



**TUGAS AKHIR - TF 141581**

# **DESAIN SISTEM PENJEJAK MATAHARI 2-AXIS 5-POSISI DENGAN MENGGUNAKAN GENETIC ALGORITHM**

**BAYU AL-USAIRY**  
**NRP. 02311340000116**

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

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





FINAL PROJECT - TF 141581

## ***DESIGN OF SOLAR TRACKING SYSTEM 2-AXIS 5-POSITION USING GENETIC ALGORITHM***

*BAYU AL-USAIRY*  
*NRP. 02311340000116*

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

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



## PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Bayu AI-Usairy  
NRP : 02311340000116  
Departemen / Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika  
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri  
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Desain Sistem Penjejak Matahari 2-axis 5-posisi dengan Menggunakan *Genetic Algorithm*” adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 2018  
Yang membuat pernyataan,



Bayu AI-Usairy  
NRP. 02311340000116

## TUGAS AKHIR

### DESAIN SISTEM PENJEJAK MATAHARI 2-AXIS 5-POSISI DENGAN MENGGUNAKAN *GENETIC ALGORITHM*

Oleh :

Bayu Al-Usairy  
NRP. 02311340000116

Surabaya, 2018

Menyetujui,  
Dosen Pembimbing



Dr. Iman Abadi, S.T., M.T  
NIP. 19761006199903 1 002

Mengetahui,  
Kepala Departemen  
Teknik Fisika FTI-ITS



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

**DESAIN SISTEM PENJEJAK MATAHARI  
2-AXIS 5-POSISI DENGAN MENGGUNAKAN *GENETIC  
ALGORITHM***

**TUGAS AKHIR**

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

Oleh :

**BAYU AL-USAIRY**  
**NRP. 02311340000116**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

1. Dr. Imam Abadi, S.T., M.T. .........(Pembimbing I)
2. Dr. Katherin Indrawati, S.T., M.T. .........(Ketua Penguji)
3. Arief Abdurrakhman, S.T., M.T. .........(Penguji I)
4. Dr.-Ing. Doty Dewi Risanti, S.T., M.T. .........(Penguji II)

**SURABAYA  
2018**

**DESAIN SISTEM PENJEJAK MATAHARI  
2-AXIS 5-POSISI DENGAN MENGGUNAKAN *GENETIC  
ALGORITHM***

**Nama** : Bayu Al-Usairy  
**NRP** : 02311340000116  
**Departemen** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : 1. Dr. Imam Abadi S.T., M.T.

Abstrak

Photovoltaic (PV) adalah salah satu cara untuk memanfaatkan ketersediaan energi matahari yang berlimpah jumlahnya menjadi energi listrik. Untuk meningkatkan efisiensi yang dihasilkan oleh PV, maka digunakanlah bantuan solar tracker untuk menjejaki pergerakan matahari. Paper ini mengajukan sebuah ide solar tracker yaitu dengan 2-axis dan 3-posisi. Posisi berhenti PV ditentukan dengan metode optimasi Genetic Algorithm. Dengan menggunakan data rata - rata radiasi matahari selama 1 tahun, 6 bulan, dan 3 bulan, maka didapatkan 5 posisi optimal yaitu pada  $67.76^\circ$  dan  $41,57^\circ$  pada pukul 04.00 hingga 09.10,  $40.57^\circ$  dan  $67.48^\circ$  pada pukul 09.15 – 10.40,  $333.70^\circ$  dan  $72.09^\circ$  pada pukul 10.45-11.55,  $296.12^\circ$  dan  $68.75^\circ$  untuk pukul 12.00 – 13.25, dan yang terakhir  $276.08^\circ$  dan  $15.58^\circ$  pada pukul 13.30-18.30. Setelah dilakukan pengambilan data real dengan mengarahkan PV pada posisi – posisi tersebut, didapatkan efisiensi dari solar tracker tipe ini adalah sebesar 24.11%.

Kata kunci : Photovoltaic, Solar tracker, GA, 2-axis 5-posisi

## DESIGN OF SOLAR TRACKING SYSTEM 2-AXIS 5- POSITION USING GENETIC ALGORITHM

**Name** : Bayu Al-Usairy  
**NRP** : 02311340000116  
**Department** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Supervisors** : Dr. Imam Abadi S.T., M.T.

### Abstract

*Photovoltaic (PV) is one of many ways to make use of the unlimited availability of solar energy as electrical energy. Solar Tracker are used to improve the efficiency of PV by tracking the movement of the sun. This paper proposes a new idea of solar tracker which tracks the sun using 2-axis and 5-position. The stopping position were determined using optimization method Genetic Algorithm. By using the average of yearly, 6 monthly, and 3 monthly solar radiance data, then the 5 optimal positions are  $84.15^\circ$  and  $42.12^\circ$  in 04:00 until 09.10,  $63.31^\circ$  and  $62.87^\circ$  in 09.15 until 10.40,  $322.91^\circ$  and  $72.33^\circ$  in 10.45 until 11.55,  $329.70^\circ$  and  $64.67^\circ$  in 12.00 until 13.25,  $294.93^\circ$  and  $31.34^\circ$  in 13.30 until 18.30. After the real data taken, the efficiency of this type solar tracker is 24,11%*

*Keyword : Photovoltaic, Solar tracker, GA, 2-axis 5-position*



## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas karunia, hikmat, dan rahmat-Nya sehingga penulis diberikan kesehatan, kemudahan, dan kelancaran dalam menyelesaikan tugas akhir dengan judul:

### **“DESAIN SISTEM PENJEJAKMATAHARI 2-AXIS 5-POSISIDENGAN MENGGUNAKAN *GENETIC ALGORITHM*”**

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini tidak mungkin terwujud tanpa bantuan dari berbagai pihak. Perkenankan penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Agus M. Hatta, S.T. , M.Si, Ph.D selaku kepala departemen Teknik Fisika ITS.
2. Dr. Imam Abadi S.T, M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir penulis, yang selalu memberikan saran dan motivasi dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Segenap Bapak/Ibu dosen pengajar di departemen Teknik Fisika - ITS.
4. Kedua orang tua penulis, Mislan dan Maidawati yang senantiasa memberikan do'a dan dukungan secara penuh, serta nasihat dan motivasinya.
5. Saudara penulis, Chaironnisa Fitry, Maulida Chairany dan Ibnu Daisaly Aziz yang telah senantiasa memberikan do'a dan dukungannya.
6. Segenap keluarga besar penulis yang telah memberikan do'a dan dukungannya.
7. Teman-teman seperjuangan dalam mengerjakan tugas akhir yang telah memberikan banyak bantuan dalam penyelesaian tugas akhir.
8. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Fisika - ITS, yang senantiasa memberikan motivasi.

Semoga Allah SWT senantiasa membalas segala amal dan kebaikan pihak-pihak yang telah membantu dalam proses

penyelesaian tugas akhir ini. Penulis juga menyadari bahwa pada tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, segala kritik dan saran yang membangun akan diterima dengan senang hati. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat dan berguna bagi penulis, para pembaca, dan pihak-pihak yang membutuhkan.

Penulis.

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
TITLE PAGE .....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME .....	v
LEMBAR PENGESAHAN I .....	vi
LEMBAR PENGESAHAN II... <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
ABSTRAK .....	viii
ABSTRACT .....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xvii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Permasalahan .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Tujuan .....	3
1.5. Sistematika Laporan .....	3
1.6. Manfaat.....	4
BAB II TEORI PENUNJANG.....	5
2.1. Pengertian Photovoltaic .....	5
2.2. Desain Sistem Penjejak Matahari .....	7
2.3. Radiasi Matahari.....	11
2.4. Genetic Algorithm .....	14
2.5. Uji Kelayakan .....	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	19
3.1. Studi Literatur.....	20
3.2. Penentuan Lokasi Pengambilan Data .....	21
3.3. Pemodelan Solar Tracker.....	22
3.4. Penghitungan Fungsi Optimal Solar Tracker.....	24
3.5. Penentuan Posisi Optimal Solar <i>Tracker</i> .....	25
3.6. Pengambilan Data.....	27
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN.....	29

4.1. Penentuan Waktu Pergerakan Solar <i>Tracker</i> .....	29
4.2. Penentuan Posisi Optimal Sistem Penjejak Matahari	33
4.2.1. Posisi Optimal untuk Data Radiasi Rata – Rata Radiasi.....	34
4.3. Analisa Efisiensi Sistem Penjejak Matahari 2-Axis 5- Posisi .....	38
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>51</b>
5.1. Kesimpulan .....	51
5.2. Saran .....	51
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>53</b>
<b>LAMPIRAN A FUNGSI RADIASI PADA MATLAB .....</b>	<b>57</b>
<b>LAMPIRAN B PROGRAM GENETIC ALGORITHM PADA MATLAB .....</b>	<b>59</b>
<b>LAMPIRAN C RATA-RATA RADIASI MATAHARI.....</b>	<b>65</b>
C1. Rata-Rata Radiasi Matahari Selama Satu Tahun .....	65
C2. Rata-Rata Radiasi Matahari Selama 6 Bulan .....	68
C3. Rata – Rata Radiasi Matahari Selama 3 Bulan.....	72
<b>LAMPIRAN D JADWAL <i>SOLAR NOON</i> KOTA SURABAYA .....</b>	<b>77</b>
<b>BIODATA PENULIS.....</b>	<b>81</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b>	Modul Photovoltaic .....	5
<b>Gambar 2. 2</b>	Mekanik dari sistem tracking 2 axis (Seme, dkk., 2011).....	8
<b>Gambar 2. 3</b>	Konsep dari dua axis lima posisi <i>tracking</i> (Seme, dkk., 2011).....	9
<b>Gambar 2. 4</b>	Skematik sensor posisi matahari (B. J. Huang & Sun, 2007).....	10
<b>Gambar 2. 5</b>	Geometri dari <i>solar cell</i> (Chang, 2009).....	11
<b>Gambar 2. 6</b>	Mekanisme <i>cross-over</i> .....	15
<b>Gambar 2. 7</b>	Mekanisme mutasi.....	16
<b>Gambar 3. 1</b>	Diagram alir penelitian pelaksanaan tugas akhir19	
<b>Gambar 3. 2</b>	Penentuan sudut lintang dan bujur dari lokasi penelitian menggunakan <i>Google Maps</i> .....	21
<b>Gambar 3. 3</b>	Diagram alir optimasi GA .....	25
<b>Gambar 3. 4</b>	Skematik posisi PV dengan sistem penjejak matahari 2-axis 5-posisi.....	28
<b>Gambar 4. 1</b>	Rata-rata Radiasi Selama Satu Tahun.....	29
<b>Gambar 4. 2</b>	Rata – rata radiasi selama 6 bulan (Januari - Juni) .....	31
<b>Gambar 4. 3</b>	Rata – rata radiasi selama 3 bulan (April - Juni).....	32
<b>Gambar 4. 4</b>	Hasil iterasi GA posisi pertama dengan tiga variasi omega.....	34
<b>Gambar 4. 5</b>	Hasil iterasi GA posisi kedua dengan tiga variasi omega.....	35
<b>Gambar 4. 6</b>	Hasil iterasi GA posisi ketiga dengan tiga variasi omega.....	36
<b>Gambar 4. 7</b>	Hasil iterasi GA posisi keempat dengan tiga variasi omega.....	36
<b>Gambar 4. 8</b>	Hasil iterasi GA posisi kelima dengan tiga variasi omega.....	37
<b>Gambar 4. 9</b>	Perbandingan daya antara <i>fixed</i> , <i>tracking</i> diskrit dan <i>tracking</i> kontinu dengan variasi omega pertama .....	41

<b>Gambar 4. 10</b>	Perbandingan daya antara <i>fixed, tracking</i> diskrit dan <i>tracking</i> kontinyu dengan variasi omega kedua.....	44
<b>Gambar 4. 11</b>	Perbandingan daya antara <i>fixed, tracking</i> diskrit dan <i>tracking</i> kontinyu dengan variasi omega ketiga.....	47

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b>	Parameter atmosfer untuk tiap jenis iklim (B. J. Huang & Sun, 2007).....	13
<b>Tabel 3. 1</b>	Lokasi Pengambilan Data .....	22
<b>Tabel 3. 2</b>	Variabel konstan pada fungsi radiasi Matlab.....	24
<b>Tabel 3. 3</b>	Batas atas dan batas bawah populasi .....	27
<b>Tabel 4. 1</b>	Waktu pergerakan sistem penjejak matahari (data radiasi rata – rata selama satu tahun) .....	30
<b>Tabel 4. 2</b>	Waktu pergerakan sistem penjejak matahari (data radiasi rata – rata selama 6 bulan).....	32
<b>Tabel 4. 3</b>	Waktu pergerakan sistem penjejak matahari (data radiasi rata – rata selama 3 bulan).....	33
<b>Tabel 4. 4</b>	Variabel yang berubah pada Matlab. ....	34
<b>Tabel 4. 5</b>	Posisi sudut optimal untuk tiap posisi dengan variasi omega pertama.....	37
<b>Tabel 4. 6</b>	Posisi sudut optimal untuk tiap posisi dengan variasi omega kedua .....	38
<b>Tabel 4. 7</b>	Posisi sudut optimal untuk tiap posisi dengan variasi omega ketiga.....	38
<b>Tabel 4. 8</b>	Daya <i>output</i> PV tanpa <i>tracking</i> .....	39
<b>Tabel 4. 9</b>	Daya <i>output</i> PV <i>Tracking</i> variasi omega pertama ..	40
<b>Tabel 4. 10</b>	Daya <i>output</i> PV <i>Tracking</i> diskrit variasi omega kedua	43
<b>Tabel 4. 11</b>	Daya keluaran PV <i>Tracking</i> diskrit variasi omega ketiga	46
<b>Tabel 4. 12</b>	Perbandingan efisiensi energi PV <i>tracking</i> diskrit dan PV <i>tracking</i> kontinu terhadap <i>fixed</i> .....	48
<b>Tabel 4. 13</b>	Hasil Efisiensi PV <i>tracking</i> kontinu terhadap PV <i>tracking</i> diskrit.....	48



## DAFTAR NOTASI

$\alpha$	:	Sudut putar
$\beta$	:	Sudut berhenti
$\theta$	:	Sudut antara sinar matahari dengan garis normal PV
$\theta_H$	:	Sudut perubahan dari sensor
$\gamma_s$	:	Sudut azimuth matahari
$Y$	:	Ketinggian <i>shading plate</i>
$L$	:	Jarak dari elemen photosensing dari <i>shading plate</i>
$\gamma$	:	error instalasi PV terhadap arah selatan
$I_t$	:	Radiasi global
$I_{cb}$	:	Radiasi sinar pada udara cerah
$R_b$	:	Faktor geometric
$I_{cd}$	:	Komponen difusi pada udara cerah
$I_c$	:	Radiasi udara cerah pada layar horizontal
$\rho$	:	Koefisien pantulan tanah
$\lambda$	:	Garis bujur <i>ecliptics</i> yang menyatakan revolusi bumi
$\theta_z$	:	Sudut zenith matahari
$\Phi$	:	Posisi lintang sebuah lokasi
$\delta$	:	Solar declination
$\omega$	:	Sudut jam
$n$	:	Hari ke-berapa dalam satu tahun
$I_o$	:	<i>Extraterrestrial AM0 solar radiation</i>
$\tau_b$	:	Transmitansi dari radiasi
$G_b$	:	Radiasi sinar pada layar horizontal
$G_o$	:	Radiasi extraterrestrial

- $a_0, a_1, k, r_0, r_b, r_k$  : Parameter untuk  $\tau_b$   
 $a_0^*, a_1^*, k^*$   
 $H$  : *Altitude* dari pengamat  
 $S_c$  : Konstanta solar ( $1367 \text{ W/m}^2$ )  
 $\tau_d$  : Transmisi atmosfer dari radius difusi

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

*Solar cell* merupakan salah satu cara untuk memanfaatkan energi matahari yang berlimpah saat ini (Parida, dkk., 2011). Peningkatan efisiensi *solar cell* telah mencapai titik maksimum yaitu dengan peningkatan menggunakan material baru ataupun proses manufaktur yang baru hanya akan meningkatkan sekitar 15 – 19% (Huang, dkk., 2013). Peningkatan daya keluaran solar PV dapat ditingkatkan dengan menggunakan teknologi sistem penjejak matahari. Namun desain dari sistem penjejak matahari biasanya sangat rumit dan memerlukan biaya yang besar (Huang, dkk., 2011).

Untuk meningkatkan daya keluaran dari solar PV dapat menggunakan sistem penjejak matahari. Penggunaan *solar tracker* yang akurat dapat memberikan dampak yang sangat signifikan. Banyak metode yang digunakan untuk menjejak lintasan dari matahari. Metode tersebut antara lain *single axis open loop* (Kalogirou, 1996), *dual axis closed loop* (Lynch & Salameh, 1990), atau metode lainnya telah banyak diajukan oleh peneliti.

Sistem penjejak matahari yang telah ada tidak lepas dari kelemahan-kelemahan yang dimilikinya. Kelemahan utama dari sistem penjejak matahari konvensional adalah dibutuhkan *tracking* yang kontinu menggunakan *feedback* ataupun *open loop control*. *Tracker* biasanya di desain dalam skala yang besar agar dapat menampung banyak modul PV yang menyebabkan struktur menjadi berat, rumit, dan sulit pemasangannya (B. J. Huang & Sun, 2007).

Beberapa penelitian sudah dilakukan untuk meningkatkan daya keluaran dari sistem penjejak matahari dengan 1-axis ataupun 2-axis. Kacira menunjukkan efek dari penggunaan 2-axis *solar tracker* pada kota Sanliurfa, Turki dan mendapatkan peningkatan sebesar 29.3% pada penerimaan radiasi solar dan 34.6% pada daya keluaran (Kacira, dkk., 2004). Mazen

menunjukkan efek penggunaan *solar tracker* 2 axis pada Jordan dan mendapatkan peningkatan daya keluaran sebesar 30 – 45% dibandingkan dengan solar PV *fixed* (Abu-Khader, dkk., 2008), dan juga penjajakan 2 sumbu dengan logika *fuzzy* berbasis *Particle Swarm Optimization* (Abadi, 2016).

Berbeda dengan metode sistem penjejakan matahari yang diajukan oleh beberapa penelitian sebelumnya, *Genetic Algorithm* diterapkan pada sistem penjejak ini bekerja sebagai penentuan posisi optimum PV agar didapatkan radiasi maksimal juga untuk uji komparasi dengan metode *Particle Swarm Optimization*. *Genetic algorithm* merupakan algoritma pencarian solusi yang berlandaskan mekanisme seleksi alam dengan menggabungkan solusi terbaik yang paling mampu bertahan dengan pengambilan informasi secara acak namun terstruktur. Koochaki dalam penelitiannya menunjukkan keuntungan penggunaan GA yaitu performansi sistem secara diskrit dan dapat mengurangi *losses*, serta radiasi matahari yang diterima ketika mendung dan *output* daya PV meningkat (Koochaki & Hosseini, 2014).

Pada tugas akhir ini, penulis mengajukan sebuah desain dari sebuah *solar tracker* yaitu dengan menggunakan *solar tracker* 2-axis 5-posisi serta membandingkan dengan *solar tracker* kontinyu.

## 1.2. Permasalahan

Masalah penelitian yang diangkat pada topik tugas akhir ini berdasarkan latar belakang penelitian adalah sebagai berikut

- Bagaimana cara menentukan posisi paling optimal dari sistem penjejak matahari 2-axis 5-posisi?
- Berapakah peningkatan efisiensi dari PV yang menggunakan sistem penjejak matahari 2-axis 5-posisi dibandingkan PV dengan sistem penjejak matahari kontinyu?

## 1.3. Batasan Masalah

Adapun batasan ruang lingkup dari tugas akhir ini adalah.

- *Solar cell* yang digunakan adalah hasil dari penelitian sebelumnya

- Penelitian hanya dilakukan pada kota Surabaya
- Penelitian dilakukan dari pukul 07.00 hingga 17.00 dimulai pada tanggal 9 April 2017 sampai dengan 17 Januari 2018 dan hasil terbaik diperoleh pada 17 Juni 2017
- Photovoltaic digerakkan secara manual

#### 1.4. Tujuan

Berdasarkan pemaparan latar belakang dan permasalahan maka tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah.

- Menentukan dimana posisi optimal dari sistem penjejak matahari 2-axis 5-posisi
- Menentukan besar peningkatan efisiensi dari PV yang menggunakan sistem penjejak matahari 2-axis 5-posisi dibandingkan PV dengan sistem penjejak matahari kontinyu

#### 1.5. Sistematika Laporan

Sistematika laporan yang digunakan dalam penyusunan laporan penelitian ini adalah sebagai berikut

##### **BAB I PENDAHULUAN**

Berisikan tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, sistematika laporan, dan manfaat.

##### **BAB II DASAR TEORI**

Berisi tentang pengertian *photovoltaic*, uji kelayakan, dan *Genetic Algorithm*, serta desain dari sistem penjejak matahari.

##### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Menjelaskan langkah – langkah penentuan posisi optimal dari sistem penjejak matahari.

##### **BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN**

Berisikan tentang analisis data hasil dari pengujian secara real sistem penjejak matahari.

##### **BAB V PENUTUP**

Bab ini berisi mengenai kesimpulan utama dari seluruh rangkaian penelitian yang telah dilakukan dan juga berisi saran yang dapat dijadikan masukan untuk penelitian selanjutnya

### **1.6. Manfaat**

Manfaat yang dapat diambil dari adanya dan dilaksanakannya penelitian ini adalah diketahuinya tingkatan efisiensi sistem penjejak matahari non kontinu dan bisa digunakan sebagai perbandingan besarnya *loss* yang ditimbulkan oleh sistem penjejak matahari kontinyu.

## **BAB II**

### **TEORI PENUNJANG**

#### **2.1. Pengertian Photovoltaic**

*Photovoltaic* merupakan suatu devais yang terbuat dari material semikonduktor yang mampu mentransfer energi radiasi matahari menjadi energi listrik (Abadi, 2016). *Photovoltaic (solar cell)* bekerja menggunakan prinsip efek fotolistrik yang pertama kali ditemukan oleh Henry Becqueler pada tahun 1839 yang bereksperimen pada sel elektrolit yang terbuat dari dua elektroda logam(Zweibel & Hersch, 1984).

Modul dari suatu Photovoltaic (PV) terdiri atas beberapa *solar cell* yang tersusun secara seri. Masing-masing *solar cell* mampu menghasilkan tegangan listrik 0.5 sampai 0.6 Volt. Apabila suatu PV terdiri atas 32 sampai 34 *solar cell*, maka tegangan dapat dihasilkan sebesar kurang lebih 18 Volt (Saputra, 2008).



**Gambar 2. 1** Modul Photovoltaic

Photovoltaic memiliki kelebihan dibandingkan bahan bakar fosil atau bahan bakar lainnya yaitu PV tidak memerlukan bahan bakar minyak dan tidak menghasilkan gas emisi selama beroperasi. Setiap modul PV juga dipercaya memiliki *reliability* yang baik dan mampu bertahan hingga 10-20 tahun beroperasi. Juga sifat dari PV yang modular memungkinkan untuk ditambahkan ketika kebutuhan meningkat(Saputra, 2008).

Dibalik keuntungan-keuntungannya tersebut, PV juga memiliki kekurangan yaitu kebutuhannya pada matahari. Keberadaan

matahari dalam sehari sangat terbatas apalagi ketika cuaca mendung ataupun hujan. Juga tegangan yang dihasilkan berupa DC dan untuk mengubahnya menjadi 240V AC dibutuhkan komponen-komponen yang bisa meningkatkan biaya operasional dan juga biaya pemasangan awalnya yang lebih mahal(Saputra, 2008).

Pada dasarnya piranti ini menggunakan prinsip efek fotolistrik yang telah ditemukan pertama kali oleh Henry Becquerel pada tahun 1839 yaitu ketika melakukan eksperimen pada sebuah *cell* elektrolit yang terbuat dari dua elektroda logam(Herch & Zweibek, 1982). Efek fotolistrik ditandai dengan terjadinya energi listrik yang disebabkan oleh adanya kontak dua elektrode yang terhubung pada sebuah sistem padatan ketika terkena radiasi matahari. Radiasi matahari merupakan kumpulan dari beberapa foton dengan tingkat energi yang bervariasi, dimana perbedaan variasi akan menentukan panjang gelombang dari masing-masing foton.

Dalam *solar cell* terdapat 2 tipe semi konduktor, yakni tipe-n dan tipe-p. Dalam pita energy semikonduktor tipe-n terdapat kelebihan ion negatif dan dalam tipe-p kekurangan ion negative. Ketika kedua tipe disatukan maka susunannya menjadi teratur. Electron-elektron berlebih yang terdapat pada pita-n akan segera mengisi lubang-lubang electron yang ada pada pita-p. kemudian ketika gabungan pita tersebut dihubungkan pada *ciucuit* secara sederhana, dan pada saat cahaya matahari mengenai permukaan pita tersebut, maka electron-elektron yang terdapat dalam pita akan mempunyai energy yang cukup untuk lepas dari ikatan, sehingga elektron akan mengalir kedalam *circuit* untuk menuju beban. Saat elektron tereksitasi maka electron tersebut akan meninggalkan lubang yang nantinya akan diisi oleh elektron yang lain. Hal itu berlangsung secara terus-menerus yang nantinya pada nantinya disebut sebagai arus listrik yang digunakan untuk kebutuhan sehari-hari.

Adapun PV memiliki beberapa jenis, yaitu polikristal, monokristal, dan amorphus. Polikristal (*Poly-crystalline*) merupakan panel surya yang memiliki susunan kristal acak

karena dipabrikasi dengan proses pengecoran. Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Panel surya jenis ini memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan tipe monokristal, sehingga memiliki harga yang cenderung lebih murah. Monokristal (*Mono-crystalline*) merupakan panel yang paling efisien, menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Memiliki efisiensi sampai dengan 15%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak dapat bekerja optimal ditempat dengan cahaya matahari yang kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan. Amorphous, silikon amorf (a-Si) telah digunakan sebagai bahan sel PV untuk kalkulator selama beberapa waktu. Meskipun mempunyai kinerja yang lebih rendah dibandingkan sel surya tradisional c-Si, hal ini tidak penting dalam kalkulator, yang menggunakan daya sangat rendah.

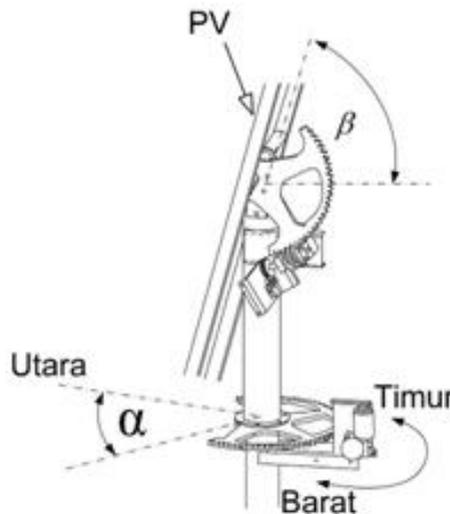
## 2.2. Desain Sistem Penjejak Matahari

Berbagai jenis mekanisme tracking bervariasi dari mulai kompleks hingga sangat sederhana. Secara umum mekanisme tracking dapat dibagi menjadi dua kategori yaitu mekanikal dan elektrik sistem. Sistem elektronik secara umum dapat menunjukkan peningkatan *reliability* dan akurasi penjejukan matahari, yang kemudian dapat dibagi lagi menjadi dua macam yaitu mekanisme penggunaan motor yang dikontrol secara elektrik melalui sensor yang mendeteksi besarnya nilai illuminasi matahari dan mekanisme yang memakai motor yang dikontrol menggunakan komputer dengan kontrol feedback yang disediakan oleh pengukuran sensor *solar flux* pada *receiver*.

Mekanisme *tracking* haruslah memiliki keandalan yang baik dan mampu mengikuti pergerakan matahari dengan akurasi sudut tertentu, mengembalikan panel ke posisi semula di penghujung hari atau pada saat malam, serta jalur *tracking* ketika matahari tertutupi oleh awan.

Sistem *solar tracker* konvensional membutuhkan *feedback* dan *open loop control*. Juga *tracker-tracker* tersebut biasanya

diciptakan dalam skala besar yang bertujuan agar dapat memasukkan banyak modul PV ke dalamnya. Karena desain tersebut, PV tersebut menjadi sangat berat, rumit, dan pemasangannya yang sulit. Desain yang diajukan adalah sebuah jenis PV baru yang memiliki 5 posisi pada pagi, siang, dan sore hari. Desain *tracker* ini kita sebut “dua axis lima posisi sun tracking PV”.

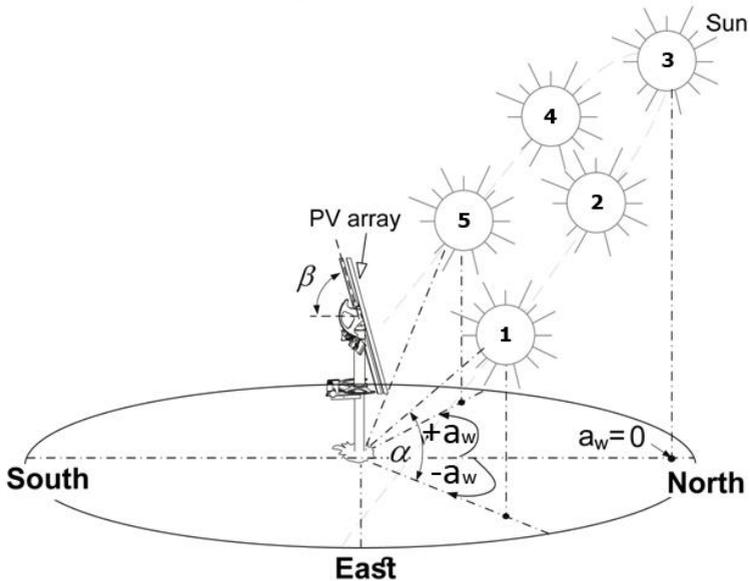


**Gambar 2. 2** Mekanik dari sistem tracking 2 axis (Seme, dkk., 2011)

Gambar 2.2 adalah mekanik dari sistem 2 axis 5 posisi. Mekanisme terdiri atas sebuah tiang penyangga, platform yang dapat diubah kemiringan dan arahnya, PV yang digerakkan motor dan sensor posisi matahari.

Terdapat 5 *switch* pada *transmission gear* dari PV untuk sinyal *output* menuju rangkaian pengontrol. PV akan berhenti ketika *switch* menyentuh *switch* berikutnya ketika di *trigger*. Lokasi dari *switch* tersebut menentukan sudut berhenti. Gambar 2.3 menunjukkan posisi berhenti dari *tracker* pada saat tertentu. Adapun waktu berhenti *tracker* yaitu posisi pertama pada jam

04:00 sampai dengan 09:10, posisi kedua untuk jam 09:15 sampai 10:40, dari jam 10:45 sampai 11:55 untuk posisi ketiga, posisi keempat ketika 12:00 sampai 13:25, dan terakhir posisi kelima berada pada jam 13:30 sampai 18:30.

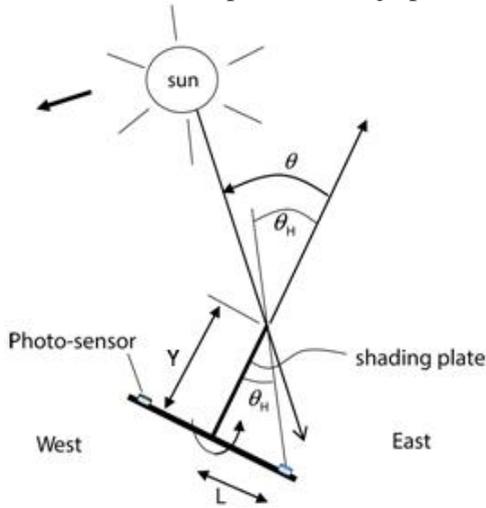


**Gambar 2.3** Konsep dari dua axis lima posisi *tracking* (Seme, dkk., 2011)

Gambar 2.3 menunjukkan konsep dari sistem penjejak matahari dua axis lima posisi. Pada posisi pertama PV mengarah ke timur yang agak condong ke utara. Pada posisi kedua, arah yang dihadapi PV semakin condong ke utara sampai akhirnya akan menghadap utara pada posisi ketiga. Ketika memasuki posisi keempat PV akan berganti arah menuju ke barat namun masih agak condong ke utara, dan terakhir pada posisi 5 sampai matahari terbenam PV akan mengarah ke barat dengan sedikit condong ke arah utara.

Sensor posisi matahari terdiri atas 2 buah elemen *photosensing* yang dipisahkan oleh sebuah *vertical shading plate* (Gambar 2.3). Posisi matahari akan menghasilkan bayangan pada

salah satu elemen *photosensing*. Rangkaian kemudian akan mendeteksi sinyal serta posisi relatif matahari dan kemudian menggerakkan motor untuk berpindah menuju posisi berikutnya.



**Gambar 2. 4** Skematik sensor posisi matahari (B. J. Huang & Sun, 2007)

Desain dari sensor posisi matahari seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4 dapat menentukan waktu PV untuk berpindah menuju posisi selanjutnya. Ketinggian dari *shading plate* ( $H$ ) dan jarak dari elemen photosensing dari shading plate ( $L$ ) akan menentukan waktu perubahan. Ketika PV di trigger oleh sinyal sensor, rangkaian kontrol akan menggerakkan PV dan berhenti pada posisi selanjutnya.

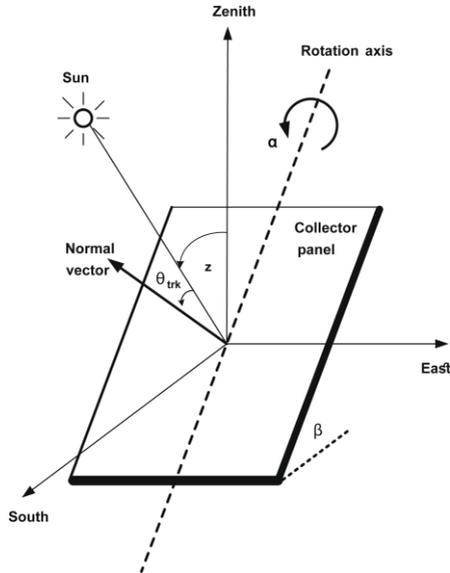
Performa dari 2 axis 5 posisi *solar tracker* ini bergantung pada beberapa hal, yaitu sudut kemiringan PV ( $\alpha$ ), sudut berhenti ( $\beta$ ), *error* pemasangan ( $\gamma$ ) terhadap arah selatan, dan juga sudut perubahan dari sensor ( $\theta_H$ ). Sudut  $\theta_H$  dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan trigonometri

$$\theta_H = \tan^{-1}(L/H) \quad (2.1)$$

Yang kemudian harus ditentukan adalah berapa sudut kemiringan  $\alpha$  dan juga sudut berhenti  $\beta$  paling optimal yang

mampu menghasilkan daya listrik atau untuk menerima sinar matahari terbesar dengan sudut perubahan  $\theta_H$  dan dengan error pemasangan  $\gamma$ .

### 2.3. Radiasi Matahari



**Gambar 2. 5** Geometri dari *solar cell* (Chang, 2009)

Radiasi yang diterima oleh *solar cell* yang dimiringkan pada sudut  $\alpha$  dipengaruhi oleh 3 komponen, yaitu sinar langsung, difusi, dan pantulan dari tanah. Gabungan dari ketiga komponen tersebut disebut sebagai radiasi global ( $I_t$ ) dan dapat dihitung dengan (Liu & Jordan, 1963)

$$I_t = I_{cb}R_b + I_{cd} \frac{(1 + \cos \lambda)}{2} + I_{c\rho} \frac{(1 - \cos \lambda)}{2} \quad (2.2)$$

$R_b$  adalah faktor geometrik. Nilai  $R_b$  dapat ditentukan dengan.

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (2.3)$$

$\theta$  adalah sudut antara sinar matahari dengan garis normal PV. Dan  $\theta_z$  adalah sudut zenith.

$$\begin{aligned}
\cos \theta = & \sin \alpha \cos \beta \sin \phi \cos \gamma \cos \delta \cos \omega \\
& - \sin \alpha \cos \beta \cos \gamma \cos \phi \sin \delta \\
& - \sin \beta \sin \gamma \sin \phi \cos \delta \cos \omega \\
& + \sin \beta \sin \gamma \cos \phi \sin \delta \\
& + \sin \alpha \cos \beta \sin \gamma \cos \delta \sin \omega \\
& + \sin \beta \cos \gamma \cos \delta \sin \omega \\
& + \cos \alpha \cos \beta \sin \phi \sin \delta \\
& + \cos \alpha \cos \beta \cos \phi \cos \delta \sin \omega
\end{aligned} \tag{2.4}$$

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \tag{2.5}$$

Dimana  $\phi$  adalah sudut latitude (lintang) dari lokasi penelitian,  $\omega$  adalah solar hour yang berubah  $15^\circ$  setiap jam (0 saat siang, negatif di pagi hari, dan positif di sore hari), dan  $\gamma$  adalah besar sudut *error* pemasangan PV. Nilai  $\lambda$  ditentukan dengan

$$\cos \lambda = \cos \alpha \cos \beta \tag{2.6}$$

$\delta$  adalah *solar declination*, yaitu pusat dari gabungan antara pusat matahari, bumi, dan sumbu ekuator.

$$\delta = 23,45 \sin \left( 2\pi \frac{284 + n}{365,25} \right) \tag{2.7}$$

$n$  adalah hari ke berapa dalam satu tahun (berkisar antara 1 – 365).  $\rho$  adalah koefisien pantulan *ground* yang bernilai 0,2 untuk *ground* yang terbebas dari salju dan 0,7 untuk *ground* yang dipenuhi salju.

$I_c$  dari persamaan 2 adalah radiasi udara cerah pada layar horizontal.  $I_c$  merupakan penjumlahan dari  $I_{cb}$  dan  $I_{cd}$ .

$$I_c = I_{cb} + I_{cd} \tag{2.8}$$

$I_{cb}$  adalah radiasi sinar pada udara cerah dan dapat dihitung menggunakan (Hottel, 1976)

$$I_{cb} = I_0 \tau_b \cos \theta_z \tag{2.9}$$

Dimana  $\tau_d$  adalah transmitansi dari radiasi sinar dan sama dengan rasio antara radiasi sinar dan sama dengan rasio antara radiasi sinar pada layar horizontal ( $G_b$ ) dan *air mass zero* (AM0) radiasi *extraterrestrial* ( $G_o$ ). *Air mass* sendiri adalah rasio perbandingan antara panjang lintasan matahari dari atmosfer sampai permukaan bumi terhadap panjang lintasan matahari

ketika matahari tepat berada diatas kepala terhitung dari amosfer hingga permukaan bumi. Semakin besar nilai *air mass* maka semakin kecil nilai radiasi matahari.

$$\tau_b = G_b/G_o \quad (2.10)$$

Dan dapat ditulis secara empiris menjadi

$$\tau_b = a_0 + a_1 e^{-\frac{k}{\cos\theta_z}} \quad (2.11)$$

Konstanta  $a_0 = r_0 a_0^*$ ,  $a_1 = r_1 a_1^*$ , dan  $k = r_k k^*$  (untuk atmosfer dengan jarak pandang 23km dan dengan menganggap *altitude* pengamat di bawah 2,5 km) dapat dihitung dengan

$$\begin{aligned} a_0^* &= 0,4237 - 0,00821 (6,0 - H)^2 \\ a_1^* &= 0,5055 + 0,00595 (6,0 - H)^2 \\ k^* &= 0,2711 + 0,01858 (6,0 - H)^2 \end{aligned} \quad (2.12)$$

$H$  adalah altitude dari pengamat dalam kilometer. Parameter  $r_0, r_1, dan r_k$  berhubungan dengan iklim dan nilainya terdapat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2. 1** Parameter atmosfer untuk tiap jenis iklim (B. J. Huang & Sun, 2007)

Tipe Iklim	$r_0$	$r_1$	$r_k$
Tropis	0,95	0,98	1,02
<i>Mid-lattitude Summer</i>	0,97	0,99	1,02
<i>Sub-arctic summer</i>	0,99	0,99	1,01
<i>Mid-lattitude winter</i>	1,03	1,01	1,00

Besarnya  $I_o$  dapat diketahui dari

$$\begin{aligned} I_o &= \int G_o dt \\ &= \int S_c \left( 1 + 0,033 \cos \left( 2\pi \frac{dn}{365,25} \right) \right) dt \end{aligned} \quad (2.13)$$

$S_c$  adalah konstanta solar ( $1367 W/m^2$ ). Komponen difusi pada udara cerah ( $I_{cd}$ ) dapat diestimasi melalui model (Liu & Jordan, 1960)

$$I_{cd} = I_o \tau_d \cos \theta_z \quad (2.14)$$

$$\tau_d = 0,2710 - 0,2939 \tau_b \quad (2.15)$$

$\tau_d$  adalah transmisi atmosfer dari radiasi difusi.

## 2.4. Genetic Algorithm

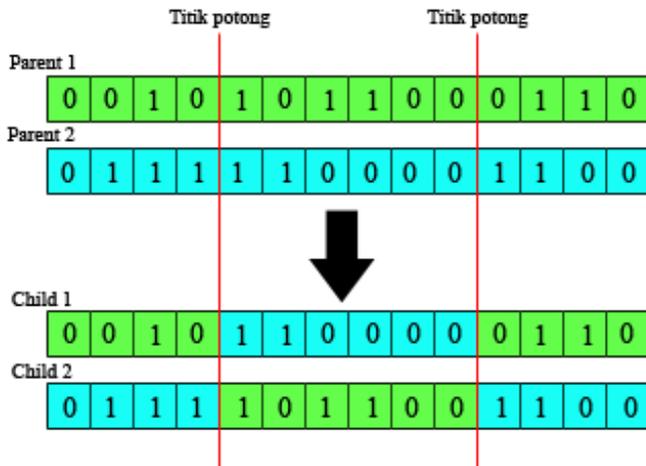
*Genetic algorithm* merupakan algoritma yang berdasarkan mekanisme seleksi alam dan genetika alami. *Genetic algorithm* mengkombinasikan kemampuan bertahan hidup dari satu *fittest* pada suatu susunan *string* yang tersusun secara terstruktur namun informasi yang digunakan diambil secara acak untuk membentuk suatu algoritma pencarian. Pada setiap generasi, setiap string yang baru terbentuk menggunakan bit dan potongan dari *fittest* terdahulu. Meskipun acak GA tidak sembarangan, GA memanfaatkan informasi sebelumnya secara efisien untuk menentukan titik pencarian baru yang diharapkan mampu meningkatkan performa. GA berbeda dari metode optimisasi pada umumnya dan prosedur pencarian dapat dibagi menjadi empat macam.

- *Genetic algorithm* menyelesaikan masalah dengan mengodekan parameter, bukan menyelesaikan masalah itu sendiri.
- *Genetic algorithm* memulai proses pencariannya dari suatu populasi, bukan dari solusi tunggal dan berlanjut ke solusi lainnya.
- *Genetic algorithm* menggunakan fungsi objektif
- *Genetic algorithm* menggunakan aturan probabilitas transisi untuk menuntun proses pencariannya, bukan dengan aturan deterministik.

*Genetic algorithm* membutuhkan parameter alami dari masalah yang dioptimalkan untuk selanjutnya dilakukan proses pengodean agar menjadi string yang panjangnya terhitung. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam GA adalah:

- Mendefinisikan individu dimana individu menyatakan salah satu solusi (penyelesaian) yang mungkin dari penyelesaian yang diangkat.

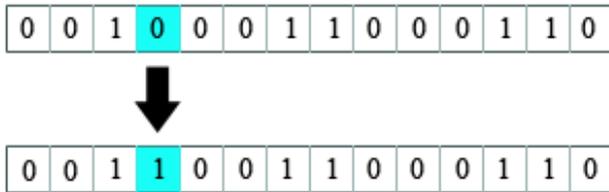
- Mendefinisikan nilai fitness, yang merupakan ukuran baik tidaknya sebuah individu atau baik tidaknya solusi yang didapatkan
- Menentukan proses pembangkitan populasi awal, hal ini biasanya dilakukan dengan menggunakan pembangkitan seperti *random-walk*.
- Menentukan proses seleksi yang akan digunakan, dengan menggunakan mesin roulette, yang merupakan metode yang paling sederhana dan sering dikenal dengan nama *stochastic sampling with replacement*.
- Menentukan proses perkawinan silang (cross-over) dan mutasi gen yang akan digunakan
  - a. Perkawinan silang (cross-over) adalah operator dari genetic algorithm yang melibatkan dua induk untuk membentuk kromosom baru. Perkawinan silang menghasilkan titik baru dalam ruang pencarian yang siap diuji.



**Gambar 2. 6** Mekanisme *cross-over*

- b. Mutasi gen, operator ini berperan untuk menggantikan gen yang hilang dari populasi akibat proses seleksi

yang memungkinkan munculnya kembali gen yang tidak muncul pada inisialisasi populasi.



**Gambar 2. 7** Mekanisme mutasi

Dengan mempertimbangkan *string* yang dibangun atas alfabet biner  $V = \{0, 1\}$ . Populasi dari individual string  $A_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ , yang berada pada populasi  $A(t)$  dimana  $t$  adalah *boldface* yang digunakan untuk menyatakan sebuah populasi. Serta *schema*  $H \in V^+ = \{0, 1, *\}$ . *String* tidak diciptakan equal, sebagian lebih spesifik daripada yang lain. Susunan dari *schema*  $H$  yang dinyatakan oleh  $o(H)$  merupakan posisi *fixed* yang ada dalam template. Untuk menentukan panjang *schema*  $H$  yang dinyatakan oleh  $\delta(H)$  adalah jarak spesifik antara posisi string pertama dan terakhir.

Hasil dari reproduksi pada jumlah *string* yang terhitung dapat dengan mudah ditentukan. Misalkan pada saat  $t$  terdapat  $m$  *schema*  $H$  dalam populasi  $A(t)$  secara matematis ditulis  $m = m(H, t)$ . Selama reproduksi *string* disalin sesuai dengan jumlah *fitness* atau lebih tepatnya string  $A_i$  dipilih dengan

probabilitas  $p_i = \frac{f_i}{\sum f_i}$ . Setelah diambil populasi yang tidak

overlap dari  $n$  dengan penggantian dari populasi  $A(t)$  didapat  $m(H, t + 1)$  sebagai representasi dari *schema*  $H$  pada populasi pada saat  $t + 1$  dengan persamaan

$$m(H, t + 1) = \frac{m(H, t) \times n \times f(H)}{\sum f_i} \text{ dimana } f(H) \text{ adalah fitness rata-}$$

rata dari *string* yang merepresentasikan *schema*  $H$  pada saat  $t$ .

apabila *fitness* dari semua populasi adalah  $\bar{f} = \frac{\sum f_j}{n}$  maka pertumbuhan reproduksi *schema* adalah sebagai berikut.

$$m(H, t+1) = m(H, t) \frac{f(H)}{\bar{f}} \quad (2.16)$$

Dengan mengasumsikan *schema*  $H$  tertentu tetap berada diatas rata-rata jumlah  $c\bar{f}$  dimana  $c$  adalah konstanta maka perbedaan *schema* adalah

$$m(H, t+1) = m(H, t) \frac{(\bar{f} + c\bar{f})}{\bar{f}} = (1+c) \times m(H, t) \quad (2.17)$$

Pada saat  $t = 0$  dan dengan asumsi nilai  $c$  tetap

$$m(H, t) = m(H, 0) \times (1+c)^t \quad (2.18)$$

Jika *crossover* sendiri dilakukan secara acak, misalkan kemungkinan terjadinya *crossover* adalah  $p_c$ , kemungkinan bertahan  $p_c$  adalah

$$p_s \geq 1 - p_c \frac{\delta(H)}{l-1} \quad (2.19)$$

Sedangkan jumlah dari *schema*  $H$  tertentu yang akan muncul pada generasi berikutnya

$$m(H, t+1) \geq m(H, t) \frac{f(H)}{\bar{f}} \left[ 1 - p_c \frac{\delta(H)}{l-1} \right] \quad (2.20)$$

Sehingga jumlah *schema*  $H$  yang muncul pada generasi berikutnya setelah melalui reproduksi, *crossover*, dan mutasi adalah

$$m(H, t+1) \geq m(H, t) \frac{f(H)}{\bar{f}} \left[ 1 - p_c \frac{\delta(H)}{l-1} - o(H)p_m \right] \quad (2.21)$$

## 2.5. Uji Kelayakan

Studi Kelayakan (*feasibility study*) adalah kegiatan untuk menilai sejauh mana manfaat yang dapat diperoleh dalam melaksanakan suatu kegiatan usaha /proyek dan merupakan bahan

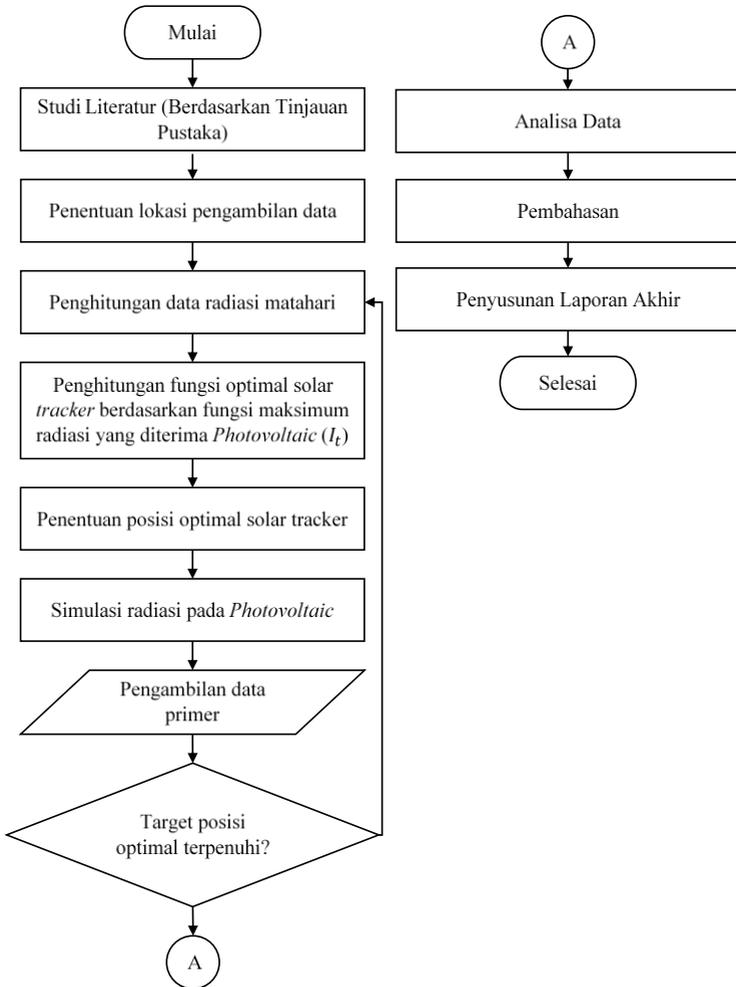
pertimbangan dalam mengambil suatu keputusan, apakah menerima atau menolak dari suatu gagasan usaha /proyek yang direncanakan. Pengertian layak dalam penilaian ini adalah kemungkinan dari gagasan usaha/proyek yang akan dilaksanakan memberikan manfaat (benefit), baik dalam arti financial benefit maupun dalam arti social benefit. Layaknya suatu gagasan usaha/proyek dalam arti social benefit tidak selalu menggambarkan dalam arti financial benefit, hal ini tergantung dari segi penilaian yang dilakukan (Ibrahim, 2003).

Tujuan utama dari studi kelayakan adalah untuk menilai 3 tipe kelayakan, yaitu:

- a. Kelayakan Teknis  
Menjelaskan apakah solusi dapat didukung oleh teknologi yang ada.
- b. Kelayakan Ekonomis  
Menjelaskan apakah teknologi yang ada memiliki *cost* yang efektif
- c. Kelayakan Operasional  
Menjelaskan apakah solusi dapat digunakan pada suatu organisasi jika diterapkan (Overton, 2004)

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Langkah – langkah yang dilakukan dalam pelaksanaan penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 3.1.



**Gambar 3. 1** Diagram alir penelitian pelaksanaan tugas akhir

### 3.1. Studi Literatur

Tahapan ini merupakan tahapan awal dalam pengerjaan penelitian ini. Tahapan ini bertujuan untuk mengetahui dan mempelajari teori – teori dasar untuk yang menunjang dalam pelaksanaan tugas akhir. Penelitian ini berhubungan dengan sistem penjejak matahari, sehingga penelitian - penelitian sebelumnya mengenai sistem penjejak matahari yang berhubungan dijadikan referensi.

Literatur – literatur yang digunakan untuk menunjang penelitian ini diambil dari berbagai sumber, baik itu jurnal – jurnal penelitian sebelumnya, *handbook*, dan lain sebagainya. Penelitian ini juga menggunakan *software* MATLAB, sehingga dibutuhkan juga pemahaman mendalam dalam penggunaan *software* tersebut.

Jurnal-jurnal utama yang digunakan antara lain

- a. Imam Abadi, “Rancang Bangun Sistem Penjejak Matahari Dua Sumbu Pada Photovoltaik Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy Berbasis Particle Swarm Optimization”, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Sep. 2016.

Disertasi ini merancang sistem penjejak matahari 2 sumbu dengan menggunakan kontrol logika *fuzzy* berbasis *Particle Swarm Optimization*. Akurasi penjajakan tertinggi mencapai 99,97% pada simulasi dan 99,18% pada eksperimen. Sementara peningkatan efisiensi energi tertinggi yang dicapai *solar tracker* adalah 59,82% pada simulasi dan 60,42% pada eksperimen

- b. B. J. Huang and F. S. Sun, “*Feasibility study of one axis three positions tracking solar PV with low concentration ratio reflector*,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 48, no. 4, pp. 1273–1280, Apr. 2007.

Paper ini mengajukan desain PV baru yaitu PV dengan satu *axis* dan 3 posisi menggunakan reflektor berasio rendah. PV ini berhenti pada 3 posisi, yaitu pada pagi, siang, dan sore hari. PV jenis ini mampu menghasilkan daya keluaran 56%

lebih besar dibanding PV yang tetap.

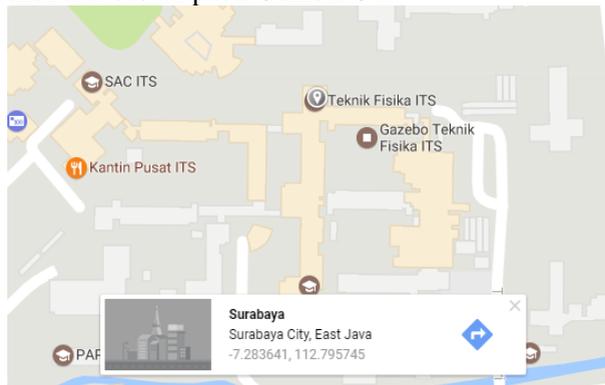
- c. B.-J. Huang, Y.-C. Huang, G.-Y. Chen, P.-C. Hsu, and K. Li, “Improving Solar PV System Efficiency Using One-Axis 3-Position Sun Tracking,” *Energy Procedia*, vol. 33, pp. 280–287, 2013.

Efisiensi konversi energi dari PV komersial hanya mampu menghasilkan sekitar 15-19% peningkatan. Daya keluaran dapat ditingkatkan dengan menggunakan teknologi *sun tracking*. Paper ini menguji PV 1 axis-3 posisi dari tanggal 1 Maret 2010 sampai dengan 31 Mei 2012.

### 3.2. Penentuan Lokasi Pengambilan Data

Lokasi pengambilan data menentukan hasil akhir yang akan didapatkan. Lokasi pengambilan data pada penelitian ini adalah Departemen Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan pengambilan data dimulai pada tanggal 9 April 2017 dan didapatkan data terbaik pada tanggal 17 Juni 2017.

Pengambilan data lintang dan bujur untuk penelitian adalah menggunakan *google maps*. Sehingga didapatkan lintang dan bujur penelitian sesuai pada Gambar 3.2.



**Gambar 3.2** Penentuan sudut lintang dan bujur dari lokasi penelitian menggunakan *Google Maps*

Koordinat dan elevasi dari lokasi penelitian dideskripsikan sebagai berikut

**Tabel 3. 1** Lokasi Pengambilan Data

Besaran	Nilai
Lintang	7,28° Selatan
Bujur	112,79° Timur
Elevasi	1000 meter

data tersebut kemudian akan digunakan sebagai parameter – parameter untuk menyelesaikan penelitian yang dilakukan

### 3.3. Pemodelan Solar Tracker

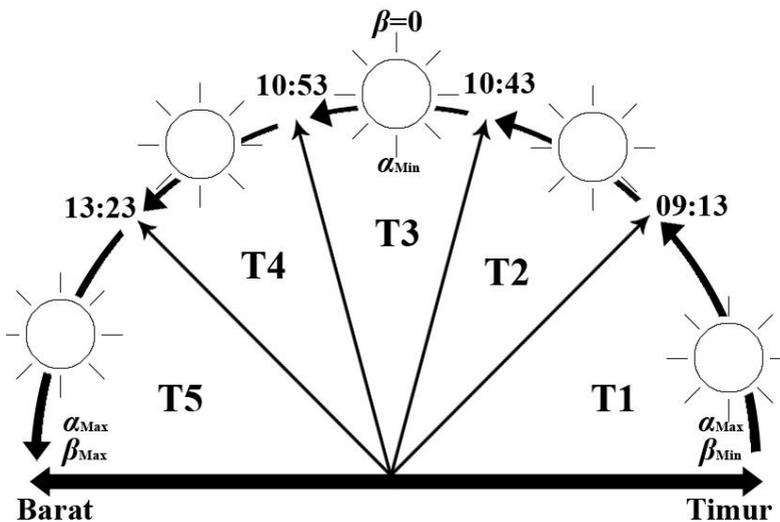
Secara umum terdapat dua metode dalam sistem penjejak matahari yang digunakan oleh para peneliti dalam merancang, mengaplikasikan dan mengembangkan *solar tracker* yakni metode pasif dan metode aktif.

Sistem penjejak matahari dapat dikatakan aktif ketika menggunakan sistem *close loop* serta menggunakan sensor elektronik untuk mendeteksi posisi matahari. Berbeda dengan mekanisme aktif, sistem penjejak matahari bisa disebut pasif apabila ketika melakukan tracking tidak melakukan pengukuran langsung terhadap besaran fisis dari objek atau dengan kata lain teknik penjejakannya berdasarkan perhitungan astronomi.

Sementara itu, mekanisme penjejukan matahari yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan *solar tracking berbasis solar trajectory*. Sistem penjejukan dirancang menggunakan open loop berbasis control proporsional dan integral (PI). Agar dapat mengimplementasikan metode ini diperlukan perhitungan PV dalam fungsi waktu yang kemudian data-data ini dimasukkan kedalam sistem PI.

Secara matematik, posisi PV didefinisikan melalui dua parameter yaitu sudut putar,  $\alpha$ , dan sudut berhenti,  $\beta$ . Pada kasus ini berlaku  $\alpha = \theta_z$  dan  $\beta = \gamma_s$ , yang mana menyatakan sudut zenith dan menyatakan azimuth matahari.

Menurut Huang (2006) efisiensi PV dengan menggunakan sistem penjejak matahari satu sumbu tiga posisi mampu menghasilkan peningkatan sebesar 24,5%. Abadi dan Rahyudhi (2012) menemukan bahwa solar tracker yang menggunakan dua sumbu tiga posisi menghasilkan efisiensi sebesar 33,136%. Selain itu studi yang dilakukan Abdallah menunjukkan bahwa energi yang dihasilkan solar tracking dua sumbu empat posisi mampu mencapai 41,34% dibandingkan PV fixed. Berdasarkan penelitian diatas dapat diambil hipotesa semakin banyak jumlah posisi PV maka semakin besar pula energi yang dihasilkannya, namun semakin besar pula energi yang dikonsumsi oleh motor. Sehingga diambil sistem penjejak matahari dua sumbu lima posisi.



**Gambar 3. 3** Lima waktu interval penyinaran matahari

Berlandaskan perhitungan posisi optimal dari PV terhadap satu hari penyinaran, durasi kerja *solar tracker* dibagi menjadi 5 interval waktu, sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 3.3. Pembagian durasi waktu ini digunakan sebagai dasar untuk menentukan sudut berhenti optimal PV pada uji eksperimen.

### 3.4. Penghitungan Fungsi Optimal Solar Tracker

Optimasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah menggunakan metode *Genetic Algorithm*. Fungsi obyektif dari optimasi ini juga ditentukan pada persamaan (2.15). Paramater cari pada optimasi adalah sudut kemiringan PV ( $\alpha$ ) dan arahnya ( $\beta$ ). Sesuai persamaan (2.2), nilai – nilai seperti tanggal, koefisien pantul *ground*, deklinasi matahari, dan lainnya merupakan konstan. Sehingga nilai radiasi total yang diterima oleh PV ( $I_t$ ) pada lokasi surabaya dengan koordinat pada tabel 3.1 dan pada tanggal 9 April 2017 pada pukul *solar noon* sesuai dengan persamaan (2.2) menjadi

$$\begin{aligned}
 I_t = I_0 & (\tau_b \cos \theta + \tau_d \cos \theta_z \left( \frac{1 + \cos \lambda}{2} \right) \\
 & + \tau_b \cos \theta_z \rho \left( \frac{1 - \cos \lambda}{2} \right) \\
 & + \tau_d \cos \theta_z \rho \left( \frac{1 - \cos \lambda}{2} \right)
 \end{aligned} \quad (3.22)$$

Dengan nilai  $I_{0n}$

$$I_0 = (1353 \cdot (1 + 0,033 \cdot \cos \frac{360 \cdot n}{365})) \cdot t \quad (3.23)$$

Maka, pada Matlab dituliskan fungsi baru untuk mencari nilai radiasi yang diterima oleh *photovoltaic* pada sudut  $\alpha$  dan  $\beta$  tertentu. Fungsi tersebut terlampir pada Lampiran A.

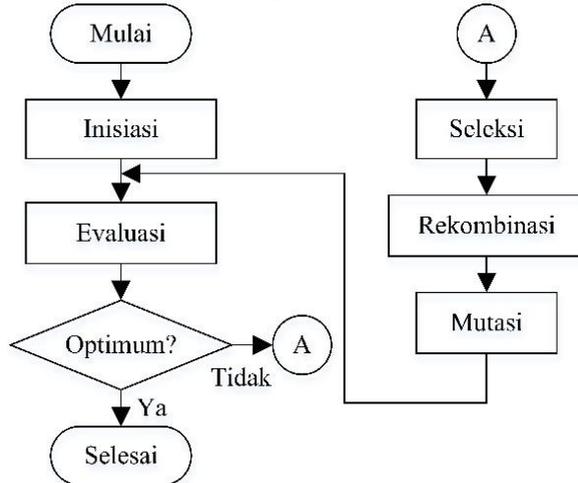
Variabel – variabel yang konstan pada fungsi tersebut adalah

**Tabel 3. 2** Variabel konstan pada fungsi radiasi Matlab

Variabel	Definisi	Nilai
$\rho$ (rho)	Koefisien pantulan <i>ground</i>	0,2
H	Ketinggian pengamat	1 km
$r_0, r_1, r_k$	Parameter atmosfer iklim tropis	0,95 ; 0,98 ; 1,02
N	Hari ke-n dalam setahun	153-155
T	Lama waktu untuk nilai $I_0$	1 s
$\phi$ (lat)	Sudut lintang kota surabaya	-7,12°
$\gamma$ (gamma)	<i>Error</i> pemasangan PV	0°

### 3.5. Penentuan Posisi Optimal Solar Tracker

Posisi optimal dari solar tracker dapat ditentukan dengan menggunakan metode *Genetic Algorithm* (GA).



**Gambar 3. 4** Diagram alir optimasi GA

Lalu, pada Matlab dibuat program untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Program ini kemudian dibagi menjadi 3 proses utama yaitu:

a. Inisialisasi

Proses ini bertujuan untuk menginisialisasikan variabel-variabel yang akan digunakan selama proses optimasi berlangsung. Variabel-variabel tersebut antara lain:

- Npop : Singkatan dari populasi yang mendefinisikan jumlah populasi dalam proses optimasi
- Maxit : Mendefinisikan jumlah generasi yang dilakukan selama proses optimasi
- el : Mendeskripsikan elitism
- Pc : Mendiskripsikan probalitas *crossover*
- Pm : Mendeskripsikan probabilitas terjadinya mutasi
- Nvar : Mendeskripsikan jumlah variabel desain

- yang dioptimasi
- Nbit : Mendeskripsikan jumlah bit yang digunakan
- rb : Batas bawah
- ra : Batas atas
- al : Mendeskripsikan variabel a, yaitu sudut  $\alpha$  yang berupa matriks  $1 \times 100$
- b : Mendeskripsikan variabel b, yaitu sudut  $\beta$  yang berupa matriks  $1 \times 100$

b. Iterasi *Genetic Algorithm*

Proses ini adalah proses utama dari program optimasi dengan metode *Genetic Algorithm*. Proses ini memiliki 4 *looping*, yaitu

- Seleksi : Pemilihan individu berdasarkan nilai *fitness*-nya. Semakin tinggi nilai *fitness* suatu individu semakin besar kemungkinan untuk terpilihnya. Teknik seleksi yang digunakan adalah *elitism*.
- *Crossover* : Salah satu operator yang melibatkan dua induk untuk menghasilkan keturunan yang baru. Melakukan pertukaran gen dari dua induk secara acak.
- Mutasi gen : Operatir yang menukar nilai gen dengan nilai inversinya, misalnya nilai gen 0 ditukar menjadi nilai gen 1. Setiap individu mengalami mutasi gen dengan probabilitas mutasi yang telah ditentukan yaitu antara 0-1. Mutasi gen dilakukan dengan memberikan nilai inverse atau menggeser nilai gen pada gen yang terpilih untuk dimutasikan.
- Evaluasi : Bila criteria yang diinginkan belum terpenuhi maka akan dibentuk lagi generasi baru dengan mengulang langkah seleksi hingga evaluasi.

*Objective function* atau variabel yang dioptimasi dalam GA adalah radiasi global ( $I_t$ ), semetara populasi adalah kumpulan nilai sudut  $\alpha$  dan sudut  $\beta$  dalam rentang batas bawah hingga batas atas yang nilainya sudah ditetapkan, dimana batas-batasnya didapat dari NOAA *Solar Calculator* NASA. Kromosom untuk kasus ini adalah salah satu nilai  $\alpha$  dan  $\beta$  yang diambil secara acak dalam satu populasi dan kemudian dilakukan pengodean kromosom agar masing-masing sudut menjadi biner.

**Tabel 3. 3** Batas atas dan batas bawah populasi

Posisi ke-	Alfa		Beta	
	Batas atas	Batas bawah	Batas atas	Batas bawah
1	67,68°	84,20°	51,97°	-15,83°
2	40,39°	66,90°	70,51°	53,11°
3	333,55°	37,44°	73,35°	71,29°
4	296,03°	329,81°	56,65°	72,76°
5	276,04°	295,07°	-15,65°	55,54°

c. *Display Hasil*

Proses ini bertujuan untuk menunjukkan hasil, yaitu nilai sudut  $\alpha$  dan sudut  $\beta$  optimal. Nilai tersebut diambil dari posisi generasi terakhir. Posisi  $\alpha$  terbaik adalah posisi a pada generasi terakhir dan posisi  $\beta$  terbaik adalah posisi b pada generasi terakhir. Nilai tersebut kemudian ditampilkan pada *command window Matlab*.

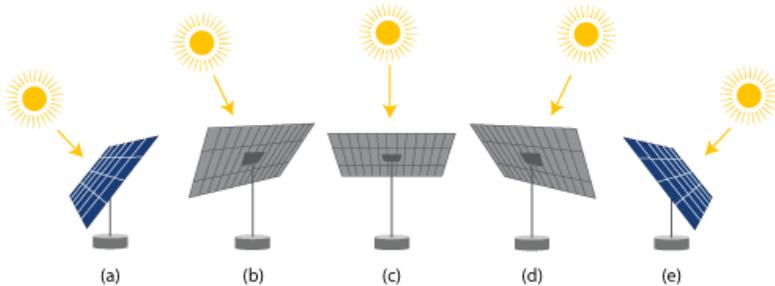
Dengan menggabungkan ketiga proses utama ini, maka program pencarian nilai optimal dengan menggunakan optimasi *Genetic Algorithm* terlampir pada Lampiran B.

### 3.6. Pengambilan Data

Pengambilan data untuk penelitian ini dilakukan pada lokasi yang telah ditentukan pada subbab 3.2 yaitu berlokasi pada

*rooftop* gedung S2 Teknik Fisika FTI-ITS dan dilakukan selama selang waktu dari pukul 08.00 sampai dengan 16.00 WIB.

Gambar 3.4 menunjukkan bagaimana posisi PV saat pengambilan data, dimana (a) merupakan posisi pertama, (b) merupakan posisi kedua, (c) merupakan posisi ketiga, (d) merupakan posisi keempat, dan (e) merupakan posisi kelima.



**Gambar 3.5** Skematik posisi PV dengan sistem penjejak matahari 2-axis 5-posisi

Untuk mengetahui peningkatan performansi PV panel berbasis *solar tracker* kontinyu dan diskrit, sebuah fixed PV dengan posisi horizontal digunakan sebagai pembandingan. Lokasi pengambilan data adalah area terbuka yang tidak dihalangi oleh pohon atau bangunan yang memungkinkan memberikan *shade* yang mengakibatkan terganggunya cahaya matahari yang mengenai panel PV.

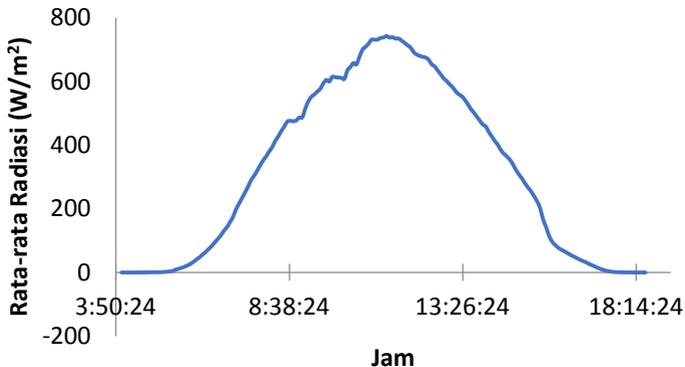
Selain sensor yang telah terpasang secara permanen pada prototipe *solar tracker*, tersedia pula beberapa alat ukur pendukung yang digunakan pada saat eksperimen berupa multimeter digital untuk pengukuran arus dan tegangan *output* PV yang nantinya hasil dari multimeter digital digunakan sebagai pembandingan atau validasi terhadap *output* sensor yang terpasang pada *solar tracker*.

Pengambilan data validasi dilakukan dengan cara mengukur langsung arus dan tegangan yang dihasilkan oleh PV menggunakan multimeter digital.

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Penentuan Waktu Pergerakan Solar Tracker

Seperti yang telah dipaparkan sebelumnya dalam bab 2, konsep sistem penjejak matahari dua axis lima posisi seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.3, dibutuhkan waktu-waktu matahari bergerak yang didapat melalui data rata-rata radiasi matahari tahunan oleh Badan Metrologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) kota Surabaya. Data rata-rata radiasi matahari selama satu tahun terlampir pada Lampiran B.



**Gambar 4. 1** Rata-rata Radiasi Selama Satu Tahun

Dari gambar 4.1 menunjukkan data yang diperoleh dari Badan Metrologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) kota Surabaya menunjukkan adanya penurunan rata-rata radiasi matahari pada pukul 08:45, 09:45, 10:10 dan 10:30. Hal ini dikarenakan nilai radiasi pada bulan Juni hingga bulan Agustus sangatlah kecil yakni bernilai  $217 W/m^2$  pada pukul 08:45. Sementara rata – rata radiasi pada pukul 08:45 selama satu tahun adalah sebesar  $475 W/m^2$ . Begitu juga pada pukul 09:45 dan 10:10. Penurunan rata – rata radiasi juga disebabkan rendahnya

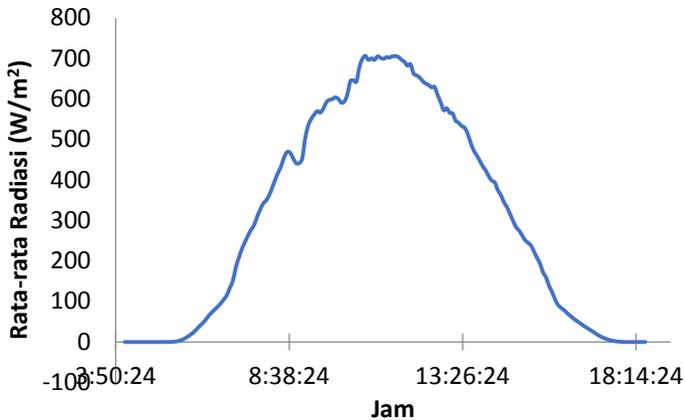
nilai radiasi matahari pada bulan Juni sampai dengan bulan Agustus.

Untuk menentukan kapan sistem penjejak matahari berpindah posisi, maka data rata – rata radiasi selama satu tahun tersebut dibagi menjadi 5 waktu seperti yang ditunjukkan oleh tabel 4.1. Waktu pertama dimulai dari pukul 04:00 sampai dengan pukul 09:10 dengan jumlah radiasi total adalah sebesar 11036  $W/m^2$  serta jam pertengahannya adalah 08:10. Untuk waktu kedua berawal pada pukul 09:15 dan berakhir pada pukul 10:40 dengan total radiasi sebesar 11092  $W/m^2$  serta jam pertengahannya adalah 09:55. Waktu ketiga adalah dari pukul 10:45 sampai dengan pukul 12:00 sehingga didapat jam pertengahan 11:20 dengan total radiasi selama waktu ketiga adalah 10995  $W/m^2$ . Pada waktu keempat dimulai dari pukul 12:05 dan berakhir pada pukul 13:30 dan besarnya total radiasi matahari selama waktu keempat adalah 11415  $W/m^2$  yang kemudian didapat jam pertengahannya ialah 12:40. Serta untuk waktu terakhir yaitu waktu kelima adalah pada pukul 13:35 sampai dengan pukul 18:30 dengan total radiasi mencapai 11141  $W/m^2$  yang memiliki jam pertengahan 14:35.

**Tabel 4. 1** Waktu pergerakan sistem penjejak matahari (data radiasi rata – rata selama satu tahun)

Posisi ke-	Jam		Jam pertengahan
	Awal	Akhir	
1	04.00	09.10	08.10
2	09.15	10.40	09.55
3	10.45	12.00	11.20
4	12.05	13.30	12.40
5	13.35	18.30	14.35

Untuk data kedua yang fungsinya sebagai data pembanding terhadap data pertama, digunakanlah data rata-rata radiasi selama enam bulan yang didapatkan dari Badan Metrologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) kota Surabaya diperoleh data rata-rata radiasi matahari selama periode bulan Januari sampai dengan bulan Juni seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.2 sebagai berikut.



**Gambar 4. 2** Rata – rata radiasi selama 6 bulan (Januari - Juni)

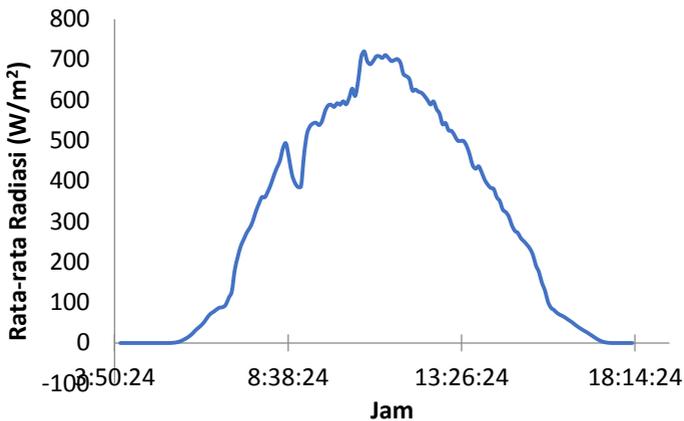
Pada gambar 4.2, dari data yang diperoleh dari BMKG, terdapat penurunan rata – rata radiasi selama 6 bulan pada pukul 08.50, 09:30, 10:05, 10:30, dan 11:15. Pada pukul 08:50, penurunan rata – rata terjadi karena adanya nilai radiasi dalam satu bulan yang sangat kecil yang terjadi pada bulan Juni yakni sebesar  $171 \text{ W/m}^2$  sementara rata – rata radiasi pada pukul 08:45 selama satu tahun adalah sebesar  $441 \text{ W/m}^2$ . Begitu juga pada jam – jam lain Penurunan rata – rata radiasi juga disebabkan rendahnya nilai radiasi matahari pada bulan Juni.

Langkah-langkah dalam penentuan kapan sistem penjejak matahari bergerak dapat menggunakan cara yang sama dengan proeses penentuan sebelumnya, yaitu dengan membaginya menjadi 5 bagian, yakni bagian pertama untuk posisi pertama, bagian kedua untuk posisi kedua dan begitu juga bagian lainnya. Bagian pertama memiliki jumlah radiasi total sebesar  $10402 \text{ W/m}^2$  dan dari jam 04.00 hingga 09.10. Sementara waktu kedua didapat pada pukul 09.15 hingga pukul 10.40 dengan total radiasinya adlaah sebesar  $10921 \text{ W/m}^2$ . Posisi ketiga ditentukan dari pukul 10.45 hingga 11.55 dengan total radiasi adalah sebesar  $10493 \text{ W/m}^2$ . Posisi keempat dan kelima secara berturut – turut

memiliki radiasi sebesar  $10401 \text{ W/m}^2$  dan  $11207 \text{ W/m}^2$  yang bergerak dari pukul 12.00 hingga 13.20 dan dari pukul 13.25 sampai pukul 18.30

**Tabel 4. 2** Waktu pergerakan sistem penjejak matahari (data radiasi rata – rata selama 6 bulan)

Posisi ke-	Jam		Jam pertengahan
	Awal	Akhir	
1	04.00	09.10	08.40
2	09.15	10.40	09.55
3	10.45	11.55	11.20
4	12.00	13.20	12.40
5	13.25	18.30	14.25



**Gambar 4. 3** Rata – rata radiasi selama 3 bulan (April - Juni)

Pada gambar 4.3, dari data yang diperoleh dari BMKG, terdapat penurunan rata – rata radiasi selama 6 bulan pada pukul 08.55, 09:30, 10:15, 10:30, dan 10:55. Pada pukul 08:55, penurunan rata – rata terjadi karena adanya nilai radiasi dalam satu bulan yang sangat kecil yang terjadi pada bulan Juni yakni sebesar  $169 \text{ W/m}^2$  sementara rata – rata radiasi pada pukul 08:55

selama tiga bulan adalah sebesar  $385 \text{ W/m}^2$ . Begitu juga pada jam – jam lain Penurunan rata – rata radiasi juga disebabkan rendahnya nilai radiasi matahari pada bulan Juni.

Penentuan waktu untuk berpindah posisi pada sistem penjejak matahari ini juga dengan membagi grafik pada gambar 4.3 menjadi 5 bagian. Posisi pertama ditentukan dari bagian pertama yaitu dari pukul 04.00 hingga 09.10 dengan jumlah radiasi totalnya adalah sebesar  $10230 \text{ W/m}^2$ . Posisi kedua, ketiga, keempat, dan kelima memiliki jumlah radiasi total masing masing adalah  $10598 \text{ W/m}^2$ ,  $10439 \text{ W/m}^2$ ,  $10314 \text{ W/m}^2$ , dan sebesar  $9977 \text{ W/m}^2$ . Sementara waktu Bergeraknya adalah dari pukul 09.15 hingga 10.40, dari pukul 10.45 hingga 10.45 hingga 11.55, dari pukul 12.00 sampai 13.25, dan yang terakhir posisi kelima dari pukul 13.30 sampai 18.30.

**Tabel 4.3** Waktu pergerakan sistem penjejak matahari (data radiasi rata – rata selama 3 bulan)

Posisi ke-	Jam		Jam pertengahan
	Awal	Akhir	
1	04.00	09.10	08.10
2	09.15	10.40	09.55
3	10.45	11.55	11.20
4	12.00	13.25	12.40
5	13.30	18.30	14.25

Dari data – data tersebut, diketahui apabila tidak terdapat perbedaan yang signifikan terhadap waktu pembagian pergerakan *solar tracker* baik menggunakan variasi omega pertama, kedua ataupun ketiga.

#### 4.2. Penentuan Posisi Optimal Sistem Penjejak Matahari

Posisi optimal dari sistem penjejak matahari ditentukan menggunakan metode optimasi *Genetic Algorithm* seperti yang sudah dibahas pada subbab 3.4. Adapun variabel yang berubah yang digunakan dalam matlab tercantum dalam tabel 4.4.

**Tabel 4. 4** Variabel yang berubah pada Matlab.

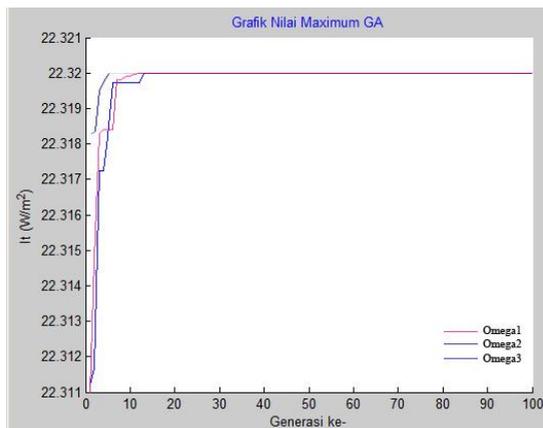
Posisi ke-	Alfa		Beta	
	Ra	rb	ra	rb
1	67,68°	84,20°	51,97°	-15,83°
2	40,39°	66,90°	70,51°	53,11°
3	333,55°	37,44°	73,35°	71,29°
4	296,03°	329,81°	56,65°	72,76°
5	276,04°	295,07°	-15,65°	55,54°

Dengan menggunakan jam pertengahan pada Tabel 4.3 dan dengan jam *solar noon* terlampir pada Lampiran D, maka didapatkan sudut optimal sebagai berikut

#### 4.2.1. Posisi Optimal untuk Data Radiasi Rata – Rata Radiasi

##### a. Posisi Pertama

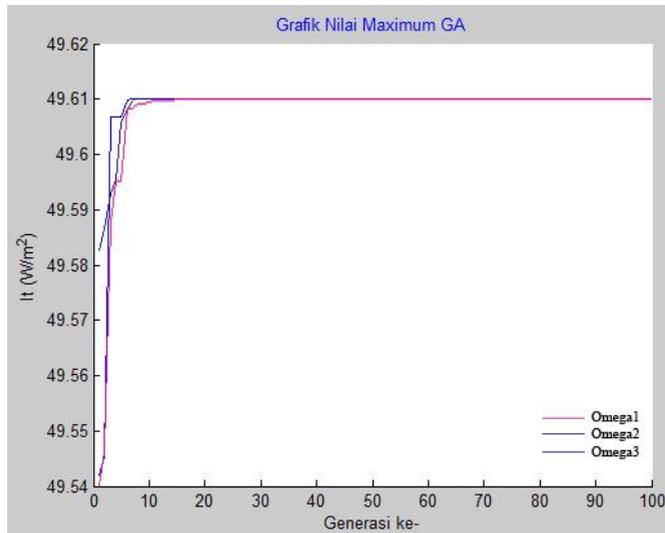
Dengan menggunakan metode GA dan memasukkan 3 variasi nilai omega yaitu sebesar  $-49,25^\circ$ ;  $-46,75^\circ$ ; dan  $-41,75^\circ$  didapatkan hasil sebagai berikut



**Gambar 4. 4** Hasil iterasi GA posisi pertama dengan tiga variasi omega

b. Posisi Kedua

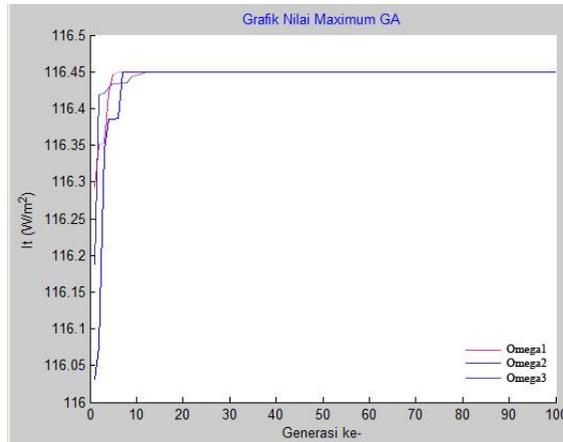
Posisi kedua dari sistem penjejak matahari ini juga ditentukan dengan menggunakan GA yang disimulasikan menggunakan matlab dan dengan 3 variasi nilai omega yakni  $-23^\circ$ ;  $-22^\circ$ ; dan  $-24^\circ$ .



**Gambar 4.5** Hasil iterasi GA posisi kedua dengan tiga variasi omega

c. Posisi Ketiga

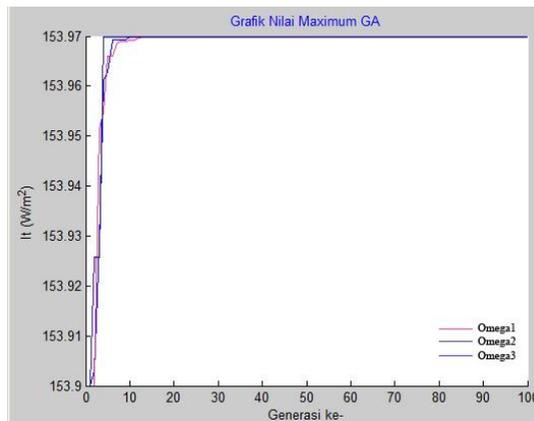
Posisi ketiga terjadi pada pukul 10:45 sampai 11:55 dan nilai tengah yang digunakan adalah 11:20, dengan menggunakan 3 variasi nilai omega yakni masing-masing sebesar  $-1,75^\circ$ ;  $-3^\circ$ ; dan  $-2^\circ$  sehingga, didapatkan hasil iterasi dengan metode optimasi *Genetic Algorithm* sebagai berikut. Omega pertama ditunjukkan dengan garis berwarna merah muda, omega kedua oleh garis warna hitam, dan omega ketiga direpresentasikan oleh garis berwarna biru.



**Gambar 4. 6** Hasil iterasi GA posisi ketiga dengan tiga variasi omega

d. Posisi Keempat

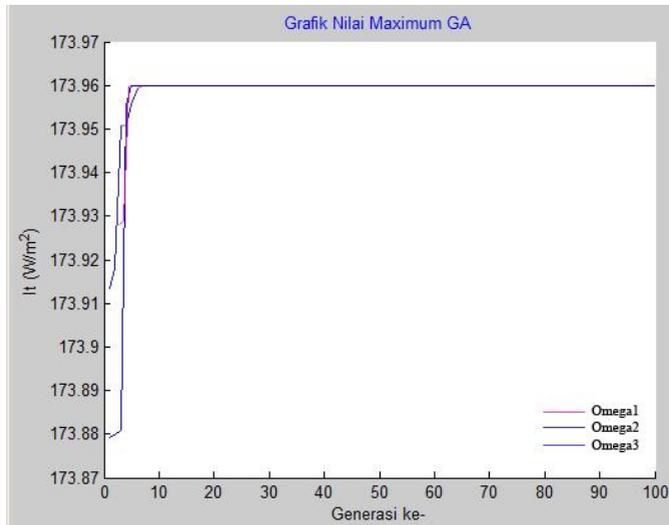
Posisi keempat terjadi pada pukul 12.40 menggunakan 3 variasi nilai omega yaitu  $18,25^\circ$ ;  $-17^\circ$ ; dan  $-18^\circ$ . pada matlab, didapatkan iterasi GA sebagai berikut



**Gambar 4. 7** Hasil iterasi GA posisi keempat dengan tiga variasi omega

e. Posisi Kelima

Dengan nilai omega sebesar  $47^\circ$ ;  $43,25^\circ$ ; dan  $44,5^\circ$  pada pukul 14:25, iterasi GA pada matlab yang dihasilkan untuk posisi kelima adalah sebagai berikut



**Gambar 4.8** Hasil iterasi GA posisi kelima dengan tiga variasi omega

Dari hasil iterasi menggunakan metode *Genetic Algorithm* pada matlab, didapatkan nilai masing-masing  $\alpha$  dan  $\beta$  pada tiap posisi berdasarkan 3 varian omega.

**Tabel 4.5** Posisi sudut optimal untuk tiap posisi dengan variasi omega pertama

Posisi ke-	Solar Noon	Jam Pertengahan	$\omega$	$\alpha$	$\beta$
1	11.27	08.10	$-49,25^\circ$	$67,76^\circ$	$41,57^\circ$
2	11.27	09.55	$-23^\circ$	$40,57^\circ$	$67,48^\circ$
3	11.27	11.20	$-1,75^\circ$	$333,70^\circ$	$72,09^\circ$
4	11.27	12.40	$18,25^\circ$	$296,12^\circ$	$68,75^\circ$
5	11.27	14.35	$47^\circ$	$276,08^\circ$	$15,58^\circ$

**Tabel 4. 6** Posisi sudut optimal untuk tiap posisi dengan variasi omega kedua

Posisi ke-	<i>Solar Noon</i>	Jam Pertengahan	$\omega$	$\alpha$	$\beta$
1	11.27	08.20	-46,75°	67,68°	40,05°
2	11.27	09.55	-22°	40,42°	67,77°
3	11.27	11.15	-3°	333,81°	71,56°
4	11.27	12.35	17°	296,13°	65,87°
5	11.27	14.20	43,25°	276,09°	43°

**Tabel 4. 7** Posisi sudut optimal untuk tiap posisi dengan variasi omega ketiga

Posisi ke-	<i>Solar Noon</i>	Jam Pertengahan	$\omega$	$\alpha$	$\beta$
1	11.27	08.10	-41,75°	67,69°	10,67°
2	11.27	09.55	-24°	40,46°	61,13°
3	11.27	11.20	-2°	333,97°	73,04°
4	11.27	12.40	18°	296,10°	70,20°
5	11.27	14.35	44,5°	276,12°	40,87°

### 4.3. Analisa Efisiensi Sistem Penjejak Matahari 2-Axis 5-Posisi

- a. Pengambilan data yang dilakukan pada tanggal 17 Januari 2018 didapatkan daya keluaran PV dengan posisi tetap menghadap utara seperti pada Tabel 4.8.

Dari data tersebut dapat dilihat bahwa daya tertinggi yang dihasilkan oleh PV berada pada pukul 11:30 yakni sebesar 15,23 Watt sedangkan daya terkecil terjadi pada pukul 16:00 sebesar 1,16 Watt. Sementara untuk tegangan dan arus tertinggi juga terjadi pada pukul 11:30 yaitu 16,92 V dan 0,9 A. Serta untuk tegangan dan arus terkecil terjadi pada pukul 16:00 yaitu 3,5 V dan 0,33 A.

**Tabel 4. 8** *Daya output PV tanpa tracking*

Jam	Fixed		
	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
07:00	6,57	0,41	2,69
07:30	8,01	0,46	3,68
8:00	8,15	0,53	4,32
8:30	9,88	0,62	6,13
9:00	14,06	0,76	10,69
9:30	15,82	0,82	12,97
10:00	16,36	0,86	14,07
10:30	16,80	0,87	14,62
11:00	16,70	0,87	14,51
11:30	16,92	0,90	15,23
12:00	16,15	0,88	14,21
12:30	15,85	0,87	13,79
13:00	16,02	0,87	13,94
13:30	15,79	0,87	13,74
14:00	14,68	0,82	12,04
14:30	8,74	0,61	5,33
15:00	8,35	0,59	4,93
15:30	4,38	0,40	1,75
16:00	3,50	0,33	1,16
16:30	3,01	0,01	0,03
17:00	1,03	1,03	0,00

Data diatas kemudian akan digunakan kembali sebagai pembanding terhadap data yang didapat dari *tracking* untuk ditentukan besar nilai efisiensinya.

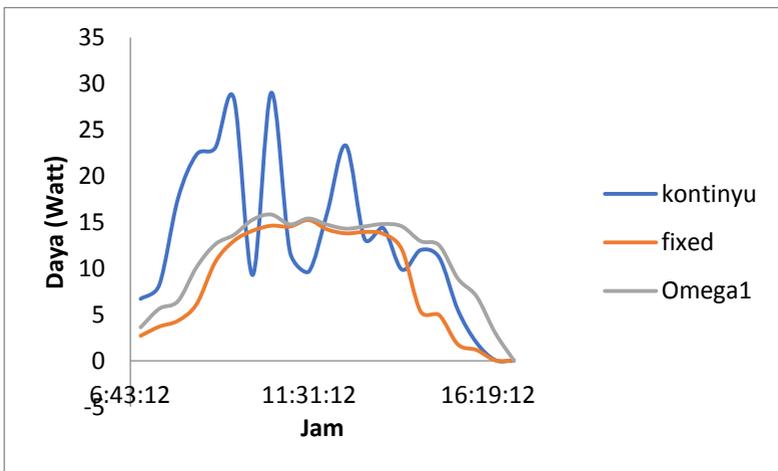
**Tabel 4. 9** Daya *output* PV *Tracking* variasi omega pertama

Jam	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
7:00	8,15	0,45	3,63
7:30	9,88	0,57	5,63
8:00	10,41	0,62	6,46
8:30	13,70	0,74	10,11
9:00	15,75	0,80	12,66
9:30	16,41	0,83	13,56
10:00	17,33	0,88	15,29
10:30	17,77	0,89	15,84
11:00	16,96	0,87	14,79
11:30	17,10	0,90	15,31
12:00	16,36	0,90	14,66
12:30	16,24	0,88	14,28
13:00	16,51	0,88	14,60
13:30	16,62	0,89	14,72
14:00	16,52	0,88	14,56
14:30	15,23	0,85	12,93
15:00	15,04	0,83	12,51
15:30	12,01	0,74	8,88
16:00	10,39	0,67	6,96
16:30	8,39	0,36	3,02
17:00	3,73	0,01	0,03

Tabel 4.9 merupakan data *output* daya PV menggunakan data posisi *tracking* sesuai dengan yang ada pada Gambar 4.1. Dapat dilihat dari data tersebut didapat kesimpulan bahwa daya tertinggi terjadi pada pukul 10:30 yakni sebesar 15,84 Watt dan daya terkecil terjadi pada pukul 08:00 yakni

sebesar 6,46 Watt. Adapun tegangan tertinggi juga terjadi pada pukul 10:30 yakni 17,77 V sedangkan arus tertinggi terjadi pada pukul 11:30 dan 12:00 yaitu 0,9 A. Untuk tegangan dan arus terkecil secara berturut-turut terjadi pada pukul 16:00 yakni 10,38 V dan 08:00 sebesar 0,62 A.

- b. Efisiensi PV *Tracking* dengan variasi omega pertama  
 Besar peningkatan efisiensi dari PV dengan *Tracking* ini dapat diketahui dengan membandingkannya dengan PV yang *fixed*



**Gambar 4.9** Perbandingan daya antara *fixed*, *tracking* diskrit dan *tracking* kontinyu dengan variasi omega pertama

$$\eta = \frac{\text{Energi}_{\text{diskrit}} - \text{Energi}_{\text{fixed}}}{\text{Energi}_{\text{fixed}}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{105.73 - 85.34}{85.34} \times 100\% = 23.89\%$$

Penggunaan *tracking* untuk menjejak matahari terbukti lebih efektif dikarenakan mampu meningkatkan efisiensi PV

sebesar 23,89%. Peningkatan daya terbesar terjadi pada pukul 14:30 yakni sebesar 7,50 Watt atau mengalami peningkatan sebesar 143% jika dibandingkan dengan PV fixed. Sedangkan untuk peningkatan terkecil terjadi pada pukul 11:30 yang hanya sebesar 0,09 Watt atau sebesar 1%.

$$\eta = \frac{Energi_{kontinyu} - Energi_{diskrit}}{Energi_{diskrit}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{124.21 - 105.73}{105.73} \times 100\% = 17.48\%$$

Dengan menggunakan data output PV yang didapat dari tracking secara kontinyu didapatkan efisiensi yang lebih besar dibandingkan tracking secara diskrit yaitu sebesar 17,48%. Peningkatan daya terbesar terjadi pada pukul 09:30 yaitu sebesar 14,74 Watt sedangkan untuk peningkatan terkecil adalah pada pukul 10:00 yang justru malah terjadi penurunan yakni sebesar -5,99 Watt dikarenakan arus yang didapat pada jam tersebut sangat kecil yakni 0,48 A sehingga berpengaruh pada daya yang dihasilkan dimana daya sendiri berbanding lurus dengan tegangan dan arus. Semakin kecil tegangan atau arusnya maka semakin kecil pula daya yang dihasilkan oleh PV tersebut.

c. Efisiensi PV *Tracking* dengan variasi omega kedua

Dengan menggunakan data posisi *tracking* sesuai dengan yang ada pada Gambar 4.2, maka didapatkanlah besar daya output sebagai berikut

Tabel 4.10 menunjukkan output PV menggunakan sistem penjejak matahari dengan variasi omega kedua yang dilakukan dari pukul 07:00 hingga 17:00.

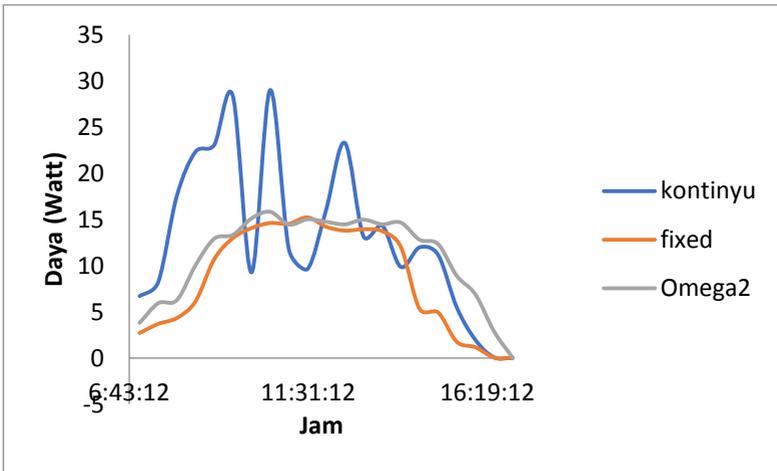
**Tabel 4. 10** Daya *output* PV Tracking diskrit variasi omega kedua

Jam	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
7:00	8,09	0,47	3,80
7:30	10,06	0,59	5,94
8:00	10,45	0,60	6,27
8:30	13,76	0,73	9,98
9:00	15,76	0,82	12,98
9:30	16,46	0,81	13,28
10:00	17,38	0,87	15,17
10:30	17,80	0,89	15,87
11:00	17,01	0,85	14,39
11:30	17,08	0,88	14,98
12:00	16,40	0,90	14,71
12:30	16,27	0,89	14,43
13:00	16,47	0,91	15,00
13:30	16,65	0,87	14,50
14:00	16,49	0,89	14,61
14:30	15,27	0,84	12,85
15:00	15,05	0,82	12,34
15:30	12,03	0,74	8,95
16:00	10,44	0,66	6,92
16:30	8,73	0,33	2,88
17:00	3,01	0,01	0,03

Dari data tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa daya tertinggi yang dihasilkan oleh PV terjadi pada pukul 10:30 yakni sebesar 15,87 Watt dan daya terkecil terjadi pada pukul 08:00 sebesar 6,27 Watt. sedangkan tegangan

terbesar juga sama terjadi pada pukul 10:30 sebesar 17,8 V dan terkecil pada pukul 16:00 sebesar 10,44 V. Untuk arus tertinggi yaitu 0,91 A terjadi pada pukul 13:00 dan terkecil sebesar 0,6 A pada pukul 08:00.

Besar peningkatan efisiensi dari PV dengan *tracking* diskrit ini dapat diketahui dengan membandingkannya dengan PV yang *fixed* dan *tracking* kontinyu.



**Gambar 4.10** Perbandingan daya antara *fixed*, *tracking* diskrit dan *tracking* kontinyu dengan variasi omega kedua

$$\eta = \frac{Energi_{diskrit} - Energi_{fixed}}{Energi_{fixed}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{105.40 - 85.34}{85.34} \times 100\% = 23.5\%$$

Sistem penjejak matahari 2-axis 5-posisi yang menggunakan variasi omega kedua ini terbukti lebih efisien dengan memberi peningkatan efisiensi sebesar 23,5%. Peningkatan

daya terbesar yakni sebesar 7,52 Watt atau 141% yang terjadi pada pukul 14:30 dibandingkan dengan yang tanpa penjejak matahari. Sementara peningkatan terkecil terjadi pada pukul 11:30 yang justru mengalami penurunan daya yang diterima sebesar 0,24 Watt atau sebesar -2%.

$$\eta = \frac{Energi_{kontinyu} - Energi_{diskrit}}{Energi_{diskrit}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{124.21 - 105.40}{105.40} \times 100\% = 17.85\%$$

Peningkatan efisiensi *solar tracker* kontinyu dibandingkan dengan *solar tracker* diskrit sebesar 17,85%. Daya output dari solar tracker kontinyu ternyata terbukti lebih besar dibandingkan dengan daya output solar tracker diskrit. Hal ini disebabkan pada solar tracker kontinyu PV terus menerus melakukan tracking, sehingga PV secara terus menerus terpapar sinar matahari langsung. Adapun peningkatan daya terbesar terjadi pada pukul 09:30 yakni sebesar 15,02 Watt. Sementara penurunan terbesar terjadi pada pukul 10:00 yakni sebesar -5,86 Watt. Penurunan ini disebabkan oleh nilai arus yang didapat pada pukul 10:00 sangat kecil, yakni senilai 0,48 A. Hal ini sesuai dengan hukum fisika dimana daya berbanding lurus terhap tegangan dan arus, semakin kecil arus atau tegangannya maka semakin kecil pula daya yang dihasilkan oleh PV. Selain itu kecilnya arus yang didapatkan diakibatkan

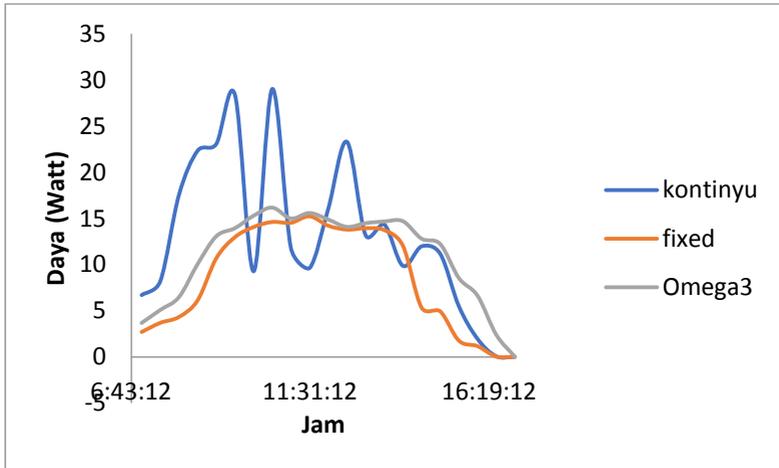
- d. Efisiensi PV *Tracking* dengan variasi omega ketiga  
 Dengan menggunakan data posisi *tracking* sesuai dengan yang ada pada Gambar 4.3 maka didapatkanlah besar daya keluaran sebagai berikut

**Tabel 4. 11** Daya keluaran PV *Tracking* diskrit variasi omega ketiga

Jam	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
7:00	8,38	0,44	3,69
7:30	9,99	0,51	5,09
8:00	10,45	0,62	6,49
8:30	13,77	0,73	10,10
9:00	15,73	0,83	12,98
9:30	16,39	0,85	13,90
10:00	17,36	0,88	15,35
10:30	17,75	0,91	16,06
11:00	17,02	0,88	14,92
11:30	17,11	0,91	15,52
12:00	16,33	0,91	14,88
12:30	16,17	0,87	14,08
13:00	16,44	0,88	14,46
13:30	16,65	0,88	14,71
14:00	16,50	0,89	14,77
14:30	15,23	0,84	12,74
15:00	15,08	0,81	12,27
15:30	12,02	0,71	8,54
16:00	10,36	0,64	6,60
16:30	8,34	0,29	2,42
17:00	3,55	0,01	0,04

Daya tertinggi adalah sama pada pukul 10.30 sebesar 16,06 Watt. Sementara yang terkecil adalah sebesar 6,60 Watt pada pukul 16.00. Besar peningkatan efisiensi dari

PV dengan *Tracking* ini dapat diketahui dengan membandingkannya dengan PV yang *fixed*.



**Gambar 4.11** Perbandingan daya antara *fixed*, *tracking* diskrit dan *tracking* kontinyu dengan variasi omega ketiga

$$\eta = \frac{Energi_{diskrit} - Energi_{fixed}}{Energi_{fixed}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{105,92 - 85,34}{85,34} \times 100\% = 24,11\%$$

Sistem penjejak matahari 2-axis 5-posisi yang menggunakan variasi omega ketiga memiliki peningkatan efisiensi energi sebesar 24,11%. Peningkatan daya tertinggi terjadi pada pukul 14:30 yakni sebesar 7,41 Watt atau sebesar 139%. Sementara peningkatan daya terkecil terjadi pada pukul 11.30 yang hanya mampu meningkatkan daya keluaran PV sebesar 0,30 Watt atau sebesar 2%.

$$\eta = \frac{Energi_{kontinyu} - Energi_{diskrit}}{Energi_{diskrit}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{124.21 - 105.92}{105.92} \times 100\% = 17.27\%$$

Adapun peningkatan efisiensi *solar tracker* kontinyu dibandingkan *solar tracker* diskrit dengan variasi omega ketiga adalah sebesar 17,27%.

Sementara itu, efiseiensi PV dengan sistem *solar tracker* kontinyu dibandingkan dengan PV fixed adalah sebagai berikut.

$$\eta = \frac{Energi_{kontinyu} - Energi_{fixed}}{Energi_{fixed}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{124.21 - 85.34}{85.34} \times 100\% = 45.54\%$$

PV menggunakan sistem *solar tracker* kontinyu terbukti memiliki efisiensi yang lebih besar daripada PV *fixed* yakni sebesar 45,54%.

**Tabel 4. 12** Perbandingan efisiensi energi PV *tracking* diskrit dan PV *tracking* kontinyu terhadap *fixed*

PV		Efisiensi
Diskrit	Omega1	23,89%
	Omega2	23,50%
	Omega3	24,11%
Kontinyu		45,54%

**Tabel 4. 13** Hasil Efisiensi PV *tracking* kontinyu terhadap PV *tracking* diskrit

PV	Efisiensi		
	Omega1	Omega2	Omega3
Kontinyu	17,48%	17,85%	17,27%

Analisa performansi sistem penjejak matahari yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa efisiensi dari sistem penjejak matahari 2-axis 5-posisi ini beragam, dengan menggunakan variasi omega pertama didapatkan peningkatan efisiensi sebesar 23,89% dibandingkan dengan yang tanpa penjejak matahari. Sedangkan ketika menggunakan variasi omega kedua didapatkan peningkatan efisiensi sebesar 23,50%. Untuk variasi omega ketiga didapatkan peningkatan efisiensi sebesar 24,11%. Tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara peningkatan efisiensi dengan menggunakan variasi omega pertama, omega kedua ataupun omega ketiga bulan. Hal ini menunjukkan sistem penjejak matahari tipe ini mampu menerima kesalahan pemasangan yang kecil ( $\pm 3^\circ$ ) karena peningkatan efisiensi yang dihasilkan hanya memiliki perbedaan yang tidak lebih besar dari 0,62%.

Sedangkan untuk performansi sistem penjejak matahari kontinyu dibandingkan sistem penjejak matahari diskrit didapatkan hasil secara berturut-turut adalah 17,48% untuk variasi omega pertama, 17,85% untuk variasi omega kedua, dan 17,27% untuk variasi omega ketiga. Sementara untuk peningkatan efisiensi sistem penjejak matahari kontinyu dibandingkan dengan PV *fixed* adalah sebesar 45,54%. Meskipun secara keseluruhan efisiensi yang didapat lebih besar namun nilai ini masih belum dikurangi dengan total energi yang dikonsumsi oleh motor. Total energi yang dikonsumsi oleh motor untuk sistem penjejak matahari kontinyu sendiri lebih besar jika dibandingkan dengan sistem penjejak matahari diskrit.

Sistem penjejak matahari 1-axis 3-posisi yang diajukan Huang (2007) yang menghasilkan peningkatan efisiensi sebesar 24,5% lebih baik jika dibandingkan dengan sistem matahari 2-axis 5-posisi ini. Besar konsumsi energi dari sistem penjejak matahari untuk motor dan kontrolernya adalah sebesar 5,89% dari total energi yang dihasilkan (Ahmad, Shafie, & Ab Kadir, 2013), sehingga dengan mengurangi peningkatan efisiensi yang dihasilkan dengan 5,89% didapatkan peningkatan efisiensi sebesar 18,22%. Sistem penjejak matahari jenis ini adalah layak

untuk digunakan karena mampu menghasilkan daya yang lebih besar dari yang dikonsumsi.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Setelah melakukan penghitungan posisi optimal dari *solar tracker* 2-axis dan 5-posisi serta kemudian dilakukan pengujian, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- a. Dengan menggunakan rata – rata radiasi, didapatkan posisi optimal dari sistem penjejak matahari untuk interval pukul 04.00-09.10 adalah  $84,15^{\circ};42,12^{\circ}$ , interval pukul 09.15-10.40 adalah  $64,31^{\circ};62,87^{\circ}$ , interval pukul 10.45-11.55 adalah  $322,91^{\circ};72,33^{\circ}$ , interval pukul 12.00-13.25 adalah  $329,70^{\circ};64,67^{\circ}$ , dan  $294,93^{\circ};31,34^{\circ}$  pada interval pukul 13.30-18.30
- b. Peningkatan efisiensi terbesar dialami oleh *solar tracker* dengan menggunakan variasi omega ketiga yaitu sebesar 24,11%. Variasi omega pertama menghasilkan radiasi sebesar 23,89% dan dengan variasi omega kedua meningkatkan efisiensi sebesar 23,50%.

#### **5.2. Saran**

Banyak cara agar *solar tracker* jenis ini dapat memperoleh hasil yang lebih baik, antara lain adalah sebagai berikut:

- a. Menggunakan data radiasi matahari yang diambil pada lokasi tempat pemasangan PV akan dilakukan.
- b. Menggunakan kontrol otomatis untuk menggerakkan PV agar sudut yang digunakan lebih akurat dan presisi.



## DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, I., 2016, September. "Rancang Bangun Sistem Penjejak Matahari Dua Sumbu Pada Photovoltaik Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy Berbasis Particle Swarm Optimization". Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Abu-Khader, M. M., Badran, O. O., & Abdallah, S., 2008. "Evaluating multi-axes sun-tracking system at different modes of operation in Jordan". **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 12(3), 864–873.
- Ahmad, S., Shafie, S., & Ab Kadir, M. Z. A., 2013. "Power Feasibility of a Low Power Consumption Solar Tracker". **Procedia Environmental Sciences**, 17, 494–502.
- Chang, T. P., 2009. "Output energy of a photovoltaic module mounted on a single-axis tracking system". **Applied Energy**. 86(10), 2071–2078.
- Hottel, H. C., 1976. "A simple model for estimating the transmittance of direct solar radiation through clear atmospheres". **Solar Energy**. 18(2), 129–134.
- Huang, B. J., Ding, W. L., & Huang, Y. C., 2011. "Long-term field test of solar PV power generation using one-axis 3-position sun tracker". **Solar Energy**. 85(9), 1935–1944.
- Huang, B. J., & Sun, F. S., 2007. "Feasibility study of one axis three positions tracking solar PV with low concentration ratio reflector". **Energy Conversion and Management**. 48(4), 1273–1280.
- Huang, B.-J., Huang, Y.-C., Chen, G.-Y., Hsu, P.-C., & Li, K., 2013. "Improving Solar PV System Efficiency Using One-Axis 3-Position Sun Tracking". **Energy Procedia**. 33, 280–287.

- Ibrahim, H. M. Y. 2003. **Studi Kelayakan Bisnis**. Jakarta. PT. Rineka Cipata.
- Kacira, M., Simsek, M., Babur, Y., & Demirkol, S., 2004. "Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Sanliurfa, Turkey". **Renewable Energy**. 29(8), 1265–1275.
- Kalogirou, S. A., 1996. "Design and construction of a one-axis sun-tracking system". **Solar Energy**. 57(6), 465–469.
- Kennedy, J., & Eberhart, R., 1995. "Particle swarm optimization", (Vol. 4, pp. 1942–1948). IEEE.
- Koochiaki, A. & Hosseini, H.S. 2014. "Genetic Algorithm in Positioning of Dual Axis Sun Tracking System". **Indian J.Sci.Res.** 2(1) : 101-106
- Liu, B. Y. H., & Jordan, R. C., 1960. "The Interrelationship and Characteristic Distribution of Direct, Diffuse and Total Solar Radiation". **Solar Energy**, 4(3), 1–19.
- Liu, B. Y. H., & Jordan, R. C., 1963. "The long-term average performance of flat-plate solar-energy collectors". **Solar Energy**. 7(2), 53–74.
- Lynch, W. A., 1990. "Simple electro-optically controlled dual-axis sun tracker". **Solar Energy (USA)**. University of L., & Salameh, Z. M.
- Overton, R., 2004. **Feasibility Studies Made Simple**. Boat Harbour, NSW: Martin Books.
- Parida, B., Iniyar, S., & Goic, R., 2011. "A review of solar photovoltaic technologies". **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 15(3), 1625–1636.
- Saputra, W., 2008. **Rancang Bangun Solar Tracking System Untuk Mengoptimalkan Penyerapan Energi Matahari Pada Solar Cell**. Universitas Indonesia.
- Seme, S., Štumberger, G., & Voršič, J., 2011. "Maximum Efficiency Trajectories of a Two-Axis Sun Tracking

System Determined Considering Tracking System Consumption". **IEEE Transactions on Power Electronics**. 26(4), 1280–1290.

S, Sebastijan, Štumberger, G., & Voršič, J., 2011. "The optimal tracking strategies for two-axis PV system". **IEEE Transactions on Power Electronics**. 87(3), 170–174.

Zweibel, K., & Hersch, P., 1984. **Basic photovoltaic Principles and methods**. New York: Van Nostrand Reinhold.



## LAMPIRAN A

### FUNGSI RADIASI PADA MATLAB

```
function [al,b] = Obj_radiasi(x)
al=x(1);
b=x(2);
%Variabel - variabel Konstan
rho = 0.2;
A = 1;
ro = 0.95;
ri = 0.98;
rk = 1.02;
n = 152;
t = 1;
lat = -7.12;
omega = 47;
gamma = 0;

%Persamaan
ion = (1353*(1+(0.033*cosd(360*n/365))))*t;
%Persamaan
aob = 0.4237 - (0.00821 * (6-A)^2);
aib = 0.5055 + (0.00595 * (6.5 - A)^2);
kb = 0.2711 + 0.01858 * (0.01858*(2.5-A)^2);
k = rk * kb;
ai = ri * aib;
ao = aob * ro;
%Persamaan
delta = 23.45 * (sind(360*(284+n)/365));
%Persamaan
lambda = acosd (cosd(a)*cosd(b));
%Persamaan
teta = acosd ((sind(a)*cosd(b)*sind(lat)*...
    cosd(gamma)*cosd(delta)*cosd(omega)) - ...
    (sind(a)*cosd(b)*cosd(gamma)*cosd(lat)*...
    sind(delta))-(sind(b)*sind(gamma)*...
    sind(lat)*cosd(delta)*cosd(omega)) + ...
    (sind(b)*sind(gamma)*cosd(lat)*...
    sind(delta))+sind(a)*cosd(b)*sin(gamma)*...
    cosd(delta)*sind(omega))+sind(b)*...
```

```

    cosd(gamma)*cosd(delta)*sind(omega))+...
    (cosd(a)*cosd(b)*sind(lat)*sind(delta))+...
    (cosd(a)*cosd(b)*cosd(lat)*cosd(delta)*...
    sind(omega)));
%Persamaan
tetaz = acosd((cosd(lat)*cosd(delta)*...
    cosd(omega))+(sind(lat)*sind(delta)));
%Persamaan
tb = ao + ai*exp(-k/cosd(tetaz));
%Persamaan
td = 0.2710 - (0.2939*tb);
%Persamaan
icb = ion*tb*cosd(tetaz);
%Persamaan
icd = ion * td * cosd(tetaz);
%Persamaan
ic = icb + icd;
%Persamaan
rb = cosd(teta)/cosd(tetaz);
%Persamaan
it = icb*rb + icd*((1+cosd(lambda))/2)+...
    ic*rho*((1-cosd(lambda))/2);
end

```

## LAMPIRAN B

### PROGRAM GENETIC ALGORITHM PADA MATLAB

```
clear all
close all
%Pembangkitan Populasi dan Parameter
Npop      = 200;                %populasi
Maxit     = 100;               %generasi
el        = 0.90;              %elatism
Pc        = 0.8;
%probabilitas crossover
Pm        = 0.01;
%probabilitas mutasi
Nvar      = 2;                  %jumlah
variabel desain yang dioptimasi
Nbit      = 20;                 %jumlah bit
%Constrain

rb        = [154.93 55.54];     %batas bawah
cari constraint
ra        = [173.96 -15.65];   %batas atas
cari constraint

eBangkit  = [];
Individu  = [];
eIndividu = [];
david     = [];
Dadatfit  = [];
Datfit    = [];
summary   = [];
eDadatfit = [];
efitnessmax = [];
eIndividuMax = [];

Bangkit = round(rand(Npop,Nbit*Nvar));
popsize = size(Bangkit,1);

for i = 1:Nvar
    batas(i) = ra(i)-rb(i);
end
```

```

for i =1:Npop
    for j = 1:Nvar
        Desimal(i,j) =
bi2de(Bangkit(i, ((j*Nbit)-(Nbit-
1)):(j*Nbit)), 'left-msb');
        Individu(i,j) =
(Desimal(i,j)*batas(:,j)-
batas(:,j)+rb(:,j)*(2^Nbit-1))/(2^Nbit-1);
    end
end

Datfit = [];
variabel = [];
for i = 1:size(Individu,1)
    fitness = Obj_radiasi(Individu(i,:));
    Datfit = [Datfit;fitness];
    [fitemax,nmax]=max(Datfit);
end

Dadatfit = [];
for generasi=1:Maxit
    disp('GA processing')
    clear command windows
    clear command history
    clear memory

    if generasi > 1
        sort_fit = sortrows(sort,Nbit*Nvar+1);
        Individu1 = sort_fit(round((1-
el)*Npop+1):Npop,:);
        remain =
sort_fit(round(el*Npop)+1:Npop,:);

        X = Individu1;
        M = size(X,1);

        sumfitness = sum(Datfit);
        for i=1:M
            Prob(i) = Datfit(i)/sumfitness;
        end
    end
end

```

```

for i=2:M
    Prob(i) = Prob(i)+Prob(i-1);
end
for i=1:M
    n=rand;
    k=1;
    for j=1:M-1
        if (n>Prob(j))
            k=j+1;
        end
    end
    Xparents(i,:) = X(k,:);
end

%Crossover
[M,d] = size(Xparents);
Xcrossed = Xparents;
for i=1:2:M-1
    c=rand;
    if (c<=Pc)
        p=ceil((d-1)*rand);
        Xcrossed(i,:) = [Xparents(i,1:p)
Xparents(i+1,p+1:d)];
        Xcrossed(i+1,:) =
[Xparents(i+1,1:p) Xparents(i,p+1:d)];
    end
end
if (M/2~=floor(M/2))
    c=rand;
    if (c<=Pc)
        p=ceil((d-1)*rand);
        str=ceil((M-1)*rand);
        Xcrossed(M,:) = [Xparents(M,1:p)
Xparents(str,p+1:d)]; %the first child is chosen
    end
end

%Mutasi
[M,d] = size(Xcrossed);
Xnew=Xcrossed;

```

```

    for i=1:M
        for j=1:d
            p=rand;
            if (p<=Pm)
                Xnew(i,j)=1-Xcrossed(i,j);
            end
        end
    end

    disp('New fitness calculation');

    Bangkit =
[Xnew(:,1:Nbit*Nvar);remain(:,1:Nbit*Nvar)];
    end
    eBangkit = [eBangkit; Bangkit];

    for i =1:Npop
        for j = 1:Nvar;
            Desimal(i,j) =
bi2de(Bangkit(i,((j*Nbit)-(Nbit-
1)):j*Nbit)), 'left-msb');
            Individu(i,j) =
(Desimal(i,j)*batas(:,j)-
batas(:,j)+rb(:,j)*(2^Nbit-1))/(2^Nbit-1);
        end
    end

    Datfit = [];
    for i = 1:Npop
        fitness = Obj_radiasi(Individu(i,:));
        Datfit = [Datfit;fitness];
        [fitemax,nmax] = max(Datfit);
    end

    Dadatfit = Datfit;
    eDadatfit = [eDadatfit;Dadatfit];
    eIndividu = [eIndividu;Individu];
    [fitnessmax,nmax] = max(eDadatfit);
    efitnessmax = [efitnessmax;fitnessmax];
    BangkitMax = eBangkit(nmax,:);

```

```
IndividuMax = eIndividu(nmax,:);
eIndividuMax = [eIndividuMax;IndividuMax];
BangkitMaxlast = BangkitMax;
schedmax = BangkitMax;
sort = [Bangkit Dadatfit];
summary = [summary; sort];
david = [david; Dadatfit];

clc
min_variable_design=eIndividuMax(1,:)
min_objective_function=fitness(1,:)
figure(gcf)
title('Grafik Nilai Maximum GA','color','b')
xlabel('Generasi ke-')
ylabel('It (W/m^2)')
hold on
plot(efitnessmax, 'DisplayName', 'efitnessmax',
'YDataSource', 'efitnessmax');
hold on
end
```



**LAMPIRAN C**  
**RATA-RATA RADIASI MATAHARI**

**C1. Rata-Rata Radiasi Matahari Selama Satu Tahun**

<b>Jam</b>	<b>Rata Rata</b>
4:00:00	0,0000
4:05:00	0,0000
4:10:00	0,0014
4:15:00	0,0034
4:20:00	0,0074
4:25:00	0,0189
4:30:00	0,0397
4:35:00	0,0851
4:40:00	0,1775
4:45:00	0,3159
4:50:00	0,4505
4:55:00	0,6454
5:00:00	0,8445
5:05:00	1,1014
5:10:00	1,6047
5:15:00	2,3794
5:20:00	3,4428
5:25:00	4,7447
5:30:00	9,1677
5:35:00	11,6909
5:40:00	14,8896
5:45:00	18,4801

<b>Jam</b>	<b>Rata Rata</b>
5:50:00	22,6635
5:55:00	27,8543
6:00:00	34,1580
6:05:00	41,7515
6:10:00	48,8182
6:15:00	57,1680
6:20:00	65,1709
6:25:00	74,6398
6:30:00	84,1569
6:35:00	95,1578
6:40:00	105,9056
6:45:00	117,1142
6:50:00	131,2278
6:55:00	142,3415
7:00:00	158,5723
7:05:00	174,3380
7:10:00	198,7547
7:15:00	216,3428
7:20:00	233,9419
7:25:00	251,5710
7:30:00	270,0762
7:35:00	290,2388

<b>Jam</b>	<b>Rata Rata</b>
7:40:00	303,8739
7:45:00	319,5768
7:50:00	336,3500
7:55:00	352,1658
8:00:00	364,9541
8:05:00	380,2228
8:10:00	393,5524
8:15:00	413,4161
8:20:00	426,9948
8:25:00	444,1008
8:30:00	457,9921
8:35:00	474,0612
8:40:00	476,8263
8:45:00	475,3049
8:50:00	477,9556
8:55:00	487,0647
9:00:00	487,4659
9:05:00	514,6941
9:10:00	537,7372
9:15:00	552,1098
9:20:00	559,4578
9:25:00	568,9904
9:30:00	577,2753
9:35:00	594,4310
9:40:00	605,3514
9:45:00	600,3084

<b>Jam</b>	<b>Rata Rata</b>
9:50:00	615,1050
9:55:00	613,7774
10:00:00	612,9036
10:05:00	611,6382
10:10:00	608,3196
10:15:00	635,5336
10:20:00	646,0231
10:25:00	658,2067
10:30:00	654,2299
10:35:00	678,0533
10:40:00	700,2975
10:45:00	709,3521
10:50:00	718,8587
10:55:00	731,5627
11:00:00	731,9194
11:05:00	731,8975
11:10:00	737,3704
11:15:00	738,5073
11:20:00	743,3390
11:25:00	738,4687
11:30:00	739,5604
11:35:00	735,2476
11:40:00	735,4709
11:45:00	728,6615
11:50:00	721,8003
11:55:00	713,8709

<b>Jam</b>	<b>Rata Rata</b>
12:00:00	706,9552
12:05:00	692,9410
12:10:00	685,3824
12:15:00	681,1039
12:20:00	678,0283
12:25:00	675,8973
12:30:00	668,3851
12:35:00	654,3160
12:40:00	647,6275
12:45:00	634,8150
12:50:00	622,6381
12:55:00	609,9443
1:00:00	601,5491
1:05:00	590,9420
1:10:00	582,0561
1:15:00	569,1361
1:20:00	559,9858
1:25:00	554,2031
1:30:00	542,8223
1:35:00	529,1572
1:40:00	513,9722
1:45:00	502,7300
1:50:00	489,6776
1:55:00	476,9987
2:00:00	464,9919
2:05:00	458,4612

<b>Jam</b>	<b>Rata Rata</b>
2:10:00	440,9928
2:15:00	427,1723
2:20:00	412,8356
2:25:00	400,9465
2:30:00	384,3655
2:35:00	373,2168
2:40:00	364,3982
2:45:00	354,1557
2:50:00	339,7180
2:55:00	322,2402
3:00:00	307,7671
3:05:00	295,3719
3:10:00	279,9542
3:15:00	267,1637
3:20:00	255,2986
3:25:00	239,9491
3:30:00	223,7561
3:35:00	202,6714
3:40:00	167,0442
3:45:00	142,4361
3:50:00	115,0858
3:55:00	96,8738
4:00:00	86,9040
4:05:00	77,9325
4:10:00	71,7688
4:15:00	66,9726

Jam	Rata Rata
4:20:00	61,3375
4:25:00	55,8755
4:30:00	50,8847
4:35:00	46,0749
4:40:00	41,4334
4:45:00	36,8621
4:50:00	33,0688
4:55:00	28,1333
5:00:00	23,7660
5:05:00	19,4125
5:10:00	15,2467
5:15:00	11,3717
5:20:00	8,0880
5:25:00	5,4539

Jam	Rata Rata
5:30:00	3,4674
5:35:00	2,1036
5:40:00	1,2161
5:45:00	0,7263
5:50:00	0,4454
5:55:00	0,2238
6:00:00	0,1629
6:05:00	0,1318
6:10:00	0,0000
6:15:00	0,0000
6:20:00	0,0000
6:25:00	0,0000
6:30:00	0,0000

## C2. Rata-Rata Radiasi Matahari Selama 6 Bulan (Januari – Juni)

Jam	Rata-rata
4:05:00	0,00
4:10:00	0,00
4:15:00	0,00
4:20:00	0,00
4:25:00	0,00
4:30:00	0,00
4:35:00	0,00
4:40:00	0,00
4:45:00	0,00

Jam	Rata-rata
4:50:00	0,00
4:55:00	0,00
5:00:00	0,00
5:05:00	0,00
5:10:00	0,01
5:15:00	0,07
5:20:00	0,17
5:25:00	0,43
5:30:00	1,22

<b>Jam</b>	<b>Rata-rata</b>
5:35:00	2,78
5:40:00	5,35
5:45:00	8,97
5:50:00	13,43
5:55:00	18,68
6:00:00	24,53
6:05:00	32,32
6:10:00	40,07
6:15:00	47,24
6:20:00	55,50
6:25:00	65,39
6:30:00	73,41
6:35:00	80,73
6:40:00	87,84
6:45:00	96,12
6:50:00	105,64
6:55:00	116,20
7:00:00	134,54
7:05:00	152,04
7:10:00	186,26
7:15:00	209,00
7:20:00	230,13
7:25:00	247,03
7:30:00	262,91
7:35:00	277,07
7:40:00	288,37

<b>Jam</b>	<b>Rata-rata</b>
7:45:00	308,81
7:50:00	326,29
7:55:00	341,48
8:00:00	349,29
8:05:00	362,02
8:10:00	380,23
8:15:00	400,25
8:20:00	418,44
8:25:00	433,82
8:30:00	456,44
8:35:00	468,93
8:40:00	467,11
8:45:00	452,96
8:50:00	441,19
8:55:00	441,60
9:00:00	452,12
9:05:00	503,11
9:10:00	534,78
9:15:00	550,64
9:20:00	561,25
9:25:00	569,91
9:30:00	566,27
9:35:00	575,66
9:40:00	591,36
9:45:00	597,67
9:50:00	599,28

<b>Jam</b>	<b>Rata-rata</b>
9:55:00	604,04
10:00:00	600,09
10:05:00	590,90
10:10:00	593,59
10:15:00	611,16
10:20:00	643,97
10:25:00	646,06
10:30:00	642,35
10:35:00	678,23
10:40:00	698,82
10:45:00	706,36
10:50:00	696,45
10:55:00	700,19
11:00:00	696,35
11:05:00	704,96
11:10:00	701,63
11:15:00	699,02
11:20:00	702,77
11:25:00	702,07
11:30:00	705,22
11:35:00	705,42
11:40:00	703,48
11:45:00	696,60
11:50:00	691,25
11:55:00	682,08
12:00:00	685,60

<b>Jam</b>	<b>Rata-rata</b>
12:05:00	662,53
12:10:00	657,97
12:15:00	653,06
12:20:00	644,06
12:25:00	638,17
12:30:00	634,55
12:35:00	628,53
12:40:00	629,40
12:45:00	609,63
12:50:00	591,94
12:55:00	572,25
1:00:00	577,10
1:05:00	565,77
1:10:00	563,90
1:15:00	546,11
1:20:00	541,00
1:25:00	533,01
1:30:00	528,64
1:35:00	513,66
1:40:00	491,44
1:45:00	472,78
1:50:00	460,74
1:55:00	447,51
2:00:00	433,67
2:05:00	423,09
2:10:00	409,10

<b>Jam</b>	<b>Rata-rata</b>
2:15:00	398,45
2:20:00	393,79
2:25:00	374,77
2:30:00	362,99
2:35:00	345,43
2:40:00	333,61
2:45:00	316,74
2:50:00	300,23
2:55:00	284,16
3:00:00	275,75
3:05:00	264,29
3:10:00	251,88
3:15:00	245,22
3:20:00	238,41
3:25:00	223,61
3:30:00	208,06
3:35:00	193,96
3:40:00	172,25
3:45:00	159,99
3:50:00	138,87
3:55:00	123,85
4:00:00	105,55
4:05:00	91,46
4:10:00	84,58
4:15:00	78,87
4:20:00	71,44

<b>Jam</b>	<b>Rata-rata</b>
4:25:00	65,17
4:30:00	58,90
4:35:00	53,19
4:40:00	48,05
4:45:00	42,73
4:50:00	37,92
4:55:00	33,20
5:00:00	28,40
5:05:00	23,70
5:10:00	18,75
5:15:00	14,27
5:20:00	10,58
5:25:00	7,71
5:30:00	5,29
5:35:00	3,33
5:40:00	2,05
5:45:00	1,17
5:50:00	0,62
5:55:00	0,22
6:00:00	0,03
6:05:00	0,01
6:10:00	0,00
6:15:00	0,00
6:20:00	0,00
6:25:00	0,00
6:30:00	0,00

**C3. Rata – Rata Radiasi Matahari Selama 3 Bulan**  
(April - Juni)

<b>Jam</b>	<b>Rata-rata</b>
4:00:00	0,00
4:05:00	0,00
4:10:00	0,00
4:15:00	0,00
4:20:00	0,00
4:25:00	0,00
4:30:00	0,00
4:35:00	0,00
4:40:00	0,00
4:45:00	0,00
4:50:00	0,00
4:55:00	0,00
5:00:00	0,00
5:05:00	0,00
5:10:00	0,00
5:15:00	0,00
5:20:00	0,01
5:25:00	0,25
5:30:00	0,93
5:35:00	2,25
5:40:00	4,56
5:45:00	8,05
5:50:00	12,19
5:55:00	17,34

<b>Jam</b>	<b>Rata-rata</b>
6:00:00	23,66
6:05:00	31,69
6:10:00	38,05
6:15:00	44,76
6:20:00	53,36
6:25:00	64,08
6:30:00	72,50
6:35:00	77,18
6:40:00	83,16
6:45:00	87,34
6:50:00	88,53
6:55:00	94,28
7:00:00	111,68
7:05:00	126,61
7:10:00	180,16
7:15:00	212,62
7:20:00	239,41
7:25:00	255,97
7:30:00	272,60
7:35:00	284,36
7:40:00	300,74
7:45:00	324,43
7:50:00	343,48
7:55:00	359,86

<b>Jam</b>	<b>Rata-rata</b>
8:00:00	359,75
8:05:00	373,88
8:10:00	391,72
8:15:00	413,58
8:20:00	432,68
8:25:00	449,61
8:30:00	480,62
8:35:00	492,61
8:40:00	456,46
8:45:00	415,62
8:50:00	394,97
8:55:00	384,96
9:00:00	386,42
9:05:00	464,31
9:10:00	516,71
9:15:00	534,89
9:20:00	541,73
9:25:00	543,51
9:30:00	537,69
9:35:00	547,95
9:40:00	572,47
9:45:00	586,01
9:50:00	587,69
9:55:00	582,70
10:00:00	591,62
10:05:00	588,07

<b>Jam</b>	<b>Rata-rata</b>
10:10:00	596,43
10:15:00	589,11
10:20:00	605,34
10:25:00	627,75
10:30:00	609,88
10:35:00	649,04
10:40:00	706,19
10:45:00	719,48
10:50:00	695,13
10:55:00	687,93
11:00:00	696,24
11:05:00	707,32
11:10:00	707,48
11:15:00	703,36
11:20:00	710,50
11:25:00	703,54
11:30:00	695,75
11:35:00	698,09
11:40:00	700,40
11:45:00	691,73
11:50:00	663,74
11:55:00	658,39
12:00:00	650,85
12:05:00	623,07
12:10:00	625,28
12:15:00	620,04

<b>Jam</b>	<b>Rata-rata</b>
12:20:00	617,37
12:25:00	609,60
12:30:00	599,35
12:35:00	588,59
12:40:00	596,05
12:45:00	577,39
12:50:00	565,87
12:55:00	539,88
1:00:00	542,79
1:05:00	524,88
1:10:00	523,30
1:15:00	511,82
1:20:00	499,47
1:25:00	498,68
1:30:00	498,30
1:35:00	486,10
1:40:00	464,78
1:45:00	438,13
1:50:00	430,13
1:55:00	436,01
2:00:00	420,66
2:05:00	402,58
2:10:00	390,86
2:15:00	382,79
2:20:00	379,74
2:25:00	359,74

<b>Jam</b>	<b>Rata-rata</b>
2:30:00	350,23
2:35:00	329,04
2:40:00	322,88
2:45:00	312,03
2:50:00	290,67
2:55:00	276,89
3:00:00	271,50
3:05:00	258,54
3:10:00	251,18
3:15:00	242,69
3:20:00	232,94
3:25:00	217,60
3:30:00	191,44
3:35:00	175,21
3:40:00	148,23
3:45:00	129,77
3:50:00	101,55
3:55:00	87,18
4:00:00	81,48
4:05:00	74,40
4:10:00	69,57
4:15:00	66,07
4:20:00	61,29
4:25:00	56,18
4:30:00	51,31
4:35:00	45,21

<b>Jam</b>	<b>Rata-rata</b>
4:40:00	39,78
4:45:00	34,94
4:50:00	30,30
4:55:00	26,10
5:00:00	21,14
5:05:00	16,29
5:10:00	11,27
5:15:00	7,01
5:20:00	3,72
5:25:00	1,80
5:30:00	0,64
5:35:00	0,05
5:40:00	0,00
5:45:00	0,00
5:50:00	0,00
5:55:00	0,00
6:00:00	0,00
6:05:00	0,00
6:10:00	0,00



**LAMPIRAN D**  
**JADWAL SOLAR NOON KOTA SURABAYA**

	<b>Jan</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Apr</b>
<b>1</b>	11:32:22	11:42:22	11:41:03	11:32:34
<b>2</b>	11:32:50	11:42:29	11:40:51	11:32:17
<b>3</b>	11:33:18	11:42:36	11:40:38	11:31:59
<b>4</b>	11:33:45	11:42:42	11:40:25	11:31:42
<b>5</b>	11:34:12	11:42:47	11:40:12	11:31:25
<b>6</b>	11:34:38	11:42:51	11:39:55	11:31:08
<b>7</b>	11:35:04	11:42:55	11:39:43	11:30:51
<b>8</b>	11:35:29	11:42:57	11:39:28	11:30:35
<b>9</b>	11:35:54	11:42:59	11:39:13	11:30:18
<b>10</b>	11:36:19	11:43:00	11:38:58	11:30:03
<b>11</b>	11:36:43	11:43:01	11:38:42	11:29:47
<b>12</b>	11:37:06	11:43:00	11:38:26	11:29:32
<b>13</b>	11:37:28	11:42:59	11:38:10	11:29:17
<b>14</b>	11:37:50	11:42:57	11:37:53	11:29:02
<b>15</b>	11:38:12	11:42:54	11:37:36	11:28:48
<b>16</b>	11:38:33	11:42:51	11:37:19	11:28:34
<b>17</b>	11:38:53	11:42:46	11:37:02	11:28:20
<b>18</b>	11:39:12	11:42:42	11:36:45	11:28:07
<b>19</b>	11:39:30	11:42:36	11:36:27	11:27:54
<b>20</b>	11:39:48	11:42:30	11:36:10	11:27:44
<b>21</b>	11:40:05	11:42:23	11:35:52	11:27:29
<b>22</b>	11:40:22	11:42:15	11:35:34	11:27:18
<b>23</b>	11:40:37	11:42:07	11:35:16	11:27:07
<b>24</b>	11:40:52	11:41:58	11:34:58	11:26:56

	<b>Jan</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Apr</b>
<b>25</b>	11:41:06	11:41:49	11:34:40	11:26:46
<b>26</b>	11:41:20	11:41:39	11:34:22	11:26:36
<b>27</b>	11:41:32	11:41:29	11:34:04	11:26:27
<b>28</b>	11:41:44	11:41:18	11:33:46	11:26:18
<b>29</b>	11:41:54	11:41:10	11:33:29	11:26:10
<b>30</b>	11:42:04		11:33:10	11:26:03
<b>31</b>	11:42:13		11:32:52	

	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Aug</b>
<b>1</b>	11:25:56	11:26:47	11:32:51	11:35:13
<b>2</b>	11:25:49	11:26:57	11:33:02	11:35:09
<b>3</b>	11:25:43	11:27:07	11:33:13	11:35:04
<b>4</b>	11:25:38	11:27:18	11:33:24	11:34:58
<b>5</b>	11:25:33	11:27:28	11:33:35	11:34:52
<b>6</b>	11:25:28	11:27:39	11:33:45	11:34:45
<b>7</b>	11:25:24	11:27:51	11:33:54	11:34:38
<b>8</b>	11:25:21	11:28:02	11:34:03	11:34:30
<b>9</b>	11:25:19	11:28:14	11:34:12	11:34:22
<b>10</b>	11:25:17	11:28:26	11:34:21	11:34:13
<b>11</b>	11:25:15	11:28:38	11:34:29	11:34:03
<b>12</b>	11:25:14	11:28:50	11:34:36	11:33:53
<b>13</b>	11:25:14	11:29:03	11:34:43	11:33:42
<b>14</b>	11:25:14	11:29:16	11:34:50	11:33:31
<b>15</b>	11:25:15	11:29:29	11:34:56	11:33:19
<b>16</b>	11:25:16	11:29:42	11:35:01	11:33:06
<b>17</b>	11:25:18	11:29:55	11:35:07	11:32:53

	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Aug</b>
<b>18</b>	11:25:20	11:30:08	11:35:11	11:32:40
<b>19</b>	11:25:23	11:30:21	11:35:15	11:32:26
<b>20</b>	11:25:27	11:30:34	11:35:18	11:32:12
<b>21</b>	11:25:31	11:30:47	11:35:21	11:31:57
<b>22</b>	11:25:35	11:31:00	11:35:23	11:31:47
<b>23</b>	11:25:41	11:31:13	11:35:25	11:31:26
<b>24</b>	11:25:46	11:31:26	11:35:26	11:31:10
<b>25</b>	11:25:52	11:31:38	11:35:27	11:30:53
<b>26</b>	11:25:59	11:31:51	11:35:27	11:30:36
<b>27</b>	11:26:06	11:32:03	11:35:26	11:30:19
<b>28</b>	11:26:13	11:32:16	11:35:25	11:30:01
<b>29</b>	11:26:21	11:32:28	11:35:23	11:29:43
<b>30</b>	11:26:30	11:32:40	11:35:20	11:29:25
<b>31</b>	11:26:39		11:35:17	11:29:06

	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dec</b>
<b>1</b>	11:28:53	11:18:25	11:12:21	11:17:56
<b>2</b>	11:28:28	11:18:06	11:12:20	11:18:19
<b>3</b>	11:28:08	11:17:47	11:12:20	11:18:43
<b>4</b>	11:27:48	11:17:28	11:12:20	11:19:07
<b>5</b>	11:27:28	11:17:10	11:12:22	11:19:32
<b>6</b>	11:27:08	11:16:52	11:12:24	11:19:57
<b>7</b>	11:26:47	11:16:34	11:12:28	11:20:23
<b>8</b>	11:26:27	11:16:17	11:12:32	11:20:49
<b>9</b>	11:26:06	11:16:01	11:12:37	11:21:16
<b>10</b>	11:25:45	11:15:45	11:12:43	11:21:43

	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dec</b>
<b>11</b>	11:25:24	11:15:29	11:12:49	11:22:11
<b>12</b>	11:25:03	11:15:14	11:12:57	11:22:38
<b>13</b>	11:24:41	11:14:59	11:13:05	11:23:07
<b>14</b>	11:24:20	11:14:45	11:13:15	11:23:35
<b>15</b>	11:23:59	11:14:31	11:13:25	11:24:04
<b>16</b>	11:23:37	11:14:18	11:13:36	11:24:33
<b>17</b>	11:23:16	11:14:06	11:13:48	11:25:02
<b>18</b>	11:22:54	11:13:54	11:14:00	11:25:32
<b>19</b>	11:22:33	11:13:43	11:14:14	11:26:01
<b>20</b>	11:22:11	11:13:32	11:14:28	11:26:31
<b>21</b>	11:21:50	11:13:22	11:14:43	11:27:00
<b>22</b>	11:21:29	11:13:13	11:14:59	11:27:30
<b>23</b>	11:21:08	11:13:04	11:15:16	11:28:00
<b>24</b>	11:20:47	11:12:56	11:15:33	11:28:29
<b>25</b>	11:20:26	11:12:49	11:15:52	11:28:59
<b>26</b>	11:20:05	11:12:43	11:16:11	11:29:29
<b>27</b>	11:19:45	11:12:37	11:16:30	11:29:58
<b>28</b>	11:19:24	11:12:32	11:16:51	11:30:27
<b>29</b>	11:19:04	11:12:28	11:17:12	11:30:56
<b>30</b>	11:18:44	11:12:25	11:17:34	11:31:25
<b>31</b>		11:12:22		11:31:54

## BIODATA PENULIS



Penulis lahir di kampung Durian pada tanggal 29 Juli 1995 dari orang tua bernama Mislan dan Maidawati. Penulis merupakan anak kedua dari empat bersaudara. Saat ini penulis bertempat tinggal di Dusun II RT 005 RW 002 Desa Sukorahayu Labuhan Maringgai. Pada tahun 2007, penulis menyelesaikan pendidikan di SDN Sukorahayu dan melanjutkan pendidikan di SMPN 2 Labuhan Maringgai hingga lulus pada tahun 2010. Pada tahun 2013, penulis menyelesaikan pendidikan di SMAN 1 Way Jepara. Setelah lulus dari SMA tersebut, penulis melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS dan pada bulan Juli 2017, penulis menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “DESAIN SISTEM PENJEJAK MATAHARI 2-AXIS 5-POSISI DENGAN MENGGUNAKAN *GENETIC ALGORITHM*”. Bagi pembaca yang ingin menyampaikan kritik, saran, atau ingin berdiskusi dengan penulis dapat menghubungi melalui email pada [bayu.als29@gmail.com](mailto:bayu.als29@gmail.com)