, sedangkan kelemahannya adalah sulit melakukan perhitungan pada jumlah populasi yang besar, sehingga membutuhkan waktu yang lebih lama (Nabipour, et al., 2017). Dari kelemahan-kelemahan tersebut, maka dirancang algoritma ant colony dengan hasil efisiensi yang lebih baik dalam menentukan nilai MPP dalam kondisi partial shading, memerlukan jumlah iterasi yang lebih sedikit dan konvergensi lebih cepat dibandingkan fuzzy logic, ANN, dan PSO (Jiang, et al., 2012). Namun, dari algoritma ant colony ini masih terdapat kelemahan yaitu memerlukan waktu yang lama dalam perhitungan persamaan

pheromone update. Feromon ini sendiri mencerminkan informasi yang relevan untuk menentukan fungsi objektif (Titri, et al., 2017). Sehingga dalam penelitian ini dirancang metode kontrol MPPT berbasis Ant Colony Optimization dengan New Pheromone Update pada passive two axis solar tracker yang diharapkan dapat meningkatkan performansi sistem PV.

### 1.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan dalam penelitian ini sebagai berikut:

- a. Bagaimana menentukan parameter pada MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) system?
- b. Bagaimana menentukan parameter ACO (Ant Colony Optimization)?
- c. Bagaimana mendapatkan peningkatan perfomansi PV berbasis MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) dan ACO (*Ant Colony Optimization*)?

### 1.3 Tujuan

Dari latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan dalam penelitian ini sebagai berikut:

- a. Merancang MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) pada passive solar tracker menggunakan ACO (*Ant Colony Optimization*).
- b. Mendapatkan peningkatan performa dari kombinasi solar tracker dan MPPT (Maximum Power Point Tracking).

### 1.4 Batasan Masalah

- a Metode yang digunakan adalah MPPT berbasis Ant Colony Optimization New Pheromone Updating Strategy (ACO\_NPU)
- b Plant yang digunakan Passive Two Axis Solar Tracker
- c Faktor yang mempengaruhi karakteristik panel PV hanya oleh iradiasi matahari, *relative humidity*, dan suhu panel PV

- d Lokasi uji pada lingkungan ITS dengan kondisi cuaca yang cerah dan tidak berawan
- e Jenis PV yang digunakan memiliki kapasitas 250 Wp
- f Dalam pembahasan, digunakan perbandingan dengan metode kontrol konvensional yaitu Perturb and Observe (P&O)

### 1.5 Sistematika Laporan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir adalah sebagai berikut:

- a. BAB I PENDAHULUAN Pada bab I ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, dan sistematika laporan.
- b. BAB II TEORI PENUNJANG

Pada bab II ini dibahas mengenai teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan, seperti teori sistem servo motor DC, pemodelan kecepatan motor DC,kontrol *feedback* kontrol *robust*, sistem PFTC, dan *observer*.

c. BAB III METODOLOGI PENELITIAN Pada bab III ini berisi mengenai rancangan dari penelitian yang dilakukan, metode, dan langkah-langkah dalam penelitian.

### d. BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab IV ini berisi tentang analisis hasil perancangan sistem *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) berbasis *Ant Colony Optimization*.

e. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab V ini diberikan kesimpulan tentang tugas akhir yang telah dilakukan berdasarkan data-data yang diperoleh serta diberikan saran sebagai penunjang maupun pengembangan untuk tugas akhir yang selanjutnya

### BAB II DASAR TEORI

#### 2.1 Photovoltaic

Photovoltaic pertama kali diteliti oleh fisikawan Perancis bernama Edmund Becquerel pada tahun 1839. Becquerel menemukan bahwa tegangan muncul ketika terdapat dua elektroda identik pada larutan berkonduksi lemah yang diterangi cahaya (illuminated) (Hersch & Zweibel, 1982). Photovoltaic effect adalah proses fisik dasar bagaimana sel PV dapat mengubah energi surya menjadi listrik. Cahaya matahari terdiri dari banyak foton atau partikel energi surva. Foton ini mengandung bermacam-macam energi dengan panjang gelombang yang berbeda. Ketika foton mengenai sel PV, foton tersebut dapat dipantulkan atau diserap. Namun hanya foton yang diserap yang dapat menghasilkan arus listrik. Ketika foton diserap, energi dari foton ini akan disalurkan ke elektron pada inti. Untuk menghasilkan medan listrik dalam sel PV, digunakan 2 junction (penghubung) dari semikonduktor yang berbeda, vaitu tipe P dan tipe N. Cara paling umum digunakan untuk membuat material silikon tipe N dan P adalah dengan menambahkan element yang memiliki elektron berlebih atau memiliki elektron yang kurang, yang sering disebut dengan proses doping. Proses doping sendiri adalah sebuah proses yang bertujuan untuk menambah ketidakmurnian suatu semikonduktor yang sangat murni untuk mengubah sifat listriknya. Silikon adalah material umum yang digunakan dalam PV. Unsur yang digunakan sebagai doping memiliki tiga atau lima elektron velensi. Biasanya digunakan fosfor untuk membuat semikonduktor tipe N (fosfor memiliki lima elektron valensi) atau boron untuk membuat semikonduktor tipe P (boron memiliki tiga elektron valensi).

Pada gambar 2.1, konvigurasi rangkaian PV terdiri atas sumber arus  $I_{ph}$ , dua dioda (d<sub>1</sub> dan d<sub>2</sub>), dan dua hambatan ( $R_p$  dan  $R_s$ ). Dimana  $I_{ph}$  adalah arus PV, Id<sub>1</sub> dan Id<sub>2</sub> adalah arus balik jenuh. Model dengan dua dioda digunakan untuk memodelkan karakteristik dari modul PV, dikarenakan model ini diketahui mempunyai tingkat akurasi yang tinggi pada iradiasi yang rendah

dimana memungkinkan untuk mendapatkan prediksi yang lebih akurat dari performansi sistem PV pada *partial shading condition* (PS). Konfigurasi dari rangkaian PV dengan dua dioda dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini



Gambar 2. 1 Rangkaian Ekivalensi Sel PV Dengan Dua Dioda (*Titri, et al., 2017*)

Berdasarkan gambar 2.1 diatas, apabila diselesaikan menggunakan Hukum Kirchoff maka akan menghasilkan arus *output* PV seperti berikut (Titri, et al., 2017):

$$I = I_{ph} - I_{d1} e^{\frac{q(V+I,R_s)}{n_2 kT}} - 1 - I_{d2} e^{\frac{q(V+I,R_s)}{n_2 kT}} - 1 - \frac{V + IR_s}{R_p}$$
(2.1)

Persamaan 2.1 diatas, dapat digunakan sebagai dasar dalam memodelkan modul PV. Parameter yang mempengaruhi hasil *output* dari modul PV adalah iradiasi dan suhu, sehingga perubahan dari kedua parameter tersebut sangat berpengaruh pada hasil *output* modul PV. Gambar 2.2 menunjukkan karakteristik PV akibat adanya variasi iradiasi dan suhu.



Gambar 2. 2 (a) Kurva P-V dengan variasi iradiasi, (b) kurva P-V dengan variasi suhue (*Titri, et al., 2017*) (*Adapted*)

Dari gambar 2.2, terlihat adanya pengaruh dari perubahan iradiasi dan suhu terhadap tegangan dan daya yang dihasilkan. Apabila nilai iradiasi bertambah besar maka akan menghasilkan arus besar sehingga daya *output* menjadi besar dan begitu pula sebaliknya. Sedangkan untuk variasi suhu, apabila suhu semakin tinggi maka tegangan yang dihasilkan akan semakin kecil sehingga daya yang dihasilkan juga kecil, begitu pula untuk sebaliknya.

#### 2.2 Solar Tracker

Sistem penjejak (tracking) merupakan sistem mekatronik, vaitu sistem yang terdiri dari mekanik, elektronik, dan teknologi informasi, dimana ketiga komponen tersebut sangat berkaitan. Sistem penjejak matahari berarti sistem ini dapat menjejak (mengikuti) arah matahari. Penggunaan solar tracker ini dapat meningkatkan performansi dari modul PV tetap, karena solar tracker akan mengikuti arah matahari sehingga iradiasi yang ditangkap oleh PV lebih maksimal dibandingkan dengan PV tetap yang tidak dapat bergerak. Terdapat banyak jenis solar tracker vang telah digunakan bergantung dengan kebutuhan pengguna, seperti berdasarkan sumbu, berdasarkan metode power supply tracking, dan cara pengendalian. Apabila dibedakan berdasarkan sumbu, maka solar tracker terbagi atas sumbu tunggal dan sumbu ganda (single and dual axis). Sistem solar tracker sumbu tunggal (Gambar 2.3 a-c), mengikuti arah lintasan matahari dengan satu sumbu, dimana pada umumnya adalah arah timur-barat, sedangkan sumbu kedua tetap. Untuk sistem penjejak ganda, mengikuti lintasan matahari pada dua sumbu yaitu timur-barat (yaw) dan utara-selatan (pitch). Terdapat dua macam penjejak dua sumbu, seperti polar-altitude dual-axis (Gambar 2.3 d) dan azimuthaltitude dual-axis tracking system (Gambar 2.3 e) (Seme, et al., 2017).

Dari penelitian yang sudah pernah dilakukan menunjukkan bahwa pemasangan *solar tracker* dengan sumbu ganda dapat meningkatkan energi produksi lebih dari 30% dalam satu tahun apabila dibandingkan dengan PV *fixed* dengan ukuran yang sama. (Abdallah & Nijmeh, 2004). Pada umumnya desain penjejak dua sumbu disebut pula sebagai *mast tracker* (penjejak tiang kapal), dimana membutuhkan pondasi yang kuat dalam pemasangannya. Tinggi dari *mast tracker* sedikitnya adalah setengah dari tinggi panel diatas tanah sehingga penjejak dapat berorientasi terhadap matahari dengan sudut elevasi yang rendah (Barker, et al., 2013).



Gambar 2. 3 Tracking system: a) Horizontal single-axis tracker (HSAT), b) Vertikal single-axis tracker (VSAT), c) Tilted single-axis tracker (TSAT), d) Polar-atitude dual-axis tracker (PADAT), e) Azimuth-atitude dualaxis tracker (AADAT) (Seme, et al., 2017) (adapted)

Berdasarkan metode dari *power supply tracking*, sistem PV dibagi menjadi aktif dan pasif sistem. Sistem pasif tidak memerlukan *power supply* eksternal, sedangkan sistem aktif membutuhkan baterai atau modul PV untuk mesin penggeraknya. Berdasarkan hasil studi mengenai efisiensi penggunaan dari sistem pasif dan aktif, menunjukkan bahwa sistem aktif memiliki efisiensi yang lebih baik daripada sistem pasif (Seme, et al., 2017).

Untuk mengendalikan sistem *solar tracker*, dapat digunakan sistem loop terbuka atau loop tertutup. Sistem loop tertutup (*active solar tracker*) menggunakan sensor cahaya dimana untuk menentukan posisi modul. Sensor cahaya ini mengirim sinyal ke *electric drive* apabila ada perubahan posisi. Karena perubahan iklim, sistem tersebut dapat mengonsumsi energi lebih banyak dari energi yang dihasilkan oleh PV. Sistem kedua adalah loop terbuka (*passive solar tracker*), dimana berdasarkan algoritma matematika untuk menentukan posisi sistem penjejak.

Berdasarkan teori dari ilmu astronomi, posisi matahari dapat diidentifikasi menggunakan perhitungan sudut azimuth dan altitude pada setiap waktunya, sehingga nilainya akan selalu berubah tergantung pada jam dan letak geografis penempatan panel PV. sudut azimuth dan altitude dapat dihitung menggunakan persamaan (2.2) - (2.4) dibawah ini (Abadi, et al., 2015):

$$\theta_z = \cos^{-1}(\sin\delta\sin\varphi + \cos\delta\cos\omega\cos\varphi) \tag{2.2}$$

$$\alpha = 90 - \theta_z \tag{2.3}$$

$$\gamma = \cos^{-1} \left( \frac{\cos \delta \cos \omega \sin \varphi}{\sin \theta_z} - \frac{\sin \delta \cos \varphi}{\sin \theta_z} \right)$$
(2.4)

Untuk sudut deklanasi dapat dihitung menggunakan persamaan (2.5) berikut ini:

$$\delta = 23,45sin\left(360\frac{284+n}{365}\right) \tag{2.5}$$

Sedangkan untuk sudut datang ( $\theta_i$ ), sudut pitch ( $\beta$ ), dan sudut yaw ( $\gamma_s$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan (2.6) - (2.8) berikut ini

$$\theta_i = \cos^{-1}(\cos\theta_z \cos\beta + \sin\theta_z \sin\beta(\gamma_s - \gamma)) \tag{2.6}$$

$$\gamma_s = \sigma_{ew} \sigma_{ns} \gamma_{so} + \left(\frac{1 - \sigma_{ew} \sigma_{ns}}{2}\right) \sigma_w 180^\circ \tag{2.7}$$

Dimana:

$$\gamma_{so} = \sin^{-1} \left( \frac{\sin\omega \cos\delta}{\sin\theta_z} \right) \tag{2.8}$$

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

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

 $\sigma_w = 1 \ if \ \omega \geq 0$ 

-1 otherwise

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

### 2.3 Maximum Power Point Tracking (MPPT) berbasis Ant Colony Optimization (ACO)

Karakteristik kurva arus-tegangan (I-V) dan daya-tegangan (P-V) adalah kurva non-linear, dan perubahan dari kedua kurva tersebut bergantung pada iradiasi dan suhu yang ditangkap oleh PV. Dari kurva I-V dan P-V terdapat titik yang disebut MPP (Maximum Power Point) yaitu titik dimana PV menghasilkan efisiensi dan output yang paling tinggi. Lokasi dari MPP ini tidak diketahui, namun dapat ditentukan dengan menggunakan algoritma MPPT (Maximum Power Point Tracker). MPPT (Maximum Power Point Tracker) adalah konverter daya mode saklar yang digunakan sebagai interface antara generator PV dan beban. Gambar 2.4 merupakan desain MPPT yang terdiri dari dua bagian, yaitu hardware (DC-DC converter) dan software (algoritma MPPT). itu juga terdapat kontroler MPPT Selain yang dapat mempertahankan output PV pada titik maksimumnya pada iradiasi dan suhu yang berbeda. Input dari kontroler berupa arus dan suhu dari PV sedangkan outputnya adalah duty cycle. Duty cycle ini akan masuk ke konverter dan menghasilkan tegangan output.



Gambar 2. 4 Blok Diagram MPPT

Kontroler MPPT digunakan untuk mempertahankan titik operasi PV pada titik MPP (*Maximum Power Point*) dengan suhu dan iradiasi matahari yang berbeda. MPPT dapat
diimplementasikan menggunakan metode konvensional (CM) dan soft computing method (SCM). Contoh kontroler MPPT metode konvensional adalah Perturb and Observe. Icremental Conductance, dan Hill Climbing. Sedangkan contoh dari SCM adalah Fuzzy, Artificial Neural Network (ANN), genetic algorithm, Adaptative Neuro Fuzzy Interfere System (ANFIS), Particle Swarm Optimization (PSO), Ant Colony Optimization (ACO), dan lain sebagainya. Metode CM tersebut sederhana, mudah diaplikasikan, mampu menjejak MPP secara efisien dalam kondisi normal. Sehingga apabila tidak dalam kondisi normal, dapat menghasilkan loss. Oleh karena itu digunakan metode SCM yang dapat digunakan dalam kondisi yang tidak stabil (Titri, et al., 2017).

Salah satu metode SCM adalah metode optimisasi ant colony. Optimisasi ant colony adalah algoritma probabilistic untuk menemukan jalur optimal berdasarkan perilaku semut dalam mencari makanan. Semut bergerak secara acak sepanjang garis dan menjelajahi area untuk mencari makanan. Ketika mereka memindahkan makanan ke sarang, mereka meninggalkan jejak feromon di sepanjang jalan yang dilewati. Selama proses perpindahan, jumlah feromon meningkat berdasarkan kuantitas makanan, sehingga semakin banyak semut yang melewati jalur ini feromonya akan meningkat. Feromon ini memotivasi semut yang lain untuk mengikuti jalur dan menuju ke sumber makanan dengan memilih jalur terpendek. Ant colony optimization pertama kali dikenalkan oleh Dorigo pada awal tahun 1990-an. Dan berhasil diaplikasikan pada berbagai algoritma optimasi lain sebagai kombinasi. Dalam beberapa tahun belakang, teknik ini dikembangkan untuk optimisasi kontinyu. Algoritma optimisasi kontinyu yang paling sering digunakan adalah metode ACO<sub>R</sub> yang dikenalkan oleh Socha dan Dorigo dimana metode ini berbasis pada proses Gram Shmidt.

Algoritma ACO pada optimisasi kombinasi menggunakan pemodelan feromon untuk membangun solusi secara probabilistic, sedangkan  $ACO_R$  menggunakan arsip solusi untuk mendeskripsikan distribusi feromon pada area pencarian. Arsip

solusi menyimpan angka yang terbatas dari semua solusi yang didapat untuk digunakan sebagai referensi pembuatan solusi baru. Berikut persamaan yang digunakan pada ACO<sub>R</sub> (Titri, et al., 2017):

$$G_{i}(x) = \sum_{l=1}^{K} w_{i} g_{l}^{i}(x) = \sum_{l=1}^{i} w_{l} \frac{1}{\sigma_{l}^{i} \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\left(x - \mu_{l}^{i}\right)^{2}}{2\sigma_{l}^{i^{2}}}\right)$$
(2.9)

Dimana:

G<sub>i</sub>(x) adalah Gaussian Kernel untuk dimensi ke-l dari solusi:

 $g_l^i(\mathbf{x})$  adalah sub-Gaussian ke-l untuk dimensi ke-l dari solusi:

 $\mu_l^i(\mathbf{x})$  dan  $2\sigma_l^i(\mathbf{x})$  adalah nilai rata-rata dimensional dan deviasi standar untuk solusi ke-l.

Persamaan feromon  $\tau_{li}$  adalah sebagai berikut:

$$\tau_{li}(x) = \frac{1}{\sigma_l^{i^2} \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - \pi_l^{i})^2}{2\sigma_l^{i^2}}\right)$$
(2.10)

Persamaan dari feromon mencerminkan informasi yang paling sesuai untuk konstruksi solusi dari fungsi objektif. Berdasarkan penelitian sebelumnya model  $ACO_R$  membutuhkan waktu komputasi (perhitungan) yang cepat namun dapat terjebak dalam konvergensi local optimum apabila nilai pada arsip saling mendekati satu sama lain (Hiu, et al., 2010).

Gambar 2.5 menunjukkan *flowchart* dari  $ACO_R$ . Tahapan yang digunakan dalam algoritma ini adalah sebagai berikut:

#### a. Inisialisasi

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

$$x_i^{(j)} = l_i + \frac{u_i - l_i}{m + \nu} \left( j - 1 + rand_i^{(j)} \right)$$
(2.11)

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



Gambar 2. 5 Flow Chart ACO<sub>R</sub> dengan Fungsi Kontinyu (Hu, et al., 2010)

## b. Dynamic Exploitation Process

Tujuan dari proses ini adalah untuk menentukan radius semut berjalan pada variabel terpilih di proses inisialisasi. Setiap variabel yang terpilih akan diperbaharui nilainya. Nilai variabel yang terpilih secara random dapat ditingkatkan, dibuat tetap, atau diturunkan dengan persamaan (2.12). Setelah mendapatkan nilai variabel baru, kemudian variabel tersebut akan dibandingkan dengan nilai sebelumnya apakah lebih baik atau buruk. Jika nilai yang didapatkan lebih baik dari nilai sebelum diperbaharui, maka nilai sebelumnya akan digantikan oleh nilai yang sudah diperbaharui.

$$\widehat{x}_{i} = \begin{cases} \min\left(x_{i}^{(0)} + r_{i}.\sigma_{i},u_{i}\right), 0 \leq q < 1/3 \\ x_{i}^{(0)}, 1/3 \leq q < 2/3 \\ \max\left(x_{i}^{(0)} - r_{i}.\sigma_{i},l_{i}\right), 2/3 \leq q < 1 \end{cases}$$
(2.12)

Dimana:

 $\begin{array}{l} x_i^{(0)} & : \text{ variabel terpilih setiap (i)} \\ r_i & : \text{ radius setiap (i)} \\ \sigma_i & : \text{ nilai random secara uniform antara [0,1] setiap (i)} \\ q & : \text{ nilai random secara uniform antara [0,1] setiap (i)} \end{array}$ 

## c. Ants' Solution Construction

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

$$l_{i}^{(k)} = \begin{cases} argmax \left\{ \tau_{i}^{(1)}, \tau_{i}^{(2)}, \dots, \tau_{i}^{(m)} \right\}, if \ q < q_{0} \\ L_{i}^{(k)}, \ otherwise \end{cases}$$
(2.13)

Dimana:

q : nilai secara random dengan rentang [0,1]

I : jumlah iterasi, 1,2,3,...,n

- k :jumlah solusi, 1,2,3,...,m
- $q_0$  : parameter kontrol

 $q_0$  adalah parameter yang membuat semut akan memilih variabel dengan feromon yang bedar dari solusi m dari iterasi sebelumnya atau secara random memilih indeks  $L_i^{(k)} \in \{0,1, ..., m + g_i\}$  sesuai dengan persamaan 2.14 berikut ini:



Gambar 2. 6 Ilustrasi Solusi yang Dihasilkan dari Dua Semut

Gambar 2.6 menunjukkan ilustrasi dari dua semut yang menghasilkan solusi. Variabel yang dipilih oleh masing-masing semut membentuk sebuah jalur. Jalur ini terbentuk berdasarkan feromon yang ditinggalkan.

#### d. Pheromone Update

Pada awalnya, setiap variabel memiliki feromon awal  $\tau_0$ . Setelah mengevaluasi solusi m yang dibangun oleh semut, solusi tersebut diurutkan berdasarkan fungsi objektif yang digunakan untuk membentuk urutan mulai dari yang terbaik hingga terburuk. Feromon dari variabel yang dipilih, akan menguap dengan fungsi seperti berikut

$$\tau_i^{(j)} \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_i^{(j)} + \rho \cdot T_{min}$$
 (2.15)

Dimana:

 $\begin{array}{ll} \rho & : \mbox{laju penguapan feromon yang bernilai antara 0 sampai 1} \\ T_{min} & : \mbox{nilai feromon awal} \\ i & : \mbox{iterasi, (1,2,...,n)} \\ j & : \mbox{jumlah semut (1,2,...,m)} \end{array}$ 

Nilai dari variabel pada  $\psi$  solusi terbaik, mendapatkan penguatan feromon dengan persamaan berikut:

$$\tau_i^{(j)} \leftarrow (1 - \alpha) \cdot \tau_i^{(j)} + \alpha \cdot T_{max}$$
(2.16)

Keterangan:

 $\alpha$  : laju penguatan feromon yang bernilai antara 0 sampai 1  $T_{max}$  : nilai feromon maksimum awal

 $\Psi$ : jumlah solusi terbaik yang mendapatkan penguatan feromon (Hu, et al., 2010)

# 2.4 Konverter DC DC

Konverter DC-DC didesain untuk menyediakan konversi daya yang efisien untuk memberikan catu daya DC yang terkendali, aman dan diatur dengan baik untuk banyak instrument elektronik, piranti, dan sistem. Konverter ini juga berfungsi sebagai *interface* antara panel surya dengan beban dan berperan untuk mengubah nilai *duty cycle* yang diterima.

Duty cycle rasio adalah rasio interval waktu pada sebuah sinyal yang bernilai 1 dengan keseluruhan sinyal dalam satu periode dan dinyatakan dalam persen. Dalam sistem MPPT, *duty* cycle didapatkan dari kontroler yang kemudian akan masuk ke konverter untuk mendapatkan tegangan keluaran solar tracker. Sebelum masuk ke konverter, nilai *duty* cycle diubah menjadi nilai PWM (*Pulse Width Modulation*) oleh MOSFET driver agar dapat diproses oleh konverter. Jenis converter DC-DC ada 3 macam, yaitu *buck converter, boost converter*, dan *buck boost converter*. Berikut adalah penjelasan dari jenis konverter DC-DC:

a Buck Converter (Step Down)

*Buck converter* adalah konverter yang merubah tegangan *input* menjadi tegangan *output* yang lebih kecil. Sehingga tegangan *input* konverter ini akan lebih besar dibandingkan tegangan *output* konverter. Untuk penggambaran lebih jelas, dapat dilihat pada gambar 2.7.

Apabila  $Q_1$  bernilai 1, maka arus akan mengalir dan perlahan kapasitor  $C_1$  akan mengalami proses *charge* oleh inductor  $L_1$ .

Sedangkan bila  $Q_1$  bernilai 0, maka tidak terdapat arus yang mengalir, sehingga energi yang tersimpan pada medan magnet induktor akan menjepit tegangan pada switch, sehingga energi tersebut akan mengalir ke kapasitor dan beban yang membuat tegangan pada beban menurun. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan tegangan *output* konverter dapat ditulis sebagai berikut

$$V_{out} = D. V_{in} \tag{2.16}$$



Gambar 2. 7 Konfigurasi Buck Converter (Steve Roberts, 2015)

b Boost Converter (Step Up)

Boost converter (step up) mengubah daya input menjadi tegangan output yang lebih besar, sehingga dapat disimpulkan bahwa tegangan input lebih kecil daripada tegangan output. Gambar 2.8 berikut adalah gambaran rangkaian boost converter



Gambar 2.8 Rangkaian Boost Converter (Steve Roberts, 2015)

Apabila Q<sub>1</sub> bernilai 1, maka arus mengalir melewati induktor L<sub>1</sub> yang akan meningkat secara linier dengan rasio  $\frac{V_{in}}{L_1}$ . Dalam

periode ini, arus pada beban didapat dari energi yang tersimpan pada  $C_1$ . Ketika  $Q_1$  bernilai 0, energi yang tersimpan pada induktor menyebabkan tegangan *output* tinggi bersuperimposisi dengan tegangan *input*. Untuk mencari tegangan *output* konverter dapat ditulis sebagai berikut

$$V_{out} = \frac{1}{1-D} V_{in}$$
(2.17)

c Buck-Boost Converter

Buck boost converter dapat merubah tegangan *input* menjadi tegangan *output* yang negative yang dapat lebih besar atau lebih kecil dari nilai absolut tegangan *input*. Untuk rangkaian dari *buck* boost converter dapat dilihat dari gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Rangkaian Buck Boost Converter

Apabila Q<sub>1</sub> menutup, arus I<sub>L1</sub> akan meningkat secara proporsional dengan rasio  $\frac{V_{in}}{L_1}$  melalui L<sub>1</sub>. Diode D<sub>1</sub> menghalangi arus manapun menuju beban. Dalam fase ini, arus beban didapat dari *output* kapasitor C<sub>1</sub>. Ketika Q<sub>1</sub> membuka, energi yang tersimpan pada L<sub>1</sub> menyebabkan tegangan bernilai negative. Arus balik mengalir ke beban C<sub>1</sub> dan R<sub>L</sub> melalui D<sub>1</sub>. Arus ini berkurang secara proporsional dengan rasio  $\frac{V_{out}}{L_1}$ . Untuk mendapatkan tegangan *output* dapat ditulis menggunakan rumus berikut

$$V_{out} = \frac{-D}{1-D} V_{in} \tag{2.18}$$

#### 2.5 PWM (Pulse Width Modulation) dan Duty Cycle

PWM (Pulse Width Modulation) adalah sebuah proses memodifikasi pulsa dalam suatu rangkaian pulsa secara langsung menjadi sinyal kontrol on-off. PWM juga dapat digunakan untuk frekuensi yang rendah maupun tinggi. Secara matematika, PWM membangkitkan square wave yang berubah nilainya pada frekuensi tinggi dan rendah (Ainslie-Malik, 2013). Sinyal PWM pada umumnya memiliki amplitudo dan frekuensi dasar yang tetap, namun memiliki lebar pulsa yang bermacam-macam, hal ini dapat dikatakan bahwa PWM memiliki frekuensi gelombang yang tetap namun duty cycle berbeda-beda. Semakin besar tegangannya, maka pulsa yang dihasilkan akan semakin lebar. Pulsa PWM didapatkan dari duty cycle. Duty cycle adalah rasio interval waktu pada sebuah sinval yang bernilai 1 dalam satu periode dan dinyatakan dalam persen. Semakin lama waktu on (pulsa bernilai 1) maka nilai duty cycle akan semakin besar, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.11 berikut ini:



Gambar 2. 10 Contoh nilai duty cycle pada sinyal PWM

Pada gambar 2.12 merupakan contoh perhitungan untuk mendapatkan *duty cycle*. Sinyal PWM tersebut bernilai +12 V selama 40µs dan bernilai 0 V selama 10 µs. Persamaan untuk mendapatkan duty cycle PWM adalah sebagai berikut:

$$Duty \ cycle = \frac{Pulse \ Width}{Period} x100\%$$
(2.19)

Keterangan:

Pulse width Period

: lebar pulsa high: waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan satu gelombang penuh.



Gambar 2. 11 Contoh Perhitungan Duty Cycle

Sehingga berdasarkan gambar 2.12 dapat disimpulkan bahwa duty cycle PWM tersebut sebesar:

$$Duty \ cycle = \frac{40\mu s}{50\mu s} x100\% = 80\%$$

Sedangkan untuk frekuensi PWM gambar 2.11 adalah 20 kHz yang didapatkan dari 1/*period*. Apabila menggunakan MOSFET pada rangkaian konverter, maka frekuensi *switching* (pensaklaran) PWM tidak boleh melebihi frekuensi *switching* MOSFET.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

# 3.1 Diagram Alir

Dalam melaksanakan penelitian tugas akhir ini, dilakukan tahapan-tahapan yang digambarkan dengan bentuk diagram alir seperti gambar 3.1 dibawah ini



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian dimulai dengan menentukan masalah yang akan dibahas dalam penelitian. Selanjutnya melakukan studi literatur yang bertujuan untuk mencari referensi yang digunakan sebagai dasar dalam penyelesaian dan penyusunan tugas akhir ini. Oleh karena itu diperlukan referensi atau literatur yang sesuai agar memudahkan proses penelitian. Pendalaman materi ini digunakan untuk materi PV, sistem konverter DC-DC, *passive two axis solar tracker*, algoritma *ant colony*, dan perancangan MPPT berbasis *ant colony*. Selain itu juga mempelajari jurnal-jurnal penelitian yang terkait dengan sistem MPPT berbasis *ant colony*.

Tahap selanjutnya yaitu dilakukan pengambilan data sekunder berupa spesifikasi sistem yang digunakan, yaitu PV dan DC-DC konverter. Untuk spesifikasi PV berupa tegangan maksimum ( $V_{mpp}$ ), arus maksimum ( $I_{mpp}$ ), daya maksimum ( $P_{mpp}$ ), *open circuit voltage* ( $V_{oc}$ ), dan *short circuit current* ( $I_{sc}$ ) pada kondisi tes standar (*Standar Test Condition*). Data sekunder ini akan digunakan sebagai dasar validasi pemodelan PV. DC-DC konverter yang digunakan adalah tipe *buck boost*. Spesifikasi yang dibutuhkan adalah tegangan *input* ( $V_{in}$ ), tegangan *output* ( $V_{out}$ ), arus *output* ( $I_s$ ), frekuensi *switching* (pensaklaran), nilai kapasitor, nilai resistor, dan nilai induktor.

Setelah mengetahui spesifikasi sistem, dilakukan pemodelan PV dan juga konverter yang digunakan. Pemodelan ini menggunakan bantuan perangkat lunak Simulink MATLAB 2015a.

Pengambilan data iradiasi, suhu panel, *relative humidity*, arus dan tegangan *output* PV dilakukan mulai pukul 06.00 WIB sampai 17.00 WIB setiap 30 menit sekali. Pengambilan data dilakukan dalam satu hari dengan kondisi cuaca yang cerah dan panel PV tidak terhalang apapun. Pengambilan data ini dilakukan masing – masing sebanyak tiga kali agar mendapatkan hasil pengukuran yang maksimal. Pengambilan data dilakukan mulai dari Departemen Teknik Fisika sampai Jembatan Merah, dan kembali lagi ke Departemen Teknik Fisika.

Tahap selanjutnya yaitu merancang kontroler menggunakan metode *ant colony optimization*. Setelah itu, dilakukan integrasi kontrol dengan pemodelan PV dan konverter yang telah dibuat. Tahap terahir adalah melihat respon yang dihasilkan sistem untuk mengetahui performansi dari sistem yang telah dirancang. Setelah performansi yang didapatkan sudah sesuai, maka akan dilakukan analisa dan dibuat dalam bentuk laporan. Apabila respon yang dihasilkan belum sesuai, maka dilakukan pemodelan ulang kontroler sampai menemukan hasil yang diinginkan. Pada gambar 3.2 dibawah ini menggambarkan diagram blok MPPT secara garis besar



Gambar 3. 2 Diagram Blok MPPT Secara Garis Besar

# 3.2 Pemodelan PV dan konverter DC-DC

Pemodelan PV dan konverter DC-DC dilakukan menggunakan perangkat lunak Simulink MATLAB 2015a. Berikut merupakan pemodelan dari PV dan konverter yang digunakan:

# 3.2.1 Panel PV

Panel PV dimodelkan berdasarkan dengan rangkaian ekivalensi dari rangkaian PV, yang terdiri dari 4 komponen yaitu sumber cahaya, diode, resistor *shunt*, dan resistansi internal PV ( $R_{pv}$ ). untuk rangkaian ekivalensi PV dapat dilihat pada gambar 3.3 berikut ini



Gambar 3. 3 Rangkaian Ekivalensi PV

Dari rangkaian ekivalensi diatas, persamaannya dapat diselesaikan menggunakan hukum Kirchoff seperti yang tertera di bawah ini:

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \tag{3.1}$$

Pada keadaan idealnya, nilai  $I_{sh}\!\!=\!\!0$  dikarenakan oleh  $R_{sh}\!\!\approx\infty$  sehingga persamaan 3.1 menjadi,

$$I = I_{ph} - I_d = I_{ph} - I_o \left[ exp\left(\frac{V + IR_{pv}}{V_T}\right) - 1 \right]$$
(3.2)

Dimana pada I dan V diatas, dapat digantikan dengan fungsi iradiasi dan suhu sebagaimana tertera pada persamaan berikut ini

$$I = \left[ \left( \frac{S}{S_{ref}} \right) \left( \mu \left( T - T_{ref} \right) + 1 \right) - I_{sc} \right] + I_n$$
(3.3)

$$V = V_n - \Phi \left( T - T_{ref} \right) - R_{pv} (I - I_n)$$
(3.4)

 $S_{ref}$  dan  $T_{ref}$ adalah nilai iradiasi dan suhu pada keadaan STC yaitu 1000 W/m² dan 25°C, sedangkan parameter lainnya seperti  $I_{sc}$ ,  $I_{mp}$ ,  $V_{oc}$ ,  $V_{mp}$ ,  $\mu$ ,  $\Phi$ ,  $W_p$  ditampilkan pada tabel 3.3. dan untuk  $R_{pv}$  dapat diketahui nilainya menggunakan persamaan (3.5) dan (3.6) berikut ini

$$\Phi_{ref} = \frac{2V_{mp} - V_{oc}}{\frac{I_{sc}}{I_{sc} - I_{mp}} + \ln\left(1 - \frac{I_{mp}}{I_{sc}}\right)}$$
(3.5)

$$R_{pv} = \frac{\Phi_{ref} \ln\left(1 - \frac{l_{mp}}{l_{sc}}\right) + V_{oc} - V_{mp}}{l_{mp}}$$
(3.6)

Parameter Panel Surya	Nilai Parameter
Short Circuit Current (Isc)	9 A
Open Circuit Voltage (Voc)	36.8 V
Maximum Power Current (Imp)	8.34 A
Maximum Power Voltage (Vmp)	30 V
Suhu Coeff. of Short Circuit Current $(\mu)$	0.00053 A/ºC
Suhu Coeff. of Short Circuit Voltage $(\Phi)$	-0.0036 V/°C
PV Internal Resistance (Rpv)	0.15603 Ohm
Maximum Power (Wp)	250 W

# Tabel 3. 1 Parameter PV



Gambar 3. 4 Pemodelan PV pada Simulink MATLAB 2015a

Parameter	Datasheet	Model
Daya Maksimum ( $P_{Max}$ )	250 W	275,69 W
Arus Maksimum ( $I_{MPP}$ )	8,34 A	9,15 A
Tegangan Maksimum ( $V_{MPP}$ )	30 V	30,13 V

 Tabel 3. 2 Tabel perbandingan pemodelan PV

Tabel 3.4 menunjukkan tabel perbandingan pemodelan PV berdasarkan hasil MATLAB Simulink pada gambar 3.4. Dari hasil yang didapatkan, pemodelan modul PV memiliki hasil yang lebih besar, namun masih mendekati nilai spesifikasi PV pada tabel 3.3. Grafik karakteristik dari pemodelan PV dapat dilihat pada gambar 3.5 berikut ini



Gambar 3. 5 Grafik Karakteristik PV

Gambar 3.5 merupakan grafik karakteristik PV terhadap iradiasi dan suhu pada kondisi STC (1000 W/m<sup>2</sup>, 25°C). dari hasil grafik tersebut dapat diketahui titik maksimum dari PV yang telah dimodelkan. Selain tabel 3.4 diatas, pada gambar 3.6 dan 3.7 juga didapatkan grafik perbandingan antara PV hasil pemodelan dan juga hasil percobaan yang telah dilakukan.

Pada gambar 3.6 dan 3.7 menunjukkan perbandingan tegangan dan daya simulasi dengan percobaan. Sumbu x dari kedua gambar tersebut menunjukkan waktu pengambilan data setiap

setengah jam. Terlihat pada gambar 3.6, hasil tegangan simulasi mendekati hasil percobaan yang telah dilakukan. Sedangkan untuk gambar 3.7, daya simulasi pukul 10.00 WIB sampai 14:30 WIB lebih tinggi dibandingkan dengan data aktual. Hal ini dikarenakan dalam simulasi ini tidak dicantumkan pengaruh eksternal lain seperti Rh dan kecepatan angin. Data percobaan yang digunakan, didapatkan dari hasil pengukuran PV fixed yang dilakukan di lantai 3 Gedung Pasca Sarjana Jurusan Teknik Fisika pada tanggal 17 April 2018 yang ditampilkan pada sub bab 3.4



Gambar 3. 6 Grafik Perbandingan Tegangan Simulasi Dan Percobaan



Gambar 3.7 Grafik Perbandingan Daya Simulasi Dan Percobaan

Selain melakukan simulasi hasil pemodelan PV pada kondisi STC, dilakukan pula simulasi menggunakan data pengukuran selama 12 jam. Parameter yang mempengaruhi *output* PV adalah iradiasi, suhu, dan Rh. Rh adalah satuan pengukuran yang merepresentasikan rasio jumlah uap air diudara pada suhu tertentu dengan jumlah uap air maksimal yang dapat ditampung oleh udara tersebut dalam tekanan dan suhue yang sama. Rh akan mempengaruhi parameter suhu pada PV. sehingga pemodelan untuk parameter suhu menjadi:  $T_{module} = w_1.T_{ambient} + w_2.Iradiasi + w_5.Humidity + const$ (3.7)

Keterangan:

T <sub>in</sub>	= Suhu yang masuk PV, °C
T <sub>modul</sub>	= Suhu pada modul PV, °C
Const	= konstanta
$W_1, W_2, W_5$	= koefisien input parameter.

Berikut adalah nilai koefisien input yang digunakan:

w<sub>1</sub> = 0,935

 $w_2 = 0.03 \text{ °C/Wm}^2$ 

 $w_5 = 0.09 \text{ °C/Rh\%}$  (Tamizh Mani, et al., 2003)

Hasil pemodelan PV menggunakan tiga parameter input, dicantumkan sub bab 3.5

# 3.2.2 Pemodelan Solar tracker

Setelah memodelkan PV, dimodelkan pula sistem penjejak matahari (*solar tracker*). Dalam memodelkan sistem penjejak matahari ini diperlukan pemodelan posisi matahari, motor DC, dam sistem PV itu sendiri. Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk memodelkan sistem penjejajak matahari:

# a. Sudut altitude ( $\alpha$ ) dan azimuth ( $\beta$ )

Untuk memodelkan sudut *altitude* dan *azimuth* diperlukan data lintang dan bujur tempat pengambilan data berikut juga waktu pengambilan datanya. Untuk mengetahui lintang dan bujur pada setiap tempat, digunakan aplikasi *sun calc org* 

$$\omega = \lambda + \varphi \tag{3.8}$$

$$\lambda = -\frac{12 - UTC}{24} 360 \tag{3.9}$$

$$\delta = 23,45sin\left(360\frac{284+n}{365}\right) \tag{3.10}$$

$$\theta_z = \cos^{-1}(\sin\delta\sin\varphi + \cos\delta\cos\omega\cos\varphi)$$
 (3.11)

$$\alpha = 90 - \theta_z \tag{3.12}$$

Sedangkan untuk sudut *azimuth* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini

$$\beta = \mu_{ew}.\mu_{ns}.\beta_{so} + \frac{1 - \mu_{ew}\mu_{ns}}{2}.\mu_{w}$$
(3.13)

$$\beta_{so} = \sin^{-1} \left( \frac{\sin\omega \cos\delta}{\sin\theta_z} \right) \tag{3.14}$$

Dimana:

$$\mu_{ew} = 1 if |\omega| < \omega_{ew}$$
  
-1 otherwise

$$\mu_{ns} = 1 \text{ if } \varphi(\varphi - \delta) \ge 0$$
  
-1 otherwise

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

### **b.** Motor DC

Setelah menghitung sudut azimuth dan altitude, dilanjutkan dengan memodelkan sistem motor DC sebagai berikut:



Gambar 3.8 Rangkaian Motor DC

Berdasarkan rangkaian pada gambar 3.8, dapat dimodelkan menggunakan prinsip hukum Kirchoff seperti di bawah ini

$$V(t) = R_a I_a(t) + L_a \frac{di(t)}{dt} + Eb(t)$$
(3.15)

V adalah tegangan pada motor DC yang menyebabkan adanya tegangan balik (emf) apabila motor bergerak. Besar tegangan balik dapat dirumuskan seperti berikut

$$Eb(t) = K_b.\,\omega(t) \tag{3.16}$$

Selain tegangan, motor DC juga menghasilkan torsi yang didapatkan berdasarkan Hukum Newton II seperti berikut

$$Tm(t) = Jm.\frac{d\omega(t)}{dt} + Bm.\,\omega(t)$$
(3.17)

$$T(t) = Kt.Ia(t) \tag{3.18}$$

Dari persamaan (3.15) sampai (3.18) digunakan sebagai dasar untuk menentukan fungsi transfer motor DC dengan hasil seperti di bawah ini

$$V(t) = R_a I_a(t) + L_a \frac{di(t)}{dt} + Kb.\,\omega(t)$$
(3.19)

$$Kt. Ia(t) = Jm. \frac{d\omega(t)}{dt} + Bm. \omega(t)$$
(3.20)

Apabila diubah dalam bentuk transformasi laplace, persamaan (3.19) dan (3.20) menjadi

$$V(s) = R_a I_a(s) + L_a I_a(s)S + Kb.\,\omega(s)$$
(3.21)

$$I_a = \frac{V_a(s) - Kb.\omega(s)}{(R_a + L_a S)} \tag{3.22}$$

$$I_{a} = V_{a}(s) - Kb.\,\omega(s).\frac{1}{(R_{a} + L_{a}s)}$$
(3.23)

$$Kt. Ia(s) = Jm. \omega(s)S + Bm. \omega(s)$$
(3.24)

$$\omega(s) = \frac{K_t I_a}{J_m s + B_m} \tag{3.25}$$

$$\omega(s) = K_t \cdot I_a \cdot \frac{1}{J_m s + B_m} \tag{3.26}$$

Hubungan *shaft* rotor dan penggunan tegangan armatur ditunjukkan oleh persamaan berikut

$$\frac{\omega(s)}{V(s)} = \frac{Kt}{[L_a.Jm.S^2 + (Ra.Jm + La.Bm)S + (Ra.Bm + Kb.Kt)]}$$
(3.27)

Hubungan antara posisi dan kecepatan yaitu

$$\theta(s) = \frac{1}{s}\omega(s) \tag{3.28}$$

Sehingga didapatkan fungsi transfer antara posisi *shaft* dan tegangan armature saat terdapat beban

$$\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{Kt}{[L_a.Jm.S^2 + (Ra.Jm + La.Bm)S + (Ra.Bm + Kb.Kt)]}$$
(3.29)

Persamaan pada sub bab 3.3.2 digunakan sebagai acuan dalam membuat simulasi pada *software* Simulink MATLAB. Hasil pemodelan yang telah dibuat dicantumkan pada lampiran B.

# 3.2.3 Pemodelan Konverter DC - DC

Dalam memodelkan konverter, perlu dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai parameter-parameter yang digunakan. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{D}{1-D} \tag{3.30}$$

$$R = \frac{V_o}{I_o} \tag{3.31}$$

$$L_{min} = \frac{(1-D)^2}{2f}R$$
 (3.32)

$$C = V_o D / R \Delta V_o f \tag{3.33}$$

Keterangan:

Vo	: Tegangan <i>output</i> , V
$V_{in}$	: Tegangan <i>input</i> , V
D	: duty cycle
R	: Hambatan, ohm
f	: Frekuensi pensaklaran, Hz
	-

Parameter yang digunakan dalam memodelkan konverter berdasarkan persamaan (3.30) - (3.33) dapat dilihat pada tabel 3.5, sedangkan hasil pemodelan ditampilkan pada gambar 3.9

Parameter	Nilai
Tegangan Input (V <sub>in</sub> )	28-29 V
Tegangan Output (Vout)	28 V
Arus <i>Output</i> ( <i>I</i> <sub>out</sub> )	7-8 A
Frekuensi Pensaklaran	30 kHz
Induktor	20 µH
Kapasitor	2 mF
Beban Resistif	3.6 Ohm
ΔVο	0,03 V

Tabel 3. 3 Parameter konverter buck boost



Gambar 3.9 Pemodelan Konverter Buck Boost

# 3.3 Pengambilan Data Primer

Pengambilan data primer dilakukan pada tanggal 17 April 2017 di lantai 3 gedung S2 Teknik Fisika ITS mulai pukul 06.00-17.00 dan hasilnya ditampilkan pada tabel 3.6. Data yang didapatkan ini digunakan untuk validasi mode PV yang telah dibuat

Pukul (WIB)	Iradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Suhu (°C)	Rh (%)
6:00	31,51	26,87	76,93
6:30	59,37	27,67	75,42
7:00	194,93	31,86	55,51
7:30	343,75	50,67	55,50
8:00	419,51	41,21	47,93
8:30	263,07	41,53	38,53
9:00	709,93	47,61	23,70
9:30	227,53	41,61	44,27
10:00	923,93	55,04	18,61
10:30	946,45	57,27	41,11
11:00	1000,97	59,13	36,74
11:30	1011,33	61,67	14,23
12:00	990,33	58,27	24,07
12:30	938,93	59,53	21,87

Tabel 3. 4 Data Primer PV Fixed

Pukul (WIB)	Iradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Suhu (°C)	Rh (%)
13:00	912,17	55,87	19,97
13:30	793,77	57,53	28,63
14:00	706,93	58,25	23,73
14:30	518,82	48,29	21,17
15:00	74,14	36,41	44,55
15:30	67,477	33,53	63,36
16:00	56,33	33,81	61,13
16:30	33,877	32,67	63,73
17:00	13,17	30,43	46,73

Tabel 3.4. Lanjutan

Selain data primer PV *fixed*, diukur pula data primer mobile PV dimulai dari Jurusan Teknik Fisika hingga Jembatan Merah dan kembali lagi ke Jurusan Teknik Fisika. Pengambilan data dilakukan pada tanggal 25 April 2018, yang ditampilkan pada tabel 3.7 dan 3.8 berikut ini

Waktu (WIB)	Suhu (°C)	Rh (%)	Iradiasi (W/m²)
6:00	22,42	85,81	56,63
6:30	22,91	83,33	174,58
7:00	24,45	62,42	404,72
7:30	24,21	54,45	364,31
8:00	24,81	46,31	505,66
8:30	28,23	17,03	692,72
9:00	29,24	34,61	705,31
9:30	34,03	29,65	848,15
10:00	35,84	23,14	830,21
10:30	35,83	16,05	909,46
11:00	36,76	21,12	869,64

Tabel 3. 5 Data Primer Mobile Tracker PV

Waktu (WIB)	Suhu (°C)	Rh (%)	Iradiasi (W/m <sup>2</sup> )
11:30	36,84	14,13	923,25
12:00	36,64	16,95	801,56
12:30	36,62	13,63	761,94
13:00	36,56	12,62	752,44
13:30	35,67	16,71	673,96
14:00	35,29	17,36	658,46
14:30	35,07	19,28	591,49
15:00	28,91	31,47	343,78
15:30	28,29	40,28	255,07
16:00	25,26	52,45	79,89
16:30	25,21	54,21	84,34
17:00	24,11	57,30	40,67

Tabel 3.5. Lanjutan

Pada tabel 3.7, nilai iradiasi dan suhu paling besar adalah 923,2 W/m<sup>2</sup> dan 36,84 °C pada pukul 11:30 WIB. Sedangkan nilai Rh paling kecil adalah 14,13% pada pukul 11:30 WIB. Suhu yang digunakan dalam data pada tabel 3.7 adalah suhu lingkungan, sehingga nilai yang dihasilkan tidak terlalu tinggi seperti suhu PV.

Waktu (WIB)	Suhu (°C)	Rh (%)	Iradiasi (W/m <sup>2</sup> )
6:00	22,42	85,29	32,67
6:30	22,91	85,51	60,33
7:00	24,45	68,45	133,51
7:30	24,21	53,61	270,78
8:00	24,81	54,46	404,52
8:30	28,23	38,11	558,21
9:00	29,24	32,96	665,15

Tabel 3. 6 Data Primer Mobile Fixed PV

Waktu (WIB)	Suhu (°C)	Rh (%)	Iradiasi (W/m <sup>2</sup> )
9:30	34,03	33,15	644,16
10:00	35,84	22,72	538,03
10:30	35,83	19,93	898,54
11:00	36,76	22,89	819,45
11:30	36,84	18,34	912,71
12:00	36,64	18,42	799,78
12:30	36,62	32,95	665,07
13:00	36,56	13,63	697,34
13:30	35,67	18,24	617,54
14:00	35,29	27,52	583,21
14:30	35,07	26,02	470,94
15:00	28,91	25,11	274,66
15:30	28,29	38,64	269,56
16:00	25,26	46,08	65,63
16:30	25,21	52,55	50,06
17:00	24,11	56,04	21,77

Tabel 3.6. Lanjutan

Pada tabel 3.8 nilai iradiasi dan suhu yang paling tinggi adalah 912,5 W/m<sup>2</sup> dan 60,2 °C pada pukul 11:30 WIB dan 11:00 WIB sedangkan Rh yang paling kecil adalah 13,6% pada pukul 13:00 WIB. Dokumentasi dari proses pengambilan data primer ini tercantum pada lampiran D

## 3.4 Perancangan Sistem Kontrol Ant Colony Optimization

Ant colony optimization dengan new pheromone update berdasarkan dengan proses memperbaharui nilai feromon pada saat iterasi berjalan. Sehingga semut akan dengan cepat menemukan letak makanannya. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Jiang, dkk., 2012) terletak pada proses *update* feromon. Pada penelitian tersebut tidak menggunakan proses *update* feromon, sehingga kecepatan konvergensinya lebih rendah. Oleh karena itu pada penelitian ini digunakan proses *update* feromon agar mempercepat konvergensi. Untuk proses update feromon, penelitian ini mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh (Titri, dkk, 2017). Flowchart yang digunakan untuk pemodelan kontrol ini dapat dilihat pada gambar 3.10 berikut ini:



Gambar 3. 10 Flowchart Sistem Kontrol Ant Colony Optimization

Perancangan sistem kontrol dengan *ant colony optimization* terdiri dari dua tahap, yaitu:

#### a. Menjejak nilai MPP

Pada tahap ini dimulai dengan inisiasi parameter *ant colony* yang digunakan. Inisialisasi awal ini dengan memilih nilai daya maksimal yang kemudian akan disimpan untuk mengitung nilai feromon awal. Untuk menghitung nilai feromon, digunakan persamaan berikut ini:

$$Di = |V_i - V_{best}| \tag{3.34}$$

Setelah itu menghitung Gaussian  $\varphi_i$  dengan rumus seperti berikut

$$\varphi_i = e^{\frac{-(D^2_i)}{2t}} \tag{3.35}$$

Dimana t adalah deviasi standar dari Gaussian yang biasa digunakan yaitu 0,05. Lalu nilai feromon  $\tau_i$  dapat dihitung dengan:

$$\tau_i = \frac{\varphi_i}{\sum_{j=1}^m \varphi_j} \tag{3.36}$$

Pergerakan semut ditentukan berdasarkan nilai  $\tau_i$  sebelumnya yang dihitung dari masing-masing solusi yang disimpan. Sebelumnya harus ditentukan terlebih dahulu nilai *reference* ( $V_k$  (t - 1)) untuk menentukan kemana semut akan berjalan. Nilai ( $V_k$  (t - 1)) ditentukan menggunakan tegangan maksimal PV pada kondisi STC yaitu 30 V. Untuk menentukan posisi semut dapat dihitung dengan

$$V_i(t) = V_k(t-1) + d_x (3.37)$$

Dimana:

 $V_i$  adalah vector solusi dari semut pada iterasi ke-i

 $V_k(t-1)$  adalah solusi terbaik yang dipilih pada solusi yang telah disimpan

 $d_x$  adalah variabel yang ditentukan secara random pada  $[-\alpha, \alpha]$  untuk menentukan *length of jump*, dalam perancangan ini digunakan nilai  $d_x$  sebesar [-4,4]

Setelah mendapatkan nilai  $V_i(t)$ , dihitung nilai *duty cycle* yang dihasilkan menggunakan persamaan seperti berikut:

$$d_i(t) = 1 - \frac{V_i(t)}{V_{ref}}$$
(3.38)

Keterangan:

 $D_i = Jarak antar solusi$ 

V<sub>i</sub> = Tegangan ke-i

Nilai parameter yang digunakan pada algoritma ini dapat dilihat pada tabel 3.9 berikut ini

Tabel 3. 7 Parameter ant colony optimization

Parameter	Nilai
K (number of archive)	7
Nb_ant (jumlah semut)	7
Nb_iter (jumlah iterasi)	100
p (koefisien penguapan)	0.37
α (jarak semut)	4

b. Memonitor perubahan cuaca

Pada tahap ini bertujuan untuk mengatur daya pada setiap iterasi agar tetap pada titik maksimal dari daya PV, yaitu senilai 250 W. Untuk persamaan yang digunakan adalah:

 $P_k - P_{k-1} \leq \Delta p$ 

(3.39)

Dengan: dihasilkan

P <sub>k</sub>	: Daya maksimal PV (250 W)
$P_{k-1}$	: Daya setiap iterasi yang dihasilkan
Δp	: Perbedaan daya (ditetapkan bernilai 10 W)

Sehingga apabila  $P_k-P_{k-1}$  lebih dari  $\Delta p$ , akan kembali menghitung nilai feromon pada proses inisialisasi dan masuk ke tahapan selanjutnya sesuai dengan *flowchart* pada gambar 3.10. Sistem kontrol akan berhenti bekerja apabila nilai daya sudah memenuhi kriteria atau iterasi yang dilakukan sudah selesai. *Script* untuk algoritma ini dilampirkan pada lampiran C.

# 3.5 Simulasi Perancangan MPPT berbasis Ant Colony Optimization

Kontrol *ant colony optimization* yang dibuat, menggunakan fungsi MATLAB dengan menggunakan input tegangan dan arus dari PV, sedangkan output yang dihasilkan adalah *duty cycle*. Nilai *duty cycle* yang dihasilkan digabungkan dengan konverter *buck boost* yang telah dibuat sehingga menghasilkan tegangan output yang diinginkan. Pada simulasi ini, digunakan perangkat lunak MATLAB 2015a. Untuk simulasi yang dilakukan, dapat dilihat pada gambar 3.11 - 3.14 berikut ini



Gambar 3. 11 Blok Kontrol Berbasis Ant Colony Optimization



Gambar 3. 12 Blok Konverter Buck Boost

Komponen subsystem pada gambar 3.14 ini berasal dari gambar 3.11 sebagai subsystem kontroler, gambar 3.12 sebagai subsystem konverter *buck boost* dan gambar 3.13 sebagai subsystem PV. Sehingga apabila digabung menjadi sebuah sistem akan menjadi seperti gambar 3.14



Gambar 3. 13 Blok PV Dengan Tiga Pengaruh, yaitu Iradiasi, Suhu, dan Rh



Gambar 3. 14 Integrasi MPPT Berbasis Ant Colony Optimization

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

## BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Simulasi MPPT Berbasis Ant Colony Optimization

Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui performansi atau unjuk kerja dari kontroler MPPT berbasis *Ant Colony Optimization* yang telah dirancang sebelumnya pada. Data yang digunakan adalah data primer *mobile* pada sub bab 3.4, kemudian data tersebut dibuat dalam bentuk grafik menggunakan perangkat lunak Matlab 2015a. Simulasi yang dilakukan menggunakan dua sistem PV, yaitu PV *fixed* dan *solar tracker*.

### 4.1.1 Sistem dengan PV fixed

Data iradiasi dan suhu yang digunakan pada simulasi ini adalah data *mobile fixed* pada sub bab 3.4 setelah itu diubah dalam bentuk grafik seperti pada gambar 4.1 dan 4.2 berikut ini



Gambar 4. 1 Grafik Iradiasi PV Fixed Matahari Selama 12 Jam



Gambar 4. 2 Grafik Suhu Lingkungan Selama 12 Jam

Pada gambar 4.1 dan 4.2 untuk sumbu x menyatakan waktu pengambilan data. Sedangkan untuk sumbu y pada gambar 4.1 menunjukkan iradiasi  $(W/m^2)$  dan gambar 4.2 menunjukkan suhu (°C). Untuk hasil simulasi dari sistem ini dapat dilihat pada gambar 4.3 dan 4.4 berikut ini



Gambar 4. 3 Grafik Perbandingan Antara Vpv dan Vout Dengan Metode ACO



Gambar 4. 4 Grafik Perbandingan Antara Ppv, Pout, dan Set Point PV Fixed Dengan Metode ACO

Gambar 4.3 menunjukkan perbandingan tegangan *output* PV dan tegangan *output* konverter. Terlihat bahwa grafik Vout memiliki respon yang mendekati nilai Vpv karena grafik yang dihasilkan berimpit. Hasil grafik yang ditampilkan pada gambar 4.4 menunjukkan perbandingan Ppv dan Pout yang dihasilkan. Ppv ini berasal dari daya *output* PV dan Pout berasal dari daya *output* konverter. Dari gambar 4.4 tersebut *output* yang dihasilkan oleh metode ACO memiliki respon yang berbeda dengan hasil *output* PV *fixed*. Terdapat perbedaan *output* yang cukup signifikan dimulai pada pukul 06:00 WIB sampai pukul 11:00 WIB. Begitu pula pada pukul 12:00 WIB sampai pukul 17:00 WIB. Hal ini dikarenakan fungsi dari MPPT adalah untuk mempertahankan *output* PV pada titik maksimalnya. Namun hasil *output* pada pukul 11:00 WIB sampai 12:00 WIB tidak mencapai titik maksimal PV yaitu 250 W, karena data tegangan dan arus yang masuk kontroler tidak mencapai nilai 250 W. Daya maksimal yang mampu dihasilkan adalah sebesar 237,81 W yaitu pada pukul 11:30 WIB.

#### 4.1.2 Sistem dengan solar tracker

Dalam simulasi ini, digunakan data iradiasi, suhu, dan Rh dari tabel 3.6 pada sub bab 3.4. Hasil yang didapatkan dari simulasi ini dapat dilihat pada gambar 4.5 sampai 4.7 berikut ini



Gambar 4. 5 Grafik Iradiasi Solar Tracker Selama 12 Jam

Gambar 4.5 merupakan profil iradiasi matahari selama 12 jam pengukuran. Suhu lingkungan yang digunakan sama seperti gambar 4.2. Data iradiasi dan suhu diatas digunakan sebagai data *input* sistem *solar tracker*.



Gambar 4. 6 Perbandingan Tegangan Input Dan Output Dari Solar Tracker ACO



Gambar 4. 7 Perbandingan Pin, Pout, dan Set Point Solar Tracker Metode ACO

Sumbu x gambar 4.7 dan 4.8 menunjukkan waktu simulasi yang merupakan representasi dari waktu pengambilan data primer. Dalam simulasi ini, daya *input* yang diterima konverter mencapai nilai maksimal dari PV yaitu 250 W. respon yang dihasilkan menunjukkan bahwa pada detik ke 0,25 sudah menghasilkan daya sebesar 236,74 W lalu terus naik secara perlahan sampai mencapai nilai 250 W pada detik ke 5,25 dan terus bertambah sampai berhenti pada daya sebesar 257,57 W pukul 10:30 WIB. Kemudian, daya yang dihasilkan turun secara perlahan sampai bernilai 236,716 W pada pukul 17:00 WIB. Respon yang dihasilkan lebih banyak mengalami *ripple* daya karena *input* yang digunakan juga memiliki banyak *ripple* apabila dibandingkan dengan hasil *output* PV *fixed* pada gambar 4.3 dan 4.4.

### 4.2 Simulasi MPPT Berbasis Kontrol Konvensional (P&O)

Pada simulasi ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja atau performansi dari MPPT berbasis kontrol konvensional (P&O) yang kemudian akan digunakan sebagai pembanding hasil yang didapatkan pada sub bab 4.1. Data yang digunakan sama dengan data yang digunakan pada sub bab 4.1. Untuk kontrol metode konvensional ini menggunakan *tool* MATLAB *function* seperti pada kontrol MPPT berbasis *Ant Colony Optimization*, untuk *script* yang digunakan akan dilampirkan pada lampiran C. Simulasi ini juga terdiri dari 2 sistem yaitu sistem yang menggunakan PV *fixed* dan *solar tracker*.
#### 4.2.1 Sistem dengan PV fixed

Proses simulasi yang dilakukan sama dengan proses simulasi menggunakan kontroler *Ant Colony Optimization*. Hal yang membedakan hanya terletak pada *script* atau naskah programnya. Hasil yang didapatkan dari simulasi menggunakan metode kontrol konvensional dapat dilihat pada gambar 4.8 dan 4.9



Gambar 4. 8 Grafik Perbandingan Vpv dan Vout PV *Fixed* Dengan Metode P&O



Gambar 4. 9 Grafik perbandingan Ppv, Pout, dan Set Point PV Fixed Dengan Metode P&O

Grafik yang dihasilkan pada gambar 4.8 ini berbeda apabila dibandingkan dengan *input* tegangan yang diberikan. Terdapat perbedaan rata-rata sebesar 2,62 V. Peningkatan tajam daya terjadi pada detik ke 0,25 yaitu sebesar 211,08 W dimana pada detik 0 daya yang dihasilkan sangat kecil sehingga dianggap nol. Setelah itu daya yang dihasilkan perlahan naik sampai pada titik paling maksimalnya yaitu 226,78 W pada pukul 11:30 WIB. Setelah itu,

daya yang dihasilkan menurun secara perlahan sampai pada titik terendahnya yaitu 210,58 W.

#### 4.2.2 Sistem dengan solar tracker

Data yang digunakan untuk simulasi ini sama dengan data pada tabel 3.6 pada sub bab 3.4. Hasil yang didapatkan dari simulasi dapat dilihat pada gambar 4.10 dibawah ini



Gambar 4. 10 Perbandingan Pin, Pout, dan Set Point Solar Tracker Metode P&O

Respon yang dihasilkan dari metode kontrol konvensional ini tidak terlalu stabil. Pada titik maksimalnya masih terjadi sedikit fluktuasi. Hal ini dikarenakan algoritma P&O akan mengalami osilasi tinggi apabila terjadi perubahan iradiasi dan suhu yang cepat. Selain itu, P&O tidak dapat menentukan kapan algoritma tersebut sudah mencapai titik MPP dan akan terus berosilasi disekitar nilai MPP. Daya maksimal yang dapat dihasilkan oleh metode kontrol ini adalah sebesar 249,24 W pada pukul 11:00 WIB. Sedangkan daya terendah yang dapat dihasilkan adalah 219,17 W.

## 4.3 Perbandingan Daya *Output* dan Peningkatan Daya dari MPPT dengan Metode ACO dan P&O

Tujuan dilakukan perbandingan ini adalah untuk mengetahui besar peningkatan daya yang telah dihasilkan dari proses simulasi. Setelah itu dilakukan analisa terhadap hasil yang telah didapatkan. Peningkatan daya dihitung dengan membandingkan daya *output* PV *fixed* dengan *solar tracker* dalam persen. Dalam simulasi ini, hasil *solar tracker* harus lebih besar dibandingkan dengan PV *fixed*, karena iradiasi yang ditangkap *solar tracker* lebih tinggi daripada PV *fixed*.

# 4.3.1 Perbandingan daya *output* dari MPPT dengan Metode ACO dan P&O

Setelah melakukan simulasi MPPT PV *fixed* dan *solar tracker* dengan metode kontrol ACO dan P&O didapatkan hasil *output* tegangan dan daya dari masing-masing konverter, setelah itu kedua nilai tersebut dibandingkan satu sama lain. Tujuan dilakukan perbandingan ini adalah untuk mengetahui unjuk kerja atau performansi dari kedua sistem kontrol tersebut. Hasil perbandingan dari kedua sistem dapat dilihat dari gambar 4.12 dan 4.13 berikut ini



Gambar 4. 11 Grafik Perbandingan Daya *Output* PV *Fixed* Dengan Metode ACO dan P&O



Gambar 4. 12 Grafik Perbandingan Daya *Output Solar Tracker* Dengan Metode ACO dan P&O

Gambar 4.12 dan 4.13 adalah grafik perbandingan daya *output* dari PV *fixed* dan *solar tracker*, dimana daya *output* dengan metode ACO keduanya lebih tinggi dibandingkan dengan metode P&O (Perturb and Observe). berdasarkan penelitian oleh Tarek Selmi bahwa metode P&O memiliki grafik *output* yang tidak stabil sehingga terjadi banyak osilasi. Keadaan ini akan bertambah parah apabila sistem mengalami perubahan kondisi suhu atau iradiasi yang drastis (Selmi, et al., 2014). Hal ini dapat diatasi dengan mengurasi variabel *step size* ( $\Delta$ D). Namun kekurangan dari solusi ini adalah butub waktu yang lebih lama untuk mendapatkan nilai MPP. Selain itu dapat pula dilakukan modifikasi pada algoritma P&O atau menggabungkan dengan metode lainnya (Eltawil & Zhao, 2013).

Metode ACO adalah salah satu metode SCM (Soft Computing Method) dimana metode ini cocok digunakan untuk sistem yang memiliki nonlinearitas fungsi I-V atau P-V. Selain itu juga, sistem ini memiliki kelebihan yaitu lebih handal, fleksibel, dan memiliki toleransi ketidakpresisian yang baik. Dari penelitian yang dilakukan oleh Sabrina Titri, metode ACO\_NPU memiliki kecepatan konvergensi yang baik yaitu 1,2 detik. Selain itu kelebihan dari metode ACO adalah memiliki ketahanan yang tinggi ketika terjadi perubahan iradiasi dan suhu yang cepat. Parameter yang mempengaruhi kerja dari sistem kontrol ACO NPU adalah jumlah semut, batas interval perubahan posisi semut, dan koefisien evaporasi. Jumlah semut yang banyak akan membuat kecepatan konvergensi menurun. Apabila batas interval perubahan posisi semut tinggi, maka akan lebih cepat menemukan nilai MPP namun osilasi yang terjadi semakin banyak, oleh karena itu dibutuhkan tambahan kecepatan evaporasi untuk mengurangi osilasi (Titri, et al., 2017). Dari simulasi yang telah dilakukan, sistem passive two axis solar tracker dengan metode kontrol ACO pada 0,25 detik langsung meningkat tajam dari 0 W menuju 236 W lalu naik secara perlahan dan sampai pada titik set point nya di 5,25 detik. Sedangkan untuk sistem passive two axis solar tracker dengan metode kontrol P&O pada detik 0,25 tegangan output juga meningkat tajam dari 0 W menjadi 220,67 W lalu naik secara perlahan hingga nyaris mendekati set point dengan nilai 249,24 W pada detik ke 10. Jadi dapat disimpulkan bahwa kontrol ACO lebih baik daripada kontrol P&O.

## 4.3.2 Perbandingan Peningkatan Energi Hasil MPPT dengan Metode ACO dan P&O

Setelah didapatkan daya dari sistem PV *fixed* dan *solar tracker* masing-masing metode, kemudian dibandingkan nilai daya tersebut untuk kemudian dianalisa performansi yang dihasilkan. Hasil analisa dapat dilihat pada gambar 4.13 dan 4.14. Data simulasi dalam bentuk tabel dicantumkan pada lampiran A.



Gambar 4. 13 Grafik Perbandingan Energi PV Fixed dan Solar Tracker dengan Metode ACO

Gambar 4.13 merupakan grafik perbandingan energi PV *fixed* dan *solar tracker* dengan metode ACO. Terlihat bahwa energi pada *solar tracker* lebih tinggi apabila dibandingkan dengan energi fixed. Perbedaan energi terbesar adalah sebesar 13,2 % dengan nilai energi *fixed* dan *solar tracker* sebesar 110,59 Wh dan 125,23Wh pada pukul 13:00 WIB. Sedangkan peningkatan energi rata-rata sebesar 11,50%.

Pada gambar 4.14 dibawah ini menunjukkan grafik perbandingan energi yang dihasilkan oleh PV *fixed* dan *solar tracker* dengan metode P&O. Daya *output solar tracker* lebih tinggi daripada daya *output* PV *fixed*. Terlihat bahwa terdapat perbedaan energi diantara keduanya. Perbedaan energi paling besar adalah sebesar 10,35% terhadap PV *fixed* dengan nilai energi PV *fixed* 112,93 Wh dan nilai energi *solar tracker* 124,62 Wh pada pukul 11:00 WIB. Rata-rata perbedaan energi yang dihasilkan keduanya adalah 6,11%. Hal ini berarti, untuk sistem yang telah dibuat, kontrol yang sesuai adalah ACO karena hasil peningkatan energi yang didapatkan kontrol ACO lebih baik dari P&O dan respon yang dihasilkan lebih stabil.



Gambar 4. 14 Grafik Perbandingan Energi PV *Fixed* dan *Solar Tracker* dengan Metode P&O

# 4.4 Uji Indeks Performansi Sistem Kontrol Ant Colony Optimization pada Passive Two Axis Solar Tracker

Tujuan dilakukannya uji ini adalah untuk mengetahui indeks performansi dari kontrol yang telah dibuat. Uji ini dilakukan dengan membuat grafik respon daya terhadap waktu dan dibagi menjadi tiga sesi, yaitu pagi, siang, dan sore. Setelah itu dibandingkan hasil yang didapatkan. Pembagian ini bertujuan untuk mengetahui kontrol yang dirancang dapat bekerja dengan baik atau tidak pada kondisi pagi dan sore dimana iradiasi pada waktu tersebut masih kurang maksimal. Parameter analisis respon yang digunakan adalah *rise time*  $(t_r)$ , *settling time*  $(t_s)$ , *maximum* overshoot  $(M_p)$ , peak time  $(t_p)$ , dan  $e_{ss}$ . Rise time adalah waktu yang dibutuhkan respon untuk menaikkan nilai dari 10% sampai 90% dari nilai titik maksimalnya. Kemudian settling time adalah waktu yang dibutuhkan sampai respon berada pada kondisi stabil, maximum overshoot adalah nilai puncak maksimal pertama yang diukur dari titik set point nya, peak time adalah waktu yang diperlukan untuk mencapai nilai maksimum yang pertama, dan e<sub>ss</sub>

adalah eror yang menunjukkan selisih antara nilai *steady* respon dengan nilai set point (Ogata, 2010).

# 4.4.1 Uji Indeks Performansi Daya Pagi Hari

Uji indeks performansi pagi ini dilakukan menggunakan data pada pukul 06:00 WIB dengan pertimbangan bahwa pada pukul tersebut iradiasi yang terukur belum maksimal yaitu 56,63 W/m<sup>2</sup> sedangkan suhu PV adalah 22,42°C. Gambar 4.16 merupakan grafik hasil uji indeks performansi, sumbu x menyatakan waktu pengujian dalam detik dan sumbu y menyatakan daya yang dihasilkan.



Gambar 4. 15 Grafik Indeks Pertormansi Sistem Pagi Hari

No	Parameter	Nilai
1.	<i>rise time</i> (t <sub>r</sub> )	0,0143 s
2.	<i>settling time</i> (t <sub>s</sub> )	0,0234 s
3.	<i>maximum overshoot</i> (M <sub>p</sub> )	0,3627 %
4.	<i>peak time</i> (t <sub>p</sub> )	0,5 s
5.	e <sub>ss</sub>	0,742 %

Tabel 4. 1 Tabel Indeks Performansi Pagi Hari

Tabel 4.1 adalah tabel hasil uji indeks performansi pagi hari. Dari data pada tabel 4.1 diketahui nilai *settling time* yang kecil yaitu 0,0234 detik sehingga kontrol ini cepat dalam mencapai titik *steady*. Sedangkan untuk e<sub>ss</sub> yang dihasilkan sebesar 0,742 % dimana hasil tersebut menunjukkan bahwa kontrol yang digunakan dalam keadaan yang baik karena e<sub>ss</sub> yang dirancang harus lebih kecil dari 2 %. Selain e<sub>ss</sub> juga terdapat *maximum overshoot* yang

bernilai 0,3627 %, nilai tersebut menunjukkan bahwa kontrol yang dirancang dapat dengan cepat menyesuaikan set point.

## 4.4.2 Uji Indeks Performansi Daya Siang Hari

Data yang digunakan dalam uji indeks performansi siang hari adalah data pada pukul 11:30 WIB karena pada pukul tersebut iradiasi yang dihasilkan paling besar yaitu 923,25 W/m<sup>2</sup> sedangkan suhu PVadalah adalah 58,84°C. Hasil uji ditunjukkan pada gambar 4.16 dan tabel 4.2 berikut ini



Gambar 4. 16 Grafik Respon Uji Indeks Performansi Siang Hari

No	Parameter	Nilai
1.	<i>rise time</i> (t <sub>r</sub> )	0,7542 s
2.	<i>settling time</i> (t <sub>s</sub> )	11,9688 s
3.	<i>maximum overshoot</i> (M <sub>p</sub> )	0,0113 %
4.	<i>peak time</i> (t <sub>p</sub> )	11,01 s
5.	e <sub>ss</sub>	2,92 %

Tabel 4. 2 Tabel Indeks Performansi Siang Hari

Sumbu x dari gambar 4.17 berarti bahwa pengujian dimulai pada detik ke- 11 sampai 11,9 sehingga *settling time* yang tertera pada tabel 4.2 dapat pula ditulis menjadi 0,9688 detik. Nilai tersebut kurang baik karena menurut penelitian dari (Titri, dkk., 2017) bahwa *settling time* dari kontrol ACO adalah 0,05 detik. Sedangkan untuk  $e_{ss}$  yang didapatkan adalah 2,92% dimana nilai tersebut melebihi  $e_{ss}$  yang didapatkan bernilai 0,0113%, sehingga dapat dikatakan bahwa kontrol ACO dapat dengan cepat menyesuaikan dengan nilai *set point*.

#### 4.4.3 Uji Indeks Performansi Daya Sore Hari

Daya yang digunakan untuk uji indeks performansi sore hari adalah pada pukul 17:00 WIB karena iradiasi yang terukur berada pada titik terendahnya yaitu 40,67 W/m<sup>2</sup> sedangkan suhu PV adalah 30,2°C. Hasil pengujian ditunjukkan oleh gambar 4.18 dan tabel 4.3 berikut ini



Gambar 4. 17 Grafik Hasil Uji Indeks Performansi Sore Hari

No	Parameter	Nilai
1.	<i>rise time</i> (t <sub>r</sub> )	0,0164 s
2.	<i>settling time</i> (t <sub>s</sub> )	22,6448 s
3.	maximum overshoot (M <sub>p</sub> )	0,2218 %
4.	<i>peak time</i> (t <sub>p</sub> )	22 s
5.	e <sub>ss</sub>	0,7349 %

Tabel 4. 3 Tabel Indeks Performansi Sore Hari

Berdasarkan hasi yang telah didapatkan,  $e_{ss}$  pada uji indeks performansi sore hari bernilai 0,7349 % sehingga dapat dikatakan bahwa kontrol yang digunakan dapat menjejak nilai daya dengan baik karena masih di bawah batas  $e_{ss}$  yang diinginkan yaitu 2%.

Setelah melakukan uji dengan tiga sesi yaitu pagi, siang, dan sore didapatkan hasil yang paling baik adalah pada saat sore hari, karena nilai *maximum overshoot* dan e<sub>ss</sub> paling kecil yaitu 0,2218 % dan 0,7349 %. Berdasarkan penelitian oleh (Titri, dkk., 2017) sistem kontrol MPPT berbasis *Ant Colony Optimization* memiliki *settling time* sebesar 0,05 detik, sedangkan sistem kontrol MPPT pada *passive two axis solar tracker* berbasis *ant colony optimization* memiliki *settling time* sebesar 0,0234 detik.

#### 4.5 Uji Parameter pada ACO (Ant Colony Optimization)

Dalam uji ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh parameter kontrol yang digunakan dalam simulasi penelitian tentang Perancangan MPPT pada *Passive Two Axis Solar Tracker* Berbasis *Ant Colony Optimization*. Pada uji ini dilakukan 4 uji parameter yang berbeda. Parameter yang diubah ubah dalam uji ini adalah  $\alpha$  (*length of jump*) dan p (koefisien penguapan feromon). Karena kedua parameter tersebut sangat berpengaruh terhadap hasil yang didapatkan. semakin besar nilai  $\alpha$  maka kontroler aakan lebih cepat mencapai titik MPP (Titri, et al., 2017). Hasil yang didapatkan dari uji parameter ini adalah sebagai berikut:

Parameter ke-	a (Length of Jump)	p (Koefisien Penguapan Feromon)
1.	[-4,4]	0,37
2.	[-5,5]	0,3
3.	[-6,6]	0,2
4.	[-5,5]	0,2

Tabel 4. 4 Tabel Perbandingan Parameter

Tabel 4.4 diatas menunjukkan variasi parameter  $\alpha$  dan p yang digunakan dalam simulasi uji parameter. Grafik hasil uji parameter ditampilkan dalam gambar 4.19 dan tabel 4.5 berikut ini:



Gambar 4. 18 Perbandingan Daya dengan Parameter yang Berbeda

Parameter	Rise	Overshoot	Settling	E <sub>ss</sub>
ke	Time		Time	
1	0,0154 s	0,4553 %	0,0337 s	0,4779 %
2	0,0201 s	10,8612 %	0,0448 s	11,239 %
3	0,0254 s	-33,3617 %	1,0154	-3,6804 %
4	0,0261 s	-12,8936 %	2,9914	13,0417 %

Tabel 4. 5 Hasil Uji Parameter ACO

Berdasarkan gambar 4.19 dan tabel 4.4 terlihat bahwa parameter 2 memiliki nilai daya yang jauh nilainya dari nilai set point. E<sub>ss</sub> untuk parameter 2 adalah sebesar 11,239% dimana nilai tersebut melebihi nilai batas maksimal toleransi ess yaitu 5%. Selain parameter 2, parameter 4 juga memiliki nilai daya yang jauh dari nilai set point, dan juga memiliki ripple daya yang banyak. Ess dari parameter 4 adalah -13,0417% dimana juga sangat jauh dari batas maksimal toleransi e<sub>ss</sub>. Tanda negative pada e<sub>ss</sub> parameter 4 menunjukkan bahwa grafik parameter 4 berada dibawah nilai set point. Berbeda dengan parameter 2 dan 4, parameter 1 dan 3 memiliki grafik daya vang mendekati nilai set point terutama untuk parameter 1. Parameter 1 memiliki nilai ess sebesar 0,4779% sedangkan parameter 3 memiliki ess sebesar -3,804%. Kedua ess parameter 1 dan 3 masih dalam batas toleransi ess. Berdasarkan junal oleh Sabrina Titri, dkk semakin besar nilai a maka kontroler akan lebih cepat untuk mencapai titik MPP. Hal ini juga berlaku pada simulasi vang telah dilakukan, semakin besar nilai α maka nilai MPP semakin besar (Titri, et al., 2017) dan fungsi parameter p untuk menurunkan nilai MPP. Sehingga pemilihan parameter α dan p sangat penting untuk mendapatkan hasil output sesuai dengan apa yang diinginkan. Dalam uji ini dapat disimpulkan bahwa parameter  $\alpha$  dan p yang sesuai adalah bernilai 4 dan 0,37 sesuai dengan jurnal oleh Sabrina Titri, dkk.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

# BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

# 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- a. Parameter yang mempengaruhi hasil *output* dari sistem MPPT dengan metode kontrol Ant Colony Optimization (ACO) adalah iradiasi dan suhu yang ditangkap modul PV dengan nilai yang paling besar yaitu 923,25 W/m<sup>2</sup> dan 36,84°C. selain itu juga terdapat parameter kontrol ACO seperti jumlah semut, koefisien penguapan feromon (p), dan batas interval perubahan posisi semut ( $\alpha$ ) dengan nilai secara berurutan 7, 0,37, dan 4.
- b. Uji indeks performansi yang paling baik adalah pada saat sore hari dengan nilai *rise time, maximum overshoot,* dan e<sub>ss</sub> sebesar 0,0164 detik, 0,2218 %, dan 0,7349 %
- c. MPPT berbasis sistem kontrol ACO pada *passive two axis solar tracker* dapat meningkatkan performansi atau unjuk kerja energi hingga 13,23% dengan nilai energi PV *fixed* dan *solar tracker* sebesar 110,59 Wh dan 125,23 W pada pukul 13:00 WIB. Sedangkan peningkatan energi rata-rata sebesar 11,50% dihitung selama 11 jam.

## 5.2 Saran

Saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah

- a. melengkapi MPPT dengan *charging system* agar energi *output* PV dapat disimpan pada baterai.
- b. Memperhitungkan konsumsi daya komponen-komponen yang digunakan agar dapat diketahui daya untung yang didapatkan

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

#### DAFTAR PUSTAKA

Abadi, I., Musyafa, A. & Soeprijanto, A., 2015. Type-2 Fuzzy Logic Controller Based PV Passive Two-Axis Solar Tracking System. *International Review of Electrical Engineering*, Volume 10.

Abdallah, S. & Nijmeh, S., 2004. two axis sun tracking sistem PLC control. *energy conversion and management*, Volume 45, pp. 1931-1940.

Akarslan, F., 2016. *Photovoltaic System and Applications*, Turkey: Suleyman Demirel University.

Barker, L., Neber, M. & Lee, H., 2013. Design of a low-profile two-axis solar tracker. *solar energy*, Volume 97, pp. 569-576.

BPPT, 2016. *Outlook Energi Indonesia 2016*, Jakarta: Pusat Teknologi SUmber daya Energi dan Industri Kimia (PTSEIK).

EBTKE, D., 2014. *Renstra (Rencana Strategis) Ditjen EBTKE 2015-2019*, Jakarta: Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral.

Eltawil, M. A. & Zhao, Z., 2013. MPPT Techniques for Photovoltaic Application. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 25, pp. 793-813.

Hersch, P. & Zweibel, K., 1982. The Photovoltaic (PV) Effect. In: *Basic Photovoltaic Principles and method*. Washington: US Government Printing Office, pp. 9-15.

Hiu, X., Zhang, J., Chung, H. & liu, D., 2010. ACO variable sampling ant colony optimization algorithm for continous optimization. *IEEE Trans.* 

Hu, X.-M.et al., 2010. SamACO: Variable Sampling Ant Colony Optimization Algorithm for Continuous Optimization. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics,* Volume 40, pp. 1555-1566. Jiang, L. L., Maskell, D. L. & Patra, J. C., 2012. A novel ant colony optimization-based maximum power point tracking for photovoltaic systems under partially shaded conditions. *Energy and Buildings*, Volume 58, pp. 227-236.

Jouda, A., Elyes, F., Rabhi, A. & Addelkader, M., 2016. Optimization of Scaling Factors of Fuzzy–MPPT Controller for Stand-alone Photovoltaic System by Particle Swarm Optimization. *Sustainability in Energy and Buildings*, Volume 111, pp. 854-963.

Nabipour, M., Razaz, M., Seifossadat, S. & Mortazavi, S., 2017. A new MPPT scheme based on a novel fuzzy approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 74, pp. 1147-1169.

Ogata, K., 2010. *Modern Control Engineering*. 5th ed. New Jersey: Prentice Hall.

Selmi, T., Abdul-Niby, M., Devis, L. & Davis, A., 2014. P&O MPPT Implementation Using MATLAB/Simulink. *Ecological Vehicles and Renewable Energy*, Volume 9.

Seme, S. et al., 2017. Dual-axis photovoltaic tracking systemdesign and experimental investigation. *Energy*, Volume 139, pp. 1267-1274.

Steve Roberts, M. B., 2015. *DC/DC Book of Knowledge: Practical tips for the User*. 2nd ed. Austria: RECOM Engineering GmbH & Co KG.

Tamizh Mani, G., ji, L., Tang, Y. & Peracci, L., 2003. Photovoltaic Module Thermal/Wind Performance: Long-term Monitoring and Model Development For Energy Rating. *NCPV and Solar Program Review*, pp. 936-939.

Titri, S., Larbes, C., Toumi, K. Y. & Benatchba, K., 2017. A new MPPT controller based on the Ant colony optimization algorithm for Photovoltaic systems under partial shading conditions. *Aplied Soft Computing*, Volume 58, pp. 465-479.

# LAMPIRAN A

Pukul (WIB)	Iradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Rh (%)	Suhu (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)
6:00	31.5	76.933	26.867	28.62	0.251
6:30	59.367	75.4	27.667	29.733	0.53
7:00	194.9	55.5	31.8	30.86	1.524
7:30	343.7	55.5	50.667	40.667	3.093
8:00	419.5	47.933	41.2	30.6	3.364
8:30	263.067	38.533	41.533	29.43	2.2
9:00	709.933	23.7	47.6	30.55	5.43
9:30	227.533	44.267	41.6	29.92	1.93
10:00	923.933	18.6	55	30.25	6.267
10:30	946.4	41.1	57.267	29.576	5.667
11:00	1000.967	36.7	59.133	29.66	6.633
11:30	1011.333	14.233	61.667	29.25	5.76
12:00	990.333	24.067	58.267	29.333	5.813
12:30	938.933	21.867	59.533	28.86	6.826
13:00	912.167	19.967	55.867	29.336	6.75
13:30	793.767	28.633	57.533	29.133	6.6
14:00	706.933	23.733	58.2	29.62	4.446
14:30	518.8	21.167	48.2	30.16	3.822
15:00	74.1	44.5	36.4	28.65	0.619
15:30	67.467	63.3	33.533	28.8	0.562
16:00	56.333	61.1	33.8	28.41	0.445
16:30	33.867	63.733	32.667	27.51	0.266
17:00	13	46.733	30.4	25.76	0.1

Tabel A. 1 Data Pengukuran PV fixed Tanggal 17 April 2018

Pukul (WIB)	Suhu (°C)	Rh (%)	Iradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)
6:00	22,42	85,29	32,67	8.35	28.68	0.29
6:30	22,91	85,51	60,33	16.00	28.71	0.56
7:00	24,45	68,45	133,51	32.37	28.78	1.12
7:30	24,21	53,61	270,78	43.41	28.84	1.51
8:00	24,81	54,46	404,52	71.90	28.98	2.48
8:30	28,23	38,11	558,21	104.48	29.10	3.59
9:00	29,24	32,96	665,15	120.15	29.18	4.12
9:30	34,03	33,15	644,16	133.89	29.25	4.58
10:00	35,84	22,72	538,03	156.82	29.35	5.34
10:30	35,83	19,93	898,54	191.94	29.51	6.50
11:00	36,76	22,89	819,45	224.51	29.66	7.57
11:30	36,84	18,34	912,71	237.82	29.72	8.00
12:00	36,64	18,42	799,78	190.59	29.38	6.49
12:30	36,62	32,95	665,07	149.81	29.34	5.11
13:00	36,56	13,63	697,34	122.82	29.18	4.21
13:30	35,67	18,24	617,54	116.21	29.16	3.99
14:00	35,29	27,52	583,21	103.71	29.12	3.56
14:30	35,07	26,02	470,94	71.94	28.96	2.48
15:00	28,91	25,11	274,66	44.54	28.85	1.54
15:30	28,29	38,64	269,56	20.68	28.74	0.72
16:00	25,26	46,08	65,63	13.71	28.72	0.48
16:30	25,21	52,55	50,06	9.62	28.70	0.34
17:00	24,11	56,04	21,77	4.66	28.68	0.16

Tabel A. 2 Data Simulasi PV mobile fixed Tanggal 25 April 2018

Pukul (WIB)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)
6:00	6.41E-19	-1.56E-09	0.00
6:30	217.35	28.74	7.56
7:00	218.38	28.81	7.58
7:30	219.34	28.87	7.60
8:00	221.44	29.01	7.63
8:30	223.42	29.14	7.67
9:00	224.58	29.21	7.69
9:30	225.76	29.29	7.71
10:00	227.37	29.39	7.74
10:30	229.78	29.55	7.78
11:00	232.17	29.70	7.82
11:30	230.50	29.60	7.79
12:00	227.76	29.42	7.74
12:30	227.20	29.38	7.73
13:00	224.72	29.22	7.69
13:30	224.32	29.20	7.68
14:00	224.40	29.20	7.68
14:30	221.18	28.99	7.63
15:00	219.48	28.88	7.60
15:30	217.89	28.77	7.57
16:00	217.45	28.75	7.56
16:30	217.19	28.73	7.56
17:00	216.83	28.70	7.55

Tabel A. 3 Data Simulasi PV mobile fixed dengan ACO

2010						
Pukul	Suhu (°C)	Rh	Iriradiasi	Daya	Tegangan	Arus
(WIB)	$(\mathbf{U})$	(%)	(w/m-)	(wall)	(V)	(A)
6:00	22,42	85,81	56.63	21.54	28.81	0.75
6:30	22,91	83,33	174.58	44.21	28.94	1.53
7:00	24,45	62,42	404.72	65.64	29.05	2.26
7:30	24,21	54,45	364.31	95.94	29.21	3.28
8:00	24,81	46,31	505,66	151.56	29.50	5.14
8:30	28,23	17,03	692,72	172.55	29.61	5.83
9:00	29,24	34,61	705,31	191.60	29.70	6.45
9:30	34,03	29,65	848,15	196.77	29.73	6.62
10:00	35,84	23,14	830,21	204.64	29.77	6.87
10:30	35,83	16,05	909,46	257.24	30.03	8.57
11:00	36,76	21,12	869,64	254.61	30.02	8.48
11:30	36,84	14,13	923,25	254.63	30.02	8.48
12:00	36,64	16,95	801,56	235.25	29.92	7.86
12:30	36,62	13,63	761,94	222.51	29.86	7.45
13:00	36,56	12,62	752,44	202.96	29.76	6.82
13:30	35,67	16,71	673,96	177.39	29.63	5.99
14:00	35,29	17,36	658,46	169.17	29.59	5.72
14:30	35,07	19,28	591,49	113.43	29.30	3.87
15:00	28,91	31,47	343,78	107.88	29.27	3.69
15:30	28,29	40,28	255,07	64.36	29.04	2.22
16:00	25,26	52,45	79,89	37.19	28.90	1.29
16:30	25,21	54,21	84,34	27.45	28.85	0.95
17:00	24,11	57,30	40,67	21.68	28.82	0.75

**Tabel A. 4** Data Simulasi PV Mobile Tracker Tanggal 25 April2018

Pukul (WIB)	Daya (Watt)	Tegangan (V)	Arus (A)
6:00	7,02x10 <sup>-19</sup>	-1.57E-09	0.00
6:30	238.77	28.94	8.26
7:00	240.69	29.05	8.29
7:30	243.39	29.21	8.34
8:00	248.32	29.50	8.42
8:30	250.16	29.61	8.45
9:00	251.83	29.70	8.48
9:30	252.28	29.73	8.49
10:00	252.98	29.77	8.50
10:30	257.54	30.03	8.58
11:00	257.57	30.02	8.57
11:30	257.31	30.02	8.57
12:00	257.29	29.92	8.57
12:30	255.54	29.86	8.54
13:00	254.38	29.76	8.53
13:30	252.66	29.63	8.50
14:00	250.69	29.59	8.46
14:30	250.46	29.30	8.46
15:00	244.8	29.27	8.36
15:30	244.41	29.04	8.36
16:00	240.47	28.90	8.29
16:30	238.09	28.85	8.25
17:00	237.24	28.82	8.23

Tabel A. 5 Data Simulasi PV Mobile Tracker dengan ACO

Pukul	Energi fixed	Energi tracker	Performansi
(WIB)	(Wh)	(Wh)	(%)
6:00	3.20E-19	3.51E-19	9.59
6:30	108.67	119.39	9.86
7:00	109.19	120.35	10.22
7:30	109.67	121.70	10.97
8:00	110.72	124.16	12.14
8:30	111.71	125.08	11.97
9:00	112.29	125.92	12.14
9:30	112.88	126.14	11.75
10:00	113.69	126.49	11.26
10:30	114.89	128.77	12.08
11:00	116.08	128.79	10.94
11:30	115.25	128.65	11.63
12:00	113.88	128.65	12.97
12:30	113.57	127.77	12.50
13:00	112.36	127.19	13.20
13:30	111.86	126.33	12.94
14:00	112.11	125.34	11.81
14:30	110.59	125.23	13.24
15:00	109.74	122.40	11.53
15:30	108.94	122.20	12.17
16:00	108.73	120.23	10.58
16:30	108.60	119.05	9.62
17:00	108.42	118.62	9.41
Rata - Ra	ta		11.50

**Tabel A. 6** Perbandingan daya *output* PV fixed dan solar tracker dengan metode ACO

Pukul	Energi fixed	Energi tracker	Performansi
(WIB)	PandO (Wh)	ACO (Wh)	(%)
6:00	105.54	110.34	4.55
6:30	105.75	110.34	4.34
7:00	106.28	111.29	4.71
7:30	107.11	112.20	4.75
8:00	108.13	113.47	4.94
8:30	109.65	115.78	5.59
9:00	109.83	116.66	6.22
9:30	110.39	117.44	6.39
10:00	111.93	117.64	5.10
10:30	112.74	121.98	8.19
11:00	112.93	124.62	10.35
11:30	113.39	122.50	8.03
12:00	111.88	119.99	7.25
12:30	111.36	119.17	7.01
13:00	110.83	118.62	7.03
13:30	109.69	117.82	7.40
14:00	109.64	116.75	6.49
14:30	108.98	116.41	6.82
15:00	107.35	114.12	6.30
15:30	106.84	113.94	6.64
16:00	105.65	112.09	6.10
16:30	105.65	110.05	4.16
17:00	105.47	109.79	4.10
Rata - Ra	ata		6.19

**Tabel A. 7** Tabel perbandingan energi PV fixed dan solar tracker dengan metode P&O

"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"

# LAMPIRAN B



Gambar B. 1 Pemodelan posisi matahari



Gambar B. 2 Pemodelan motor DC pitch



Gambar B. 3 Pemodelan motor DC yaw

#### LAMPIRAN C

# Source Code sistem MPPT kontrol menggunakan Ant Colony Optimization

```
function result=ACO2 (V,I)
  P = zeros(1, length(V));
  for i = 1: length(V)
    P(i) = V(i) * I(i);
  end
  bestP = zeros(1, 7);
  bestV = zeros(1, 7);
  bestI = zeros(1, 7);
  numMaxP = 0;
  for i = 1: 7
     maxP = 0:
     \max V = 0:
     maxI = 0;
     for j = 1: length(P)
       if maxP < P(j) && (length(bestP) == 0 \parallel
isequal(ismember(bestP, P(j)), zeros(1, length(bestP))))
         maxP = P(i);
         maxV = V(j);
         maxI = I(j);
       end
     end
     bestP(i) = maxP;
     bestV(i) = maxV;
     bestI(i) = maxI;
  end
  disp(bestP);
  disp(bestV);
  disp(bestI);
  for j = 1: 100
     D = zeros(1, 7);
```

```
maxV = max(bestV);
for i = 1:7
  D(i) = abs(bestV(i) - maxV);
end
Pi = zeros(1, 7);
t = 0.05;
for i = 1:7
  Pi(i) = exp(-(D(i) ^ 2)/(2*t));
end
Tau = zeros(1, 7);
sumPi = sum(Pi);
for i = 1: 7
  Tau(i) = Pi(i) / sumPi;
end
Vk = 30;
Vi = zeros(1, 7);
di = zeros(1, 7);
vref = 30;
p=0.37;
for i = 1: 7
  dx = -4 + (4+4)*rand(1);
  Vi(i) = Vk*p + dx*Tau(i);
  if Vi(i) > Vk
     Vk = Vi(i);
  end
  di(i) = 1 - (Vi(i)/vref);
  P = Vi(i) * bestI(i);
  if P > bestP(i)
     bestP(i) = P;
     bestV(i) = Vi(i);
  end
end
Pk = 250;
```

## Source Code sistem MPPT kontrol menggunakan P&O

```
function D = PO(V, I, T)
```

```
persistent Pn Po dP d dd n;
```

```
if isempty(V)
```

V=20;

end

```
if isempty(I)
```

I=0;

end

```
if isempty(Po)
```

Po=0;

end

```
if isempty(Pn)
```

Pn=0;

end

```
if isempty(dP)
```

78

dP=0;

end

if isempty(d)

d=1;

# end

if isempty(dd)

dd=0;

# end

if isempty(n)

n=1;

## end

#### else

if (dP<-1) dd=-0.01; d=d+dd;

#### else

dd=0;

## end

end

# else

if ((dP<1)&&(dP>-1)) % leave little margin
 dd=0;
 d=d+dd;

# else

if ((dP/dd)>0) % positive slop
 dd=0.01;
 d=d+dd;
else % negative and zero slop

dd=-0.01;

d=d+dd;

end end

end

end

D=d/(d+1); % calculate duty

% code to avoid duty less than 0.1 and more than 0.9

if (D<0.1)

D=0.1;

d=D/(1-D);

# else

if (D>0.9)

D=0.9;

d=D/(1-D);

else

end

end

end

# LAMPIRAN D

Dokumentasi pada saat pengambilan data



Gambar 1 Pengambilan data motor DC



**Gambar 2** Pengambilan data iradiasi PV di Jurusan Teknik Fisika



Gambar 3 Pengambilan data iradiasi di Tugu Pahlawan



Gambar 4 Pengambilan data Rh



Gambar 5 Pengambilan Data Lintang dan Bujur

"Halaman ini sengaja dikosongkan"


## **BIODATA PENULIS**

Penulis lahir di kota Blitar pada tanggal 17 Oktober 1995. Penulis memulai Pendidikan di TK Pertiwi Sanankulon Blitar, SDN Bendosari 1 Sanankulon Blitar, SMPN 2 Blitar. SMAN 1 Blitar dan terakhir melanjutkan Pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan program studi S-1 Departemen Teknik Fisika. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif di kegiatan

mahasiswa seperti menjadi staff departemen Sosial Masyarakat BEM FTI ITS (2015-2016), wakil kepala departemen Sosial Profesi HMTF ITS (2016-2017), dan juga klub angklung Teknik Fisika ITS. Bagi pembaca yang ingin berdikusi atau memiliki kritik dan saran mengenai tugas akhir ini dapat menghubungi penulis melalui email dengan alamat chervilia17@gmail.com.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"