



TUGAS AKHIR - TF181801

**OPTIMISASI PARAMETER *PHOTOVOLTAIC*  
MENGUNAKAN *PARTICLE SWARM MODIFIED*  
*FIREFLY ALGORITHM*(PSMFA)**

**YESIKA EKA SWASTI APSARI  
NRP. 0231154000001**

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

**Program Studi S-1 Teknik Fisika  
Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019**





**TUGAS AKHIR - TF 181801**

**OPTIMISASI PARAMETER *PHOTOVOLTAIC*  
MENGUNAKAN *PARTICLE SWARM MODIFIED*  
*FIREFLY ALGORITHM*(PSMFA)**

YESIKA EKA SWASTI APSARI  
NRP. 0231154000001

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

Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



***FINAL PROJECT - TF 181801***

***OPTIMIZATION                      PHOTOVOLTAIC'S  
PARAMETERS USING PARTICLE SWARM  
MODIFIED FIREFLY ALGORITHM(PSMFA)***

***YESIKA EKA SWASTI APSARI  
NRP. 0231154000001***

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

***ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2019***

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yesika Eka Swasti Apsari

NRP : 0231154000001

Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul “Optimisasi Parameter *Photovoltaic* Menggunakan Metode *Particle Swarm Modified Firefly Algorithm*(PSMFA)” adalah bebas plagiasi. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.



Surabaya, 25 Juli 2018

Yang membuat pernyataan,

Yesika Eka Swasti Apsari

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMISASI PARAMETER *PHOTOVOLTAIC*  
MENGUNAKAN METODE *PARTICLE SWARM*  
*MODIFIED FIREFLY ALGORITHM*(PSMFA)

TUGAS AKHIR

OLEH :

Yesika Eka Swasti Apsari  
NRP. 0231154000001

Surabaya, 29 Juli 2019  
Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing I,



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



Kepala Departemen,  
Teknik Fisika FTI-ITS



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

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**OPTIMISASI PARAMETER *PHOTOVOLTAIC*  
MENGUNAKAN METODE *PARTICLE SWARM*  
*MODIFIED FIREFLY ALGORITHM*(PSMFA)**

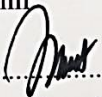
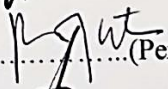
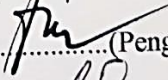

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Minat Rekayasa Istrumentasi  
Program Studi S-1 Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industry  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

**Oleh :**

**Yesika Eka Swasti Apsari**  
**NRP. 0231154000001**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

1. Dr. Imam Abadi, S.T., M.T. ....  ..... (Pembimbing I)
2. Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M. Kes. ....  ..... (Penguji I)
3. Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc. ....  ..... (Penguji II)
4. Mohammad Kamalul Wafi, S.T., MSc.DIC. ....  ..... (Penguji III)

**SURABAYA**  
**JULI, 2019**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**OPTIMISASI PARAMETER *PHOTOVOLTAIC*  
MENGUNAKAN *PARTICLE SWARM MODIFIED*  
*FIREFLY ALGORITHM* (PSMFA)**

**Nama Mahasiswa** : Yesika Eka Swasti Apsari  
**NRP** : 0231154000001  
**Program Studi** : S1 Teknik Fisika  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.

**ABSTRAK**

Pemodelan modul *photovoltaic* dapat dilakukan melalui pendekatan model tiga parameter, lima parameter, tujuh parameter, dan sembilan parameter. Variabel *input* yang digunakan antara lain kecepatan angin, kelembaban, temperatur, dan iradiansi. Untuk mengoptimalkan parameter digunakan tiga metode optimisasi yakni *Firefly Algorithm* (FA), *Particle Swarm Optimization* (PSO), dan *Particle Swarm Modified Firefly Algorithm* (PSMFA). Hasil simulasi menunjukkan *ideality factor diode* tiga parameter, lima parameter, dan tujuh parameter bernilai 1.5, 1 dan 2, sedangkan sembilan parameter menunjukkan nilai konstan 1, 2, dan 3. Nilai tertinggi parameter  $I_{ph}$  berturut-turut bernilai 9.8902 A, 9.9122 A, dan 9.8906 A, sedangkan sembilan parameter bernilai 9.8826 A. Nilai tertinggi parameter arus saturasi dioda adalah  $1 \times 10^{-6}$  A,  $1 \times 10^{-6}$  A,  $3 \times 10^{-9}$  A,  $6 \times 10^{-5}$  A dan  $1 \times 10^{-3}$  pada tiga parameter, lima parameter, tujuh parameter, dan sembilan parameter. Sedangkan nilai hambatan seri bernilai konstan untuk semua parameter yakni sebesar 0.0903 Ohm dan *parallel resistance* pemodelan lima parameter, tujuh parameter, dan sembilan parameter bernilai 362.39 Ohm, 14431 Ohm, dan 11100 Ohm. Berdasarkan grafik konvergensi PSMFA memiliki kemampuan konvergensi yang lebih tinggi dari dua metode.

**Kata kunci:** *Photovoltaic*, *Particle Swarm Optimization* (PSO), *Firefly Algorithm* (FA), *Particle Swarm Modified Firefly Algorithm* (PSMFA)

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**OPTIMIZATION PHOTOVOLTAIC'S PARAMETER USING  
PARTICLE SWARM MODIFIED FIREFLY  
ALGORITHM(PSMFA)**

**Name** : Yesika Eka Swasti Apsari  
**NRP** : 0231154000001  
**Study Program** : S1 Teknik Fisika  
**Supervisor** : Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.

**ABSTRACT**

*Modeling photovoltaic modules can be done using a three-parameter model, five parameters, seven parameters, and nine parameters. Variable inputs used include wind speed, humidity, temperature, and irradiance. To optimize parameters, three optimization methods are used, namely Firefly Algorithm (FA), Particle Swarm Optimization (PSO), and Particle Swarm Modified Firefly Algorithm (PSMFA). The simulation results show the ideality factor of the three-parameter diode, five parameters, and seven parameters worth 1.5, 1 and 2, while the nine parameters show constant values 1, 2, and 3. The highest parameter value of  $I_{ph}$  is successful-yielding profit 9.8902 A, 9, 9122 A, and 9.8906 A, while the nine parameters are 9.8826 A. The highest value of the diode saturation current parameter is  $1 \times 10^{-6}$  A,  $1 \times 10^{-6}$  A,  $3 \times 10^{-9}$  A,  $6 \times 10^{-5}$  A and  $1 \times 10^{-3}$  on three parameters, five parameters, seven parameters, and nine parameters. While the value of series parameters is constant five and seven, which is equal to 0.0903 Ohm and parallel parameters of five parameters, seven parameters, and nine parameters worth 362.39 Ohm, 14431 Ohm, and 11100 Ohm. Based on the convergence graph, the PSMFA has a higher convergence capability than the othres.*

**Keywords:** *Photovoltaic, Particle Swarm Optimization (PSO), Firefly Algorithm (FA), Particle Swarm Modified Firefly Algorithm (PSMFA)*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## 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 “**Optimisasi Parameter *Photovoltaic* Menggunakan *Particle Swarm Modified Firefly Algorithm*(PSMFA)**”.

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. Ibu Dr. Ir. Ronny Dwi N, M.Kes, Dr. Ir. Ali Musyafa’, M. Sc, dan Mohammad Kamalul Wafi, S.T. MSc.DIC, selaku dosen penguji yang telah memberikan saran kepada penulis
4. Bapak Prof. Dr. Ir Sekartedjo, M.Sc selaku dosen wali yang telah membimbing penulis selama perkuliahan dan memberikan ilmu serta nasihat yang sangat bermanfaat.
5. Seluruh Dosen Departemen Teknik Fisika ITS atas segala ilmu, bimbingan, petunjuk, dan nasihat yang sangat bermanfaat.
6. Seluruh Karyawan Departemen Teknik Fisika ITS yang telah membantu proses administrasi selama masa perkuliahan.
7. Kedua orang tua dan keluarga yang telah mendoakan penulis, mendukung, memberikan semangat dan kasih sayang, serta memberikan dukungan moril dan materil
8. Teman- teman Tim *Tracker* Pak Imam TW120 atas segala semangat dan bantuannya selama pengerjaan tugas akhir ini.
9. Teman-teman Remahan Kongguan dan Pokau terima kasih atas doa, dukungan, waktu, dan cerita selama masa perkuliahan ini

10. Teman-teman Asisten Laboratorium Pengukuran Fisis Angkatan 2015, 2013, 2014, 2016, dan 2017 terima kasih atas bimbingannya selama ini, atas pelajarannya kekeluargaannya, dan kisah indah nya
11. Teman-teman Transcendent Frontier, Teknik Fisika 2015 terima kasih atas pelajarannya, atas kekeluargaannya, terima kasih untuk kisahnya selama ini.
12. Seluruh mahasiswa Teknik Fisika ITS yang telah memberikan banyak pelajaran, membimbing, dan memberikan saran, serta doa kepada penulis.
13. Teman-teman lilly was a little girl, Dancita, Diki Enggar, dan Sintya terima kasih atas waktu dan kisah dari masa geriginya
14. Dan segenap orang-orang berjasa dalam hidup saya yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu yang telah memberikan dukungan, semangat, dan doa untuk saya.

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.

Surabaya, 12 Juni 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>COVER PAGE</b> .....	iii
<b>PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI</b> .....	v
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	vii
<b>ABSTRAK</b> .....	xi
<b>ABSTRACT</b> .....	xiii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xvii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xxi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xxiii
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	xxv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan .....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Sistematika Laporan .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	7
2.1 Photovoltaic(PV) .....	7
2.1.1 Rangkaian Sel Photovoltaic Model Ideal .....	9
2.1.2 Rangkaian Sel Photovoltaic Dioda Tunggal .....	11
2.1.3 Rangkaian Sel Photovoltaic Dioda Ganda .....	12
2.1.4 Rangkaian Sel Photovoltaic Tiga Dioda .....	13
2.2 Particle Swarm Optimization(PSO).....	14
2.3 Firefly Algorithm(FA).....	15
2.4 Particle Swarm Modified Firefly Algorithm(PSMFA) .....	17

<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>21</b>
3.1 Diagram Alir Peneltian .....	21
3.1.1 Perumusan Masalah .....	22
3.1.2 Studi Literatur .....	22
3.1.3 Pengambilan Data Sekunder .....	22
3.1.4 Pengambilan Data Primer .....	23
3.1.5 Pemodelan Matematis .....	23
3.1.6 Validasi Data .....	24
3.1.7 Optimisasi Menggunakan PSO .....	24
3.1.8 Optimisasi Menggunakan FA .....	26
3.1.9 Optimisasi Menggunakan PSMFA .....	28
3.2 Delapan Parameter .....	31
<b>BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>33</b>
4.1 Hasil Pengukuran Arus dan Tegangann .....	33
4.2 Hasil Ekstraksi Parameter .....	42
4.2.1 Kondisi Full Cerah .....	42
4.2.2 Kondisi Full Mendung .....	44
4.2.4 Kondisi Dominan Mendung .....	49
4.2.5 Kondisi Balance .....	51
4.3 Hasil Validasi .....	54
4.4 Hasil Optimisasi .....	57
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>69</b>
5.2 Saran .....	70
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>71</b>
<b>LAMPIRAN 1 .....</b>	<b>77</b>
<b>LAMPIRAN 2 .....</b>	<b>83</b>

<b>LAMPIRAN 3</b> .....	87
<b>LAMPIRAN 4</b> .....	93
<b>LAMPIRAN 5</b> .....	105
<b>LAMPIRAN 6</b> .....	107
<b>LAMPIRAN 7</b> .....	121
<b>LAMPIRAN 8</b> .....	127
<b>LAMPIRAN 9</b> .....	131
<b>BIODATA PENULIS</b> .....	135

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Modul Photovoltaic .....	8
<b>Gambar 2. 2</b> Rangkaian Sel Photovoltaic Model Ideal .....	9
<b>Gambar 2. 3</b> Rangkaian Sel Photovoltaic Model Dioda Tunggal .....	11
<b>Gambar 2. 4</b> Rangkaian Sel Photovoltaic Model Dioda Ganda	13
<b>Gambar 2. 5</b> Rangkaian Sel Photovoltaic Model Tiga Dioda....	14
<b>Gambar 2. 6</b> Diagram Alir PSMFA .....	19
<b>Gambar 3. 1</b> Diagram Alir Penelitian .....	21
<b>Gambar 3. 2</b> Set-up Alat .....	23
<b>Gambar 3. 3</b> Diagram Alir PSO .....	25
<b>Gambar 3. 4</b> Diagram Alir Firefly Algorithm .....	27
<b>Gambar 3. 5</b> Diagram Alir PSMFA .....	29
<b>Gambar 4. 1</b> Perbandingan Hasil Arus PV Fix dan PV Menggunakan Tracker .....	33
<b>Gambar 4. 2</b> Perbandingan Hasil Tegangann PV Fix dan PV Menggunakan Tracker .....	34
<b>Gambar 4. 3</b> Arus dan Tegangann pada Kondisi Full Cerah .....	35
<b>Gambar 4. 4</b> Arus dan Tegangann pada Kondisi Full Mendung	37
<b>Gambar 4. 5</b> Arus dan Tegangann pada Kondisi Dominan Cerah .....	38
<b>Gambar 4. 6</b> Arus dan Tegangann pada Kondisi Dominan Mendung .....	39
<b>Gambar 4. 7</b> Arus dan Tegangann pada Kondisi Balance .....	41
<b>Gambar 4. 8</b> Ekstraksi Parameter A dan Iph Kondisi Full Cerah .....	42
<b>Gambar 4. 9</b> Ekstraksi Parameter Rsh dan Io Kondisi Full Cerah .....	43
<b>Gambar 4. 10</b> Ekstraksi Parameter A dan Iph Kondisi Full Mendung .....	44
<b>Gambar 4. 11</b> Ekstraksi Parameter Rsh dan Io Kondisi Full Mendung .....	45

<b>Gambar 4. 12</b> Ekstraksi Parameter A dan Iph Kondisi Dominan Cerah .....	47
<b>Gambar 4. 13</b> Ekstraksi Parameter Rsh dan Io Kondisi Dominan Cerah .....	48
<b>Gambar 4. 14</b> Ekstraksi Parameter A dan Iph Kondisi Dominan Mendung .....	49
<b>Gambar 4. 15</b> Ekstraksi Parameter Rsh dan Io Kondisi Dominan Mendung .....	50
<b>Gambar 4. 16</b> Ekstraksi Parameter A dan Iph Kondisi Balance	52
<b>Gambar 4. 17</b> Ekstraksi Parameter Rsh dan Io Kondisi Balance .....	53
<b>Gambar 4. 18</b> Kecepatan Konvergensi FA, PSO, dan PSMFA untuk Ideality factor diode.....	58
<b>Gambar 4. 19</b> Kecepatan Konvergensi FA, PSO, dan PSMFA untuk Saturation Current .....	60
<b>Gambar 4. 20</b> Kecepatan Konvergensi FA, PSO, dan PSMFA untuk PhotoCurrent .....	61
<b>Gambar 4. 21</b> Kecepatan Konvergensi FA, PSO, dan PSMFA untuk Hambatan Seri .....	62
<b>Gambar 4. 22</b> Kecepatan Konvergensi FA, PSO, dan PSMFA untuk Shunt Resistance.....	63



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3. 1</b> Spesifikasi Modul PV .....	22
<b>Tabel 3. 2</b> Parameter PSO .....	24
<b>Tabel 3. 3</b> Parameter FA .....	26
<b>Tabel 3. 4</b> Parameter PSMFA .....	28
<b>Tabel 4. 1</b> Hasil Validasi Data Arus dan Tegangann untuk Tiga Parameter dan Lima Parameter .....	55
<b>Tabel 4. 2</b> Hasil Validasi Data Arus dan Tegangann untuk Tujuh Parameter dan Sembilan Parameter .....	56
<b>Tabel 4. 3</b> Ekstraksi dan Optimissai 8 Parameter .....	65

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR NOTASI

A	= Ideality Factore Diode
$c_1, c_2$	= <i>acceleration coefficient</i>
g <sub>best</sub>	= <i>global best</i>
I	= Arus output photovoltaic (A)
$I_{ph}$	= <i>Photocurrent</i> (A)
$I_D$	= Arus dioda (A)
$I_0$	= Arus saturasi diodabalik (A)
$I_{mp}$	= Arus maksimum saat STC (8.34 A)
$I_{sh}$	= Arus <i>Shunt</i> (A)
$I_{scn}$	= <i>Short Circuit Current</i> (9 A)
k	= Konstanta Boltzman ( $1,3865 \times 10^{-23}$ J/K)
$n_s$	= Jumlah Sel PV
q	= Muatan Elektron ( $1,6021 \times 10^{-19}$ C)
p <sub>best</sub>	= <i>personal best</i>
$P_{mpp}$	= Daya maksimum saat STC
r	= Jarak antara dua kunang-kunang
$R_s$	= resistansi seri <i>array photovoltaic</i> , Ohm
$R_p$	= <i>paralel resistance array photovoltaic</i> , Ohm
$R_{pv}$	= Hambatan PV ( $\Omega$ )
RMSE	= <i>Root Mean Square Error</i>
S	= Iradiansi ( $W/m^2$ )
$S_r$	= Iradiansi referensi ( $1000 W/m^2$ )
T	= Temperatur(K)
$T_r$	= Temperatur referensi ( $25^\circ C$ )
V	= Tegangann (V)
$V_i$	= Kecepatan partikel
$V_t$	= Tegangann termal (V)
$V_{ocn}$	= <i>Open Circuit Voltage</i> (36.8 V)
$V_{mp}$	= Tegangann Maksimum saat STC(30 V)
$W_1$	= konstanta $T_{Ambient}$
$W_2$	= Konstanta Iradiasi

- $W_3$  = Konstanta Kecepatan Angin  
 $W_4$  = Konstanta *Relative Humidity*  
 $w_i$  = *Initial weight inertia*  
 $w_f$  = *Final weight inertia*  
 $x_i$  = Posisi Partikel  
 $\alpha$  = Parameter penentu arah  
 $\beta$  = Ketertarikan  
 $\beta_0$  = Ketertarikan saat  $r=0$   
 $\beta_{\min}$  = Ketertarikan saat nilai  $r$  mendekati tak hingga  
 $\epsilon_i$  = Vektor nilai acak dari variabel bebas acak  
 $\gamma$  = Koefisien serapan cahaya  
 $\omega$  = *Inertia weight*  
 $\omega_{damp}$  = Redaman *inertia weight*  
 $\mu$  = *Temperatur Coeff. Of Short Circuit Current* (0.00053 A/°C)  
 $\Phi$  = *Temperatur Coeff. of Short Circuit Voltage* (-0.0036 V/°C)  
 $\Delta I$  = Selisih arus dengan arus maksimum(A)

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kebutuhan listrik di Indonesia setiap tahunnya mengalami peningkatan. Peningkatan konsumsi listrik ini sebanding dengan bertambahnya jumlah penduduk Indonesia. Dalam kurun waktu 10 tahun, konsumsi listrik mengalami kenaikan hampir dua kali, dari konsumsi listrik sebesar 129.018,81 MWh di tahun 2007 hingga 247.416,06 MWh di tahun 2016 atau mengalami kenaikan sebesar 118.397,25 MWh. Dimana sektor rumah tangga menempati urutan kedua sebagai konsumen terbesar listrik setelah sektor industri dan diikuti sektor usaha serta umum diurutan ketiga dan keempat [1]. Konsumsi energi di Indonesia didominasi oleh energi fosil, dengan presentase 41% adalah minyak bumi dan 32,3% adalah batu bara. Sedangkan energi fosil sendiri bukanlah sumber daya energi yang dapat diperbarui. Tercatat produksi minyak bumi di Indonesia mengalami penurunan dari 386,48 juta barel(kurang lebih 1 juta barel tiap hari) tahun 2005 menjadi 287,90 barel(800 ribu barel tiap hari) tahun 2014. Pengurangan ini disebabkan sumur produksi yang sudah lama digunakan sedangkan untuk produksi sumur baru masih kurang optimal. Tidak berbeda dengan minyak bumi, cadangan batu bara di Indonesia sebesar 32,27 miliar dengan sumber daya mencapai 124,80 miliar ton, sedangkan produksi di tahun 2014 mencapai 458 juta ton atau dapat diperkirakan cadangan batu bara habis dalam kurun waktu 70 tahun [2]. Pengurangan eksploitasi terhadap sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui tersebut maka pemerintah mengupayakan untuk memaksimalkan produksi listrik yang berasal dari energi terbarukan yang salah satunya adalah tenaga surya.

Daerah ekuator menjadikan Indonesia yang membentang dari 6°LU sampai 11°LS dan 95°BT sampai 141°BT, memiliki lama penyinaran matahari yang lebih banyak dari belahan bumi lain. Potensi energi inilah yang dapat dioptimalkan sebagai energi terbarukan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya(PLTS) [3] [4]. Penggunaan pembangkit listrik menggunakan tenaga surya

ini dapat menjangkau wilayah pelosok yang ada di Indonesia karena persebaran radiasi matahari yang hampir merata di seluruh wilayah yakni  $4,5 \text{ kWh/m}^2$  setiap harinya untuk daerah Indonesia bagian barat dengan variasi tiap bulan sebesar 10% dan  $5,1 \text{ kWh/m}^2$  setiap harinya untuk daerah Indonesia bagian timur dengan variasi bulanan 9% [5]. Meningkatkan produksi listrik nasional dari energi terbarukan maka dibuatlah strategi untuk memenuhi target tersebut, dalam outlook dari Dirjen Energi Nasional direncanakan pada tahun 2019 kapasitas PLTS mencapai 300 MW dan pada tahun 2025 mencapai 8GW dan menjadi tiga sumber energi dari energi terbarukan yang memiliki perkembangan kapasitas yang besar dengan pembangkit listrik dari gelombang air laut serta angin [2]. Namun sayangnya pemanfaatan energi surya ini masih kurang optimal, hanya 8,73MW atau setara dengan 0,02% dari jumlah total energi listrik yang bersumber dari energi terbarukan 4.109,09 MW di tahun 2014. Hal ini disebabkan masih rendahnya efisiensi dari PV yang digunakan berkisar antara 10% sampai 15% sehingga tidak dapat optimal memperoleh energi dari radiasi matahari [4] [6]. Sangat penting membuat konfigurasi PV menghasilkan daya *output* dapat selalu optimal.

Efisiensi PV sangat penting diperhatikan karena dibutuhkan modul PV yang dapat menghasilkan daya maksimal dari radiasi yang dipancarkan matahari. Namun terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi besarnya efisiensi dari suatu modul PV selain dari kualitas modul PV yang digunakan yaitu faktor mekanis atau instalasi dan faktor lingkungan, faktor mekanis untuk meningkatkan efisiensi diantaranya adalah menggunakan reflektor [7] dan penjejak matahari [8] [9]. Faktor lingkungan yang mempengaruhi efisiensi PV antara lain temperatur [10], kelembapan [11] [10], kecepatan angin [12], dan iradiansi [13]. Faktor lingkungan inilah yang akan menjadi *input* dari modul PV dan sebagai *output*nya berupa arus dan tegangann. Terdapat parameter PV yang harus dipahami sehingga hubungan antara *input* dan *output* dapat diketahui, parameter tersebut adalah: *photocurrent*( $I_{PH}$ ), arus saturasi dioda( $I_0$ ), *ideality factor diode*( $A$ ), resistansi seri( $R_S$ ), dan *paralel resistance*( $R_{SH}$ ) [14]. Parameter

tersebut bergantung pada model apa yang digunakan. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Mohammed Louzazni dan Ahmed Khouya di tahun 2016 menggunakan model lima parameter dengan metode optimisasi menggunakan *Firefly Algorithm* didapatkan hasil FA memiliki nilai RMSE MAE, dan SSE yang lebih rendah dari metode lain seperti GA, PS, SA, NM-PSO namun untuk hasil sendiri masih lebih optimal menggunakan metode lain. Dan pada paper tersebut penulis mengatakan bahwa FA sangat baik digunakan untuk kondisi iradiansi yang rendah namun butuh metode lain untuk mengoptimalkan solusi global. Sedangkan di tahun 2018, Abdelghani Harrag dan Sabir Messalti melakukan ekstraksi dengan menggunakan tiga model yakni *five parameter model*, dan *seven parameter model* dengan *input* berupa temperatur. Metode optimisasi yang digunakan berupa kombinasi metode optimisasi yang diusulkan dengan nama *Hybrid Firefly and Pattern Search Algorithm* yang dibandingkan dengan beberapa metode optimisasi *metaheuristic* lain dan didapatkan hasil bahwa metode ini memiliki nilai RMSE yang lebih baik daripada metode *Firefly* dan *Pattern Search* untuk dua model pendekatan *single* maupun *double*. Kekurangan dari penggunaan metode *Firefly Algorithm* ini kurang dapat mengoptimalkan parameter seperti arus yang dibangkitkan oleh foton daripada metode lain, sehingga pada paper kali ini peneliti menggunakan metode kombinasi antara *Firefly Algorithm* dan *Particle Swarm Optimization* menggunakan nama *Particle Swarm Modified Firefly Algorithm* (PSMFA) menggunakan *input* empat faktor lingkungan diantaranya adalah temperatur, iradiansi, kelembapan, dan kecepatan angin. Diharapkan dengan metode PSMFA dapat mengoptimalkan parameter PV dan mempercepat konvergensi.

## 1.2 Rumusan Masalah

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

- a. Berapa nilai ekstraksi parameter yang didapatkan dengan pendekatan model tiga parameter, model lima parameter, dan model tujuh parameter?

- b. Berapa nilai optimisasi parameter *photovoltaic* menggunakan metode *Particle Swarm Modified Firefly Algorithm*(PSMFA)?
- c. Bagaimana perbandingan nilai optimisasi parameter PV menggunakan metode *Particle Swarm Modified Firefly Algorithm* (PSMFA), *Particle Swarm Optimization* (PSO), dan *Firefly Algorithm* (FA)?

### 1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah :

- a. Mendapatkan nilai ekstraksi parameter yang didapatkan dengan pendekatan model tiga parameter, model lima parameter, dan model tujuh parameter.
- b. Mendapatkan nilai optimisasi parameter PV menggunakan metode *Particle Swarm Modified Firefly Algorithm*(PSMFA).
- c. Mendapatkan perbandingan nilai optimisasi parameter PV menggunakan metode *Particle Swarm Modified Firefly Algorithm*(PSMFA), *Particle Swarm Optimization*(PSO), dan *Firefly Algorithm*(FA).

### 1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

- a. *Photovoltaic* yang digunakan adalah jenis *polycrystalline* dengan nama dagang ST-Solar.
- b. Model yang digunakan antara lain model tiga parameter, model lima parameter, dan model tujuh parameter
- c. Variabel-variabel yang mempengaruhi *photovoltaic* adalah temperatur, irradiansi, kecepatan angin dan *relative kelembapan*
- d. Metode optimisasi menggunakan *Particle Swarm Modified Firefly Algorithm*(PSMFA).
- e. Metode optimisasi pembanding menggunakan *Particle Swarm Optimization*(PSO) dan *Firefly Algorithm*(FA)
- f. Metode validasi yang digunakan adalah model PV di Matlab2016a.



- g. Lokasi pengambilan data dilakukan di *Rooftop* Gedung Pasca Sarjana Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, ITS
- h. Pengambilan data dilakukan pada tanggal 27 Maret 2019 hingga 10 April 2019 pukul 07.00 WIB hingga 17.00 WIB dengan interval pengambilan data satu jam

### **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 TINJAUAN PUSTAKA**  
Pada bab II ini dibahas mengenai teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan, seperti teori *photovoltaic*, *Particle Swarm Optimization*(PSO), *Firefly Algorithm*(FA), *Particle Swarm Modified Firefly Algorithm*(PSMFA)
- 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 ekstraksi parameter PV, validasi data, dan hasil optimisasi
- 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.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

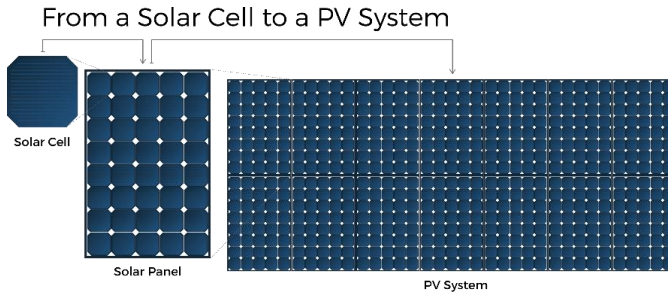
Pada bagian ini berisi tentang teori yang berkaitan dengan tugas akhir, diantaranya adalah *photovoltaic*, pemodelan matematis, optimisasi menggunakan metode *firefly algorithm*, optimisasi menggunakan *particle swarm optimization*, dan optimisasi menggunakan *particle swarm modified firefly algorithm*.

#### **2.1 Photovoltaic (PV)**

*Photovoltaic* atau PV merupakan bagian utama dari sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Pada tahun 1839 ilmuwan Perancis, Edmund Becquerel pertama kali menyelidiki timbulnya tegangann pada suatu larutan yang memiliki konduktivitas lemah dan didalamnya terdapat dua elektroda identik yang diterangi cahaya [15]. *Photovoltaic effect* adalah proses fisik dasar bagaimana sel PV dapat mengubah energi surya menjadi listrik. Cahaya matahari terdiri dari banyak foton atau partikel energi surya. 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, yaitu tipe P dan tipe N [16].

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) [16].



**Gambar 2. 1** Modul *Photovoltaic*

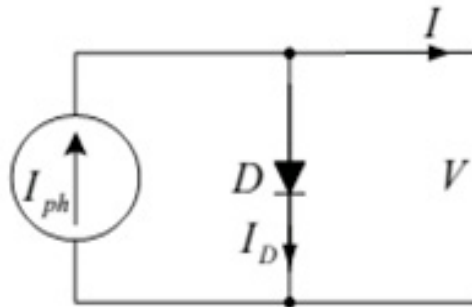
Sumber : [17]

Sistem *photovoltaic* tersusun dari modul yang didalamnya terdapat banyak sel *photovoltaic* tersusun secara seri dan *paralel*. Daya yang diproduksi dari *single diode* kurang terpenuhi untuk digunakan secara komersial, sehingga modul dihubungkan menjadi *array* untuk dapat menyediakan beban. Modul dapat juga dihubungkan secara seri untuk mendapatkan peningkatan tegangan atau *paralel* untuk mendapatkan penurunan arus [18]. Terdapat dua tipe sel PV yaitu sel silikon kristal dan lembar tipis. PV dengan tipe sel silikon kristal dibagi menjadi dua jenis yakni *Monocrystalline Silicone* dan *Polycrystal Silicone*. *Monocrystalline Silicone* memiliki efisiensi lebih besar yakni sebesar 15%, sedangkan untuk *Polycrystal Silicone* sebesar 12%. Besarnya efisiensi ini erat kaitannya dengan material penyusun kedua jenis ini, *Monocrystalline Silicone* tersusun atas silikon dengan satu struktur kristal yang kontinu, sedangkan *Polycrystal Silicone* tersusun dari berbagai macam serat kristal silikon seperti lembaran silikon, *stainless steel*, keramik dan kaca. Untuk jenis *thin film* memiliki efisiensi 5%-6% yang tersusun dari silikon dengan struktur lapisan kristal yang tipis sehingga sel yang dihasilkan lebih tipis daripada

jenis sel yang lain. Sel yang termasuk jenis *thin film* antara lain: *amorphous silicon* (a-Si), *cadmium telluride* (CdTe), *copper indium diselenide* (CIS), *gallium arsenide* (GaAs), *titanium dioxide gratzel cell* (TiO<sub>2</sub>). Tipe sel silikon kristal memiliki jangkauan spektrum cahaya yang lebih luas daripada *thin film* yakni sekitar 380nm sampai 1050nm, sedangkan untuk *thin film* berkisar antara 500nm hingga 840nm. sel silikon kristal memiliki efisiensi yang lebih besar yakni bernilai antara 18% hingga 24%, sedangkan *thin film* bernilai 10% hingga 12,4% [19]. Terdapat *Standart Test Condition* (STC) berdasarkan uji IEC 61215/IEC 61646 yang terdapat pada sertifikat pengukuran yang dikeluarkan oleh TÜV *immissionsschutz und Energiesysteme GmbH*, Cologne, Jerman. STC bernilai 25°C untuk temperatur modul, iradiansi matahari sebesar 1000 W/m<sup>2</sup>, dan massa udara sebesar 1.5 [20]. Konfigurasi dari rangkaian PV dapat dilihat pada gambar 2.2 hingga gambar 2.4.

### 2.1.1 Rangkaian Sel *Photovoltaic* Model Ideal

Pendekatan pertama untuk mengetahui model matematis sel *photovoltaic* salah satunya didapat melalui rangkaian sel *photovoltaic* model ideal sebagai berikut:



**Gambar 2. 2** Rangkaian Sel *Photovoltaic* Model Ideal  
Sumber: [21]

Dengan menggunakan Hukum Kirchoff I maka rangkaian diatas dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$I = I_{ph} - I_D \quad (2.1)$$

Dimana nilai  $I_D$  dapat dicari melalui persamaan ini:

$$I_D = I_0 \left( e^{\frac{V}{n_s V_t}} - 1 \right) \quad (2.2)$$

Persamaan 2.2 disubstitusikan ke persamaan 2.1 sehingga didapatkan persamaan umum untuk model ideal adalah sebagai berikut [22]:

$$I = I_{ph} - I_0 \left( e^{\frac{V}{n_s V_t}} - 1 \right) \quad (2.3)$$

Dimana nilai tegangann termal dan arus saturasi dioda adalah:

$$V_t = \frac{n_s k T}{q} \quad (2.4)$$

$$I_0 = I_{scn} \exp \left[ - \frac{q V_{ocn}}{A k N_s T} \right] \quad (2.5)$$

Hubungan iradiansi matahari dengan arus untuk ketiga model dinyatakan sebagai berikut [14] [13]:

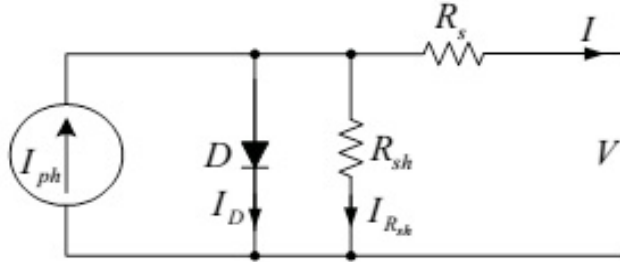
$$I_{ph} = [I_{scr} + K_i (T - T_r)] \frac{S}{S_r} \quad (2.6)$$

Dengan metode analitis *ideality factor diode* dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$A = \frac{q(2V_{mp} - V_{ocn})}{N_s k T \left[ \ln \left( 1 - \frac{I_{mp}}{I_{scn}} \right) + \frac{I_{mp}}{(I_{scn} - I_{mp})} \right]} \quad (2.7)$$

### 2.1.2 Rangkaian Sel *Photovoltaic* Dioda Tunggal

Pendekatan pertama untuk mengetahui model matematis sel *photovoltaic* salah satunya didapat melalui rangkaian sel *photovoltaic* model diode tunggal dapat dilihat pada gambar 2.3.



**Gambar 2. 3** Rangkaian Sel *Photovoltaic* Model Dioda Tunggal  
Sumber: [21]

Persamaan umum untuk pemodelan PV dengan pendekatan diode tunggal didapat dari Hukum Kichoff I seperti ada persamaan 2.1 dinyatakan dengan persamaan 2.8 [22] [14]:

$$I = I_{ph} - I_D - I_{sh} \quad (2.8)$$

Sehingga persamaan untuk endekatan *single diode* sebagai berikut:

$$I = I_{ph} - I_0 \left( e^{\frac{V+IR_s}{n_s V_t}} - 1 \right) - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} \quad (2.9)$$

Untuk mendapatkan besarnya hambatan seri didapat dari persamaan berikut:

$$R_s = \frac{V_{mp}}{I_{mp}} - \frac{2V_{mp} - V_{ocn}}{(I_{scn} - I_{mp}) \left[ \ln \left( 1 - \frac{I_{mp}}{I_{scn}} \right) + \frac{I_{mp}}{(I_{scn} - I_{mp})} \right]} \quad (2.10)$$

Untuk mendapatkan *parallel resistance* dapat dicari dari persamaan berikut:

$$R_{sh} = \sqrt{\frac{R_s}{\frac{qI_0}{AkN_sT} \exp\left(\frac{q(I_{scn}R_s)}{AkN_sT}\right)}} \quad (2.11)$$

Dalam bentuk lain, I dan V dapat juga dihitung dengan menggunakan fungsi iradiansi dan temperatur sebagai berikut [8]:

$$I = \left[ \left( \mu(T - T_{ref}) \left( \frac{s}{s_{ref}} \right) + \left( \frac{s}{s_{ref}} - 1 \right) \right) I_{sc} \right] + I_{mp} \quad (2.12)$$

$$V = V_{mp} + \Phi(T - T_{ref}) + R_{pV} \Delta I \quad (2.13)$$

*Output* dari PV selain dipengaruhi oleh iradiansi dan suhu, juga dipengaruhi oleh kecepatan angin dan *relative kelembapan* dengan persamaan:

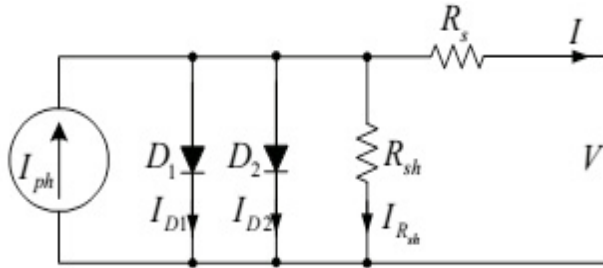
$$T_{module} = w1 \times T_{ambient} + w2 \times Irradiance + w3 \times wind\ speed + w4 \times RH + Contant \quad (2.14)$$

w1, w2, w3, w5 dan constant dapat dilihat dari tabel koefisien parameter- parameter suhu akhir pada PV yang dilampirkan di bagian lampiran. Dari persamaan 2.5, dapat diketahui bahwa kecepatan angin dan RH berpengaruh pada temperatur PV. Semakin tinggi kecepatan angin maka temperatur akan semakin rendah dan berakibat daya yang dikeluarkan akan semakin tinggi. Namun, bila RH semakin tinggi maka temperatur akan semakin tinggi dan menurunkan daya dari PV [23].

### 2.1.3 Rangkaian Sel *Photovoltaic* Dioda Ganda

Pendekatan pertama untuk mengetahui model matematis sel *photovoltaic* salah satunya didapat melalui rangkaian sel *photovoltaic* model diode ganda sebagai berikut:





**Gambar 2. 4** Rangkaian Sel *Photovoltaic* Model Dioda Ganda  
 Sumber: [21]

Hubungan antara tegangann dan arus yang keluar dapat diketahui berdasarkan persamaan berikut:

$$I = I_{ph} - I_{D1} - I_{D2} - I_{sh} \quad (2.15)$$

Dimana nilai  $I_{o1}$  sama dengan nilai  $I_{o2}$  didapat melalui persamaan 2.5 sedangkan  $I_{D1}$  dan  $I_{D2}$  dinyatakan sebagai berikut:

$$I_{D1} = I_{o1} \left( e^{\frac{V+IR_s}{n_s V_{t1}}} - 1 \right) \quad (2.16)$$

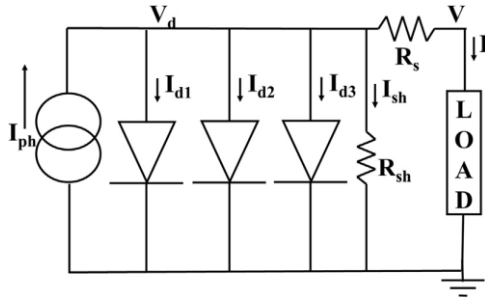
$$I_{D2} = I_{o2} \left( e^{\frac{V+IR_s}{n_s V_{t2}}} - 1 \right) \quad (2.17)$$

Sehingga didapatkan persamaan akhir sebagai berikut:

$$I = I_{ph} - I_{o1} \left( e^{\frac{V+IR_s}{n_s V_{t1}}} - 1 \right) - I_{o2} \left( e^{\frac{V+IR_s}{n_s V_{t2}}} - 1 \right) - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} \quad (2.18)$$

### 2.1.4 Rangkaian Sel *Photovoltaic* Tiga Dioda

Pendekatan pertama untuk mengetahui model matematis sel *photovoltaic* salah satunya didapat melalui rangkaian sel *photovoltaic* model tiga dioda sebagai berikut:



**Gambar 2. 5** Rangkaian Sel *Photovoltaic* Model Tiga Dioda  
*Sumber:* [24]

Hubungan antara tegangann dan arus yang keluar dapat dimodelkan sebagai berikut:

$$I = I_{ph} - I_{D1} - I_{D2} - I_{D3} - I_{sh} \quad (2.19)$$

Atau untuk arus *output* PV dapat dihitung sebagai berikut:

$$I = I_{ph} - I_{01} \left( e^{\frac{V+IR_s}{n_s V_{t1}}} - 1 \right) - I_{02} \left( e^{\frac{V+IR_s}{n_s V_{t2}}} - 1 \right) - I_{03} \left( e^{\frac{V+IR_s}{n_s V_{t3}}} - 1 \right) - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} \quad (2.20)$$

## 2.2 Particle Swarm Optimization (PSO)

*Particle Swarm Optimization* (PSO) merupakan suatu metode optimisasi yang termasuk dalam *metaheuristic algorithm* suatu algoritma yang dikembangkan berdasarkan kecerdasan dari *swarm* yang terinspirasi dari tingkah laku sekumpulan burung, sekumpulan ikan, dan sekumpulan lebah [21] [25]. Pada algoritma ini, beberapa *agent* yang kooperatif akan bertukar informasi yang didapatkan selama proses pencarian. Setiap *agent* atau yang disebut partikel mengikuti dua aturan sederhana yaitu, mengikuti partikel yang bekerja baik dan bergerak menuju posisi terbaik yang ditemukan oleh partikel tersebut. Dengan aturan sederhana tersebut, maka setiap partikel akan akan mencapai solusi yang optimal atau mendekati nilai yang maksimal [26]. PSO menggunakan partikel untuk mendapatkan solusi yang terbaik.

Metode ini pertama kali dikenalkan oleh Eberhart dan Kennedy di tahun 1995. PSO memiliki kemampuan konvergensi yang lebih cepat pada beberapa permasalahan [27] [28]. Metode ini melibatkan dua variabel yang yakni kecepatan dan posisi. Setiap partikel dalam grup akan bergerak menuju suatu posisi dengan kecepatan terbaik sebelumnya ( $P_{best}$ ) dan kecepatan terbaik partikel lain ( $g_{best}$ ). Pada ruang pencarian  $n$ - dimensi,  $X_i=(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ , pada *input* ditentukan nilai  $X_i$  dan  $V_i$  serta fungsi objektifnya [29].

$$V_i(i+1)=\omega V_i(i)+C_1\phi_1(P_{best}-X_i(i))+C_2\phi_2(g_{best}-X_i(i)) \quad (2.21)$$

$$X_i(i+1)=X_i(i)+V_i(i+1) \quad (2.22)$$

$c_1$  dan  $c_2$  yang disebut sebagai *acceleration coefficient* serta  $w$  yang disebut sebagai *inertia weight* mempengaruhi eksplorasi lokasi dan pencapaian solusi minimum global [30].

### 2.3 Firefly Algorithm (FA)

*Firefly algorithm* (FA) pertama kali diperkenalkan oleh Yang di tahun 2008. FA merupakan algoritma *metaheuristic* yang terinspirasi dari perilaku kunang-kunang (*firefly*). Terdapat tiga aturan utama yang berlaku pada algoritma ini, antara lain:

1. Kunang-kunang merupakan hewan yang memiliki kelamin seragam
2. Arah gerak kunang-kunang menuju kecerahan yang tinggi, jika kecerahan sama maka akan bergerak secara acak. Jadi dapat dikatakan jika ketertarikan sebanding dengan kecerahan dan berbanding terbalik dengan jarak
3. Fungsi objektif berhubungan dengan kecerahan kunang-kunang [25] [31] dinyatakan dalam persamaan 2.23

$$\beta = \beta_{\min} + (\beta_0 - \beta_{\min}) e^{-\gamma r^2} \quad (2.23)$$

Dimana  $r$  merupakan jarak antara dua kunang-kunang,  $\beta_0$  merupakan ketertarikan saat  $r=0$ ,  $\beta$  merupakan ketertarikan saat

berjarak sejauh  $r$ ,  $\beta_{\min}$  merupakan ketertarikan saat nilai  $r$  mendekati tak hingga, dan  $\gamma$  merupakan koefisien serapan cahaya [32]. Atau persamaan tersebut dapat disederhanakan menjadi [33]:

$$\beta = \beta_0 e^{(-\gamma r^2)} \quad (2.24)$$

Untuk mengetahui jarak kedua kunang-kunang ( $i$  dan  $j$ ) dalam bidang Kartesian didapat melalui persamaan 2.25 berikut:

$$r_{ij} = |x_i - x_j| = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_{i,k} - x_{j,k})^2} \quad (2.25)$$

Sedangkan pergerakan ditentukan melalui persamaan 2.26 berikut [32]:

$$x_{ij} = x_i + \beta(x_i - x_j) + \alpha \epsilon_i \quad (2.26)$$

Dengan memasukkan persamaan 2.24 kedalam persamaan 2.26 didapatkan perpindahan menjadi persamaan 2.27 berikut:

$$x_{ij} = x_i + \beta_0 e^{(-\gamma r^2)}(x_i - x_j) + \alpha \epsilon_i \quad (2.27)$$

Dimana  $\beta$  merupakan ketertarikan,  $\alpha$  merupakan parameter penentu arah yang bergantung terhadap waktu. Nilainya akan berkurang dengan bertambahnya waktu mendekati nol.  $\epsilon_i$  merupakan vektor nilai acak dari variabel bebas acak dengan rentang -0,5 sampai 0,5 [32]. Dari persamaan 2.27 dapat diketahui bahwa terdapat tiga suku yang masing-masing menunjukkan lokasi kunang-kunang di suku pertama, persamaan ketertarikan pada suku kedua, dan pada suku ketiga menunjukkan vektor nilai acak. Sehingga untuk pergerakan kunang-kunang dinyatakan sebagai:

$$x_{ij} = x_i + \alpha \left( \text{rand} - \frac{1}{2} \right) \quad (2.28)$$

Nilai  $\alpha$  merupakan nilai acak yang dinyatakan pada rentang nilai antara 0 hingga 1 [33]. Berbeda dengan PSO dan *Genetic Algorithm*, *Firefly Algorithm* tidak melibatkan kecepatan partikel

dalam pencarian solusi minimum globalnya serta tidak memiliki memori terhadap posisi terbaik tiap partikelnya (pbest) [30].

## 2.4 Particle Swarm Modified Firefly Algorithm (PSMFA)

Pada metode ini PSO digunakan untuk meningkatkan konvergensi dari FA dan untuk menghindari kondisi optimal di lokal minimum [33]. Dengan kemampuan konvergensi yang cepat tersebut, PSO digunakan untuk mencari global minimum sedangkan FA untuk mendapatkan lokal minimum. Modifikasi suatu algoritma dapat dilakukan dengan melakukan beberapa hal seperti sebagai berikut:

### 1. Pengubahan parameter

Ada beberapa parameter di FA maupun PSO yang mana mempengaruhi kinerja kedua metode tersebut. Pada FA, nilai alfa yang besar menjadikan kemampuan eksplorasi yang optimal sedangkan nilai alfa yang kecil memungkinkan eksploitasi yang optimal. Sedangkan  $w$  pada PSO yang besar baik untuk kemampuan mendapatkan solusi global, sedangkan nilai  $w$  yang kecil baik untuk kemampuan pencarian lokal.

### 2. Pengubahan persamaan

Persamaan yang digunakan pada PSO dan FA mudah diaplikasikan tapi cenderung terjadi kesalahan dalam konvergensi ketika dilakukan optimisasi pada permasalahan kompleks. Seperti metode yang diajukan oleh Veeramachaneni yakni *fitness-distance-ratio* (FDR) dengan jarak Euclidian serta fungsi objektif yang bergantung pada kriteria contoh pemilihan untuk spesifik partikel.

### 3. Strategi hibridisasi

Setiap metode optimisasi memiliki kelebihan yang berbeda sehingga menggabungkannya menjadi salah satu cara untuk mendapatkan kelebihan dari beberapa metode yang digabungkan dalam memecahkan persoalan yang kompleks. Penggabungan PSO dan FA ini diharapkan akan memiliki kemampuan konvergensi yang lebih cepat dan kualitas solusi yang lebih tinggi.

Dalam sebuah paper Ibrahim Berkan Aydilek digunakan sebuah persamaan yang memodifikasi *weight inertia* dengan persamaan 2.29 yang mana telah dilakukan pembuktian sebelumnya di paper yang dibuat oleh A. Nickabadi, M.M. Ebadzadeh, dan R. Safabakhsh adalah sebagai berikut [34]:

$$w = w_i - \left( \frac{(w_i - w_f)}{\text{iteration}_{max}} \right) \times \text{iteration} \quad (2.29)$$

Sedangkan untuk mendapatkan posisi dan kecepatan didapatkan dengan persamaan berikut [30]:

$$X_i(t+1) = X_i(t) + \beta_0 e^{(-\gamma r_{ij}^2)} (X_i(t) - gbest^{t-1}) + \alpha \epsilon_i \quad (2.30)$$

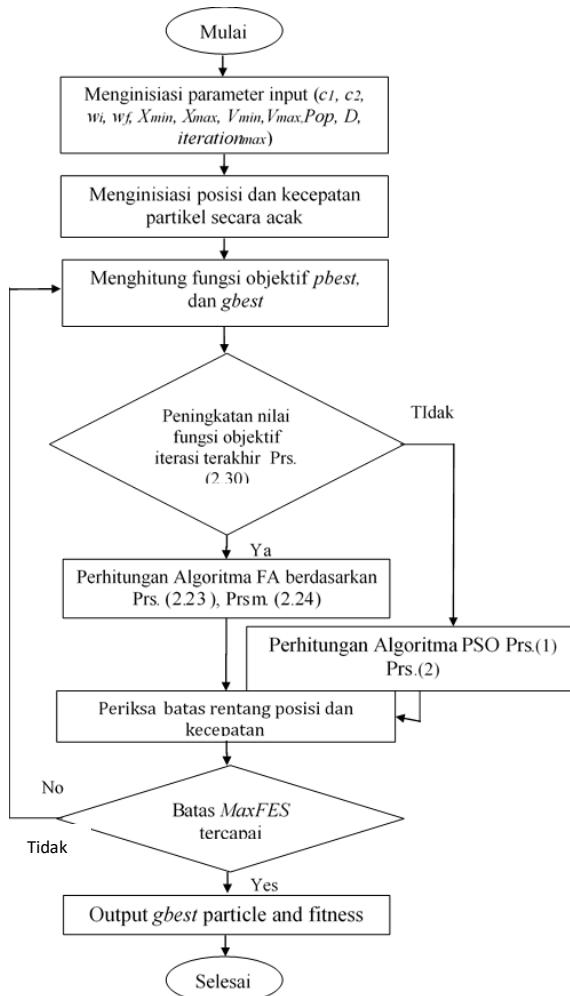
$$V_i(t+1) = X_i(t+1) - X_{i\_temp} \quad (2.31)$$

Gambar 2.7 menunjukkan diagram alir dari metode PSMFA yang dibagi menjadi 5 tahapan. Tahap pertama adalah PSMFA *Initialitation*. Pada tahap ini parameter yang diinisialisasi antara lain populasi, maksimum iterasi, *acceleration coefficient* (c1 dan c2), *inertia weight* (w), *initial value of linier decreasing inertia weight* (wi), *final value of linier decreasing inertia weight* (wf), kecepatan maksimum dan minimum, *absorption coefficient* ( $\gamma$ ), intensitas saat jarak bernilai 0 ( $\beta_0$ ). Tahap kedua dilakukan inisialisasi posisi secara acak dan kecepatan awal. Pada tahap ketiga dilakukan perhitungan dari fungsi objektif, pbest, dan gbest. Terdapat dua kondisi bernilai benar apabila nilai dari fungsi objektif lebih kecil sama dengan gbest dan bernilai salah apabila fungsi objektif pada lebih besar dari gbest, yang dinyatakan dalam fungsi sebagai berikut:

$$f(i, t) = \begin{cases} \text{true, if } \text{fitness}(\text{particle}_i^t) \leq gbest^{t-1} \\ \text{false, if } \text{fitness}(\text{particle}_i^t) > gbest^{t-1} \end{cases} \quad (2.32)$$

Apabila bernilai salah maka dilakukan perhitungan kecepatan dan posisi sesuai persamaan 2.21 dan 2.22, sedangkan jika bernilai

benar maka dilakukan perhitungan untuk nilai posisi dan kecepatan seperti pada persamaan 2.30 dan 2.31. Berikut merupakan diagram alir PSMFA.



**Gambar 2. 6** Diagram Alir PSMFA  
Sumber: [35]

Tahap keempat dilakukan pemeriksaan bahwa posisi dan kecepatan sesuai dengan batas yang ditentukan. Untuk posisi ditentukan dengan batas atas dan batas bawah variabel sedangkan untuk kecepatan ditentukan dengan kecepatan minimal dan kecepatan maksimal. Selanjutnya terdapat kondisi jika MAXfes belum tercapai maka dilakukan perhitungan fungsi objektif, pbest, dan gbest di tahap ketiga, apabila sudah tercapai maka hasil akhir berupa nilai minimum global dari fungsi objektif

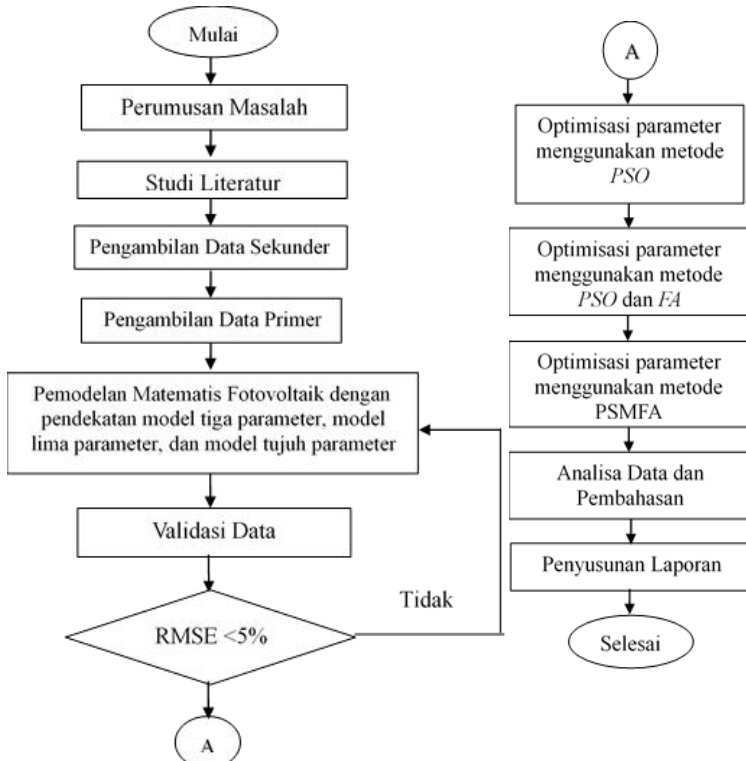


## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian tentang tahapan dalam melaksanakan penelitian tugas akhir ini, penjelasan tahapan, dan parameter yang terkait dengan tugas akhir ini.

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian tugas akhir ini, dilakukan dalam beberapa tahapan yang digambarkan dalam suatu diagram alir. Berikut merupakan diagram alir pengerjaan tugas akhir:



**Gambar 3. 1** Diagram Alir Penelitian

Berikut merupakan penjelasan dari diagram alir penelitian:

### 3.1.1 Perumusan Masalah

Dalam mengerjakan tugas akhir ini terdapat beberapa rumusan masalah yang mana dari proses tahapan yang dilalui dapat terjawab. Rumusan masalah yang ada antara lain tentang nilai parameter dari modul PV berdasarkan model tiga parameter, model lima parameter, dan model tujuh parameter, hasil optimisasi menggunakan metode PSMFA, dan hasil perbandingan optimisasi PSMFA dengan PSO dan FA.

### 3.1.2 Studi Literatur

Studi literatur dibutuhkan untuk menunjang pengetahuan penulis terhadap topik tugas akhir yang dikerjakan baik dari *handbook*, jurnal dan laman internet. Beberapa pengetahuan mengenai PV, metode ekstraksi parameter yang sudah dipublikasi, metode optimisasi PSO, metode optimisasi FA, dan metode optimisasi gabungin antara PSO dan FA.

### 3.1.3 Pengambilan Data Sekunder

Data sekunder yang diperlukan pada tahapan ekstraksi parameter modul PV adalah *datasheet* modul PV yang digunakan dengan nama dagang ST-Solar.

**Tabel 3. 1** Spesifikasi Modul PV

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

### 3.1.4 Pengambilan Data Primer

Selain dibutuhkannya data sekunder berupa *datasheet* modul PV dalam proses pengerjaan tahapan ekstraksi diperlukan variabel *input* berupa temperatur, iradiansi, kecepatan udara, dan kelembapan. Variabel adalah suatu besaran fisis dari lingkungan yang memberikan pengaruh terhadap *output* PV. Selain keempat variabel *input*, dilakukan pula proses pengukuran *output* modul PV berupa arus dan tegangann. Alat ukur yang digunakan antara lain termometer inframerah untuk mengukur temperatur modul PV, *pyranometer* untuk mengukur iradiansi, anemometer untuk mengukur kecepatan angin, dan RHmeter untuk mengukur kelembapan.



**Gambar 3. 2** Set-up Alat

Pengambilan data primer dilakukan di Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, ITS. Pengambilan data dilakukan pada tanggal 27 Maret 2019 hingga 10 April 2019 pukul 07.00 WIB hingga 17.00 WIB dengan interval pengambilan data satu jam. Data lampiran dapat dilihat pada Lampiran 1.

### 3.1.5 Pemodelan Matematis

Pemodelan matematis dilakukan dengan empat pendekatan, yakni pendekatan tiga parameter, lima parameter, tujuh parameter, dan sembilan parameter. Parameter merupakan suatu nilai yang menyatakan kondisi dari suatu objek yang diamati. Pemodelan dengan tiga parameter dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai

*ideality factor diode* ( $A$ ), *photocurrent* ( $I_{ph}$ ), dan arus saturasi ( $I_o$ ). Pemodelan dengan lima parameter dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai *ideality factor diode* ( $A$ ), *photocurrent* ( $I_{ph}$ ), arus saturasi ( $I_o$ ), hambatan seri ( $R_s$ ), dan *paralel resistance* ( $R_{sh}$ ). Pemodelan dengan tujuh parameter dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai *ideality factor diode* ( $A$ ) pertama dan kedua, *photocurrent* ( $I_{ph}$ ), arus saturasi ( $I_o$ ) pertama dan kedua, hambatan seri ( $R_s$ ), dan *paralel resistant* ( $R_{sh}$ ). Pemodelan dengan sembilan parameter dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai *ideality factor diode* ( $A_1$ ) pertama dan *ideality factor diode* ( $A_2$ ) kedua, *photocurrent* ( $I_{ph}$ ), arus saturasi ( $I_{o1}$ ) pertama dan arus saturasi ( $I_{o2}$ ) kedua, hambatan seri ( $R_s$ ), dan *paralel resistant* ( $R_{sh}$ ).

### 3.1.6 Validasi Data

Proses validasi data dilakukan simulasi dengan model modul PV di Matlab 16a dengan nilai *input* yang sama maka didapatkan besar arus dan tegangann hasil simulasi. Hasil perhitungan dibandingkan dengan hasil simulasi serta hasil simulasi dibandingkan pula dengan hasil pengukuran menggunakan modul PV *fix* dan menggunakan *tracker*. Dari perbandingan ini didapatkan nilai *error*. Terdapat acuan nilai *error* yang digunakan yakni *Root Mean Square Error* (RMSE). Dimana *error* tersebut nilainya harus leibh kecil daripada 5% untuk mendapatkan tingkat kepercayaan 95%

### 3.1.7 Optimisasi Menggunakan PSO

Ketiga metode optimisasi yang digunakan memiliki nilai iterasi maksimal sebesar 50 dan jumlah populasi sebesar 20. Metode optimisasi menggunakan PSO membutuhkan beberapa parameter seperti tercantum pada Tabel 3.2 sebagai berikut:

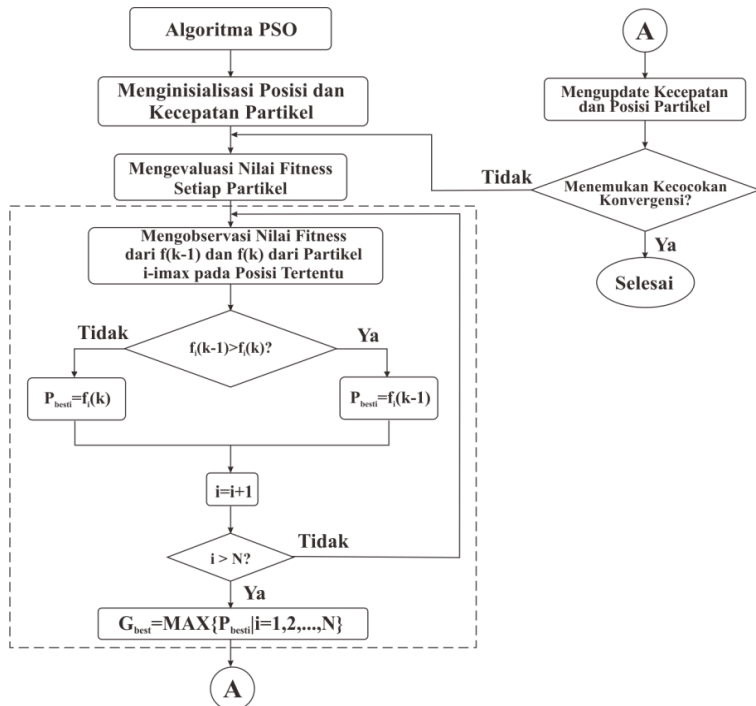
**Tabel 3. 2** Parameter PSO

Parameter	Symbol	Nilai
<i>Inertia Weight</i>	w	1
<i>Inertia Weight Damping Ratio</i>	wdamp	0.99
<i>Personal Learning Coefficient</i>	c1	2
<i>Global Learning Coefficient</i>	c2	2

Tabel 3.2 Lanjutan

Parameter	Simbol	Nilai
Initialization Velocity	$V_0$	0
Maximum Velocity	VelMax	$=0.1*(VarMAX - VarMin)$
Minimum Velocity	VelMin	$-VelMax$

Untuk mencari posisi dan kecepatan partikel didapat melalui persamaan 2.21 dan 2.22. Berikut diagram alir PSO:



Gambar 3.3 Diagram Alir PSO

Sumber: [36]

Metode PSO akan dibagi menjadi 5 tahapan. Tahap pertama adalah *PSO Initialitation*. Pada tahap ini *particle* akan diinisiasi

secara *random* mengikuti distribusi pada ruang pencarian (*search space*). Parameter- parameter yang ditentukan antara lain adalah jumlah partikel, koefisien *cognitive*, koefisien *social*, bobot inersia maksimum dan bobot inersia minimum, serta posisi awal dan kecepatan awal partikel. Kecepatan awal ditentukan memiliki nilai 0. Tahap kedua yaitu *Fitness Evaluation* dengan cara mengevaluasi nilai *fitness* dari setiap partikel.

Tahap ketiga merupakan *update individual and Global Best Data* dengan cara membandingkan perhitungan nilai *fitness* yang baru dengan nilai *fitness* yang sebelumnya dan mengganti  $P_{best}$  dan  $G_{best}$  sesuai dengan nilai *fitness* yang ditunjukkan. Apabila nilai *fitness* yang muncul lebih kecil daripada nilai *fitness* sebelumnya, maka nilai  $P_{best}$  dan  $G_{best}$  akan diperbarui, namun apabila nilai *fitness* lebih besar dari nilai sebelumnya maka akan dilanjutkan dengan melakukan iterasi berikutnya. Tahap keempat adalah memperbarui kecepatan dan posisi setiap partikel menggunakan persamaan 5 dan persamaan 6 sesuai dengan nilai  $P_{best}$  dan  $G_{best}$  yang dihasilkan oleh fungsi *Fitness* yang paling kecil. Dan tahap terakhir adalah *Convergence Determination* dengan cara mengecek kriteria dari *convergence*. Terdapat dua konvergensi yang digunakan, yaitu apabila kecepatan dari semua partikel lebih kecil daripada threshold atau perhitungan telah sampai pada iterasi maksimum [36].

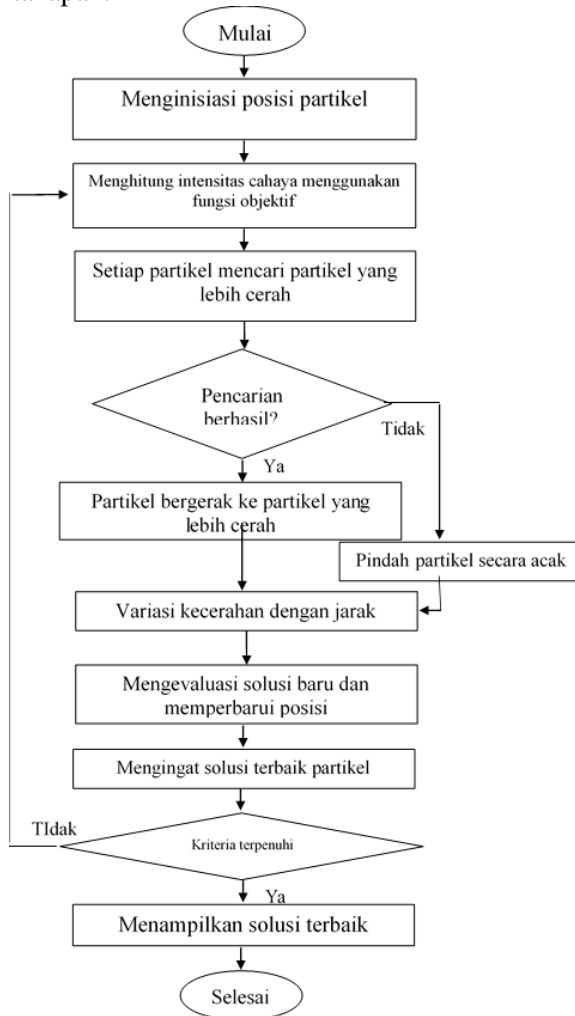
### 3.1.8 Optimisasi Menggunakan FA

Diagram alir FA dapat dilihat pada gambar 3.2. Metode optimisasi menggunakan FA membutuhkan beberapa parameter seperti tercantum pada Tabel 3.3 sebagai berikut:

**Tabel 3. 3** Parameter FA

Parameter	Symbol	Nilai
<i>Absorption Coefficient</i>	$\gamma$	1
<i>Light Intensity</i>	$\beta_0$	1
Alpha	$\alpha$	0.2

Untuk mencari jarak dan posisi partikel didapat dengan memasukkan rumus pada persamaan 2.25 dan 2.27. Gambar 3.3 merupakan diagram alir dari algoritma FA. Metode FA akan dibagi menjadi 5 tahapan.



**Gambar 3. 4** Diagram Alir Firefly Algorithm  
Sumber : [34]

Tahap pertama adalah menginisiasi posisi dari partikel dilakukan dengan membuat lokasi partikel dengan acak mengikuti distribusi pada ruang pencarian (*search space*). Parameter-parameter yang ditentukan antara lain adalah jumlah partikel, koefisien serapan, insensitas awal, dan tingkat keacakan. Nilai parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.3. Tahap kedua yaitu menghitung fungsi objektif dengan cara mengevaluasi nilai *fitness* dari setiap partikel. Tahap ketiga merupakan tahapan dimana setiap partikel mencari partikel yang lebih cerah daripadanya, dengan cara membandingkan perhitungan nilai *fitness* yang baru dengan nilai *fitness* yang sebelumnya dan mengganti  $P_{best}$  dan  $G_{best}$  sesuai dengan nilai *fitness* yang ditunjukkan. Apabila nilai *fitness* yang muncul lebih kecil daripada nilai *fitness* sebelumnya, maka nilai  $P_{best}$  dan  $G_{best}$  akan diperbarui, jika lebih besar dari nilai sebelumnya maka akan dilanjutkan dengan melakukan iterasi

### 3.1.9 Optimisasi Menggunakan PSMFA

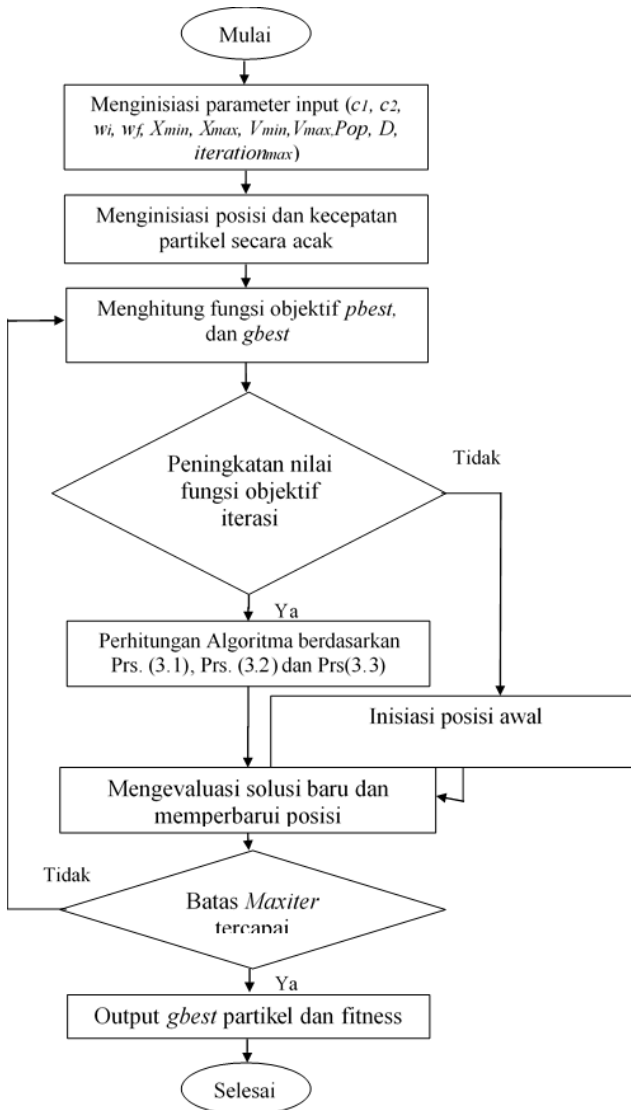
Parameter yang digunakan untuk metode PSMFA tercantum pada Tabel 3.4 berikut:

**Tabel 3. 4** Parameter PSMFA

Parameter	Simbol	Nilai
<i>Inertia Weight</i>	w	1
Initial value of linier decreasing inertia weight	Wi	0.9
Final value of linier decreasing inertia weight	wf	0.5
Personal Learning Coefficient	c1	2
Global Learning Coefficient	c2	2
Initialization Velocity	Vo	0
Maximum Velocity	VelMax	=0.1*(VarMAx-VarMin)
Minimum Velocity	VelMin	-VelMax
<i>Absorption Coefficient</i>	$\gamma$	1
<i>Light Intensity</i>	$\beta_0$	1
Alpha	$\alpha$	0.2



Diagram alir PSMFA dapat dilihat pada gambar 3.4.



**Gambar 3. 5** Diagram Alir PSMFA

Metode PSMFA akan dibagi menjadi 5 tahapan. Tahap pertama adalah menginisiasi posisi dari partikel dilakukan dengan membuat lokasi partikel dengan acak mengikuti distribusi pada ruang pencarian (*search space*). Parameter-parameter yang ditentukan antara lain adalah jumlah partikel, koefisien serapan, insensitas awal, dan tingkat keacakan, koefisien *cognitive*, koefisien *social*, bobot inersia maksimum dan bobot inersia minimum, serta posisi dan kecepatan awal partikel. Kecepatan awal masih ditentukan dengan nilai nol. Nilai parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.3. Tahap kedua yaitu menghitung fungsi objektif dengan cara mengevaluasi nilai *fitness* dari setiap partikel. Tahap ketiga merupakan tahapan dimana setiap partikel mencari partikel yang lebih cerah daripadanya, dengan cara membandingkan perhitungan nilai *fitness* yang baru dengan nilai *fitness* yang sebelumnya dan mengganti  $P_{best}$  dan  $G_{best}$  sesuai dengan nilai *fitness* yang ditunjukkan. Apabila nilai *fitness* yang muncul lebih kecil daripada nilai *fitness* sebelumnya, maka nilai  $P_{best}$  dan  $G_{best}$  akan diperbarui, jika lebih besar dari nilai sebelumnya maka akan dilanjutkan dengan melakukan iterasi berikutnya.

Untuk mencari modifikasi *weight* inertia, posisi, dan kecepatan partikel didapat dengan memasukkan rumus pada persamaan 3.1, 3.2, dan 3.3. Rumus yang digunakan bertujuan mencari jarak kartesian ketika PSO dan FA dikombinasi dapat dilakukan dengan menghitung persamaan berikut [33]:

$$rpx = |pbest - X_i(t)| \quad (3.1)$$

$$rpx = |gbest - X_i(t)| \quad (3.2)$$

Sedangkan untuk mendapatkan posisi didapat dengan cara sebagai berikut:

$$X_i(i+1) = \omega X_i(i) + C_1 e^{-rpx^2} (Pbest - X_i(i)) + C_1 e^{-rgx^2} (gbest - X_i(i)) + \alpha \left( \gamma - \frac{1}{2} \right) \quad (3.3)$$

### 3.2 Delapan Parameter

Selain proses ekstraksi tiga parameter, lima parameter, tujuh parameter dan sembilan parameter terdapat satu parameter lain yang dapat diekstraksi atau dikatakan sebagai parameter kedelapan yang dapat diekstraksi, yakni *short circuit current*. Untuk mengekstraksi *short circuit current* dilakukan dengan menghitung melalui persamaan berikut [22]:

Persamaan arus *short circuit* tiga adalah sebagai berikut:

$$I_{sc} = I_o \left[ \exp \left[ \frac{qV_{ocn}}{A_1 k N_s T} \right] - \exp \left[ \frac{qI_{scn} R_s}{A_1 k N_s T} \right] \right] \quad (3.4)$$

Persamaan arus *short circuit* lima adalah sebagai berikut:

$$I_{sc} = I_o \left[ \exp \left[ \frac{qV_{ocn}}{A_1 k N_s T} \right] - \exp \left[ \frac{qI_{scn} R_s}{A_1 k N_s T} \right] \right] + \frac{V_{ocn} - I_{scn} R_s}{R_{sh}} \quad (3.5)$$

Untuk tujuh parameter menggunakan persamaan:

$$I_{sc} = I_{o1} \left[ \exp \left[ \frac{qV_{ocn}}{A_1 k N_s T} \right] - \exp \left[ \frac{qI_{scn} R_s}{A_1 k N_s T} \right] \right] + I_{o2} \left[ \exp \left[ \frac{qV_{ocn}}{A_1 k N_s T} \right] - \exp \left[ \frac{qI_{scn} R_s}{A_1 k N_s T} \right] \right] + \frac{V_{ocn} - I_{scn} R_s}{R_{sh}} \quad (3.6)$$

Untuk tujuh parameter menggunakan persamaan:

$$I_{sc} = I_{o1} \left[ \exp \left[ \frac{qV_{ocn}}{A_1 k N_s T} \right] - \exp \left[ \frac{qI_{scn} R_s}{A_1 k N_s T} \right] \right] + I_{o2} \left[ \exp \left[ \frac{qV_{ocn}}{A_1 k N_s T} \right] - \exp \left[ \frac{qI_{scn} R_s}{A_1 k N_s T} \right] \right] + \frac{V_{ocn} - I_{scn} R_s}{R_{sh}} \quad (3.7)$$

Arus *short circuit* ini didapat ketika kondisi tegangann *open circuit* bernilai 0 V. Berdasarkan spesifikasi dari modul PV ST-So;ar pada Tabel 3.1 diketahui bahwa besar nilai dari arus *short*

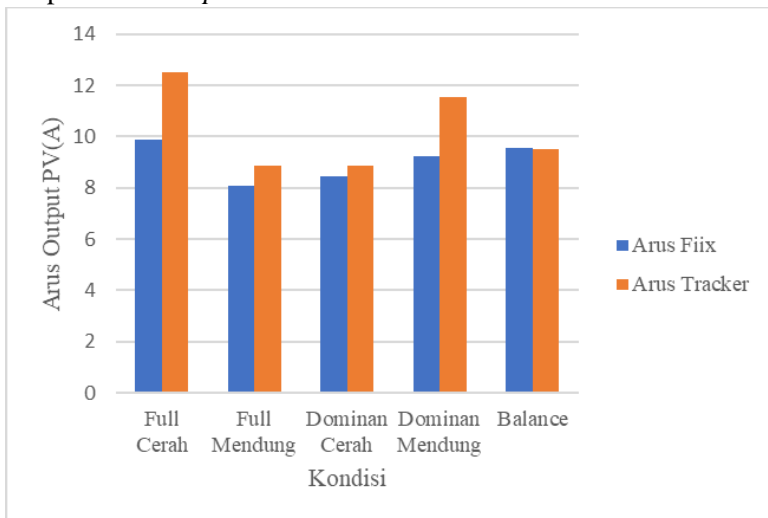
*circuit* bernilai 9, sehingga untuk mengetahui bagaimana model pendekatan yang baik diantara tiga parameter, lima parameter, dan tujuh parameter dilakukan pengurangan antara hasil pemodelan dengan besar arus *short circuit* dari modul PV yakni 9 A. Kemudian dilakukan optimisasi menggunakan PSMFA untuk mengetahui hasil optimisasi yang didapatkan.

## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Analisa dan pembahas berisi tentang perbandingan data *output* PV modul *fix* dengan *tracker*, data hasil simulasi ekstraksi dan optimisasi

### 4.1 Hasil Pengukuran Arus dan Tegangann

Pengambilan data primer dilakukan pebandingan *output* modul PV *fix* dengan modul PV yang dilengkapi *tracker* pada kelima kondisi ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan 4.2. Arus *output* yang dihasilkan dari modul PV *fix* memiliki nilai yang lebih rendah daripada arus *output tracker*.

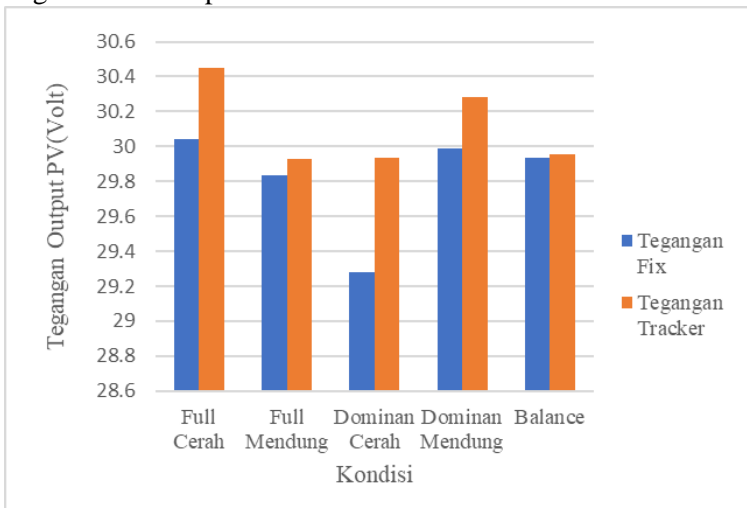


**Gambar 4. 1** Perbandingan Hasil Arus PV *Fix* dan PV Menggunakan *Tracker*

Hal ini karena modul PV yang menggunakan *tracker* akan selalu tegak lurus dengan sinar matahari. Selisih antara keduanya yang paling besar pada kondisi *full* cerah dan *full* mendung yaitu sebesar 2.6373A dan 2.2765A. Kondisi dominan cerah dan kondisi

dominan mendung memiliki selisih sebesar 0.7901 A dan 0.4153 A Sedangkan kondisi *balance* terdapat perbedaan hasil karena arus *output* modul PV *fix* lebih tinggi daripada menggunakan *tracker* dengan selisih sebesar 0.0176 A.

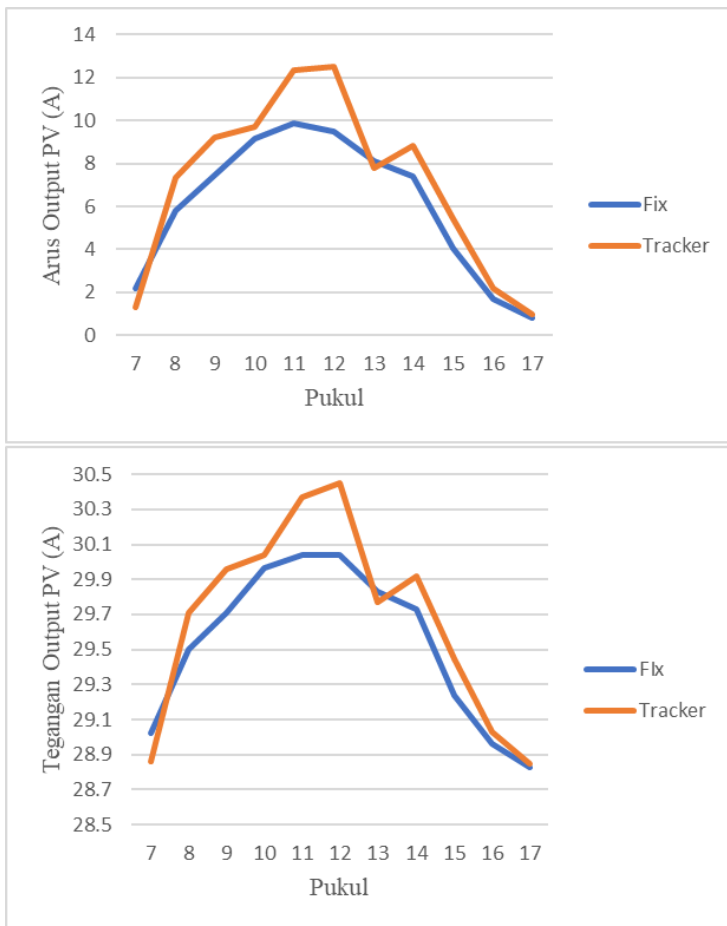
Berdasarkan teori seharusnya *output* modul PV menggunakan *tracker* akan menghasilkan *output* yang lebih besar. Hal ini disebabkan karena temperatur dan iradiansi modul pada saat *tracker* adalah sebesar 58.9 °C dan 1079.8 W/m<sup>2</sup> sedangkan menggunakan modul PV *fix* sebesar 62.5 °C dan 1040.2 W/m<sup>2</sup>, adanya *input* temperatur yang lebih tinggi pada modul *fix* dan selisih iradiansi yang tidak terlalu besar menyebabkan hasil *output* berkebalikan daripada teori yang ada. Pada saat kondisi pengambilan data pun cuaca tidak menentu.



**Gambar 4. 2** Perbandingan Hasil Tegangann PV *Fix* dan PV Menggunakan *Tracker*

Sedangkan tegangan *output* yang dihasilkan dari modul PV *fix* memiliki nilai yang lebih rendah daripada arus *output* *tracker*. Selisih antara keduanya bernilai besar saat kondisi dominan cerah pada pukul 11.00 WIB yaitu bernilai 0.6544 Volt kemudian *full*

cerah sebesar 0.4062 Volt. Kondisi *full* mendung dan dominan mendung memiliki perbedaan sebesar 0.0981 Volt dan 0.2923 Volt. Sedangkan kondisi *balance* memiliki selisih paling kecil yakni sebesar 0.0217 Volt. Profil arus dan tegangann setiap kondisi dapat dilihat pada Gambar 4.3 sampai 4.7 dan Tabel pada Lampiran 1.

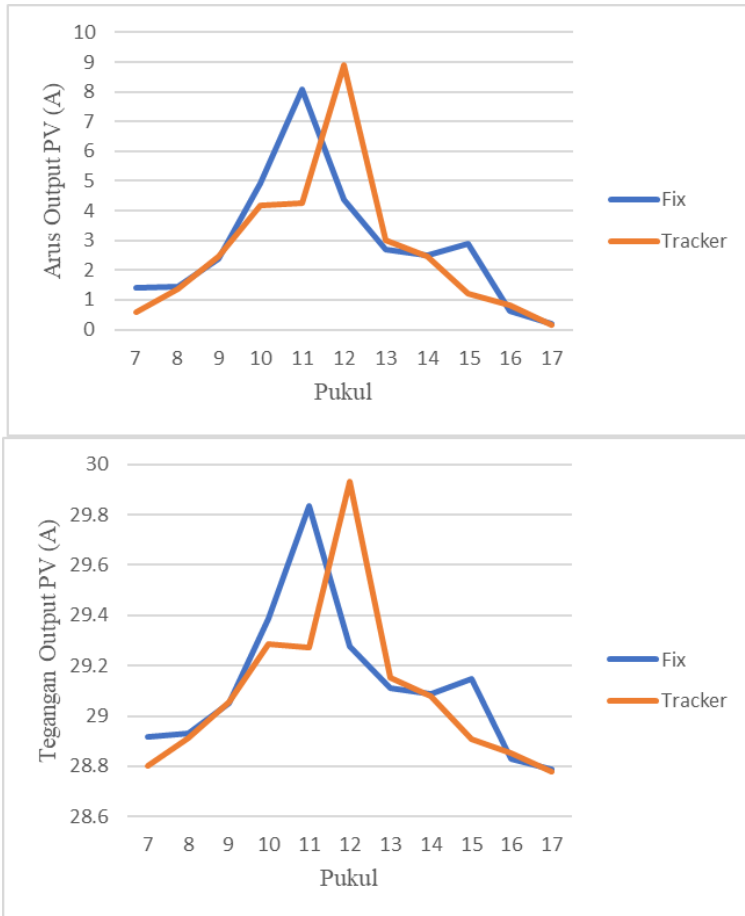


**Gambar 4. 3** Arus dan Tegangann pada Kondisi Full Cerah

Puncak arus kondisi *full* cerah terjadi pukul 11.00 WIB yakni sebesar 9.89 A menggunakan modul PV *fix*, sedangkan untuk modul yang dilengkapi *tracker* sebesar 12.53 A terjadi pukul 12.00 WIB. Pada Gambar 4.3, arus *output* yang dihasilkan modul PV menggunakan *tracker* lebih tinggi daripada arus yang dihasilkan modul PV *fix*. Selain itu arus yang dihasilkan dari modul PV *fix* perubahan yang terjadi lebih teratur (menghasilkan grafik yang *smooth*) daripada profil arus *output* yang dihasilkan modul PV menggunakan *tracker*. Seperti halnya profil arus *output*, tegangannya pun memiliki karakteristik yang sama dengan profil arus *output* secara keseluruhan. Tegangannya *output* maksimal pada kondisi *full* cerah sebesar 30.04 Volt dicapai pukul 11.00 WIB dan 12.00 WIB menggunakan modul PV *fix* dan 30.45 Volt menggunakan modul PV yang dilengkapi dengan *tracker*.

Berdasarkan Gambar 4.4 puncak arus kondisi *full* mendung terjadi pukul 11.00 WIB sebesar 8.092 A menggunakan modul PV *fix*, sedangkan modul yang dilengkapi *tracker* sebesar 8.8816 A terjadi pukul 12.00 WIB. Pada grafik profil arus secara keseluruhan, arus *output* yang dihasilkan modul PV menggunakan *tracker* dan arus *output* modul *fix* tampak acak, pukul 11.00 WIB modul *fix* memiliki arus *output* dua kali lebih besar dari pada arus dari modul fotovoltaik menggunakan *tracker*. Hal ini terjadi dikarenakan matahari tertutup oleh awan saat pengukuran menggunakan modul PV dilengkapi *tracker*. Namun arus yang dihasilkan dari modul PV *fix* maupun *tracker* tidak mengalami perubahan yang teratur setiap waktu. Seperti halnya profil arus *output*, tegangannya *output*nya memiliki karakteristik yang sama dengan profil arus *output* secara keseluruhan. Tegangannya *output* maksimal kondisi *full* mendung sebesar 29.83 Volt dicapai saat pukul 11.00 WIB menggunakan modul PV *fix*, sedangkan modul PV yang dilengkapi dengan *tracker* menghasilkan tegangan maksimal pukul 12.00 WIB sebesar 29.93 Volt.

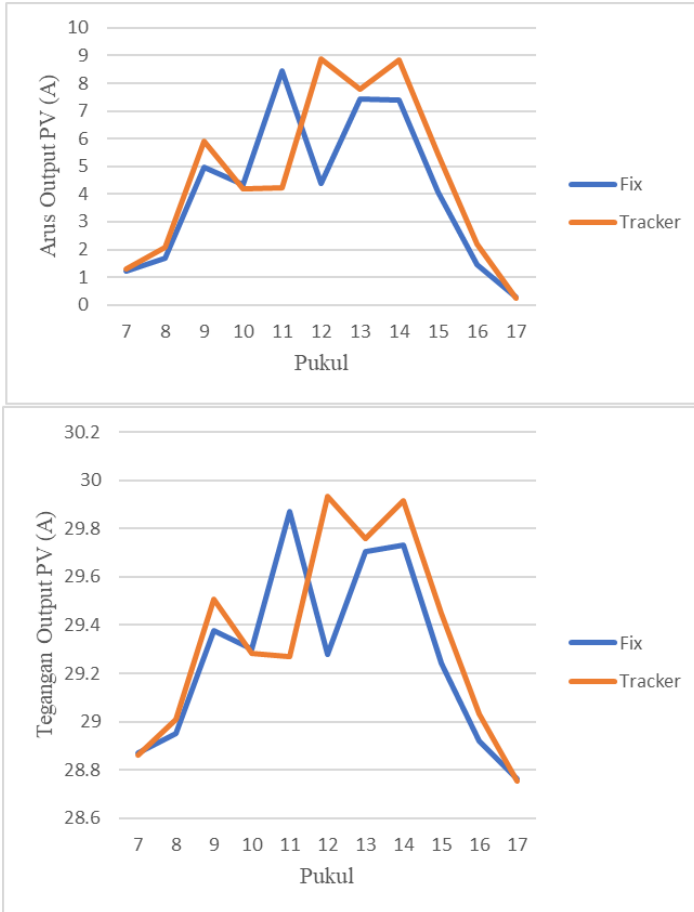




**Gambar 4. 4** Arus dan Tegann pada Kondisi *Full* Mendung

Gambar 4.5 merupakan gambar grafik profil arus dan tegangan *output* PV kondisi dominan cerah, puncak arus terjadi pada pukul 11.00 WIB sebesar 8.466 A menggunakan modul PV *fix*, sedangkan modul yang dilengkapi *tracker* sebesar 8.8816 A terjadi pada pukul 12.00 WIB. Berdasarkan grafik profil arus secara keseluruhan, arus *output* yang dihasilkan modul PV

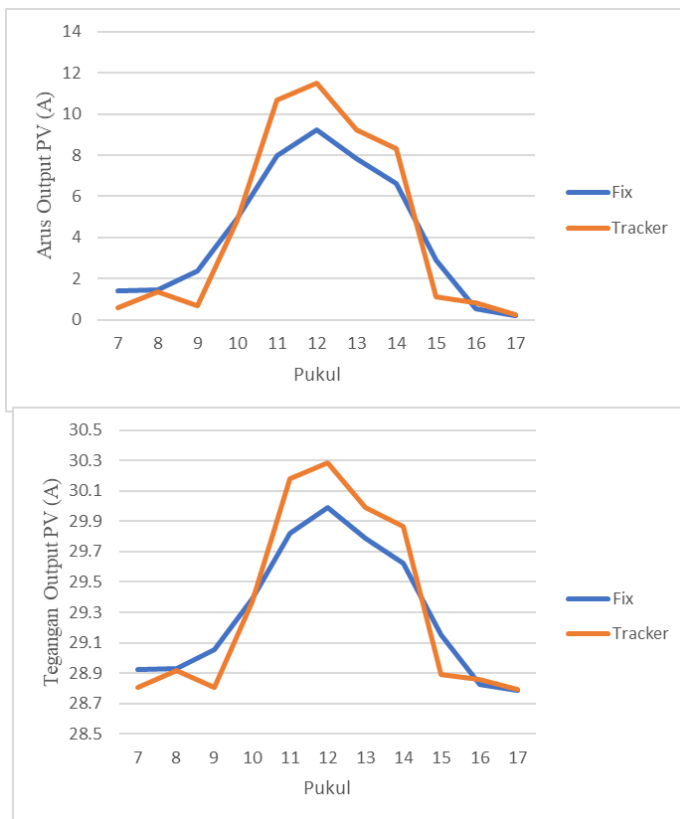
menggunakan *tracker* dan arus *output* modul *fix* tampak acak, pada pukul 11.00 WIB modul *fix* menghasilkan arus *output* dua kali lebih besar dari pada arus dari modul PV menggunakan *tracker*.



**Gambar 4. 5** Arus dan Tegangan pada Kondisi Dominan Cerah

Hal ini terjadi karena matahari tertutup oleh awan saat pengukuran menggunakan modul PV dilengkapi *tracker*. Namun arus yang dihasilkan dari modul PV *fix* maupun *tracker* tidak

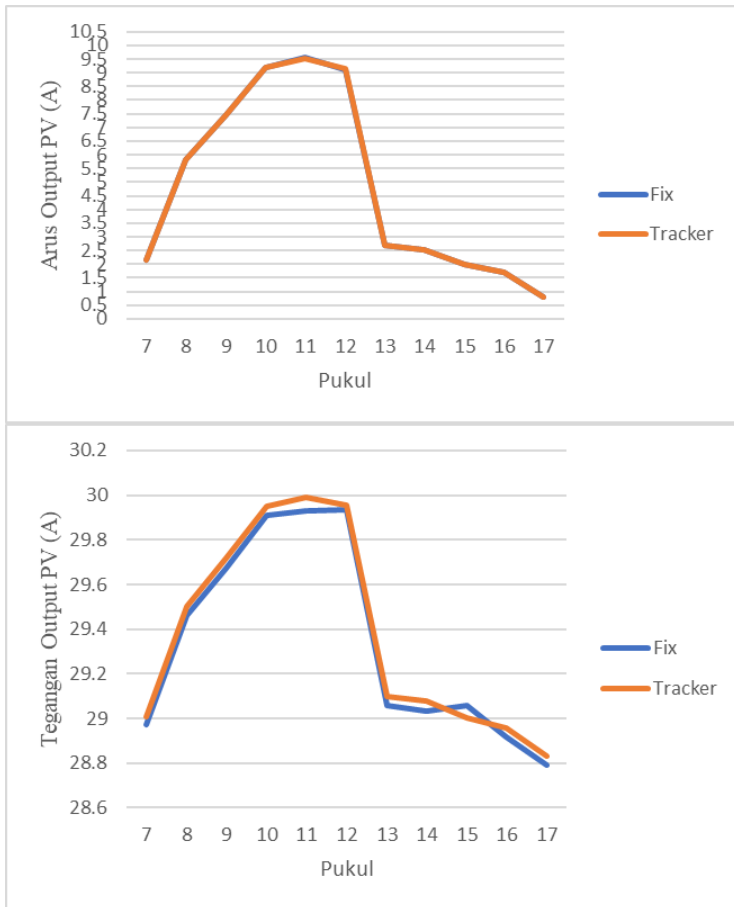
mengalami perubahan yang teratur setiap waktu. Seperti halnya profil arus *output*, tegangann *output*nya juga memiliki karakteristik yang sama dengan profil arus *output* secara keseluruhan. Tegangann *output* maksimal pada kondisi *full* mendung sebesar 29.87 Volt dicapai saat pukul 11.00 WIB menggunakan modul PV *fix* sedangkan modul PV yang dilengkapi dengan *tracker* menghasilkan tegangan maksimum pukul 12.00 WIB sebesar 29.935 Volt.



**Gambar 4. 6** Arus dan Tegangann pada Kondisi Dominan Mendung

Pada Gambar 4.6 kondisi dominan mendung, puncak arus terjadi pukul 12.00 WIB sebesar 9.243 A menggunakan modul PV *fix*, sedangkan modul yang dilengkapi *tracker* sebesar 11.52 A terjadi pukul 12.00 WIB. Grafik profil arus secara keseluruhan, arus *output* yang dihasilkan modul PV menggunakan *tracker* lebih tinggi daripada arus yang dihasilkan modul PV *fix* kecuali pada pukul 09.00 WIB dan pukul 15.00 WIB, hal ini dapat dikarenakan awan yang menutupi matahari sehingga energi yang diterima oleh PV menurun. Selain itu arus yang dihasilkan dari modul PV *fix* perubahannya lebih teratur (menghasilkan grafik yang *smooth*) daripada profil arus *output* yang dihasilkan modul PV menggunakan *tracker*. Seperti halnya profil arus *output*, tegangannya juga memiliki karakteristik yang sama dengan profil arus *output* secara keseluruhan. Tegangan *output* maksimal kondisi *full* cerah sebesar 29.99 Volt dicapai saat pukul 12.00 WIB menggunakan modul PV *fix* dan 30.28 Volt untuk modul PV yang dilengkapi dengan *tracker*.

Gambar 4.7 merupakan gambar grafik arus dan tegangan output PV kondisi *balance*, puncak arus terjadi pukul 11.00 WIB sebesar 9.545 A menggunakan modul PV *fix*, sedangkan untuk modul yang dilengkapi *tracker* sebesar 9.528 A terjadi pukul 11.00 WIB. Berdasarkan grafik profil arus secara keseluruhan, arus *output* yang dihasilkan modul PV menggunakan *tracker* dan arus *output* modul *fix* tampak berimpit pukul 13.00 WIB menggunakan modul *fix*. Arus *output* mengalami penurunan dibandingkan pukul 12.00 WIB sebesar 6.41 A menggunakan modul *fix* dan 6.44 A menggunakan modul *tracker*. Hal ini karena matahari tertutup oleh awan saat pengukuran menggunakan modul PV dilengkapi *tracker*. Arus yang dihasilkan dari modul PV *fix* maupun *tracker* mengalami perubahannya yang teratur setiap waktu. Seperti halnya profil arus *output*, tegangannya juga memiliki karakteristik yang sama dengan profil arus *output* secara keseluruhan.



**Gambar 4.7** Arus dan Tegann pada Kondisi *Balance*

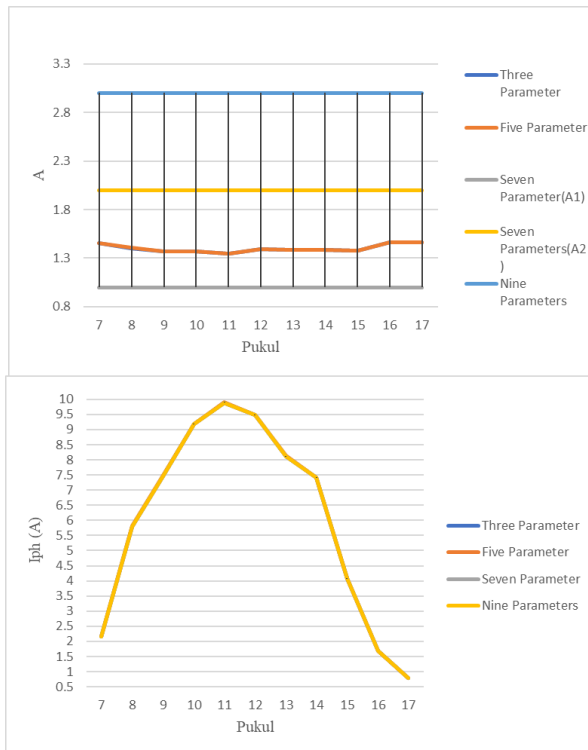
Pukul 13.00 WIB modul *fix* menghasilkan tegann *output* yang mengalami penurunan dibandingkan pukul 12.00 WIB menggunakan modul *fix* dan *tracker*. Penurunan tersebut sebesar 0.876 Volt dan 0.8546 Volt. Tegann *output* maksimal kondisi *balance* sebesar 29.93 Volt dicapai pukul 12.00 WIB menggunakan modul PV *fix* dan 29.988 Volt menggunakan modul PV yang dilengkapi dengan *tracker*.

## 4.2 Hasil Ekstraksi Parameter

Ekstraksi parameter lima kondisi menggunakan empat pendekatan yakni tiga parameter, lima parameter, tujuh parameter, dan Sembilan parameter dapat dilihat pada Gambar 4.8 sampai Gambar 4.17.

### 4.2.1 Kondisi *Full Cerah*

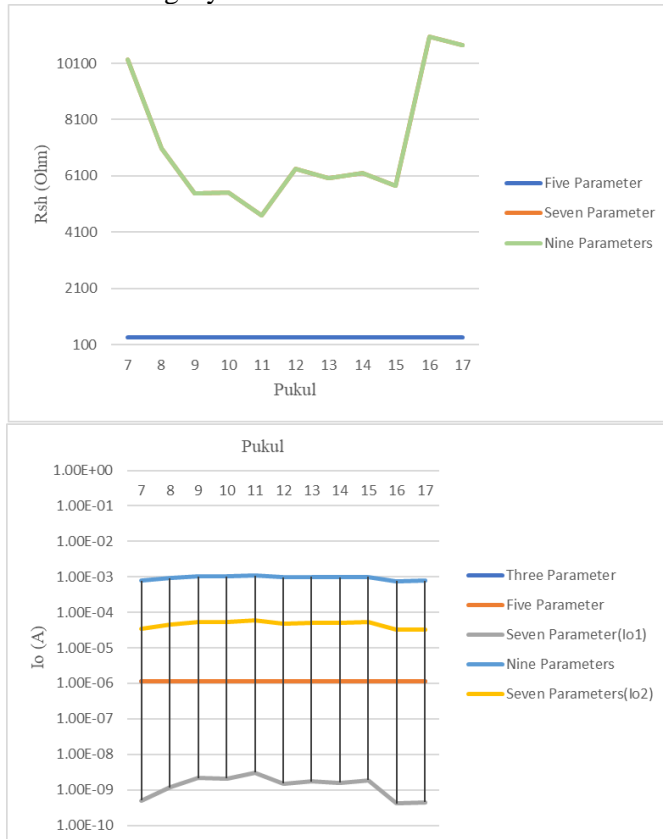
Ekstraksi parameter kondisi *full* cerah dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan 4.9.



**Gambar 4. 8** Ekstraksi Parameter A dan Iph Kondisi *Full* Cerah

*Ideality factor diode* yang dilakukan pemodelan tiga parameter dan lima parameter menghasilkan nilai sama sebesar 1.466. Pemodelan tujuh parameter dan sembilan parameter menghasilkan A1 dan A2 sebesar 1 dan 2, sedangkan A3 sebesar

3. Parameter *photocurrent* menghasilkan nilai maksimum sebesar 9.89 A untuk semua parameter. Arus saturasi dioda tiga parameter dan lima parameter memiliki nilai sama sebesar  $1.12 \times 10^{-06}$  A, sedangkan tujuh parameter memiliki nilai paling tinggi  $6.02 \times 10^{-05}$  A dan  $3.0524 \times 10^{-09}$  A. Sedangkan sembilan parameter arus saturasi dioda ketiganya bernilai 0.00109 A.



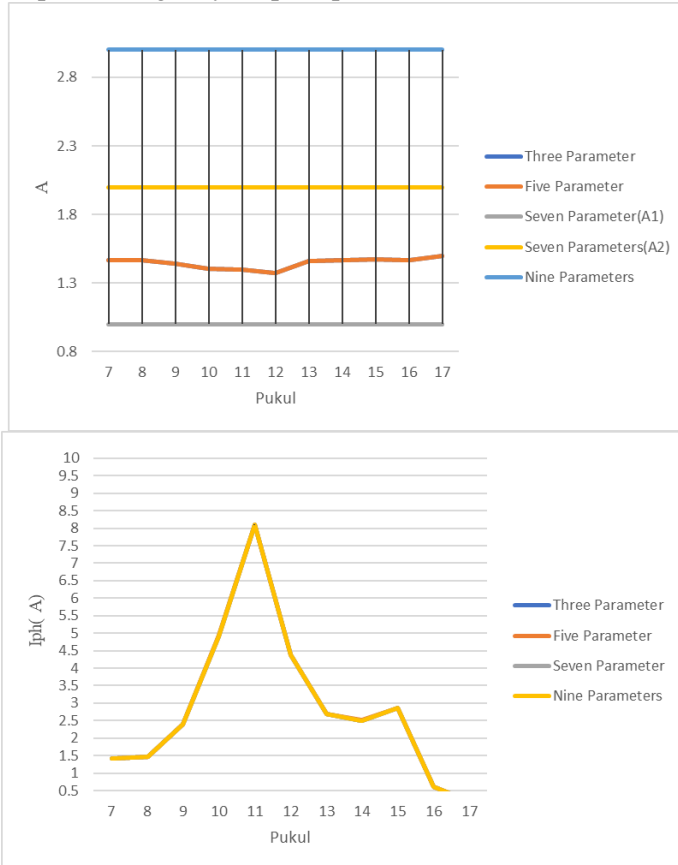
**Gambar 4. 9** Ekstraksi Parameter Rsh dan Io Kondisi *Full* Cerah

Hambatan *paralel* lima parameter bernilai konstan 362.392 Ohm. Tujuh parameter bernilai 4691 Ohm sedangkan sembilan parameter bernilai 4690.64 Ohm. Ekstraksi parameter hambatan

seri( $R_s$ ) memiliki nilai yang konstan pada lima parameter, tujuh parameter, dan Sembilan parameter sebesar 0.09026 Ohm.

#### 4.2.2 Kondisi *Full Mendung*

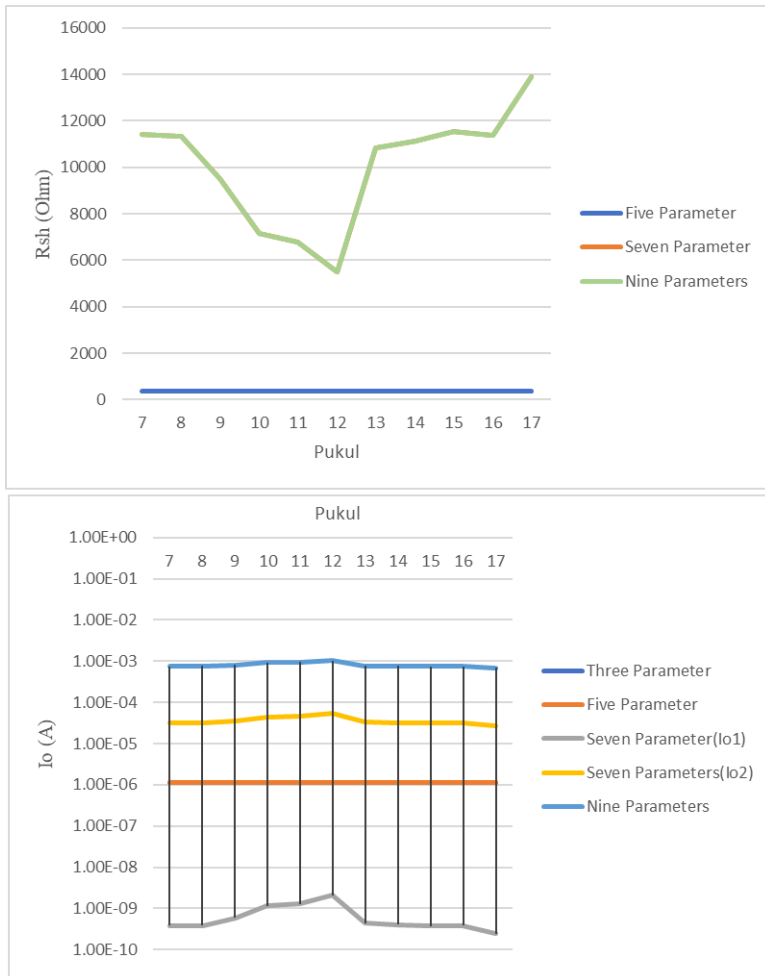
Ekstraksi parameter untuk kondisi *full mendung* dapat dilihat perbandingannya seperti pada Gambar 4.10 dan 4.11.



**Gambar 4. 10** Ekstraksi Parameter A dan Iph Kondisi *Full Mendung*



*Ideality factor diode* tiga parameter dan lima parameter bernilai sama yakni sebesar 1.495. Sedangkan tujuh parameter dan sembilan parameter bernilai 1, 2, dan 3 untuk parameter A1, A2, dan A3.



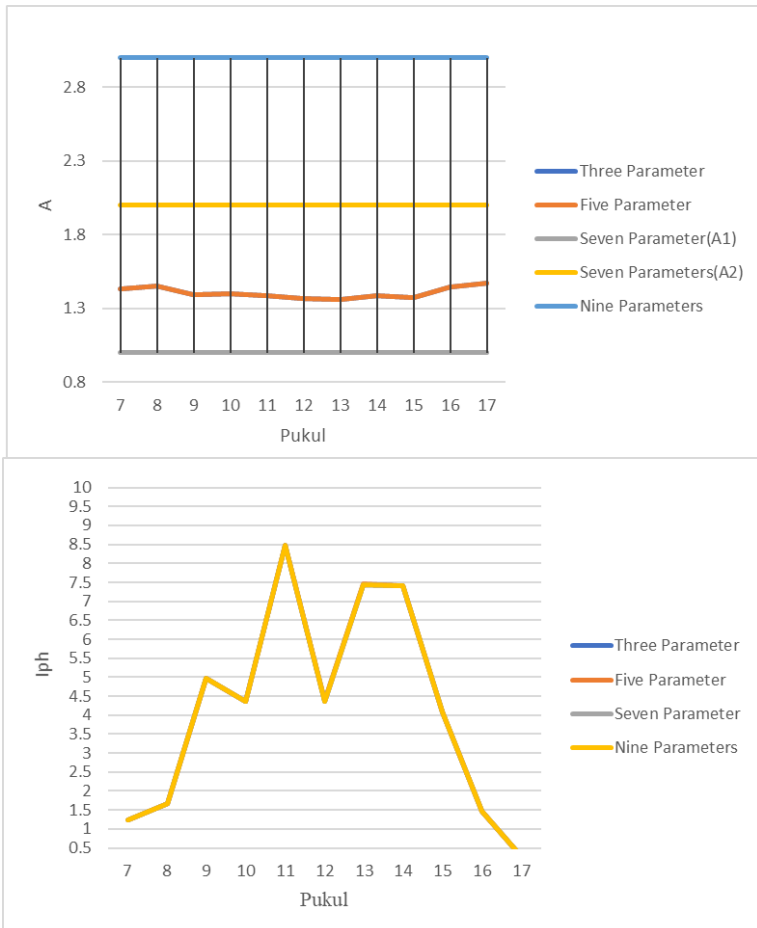
**Gambar 4. 11** Ekstraksi Parameter  $R_{sh}$  dan  $I_o$  Kondisi *Full Mendung*

Ekstraksi parameter hambatan seri ( $R_s$ ) memiliki nilai yang konstan saat dilakukan pemodelan dengan pemodelan lima parameter, tujuh parameter, dan sembilan parameter yakni sebesar 0.09026 Ohm. Sedangkan *photocurrent* memiliki nilai maksimum 8.09 A, pada kondisi *full* mendung nilainya hampir sama karena perbedaan nilai terdapat pada empat dan lima angka dibelakang koma sehingga grafik tampak berimpit. Arus saturasi dioda tiga parameter dan lima parameter memiliki nilai sama sebesar  $1.12 \times 10^{-06}$  A, sedangkan tujuh parameter paling besar  $2.11 \times 10^{-09}$  A dan  $5.4 \times 10^{-05}$  A serta parameter arus saturasi dioda sembilan parameter sebesar 0.00103 A. Hambatan *paralel* lima parameter bernilai konstan 362.392 Ohm. Sedangkan tujuh parameter memiliki nilai yang lebih besar dengan nilai paling kecil sebesar 13903.36 Ohm serta sembilan parameter bernilai 5498.915 Ohm. Parameter hambatan seri ( $R_s$ ) bernilai konstan 0.09026 Ohm untuk keempat metode pemodelan.

#### 4.2.3 Kondisi Dominan Cerah

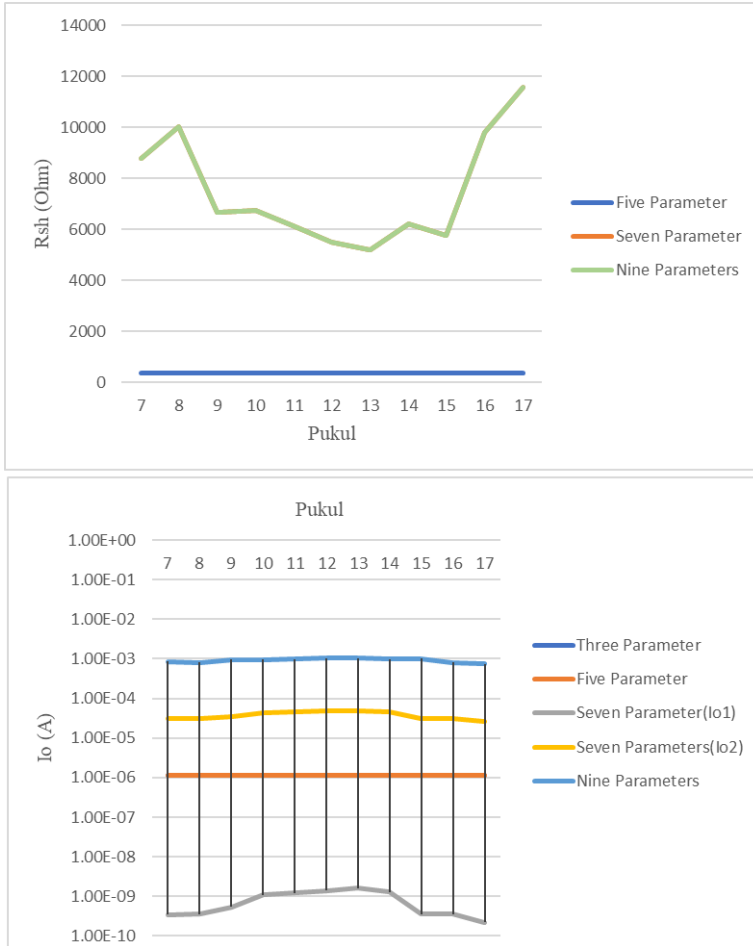
Ekstraksi parameter kondisi dominan cerah dapat dilihat perbandingannya seperti pada Gambar 4.12 dan 4.13. Ekstraksi parameter hambatan seri ( $R_s$ ) memiliki nilai yang konstan. Sedangkan *photocurrent* memiliki nilai maksimum 8.466A. Namun nilainya hampir sama untuk semua parameter karena perbedaan nilai terdapat pada empat dan lima angka dibelakang koma sehingga grafik tampak berimpit. *Ideality factor diode* memiliki nilai maksimum sebesar 1.47 dan minimum 1.36. Sedangkan tujuh parameter dan sembilan parameter, nilai  $A_1$ ,  $A_2$ , dan  $A_3$  sebesar 1, 2, dan 3. Arus saturasi dioda yang dilakukan pemodelan tiga parameter dan lima parameter memiliki nilai sama sebesar  $1.12 \times 10^{-06}$  A, sedangkan tujuh parameter paling besar  $1.6 \times 10^{-09}$  A dan  $4.96 \times 10^{-05}$  A sedangkan parameter arus saturasi dioda ketiga pada sembilan parameter bernilai 0.00105 A. Hambatan *paralel* tujuh parameter memiliki nilai yang lebih besar

daripada pemodelan tiga parameter dan lima parameter dengan nilai paling kecil sebesar 6196.9 Ohm. Sedangkan sembilan parameter sebesar 13903 Ohm. Berikut merupakan gambar grafik ekstraksi parameter *ideality factor diode* dan *photocurrent*.



**Gambar 4. 12** Ekstraksi Parameter A dan Iph Kondisi Dominan Cerah

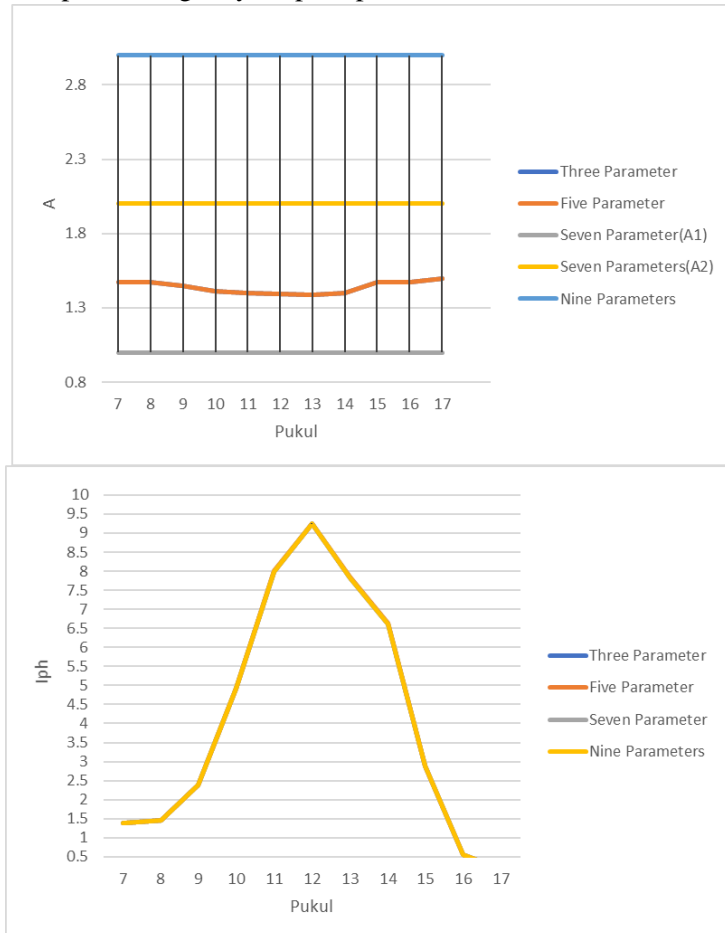
Berikut merupakan gambar grafik ekstraksi parameter hambatan paralel dan arus saturasi diode kondisi dominan cerah.



**Gambar 4. 13** Ekstraksi Parameter Rsh dan Io Kondisi Dominan Cerah

#### 4.2.4 Kondisi Dominan Mendung

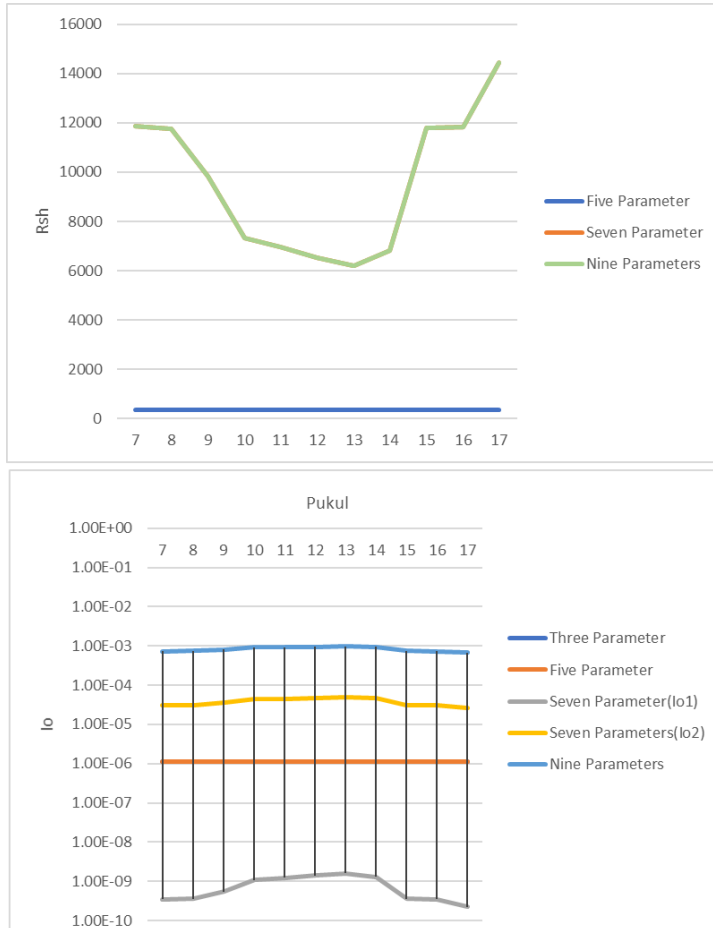
Ekstraksi parameter untuk kondisi dominan mendung dapat dilihat perbandingannya seperti pada Gambar 4.14 dan 4.15.



**Gambar 4. 14** Ekstraksi Parameter A dan Iph Kondisi Dominan Mendung

Ekstraksi parameter hambatan seri ( $R_s$ ) memiliki nilai yang konstan lima parameter, tujuh parameter dan sembilan

parameter sebesar 0.09026 Ohm. Sedangkan *photocurrent* memiliki nilai maksimum 9.24A. Kondisi dominan medung nilai  $I_{ph}$  hampir sama diantara keempat pemodelan karena perbedaan nilai terdapat pada empat dan lima angka dibelakang koma sehingga grafik tampak berimpit.



**Gambar 4. 15** Ekstraksi Parameter  $R_{sh}$  dan  $I_o$  Kondisi Dominan Mendung

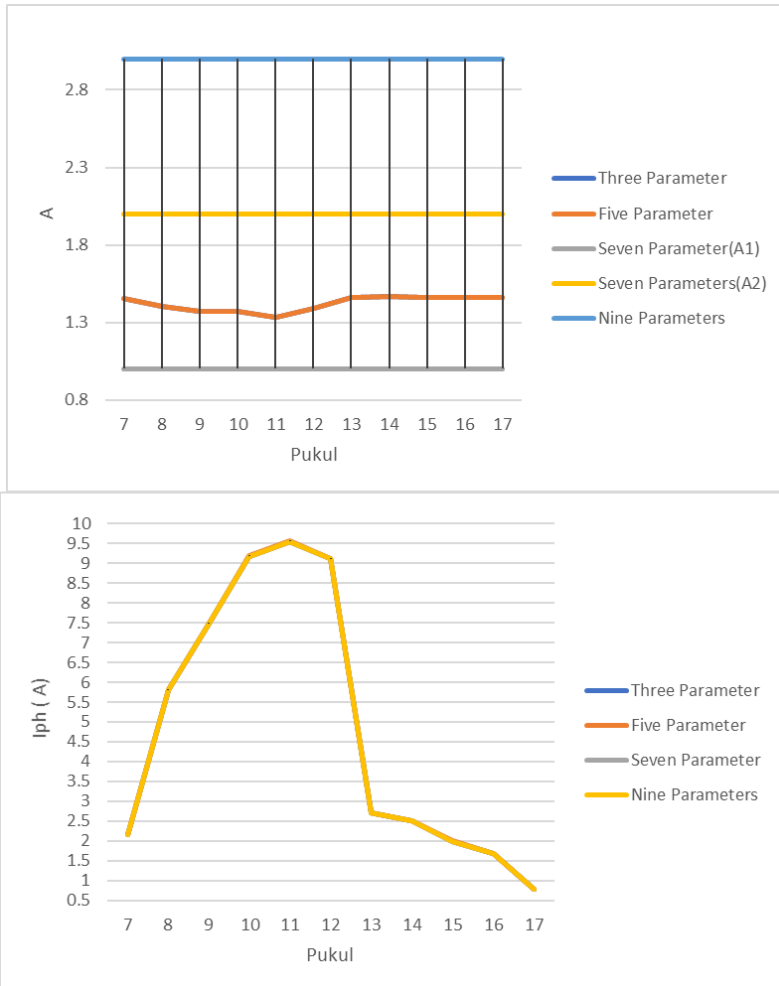
Nilai maksimum *ideality factor diode* sebesar 1.5 dan minimum 1.386. Sedangkan nilai *ideality factor diode* tujuh parameter dan sembilan parameter bernilai 1, 2, dan 3. Arus saturasi dioda tiga parameter dan lima parameter memiliki nilai sama sebesar  $1.12 \times 10^{-06}$  A, tujuh parameter menghasilkan nilai paling besar  $1.6 \times 10^{-09}$  A dan  $4.96 \times 10^{-05}$  A. Sedangkan arus saturasi dioda ketiga sebesar 0.00067 A. Hambatan *paralel* tujuh parameter memiliki nilai yang lebih besar daripada pemodelan tiga parameter dan lima parameter. Nilai paling kecilnya sebesar 6196.9 Ohm. Sedangkan sembilan parameter sebesar 14431.41 Ohm.

#### 4.2.5 Kondisi *Balance*

Ekstraksi parameter kondisi *balance* dapat dilihat perbandingannya seperti pada Gambar 4.16 dan 4.17. Ekstraksi parameter hambatan seri ( $R_s$ ) memiliki nilai yang konstan lima parameter dan tujuh parameter sebesar 0.09026 Ohm. *Photocurrent* memiliki nilai maksimum 9.5451A, nilai  $I_{ph}$  hasil ekstraksi keempat parameter hampir sama karena perbedaan nilai terdapat pada empat dan lima angka dibelakang koma sehingga grafik tampak berimpit. *Ideality factor diode* memiliki nilai maksimum sebesar 1.465 dan minimum 1.334. Sedangkan nilai *ideality factor diode* tujuh dan sembilan parameter untuk parameter *ideality factor diode* pertama, kedua, dan ketiga adalah sebesar 1, 2, dan 3.

Arus saturasi dioda tiga parameter dan lima parameter memiliki nilai sama sebesar  $1.12 \times 10^{-06}$  A, sedangkan tujuh parameter paling besar bernilai  $3.3 \times 10^{-09}$  A dan  $6.26 \times 10^{-05}$  A sedangkan arus saturasi dioda ketiga sebesar 0.000733 A. Hambatan *paralel* tujuh parameter memiliki nilai yang lebih besar daripada pemodelan lima parameter dan sembilan parameter. Nilai paling kecil sebesar 12074 Ohm dan sembilan parameter sebesar 0.000733.

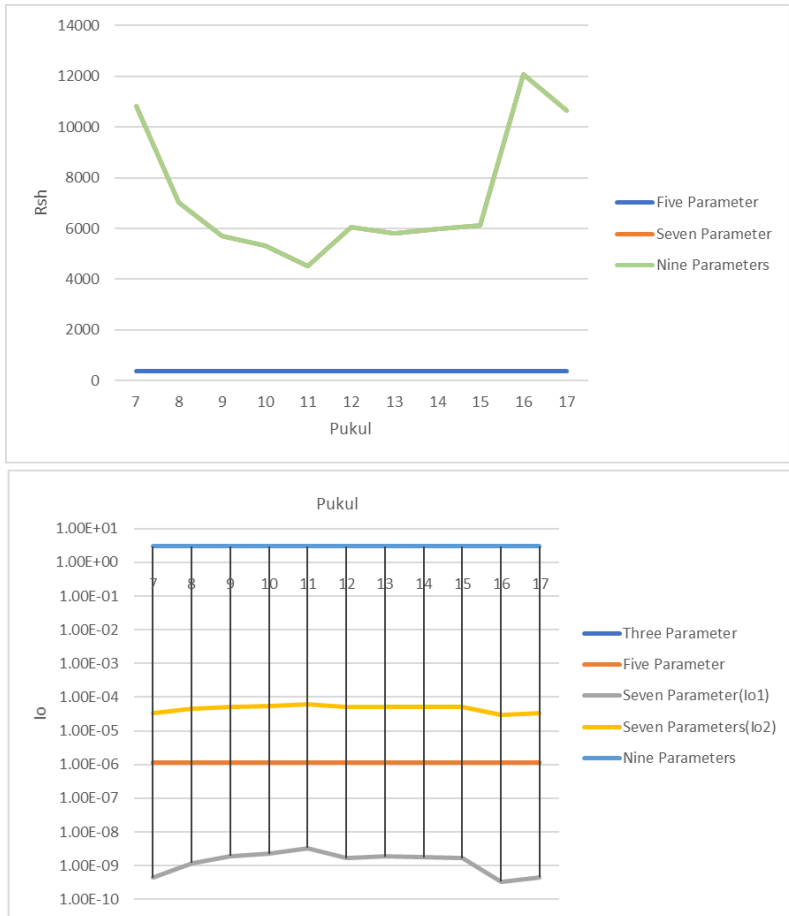
Berikut merupakan gambar grafik ekstraksi parameter *ideality factor diode* dan arus saturasi dioda.



**Gambar 4. 16** Ekstraksi Parameter A dan Iph Kondisi *Balance*



Berikut merupakan gambar grafik ekstraksi parameter hambatan paralel dan arus saturasi dioda.



**Gambar 4. 17** Ekstraksi Parameter  $R_{sh}$  dan  $I_o$  Kondisi *Balance*

Sembilan parameter muncul karena adanya alasan bahwa pemodelan PV menggunakan dua diode diperkirakan tidak cukup mewakili atau mempresentasikan modul PV yang sesungguhnya

dalam hal ini terkait arus *output* PV. Pendekatan dua dioda atau tujuh parameter *ideality factor diode* pertama bernilai 1 dan *ideality factor diode* kedua bernilai 2. Sedangkan sembilan parameter, *ideality factor diode* pertama diperkirakan bernilai antara 1 hingga 1.5, *ideality factor diode* kedua diperkirakan bernilai antara 2 hingga 5.

### 4.3 Hasil Validasi

Validasi data dilakukan dengan membandingkan hasil *output* arus dan *output* tegangannya dari hasil pemodelan dengan *proven model* dari Matlab 2016a. Sedangkan modul PV yang menggunakan *tracker* divalidasi dengan *proven model*. Dari perhitungan tiga parameter didapatkan nilai RMSE terkecil sebesar 0.08392 % menggunakan modul PV *fix* di kondisi *full* cerah dan 0.09962 % menggunakan modul PV dilengkapi *tracker* di kondisi dominan cerah, sedangkan tegangannya yang memiliki RMSE terkecil sebesar 0.04474 % menggunakan modul *fix* di kondisi *full* mendung dan 0.02376 % menggunakan modul yang dilengkapi *tracker*. Lima parameter didapatkan nilai RMSE terkecil sebesar 0.14337 % menggunakan modul *fix* di kondisi *full* cerah dan 0.16979 % menggunakan modul yang dilengkapi *tracker* di kondisi dominan cerah, sedangkan tegangannya dengan RMSE terkecil sebesar 0.04474 % menggunakan modul *fix* di kondisi *full* mendung dan 0.02376 % menggunakan modul dilengkapi dengan *tracker* di kondisi yang sama. Data selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Hasil validasi tujuh parameter didapatkan nilai RMSE terkecil sebesar 0.08594 % menggunakan modul *fix* di kondisi *full* cerah dan 0.41162 % menggunakan modul dilengkapi *tracker* di kondisi dominan mendung. Tegangannya dengan RMSE terkecil sebesar 0.04474 % menggunakan modul *fix* di kondisi *full* mendung dan 0.03397 % menggunakan modul yang dilengkapi

*tracker* di kondisi dominan cerah. Hasil validasi sembilan parameter didapatkan nilai RMSE terkecil komponen arus sebesar 0.08643 % menggunakan modul *fix* di kondisi *full* cerah dan 0.19748 % menggunakan modul yang dilengkapi *tracker* di kondisi dominan mendung, sedangkan tegangannya dengan RMSE terkecil sebesar 0.04474 % saat digunakan modul *fix* di kondisi *full* mendung dan 0.64110 % menggunakan modul yang dilengkapi *tracker* di kondisi *full* mendung. Nilai RMSE arus paling kecil saat dilakukan pemodelan tiga parameter dan paling besar saat dilakukan pemodelan lima parameter. Sedangkan RMSE tegangan paling kecil saat dilakukan pendekatan model tiga parameter dan paling besar nilai RMSE saat dilakukan pendekatan model sembilan parameter. Secara keseluruhan model pendekatan yang memiliki nilai RMSE kecil adalah pendekatan tiga parameter untuk arus dan tegangan. Sedangkan arus yang memiliki RMSE besar adalah tujuh parameter dan tegangan nilai RMSE paling besar adalah sembilan parameter. Berdasarkan hasil validasi yang telah dilakukan, diketahui bahwa tidak ada nilai RMSE yang lebih besar dari 5% sehingga dapat diketahui bahwa data ini dapat mempresentasikan tingkat kepercayaan yang diinginkan sebesar 95%. Data selengkapnya dilihat pada Tabel 4.1.

**Tabel 4. 1** Hasil Validasi Data Arus dan Tegangan Tiga Parameter dan Lima Parameter

Modul PV	Kondisi	Three Parameters		Five Parameters	
		Arus	Tegangan	Arus	Tegangan
Fix	Full Cerah	0.0839	0.0470	0.1434	0.0470
	Full Mendung	0.1253	0.0447	0.2017	0.0447
	Dominan Cerah	2.1772	0.3122	0.1698	0.0459
	Dominan Mendung	0.1114	0.0456	0.1835	0.0456
	Balance	0.1059	0.0461	0.1700	0.4290

**Tabel 4.1** Lanjutan

Modul PV	Kondisi	Three Parameters		Five Parameters	
		Arus	Tegangan	Arus	Tegangan
Tracker	Full Cerah	3.6205	0.0238	3.5795	0.4889
	Full Mendung	2.9852	0.4086	3.4091	0.4777
	Dominan Cerah	0.0996	0.0340	0.1698	0.0459
	Dominan Mendung	3.02880	0.4116	3.0399	0.4116
	Balance	3.6423	0.5024	3.6456	0.5024

**Tabel 4. 2** Hasil Validasi Data Arus dan Tegangan Tujuh Parameter dan Sembilan Parameter

Modul PV	Kondisi	Seven Parameters		Nine Parameters	
		Arus	Tegangan	Arus	Tegangan
Fix	Full Cerah	0.0859	0.0469	0.0864	0.0470
	Full Mendung	0.1281	0.0447	0.1288	0.0447
	Dominan Cerah	0.1139	0.0456	0.1145	0.2433
	Dominan Mendung	0.1139	0.0456	0.1139	0.0456
	Balance	2.2293	0.3613	0.1059	0.0461
Tracker	Full Cerah	3.6166	0.4889	0.2935	0.7780
	Full Mendung	3.3662	0.4777	0.2146	0.6411
	Dominan Cerah	3.3662	0.0340	0.1981	0.7024

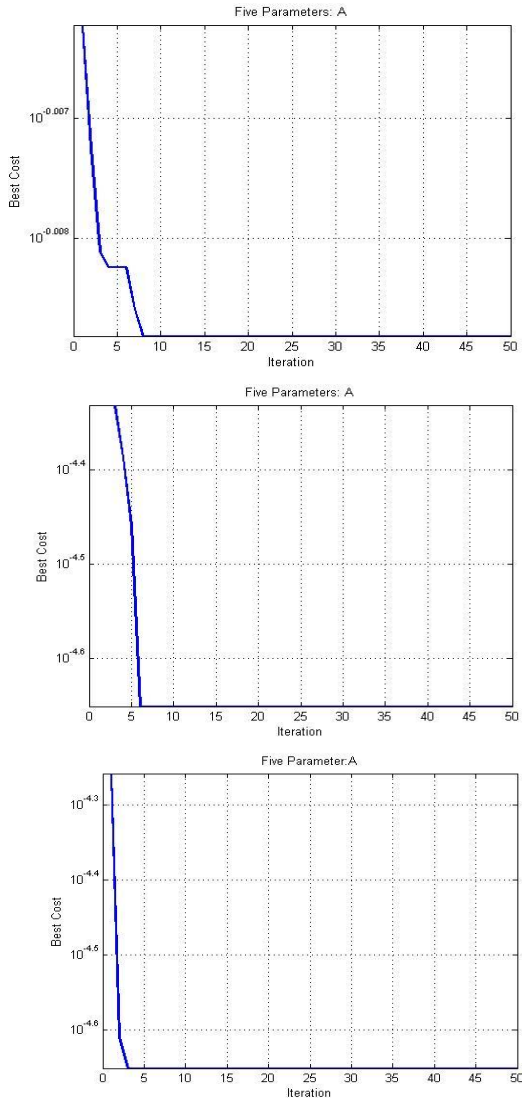
**Tabel 4.2** Lanjutan

Modul PV	Kondisi	Seven Parameters		Nine Parameters	
		Arus	Tegangan	Arus	Tegangan
	Dominan Mendung	0.4116	0.1561	0.1975	0.7024
	Balance	3.6411	0.5024	0.2426	0.7004

#### 4.4 Hasil Optimisasi

Proses optimisasi dilakukan dengan menggunakan tiga metode berbeda yakni *Particle Swarm Optimization* (PSO), *Firefly Algorithm* (FA), dan *Particle Swarm Modified Firefly Algorithm* (PSMFA). Ketiganya menunjukkan hasil yang berbeda yang ditunjukkan seperti tabel hasil optimisasi menggunakan FA, PSO, dan PSMFA pada Lampiran 5. Terdapat dua kriteria penilaian yang digunakan untuk menganalisa metode optimisasi yang baik. Dua kriteria tersebut adalah *value* dan *speed*. *Value* atau nilai diartikan sebagai solusi minimum global yang dapat dicapai oleh metode optimisasi yang digunakan. Sedangkan *speed* merupakan kriteria penilaian yang mengevaluasi kecepatan konvergensi.

Hasil kecepatan konvergensi dari ketiga metode optimisasi parameter *ideality factor* dapat dilihat pada gambar 4.18. Berdasarkan grafik konvergensi tersebut dapat diketahui bahwa metode optimisasi menggunakan metode PSMFA memiliki kecepatan konvergensi yang lebih tinggi daripada dua metode lain yang digunakan yakni PSO dan FA. Ketiga metode optimisasi menunjukkan solusi minimum global yang sama sebesar 0.00202 untuk *ideality factor diode*. PSMFA membutuhkan waktu yang lebih cepat yakni tiga iterasi, PSO memerlukan waktu iterasi dua kali lebih lama daripada PSMFA sebanyak enam iterasi, sedangkan FA membutuhkan waktu lebih lama daripada keduanya, yakni delapan iterasi.

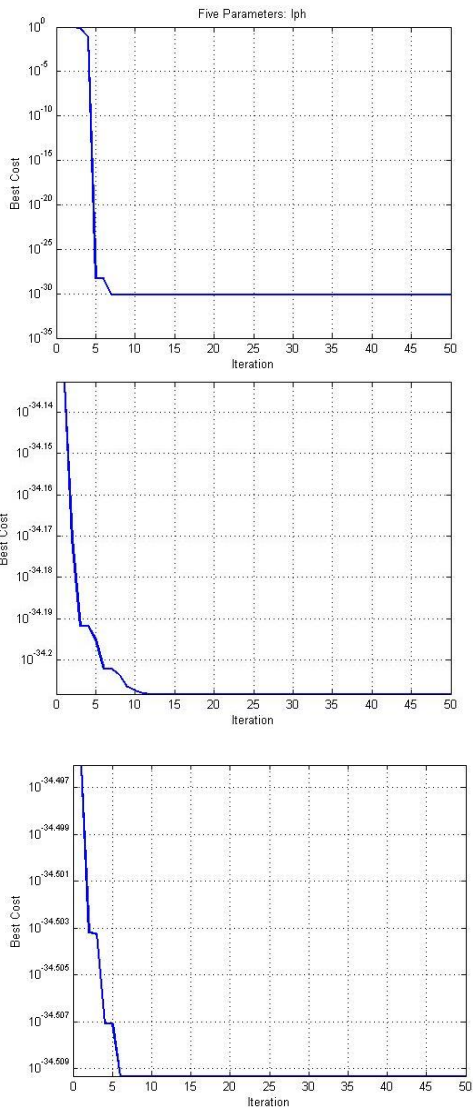


**Gambar 4. 18** Kecepatan Konvergensi FA, PSO, dan PSMFA untuk *Ideality factor diode*

Hasil kecepatan konvergensi dari ketiga metode optimisasi parameter arus saturasi *diode* dapat dilihat pada gambar 4.19. Dari grafik konvergensi tersebut dapat diketahui bahwa metode optimisasi menggunakan metode PSMFA memiliki kecepatan konvergensi yang lebih tinggi daripada dua metode optimisasi lain yang digunakan yakni PSO dan FA. Ketiga metode optimisasi menunjukkan solusi minimum global yang sama dari ketiga metode optimisasi sebesar  $6.9 \times 10^{-31}$  A. PSMFA membutuhkan enam iterasi, sedikit berbeda dengan waktu yang dibutuhkan FA sebanyak tujuh iterasi, sedangkan PSO membutuhkan waktu yang lebih lama yakni sebelas iterasi.

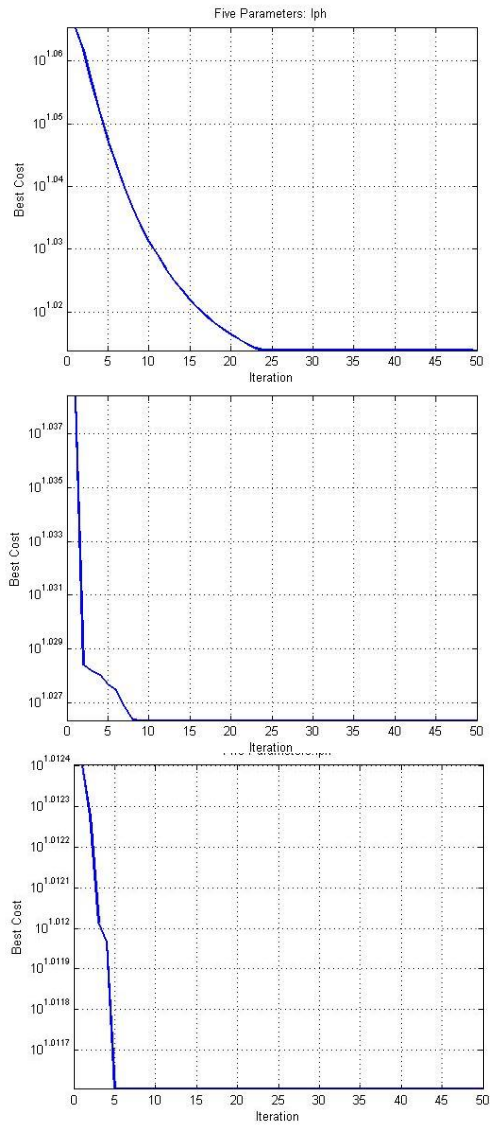
Hasil kecepatan konvergensi dari ketiga metode optimisasi parameter *photocurrent* dapat dilihat pada gambar 4.20. Dari grafik konvergensi tersebut dapat diketahui bahwa metode optimisasi menggunakan metode PSMFA memiliki kecepatan konvergensi yang lebih tinggi daripada dua metode optimisasi lain yang digunakan yakni PSO dan FA. Metode optimisasi PSMFA menunjukkan solusi minimum global sebesar 8.421 A, sedangkan metode optimisasi PSO dan metode optimisasi FA sebesar 8.899 A. Metode optimisasi PSMFA membutuhkan lima iterasi, metode optimisasi PSO membutuhkan waktu delapan iterasi, sedangkan untuk metode optimisasi FA membutuhkan waktu yang lebih lama yakni 23 iterasi

Hasil kecepatan konvergensi dari ketiga metode optimisasi parameter hambatan seri dapat dilihat pada gambar 4.21. Dari grafik konvergensi tersebut dapat diketahui bahwa metode optimisasi menggunakan metode FA memiliki kecepatan konvergensi yang lebih tinggi daripada dua metode optimisasi lain yang digunakan yakni PSO dan FA. Ketiga metode optimisasi menunjukkan solusi minimum global yang sama yakni sebesar 0.01306. PSMFA membutuhkan empat belas iterasi selisih sedikit dengan PSO yang membutuhkan waktu tiga belas iterasi, sedangkan FA hanya membutuhkan waktu delapan iterasi.

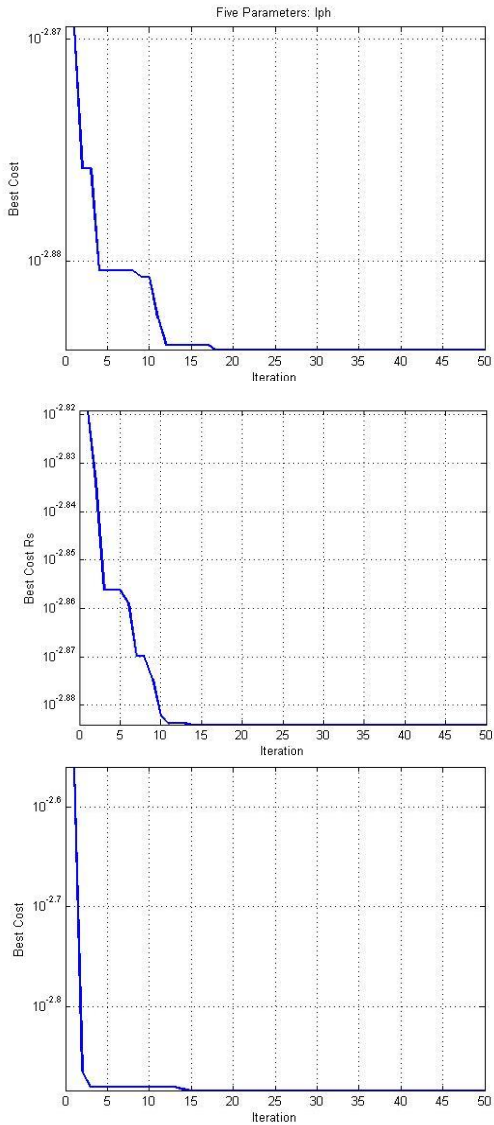


**Gambar 4. 19** Kecepatan Konvergensi FA, PSO, dan PSMFA untuk Saturation Current

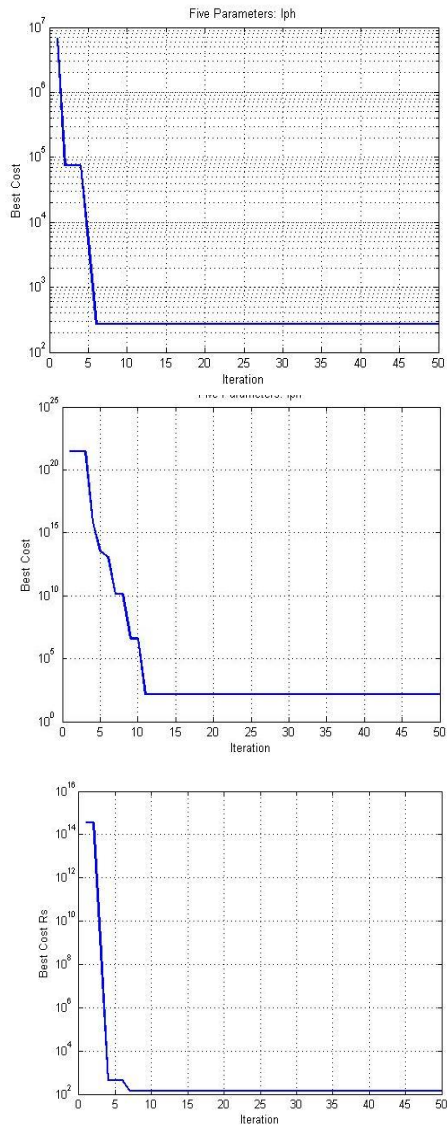




**Gambar 4. 20** Kecepatan Konvergensi FA, PSO, dan PSMFA untuk PhotoCurrent



**Gambar 4. 21** Kecepatan Konvergensi FA, PSO, dan PSMFA untuk Hambatan Seri



**Gambar 4. 22** Kecepatan Konvergensi FA, PSO, dan PSMFA untuk Shunt Resistance

Hasil kecepatan konvergensi dari ketiga metode optimisasi parameter *parallel resistance* dapat dilihat pada gambar 4.22. Dari grafik konvergensi tersebut dapat diketahui bahwa metode optimisasi menggunakan metode PSMFA memiliki kecepatan konvergensi yang lebih tinggi daripada dua metode yang lain yang digunakan yakni PSO dan FA. Metode PSMFA dan PSO menunjukkan solusi minimum global yang sama yakni sebesar 135.30 Ohm, sedangkan FA sebesar 270.6189 Ohm. PSMFA membutuhkan tujuh iterasi, PSO membutuhkan waktu sebelas iterasi, sedangkan FA membutuhkan waktu enam iterasi.

Pada tabel didapatkan bahwa nilai dari *photocurrent* ekstraksi tiga parameter, lima parameter, tujuh parameter, dan sembilan parameter yang menggunakan metode optimisasi FA dan PSO memiliki nilai yang sama besar, yakni sebesar 8.899 A. Ekstraksi tiga parameter, lima parameter, tujuh parameter, dan sembilan parameter metode optimisasi PSMFA memiliki nilai yang sama yakni 8.41 A. Sedangkan *ideality factor diode* memiliki nilai yang tetap pada ketiga metode optimisasi pada saat diekstraksi tiga parameter yakni sebesar 0.0020121 dan lima parameter sebesar 0.0000022 sedangkan tujuh parameter memiliki nilai yang paling besar yakni sebesar 0.99 dan 1.99 untuk FA. Metode optimisasi sebesar PSO dan PSMFA sebesar 0.98 dan 1.98.

Hasil optimisasi arus saturasi dioda tiga parameter dan lima parameter bernilai  $6.89 \times 10^{-31}$  A, ketiga metode optimisasi menunjukkan nilai sama, tujuh parameter bernilai lebih kecil yakni sebesar  $8.35 \times 10^{-36}$  A dan  $4.18 \times 10^{-36}$  A untuk FA,  $6.19 \times 10^{-35}$  A dan  $3.10 \times 10^{-35}$  A menggunakan PSO dan PSMFA. Nilai hambatan seri ketiga metode optimisasi bernilai sama saat diekstraksi lima maupun tujuh parameter yakni sebesar 0.0013061. Kemudian *parallel resistance* bernilai 270.62 Ohm menggunakan FA dan 135.31 Ohm menggunakan PSO dan PSMFA ketika ekstraksi lima parameter, sedangkan tujuh parameter sebesar 135.31 Ohm menggunakan ketiga metode. Secara keseluruhan hasil optimal



**Tabel 4.3 Lanjutann**

Para meter	Ekstraksi					Rata- rata	<i>Error</i>	PSMF A
	FC	FM	DC	DM	B			
	9.09 9	9.09 9	9.09 9	9.09 9	9.09 9	9.0993	0.099 3	
	9.09 9	9.09 9	9.09 9	9.09 9	9.09 9	9.0993	0.099 3	
	9.09 9	9.09 9	9.09 9	9.09 9	9.09 9	9.0993	0.099 3	
	9.09 9	9.09 9	9.09 9	9.09 9	9.09 9	9.0993	0.099 3	
7 para meter	8.99 9	8.99 9	8.99 9	8.99 9	8.99 9	8.9998	0.000 2	7.7302 9
	8.99 9	8.99 9	8.99 9	8.99 9	8.99 9	8.9998	0.000 2	
	8.99 9	8.99 9	8.99 9	8.99 9	8.99 9	8.9997	0.000 3	
	8.99 9	8.99 9	8.99 9	8.99 9	8.99 9	8.9997	0.000 3	
	8.99 9	8.99 9	8.99 9	8.99 9	8.99 9	8.9997	0.000 3	
	8.99 9	8.99 9	8.99 9	8.99 9	8.99 9	8.9997	0.000 3	
	8.99 9	8.99 9	8.99 9	8.99 9	8.99 9	8.9997	0.000 3	
	8.99 9	8.99 9	8.99 9	8.99 9	8.99 9	8.9997	0.000 3	
	8.99 9	8.99 9	8.99 9	8.99 9	8.99 9	8.9997	0.000 3	
	8.99 9	8.99 9	8.99 9	8.99 9	8.99 9	8.9998	0.000 2	
	8.99 9	8.99 9	8.99 9	8.99 9	8.99 9	8.9998	0.000 2	
	8.99 9	8.99 9	8.99 9	8.99 9	8.99 9	8.9998	0.000 2	
9 Paramet er	10.7 5	10.8 0	10.6 8	10.8 2	10.7 8	10.76	1.760	9.2234
	10.5 8	10.7 9	10.7 4	10.8 2	10.5 8	10.70	1.704 6	
	10.4 6	10.7 2	10.5 5	10.7 4	10.4 8	10.59	1.590 7	
	10.4	10.5	10.5	10.6	10.4	10.53	1.531	
	10.3 8	10.5 6	10.5 2	10.5 7	10.3	10.48	1.481	

**Tabel 4.3** Lanjutan

Parameter	Ekstraksi					Rata-rata	Error	PSM FA
	FC	FM	DC	DM	B			
9 Parameter	10.53 27	10.46 37	10.46 37	10.54 64	10.51	10.503 4	1.50 34	
	10.75 32	10.80 31	10.68 35	10.82 09	10.77 91	10.768 0	1.76 80	
	10.50 71	10.77 88	10.43 55	10.52 06	10.49 00	10.546 4	1.54 64	
	10.52 06	10.79 17	10.52 06	10.56 46	10.50 31	10.580 1	1.58 01	
	10.48 61	10.80 79	10.48 61	10.81 77	10.51 50	10.622 6	1.62 26	
	10.78 85	10.80 14	10.73 41	10.81 93	10.82 83	10.794 3	1.79 43	
	10.77 56	10.89 17	10.80 96	10.90 84	10.77 18	10.831 4	1.83 14	

Dari hasil ekstraksi didapatkan bahwa nilai Isc konstan tiga parameter sebesar 9, begitu pula lima parameter sebesar 9.099304, sedangkan tujuh parameter nilai tertinggi sebesar 8.999853 A dan terendah sebesar 8.999561 A. Sembilan parameter menunjukkan hasil ekstraksi yang paling tinggi diantara tiga pendekatan lainnya yakni berkisar pada angka 10 A. Hasil selisihnya pun terbilang tinggi. Selisih paling tinggi sebesar 1.8314 A. Hasil optimisasi menunjukkan nilai optimisasi untuk tiga parameter sebesar 8.798 sedangkan lima parameter sebesar 7.594 A, tujuh parameter sebesar 7.7303 A, sedangkan sembilan parameter menunjukkan hasil sebesar 9.2234 A.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data yang telah dilakukan maka didapatkan kesimpulan dari tugas akhir mengenai optimisasi parameter PV menggunakan metode PSMFA (*Particle Swarm Modified Firefly Algorithm*) adalah sebagai berikut:

1. Nilai dari ekstraksi parameter PV berdasarkan Lampiran 3 Ekstraksi Parameter *ideality factor diode*(A) paling tinggi ketika menggunakan model sembilan parameter yakni bernilai konstan 3, pada tujuh parameter menunjukkan nilai 2 sesuai dengan teori difusi Shockley sedangkan tiga dan lima parameter nilai tertinggi adalah 1.5. *Photocurrent* nilai paling tinggi dengan model tiga parameter, lima parameter, dan tujuh parameter bernilai 9.8902 A, 9.9122 A, dan 9.8906A. sedangkan sembilan parameter bernilai 9.8826 A. Arus saturasi diode paling besar bernilai  $1 \times 10^{-6}$  A,  $1 \times 10^{-6}$  A,  $3 \times 10^{-9}$  A dan  $1 \times 10^{-3}$  menggunakan tiga parameter, lima parameter, tujuh parameter dan sembilan parameter. Sedangkan nilai hambatan seri bernilai konstan pada lima parameter, tujuh parameter, dan sembilan parameter sebesar 0.0903 Ohm dan *shunt resistance* untuk lima parameter, tujuh parameter, dan sembilan parameter bernilai 362.39 Ohm, 14431 Ohm, dan 11100 Ohm.
2. Berdasarkan tabel hasil optimisasi menggunakan FA, PSO, dan PSMFA pada Lampiran 5, hasil optimisasi menggunakan FA dan PSO memiliki hasil optimisasi yang sama untuk nilai *photocurrent* yakni sebesar 8.889 A sedangkan PSMFA sebesar 8.421 A. *Ideality factor* bernilai sama pada metode optimisasi model tiga parameter yakni sebesar 0.0020121, 0.000022341 pada lima parameter, dan untuk tujuh parameter menggunakan FA 0.991106 dan 1.9911, PSO sebesar 0.979892799 serta 1.979892799. PSMFA memiliki nilai yang sama dengan PSO

3. Berdasarkan grafik konvergensi pada Gambar 4.18 sampai 4.22 metode optimisasi menggunakan PSMFA dan PSO memiliki nilai *resistance paralel* yang lebih kecil daripada FA lima parameter, sedangkan *photocurrent* menggunakan tiga parameter FA memiliki nilai yang lebih minimum, sedangkan lima parameter dan tujuh parameter, PSO dan PSMFA memiliki nilai yang lebih minimum. Arus saturasi diode paling minimum saat menggunakan metode optimisasi FA tujuh parameter. Sedangkan konvergensi PSMFA memiliki tingkat konvergensi yang lebih tinggi dibandingkan kedua metode optimisasi yang lain

## 5.2 Saran

Saran yang diberikan untuk pengembangan tugas akhir pada penelitian ini adalah:

1. Membandingkan hasil arus dan tegangann *output* modul PV dengan modul PV gabungan antara *fix* dan *tracker*
2. Mengambil data *input* setiap minggu pada beberapa bulan sebagai keterwakilan data terhadap cuaca Indonesia
3. Mencari parameter lain yang dapat dioptimalkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, "Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan," in *Buku Statistik Ketenagalistrikan No. 30 - 2017*, Jakarta, Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, 2017, pp. 21-25.
- [2] S. Said, *Outlook Energi Indonesia 2015*, Jakarta: Dewan Energi Nasional , 2015.
- [3] I. M. A. Nugraha, P. A. Ridhana and K. Listuayu, "Optimalisasi Pemasangan Panel Solar Home System Untuk Kehidupan Masyarakat Pedesaan di Ban Kubu Karangasem," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 17, no. 1, pp. 116-123, 2018.
- [4] H. S. Tira, A. Natsir and M. R. Iqbal, "Pengaruh Sudut Surya terhadap Daya *Output* Sel Surya 10 WP Tipe," *Teknik Mesin*, vol. 7, no. 2, pp. 69-74, 2018.
- [5] N. A. Handayani and D. Ariyanti, "Potency of Solar Energy Applications in Indonesia," *Int. Journal of Renewable Energy Development(IJRED)*, vol. 1, no. 2, pp. 33-38, 2012.
- [6] B. Tito, "Universitas Indonesia Library," 19 Juni 2012. [Online]. Available: <http://lib.ui.ac.id>. [Accessed 22 November 2018].
- [7] S. Sidopekso and A. E. Febtiwiyanti, "Studi Peningkatan *Output* Modul Surya Dengan Menggunakan," *Berkala Fisika*, vol. 12, no. 3, pp. 101-104, 2010.
- [8] I. Abadi, A. Musyafa' and A. Soeprijanto, "Design and Implementation of Active Two Axes Solar Tracking System Using Particle Swarm Optimization Based Fuzzy Logic Controller," *International Review on Modelling and Simulations (I.RE.MO.S.)*, vol. 8, no. 6, pp. 640-652, 2015.
- [9] C. Hilman and A. Musyafa', "OPTIMASI SUDUT KEMIRINGAN PANEL SURYA PADA PROTOTIPE SISTEM PENJEJAK MATAHARI AKTIF," *Prosiding*

*Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2016*, vol. V, pp. 53-56, 2016.

- [10] N. C. Park, W. W. Oh and D. H. Kim, "Effect of Temperatur and Kelembapan on the Degradation Rate of Multicrystalline Silicon Photo Voltaic Module," *International Journal of Photoenergy*, pp. 1-9, 2013.
- [11] H. A. Kazem and M. T. Chaichan, "Effect of Kelembapan on PhotoVoltaic Performance Based on Experimental Effect of Kelembapan on PhotoVoltaic Performance Based on Experimental," *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 10, no. 23, pp. 43572-43577, 2015.
- [12] M. Ali, M. H. Iqbal, N. A. Sheikh and dkk, "Performance Investigation of Air Velocity Effects on PV Modules under Controlled Conditions," *International Journal of Photoenergy*, pp. 1-10, 2017.
- [13] Vinod, R. Kumar and S. Singh, "Solar photoVoltaic modeling and simulation: As a renewable energy solution," *Elsevier*, vol. 4, pp. 701-712, 2018.
- [14] A. Sentürk, "New method for computing single diode model parameters of photoVoltaic modules," *Renewable Energy*, vol. 128, pp. 30-36, 2018.
- [15] P. d. K. Z. Hersch, "The PhotoVoltaic(PV) Effect," in *Basic Photovoltaic Principles and Method*, Washington, US GOvernment Printing Office, 1982, pp. 9-15.
- [16] R. Foster, M. Ghassemi and A. Cota, *Solar Energy*, Boca Raton, Florida: CRC Press, 2010.
- [17] Infinite Energy, "Solar Blog," Infinite Energy, 02 Februari 2017. [Online]. Available: <https://www.infiniteenergy.com.au/what-is-the-difference-between-a-solar-panel-and-a-photoVoltaic-cell/>. [Accessed 1 Mei 2019].
- [18] E. Mboumboue and D. Njomo, "Mathematical Modeling and Digital Simulation of PV Solar Panel using MATLAB

- Software," *International Journal of Energy and Environmental*, pp. 1-24, 2013.
- [19] T. D. Soares, "Analysing productivity in PhotoVoltaic systems under different atmospheric conditions," Instituto Superior Tecnico, Lisboa, 2014.
- [20] M. Ali and dkk, "Performance Investigation of Air Velocity Effects on PV Modules under Controlled Conditions," *International Journal of Photoenergy*, pp. 1-10, 2017.
- [21] A. Harrag and S. Messalti, "Three, Five and Seven PV Model Parameters Extraction using PSO," *Energy Procedia*, vol. 119, p. 767–774, 2017.
- [22] M. Kumar and A. Kumar, "An efficient parameters extraction technique of photoVoltaic models for performance assessment," *Solar Energy*, vol. 158, pp. 192-206, 2017.
- [23] G. TamizhMani, L. Ji, Y. Tang and L. Petacci, "PHOTOVOLTAIC MODULE THERMAL/WIND PEFORMNACE: Long-Term Monitoring and Model Development for Energy Rating," *NCPV and Solar Program Review*, pp. 936-939, 2003.
- [24] V. Khanna, B. K. Das, D. Bisht and P. K. Singh, "A three diode model for industrial solar cells and estimation of solar cell parameters using PSO algorithm," *Renewable Energy*, vol. 78, pp. 105-113, 2015.
- [25] P. Melin, O. Castillo and J. Kacprzyk, *Nature-Inspired Design of Hybrd Intelligent Systems*, Tijuana: Springer International, 2017.
- [26] Y. Soufi, M. Bachouat and S. Kahla, "Fuzzy- PSO Controller design for Maximum Power Point Tracking in PhotoVoltaic System," *Hydrogen Energy*, pp. 1-9, 2016.
- [27] R. E. Kennedy, Y. Shi, C. Jacob, J. Koza, F. IiiL, D. Andre and M. Keane, "Swarm Intelligence The Morgan Kaufmann Series in EvolutionaryComputation," 2001. [Online]. Available:

<http://www.citeulike.org/user/pesimov/article/1084312..>  
[Accessed 20 Mei 2019].

- [28] A. Sahu, S. Panigrahi and S. Pattnaik, "Fast convergence particle swarm optimization for functions optimization," *Procedia Technol*, vol. 4, pp. 319-324, 2012.
- [29] Z. A. Darwish, H. A. Kazem, K. Sopian and dkk, "Impact of Some Environmental Variables with Dust on Solar Photo Voltaic (PV) Performance: Review and Research Status," *INTERNATIONAL JOURNAL of ENERGY and ENVIRONMENT*, vol. 7, no. 4, pp. 152-159, 2013.
- [30] B. Aydilek, "hybrid firefly and particle swarm optimization algorithm for computationally expensive numerical problems," *Applied Soft Computing*, vol. 66, pp. 232-249, 2018.
- [31] X.-S. Yang, "Firefly Algorithm, Stochastic Test Functions and Design Optimisation," Department of Engineering, University of Cambridge, Cambridge, 2010.
- [32] A. M. Beigi and A. Maroosi, "Parameter identification for solar cells and module using a Hybrid Firefly and Pattern Search Algorithms," *Solar Energy*, vol. 171, pp. 435-446, 2018.
- [33] P. Kora and K. S. R. Krishna, "Hybrid Firefly and Particle Swarm Optimization algorithm for the detection of Bundle Branch Block," *International Journal of the Cardiovascular Academy*, vol. 2, pp. 44-48, 2016.
- [34] A. Nickabadi, M. Ebadzadeh and R. Safabakhsh, "A novel particle swarm optimization algorithm with adaptive inertia weight," *Appl. Soft Comput*, vol. 11, pp. 3658-3670, 2011.
- [35] X. Xia, L. Gui, G. He, C. Xie, B. Wei, Y. Xing, R. Wu and Y. Tang, "A hybrid optimizer based on firefly algorithm and particle swarm optimization algorithm," *Journal of Computational Science*, no. 26, pp. 488-500, 2017.
- [36] P.-C. Cheng, B.-R. Peng, Y.-H. Liu, Y.-S. Cheng and J.-W. Huang, "Optimization of a Fuzzy-Logic-Control-Based

MPPT Algorithm Using the Particle Swarm Optimization Technique," *Energies*, pp. 5338-5360, 2015.

- [37] T. Chakrabarti, U. Sharma, T. Chakrabarti and S. K. Sarkar, "Extraction of Efficient Electrical Parameters of Solar Cell using Firefly and Cuckoo Search Algorithm," pp. 1-6, 2016.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## LAMPIRAN 1

### Data Input Modul Fix

#### a. Full Cerah

<b>FIXED</b>							
PUKUL	INPUT				OUTPUT		
	SUHU	IRADIASI	V angin	RH	ARUS	V LANGSUNG	V BEBAN
7	34.9	239.4	0.666	58.4	2.38	30.00	13.7
8	45.8	638.4	0.66	51.66	5.94	30.20	13.32
9	53.8	818.44	0.44	44.24	7.79	30.64	13.32
10	53.7	1004.4	2.4	33	9.10	30.90	15.74
11	58.9	1079.8	1.28	32.3	9.83	30.40	15.64
12	49.1	1040.2	5	33.84	9.18	30.44	13.26
13	50.8	889.42	2.9	30.64	8.03	30.80	13.42
14	49.9	812.8	2.38	30.98	7.67	30.70	13.5
15	52.2	446.4	0.98	34.58	4.47	30.00	13.32
16	32.7	187.3	1.26	55.5	2.16	29.76	12.9
17	33.5	87.18	0.8	58.4	1.26	29.10	12.76

#### b. Full Mendung

<b>FIXED</b>							
PUKUL	INPUT				OUTPUT		
	SUHU	IRADIASI	RH	V ANGIN	ARUS	V LANGSUNG	V BEBAN
7	31.8	155.96	68.3	0.8	1.62	29.44	12.92
8	32	161.52	58.28	0.86	1.76	29.50	13.06
9	37	264.7	48.16	1.2	2.63	30.00	13.22
10	45.5	541.85	41	2.2	5.14	30.26	13.32
11	47.1	888.8	35.3	1.86	8.21	30.66	13.34
12	53.7	478.2	28.34	1.26	4.56	30.00	13.3
13	33.3	298.82	53.8	1.86	2.91	29.86	13.26
14	32.5	277.4	55.08	2.2	2.77	29.46	13.2
15	31.5	318.06	35.58	1.8	3.11	29.72	13
16	31.9	68.04	46.26	3.48	0.76	29.00	13
17	26.4	20.5	59.44	4.3	0.30	28.80	12.8

**c. Dominan Cerah**

<b>FIXED</b>							
PUKUL	INPUT				OUTPUT		
	SUHU	IRADIASI	RH	V ANGIN	ARUS	LANGSUN	V BEBAN
7	39.3	136.26	59.14	0.6	1.35	29.20	13.22
8	35.5	184.44	40.8	0.6	1.98	29.60	13.06
9	47.7	545.1	34.46	0.74	5.16	29.80	13.14
10	47.3	478.24	41.34	2.4	4.55	29.90	13.18
11	50.22	928.48	34.22	1.28	8.36	30.26	13.48
12	53.7	478.2	28.34	1.9	4.56	30.00	13.3
13	55.6	813.76	27.36	0.82	7.54	30.64	13.3
14	49.9	812.8	30.98	2.38	7.62	30.20	13.5
15	52.2	446.4	34.58	1.88	4.47	32.36	13.32
16	36.1	161.28	46.076	1.26	1.84	32.08	12.9
17	31.4	31.4	56.188	1	0.53	29.60	12.7

**d. Dominan Mendung**

<b>FIXED</b>							
PUKUL	INPUT				OUTPUT		
	SUHU	IRADIASI	RH	V ANGIN	ARUS	LANGSUN	V BEBAN
7	30.7	154.76	68.3	0.9	1.56	29.44	12.92
8	31	160.6	58.28	0.86	1.63	29.50	13.06
9	36	263.75	48.16	1.2	2.63	30.00	13.22
10	44.7	540.91	41	2.2	5.19	30.20	13.32
11	46.3	878.64	35.5	1.86	8.21	30.66	13.34
12	48.2	1014.8	33.84	1.26	9.14	31.00	13.26
13	49.9	859.1	30.64	1.86	7.87	30.70	13.42
14	47	727.17	35.58	2.2	6.69	30.24	13.36
15	30.9	320.1	35.58	1.8	3.19	29.64	13
16	30.8	61.04	46.26	3.48	0.64	29.16	13
17	25.4	19.29	59.44	4.3	0.43	28.80	12.8

e. *Balance*

FIXED							
PUKUL	INPUT				OUTPUT		
	SUHU	IRADIASI	RH	V ANGIN	ARUS	LANGSUN	V BEBAN
7	34.9	239.4	58.44	0.1	2.48	29.60	13.7
8	45.8	638.4	51.66	1.8	5.94	30.00	13.32
9	53.8	818.44	44.24	2	7.63	30.26	13.32
10	53.7	1004.4	33	0.7	9.10	30.76	15.74
11	62.5	1040.2	32.3	1.5	9.31	30.86	14.68
12	48.3	1000.2	33.84	2.5	9.18	30.96	13.46
13	33.3	298.82	53.8	0.4	2.91	30.00	13.26
14	32.5	277.46	55.08	1.1	2.77	29.86	13.2
15	33.3	220.8	57.22	0.8	2.22	29.78	11.9
16	32.7	187.3	55.5	0.6	2.01	29.14	12.9
17	33.5	87.18	58.4	2.1	1.21	29.10	12.76

Tabel Arus dan Tegangann *Output* pada Kondisi Ful Cerah dan *Full* Mendung Modul *Fix* dan *Tracker*

Pu kul	<i>Full Cerah</i>				<i>Full Mendung</i>			
	Arus		Tegangann		Arus		Tegangann	
	<i>Fix</i>	<i>Track er</i>	<i>Fix</i>	<i>Track er</i>	<i>Fix</i>	<i>Track er</i>	<i>Fix</i>	<i>Track er</i>
7	2.165 738	1.300 678	29.01 916	28.86 308	1.408 624	0.586 985	28.91 929	28.80 241
8	5.808 009	7.325 001	29.50 109	29.71 13	1.458 994	1.371 645	28.92 934	28.91 008
9	7.476 743	9.234 348	29.70 809	29.96 04	2.397 229	2.470 642	29.05 112	29.05 584
10	9.175 082	9.726 023	29.96 457	30.03 738	4.928 857	4.174 475	29.38 935	29.28 408
11	9.890 244	12.33 655	30.03 814	30.36 885	8.091 52	4.238 284	29.83 346	29.27 09
12	9.479 622	12.52 757	30.04 174	30.44 797	4.368 304	8.881 635	29.27 718	29.93 16
13	8.112 63	7.792 013	29.82 914	29.76 836	2.701 037	3.006 07	29.11 014	29.15 206
14	7.410 321	8.825 947	29.72 974	29.91 554	2.506 378	2.472 919	29.08 671	29.08 046

Tabel Lanjutan

Pu kul	<i>Full Cerah</i>				<i>Full Mendung</i>			
	Arus		Tegangann		Arus		Tegangann	
	<i>Fix</i>	<i>Trac ker</i>	<i>Fix</i>	<i>Trac ker</i>	<i>Fix</i>	<i>Trac ker</i>	<i>Fix</i>	<i>Trac ker</i>
15	4.074 667	5.431 103	29.23 749	29.44 432	2.872 257	1.204 935	29.14 668	28.90 791
16	1.692 477	2.204 579	28.96 358	29.02 704	0.614 567	0.817 891	28.82 768	28.85 161
17	0.788 102	0.947 973	28.82 743	28.84 489	0.184 635	0.172 349	28.78 557	28.77 829

Tabel Arus dan Tegangann *Output* pada Kondisi Dominan Cerah dan Dominan Mendung Modul *Fix* dan *Tracker*

Pu kul	Dominan Cerah				Dominan Mendung			
	Arus		Tegangann		Arus		Tegangann	
	<i>Fix</i>	<i>Trac ker</i>	<i>Fix</i>	<i>Trac ker</i>	<i>Fix</i>	<i>Trac ker</i>	<i>Fix</i>	<i>Trac ker</i>
7	1.23 5498	1.30 0678	28.8 6973	28.8 6246	1.39 6986	0.58 4243	28.9 221	28.8 0504
8	1.66 9062	2.07 7549	28.9 5104	29.0 0956	1.44 9929	1.36 2444	28.9 3158	28.9 1407
9	4.96 4057	5.89 2335	29.3 7952	29.5 0665	2.38 7386	0.67 6688	29.0 5332	28.8 0311
10	4.35 4284	4.17 4475	29.3 0177	29.2 8515	4.91 8273	4.83 9702	29.3 9088	29.3 6755
11	8.46 6376	4.23 8284	29.8 7114	29.2 6784	7.99 5721	10.7 0426	29.8 2297	30.1 7765
12	4.36 8304	8.88 1635	29.2 8094	29.9 3535	9.24 3854	11.5 2036	29.9 8999	30.2 8233
13	7.44 0875	7.79 2013	29.7 0342	29.7 5721	7.83 244	9.21 7952	29.7 8682	29.9 896
14	7.41 0322	8.82 5947	29.7 2974	29.9 1554	6.61 9719	8.33 5631	29.6 2617	29.8 6633
15	4.07 4668	5.42 2357	29.2 4277	29.4 4835	2.88 9776	1.13 0866	29.1 5139	28.8 9094

Tabel Lanjutan

Pu kul	Dominan Cerah				Dominan Mendung			
	Arus		Tegangann		Arus		Tegangann	
	<i>Fix</i>	<i>Trac ker</i>	<i>Fix</i>	<i>Trac ker</i>	<i>Fix</i>	<i>Trac ker</i>	<i>Fix</i>	<i>Trac ker</i>
16	1.45 9934	2.20 4579	28.9 2116	29.0 3003	0.55 1024	0.83 5355	28.8 2238	28.8 5761
17	0.28 3545	0.23 9757	28.7 6421	28.7 5516	0.17 3646	0.26 4473	28.7 8744	28.7 9154

Tabel Arus dan Tegangann *Output* pada Kondisi Dominan Cerah dan Dominan Mendung Modul *Fix* dan *Tracker*

Pukul	<i>Balance</i>			
	Arus		Tegangann	
	<i>Fix</i>	<i>Tracker</i>	<i>Fix</i>	<i>Tracker</i>
7	2.165739	2.167764	28.97063	29.00965
8	5.80801	5.81251	29.46258	29.50262
9	7.476744	7.47405	29.67206	29.71964
10	9.175084	9.181219	29.90944	29.95015
11	9.545135	9.527534	29.93056	29.98809
12	9.111332	9.143532	29.9328	29.95447
13	2.701037	2.701738	29.05638	29.09986
14	2.50692	2.507441	29.03503	29.07896
15	1.995813	1.99602	29.05952	29.00102
16	1.692478	1.692741	28.91451	28.95868
17	0.788103	0.788741	28.78985	28.8297

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**LAMPIRAN 2**  
**Data *Input* Modul PV Menggunakan *Tracker***

**a. *Full Cerah***

<b>TRACKER</b>							
	INPUT				OUTPUT		
PUKUL	SUHU	IRADIASI	V ANGIN	RH	ARUS	LANGSUN	V BEBAN
7	44	143.1	0.666	58.4	2.38	29.7	12.78
8	47.3	804.52	0.66	51.66	6.12	30	13.4
9	53.1	1011.2	0.44	44.24	7.9	30.12	13.52
10	55	1064	2.4	33	8.92	30.5	15.8
11	62.5	1344.4	1.28	32.3	9.2	30.73	14.68
12	55.4	1370.2	5	33.84	8.4	30.4	12.94
13	54.6	852.6	2.9	30.64	8.1	30.3	13.72
14	53.7	966.18	2.38	30.98	7.79	30	13.56
15	48.5	596.14	0.98	34.58	4.16	29.5	13.3
16	35.48	243.62	1.26	55.5	1.81	29.21	12
17	35.06	104.78	0.8	58.4	0.87	28.97	12.8

**b. *Full Mendung***

<b>TRACKER</b>							
	INPUT				OUTPUT		
PUKUL	SUHU	IRADIASI	V ANGIN	RH	ARUS	LANGSUN	V BEBAN
7	31.5	65	0.8	68.3	1.19	28.4	12
8	33.9	151.7	0.86	58.28	1.79	28.9	12.86
9	38.6	272.58	1.2	48.16	2.8	29	13.24
10	44.9	459.06	2.2	41.34	4.38	29.3	13.1
11	50.8	464.66	1.86	34.22	4.71	29.8	13.46
12	50.3	973.98	1.26	28.34	7.9	30.36	13.44
13	33.8	332.48	1.86	53.8	3.41	30.05	13.2
14	32.9	273.64	2.2	55.08	2.78	29.8	13.1
15	31.34	133.44	1.8	35.58	1.76	29.18	13.2
16	33.4	90.48	3.48	46.26	1.06	29.4	12.78
17	28	19.12	4.3	59.44	0.5	27.12	12.7

**c. Dominan Cerah**

<b>TRACKER</b>							
	INPUT				OUTPUT		
PUKUL	SUHU	IRADIASI	V ANGIN	RH	ARUS	LANGSUN	V BEBAN
7	44	143.1	0.6	59.14	1.38	29.3	12.78
8	35.5	229.58	0.6	40.8	1.04	29.38	12.84
9	49	646.6	0.74	34.46	6.1	29.99	13.44
10	44.9	459.06	2.4	41.34	4.08	29.7	13.1
11	50.8	464.66	1.28	34.22	4.91	29.5	13.46
12	50.3	973.98	1.9	28.34	8.4	30.34	13.44
13	54.6	852.6	0.82	27.36	7	30	13.72
14	53.7	966.18	2.38	30.98	8.29	30	13.56
15	48.5	595.18	1.88	34.58	6.04	29.98	13.3
16	35.48	243.62	1.26	46.076	2.48	29.3	12
17	32.2	26.54	1	56.188	0.61	28.5	12.7

**d. Dominan Mendung**

<b>TRACKER</b>							
	INPUT				OUTPUT		
PUKUL	SUHU	IRADIASI	V ANGIN	RH	ARUS	LANGSUN	V BEBAN
7	30.8	64.72		68.3	0.93	29.04	12
8	32.4	150.8		58.28	1.79	29.2	12.86
9	37.5	74.7		48.16	1.8	29.1	13.24
10	47.9	531.39		41	4.254	30	13.58
11	53.7	1171.8		35.5	6.786	30.56	13.44
12	55.61	1259.9		33.84	7.412	30.96	12.94
13	48.5	1011.8		30.64	6.67	30.7	12.8
14	48.04	915.17		35.58	7.6	30.06	13.46
15	33.14	125.12		35.58	1.77	29.18	13.2
16	32.4	92.46		46.26	1.03	29.14	12.78
17	28	29.34		59.44	0.51	27.12	12.7



e. *Balance*

<b>TRACKER</b>							
	INPUT				OUTPUT		
PUKUL	SUHU	IRADIASI	V ANGIN	RH	ARUS	LANGSUN	V BEBAN
7	36.7	56.8	0.1	58.44	1.5	29.41	14.6
8	47.3	804.52	1.8	51.66	5.542	30.03	13.4
9	53.1	1011.2	2	44.24	7.924	30.12	13.52
10	55	1064	0.7	33	7.92	30.8	15.8
11	58.9	1079.8	1.5	32.3	8.26	30.4	15.64
12	55.15	1241.29	2.5	40.3	8.4	31.06	12.94
13	33.8	332.48	0.4	53.8	3.14	29.54	13.2
14	32.9	273.64	1.1	55.08	2.874	29.38	13.1
15	33.5	232.58	0.8	57.22	2.64	29.4	12.82
16	33	209.6	0.6	55.5	2.17	29	12.96
17	35.06	104.78	2.1	58.4	1.17	28.9	12.8

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## LAMPIRAN 3

### Hasil Ekstraksi Parameter

#### a. Full Cerah

Three Parameters					Five Parameter														
Arus	Tegangan	Iph	Io	A	Arus	Tegangan	Iph	Io	A	Rs	Rp								
2.16573826	29.01916	2.165739	1.12E-06	1.453721	2.086545	29.01916	2.167161	1.12E-06	1.454721	0.090255	362.3924								
5.808008962	29.50109	5.80801	1.12E-06	1.404018	5.733122	29.50109	5.815977	1.12E-06	1.406018		362.3924								
7.476743016	29.70809	7.476744	1.12E-06	1.369648	7.407043	29.70811	7.490887	1.12E-06	1.370648		362.3924								
9.175082494	29.96457	9.175084	1.12E-06	1.370067	9.107404	29.96459	9.192379	1.12E-06	1.372067		362.3924								
9.890243512	30.03814	9.890245	1.12E-06	1.348602	9.82685	30.03816	9.912208	1.12E-06	1.349602		362.3924								
9.479622432	30.04174	9.479623	1.12E-06	1.389633	9.409402	30.04176	9.494665	1.12E-06	1.391633		362.3924								
8.112630047	29.82914	8.112631	1.12E-06	1.382337	8.042064	29.82915	8.126399	1.12E-06	1.387337		362.3924								
7.410320962	29.72974	7.410322	1.12E-06	1.38619	7.338579	29.72975	7.422465	1.12E-06	1.38819		362.3924								
4.074666754	29.23749	4.074668	1.12E-06	1.376386	4.000257	29.2375	4.081953	1.12E-06	1.377386		362.3924								
1.692477365	28.96358	1.692478	1.12E-06	1.464183	1.612999	28.96358	1.693344	1.12E-06	1.466183		362.3924								
0.788101819	28.82743	0.788103	1.12E-06	1.460362	0.708804	28.82743	0.788547	1.12E-06	1.462362	362.3924									
Seven Parameter							Nine Parameter												
Arus	Tegangan	Iph	Io1	Io2	A1	A2	Rs	Rp	Arus	Tegangan	Iph	Io1	Io2	Io3	A1	A2	A3	Rs	Rp
2.162852	28.97396	2.165759	4.96E-10	3.42E-05	1	2	0.090255	10229.47	2.16213	29.01916	2.165739	4.96E-10	3.42E-05	7.91E-04	1	2	3	0.090255	10229.47
5.803724	29.4559	5.80821	1.18E-09	4.51E-05	1	2		7072.793	5.802875	29.50109	5.80801	1.18E-09	4.51E-05	9.29E-04	1	2	3		7072.793
7.471152	29.66291	7.476844	2.13E-09	5.41E-05	1	2		5481.86	7.470212	29.70809	7.476744	2.13E-09	5.41E-05	1.03E-03	1	2	3		5481.86
9.169434	29.9194	9.175284	2.11E-09	5.40E-05	1	2		5498.915	9.168495	29.96457	9.175084	2.11E-09	5.40E-05	1.03E-03	1	2	3		5498.915
9.883595	29.99297	9.890645	3.05E-09	6.02E-05	1	2		4690.638	9.882598	30.03814	9.890245	3.05E-09	6.02E-05	1.09E-03	1	2	3		4690.638
9.474719	29.99657	9.479923	1.51E-09	4.87E-05	1	2		6357.116	9.473832	30.04174	9.479623	1.51E-09	4.87E-05	9.71E-04	1	2	3		6357.116
8.10751	29.78396	8.112731	1.71E-09	5.06E-05	1	2		6022.409	8.106604	29.82914	8.112631	1.71E-09	5.06E-05	9.93E-04	1	2	3		6022.409
7.405371	29.68456	7.410522	1.60E-09	4.96E-05	1	2		6196.9	7.404476	29.72974	7.410322	1.60E-09	4.96E-05	9.81E-04	1	2	3		6196.9
4.069483	29.1923	4.074868	1.89E-09	5.22E-05	1	2		5762.546	4.06856	29.23749	4.074668	1.89E-09	5.22E-05	1.01E-03	1	2	3		5762.546
1.689816	28.91838	1.692778	4.14E-10	3.23E-05	1	2		11056.52	1.689119	28.96358	1.692478	4.14E-10	3.23E-05	7.63E-04	1	2	3		11056.52
0.785384	28.78223	0.788503	4.42E-10	3.30E-05	1	2	10746.89	0.784678	28.82743	0.788103	4.42E-10	3.30E-05	7.73E-04	1	2	3	10746.89		

**b. Full Mendung**

Three Parameters					Five Parameter					Rs	Rp
Arus	Tegangan	Iph	Io	A	Arus	Tegangan	Iph	Io	A		
1.408624	28.91929	1.408624	1.12E-06	1.468507	1.329109	28.91929	1.409261	1.12E-06	1.468507	0.090255	362.3924
1.458994	28.92934	1.458994	1.12E-06	1.467544	1.37948	28.92934	1.459672	1.12E-06	1.467544		362.3924
2.397229	29.05112	2.397229	1.12E-06	1.443874	2.318373	29.05112	2.399135	1.12E-06	1.443874		362.3924
4.928857	29.38935	4.928857	1.12E-06	1.40534	4.853195	29.38936	4.935522	1.12E-06	1.40534		362.3924
8.09152	29.83346	8.09152	1.12E-06	1.398316	8.018963	29.83347	8.103305	1.12E-06	1.398316		362.3924
4.368304	29.27718	4.368304	1.12E-06	1.370067	4.29466	29.27719	4.376539	1.12E-06	1.370067		362.3924
2.701037	29.11014	2.701037	1.12E-06	1.461315	2.621524	29.11014	2.702525	1.12E-06	1.461315		362.3924
2.506378	29.08671	2.506378	1.12E-06	1.465142	2.426739	29.08671	2.507627	1.12E-06	1.465142		362.3924
2.872257	29.14668	2.872257	1.12E-06	1.469954	2.792353	29.14668	2.873497	1.12E-06	1.469954		362.3924
0.614567	28.82768	0.614567	1.12E-06	1.468025	0.535147	28.82768	0.614848	1.12E-06	1.468025		362.3924
0.184635	28.78557	0.184635	1.12E-06	1.494993	0.105174	28.78557	0.184652	1.12E-06	1.494993		362.3924

Seven Parameter							Nine Parameter									Rs	Rp		
Arus	Tegangan	Iph	Io1	Io2	A1	A2	Arus	Tegangan	Iph	Io1	Io2	Io3	A1	A2	A3				
1.406052	28.91929	1.408674	3.84E-10	3.15E-05	1	2	0.090255	11417.62	1.406052	28.91929	1.408624	4.96E-10	3.42E-05	7.52E-04	1	2	3	0.090255	11417.62
1.456402	28.92934	1.458104	3.90E-10	3.16E-05	1	2		11336.18	1.456402	28.92934	1.458994	1.18E-09	4.51E-05	7.54E-04	1	2	3		11336.18
2.394118	29.05112	2.397629	5.89E-10	3.62E-05	1	2		9507.792	2.394118	29.05112	2.397229	2.13E-09	5.41E-05	8.17E-04	1	2	3		9507.792
4.924639	29.38935	4.928957	1.15E-09	4.48E-05	1	2		7142.522	4.924639	29.38935	4.928857	2.11E-09	5.40E-05	9.26E-04	1	2	3		7142.522
8.086969	29.83346	8.09182	1.30E-09	4.65E-05	1	2		6779.89	8.086969	29.83346	8.09152	3.05E-09	6.02E-05	9.46E-04	1	2	3		6779.89
4.362859	29.27718	4.368504	2.11E-09	5.40E-05	1	2		5498.915	4.362859	29.27718	4.368304	1.51E-09	4.87E-05	1.03E-03	1	2	3		5498.915
2.698295	29.11014	2.701237	4.35E-10	3.28E-05	1	2		10823.32	2.698295	29.11014	2.701037	1.71E-09	5.06E-05	7.71E-04	1	2	3		10823.32
2.503717	29.08671	2.506878	4.07E-10	3.21E-05	1	2		11135.58	2.503717	29.08671	2.506378	1.60E-09	4.96E-05	7.61E-04	1	2	3		11135.58
2.86968	29.14668	2.872657	3.74E-10	3.12E-05	1	2		11541.08	2.86968	29.14668	2.872257	1.89E-09	5.22E-05	7.48E-04	1	2	3		11541.08
0.611999	28.82768	0.614867	3.87E-10	3.16E-05	1	2		11376.81	0.611999	28.82768	0.614567	4.14E-10	3.23E-05	7.53E-04	1	2	3		11376.81
0.182539	28.78557	0.184735	2.41E-10	2.70E-05	1	2		13903.36	0.182539	28.78557	0.184635	4.42E-10	3.30E-05	6.86E-04	1	2	3		13903.36

### c. Dominan Cerah

Three Parameters					Five Parameter						
Arus	Tegangan	Iph	Io	A	Arus	Tegangan	Iph	Io	A	Rs	Rp
1.235498	28.86973	1.235498	1.12E-06	1.43324	1.156695	28.86973	1.236667	1.12E-06	1.43324	0.090255	362.3924
1.669062	28.95104	1.669062	1.12E-06	1.450894	1.589919	28.95104	1.670224	1.12E-06	1.450894		362.3924
4.964057	29.37952	4.964057	1.12E-06	1.3957	4.889172	29.37953	4.971481	1.12E-06	1.3957		362.3924
4.354284	29.30177	4.354284	1.12E-06	1.397443	4.278741	29.30178	4.360683	1.12E-06	1.397443		362.3924
8.466376	29.87114	8.466376	1.12E-06	1.384818	8.395886	29.87115	8.480426	1.12E-06	1.384818		362.3924
4.368304	29.28094	4.368304	1.12E-06	1.370067	4.29465	29.28094	4.376539	1.12E-06	1.370067		362.3924
7.440875	29.70342	7.440875	1.12E-06	1.362145	7.371994	29.70343	7.455816	1.12E-06	1.362145		362.3924
7.410322	29.72974	7.410322	1.12E-06	1.38619	7.338579	29.72975	7.422465	1.12E-06	1.38619		362.3924
4.074668	29.24277	4.074668	1.12E-06	1.376386	4.000243	29.24277	4.081953	1.12E-06	1.376386		362.3924
1.459934	28.92116	1.459934	1.12E-06	1.448078	1.380838	28.92116	1.461008	1.12E-06	1.448078		362.3924
0.283545	28.76421	0.283545	1.12E-06	1.470436	0.204221	28.76421	0.283665	1.12E-06	1.470436		362.3924

Seven Parameter							Nine Parameter													
Arus	Tegangan	Iph	Io1	Io2	A1	A2	Rs	Rp	Arus	Tegangan	Iph	Io1	Io2	Io3	A1	A2	A3	Rs	Rp	
1.394513	28.9221	1.235498	3.50E-10	3.05E-05	1	2	0.090255	8785.811	8785.811	1.231392	28.86973	1.235498	7.09E-10	3.84E-05	8.47E-04	1	2	3	0.090255	8785.811
1.447428	28.93158	1.669062	3.59E-10	3.08E-05	1	2			10016.82	1.665396	28.95104	1.669062	5.22E-10	3.48E-05	7.98E-04	1	2	3		10016.82
2.38438	29.05332	4.964057	5.43E-10	3.53E-05	1	2			6649.613	4.958658	29.37952	4.964057	1.36E-09	4.72E-05	9.54E-04	1	2	3		6649.613
4.914164	29.39088	4.354284	1.08E-09	4.39E-05	1	2			6736.127	4.348968	29.30177	4.354284	1.32E-09	4.67E-05	9.49E-04	1	2	3		6736.127
7.991289	29.82297	8.466376	1.22E-09	4.56E-05	1	2			6134.172	8.460437	29.87114	8.466376	1.64E-09	5.00E-05	9.85E-04	1	2	3		6134.172
9.239099	29.98999	4.368304	1.41E-09	4.77E-05	1	2			5498.915	4.361919	29.28094	4.368304	2.11E-09	5.40E-05	1.03E-03	1	2	3		5498.915
7.827474	29.78682	7.440875	1.60E-09	4.96E-05	1	2			5185.485	7.434005	29.70342	7.440875	2.42E-09	5.62E-05	1.05E-03	1	2	3		5185.485
6.615234	29.62617	7.410322	1.29E-09	4.64E-05	1	2			6196.9	7.404476	29.72974	7.410322	1.60E-09	4.96E-05	9.81E-04	1	2	3		6196.9
2.887254	29.15139	4.074668	3.56E-10	3.07E-05	1	2			5762.546	4.06856	29.24277	4.074668	1.89E-09	5.22E-05	1.01E-03	1	2	3		5762.546
0.548557	28.82238	1.459934	3.53E-10	3.06E-05	1	2			9809.407	1.456204	28.92116	1.459934	5.48E-10	3.53E-05	8.06E-04	1	2	3		9809.407
0.171626	28.78744	0.283545	2.21E-10	2.62E-05	1	2			11582.59	0.280349	28.76421	0.283545	3.71E-10	3.11E-05	7.47E-04	1	2	3		11582.59

#### d. Dominan Mendung

Three Parameters					Five Parameter					Rs	Rp
Arus	Tegangan	Iph	Io	A	Arus	Tegangan	Iph	Io	A		
1.396986	28.9221	1.396986	1.12E-06	1.473826	1.317358	28.9221	1.397515	1.12E-06	1.473826	0.090255	362.3924
1.449929	28.93158	1.449929	1.12E-06	1.472371	1.370311	28.93158	1.450507	1.12E-06	1.472371		362.3924
2.387386	29.05332	2.387386	1.12E-06	1.448546	2.308361	29.05332	2.389127	1.12E-06	1.448546		362.3924
4.918273	29.39088	4.918273	1.12E-06	1.408879	4.842338	29.39088	4.924666	1.12E-06	1.408879		362.3924
7.995721	29.82297	7.995721	1.12E-06	1.401819	7.922661	29.82298	8.00695	1.12E-06	1.401819		362.3924
9.243854	29.98999	9.243854	1.12E-06	1.393527	9.172918	29.99	9.25798	1.12E-06	1.393527		362.3924
7.83244	29.78682	7.83244	1.12E-06	1.38619	7.761127	29.78683	7.845275	1.12E-06	1.38619		362.3924
6.619719	29.62617	6.619719	1.12E-06	1.398753	6.545915	29.62618	6.629318	1.12E-06	1.398753		362.3924
2.889776	29.15139	2.889776	1.12E-06	1.472856	2.809748	29.15139	2.89091	1.12E-06	1.472856		362.3924
0.551024	28.82238	0.551024	1.12E-06	1.473341	0.471565	28.82238	0.551236	1.12E-06	1.473341		362.3924
0.173646	28.78744	0.173646	1.12E-06	1.500003	0.09417	28.78744	0.173651	1.12E-06	1.500003		362.3924

Seven Parameter							Nine Parameter												
Arus	Tegangan	Iph	Io1	Io2	A1	A2	Rs	Rp	Arus	Tegangan	Iph	Io1	Io2	Io3	A1	A2	A3	Rs	Rp
1.394513	28.9221	1.396996	3.50E-10	3.05E-05	1	2	0.090255	11878.15	1.393839	28.9221	1.396986	3.50E-10	3.05E-05	7.38E-04	1	2	3	0.090255	11878.15
1.447428	28.93158	1.449949	3.59E-10	3.08E-05	1	2		11750.4	1.44675	28.93158	1.449929	3.59E-10	3.08E-05	7.42E-04	1	2	3		11750.4
2.38438	29.05332	2.387586	5.43E-10	3.53E-05	1	2		9843.618	2.383646	29.05332	2.387386	5.43E-10	3.53E-05	8.05E-04	1	2	3		9843.618
4.914164	29.39088	4.918773	1.08E-09	4.39E-05	1	2		7332.525	4.913328	29.39088	4.918273	1.08E-09	4.39E-05	9.15E-04	1	2	3		7332.525
7.991289	29.82297	7.995751	1.22E-09	4.56E-05	1	2		6958.379	7.990435	29.82297	7.995721	1.22E-09	4.56E-05	9.36E-04	1	2	3		6958.379
9.239099	29.98999	9.243874	1.41E-09	4.77E-05	1	2		6543.335	9.238223	29.98999	9.243854	1.41E-09	4.77E-05	9.60E-04	1	2	3		6543.335
7.827474	29.78682	7.83294	1.60E-09	4.96E-05	1	2		6196.9	7.826579	29.78682	7.83244	1.60E-09	4.96E-05	9.81E-04	1	2	3		6196.9
6.615234	29.62617	6.619819	1.29E-09	4.64E-05	1	2		6801.898	6.614371	29.62617	6.619719	1.29E-09	4.64E-05	9.45E-04	1	2	3		6801.898
2.887254	29.15139	2.889876	3.56E-10	3.07E-05	1	2		11792.8	2.886578	29.15139	2.889776	3.56E-10	3.07E-05	7.41E-04	1	2	3		11792.8
0.548557	28.82238	0.551524	3.53E-10	3.06E-05	1	2		11835.39	0.547882	28.82238	0.551024	3.53E-10	3.06E-05	7.40E-04	1	2	3		11835.39
0.171626	28.78744	0.173716	2.21E-10	2.62E-05	1	2		14431.41	0.171012	28.78744	0.173646	2.21E-10	2.62E-05	6.74E-04	1	2	3		14431.41

**e. Balance**

Three Parameters					Five Parameter					Rs	Rp								
Arus	Tegangan	Iph	Io	A	Arus	Tegangan	Iph	Io	A										
2.165739	28.97063	2.165739	1.12E-06	1.453721	2.086554	29.01583	2.167161	1.12E-06	1.453721	0.090255	362.3924								
5.80801	29.46258	5.80801	1.12E-06	1.404018	5.733104	29.50777	5.815977	1.12E-06	1.404018		362.3924								
7.476744	29.67206	7.476744	1.12E-06	1.369648	7.407018	29.71725	7.490887	1.12E-06	1.369648		362.3924								
9.175084	29.90944	9.175084	1.12E-06	1.370067	9.107432	29.95463	9.192379	1.12E-06	1.370067		362.3924								
9.545135	29.93056	9.545135	1.12E-06	1.334131	9.48344	29.97576	9.56854	1.12E-06	1.334131		362.3924								
9.111332	29.9328	9.111332	1.12E-06	1.393093	9.04032	29.97799	9.125315	1.12E-06	1.393093		362.3924								
2.701037	29.05638	2.701037	1.12E-06	1.461315	2.621548	29.10158	2.702525	1.12E-06	1.461315		362.3924								
2.50692	29.03503	2.50692	1.12E-06	1.465142	2.427299	29.08034	2.508169	1.12E-06	1.465142		362.3924								
1.995813	29.05952	1.995813	1.12E-06	1.461315	1.916387	29.0017	1.996913	1.12E-06	1.461315		362.3924								
1.692478	28.91451	1.692478	1.12E-06	1.464183	1.613009	28.95971	1.693344	1.12E-06	1.464183		362.3924								
0.788103	28.78985	0.788103	1.12E-06	1.460362	0.708782	28.83505	0.788547	1.12E-06	1.460362		362.3924								
Seven Parameter							Nine Parameter												
Arus	Tegangan	Iph	Io1	Io2	A1	A2	Rs	Rp	Arus		Tegangan	Iph	Io1	Io2	Io3	A1	A2	A3	Rs
2.161193	29.02138	2.165739	4.34E-10	3.28E-05	1	2	0.090255	10829.47	2.16049	29.02138	2.165739	4.34E-10	3.28E-05	7.71E-04	1	2	3	0.090255	10829.47
5.804166	29.50724	5.80801	1.19E-09	4.53E-05	1	2		7037.085	5.803316	29.50724	5.80801	1.19E-09	4.53E-05	9.31E-04	1	2	3		7037.085
7.466235	29.72183	7.476744	1.93E-09	5.25E-05	1	2		5715.243	7.46531	29.72183	7.476744	1.93E-09	5.25E-05	1.01E-03	1	2	3		5715.243
9.174153	29.95105	9.175084	2.27E-09	5.52E-05	1	2		5324.946	9.173202	29.95105	9.175084	2.27E-09	5.52E-05	1.04E-03	1	2	3		5324.946
9.890149	30.03482	9.545135	3.35E-09	6.19E-05	1	2		4505.392	9.889137	30.03482	9.545135	3.35E-09	6.19E-05	1.11E-03	1	2	3		4505.392
9.481613	30.02209	9.111332	1.68E-09	5.04E-05	1	2		6068.934	9.480709	30.02209	9.111332	1.68E-09	5.04E-05	9.90E-04	1	2	3		6068.934
8.112077	29.80325	2.701037	1.86E-09	5.19E-05	1	2		5810.503	8.111158	29.80325	2.701037	1.86E-09	5.19E-05	1.01E-03	1	2	3		5810.503
7.409635	29.71061	2.50692	1.74E-09	5.09E-05	1	2		5972.347	7.408726	29.71061	2.50692	1.74E-09	5.09E-05	9.96E-04	1	2	3		5972.347
4.065745	29.23588	1.995813	1.64E-09	5.00E-05	1	2		6123.857	4.064845	29.23588	1.995813	1.64E-09	5.00E-05	9.86E-04	1	2	3		6123.857
1.68788	28.96813	1.692478	3.37E-10	3.01E-05	1	2		12073.76	1.687212	28.96813	1.692478	3.37E-10	3.01E-05	7.33E-04	1	2	3		12073.76
0.785458	28.83423	0.788103	4.51E-10	3.32E-05	1	2		10656.4	0.78475	28.83423	0.788103	4.51E-10	3.32E-05	7.76E-04	1	2	3		10656.4



## LAMPIRAN 4

### Validasi

#### 1. *Fix*

##### a. *Full Cerah*

3	Simulasi		Proven Model		RMSE		Simulasi		Ukur		RMSE	
	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan
P a r a m e t e r	2.165739	29.01916	2.301686	28.97517	0.083918	0.046959	2.165739	29.019161	2.38	30	0.291128	0.777965
	5.80801	29.50109	5.880441	29.45494			5.80801	29.501086	5.94	30.2		
	7.476744	29.70809	7.490974	29.66016			7.476744	29.708095	7.79	30.64		
	9.175084	29.96457	9.158197	29.91529			9.175084	29.964573	9.1	30.9		
	9.890245	30.03814	9.829293	29.98763			9.890245	30.038142	9.83	30.4		
	9.479623	30.04174	9.483402	29.99297			9.479623	30.041743	9.18	30.44		
	8.112631	29.82914	8.130375	29.78091			8.112631	29.829137	8.03	30.8		
	7.410322	29.72974	7.443881	29.68201			7.410322	29.729737	7.67	30.7		
	4.074668	29.23749	4.157365	29.19164			4.074668	29.237491	4.47	30		
	1.692478	28.96358	1.833903	28.91969			1.692478	28.963579	2.16	29.76		
0.788103	28.82743	0.933842	28.78378	0.788103	28.827431	1.26	29.1					

5	Simulasi		Proven Model		RMSE		Simulasi		Ukur		RMSE	
	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan
P a r a m e t e r	2.086545	29.01916	2.301686	28.97517	0.14337	0.046969	2.086545	29.019162	2.38	30	0.338705	0.777957
	5.733122	29.50109	5.880441	29.45494			5.733122	29.501093	5.94	30.2		
	7.407043	29.70811	7.490974	29.66016			7.407043	29.708107	7.79	30.64		
	9.107404	29.96459	9.158197	29.91529			9.107404	29.964589	9.1	30.9		
	9.82685	30.03816	9.829293	29.98763			9.82685	30.038162	9.83	30.4		
	9.409402	30.04176	9.483402	29.99297			9.409402	30.041757	9.18	30.44		
	8.042064	29.82915	8.130375	29.78091			8.042064	29.829149	8.03	30.8		
	7.338579	29.72975	7.443881	29.68201			7.338579	29.729748	7.67	30.7		
	4.000257	29.2375	4.157365	29.19164			4.000257	29.237496	4.47	30		
	1.612999	28.96358	1.833903	28.91969			1.612999	28.96358	2.16	29.76		
0.708804	28.82743	0.933842	28.78378	0.708804	28.827431	1.26	29.1					

7	Simulasi		Proven Model		RMSE		Simulasi		Ukur		RMSE	
	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan
P a r a m e t e r	2.162852	28.97396	2.301686	28.97517	0.085935	0.046959	2.162852	28.97396	2.38	30	0.29306	0.777965
	5.803724	29.4559	5.880441	29.45494			5.803724	29.455898	5.94	30.2		
	7.471152	29.66291	7.490974	29.66016			7.471152	29.662913	7.79	30.64		
	9.169434	29.9194	9.158197	29.91529			9.169434	29.919398	9.1	30.9		
	9.883595	29.99297	9.829293	29.98763			9.883595	29.992969	9.83	30.4		
	9.474719	29.99657	9.483402	29.99297			9.474719	29.996569	9.18	30.44		
	8.10751	29.78396	8.130375	29.78091			8.10751	29.783957	8.03	30.8		
	7.405371	29.68456	7.443881	29.68201			7.405371	29.684556	7.67	30.7		
	4.069483	29.1923	4.157365	29.19164			4.069483	29.192297	4.47	30		
	1.689816	28.91838	1.833903	28.91969			1.689816	28.918377	2.16	29.76		
0.785384	28.78223	0.933842	28.78378	0.785384	28.782225	1.26	29.1					

**b. Full Mendung**

Simulasi		Proven Model		RMSE		Simulasi		Ukur		RMSE	
Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan
1.408624	28.91929	1.552145793	28.87581	0.125324	0.044739	1.408624	28.91929	1.62	29.44	0.210837	0.641097
1.458994	28.92934	1.602178901	28.88557			1.458994	28.92934	1.76	29.50		
2.397229	29.05112	2.528927825	29.00677			2.397229	29.05112	2.63	30.00		
4.928857	29.38935	5.015662847	29.34357			4.928857	29.38935	5.14	30.26		
8.09152	29.83346	8.125509504	29.78548			8.09152	29.83346	8.21	30.66		
4.368304	29.27718	4.442473382	29.23098			4.368304	29.27718	4.56	30.00		
2.701037	29.11014	2.836068884	29.06596			2.701037	29.11014	2.91	29.86		
2.506378	29.08671	2.64379929	29.04264			2.506378	29.08671	2.77	29.46		
2.872257	29.14668	3.009437099	29.10201			2.872257	29.14668	3.11	29.72		
0.614567	28.82768	0.76202082	28.78375			0.614567	28.82768	0.76	29.00		
0.102213	28.74037	0.334473369	28.74207			0.102213	28.74037	0.30	28.80		

Simulasi		Proven Model		RMSE		Simulasi		Ukur		RMSE	
Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan
1.329109	28.91929	1.552145793	28.87581	0.201718	0.044741	1.329109	28.91929	1.62	29.44	0.287013	0.641094
1.37948	28.92934	1.602178901	28.88557			1.37948	28.92934	1.76	29.50		
2.318373	29.05112	2.528927825	29.00677			2.318373	29.05112	2.63	30.00		
4.853195	29.38936	5.015662847	29.34357			4.853195	29.38936	5.14	30.26		
8.018963	29.83347	8.125509504	29.78548			8.018963	29.83347	8.21	30.66		
4.29466	29.27719	4.442473382	29.23098			4.29466	29.27719	4.56	30.00		
2.621524	29.11014	2.836068884	29.06596			2.621524	29.11014	2.91	29.86		
2.426739	29.08671	2.64379929	29.04264			2.426739	29.08671	2.77	29.46		
2.792353	29.14668	3.009437099	29.10201			2.792353	29.14668	3.11	29.72		
0.535147	28.82768	0.76202082	28.78375			0.535147	28.82768	0.76	29.00		
0.105174	28.78557	0.334473369	28.74207	0.105174	28.78557	0.30	28.80				

Simulasi		Proven Model		RMSE		Ukur		Ukur		RMSE	
Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan
1.406052	28.91929	1.552145793	28.87581	0.128135	0.044739	1.62	29.44	1.62	29.44	0.213871	0.641097
1.456402	28.92934	1.602178901	28.88557			1.76	29.50	1.76	29.50		
2.394118	29.05112	2.528927825	29.00677			2.63	30.00	2.63	30.00		
4.924639	29.38935	5.015662847	29.34357			5.14	30.26	5.14	30.26		
8.086969	29.83346	8.125509504	29.78548			8.21	30.66	8.21	30.66		
4.362859	29.27718	4.442473382	29.23098			4.56	30.00	4.56	30.00		
2.698295	29.11014	2.836068884	29.06596			2.91	29.86	2.91	29.86		
2.503717	29.08671	2.64379929	29.04264			2.77	29.46	2.77	29.46		
2.86968	29.14668	3.009437099	29.10201			3.11	29.72	3.11	29.72		
0.611999	28.82768	0.76202082	28.78375			0.76	29.00	0.76	29.00		
0.182539	28.78557	0.334473369	28.74207	0.30	28.80	0.30	28.80				

**c. Dominan Cerah**

Simulasi		Proven Model		RMSE		Simulasi		Ukur		RMSE	
Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan
1.235498	28.86973	1.374589888	28.82595	2.177197	0.312249	1.235498	28.8697284	1.35	29.2	2.127866	0.556092
1.669062	28.95104	1.807947574	28.90669			1.669062	28.9510432	1.98	29.6		
4.964057	29.37952	5.043676474	29.33336			4.964057	29.3795249	5.16	29.8		
4.354284	29.30177	4.444586797	29.25623			4.354284	29.3017744	4.55	29.9		
8.466376	29.87114	8.479098932	29.82256			8.466376	29.8711393	8.36	30.26		
4.368304	29.28094	4.442737614	29.23478			4.368304	29.2809359	4.56	30		
7.440875	29.70342	7.449166507	29.65505			7.440875	29.7034207	7.54	30.64		
7.410322	29.72974	7.443880508	29.68201			7.410322	29.7297374	7.62	30.2		
4.074668	29.24277	4.157711713	29.19698			4.074668	29.2427673	4.47	32.36		
1.459934	28.92116	1.599826558	28.87701			1.459934	28.9211592	1.84	32.08		
0.283545	28.76421	0.432389252	28.72059			0.283545	28.7642099	0.53	29.6		

Simulasi		Proven Model		RMSE		Simulasi		Ukur		RMSE	
Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan
1.156695	28.86973	1.374589888	28.82595	0.169787	0.045876	1.156695	28.8697289	1.35	29.2	0.30943	1.453064
1.589919	28.95104	1.807947574	28.90669			1.589919	28.9510437	1.98	29.6		
4.889172	29.37953	5.043676474	29.33336			4.889172	29.3795305	5.16	29.8		
4.278741	29.30178	4.444586797	29.25623			4.278741	29.3017786	4.55	29.9		
8.395886	29.87115	8.479098932	29.82256			8.395886	29.8711528	8.36	30.26		
4.29465	29.28094	4.442737614	29.23478			4.29465	29.280941	4.56	30		
7.371994	29.70343	7.449166507	29.65505			7.371994	29.703433	7.54	30.64		
7.338579	29.72975	7.443880508	29.68201			7.338579	29.7297476	7.62	30.2		
4.000243	29.24277	4.157711713	29.19698			4.000243	29.2427717	4.47	32.36		
1.380838	28.92116	1.599826558	28.87701			1.380838	28.9211596	1.84	32.08		
0.204221	28.76421	0.432389252	28.72059			0.204221	28.7642099	0.53	29.6		

Simulasi		Proven Model		RMSE		Simulasi		Ukur		RMSE	
Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan
1.394513	28.9221	1.374589888	28.82595	0.113911	0.045614	1.394513	28.9221003	1.35	29.2	0.197475	0.702367
1.447428	28.93158	1.807947574	28.90669			1.447428	28.9315798	1.98	29.6		
2.38438	29.05332	5.043676474	29.33336			2.38438	29.0533237	5.16	29.8		
4.914164	29.39088	4.444586797	29.25623			4.914164	29.3908797	4.55	29.9		
7.991289	29.82297	8.479098932	29.82256			7.991289	29.8229722	8.36	30.26		
9.239099	29.98999	4.442737614	29.23478			9.239099	29.9899855	4.56	30		
7.827474	29.78682	7.449166507	29.65505			7.827474	29.7868225	7.54	30.64		
6.615234	29.62617	7.443880508	29.68201			6.615234	29.6261674	7.62	30.2		
2.887254	29.15139	4.157711713	29.19698			2.887254	29.1513851	4.47	32.36		
0.548557	28.82238	1.599826558	28.87701			0.548557	28.8223802	1.84	32.08		
0.171626	28.78744	0.432389252	28.72059			0.171626	28.7874402	0.53	29.6		

**d. Dominan Medung**

Simulasi		Proven Model		RMSE		Simulasi		Ukur		RMSE	
Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan
1.396986	28.9221	1.541459679	28.87864	0.111348	0.045614	1.396986	28.9221	1.56	29.44	0.195056	0.744748
1.449929	28.93158	1.593991003	28.88783			1.449929	28.93158	1.63	29.50		
2.387386	29.05332	2.520527269	29.00899			2.387386	29.053324	2.63	30.00		
4.918273	29.39088	5.007448788	29.34514			4.918273	29.39088	5.19	30.20		
7.995721	29.82297	8.034830208	29.77512			7.995721	29.822972	8.21	30.66		
9.243854	29.98999	9.253090708	29.94094			9.243854	29.989986	9.14	31.00		
7.83244	29.78682	7.85836032	29.73873			7.83244	29.786822	7.87	30.70		
6.619719	29.62617	6.677258025	29.57923			6.619719	29.626167	6.69	30.24		
2.889776	29.15139	3.027863924	29.10672			2.889776	29.151385	3.19	29.64		
0.551024	28.82238	0.699096458	28.77846			0.551024	28.82238	0.64	29.16		
0.173646	28.78744	0.323595065	28.74394			0.173646	28.78744	0.43	28.80		

Simulasi		Proven Model		RMSE		Simulasi		Ukur		RMSE	
Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan
1.317358	28.9221	1.541459679	28.87864	0.183458	0.045619	1.317358	28.922101	1.56	29.44	0.261575	0.702361
1.370311	28.93158	1.593991003	28.88783			1.370311	28.93158	1.63	29.50		
2.308361	29.05332	2.520527269	29.00899			2.308361	29.053325	2.63	30.00		
4.842338	29.39088	5.007448788	29.34514			4.842338	29.390884	5.19	30.20		
7.922661	29.82298	8.034830208	29.77512			7.922661	29.822983	8.21	30.66		
9.172918	29.99	9.253090708	29.94094			9.172918	29.99	9.14	31.00		
7.761127	29.78683	7.85836032	29.73873			7.761127	29.786834	7.87	30.70		
6.545915	29.62618	6.677258025	29.57923			6.545915	29.626175	6.69	30.24		
2.809748	29.15139	3.027863924	29.10672			2.809748	29.151386	3.19	29.64		
0.471565	28.82238	0.699096458	28.77846			0.471565	28.82238	0.64	29.16		
0.09417	28.78744	0.323595065	28.74394			0.09417	28.78744	0.43	28.80		
Simulasi		Proven Model		RMSE		Simulasi		Ukur		RMSE	
Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan
1.394513	28.9221	1.541459679	28.87864	0.113911	0.045614	1.394513	28.9221	1.56	29.44	0.197475	0.702367
1.447428	28.93158	1.593991003	28.88783			1.447428	28.93158	1.63	29.50		
2.38438	29.05332	2.520527269	29.00899			2.38438	29.053324	2.63	30.00		
4.914164	29.39088	5.007448788	29.34514			4.914164	29.39088	5.19	30.20		
7.991289	29.82297	8.034830208	29.77512			7.991289	29.822972	8.21	30.66		
9.239099	29.98999	9.253090708	29.94094			9.239099	29.989986	9.14	31.00		
7.827474	29.78682	7.85836032	29.73873			7.827474	29.786822	7.87	30.70		
6.615234	29.62617	6.677258025	29.57923			6.615234	29.626167	6.69	30.24		
2.887254	29.15139	3.027863924	29.10672			2.887254	29.151385	3.19	29.64		
0.548557	28.82238	0.699096458	28.77846			0.548557	28.82238	0.64	29.16		
0.171626	28.78744	0.323595065	28.74394			0.171626	28.78744	0.43	28.80		



**e. Balance**

Simulasi		Proven Model		RMSE		Simulasi		Ukur		RMSE	
Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan
2.165739	28.97063	2.30	28.97	0.105919	0.046102	2.165739282	28.97062882	2.48	29.60	0.242574	0.700426
5.80801	29.46258	5.88	29.46			5.808009984	29.46258066	5.94	30.00		
7.476744	29.67206	7.49	29.67			7.476744038	29.6720561	7.63	30.26		
9.175084	29.90944	9.16	29.91			9.175083516	29.90943576	9.10	30.76		
9.545135	29.93056	9.47	29.93			9.54513525	29.9305609	9.31	30.86		
9.111332	29.9328	9.12	29.93			9.111331902	29.93280482	9.18	30.96		
2.701037	29.05638	2.84	29.06			2.701036968	29.05638081	2.91	30.00		
2.50692	29.03503	2.64	29.04			2.506920465	29.03503345	2.77	29.86		
1.995813	29.05952	2.13	28.96			1.995813408	29.05951699	2.22	29.78		
1.692478	28.91451	1.83	28.92			1.692478387	28.91450673	2.01	29.14		
0.788103	28.78985	0.93	28.79			0.788102841	28.78984834	1.21	29.10		

Simulasi		Proven Model		RMSE		Simulasi		Ukur		RMSE	
Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan
2.167161	28.97063	2.30	28.97	0.170009	0.42905	2.167161318	28.97063078	2.48	29.60	0.301304	0.700418
5.807733	29.46259	5.88	29.46			5.80773334	29.46258999	5.94	30.00		
7.474399	29.67207	7.49	29.67			7.47439893	29.67207138	7.63	30.26		
9.167648	29.90946	9.16	29.91			9.167647657	29.90945675	9.10	30.76		
9.535564	29.93059	9.47	29.93			9.535564247	29.93058549	9.31	30.86		
9.084095	29.93282	9.12	29.93			9.084095319	29.93282299	9.18	30.96		
2.653062	29.05638	2.84	29.06			2.653061837	29.0563832	2.91	30.00		
2.450462	29.03514	2.64	29.04			2.450461905	29.03513845	2.77	29.86		
1.930962	28.9565	2.13	28.96			1.930961986	28.95650324	2.22	29.78		
1.619149	28.91451	1.83	28.92			1.619148831	28.91450797	2.01	29.14		
0.706109	28.78985	0.93	28.79			0.706108701	28.78984878	1.21	29.10		
Simulasi		Proven Model		RMSE		Ukur		Proven		RMSE	
Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan	Arus	Tegangan
2.161193	29.02138	2.30	28.97	2.229258	0.361255	2.48	29.60	1.54146	28.97182356	2.192105	0.567251
5.804166	29.50724	5.88	29.46			5.94	30.00	1.593991	29.46172815		
7.466235	29.72183	7.49	29.67			7.63	30.26	2.520527	29.66948396		
9.174153	29.95105	9.16	29.91			9.10	30.76	5.007449	29.90509179		
9.890149	30.03482	9.47	29.93			9.31	30.86	8.03483	29.92528819		
9.481613	30.02209	9.12	29.93			9.18	30.96	9.253091	29.92920216		
8.112077	29.80325	2.84	29.06			2.91	30.00	7.85836	29.05733614		
7.409635	29.71061	2.64	29.04			2.77	29.86	6.677258	29.03622893		
4.065745	29.23588	2.13	28.96			2.22	29.78	3.027864	28.95776183		
1.68788	28.96813	1.83	28.92			2.01	29.14	0.699096	28.91579839		
0.785458	28.83423	0.93	28.79			1.21	29.10	0.323595	28.7914206		

## Tabel Validasi

Modul PV	Kondisi	Three Parameters		Five Parameters	
		Arus	Tegangan	Arus	Tegangan
Fix	Full Cerah	0.08392	0.04696	0.14337	0.04697
	Full Mendung	0.12532	0.04474	0.20172	0.04474
	Dominan Cerah	2.17720	0.31225	0.16979	0.04588
	Dominan	0.11135	0.04561	0.18346	0.04562
	Balance	0.10592	0.04610	0.17001	0.42905
Tracker	Full Cerah	3.62051	0.02376	3.57952	0.48894
	Full Mendung	2.98517	0.40862	3.40910	0.47766
	Dominan Cerah	0.09962	0.03397	0.16979	0.04588
	Dominan Mendung	3.02879	0.41161	3.03987	0.41162
	Balance	3.64232	0.50236	3.64556	0.50236

Modul PV	Kondisi	Seven Parameters		Nine Parameters	
		Arus	Tegangan	Arus	Tegangan
Fix	Full Cerah	0.08593539	0.04696	0.086433713	0.04695946
	Full Mendung	0.128135135	0.04474	0.128826472	0.04473866
	Dominan Cerah	0.113910912	0.04561	0.114547699	0.243320375
	Dominan	0.113910912	0.04561	0.113910912	0.045614461
	Balance	2.229257749	0.36126	0.105918538	0.046101568
Tracker	Full Cerah	3.616587776	0.48892	0.293492363	0.777965334
	Full Mendung	3.366121613	0.47766	0.214584417	0.641096704
	Dominan Cerah	3.366121613	0.03397	0.19806211	0.702366859
	Dominan Mendung	0.411619869	0.15603	0.197475099	0.702366859
	Balance	3.641076293	0.50236	0.242573923	0.70042567

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**LAMPIRAN 5**  
**Hasil Optimisasi Menggunakan FA, PSO, dan PSMFA**

**Tabel 4.1. Hasil Optimisasi Tiga Parameter**

Parameter	Tiga Parameter			
	Ekstraks	FA	PSO	PSMFA
Iph	9.890	8.899	8.889	8.421
A	1.5	0.00201	0.00201	0.00201
Io	1.12E-06	6.89E-31	6.89E-31	6.89E-31

**Tabel 4.2. Hasil Optimisasi Lima Parameter**

Parameter	Lima Parameter			
	Ekstraks	FA	PSO	PSMFA
Iph	9.890	8.899	8.889	8.421
Rs	0.001306	0.001306	0.001306	0.001306
Rsh	270.618	135.3095	135.3095	270.6189
A	1.5	0.000022	0.000022	0.000022
Io	6.88E-31	6.88E-31	6.88E-31	6.88E-31

**Tabel 4.3. Hasil Optimisasi Tujuh Parameter**

Parameter	Tujuh Parameter			
	Ekstraks	FA	PSO	PSMFA
Iph	9.890	8.899	8.889	8.421
Rs	0.001306	0.001306	0.001306	0.001306
Rsh	270.618	135.3095	135.3095	270.6189
A1	1	0.991106	0.979893	0.979893
Io1	6.02E-05	8.35E-36	6.19E-35	6.19E-35
Io2	3.05E-09	4.18E-36	3.10E-35	3.10E-35
A2	2	1.9911	1.97989	1.97989

**Tabel 4.4. Hasil Optimisasi Sembilan Parameter**

Parameter	Nine Parameters		
	FA	PSO	PSMFA
I <sub>ph</sub>	8.899	8.889	8.421
R <sub>s</sub>	0.0013061	0.0013061	0.0013061
R <sub>sh</sub>	135.3095	135.3095	135.3095
A <sub>1</sub>	0.991106	0.979892799	0.979892799
I <sub>o1</sub>	8.35E-36	6.19E-35	6.19E-35
I <sub>o2</sub>	4.18E-36	3.10E-35	3.10E-35
A <sub>2</sub>	1.9911	1.979892799	1.979892799
A <sub>3</sub>	4.9911	4.9799	4.9799
I <sub>o3</sub>	2.51E-36	1.86E-35	1.86E-35

## LAMPIRAN 6

### Scribt Ekstraksi Parameter

#### Ekstraksi Tiga Parameter

```
clear;
clc;
close all;

%Datasheet PV
Iscn = 9; %Nilai short-circuit
Voltage [A]
Vocn = 36.8; %Nilai array open-
circuit Voltage [V]
Imp = 8.34; %current @ maximum
power point [A]
Vmp = 30; %Voltage @ maximum
power point [V]
Pmax = Vmp * Imp ; %maximum output
peak power [W]
Kv = -0.0036; %Voltage/temperatur
coefficient [V/K]
Ki = 0.0047; %Current/temperatur
coefficient [A/K]
Ns = 60; %Jumlah sel seri

%konstanta dan lain
k = 1.38065e-23; %konstanta boltzman
q = 1.602e-19; %charge of electron
Eg = 1.14; %Energy gap (eV)
Vt = 0.0257;
Ior = 10^-12;
Rpv = 0.15603;
```

```

Rsinc=0.001;
w1 = 0.954;
w2 = 0.03;
w3 = -1.629;
w4 = 0.088;
c = 3.9;

%Data input
Tr = 25+273;
Sr = 1000;
T1 =
[34.9;45.8;53.8;53.7;58.9;49.1;50.8;49.9;52.
2;32.7;33.5];
T2 = 273*ones(11,1);
T = T1+T2;
S =
[239.4;638.4;818.44;1004.4;1079.8;1040.2;889
.42;812.8;446.4;187.3;87.18];
Va =
[0.666;0.660;0.440;2.400;1.280;5.000;2.900;2
.380;0.980;1.260;0.800];
RH =
[58.4;51.66;44.24;33;32.3;33.84;30.64;30.98;
34.58;55.5;58.4];

%%Parameter Extraction
%ideality factor diode
A = q*(2*Vmp-Vocn)./(Ns*k.*T.*(log(1-
(Imp/Iscn) + Imp/(Iscn - Imp))));
%photocurrent
Iph1 = (Iscn+Ki.*(T-Tr)).*S/Sr;

%reverse saturation current
Io = Iscn.*exp((-q*Vocn)./(Ns.*A*k.*T));

V = 1:Vocn/100:Vocn;           %merupakan
vektor yang berisi dari 0 sampai 0+0,21

```



```
%%Current and Voltage
```

```
%Current
```

```
Id = Io*(exp(V/(Ns*Vt)) -1);
```

```
Nol = zeros(11,10);
```

```
Iph = horzcat(Iph1,Nol);
```

```
len = min(length(Id),length(Iph));
```

```
I1(1:len) = Iph(1:len)- Id(1:len);
```

```
I=I1';
```

```
%Voltage
```

```
Beta = (w1*T+w2*S+w3*Va+w4*RH+c-Tr)*Kv;
```

```
Alfa = S/Sr*Ki
```

```
P2 = Beta .* Alfa;
```

```
P3 = ((S/Sr)- 1)*Iscn;
```

```
P1 = (P3-P2)*Rpv;
```

```
Vo = P1 + Beta +Vmp;
```

```
%%Validasi Simulasi
```

```
Iproven =
```

```
[2.30168632159295;5.88044086271328;7.4909742  
9931051;9.15819656418960;9.82929346229688;9.  
48340244846240;8.13037463805946;7.4438805084  
5568;4.15736484553824;1.83390300675206;0.933  
841753206719];
```

```
Vproven =
```

```
[28.9751726471581;29.4549446918092;29.660163  
4959214;29.9152912899105;29.9876339309222;29  
.9929705240336;29.7809097147764;29.682014547  
7343;29.1916446288493;28.9196855501435;28.78  
37816087528];
```

```
%Tegangann
```

```
Evp = Vo - Vproven;
```

```
AEvp = abs(Evp);  
SEvp = power(AEvp,2);  
SumAEvp = sum(AEvp);  
SumSEvp = sum(SEvp);  
MADvp = SumAEvp/11;  
MSEvp = SumSEvp/11;  
RMSEvp = sqrt(MSEvp);
```

```
%Arus
```

```
Eip = I - Iproven;  
AEip = abs(Eip);  
SEip = power(AEip,2);  
SumAEip = sum(AEip);  
SumSEip = sum(SEip);  
MADip = SumAEip/11;  
MSEip = SumSEip/11;  
RMSEip = sqrt(MSEip);
```

```
%%Validasi Pengukuran
```

```
Vukur =  
[30.00;30.20;30.64;30.90;30.40;30.44;30.80;3  
0.70;30.00;29.76;29.10];  
Iukur =  
[2.38;5.94;7.79;9.10;9.83;9.18;8.03;7.67;4.4  
7;2.16;1.26];
```

```
%Tegangann
```

```
Evu = Vo - Vukur;  
AEvu = abs(Evu);  
SEvu = power(AEvu,2);  
SumAEvu = sum(AEvu);  
SumSEvu = sum(SEvu);  
MADvu = SumAEvu/11;  
MSEvu = SumSEvu/11;  
RMSEvu = sqrt(MSEvu);
```

```
%Arus
```

```

Eiu = I - Iukur;
AEiu = abs(Eiu);
SEiu = power(AEiu,2);
SumAEiu = sum(AEiu);
SumSEiu = sum(SEiu);
MADiu = SumAEiu/11;
MSEiu = SumSEiu/11;
RMSEiu = sqrt(MSEiu);

```

### Ekstraksi Lima Parameter

```

clc
clear
close all
%Datasheet PV
Iscn = 9; %Nilai short-circuit
Voltage [A]
Vocn = 36.8; %Nilai array open-
circuit Voltage [V]
Imp = 8.34; %current @ maximum
power point [A]
Vmp = 30; %Voltage @ maximum
power point [V]
Pmax = Vmp * Imp ; %maximum output
peak power [W]
Kv = -0.0036; %Voltage/temperatur
coefficient [V/K]
Ki = 0.0053; %Current/temperatur
coefficient [A/K]
Ns = 60; %Jumlah sel seri
Rpv = 0.15603;

%konstanta dan lain
k = 1.38065e-23; %konstanta boltzman
q = 1.602e-19; %charge of electron
Eg = 1.21; %Energy gap

```

```

Vt = 0.0257;
Ior = 10^-12;
Rsinc=0.001;
w1 = 0.954;
w2 = 0.03;
w3 = -1.629;
w4 = 0.088;
c = 3.9;
>Data input
Tr = 25+273;
Sr = 1000;
T1 =
[34.9;45.8;53.8;53.7;58.9;49.1;50.8;49.9;52.
2;32.7;33.5];
T2 = 273*ones(11,1);
T = T1+T2;
S =
[239.4;638.4;818.44;1004.4;1079.8;1040.2;889
.42;812.8;446.4;187.3;87.18];
Va =
[0.666;0.660;0.440;2.400;1.280;5.000;2.900;2
.380;0.980;1.260;0.800];
RH =
[58.4;51.66;44.24;33;32.3;33.84;30.64;30.98;
34.58;55.5;58.4];

%%Parameter Extraction
ideality factor diode
A = q*(2*Vmp-Vocn)./(Ns*k.*T.*(log(1-
(Imp/Iscn)) + Imp/(Iscn - Imp)));
photocurrent
Iph1 = (Iscn+Ki.*(T-Tr)).*S/Sr;

reverse saturation current
Io = Iscn.*exp((-q*Vocn)./(Ns.*A*k.*T));

```

```

V = 1:Vocn/100:Vocn;           %merupakan
                                vektor yang berisi dari 0 sampai 0+0,21
I = zeros(1, size(V,2));

%Rs dan Rp
Rs = Vmp/Imp - (2*Vmp-Vocn)/((Iscn-
Imp)*(log(1-(Imp/Iscn)) + Imp/(Iscn -
Imp)));
Rsh =
sqrt(Rs./(((q.*Io)./(Ns.*A*k.*T)).*exp((q*Is
cn*Rs)./(Ns.*A*k.*T)))));

%%Current and Voltage
%Voltage
Beta = (w1*T+w2*S+w3*Va+w4*RH+c-Tr)*Kv;
Alfa = S/Sr*Ki;
P2 = Beta .* Alfa;
P3 = ((S/Sr)- 1)*Iscn;
P1 = (P3-P2)*Rpv;
Vo = P1 + Beta +Vmp;

%Current
Id = Io*(exp((V+I*Rs)/(Ns*Vt)) -1);
Nol1 = zeros(11,10);
Iph = horzcat(Iph1,Nol1);
len = min(length(Id),length(Iph));
Ia(1:len) = Iph(1:len)- Id(1:len);
I1 = Ia';

Ish = (Vo + I1*Rs)./Rsh;
Nol2 = zeros(1,90);
%Isha = horzcat(Ish1,Nol2);
%Ish = Isha'
len = min(length(I1),length(Ish));
Ib(1:len) = I1(1:len)- Ish(1:len);
I = Ib';

```

```
Isc=Io.*(exp(q*Vocn./(Ns.*A*k.*T))-
exp(q*Iscn*Rs./(Ns.*A*k.*T)))+....
(Vocn-Iscn*Rs)./Rsh;
```

```
%%Validasi Simulasi
```

```
Iproven =
[2.30168632159295;5.88044086271328;7.4909742
9931051;9.15819656418960;9.82929346229688;9.
48340244846240;8.13037463805946;7.4438805084
5568;4.15736484553824;1.83390300675206;0.933
841753206719];
```

```
Vproven =
[28.9751726471581;29.4549446918092;29.660163
4959214;29.9152912899105;29.9876339309222;29
.9929705240336;29.7809097147764;29.682014547
7343;29.1916446288493;28.9196855501435;28.78
37816087528];
```

```
%%Tegangann
```

```
Evp = Vo - Vproven;
AEvp = abs(Evp);
SEvp = power(AEvp,2);
SumAEvp = sum(AEvp);
SumSEvp = sum(SEvp);
MADvp = SumAEvp/11;
MSEvp = SumSEvp/11;
RMSEvp = sqrt(MSEvp);
```

```
%%Arus
```

```
Eip = I - Iproven;
AEip = abs(Eip);
SEip = power(AEip,2);
SumAEip = sum(AEip);
SumSEip = sum(SEip);
MADip = SumAEip/11;
MSEip = SumSEip/11;
```

```

RMSEip = sqrt(MSEip);

%%Validasi Pengukuran

Vukur =
[30.00;30.20;30.64;30.90;30.40;30.44;30.80;3
0.70;30.00;29.76;29.10];
Iukur =
[2.38;5.94;7.79;9.10;9.83;9.18;8.03;7.67;4.4
7;2.16;1.26];

%%Tegangann
Evu = Vo - Vukur;
AEvu = abs(Evu);
SEvu = power(AEvu,2);
SumAEvu = sum(AEvu);
SumSEvu = sum(SEvu);
MADvu = SumAEvu/11;
MSEvu = SumSEvu/11;
RMSEvu = sqrt(MSEvu);

%%Arus
Eiu = I- Iukur;
AEiu = abs(Eiu);
SEiu = power(AEiu,2);
SumAEiu = sum(AEiu);
SumSEiu = sum(SEiu);
MADIu = SumAEiu/11;
MSEiu = SumSEiu/11;
RMSEiu = sqrt(MSEiu);

Ekstraksi Tujuh Parameter
clc
clear
close all

```

```

%Datasheet PV
Iscn = 9; %Nilai short-circuit
Voltage [A]
Vocn = 36.8; %Nilai array open-
circuit Voltage [V]
Imp = 8.34; %current @ maximum
power point [A]
Vmp = 30; %Voltage @ maximum
power point [V]
Pmax = Vmp * Imp ; %maximum output
peak power [W]
Kv = -0.0036; %Voltage/temperatur
coefficient [V/K]
Ki = 0.0047; %Current/temperatur
coefficient [A/K]
Ns = 60; %Jumlah sel seri
Rpv = 0.15603;

%konstanta dan lain
k = 1.38065e-23; %konstanta boltzman
q = 1.602e-19; %charge of electron
Eg = 1.14; %Energy gap
Vt = 0.0257;
Ior = 10^-12;
Rsinc=0.001;
w1 = 0.954;
w2 = 0.03;
w3 = -1.629;
w4 = 0.088;
c = 3.9;
%Data input
Tr = 25+273;
Sr = 1000;
T1 =
[34.9;45.8;53.8;53.7;58.9;49.1;50.8;49.9;52.
2;32.7;33.5];
T2 = 273*ones(11,1);

```



```

T = T1+T2;
S =
[239.4;638.4;818.44;1004.4;1079.8;1040.2;889
.42;812.8;446.4;187.3;87.18];
Va =
[0.666;0.660;0.440;2.400;1.280;5.000;2.900;2
.380;0.980;1.260;0.800];
RH =
[58.4;51.66;44.24;33;32.3;33.84;30.64;30.98;
34.58;55.5;58.4];

```

```

%%Parameter Extraction

```

```

%ideality factor diode

```

```

A1 = 1;

```

```

A2 = 2;

```

```

%Rs dan Rp

```

```

Rs = Vmp/Imp - (2*Vmp-Vocn)/((Iscn-
Imp)*(log(1-(Imp/Iscn)) + Imp/(Iscn -
Imp)));

```

```

Io = Iscn.*exp((-q*Vocn)/(Ns.*A1*k.*T));

```

```

Rsh =

```

```

sqrt(Rs./(((q.*Io)/(Ns.*A1*k.*T)).*exp((q*I
scn*Rs)/(Ns.*A1*k.*T))));

```

```

%photocurrent

```

```

Iph1 = (Iscn+Ki.*(T-Tr)).*S/Sr;

```

```

%reverse saturation current

```

```

a = exp(q*(Vmp-Vocn+Imp*Rs)/(2*Ns*k.*T));

```

```

b = exp(q*(Vmp-Vocn+Imp*Rs)/(Ns*k.*T));

```

```

Io1 = ((1./Rsh).*(Rs*(Imp-Iscn.*(a-1))-
a*Vocn+Vmp)+Imp+Iscn*(a-
1))./(a.*exp(q*Vocn/(Ns*k.*T))-
exp(q*(Vmp+Imp*Rs)/(Ns*k.*T)));

```

```
Io2 = ((1./Rsh) .* (Rs * (Imp - Iscn .* (b - 1)) -
b * Vocn + Vmp) + Imp + Iscn * (b -
1)) ./ (b .* exp(q * Vocn ./ (2 * Ns * k .* T)) -
exp(q * (Vmp + Imp * Rs) ./ (2 * Ns * k .* T)));
```

```
V = 1:Vocn/100:Vocn;           %merupakan
vektor yang berisi dari 0 sampai 0+0,21
I = zeros(1, size(V, 2));
```

```
%%Current and Voltage
```

```
%Voltage
```

```
Beta = (w1 * T + w2 * S + w3 * Va + w4 * RH + c - Tr) * Kv;
Alfa = S / Sr * Ki;
P2 = Beta .* Alfa;
P3 = ((S / Sr) - 0.91) * Iscn;
P1 = (P3 - P2) * Rpv;
Vo = P1 + Beta * Vmp;
```

```
%Current
```

```
Id1 = Io1 * (exp((V + I * Rs) / (Ns * Vt)) - 1);
Nol1 = zeros(11, 10);
Iph = horzcat(Iph1, Nol1);
len = min(length(Id1), length(Iph));
I1(1:len) = Iph(1:len) - Id1(1:len);

Id2 = Io2 * (exp((V + I * Rs) / (Ns * Vt)) - 1);
Nol2 = zeros(11, 10);
Iph = horzcat(Iph1, Nol2);
len = min(length(Id2), length(Iph));
Ib(1:len) = I1(1:len) - Id2(1:len);
I2 = Ib';
```

```
Ish = (Vo + I2 * Rs) ./ Rsh;
Nol3 = zeros(1, 90);
%Ish = horzcat(Ish1, Nol3);
len = min(length(I2), length(Ish));
```

```
I = I2- Ish;
```

```
Isc=Io1.*(exp(q*Vocn./(Ns.*A1*k.*T))-
exp(q*Iscn*Rs./(Ns.*A1*k.*T)))+....
      Io2.*(exp(q*Vocn./(Ns.*A2*k.*T))-
exp(q*Iscn*Rs./(Ns.*A2*k.*T)))+....
      (Vocn-Iscn*Rs)./Rsh;
```

```
%%Validasi Simulasi
```

```
Iproven =
[2.30168632159295;5.88044086271328;7.4909742
9931051;9.15819656418960;9.82929346229688;9.
48340244846240;8.13037463805946;7.4438805084
5568;4.15736484553824;1.83390300675206;0.933
841753206719];
Vproven =
[28.9751726471581;29.4549446918092;29.660163
4959214;29.9152912899105;29.9876339309222;29
.9929705240336;29.7809097147764;29.682014547
7343;29.1916446288493;28.9196855501435;28.78
37816087528];
```

```
%Tegangann
```

```
Evp = Vo - Vproven;
AEvp = abs(Evp);
SEvp = power(AEvp,2);
SumAEvp = sum(AEvp);
SumSEvp = sum(SEvp);
MADvp = SumAEvp/11;
MSEvp = SumSEvp/11;
RMSEvp = sqrt(MSEvp);
```

```
%Arus
```

```
Eip = I - Iproven;
AEip = abs(Eip);
SEip = power(AEip,2);
SumAEip = sum(AEip);
```

```
SumSEip = sum(SEip);
MADip = SumAEip/11;
MSEip = SumSEip/11;
RMSEip = sqrt(MSEip);

%%Validasi Pengukuran
Vukur =
[30.00;30.20;30.64;30.90;30.40;30.44;30.80;3
0.70;30.00;29.76;29.10];
Iukur =
[2.38;5.94;7.79;9.10;9.83;9.18;8.03;7.67;4.4
7;2.16;1.26];

%%Tegangann
Evu = Vo - Vukur;
AEvu = abs(Evu);
SEvu = power(AEvu,2);
SumAEvu = sum(AEvu);
SumSEvu = sum(SEvu);
MADvu = SumAEvu/11;
MSEvu = SumSEvu/11;
RMSEvu = sqrt(MSEvu);

%Arus
Eiu = I - Iukur;
AEiu = abs(Eiu);
SEiu = power(AEiu,2);
SumAEiu = sum(AEiu);
SumSEiu = sum(SEiu);
MADIu = SumAEiu/11;
MSEiu = SumSEiu/11;
RMSEiu = sqrt(MSEiu);
```

## LAMPIRAN 7

### Sriht Optimisasi PSO

```
%PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

clc;
clear;
close all;

%% Problem Definition

CostFunction=@(x) (model(x));           % Cost
Function

nVar=2;                                % Number of Decision
Variables

VarSize=[1 nVar];                      % Size of Decision
Variables Matrix

VarMin=[0.1 0.1];                      % Lower Bound of
Variables

VarMax=[2 2];                          % Upper Bound of Variables

%% PSO Parameters

MaxIt=50;                               % Maximum Number of
Iterations

nPop=20;                                % Population Size (Swarm
Size)

% PSO Parameters
w=1;                                    % Inertia Weight
wdamp=0.99;                             % Inertia Weight Damping
Ratio
```

```

c1=2;           % Personal Learning
Coefficient
c2=2.0;        % Global Learning
Coefficient

% If you would like to use Constriction
Coefficients for PSO,
% uncomment the following block and comment
the above set of parameters.

% % Constriction Coefficients
% phi1=2.05;
% phi2=2.05;
% phi=phi1+phi2;
% chi=2/(phi-2+sqrt(phi^2-4*phi));
% w=chi;       % Inertia Weight
% wdamp=1;     % Inertia Weight Damping
Ratio
% c1=chi*phi1; % Personal Learning
Coefficient
% c2=chi*phi2; % Global Learning
Coefficient

% Velocity Limits
VelMax=0.1*(VarMax-VarMin);
VelMin=-VelMax;

%% Initialization

empty_particle.Position=[];
empty_particle.Cost=[];
empty_particle.Velocity=[];
empty_particle.Best.Position=[];
empty_particle.Best.Cost=[];

particle=repmat(empty_particle,nPop,1);

```

```
GlobalBest.Cost=inf;

for i=1:nPop

    % Initialize Position

    particle(i).Position=unifrnd(VarMin,VarMax,VarSize);

    % Initialize Velocity
    particle(i).Velocity=zeros(VarSize);

    % Evaluation

    particle(i).Cost=func_obj(particle(i).Position);

    % Update Personal Best

    particle(i).Best.Position=particle(i).Position;
    particle(i).Best.Cost=particle(i).Cost;

    % Update Global Best
    if particle(i).Best.Cost<GlobalBest.Cost

        GlobalBest=particle(i).Best;

    end

end

BestCost=zeros(MaxIt,1);

%% PSO Main Loop

for it=1:MaxIt
```

```

for i=1:nPop

    % Update Velocity
    particle(i).Velocity =
w*particle(i).Velocity ...

+c1*rand(VarSize).*(particle(i).Best.Position-
n-particle(i).Position) ...

+c2*rand(VarSize).*(GlobalBest.Position-
particle(i).Position);

    % Apply Velocity Limits
    particle(i).Velocity =
max(particle(i).Velocity, VelMin);
    particle(i).Velocity =
min(particle(i).Velocity, VelMax);

    % Update Position
    particle(i).Position =
particle(i).Position + particle(i).Velocity;

    % Velocity Mirror Effect

IsOutside=(particle(i).Position<VarMin |
particle(i).Position>VarMax);
    particle(i).Velocity(IsOutside)=-
particle(i).Velocity(IsOutside);

    % Apply Position Limits
    particle(i).Position =
max(particle(i).Position, VarMin);
    particle(i).Position =
min(particle(i).Position, VarMax);

    % Evaluation

```



```
        particle(i).Cost =  
func_obj(particle(i).Position);  
  
        % Update Personal Best  
        if  
particle(i).Cost<particle(i).Best.Cost  
  
particle(i).Best.Position=particle(i).Position;  
  
particle(i).Best.Cost=particle(i).Cost;  
  
        % Update Global Best  
        if  
particle(i).Best.Cost<GlobalBest.Cost  
  
            GlobalBest=particle(i).Best;  
  
        end  
  
    end  
  
end  
  
BestCost(it)=GlobalBest.Cost;  
  
disp(['Iteration ' num2str(it) ': Best  
Cost = ' num2str(BestCost(it))]);  
  
w=w*wdamp;  
  
end  
  
BestSol = GlobalBest;  
  
%% Results
```

```
figure;  
plot(BestCost, 'LineWidth', 2);  
semilogy(BestCost, 'LineWidth', 2);  
title('Five Parameters: A');  
xlabel('Iteration');  
ylabel('Best Cost');  
grid on;  
save ('PSOalone.mat')
```

## LAMPIRAN 8

### Script Optimisasi FA

```
function [bestff, mincost] = FA(problem, nvar, bound, param)
```

```
func = problem;  
varsize = [1 nvar];
```

```
itermax = param.itermax;  
npop = param.npop;  
gamma = param.gamma;  
b0 = param.beta0;  
alpha = param.alpha;  
damp = param.damp;  
scale = param.scale;
```

```
xmin = bound.xmin;  
xmax = bound.xmax;
```

```
globest.cost = inf;
```

```
init.loc = [];  
init.cost = [];
```

```
ff = repmat(init, npop, 1);
```

```
% Initiate fireflies
```

```
for i = 1:npop  
    ff(i).loc = unifrnd(xmin, xmax, varsize);  
    ff(i).cost = func(ff(i).loc);
```

```
    if ff(i).cost < globest.cost  
        globest = ff(i);  
    end  
end
```

```

for iter = 1:itermax
    for i = 1:npop
        newff(i).cost = inf;
        for j = 1:npop
            if ff(j).cost < ff(i).cost
                distance = norm (ff(i).loc - ff(j).loc);
                new.loc = min(max(ff(i).loc + b0*exp(-
gamma*distance.^2).*(ff(j).loc-ff(i).loc) + alpha*unifrnd(-
1,1,varsize),xmin),xmax);
                new.cost = func(new.loc);
                if new.cost < newff(i).cost
                    newff(i).loc = new.loc;
                    newff(i).cost = new.cost;
                    if newff(i).cost < globest.cost
                        globest = newff(i);
                    end
                end
            end
        end
    end
end

% Choose first npop of best fireflies
ff=[ff ; newff'];
[~, order]=sort([ff.cost]);
ff=ff(order);
ff=ff(1:npop);

bestcost(iter) = globest.cost;

disp(['Iteration ' num2str(iter) ' Best cost = '
num2str(bestcost(iter)) ] );
alpha = alpha.*damp;
end

plot(bestcost,'LineWidth',2);

```

```
semilogy(bestcost,'LineWidth',2);  
title('Five Parameter:A');  
xlabel('Iteration');  
ylabel('Best Cost');  
grid on;  
save ('FAalone.mat')  
  
    bestff = globest;  
    mincost = bestcost;  
end
```

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## LAMPIRAN 9

### Script Optimisasi PSMFA

```
clear;
clf;

problem = @(x) problemfunc(x);
nvar = 2;

bound.xmin = 100;
bound.xmax = 300;

param.itermax = 50;
param.npop = 20;
param.gamma = 1;
param.beta0 = 1;
param.alpha = 0.2;
param.damp = 0.9;
param.w = 1;           % Inertia Weight
param.c1 = 2;          % Personal Learning Coefficient
param.c2 = 2.0;        % Global Learning Coefficient
param.wdamp=0.99;     % Inertia Weight Damping Ratio
param.scale = (bound.xmax-bound.xmin);

PSMFA(problem, nvar, bound, param)

function [bestff, mincost] = PSMFA(problem, nvar, bound,
param)

func = problem;
varsize = [1 nvar];

itermax = param.itermax;
npop = param.npop;
gamma = param.gamma;
b0 = param.beta0;
```

```

alpha = param.alpha;
damp = param.damp;
scale = param.scale;
w = param.w;
c1 = param.c1;      % Personal Learning Coefficient
c2 = param.c2;      % Global Learning Coefficient
wdamp = param.wdamp; % Inertia Weight Damping Ratio
xmin = bound.xmin;
xmax = bound.xmax;

globest.cost = inf;

init.loc = [];
init.cost = [];

ff = repmat(init, npop, 1);

% Initiate fireflies
for i = 1:npop
    ff(i).loc = unifrnd(xmin, xmax, varsize);
    ff(i).cost = func(ff(i).loc);

    if ff(i).cost < globest.cost
        globest = ff(i);
    end
end

bestcost = zeros(itermax,1);

for iter = 1:itermax

    for i = 1:npop
        newff(i).cost = inf;
        for j = 1:npop
            if ff(j).cost < ff(i).cost
                rpx = norm (ff(i).cost - ff(j).loc);

```



```

    rgx = norm (globest.cost - ff(i).loc);
    new.loc = max(min(w*ff(i).loc + c1*exp(-
(rp_x)^2)*(ff(i).cost - ff(i).loc)+...
    c2*exp(-(rgx)^2)*(globest.cost - ff(i).loc) +
alpha*(gamma-0.5),xmax),xmin);
    new.cost = func(new.loc);
    if new.cost < newff(i).cost
        newff(i).loc = new.loc;
        newff(i).cost = new.cost;
        if newff(i).cost < globest.cost
            globest = newff(i);
        end
    end
end
end
end
end

```

```

% Choose first npop of best fireflies

```

```

ff=[ff ; newff'];
[~, order]=sort([ff.cost]);
ff=ff(order);
ff=ff(1:npop);

```

```

bestcost(iter) = globest.cost;

```

```

disp(['Iteration ' num2str(iter) ' Best cost = '
num2str(bestcost(iter)) ] );
alpha = alpha.*damp;
w=w*wdamp;
end

```

```

plot(bestcost, 'LineWidth',2);
semilogy(bestcost, 'LineWidth',2);
title ('Five Parameters: Iph');
xlabel('Iteration');

```

134

```
ylabel('Best Cost');  
grid on;  
save ('FAalone.mat')  
  
    bestff = globest;  
    mincost = bestcost;  
end
```

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Yesika Eka Swasti Apsari atau biasa dipanggil Yesika, dilahirkan di Jombang, 26 Oktober 1996. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menyelesaikan pendidikan di SDN Ploso Jombang pada tahun 2009, pendidikan di SMPN 2 Jombang pada tahun 2012, pendidikan di SMAN 2 Jombang pada tahun 2015 dan sedang menempuh pendidikan Sarjana Strata-1 di Departemen Teknik Fisika ITS. Penulis memiliki pengalaman program *internship* selama satu bulan di PT. Indonesia Power UP PLTGU 2 Semarang Jawa Tengah. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif di kegiatan mahasiswa seperti menjadi staff Hubungan Luar Forum Perempuan, Kementerian Pemuda dan Kebangsaan BEM ITS(2016-2017), staff Kementerian Inkubator Kajian BEM ITS (2017-2018), Dewan Perwakilan Angkatan HMTF ITS(2016-2017, 2017-2018), Pada bulan Juni 2019 penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Optimisasi Parameter PV Menggunakan Metode *Particle Swarm Modified Firefly Algorithm*(PSMFA)**. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran, atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, maka dapat menghubungi melalui *email: [yesikaiyes@gmail.com](mailto:yesikaiyes@gmail.com)*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*