



**TUGAS AKHIR - TF 141581**

**PERANCANGAN KONTROL CHARGING  
BATTERY MENGGUNAKAN ADAPTIVE NEURO-  
FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS) PADA PV  
BERBASIS SOLAR TRACKER SATU POROS**

**TIARA OKTAVIA HARDIANA  
NRP.02311645000001**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Imam Abadi, ST. MT.**

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



**FINAL PROJECT - TF141581**

***DESIGN OF CHARGING BATTERY CONTROL  
USING ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE  
SYSTEM (ANFIS) ON PV BASED ON SOLAR  
TRACKER SINGLE AXIS***

TIARA OKTAVIA HARDIANA  
NRP.0231164500001

*Supervisors*  
Dr. Imam Abadi, ST. MT.

*DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018*

## **PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Tiara Oktavia Hardiana

NRP : 02311645000001

Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul “PERANCANGAN KONTROL CHARGING BATTERY MENGGUNAKAN ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS) PADA PV BERBASIS SOLAR TRACKER SATU POROS” adalah bebas plagiasi. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 24 Juli 2018  
Yang membuat pernyataan,

Tiara Oktavia Hardiana

**PERANCANGAN KONTROL *CHARGING BATTERY*  
MENGUNAKAN *ADAPTIVE NEURO-FUZZY*  
*INFERENCE SYSTEM* (ANFIS) PADA PV BERBASIS  
*SOLAR TRACKER* SATU POROS**

**TUGAS AKHIR**

Oleh:

**Tiara Oktavia Hardiana**  
NRP : 02311645000001

Surabaya, 24 juli 2018

Mengetahui / Menyetujui  
Pembimbing



**Dr. Imam Abadi, ST., MT.**  
NIP. 19761006 199903 1 002

**Kepala Departemen Teknik Fisika**



**PERANCANGAN KONTROL *CHARGING BATTERY*  
MENGUNAKAN *ADAPTIVE NEURO-FUZZY*  
*INFERENCE SYSTEM* (ANFIS) PADA PV BERBASIS  
*SOLAR TRACKER* SATU POROS**

**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 :

**Tiara Oktavia Hardiana**  
**NRP. 0231164500001**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :


1. Dr. Imam Abadi, ST., MT.

 (Pembimbing)

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

 (Penguji I)

3. Ir. Zulkifli, M.Sc

 (Penguji II)

**SURABAYA**  
**24 JULI, 2018**

**PERANCANGAN KONTROL *CHARGING BATTERY*  
MENGUNAKAN *ADAPTIVE NEURO-FUZZY*  
*INFERENCE SYSTEM* (ANFIS) PADA PV BERBASIS  
*SOLAR TRACKER* SATU POROS**

**Nama Mahasiswa** : Tiara Oktavia Hardiana  
**NRP** : 0231164500001  
**Program Studi** : S1 Teknik Fisika  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Imam Abadi, ST. MT.

**Abstrak**

PV panel merupakan penghasil energi listrik yang sangat ramah lingkungan dan mudah dalam penggunaannya. Penggunaan PV panel cocok untuk mensuplai beban puncak atau pada malam hari, dengan menggunakan baterai sebagai penyimpanan energi. Namun dalam pengaplikasiannya diperlukan manajemen pengisian baterai agar dapat terkontrol serta baterai dapat berusia panjang. Solusi untuk permasalahan manajemen baterai dilakukan melalui penelitian ini yang membahas mengenai sistem pengisian baterai. Konverter DC-DC yang digunakan adalah tipe SEPIC. Kontrol tegangan pengisian baterai menggunakan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS). Pada simulasi kondisi cerah kontrol ANFIS mampu menjejak *set point* tegangan charging dan didapat respon tegangan dengan nilai *rise time* sebesar 0,0028s, *maximum overshoot* sebesar 0,027%, *peak time* sebesar 0,008s, dan *settling time* sebesar 0,0193s. Saat pengisian baterai PV *solar tracker* mendapat peningkatan 0,25% dibandingkan dengan PV panel *fixed*. Disebabkan PV *solar tracker* mampu mengikuti arah posisi matahari sehingga didapat nilai irradiasi dan suhu maksimum yang berpengaruh pula terhadap tegangan input dan arus input yang masuk pada konverter.

**Kata kunci** : *set point, rise time, peak time, solar tracker, SEPIC*

**DESIGN OF CHARGING BATTERY CONTROL USING  
ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS)  
PV BASED ON SOLAR TRACKER SINGLE AXIS**

**Name** : Tiara Oktavia Hardiana  
**NRP** : 0231164500001  
**Study Program** : S1 Teknik Fisika  
**Supervisor** : Dr. Imam Abadi, ST. MT.

**Abstract**

*PV panel is an energy generator that is very environmentally friendly and easy to use. The use of PV panels is suitable for supplying peak loads or at night, using batteries for energy storage. However, in its application required the management of charging the battery to be controlled and the battery can be long-lived. The solution to battery management problems is done through this research which discusses the battery charging system. The DC-DC converter used is SEPIC type. Control the battery charging voltage using Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS). In the simulation of bright conditions ANFIS control able to set the set point of charging voltage and obtained response voltage with rise time value of 0,0028s, maximum overshoot of 0,027%, peak time of 0,008s, and settling time of 0,0193s. When the solar PV diesel battery charger gets a 0.25% increase compared to fixed panel PV. Because solar PV tracker is able to follow the direction of the sun position so it gets the value of irradiation and maximum temperature that also affect the input voltage and input current in converter.*

**Keyword** : set point, rise time, peak time, solar tracker, SEPIC

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah S.W.T, karena rahmat dan hikmat-Nya sehingga penulis diberikan kesehatan, kemudahan, dan kelancaran dalam menyusun laporan tugas akhir ini. Tidak lupa juga penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada keluarga dan para sahabat. Oleh karena dukungan mereka, penulis mampu menyusun laporan tugas akhir ini. Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademik yang harus dipenuhi dalam Program Studi S-1 Teknik Fisika FTI-ITS. Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Agus Muhamad Hatta, S.T, M.Si, Ph.D. selaku ketua departemen Teknik Fisika ITS.
2. Dr. Imam Abadi, S.T, M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir ini, yang selalu sabar memberikan semangat dan masukan-masukan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir.
3. Segenap Bapak/Ibu dosen pengajar di Departemen Teknik Fisika - ITS.
4. Segenap keluarga yang telah memberikan dukungan penuh dalam penyelesaian tugas akhir ini.
5. Rekan-rekan LJ GANJIL TF 2016 dan warga Teknik Fisika - ITS, yang senantiasa memberikan motivasi dan perhatian.
6. Teman-teman Laboratorium Pengukuran Fisis “Fisis Ceria” 2014, dan 2015 yang senantiasa memberikan motivasi dan perhatian.
7. Teman-teman seperjuangan TA yang telah memotivasi dan memberikan bantuan-bantuan dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa mungkin masih ada kekurangan dalam laporan ini, sehingga kritik dan saran penulis terima. Semoga laporan ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penulis dan pihak yang membacanya.

Surabaya, 24 juli 2018



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
PERNYATAN BEBAS PLAGIASI.....	iii
ABSTRAK .....	vi
<i>ABSTRACT</i> .....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR NOTASI .....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Sistematika Laporan .....	3
<b>BAB II DASAR TEORI.....</b>	<b>5</b>
2.1 Panel Surya .....	5
2.2 <i>Solar Tracker</i> .....	6
2.3 Posisi Matahari .....	7
2.4 Fuzzy Logic Controller.....	10
2.5 Perancangan Sistem Pengisian Baterai .....	12
2.6 Metode Kontrol <i>Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System</i> (ANFIS).....	13
2.7 <i>SEPIC Converter</i> .....	16
2.8 Baterai .....	17
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>23</b>
3.1 Diagram Alir.....	23
3.2 Studi Literatur.....	25

3.3	Pengambilan data.....	25
3.3.1	Pengambilan Data Panel Surya .....	25
3.3.2	Pengambilan Data <i>Converter</i> .....	26
3.3.3	Pengambilan Data <i>Battery</i> .....	26
3.3.4	Pengambilan Data Tegangan dan Arus Dari PV .....	27
3.3.5	Pengambilan Data Tegangan dan Arus Dari <i>Battery</i> .....	29
3.4	Pemodelan <i>Charging System</i> .....	29
3.4.1	Pemodelan <i>Photovoltaic</i> .....	29
3.4.2	Pemodelan <i>Converter</i> .....	33
3.4.3	Pemodelan <i>Battery</i> .....	35
3.5	Diagram Blok Kontrol ANFIS.....	37
3.6	Perancangan Sistem Kontrol ANFIS .....	39
3.7	Integrasi Sistem Kontrol ANFIS .....	42
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>47</b>
4.1	Simulasi Uji Tegangan <i>Output SEPIC Converter</i> .....	47
4.2	Simulasi Charging Kontrol ANFIS dengan Variasi Kondisi Klimatik.....	48
4.3	Simulasi Pengujian Proses <i>Charging</i> Kontrol ANFIS Pada Kondisi <i>Fixed</i> dan <i>Tracking</i> .....	52
4.4	Simulasi Uji Kontrol dan non-Kontrol .....	59
<b>BAB V PENUTUP .....</b>		<b>61</b>
5.1	Kesimpulan.....	61
5.2	Saran .....	61
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		
<b>LAMPIRAN</b>		

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Struktur Sel Surya.....	6
<b>Gambar 2.2</b>	Mekanisme Terbentuknya Elektron Bebas pada Material Semikonduktor .....	6
<b>Gambar 2.3</b>	Dual Axis Solar Tracker .....	8
<b>Gambar 2.4</b>	Sistem Koordinat Horizon .....	8
<b>Gambar 2.5</b>	Sistem Koordinat Horizon .....	9
<b>Gambar 2.6</b>	Sistematika Fuzzy Logic Controller .....	11
<b>Gambar 2.7</b>	Diagram blok pengisian baterai .....	13
<b>Gambar 2.8</b>	Arsitektur Jaringan ANFIS .....	14
<b>Gambar 2.9</b>	Topologi pensaklaran konverter SEPIC .....	16
<b>Gambar 2.10</b>	Proses pengisian dan pengosongan baterai .....	21
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram alir penelitian .....	23
<b>Gambar 3.2</b>	Lanjutan diagram alir penelitian .....	24
<b>Gambar 3.3</b>	Rangkaian Listrik dengan Single Diode .....	30
<b>Gambar 3.4</b>	Model Simulink <i>Photovoltaic</i> .....	32
<b>Gambar 3.5</b>	Pemodelan rangkaian konverter SEPIC.....	34
<b>Gambar 3.6</b>	Respon $V_{pv}$ terhadap perubahan step positif <i>duty cycle</i> .....	35
<b>Gambar 3.7</b>	Rangkaian baterai .....	36
<b>Gambar 3.8</b>	Diagram blok kontrol ANFIS .....	37
<b>Gambar 3.9</b>	Diagram blok kontrol ANFIS .....	38
<b>Gambar 3.10</b>	Struktur ANFIS.....	40
<b>Gambar 3.11</b>	Fungsi keanggotaan untuk input error hasil pelatihan .....	41
<b>Gambar 3.12</b>	Fungsi keanggotaan untuk input selisih error hasil pelatihan .....	41
<b>Gambar 3.13</b>	Fungsi keanggotaan output hasil pelatihan.....	43
<b>Gambar 3.14</b>	Simulasi kontrol ANFIS pada MATLAB simulink .....	45
<b>Gambar 4.1</b>	Penjejakan tegangan PV <i>solar tracker</i> .....	47
<b>Gambar 4.2</b>	Profil suhu panel PV kondisi cerah .....	49

<b>Gambar 4.3</b>	Profil irradiasi matahari kondisi cerah.....	49
<b>Gambar 4.4</b>	Profil suhu panel PV kondisi berawan.....	50
<b>Gambar 4.5</b>	Profil irradiasi matahari kondisi berawan.....	50
<b>Gambar 4.6</b>	Hasil simulasi pengisian baterai dengan variasi kondisi klimatik .....	51
<b>Gambar 4.7</b>	Tegangan PV <i>fixed</i> dan <i>tracking</i> .....	56
<b>Gambar 4.8</b>	Arus PV <i>fixed</i> dan <i>tracking</i> .....	56
<b>Gambar 4.9</b>	Perbandingan tegangan pada saat pengisian.....	57
<b>Gambar 4.10</b>	Perbandingan arus pada saat pengisian.....	58
<b>Gambar 4.11</b>	Perbandingan pengisian baterai PV <i>fixed</i> dan <i>solar tracker</i> .....	58
<b>Gambar 4.12</b>	Perbandingan pengisian baterai kontrol ANFIS dan non-kontrol .....	59

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b>	Spesifikasi modul <i>photovoltaic</i> tipe TN-250M.....	25
<b>Tabel 3.2</b>	Spesifikasi konverter SEPIC.....	26
<b>Tabel 3.3</b>	Spesifikasi <i>battery</i> .....	26
<b>Tabel 3.4</b>	Data tegangan dan arus PV <i>fixed</i> .....	27
<b>Tabel 3.4</b>	Lanjutan .....	28
<b>Tabel 3.5</b>	Data tegangan dan arus PV <i>tracking</i> .....	28
<b>Tabel 3.5</b>	Lanjutan .....	29
<b>Tabel 3.6</b>	Hasil simulasi pengujian karakteristik konverter SEPIC .....	33
<b>Tabel 3.7</b>	Basis aturan pada lapisan kedua .....	43
<b>Tabel 4.1</b>	Data uji simulasi PV <i>fixed</i> .....	52
<b>Tabel 4.1</b>	Lanjutan .....	53
<b>Tabel 4.2</b>	Data uji simulasi PV <i>tracking</i> .....	53
<b>Tabel 4.2</b>	Lanjutan .....	54
<b>Tabel 4.3</b>	Perbandingan <i>state of charge</i> sistem panel PV <i>fixed</i> dan <i>tracking</i> .....	54
<b>Tabel 4.3</b>	Lanjutan .....	55

## DAFTAR NOTASI

$\beta$  : surface slope

$\gamma$  : surface azimuth

$\gamma_s$  : azimuth matahari

$\theta_z$  : sudut zenith

$\delta$  : deklinasi

$\omega$  : sudut jam

$\phi$  : lintang

$\Delta e$  : selisih error tegangan saat ini dan sebelumnya

$\sigma$  : fungsi keanggotaan

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Energi listrik merupakan energi yang sangat dibutuhkan dalam menunjang kehidupan manusia terutama dalam pemenuhan kebutuhan primer. Kebutuhan primer yang dimaksud adalah energi listrik yang digunakan untuk menunjang kebutuhan pangan, papan, sandang, tempat tinggal, dan lain-lain. Penggunaan energy listrik ini sebagian besar berasal dari fosil. Penggunaan bahan bakar yang berasal dari fosil ini telah menimbulkan banyak masalah, diantaranya adalah masalah lingkungan, kesehatan, ekonomi, dan bahkan berpotensi menimbulkan konflik internasional akibat sengketa penguasaan lahan kaya sumber energi fosil. Sebagian kecil yang berasal dari sumber energi terbarukan. Salah satunya adalah dengan pemanfaatan energi surya. Energi surya adalah energi yang berupa panas dan cahaya yang dipancarkan oleh matahari. Matahari adalah sumber energi yang memancarkan energi yang sangat besar ke permukaan bumi. Permeter persegi permukaan bumi menerima hingga 1000 watt energi matahari. Sekitar 30% energy tersebut dipantulkan kembali luar angkasa, dan sisanya oleh awan, lautan dan daratan. Jumlah energi yang diserap oleh atmosfer, lautan dan daratan bumi sekitar 3.850.000 eksajaoule (EJ) pertahun<sup>[1]</sup>.

Dalam upaya pemanfaatan energi surya secara maksimal diperlukan sebuah tranducer yang dapat mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Tranducer tersebut biasa disebut dengan *solar cell*. *Solar cell* merupakan suatu alat yang mampu menghasilkan listrik dari energi cahaya. Namun, dalam proses konversi energi pada *solar cell* ini dipengaruhi banyak faktor yang dapat mengurangi kerja maksimal pengkonversian energi. Faktor tersebut diantaranya adalah faktor orientasi terhadap posisi matahari yang selalu berubah-ubah yang dapat mengurangi kerja

maksimal panel surya dalam pengkonversian energi matahari menjadi energi listrik<sup>[2]</sup>.

Baterai lead-acid atau baterai timbal merupakan salah satu yang banyak digunakan sebagai perangkat kimia untuk penyimpanan energi listrik. Banyak parameter yang perlu diperhatikan dalam pengisian baterai seperti tegangan dan arus. Manajemen juga diperlukan untuk pengisian baterai yang optimal dan baterai terawat, awet serta optimal dalam penggunaannya. Manajemen pengisian baterai berfungsi sebagai pengatur rangkaian agar baterai dapat dicharger dengan optimal<sup>[3]</sup>. Semua energi yang dihasilkan PV disimpan pada baterai sehingga yang sangat diperhatikan dalam penelitian ini terfokus pada *charging system* untuk baterai yang bertujuan untuk mengatur konsumsi hasil konversi energi listrik pada PV<sup>[4]</sup>.

Mengacu permasalahan di atas maka dalam penelitian ini akan diaplikasikan kontrol *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) pada *charging system* yang mampu mengatur proses pengisian atau pemakaian kemudian akan memastikan usia baterai tahan lama. *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) adalah penggabungan mekanisme *fuzzy inference system* yang digambarkan dalam arsitektur jaringan syaraf sehingga pengisian baterai lebih optimal dan menjadikan umur baterai memiliki usia yang panjang. Selain itu juga fungsi *charging system* ini adalah untuk menghindari *overcharge* oleh PV panel<sup>[4]</sup>. Dalam penelitian ini akan dilakukan penelitian mengenai Perancangan Kontrol *Charging Battery* Menggunakan *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) Pada PV Berbasis *Solar Tracker* Satu Poros menggunakan *software* MATLAB/SIMULINK.

## 1.2. Permasalahan

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, permasalahan yang bisa diangkat dalam penelitian ini adalah :

- a. Bagaimana menentukan parameter model *charging system* pada baterai dan beban ?



- b. Bagaimana menentukan parameter kontrol *Adaptive Neuro – Fuzzy Inference System* (ANFIS) pada *charging system* ?
- c. Bagaimana peningkatan performa *charging sytem* berbasis kontrol *Adaptive Neuro – Fuzzy Inference System* (ANFIS) pada *mobile PV* menggunakan *solar tracker* satu sumbu ?

### 1.3. Batasan Masalah

Untuk memfokuskan penyelesaian masalah pada penelitian tugas akhir ini maka batasan masalah yang diangkat adalah sebagai berikut :

- a. Storage system adalah jenis Lead acid baterai.
- b. Variabel proses yang dikendalikan yaitu tegangan dan arus.
- c. Jenis converter yang digunakan adalah SEPIC Converter (*Single Ended Primary Inductance Converter*).
- d. Spesifikasi PV jenis monokristalin dengan daya 250 Wp.
- e. Metode Kontrol yaitu *Adaptive Neuro – Fuzzy Inference System* (ANFIS).
- f. Metode pengisian baterai adalah *constant voltage charging*.

### 1.4. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah :

- a. Menentukan parameter model *charging system* pada baterai.
- b. Menentukan parameter kontrol *Adaptive Neuro – Fuzzy Inference System* (ANFIS) pada *charging system*.
- c. Meningkatkan performa *charging system* berbasis kontrol *Adaptive Neuro – Fuzzy Inference System* (ANFIS) pada *mobile PV* menggunakan *solar tracker* satu sumbu.

### 1.5. Sistematika Laporan

Laporan tugas akhir ini disusun secara sistematis, tersusun beberapa bab sebagai berikut :

## BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan serta sistematika laporan dari tugas akhir.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab tinjauan pustaka ini berisi dasar teori yang terkait dengan tugas akhir tentang kontrol charging battery menggunakan *adaptive neuro-fuzzy inference system* (ANFIS) berbasis solar tracker satu poros. Pada bab ini terdiri dari dasar teori tentang fotovoltaiik, modul fotovoltaiik, pemodelan *charging battery system*, dan karakteristik fotovoltaiik.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian yang dimulai pengambilan data pengukuran, pemodelan *charging battery system*, simulasi, pengujian dan validasi.

## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan tentang hasil simulasi dan pengujian dari kontrol ANFIS dalam sistem *battery charging system*. Didapatkan hasil pengujian penjejukan set point dari tegangan ouput konverter SEPIC. Hasil pengujian *charging battery* dengan kondisi klimatik. Hasil pengujian *charging system* pada kondisi *fixed* dan *solar tracker*. Serta hasil pengujian *charging battery* menggunakan kontrol dan non-kontrol.

## BAB V PENUTUP

Pada bab ini menjelaskan kesimpulan dan saran dari masing-masing hasil pengujian.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

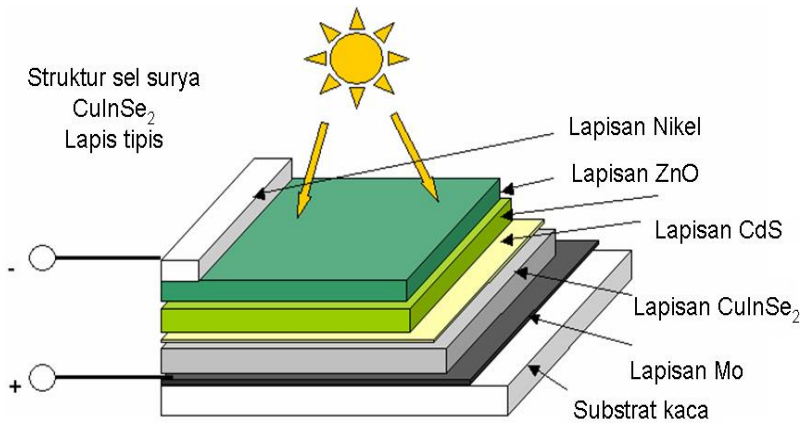
#### **2.1. Panel Surya**

Panel surya adalah alat yang terdiri dari sel surya yang mengubah cahaya menjadi listrik. Mereka disebut surya atas matahari atau "sol" karena matahari merupakan sumber cahaya terkuat yang dapat dimanfaatkan. Panel surya sering kali disebut sel *photovoltaic*, *photovoltaic* dapat diartikan sebagai "cahaya-listrik". Namun, perbedaannya terletak pada sumber cahaya yang digunakan. Pada sel PV sumber cahaya lebih umum dan tidak disebutkan secara jelas. Sedangkan pada sel surya energi cahaya berasal dari radiasi sinar matahari. Sel surya atau sel PV bergantung pada efek *photovoltaic* untuk menyerap energi matahari dan menyebabkan arus mengalir antara dua lapisan bermuatan yang berlawanan<sup>[9]</sup>.

Sel surya dapat dianalogikan sebagai divais dengan dua terminal atau sambungan, dimana saat kondisi gelap atau tidak cukup cahaya berfungsi seperti dioda, dan saat disinari dengan cahaya matahari dapat menghasilkan tegangan. Ketika disinari, umumnya satu sel surya komersial menghasilkan tegangan dc sebesar 0,5 sampai 1 volt, dan arus *short-circuit* dalam skala milliampere per cm<sup>2</sup>. Besar tegangan dan arus ini tidak cukup untuk berbagai aplikasi, sehingga umumnya sejumlah sel surya disusun secara seri membentuk modul surya<sup>[9]</sup>.

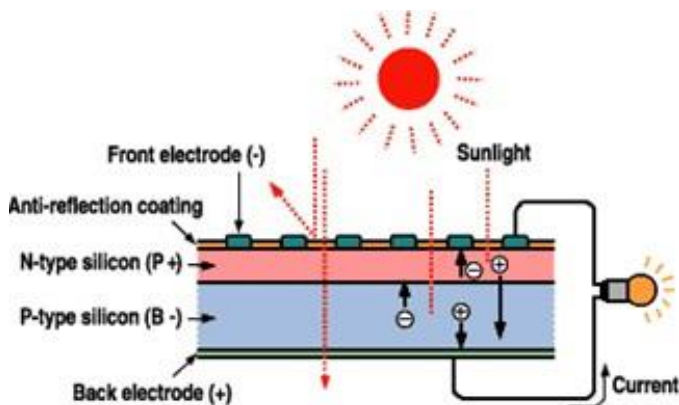
Berikut merupakan beberapa faktor yang mempengaruhi kerja dari sel surya agar pengoperasianya dapat mencapai nilai maksimum<sup>[9]</sup>:

- a. Suhu permukaan panel surya
- b. Radiasi solar matahari (iradiasi)
- c. Kecepatan angin bertiup
- d. Keadaan atmosfer bumi
- e. Orientasi panel atau array PV
- f. Posisi letak sel surya (*array*) terhadap matahari (*tilt angle*)



**Gambar 2. 1** Struktur Sel Surya <sup>[10]</sup>

Kerja sel surya dengan menggunakan prinsip photovoltaic. Penyerapan energi foton matahari pada lapisan deplesi menghasilkan pasangan elektron hole. Pasangan ini akan menghasilkan pasangan elektron hole. Pasangan ini akan dihasilkan apabila energi foton matahari lebih besar dari energi gap material sel surya. Kemudian elektron mengalir melewati front electrical contact / konduktor atas sedangkan pembawa muatan minoritas / hole melewati lapisan deplesi menuju ke semikonduktor tipe  $-p$ . Setelah melewati beban (lampu, dsb) elektron menuju ke back electrical contact dan kembali bertemu dengan hole yang disebut rekombinasi. Proses rekombinasi inilah yang nantinya sel surya akan menghasilkan listrik. Proses selanjutnya energi foton diserap lagi dan seterusnya berulang itulah siklus aliran elektron di sel surya <sup>[11]</sup>



**Gambar 2. 2** Mekanisme Terbentuknya Elektron Bebas pada Material Semikonduktor <sup>[3]</sup>

## 2.2. Solar Tracker

*Solar tracker* merupakan gabungan atau kombinasi suatu sistem yang mampu mendeteksi dan mengikuti arah matahari dengan tujuan dapat memaksimalkan penerimaan dari energi cahaya matahari. Solar tracker ini diterapkan pada photovoltaic atau solar panel. Tujuan diberikannya tracking pada photovoltaic adalah agar dapat mengoptimalkan daya keluaran dari PV. Semakin tegak lurus PV dengan matahari, maka semakin besar pula daya output yang dihasilkan. Hal ini tentunya sangat berpengaruh pada jumlah energi listrik yang dihasilkan dalam setiap hari. Energi listrik yang dihasilkan akan meningkat jika dibandingkan dengan solar panel yang bersifat statis. Solar tracker terdiri dari beberapa komponen penting seperti sensor, controller, motor servo, battery dan photovoltaic. Penelitian tentang solar tracker yang berkembang selama ini, dapat menggunakan berbagai jenis control agar tracking berjalan optimal. Namun dikarenakan adanya sistem tracker akan menjadi tantangan untuk para peneliti untuk mengembangkannya. Hal ini karena diperlukan catu daya

yang cukup besar untuk dapat mengoperasikan motor penggerak [12]

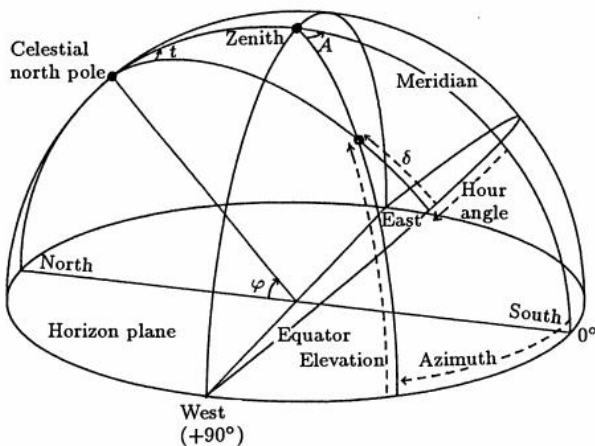
Keluaran dari solar panel menghasilkan arus listrik searah (DC). Padahal pada umumnya sebagian besar peralatan elektronik memerlukan input arus AC. Dikarenakan hal tersebut, maka diperlukan sebuah alat tambahan berupa inverter DC ke AC. Inverter tersebut diletakkan setelah battery. Jadi disimpan dalam battery atau accu DC, kemudian setelah disimpan arus listrik dirubah dari DC menjadi AC oleh rangkaian inverter. Arus bolak balik (AC) inilah yang akan digunakan untuk kebutuhan sehari-hari [12].



**Gambar 2. 3** Dual Axis Solar Tracker [12]

### 2.3. Posisi Matahari

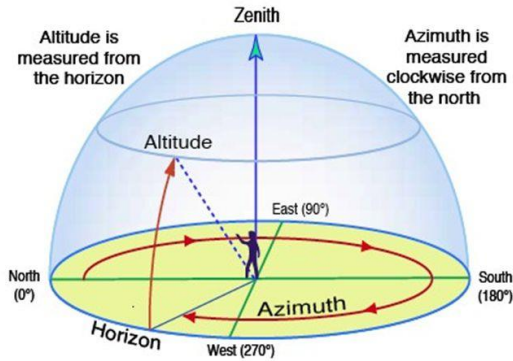
Posisi Matahari ditentukan dengan menggunakan sistem koordinat Horizontal. Pada sistem ini, pusat koordinat merupakan posisi pengamat (bujur dan lintang) yang berada di permukaan bumi [12].



**Gambar 2. 4** Sistem Koordinat Horizon <sup>[12]</sup>

Koordinat bumi yang menjadi penentu posisi matahari yaitu sudut azimuth, sudut altitude/elevasi, dan sudut zenith. Ketiga sudut tersebut dipengaruhi oleh perhitungan yang berdasarkan sudut deklinasi, hour angle, dan posisi lintang di bumi. Sudut deklinasi ( $\delta$ ) merupakan sudut yang berada diantara garis yang menghubungkan pusat matahari dengan bumi dan proyeksi di bidang equator. Nilai sudut ini berada pada range  $-23.450 - 23.450$ . Sedangkan, Hour angle ( $\omega$ ) merupakan sudut antara meridian lokal serta posisi matahari dalam satu jam. Nilai hour angle setiap jamnya adalah  $150$ . Nilai ini didapatkan dari rotasi bumi sebesar  $3600$  per hari atau per  $24$  jam <sup>[11]</sup>.

Solar tracker dirancang dengan menggunakan 2 sudut, yaitu sudut pitch dan yaw. Sudut pitch berfungsi untuk melakukan rotasi dari utara ke selatan begitu juga sebaliknya. Sedangkan sudut yaw bergerak berdasarkan arah timur ke barat dan senaliknya. Kedua sudut tersebut dirancang agar photovoltaic bergerak mengikuti sudut azimuth dan sudut elevasi dari matahari <sup>[11]</sup>.



**Gambar 2. 5** Sistem Koordinat Horizon <sup>[11]</sup>

Untuk mencari posisi matahari diperlukan beberapa persamaan-persamaan. Persamaan yang digunakan untuk mencari posisi matahari adalah Sudut Zenith matahari, Azimuth matahari, deklinasi. Berikut persamaan-persamaan yang digunakan dalam menentukan posisi matahari.

Sudut Datang (Elevasi) :

$$\theta = \cos^{-1} [\cos \theta_z \cos \beta + \sin \theta_z \sin \beta \cos (\gamma_s - \gamma)] \quad (2.1)$$

Sudut Zenith :

$$\theta_z = \cos^{-1} [\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega] \quad (2.2)$$

Sudut Azimuth :

$$\gamma_s = \sigma_w \sigma_n \gamma_{so} + \sigma_w 180^\circ \quad (2.3)$$

dimana :

$$\gamma_{so} = \sin^{-1} \quad (2.4)$$

$$\sigma_w = 1 \text{ if } |\omega| < \omega_w - 1 \text{ otherwise}$$

$$\sigma_n = 1 \text{ if } \phi (\phi - \delta) \geq 0 - 1 \text{ otherwise}$$

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



$$\omega_{ew} = \cos^{-1} (\cos \phi \tan \delta) \quad (2.5)$$

Sudut Deklinasi :

$$\delta = 23.45 \sin [360(284+n)/365] \quad (2.6)$$

Keterangan :

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

$\beta$  = surface slope

$\gamma$  = surface azimuth

$\gamma_s$  = azimuth matahari

$\theta_z$  = sudut zenith

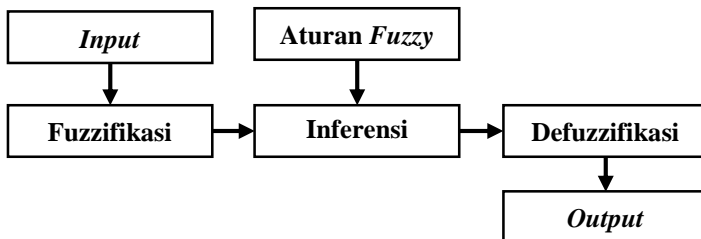
$\delta$  = deklinasi

$\omega$  = sudut jam

$\phi$  = lintang <sup>[11]</sup>

## 2.4. Fuzzy Logic Controller

Pengendali Fuzzy merupakan suatu sistem kendali yang berdasar pada basis pengetahuan manusia, dimana masukan, keluaran, serta tanggapan sistem diperoleh berdasarkan sistem pakar yang berbasis pengetahuan manusia<sup>[11]</sup>. Logika fuzzy menginterpretasikan statemen yang samar menjadi sebuah pengertian yang logis. Pada dasarnya struktur logika fuzzy dapat digambarkan seperti berikut <sup>[3]</sup>.



**Gambar 2.6** Sistematika Fuzzy Logic Controller<sup>[3]</sup>

Fungsi dari bagian-bagian diatas adalah sebagai berikut:

- **Input**

Masukkan pada *fuzzy logic* berupa *crisp* (variabel fisis) atau bilangan *real*.

- **Fuzzifikasi**

*Fuzzifikasi* diperlukan untuk mengubah masukan tegas/nyata (*crisp inputs*) yang bersifat bukan Fuzzy ke dalam himpunan Fuzzy. Data yang berbentuk tegas/nyata (*crisp*), dipetakan menjadi nilai linguistik pada semesta pembicaraan tertentu yang selanjutnya dinamakan masukan Fuzzy.

- **Rule Base**

*Rule base* pada *fuzzy* digunakan untuk menghubungkan variabel-variabel masukan dan variabel-variabel keluaran. Basis aturan Fuzzy merupakan kumpulan pernyataan aturan ‘JIKA-MAKA’ atau ‘IF–THEN’ yang didasarkan pada pengetahuan manusia untuk mengolah variabel masukan sehingga menghasilkan variabel keluaran dalam bentuk himpunan Fuzzy.

- **Inference**

Inferensi adalah proses transformasi dari suatu input dalam domain fuzzy ke suatu output (sinyal kendali) dalam domain fuzzy. Proses transformasi pada bagian inferensi membutuhkan aturan–aturan fuzzy yang terdapat didalam *rule base*.

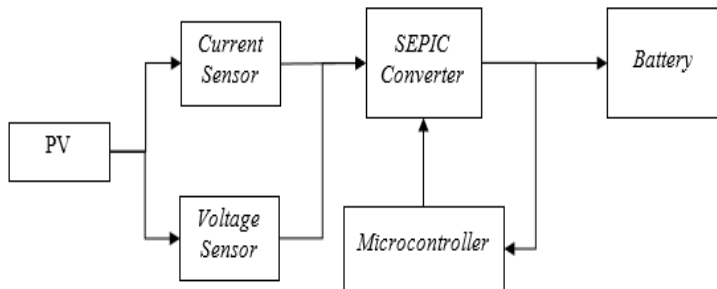
- **Defuzzifikasi**

Defuzzifikasi ditujukan untuk menghasilkan suatu aksi kontrol *non Fuzzy* (*crisp output*) dalam merepresentasikan kemungkinan distribusi aksi kontrol Fuzzy yang telah dihasilkan. Metode defuzzifikasi yang sering digunakan adalah metode *Mean of Maximum* (MOM) dan metode rata-rata terbobot (*weighted average*) atau lebih dikenal sebagai *Center of Area* (COA). Metode MOM, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki nilai

keanggotaan maksimum. Keluaran pada proses defuzzifikasi merupakan hasil dari proses kendali fuzzy secara keseluruhan. Keluaran ini berupa himpunan *crisp* yang akan mengendalikan sistem yang dikontrol<sup>[3]</sup>.

## 2.5. Perancangan Sistem Pengisian Baterai

Perancangan sistem pengisian baterai berbasis *solar tracker* satu poros untuk megoptimalkan tegangan dengan metode ANFIS dapat dilihat pada gambar 2.7.



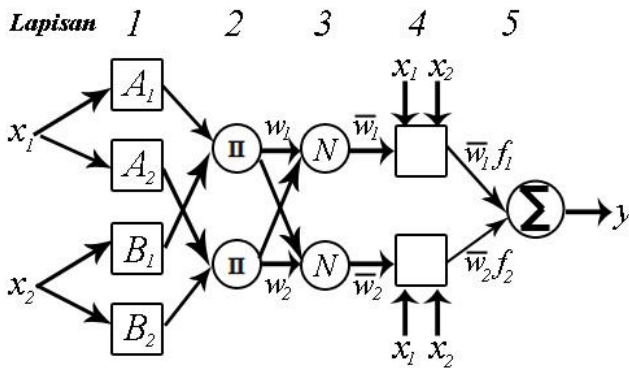
**Gambar 2. 7** Diagram blok pengisian baterai

Pada diagram blok sistem di atas berawal dari sel surya/*solar cell* sebagai sumbernya. Dimana keluaran dari panel surya berupa tegangan ( $V_i$ ) dan arus ( $I_i$ ) yang berasal dari iradiasi cahaya matahari dan temperatur. Keluaran dari panel surya diteruskan ke sensor arus dan sensor tegangan. Sensor arus dan sensor tegangan akan mencari nilai arus dan tegangan yang akan mengirim sinyal pada mikrokontroler yang berfungsi sebagai kontroler.

Penelitian ini menggunakan metode *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) untuk mengatur nilai inputan dari mikrokontroler. Data hasil pengontrolan berupa sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) yang kemudian dikirim ke *converter* untuk *switching* ke pengisian baterai.

## 2.6. Metode Kontrol Adaptive Neuro – Fuzzy Inference System (ANFIS)

*Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) adalah penggabungan mekanisme fuzzy inference system yang digambarkan dalam arsitektur jaringan syaraf. Sistem *inferensi fuzzy* yang digunakan adalah sistem inferensi fuzzy model Tagaki-Sugeno-Kang (TSK) orde satu dengan pertimbangan kesederhanaan dan kemudahan komputasi. Bisa dikatakan bahwa ANFIS adalah suatu metode yang mana dalam melakukan penyetelan aturan digunakan algoritma pembelajaran terhadap sekumpulan data. Pada ANFIS juga memungkinkan aturan-aturan untuk beradaptasi (Kusumadewi, dkk, 2006: 42)<sup>[8]</sup>.



**Gambar 2.8** Arsitektur Jaringan ANFIS<sup>[8]</sup>

Pada gambar terlihat bahwa arsitektur ANFIS terdiri atas 5 lapis dan setiap lapis mempunyai fungsi yang berbeda. Terdapat simpul disetiap lapisan yang memiliki dua bentuk yang berbeda. Simpul adaptif (bersimbol kotak) dan simpul tetap (bersimbol lingkaran). Fungsi dari setiap lapis adalah sebagai berikut :

**Lapisan 1:**

Lapisan ini merupakan lapisan *fuzzifikasi*. Pada lapisan ini tiap neuron adaptif terhadap parameter suatu aktivasi. Output dari tiap neuron berupa derajat keanggotaan yang diberikan oleh fungsi keanggotaan input. Misalkan fungsi keanggotaan *Generalized Bell* diberikan sebagai.

$$\mu(Z) = \frac{1}{1 + \left| \frac{Z - c}{a} \right|^{2b}} \quad 2.7$$

Dengan  $Z$  adalah input, dalam hal ini  $Z = \{Z_1 + Z_2\}$  dan  $a, b, \text{ dan } c$  adalah parameter-parameter, biasanya  $b = 1$ . Jika nilai parameter-parameter ini berubah, maka bentuk kurva yang terjadi akan ikut berubah. Parameter-parameter ini biasanya disebut dengan nama parameter premis.

**Lapisan 2:**

Lapisan ini berupa neuron tetap (diberi simbol  $\Pi$ ) merupakan hasil kali dari semua masukan, sebagai berikut.

$$W_i = \mu_{Ai} \cdot \mu_{Bi} \quad 2.8$$

Biasanya digunakan operator *AND*. Hasil perhitungan ini disebut *firing strength* dari sebuah aturan. Tiap neuron merepresentasikan aturan ke- $i$ .

**Lapisan 3:**

Tiap neuron pada lapisan ini berupa neuron tetap (diberi simbol  $N$ ) merupakan hasil perhitungan rasio dari *firing strength* e- $i$  ( $w_i$ ) terhadap jumlah dari keseluruhan *firing strength* pada lapisan kedua, sebagai berikut:

$$\bar{w}_t = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, i = 1,2 \quad 2.9$$

Hasil perhitungan ini disebut *normalized firing strength*.

**Lapisan 4:**

Lapisan ini berupa neuron yang merupakan neuron adaptif terhadap suatu output, sebagai berikut.

$$\bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i Z_{1,t} + q_i Z_{2,t} + r_i) \quad 2.10$$

dengan  $\bar{w}_i$  adalah *normalized firing strength* pada lapisan ketiga dan  $p_i$ ,  $q_i$  dan  $r_i$  adalah parameter-parameter pada neuron tersebut. Parameter-parameter ini biasa disebut parameter konsekuen.

**Lapisan 5:**

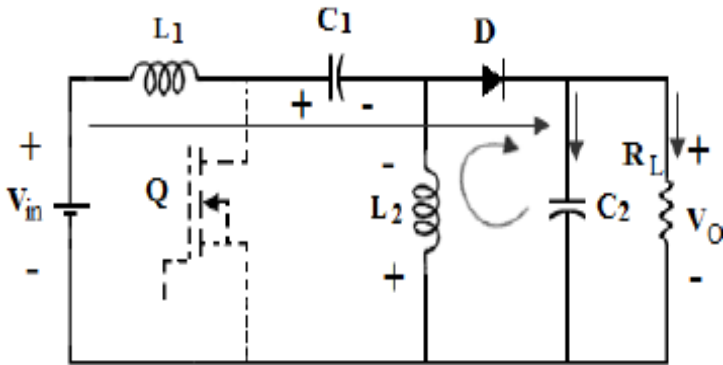
Lapisan ini berupa neuron tunggal (diberi simbol  $\Sigma$ ) merupakan hasil penjumlahan seluruh output dari lapisan keempat, sebagai berikut.

$$\sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad 2.11$$

Kelima lapisan ini ekuivalen dengan sistem inferensi Fuzzy Takagi-Sugeno.

**2.7. SEPIC Converter**

DC-DC *converter* merupakan rangkaian elektronika power untuk mengubah suatu masukan tegangan dc menjadi tegangan dc keluaran dengan nilai yang lebih besar atau kecil dari tegangan masukan. Pada penelitian ini, rangkaian dc-dc *converter* tersebut dengan *Single Ended Primary Inductor Converter* (SEPIC). Tegangan luaran dari converter SEPIC dapat lebih besar atau lebih kecil dari tegangan masukannya, polaritas dari *converter* SEPIC tidak terbalik. Topologi pensaklaran dari *converter* SEPIC ditunjukkan pada Gambar 2.8. Pada kondisi operasi dalam keadaan stabil, besarnya tegangan yang melewati *inductor* adalah nol, sehingga besarnya tegangan pada kapasitor  $C_1$ ,  $V_{C1} = V_s$ <sup>[5]</sup>.



**Gambar 2. 9** Topologi pensaklaran konverter SEPIC <sup>[5]</sup>

Pada kondisi saklar tertutup, kondisi diode terbuka, *inductor*  $L_1$  terisi dari sumber  $V_s$ , dan *inductor*  $L_2$  mengisi  $C_1$ . Selama kondisi ini, tidak ada *energy* yang disuplai ke beban. Besarnya tegangan yang melewati  $L_1$ ,  $(V_{L1})_{tertutup} = V_s$ , sedangkan pada kondisi saklar terbuka, kondisi diode tertutup,  $L_1$  mengisi  $C_1$  dan secara bersamaan dengan  $L_2$  memberikan arus ke beban. Besarnya tegangan pada  $L_1$  pada kondisi ini,  $(V_{L1})_{terbuka} = -V_0$ . Jika waktu saklar tertutup adalah  $DT$  dan waktu saklar terbuka adalah  $(1-D)T$  dan besarnya daya yang disuplay sama dengan daya yang diserap beban, maka  $V_s(DT) - V_0(1-D)T = 0$ .

## 2.8. Baterai

Baterai adalah perangkat yang mengandung sel listrik yang dapat menyimpan energi yang dapat dikonversi menjadi daya. Baterai menghasilkan listrik melalui proses kimia. Baterai atau akkumulator adalah sebuah sel listrik dimana didalamnya berlangsung proses elektrokimia yang *reversible* (dapat berkebalikan) dengan efisiensinya yang tinggi. Yang dimaksud dengan reaksi elektrokimia *reversibel* adalah didalam baterai dapat berlangsung proses perubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan) dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia (proses pengisian) dengan cara proses regenerasi dari

elektroda - elektroda yang dipakai yaitu, dengan melewati arus listrik dalam arah polaritas yang berlawanan didalam sel.

Baterai terdiri dari dua jenis yaitu, baterai primer dan baterai sekunder. Baterai primer merupakan baterai yang hanya dapat dipergunakan sekali pemakaian saja dan tidak dapat diisi ulang. Hal ini terjadi karena reaksi kimia material aktifnya tidak dapat dikembalikan. Sedangkan baterai sekunder dapat diisi ulang, karena material aktifnya didalam dapat diputar kembali. Kelebihan dari pada baterai sekunder adalah harganya lebih efisien untuk penggunaan jangka waktu yang panjang.

### 2.8.1 Jenis-jenis Baterai

#### A. Baterai Asam (*Lead Acid Storage Acid*)

Baterai asam yang bahan elektrolitnya adalah larutan asam belerang (sulfuric acid =  $H_2SO_4$ ) . Didalam baterai asam, elektroda – elektroda nya terdiri dari plat – plat timah peroksida  $PbO_2$  (Lead Peroxide) sebagai anoda (kutub positif) dan timah murni  $Pb$  (*lead sponge*) sebagai katoda (kutub negatif). Ciri – ciri umumnya:

- a. Tegangan nominal per sel 2 volt
- b. Ukuran baterai per sel lebih besar dibandingkan dengan baterai alkali.
- c. Nilai berat jenis elektrolit sebanding dengan kapasitas baterai.
- d. Suhu elektrolit sangat mempengaruhi terhadap nilai berat jenis elektrolit, semakin tinggi suhu elektrolit semakin rendah berat jenis dan sebaliknya.
- e. Nilai jenis berat standart elektrolit tergantung dari pabrik pembuatnya.
- f. Umur baterai tergantung pada operasi dan pemeliharaan biasanya bisa mencapai 10 – 15 tahun.
- g. Tegangan pengisian per sel harus sesuai dengan petunjuk operasi dan pemeliharaan dari pabrik pembuat. Sebagai contoh adalah:
  - Pengisian awal (*Initial Charge*) : 2,7 Volt
  - Pengisian Floating : 2,18 Volt



- Pengisian Equalizing : 2,25 Volt
- Pengisian Boozting : 2,37 Volt
- Tegangan pengosongan per sel (*Discharge*) : 2,0 – 1,8 Volt

#### B. Baterai Basa / Alkali (*Alkaline Storage Battery*)

Baterai alkali bahan elektrolitnya adalah larutan alkali (*Potassium Hydroxide*) yang terdiri dari:

- a. Nickel iron alkaline battery Ni-Fe Battery.
- b. Nickel cadmium alkaline battery Ni Cd Battery

Pada umumnya yang paling banyak digunakan adalah baterai alkali admium ( Ni-Cd )

Ciri- ciri umum (tergantung pabrik pembuat) adalah sebagai berikut:

- a. Tegangan nominal per sel adalah 1,2 volt
- b. Nilai jenis berat elektroit tidak sebanding dengan kapasitas baterai.
- c. Umur baterai tergantung pada penggunaan dan perawatan, biasanya dapat mencapai 15 - 20 tahun.
- d. Tegangan pengisian per sel harus sesuai dengan petunjuk operasi dan pemeliharaan dari pabrik pembuat. Sebagai contoh adalah:
  - Pengisian awal (*Initial Charge*) : 1,6 – 1,9 Volt
  - Pengisian Floating : 1,40 – 1,42 Volt
  - Pengisian Equalizing : 1,45 Volt
- e. Tegangan pengosongan (*discharge*) = 1 volt

### 2.8.2 Kapasitas Baterai

Kapasitas baterai merupakan kemampuan baterai menyimpan daya listrik atau besarnya energi yang dapat disimpan dan dikeluarkan oleh baterai. Besarnya kapasitas, tergantung dari banyaknya bahan aktif pada plat positif maupun plat negatif yang bereaksi, dipengaruhi oleh jumlah plat tiap-tiap sel, ukuran, dan tebal plat, kualitas elektrolit serta umur baterai. Kapasitas energi suatu baterai dinyatakan dalam ampere jam (Ah), misalkan

kapasitas baterai 100 Ah 12 volt artinya secara ideal arus yang dapat dikeluarkan sebesar 5 ampere selama 20 jam pemakaian.

Besar kecilnya tegangan baterai ditentukan oleh besar / banyak sedikitnya sel baterai yang ada di dalamnya. Sekalipun demikian, arus hanya akan mengalir bila ada konduktor dan beban yang dihubungkan ke baterai. Kapasitas baterai juga menunjukkan kemampuan baterai untuk mengeluarkan arus (*discharging*) selama waktu tertentu, dinyatakan dalam Ah (*Ampere – hour*). Berarti sebuah baterai dapat memberikan arus yang kecil untuk waktu yang lama atau arus yang besar untuk waktu yang pendek. Pada saat baterai diisi (*charging*), terjadilah penimbunan muatan listrik. Jumlah maksimum muatan listrik yang dapat ditampung oleh baterai disebut kapasitas baterai dan dinyatakan dalam ampere jam (*Ampere - hour*), muatan inilah yang akan dikeluarkan untuk menyuplai beban ke pelanggan. Kapasitas baterai dapat dinyatakan dengan persamaan dibawah ini :

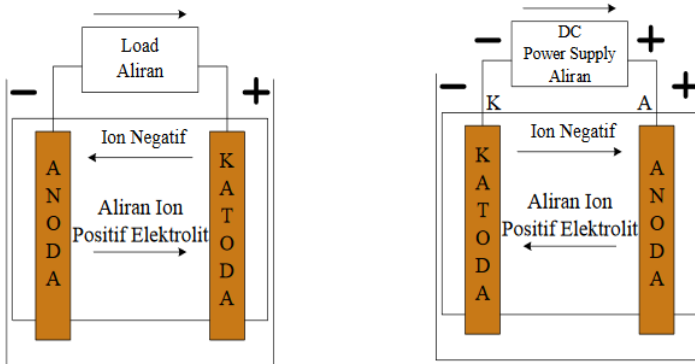
$$Ah = I \times t \quad (2.12)$$

Dimana

- Ah : Kapasitas baterai  
 I : Kuat Arus (*ampere*)  
 t : waktu (*hour*)

### 2.8.3 Prinsip Kerja Baterai

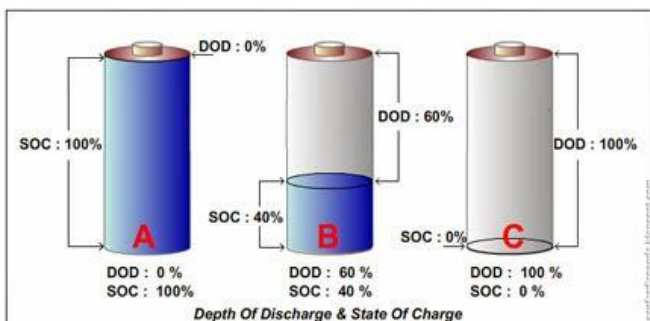
1. Proses pengosongan (*discharge*) pada sel berlangsung menurut gambar. Jika sel dihubungkan dengan beban maka, elektron mengalir dari anoda melalui beban melalui katoda, kemudian ion – ion negatif mengalir ke anoda dan ion – ion positif mengalir ke katoda.
2. Pada proses pengisian menurut gambar dibawah ini adalah bila sel dihubungkan dengan power supply maka elektroda positif menjadi anoda dan elektroda negatif menjadi katoda dan proses kimia yang terjadi adalah sebagai berikut:



**Gambar 2.10** Proses pengisian dan pengosongan baterai

#### 2.8.4 State of Charge

*State of Charge* diartikan sebagai sisa kapasitas di dalam sel baterai terhadap total kapasitas baterai dalam bentuk persentase. *State of Charge* merupakan parameter yang sangat penting pada performasi baterai karena pada bagian dalam baterai tidak dapat diakses sehingga SOC tidak dapat diukur secara langsung. Salah satu cara yang dapat dilakukan dengan mengestimasi pengukuran variasi pada baterai, seperti tegangan dan arus. Informasi SOC yang akurat sangat diperlukan sebagai gambaran dari performa baterai dan acuan untuk sistem manajemen baterai.



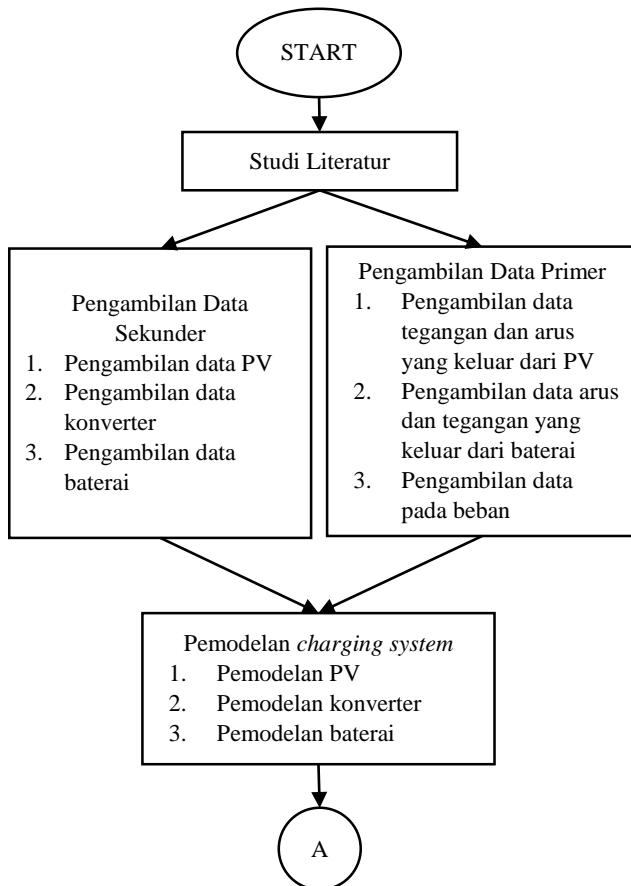
**Gambar 2.11** Total kapasitas baterai

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

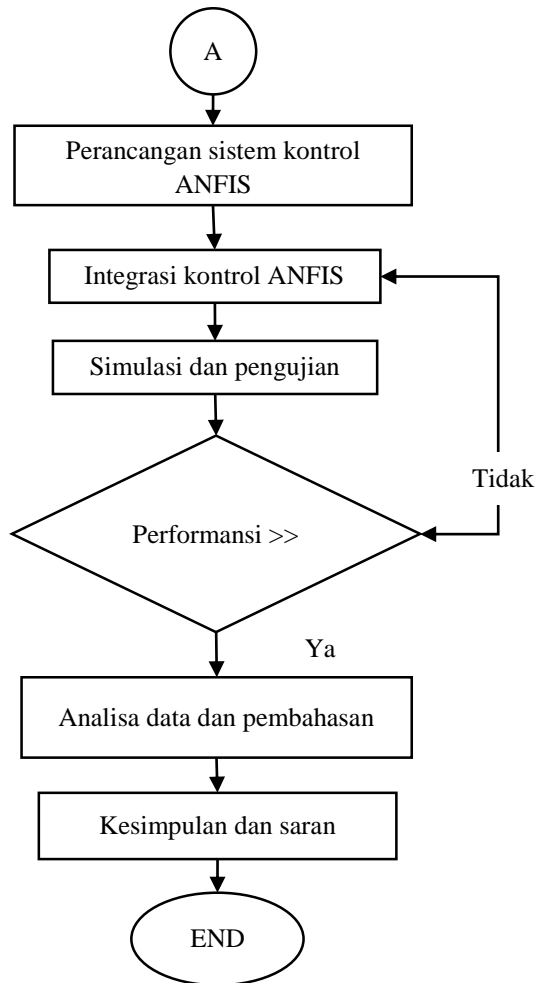
## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir

Penelitian Tugas Akhir yang dilakukan terdiri dari beberapa tahapan. Tahapan penelitian tersebut digambarkan dalam bentuk diagram alir sebagai berikut:



**Gambar 3.1** Diagram alir penelitian



**Gambar 3.2** Lanjutan diagram alir penelitian

### 3.2 Studi Literatur

Pada sebagai awal penelitian dilakukan studi literatur untuk membangun pemahaman awal hingga detail secara teoritis dan praktik dengan pencarian referensi baik dalam bentuk jurnal maupun makalah yang berkaitan dengan materi-materi yang mendukung pada penelitian ini, yaitu sistem *solar tracker* dan spesifikasinya, metode kontrol ANFIS, dan pemodelan sistem.

### 3.3 Pengambilan Data

Pengambilan data yang diperlukan dalam penelitian ini dibagi menjadi dua. Pengambilan data sekunder dan pengambilan data primer. Untuk pengambilan data sekunder meliputi pengambilan data PV, data konverter, dan data baterai. Untuk pengambilan data primer meliputi pengambilan data tegangan/arus yang keluar dari PV, data tegangan/arus yang keluar dari baterai, dan data pada beban/lampu.

#### 3.3.1 Pengambilan Data Panel Surya

Tahapan ini didapatkan masing-masing parameter dari data sekunder spesifikasi *photovoltaic* tipe TN-250M. Data spesifikasi *photovoltaic* adalah sebagai berikut :

**Tabel 3. 1** Spesifikasi Modul *Photovoltaic* Tipe TN-250M

Variabel Fotovoltaik	Nilai
<i>Maximum power at at STC (Pmp)</i>	250 W
<i>Optimum Operating Voltage (Vmp)</i>	30 V
<i>Optimum Operating Current (Imp)</i>	8,34 A
<i>Open circuit voltage (Voc)</i>	36,8 V
<i>Short Circuit Current (Isc)</i>	9 A
<i>Nominal Operating cell temperature</i>	45 ± 2°C
<i>Temperature coefficient of Pm (%)</i>	-0,47/ °C
<i>Temperature coefficient of Voc (%)</i>	-0,36/ °C
<i>Temperature coefficient of Isc (%)</i>	0,05%/K
<i>Operating temperature</i>	-40°C to 85°C
<i>Maximum system voltage</i>	1000 V DC
<i>Power Tolerance</i>	± 5%
<i>Surface maximum load capacity</i>	1/1600

Data pada tabel 3.1 dapat digunakan unntuk menghitung parameter-parameter dalam pemodelan *photovoltaic*.

### 3.3.2 Pengambilan Data Converter

Konverter DC-DC yang digunakan adalah konverter SEPIC yang dapat menghasilkan tegangan *output* lebih besar ataupun lebih kecil dibandingkan dengan tegangan input. Konverter SEPIC ini akan berperan sebagai *interface* antara modul fotovoltaik dengan beban. Penentuan spesifikasi konverter SEPIC dipengaruhi oleh beberapa parameter diantaranya tegangan dan arus input; tegangan dan arus *output*, frekuensi pensaklaran serta beban resistif nominal<sup>[13]</sup>. Spesifikasi konverter SEPIC yang digunakan ditampilkan pada Tabel 3.2

**Tabel 3.2** Spesifikasi konverter SEPIC<sup>[13]</sup>.

Parameter	Nilai
Vin	28 V
Vout nominal	14,55 V
Iout	3 A
Frekuensi pensaklaran	30 kHz
Induktor	0.322 mH
Kapasitor output	0,703 $\mu$ F
Beban resistif nominal	4.7 $\Omega$

### 3.3.3 Pengambilan Data Battery

Aki/Battery yang digunakan dalam penelitian ini yaitu memiliki spesifikasi sebagai berikut:

**Tabel 3.3** Spesifikasi Battery

Merk Baterai yang digunakan	Luminous
Jenis Baterai	Aki Lead Acid
Tegangan Nominal Baterai	12 Volt
Kapasitas Baterai	70 Ah
Dimensi	42x19x23 cm



### 3.3.4 Pengambilan Data Tegangan dan Arus Dari PV

Dilakukan pengambilan data tegangan dan arus yang keluar dari *photovoltaic* dengan menggunakan multimeter sebagai indikator keluaran arus dan tegangan dari *photovoltaic* dengan irradiasi dan suhu yang berbeda dan dengan rentang waktu pengambilan data satu dengan data berikutnya adalah 30 menit. Pengambilan data suhu, irradiasi matahari, arus dan tegangan diambil dari pukul 06.00 WIB hingga pukul 17.30 WIB.

**Tabel 3.4** Data tegangan dan arus PV *fixed*

No	Pukul	Suhu (°C)	Irradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)
1	06.00	28,2	32,7	0,52	28,78
2	06.30	28,8	60,3	0,62	28,83
3	07.00	34,2	133,5	1,02	28,94
4	07.30	40	248,2	1,82	29,02
5	08.00	40,2	251,5	2,40	29,21
6	08.30	47	558,2	3,73	29,49
7	09.00	46,4	635,9	5,57	29,54
8	09.30	46,6	644,2	5,90	29,48
9	10.00	48,8	538	5,51	29,59
10	10.30	59,2	876,2	6,36	29,79
11	11.00	59,2	819,5	7,80	29,81
12	11.30	58,4	912,5	7,90	29,81
13	12.00	60,2	789,4	7,88	29,69
14	12.30	56,4	749,4	7,12	29,60
15	13.00	54,8	620,2	6,53	29,50
16	13.30	53,8	592,4	5,81	29,45
17	14.00	52,2	583,2	5,47	29,38
18	14.30	47,2	470,9	4,97	29,18
19	15.00	46,6	271,6	3,61	29,03
20	15.30	37,2	194,7	2,52	28,92

**Tabel 3.4** Lanjutan

No	Pukul	Suhu (°C)	Irradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)
21	16.00	34,2	65,6	1,62	28,78
22	16.30	33	42,2	0,67	28,75
23	17.00	30,6	18,4	0,47	28,72
24	17.30	28,8	3,1	0,27	28,72

**Tabel 3.5** Data tegangan dan arus PV *tracking*

No	Pukul	Suhu (°C)	Irradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)
1	06.00	28,4	70,1	0,78	28,81
2	06.30	30,4	172,5	0,78	28,81
3	07.00	36,4	409,8	1,71	28,95
4	07.30	39,6	365,4	3,81	29,25
5	08.00	40,6	539,8	3,43	29,18
6	08.30	50,2	712,7	5,00	29,42
7	09.00	46	705,3	6,55	29,63
8	09.30	48,6	848,1	6,48	29,82
9	10.00	48,2	830,2	7,72	29,82
10	10.30	59	920,6	7,57	29,80
11	11.00	60,6	895,4	8,40	29,89
12	11.30	59	922,4	8,19	29,85
13	12.00	59,4	801,5	8,43	29,89
14	12.30	57,7	767,4	7,30	29,71
15	13.00	52,4	778,4	6,92	29,66
16	13.30	52,2	673,9	6,94	29,68
17	14.00	56,2	662,4	6,02	29,54
18	14.30	47,6	612,8	5,98	29,52
19	15.00	47	374,2	5,61	29,49
20	15.30	39,2	283,1	3,51	29,17

**Tabel 3.5** Lanjutan

No	Pukul	Suhu (°C)	Irradiasi (W/m <sup>2</sup> )	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)
21	16.00	32,6	79,6	2,71	29,07
22	16.30	32,6	94,4	0,87	28,81
23	17.00	32,2	47	0,97	28,82
24	17.30	28,6	3,7	0,57	28,76

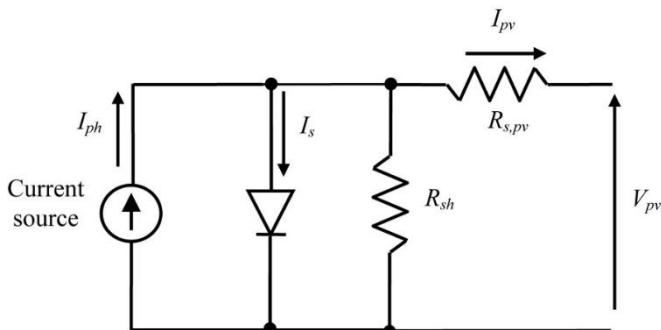
### 3.3.5 Pengambilan Data Tegangan dan Arus Dari *Battery*

Dilakukan pengambilan data tegangan dan arus yang keluar dari *battery* dengan menggunakan multimeter sebagai indikator keluaran arus dan tegangan dari *battery* pada proses *charging* dan dengan rentang waktu pengambilan data satu dengan data berikutnya adalah 30 menit.

### 3.4 Pemodelan *Charging System*

Pemodelan *Charging System* diturunkan menggunakan metode/pendekatan hukum-hukum fisika yang telah berlaku secara umum. Kemudian divalidasi melalui eksperimen dan *software* aplikasi. Beberapa komponen *charging* yang dimodelkan adalah PV panel, konverter dan baterai. Model matematik dari masing-masing komponen selanjutnya diimplementasikan dengan menggunakan simulink MATLAB.

#### 3.4.1 Pemodelan *Photovoltaic*



**Gambar 3. 3** Rangkaian Listrik dengan Single Diode

Pemodelan *Photovoltaic single* dioda menggunakan prinsip Hukum Kirchoff sehingga didapatkan keluaran arus dari modul *Photovoltaic*.

Pada Gambar 3.3 berdasarkan hukum kirchoff didapatkan persamaan :

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (3.1)$$

$$I = I_{ph} - I_0 \left( e^{\frac{V+IR_s}{nKT}} - 1 \right) - \frac{V+IR_s}{R_p} \quad (3.2)$$

Dimana :

I : Arus yang keluar dari sel fotovoltaik (A)

$I_{ph}$  : *Photocurrent* (A)

$I_0$  : Arus *reverse saturation* dari dioda (A)

q : Muatan elektron ( $1,602 \times 10^{-19}$  C)

T : Temperatur dalam Kelvin

V : Tegangan dioda (V)

K : Konstanta Boltzman ( $1,38 \times 10^{-23}$  J/K)

n : Faktor idealitas dari dioda

$R_s$  : Tahanan seri dari dioda

$R_p$  : Tahanan shunt dari dioda

- Parameter  $I_{ph}$

Parameter  $I_{ph}$  atau *photocurrent* dapat dihitung dengan persamaan (3.3) berikut ini.

$$I_{ph} = [I_{scr} + Ki(T - T_r)] \frac{S}{S_r} \quad (3.3)$$

Nilai *photocurrent* dihitung saat keadaan STC dengan temperatur 25°C dan radiasi 1000 W/m<sup>2</sup>.

Dimana :

I : Arus yang keluar dari sel fotovoltaik (A)

- $I_{ph}$  : Photocurrent  
 $I_{scr}$  : Short circuit current at reference temperature  
 $K_i$  : Koefisien cell's short-circuit current temperature (A/K)  
 $T$  : Temperatur (K)  
 $T_r$  : Temperatur *reference* dalam Kelvin (25)  
 $S$  : Radiasi solar sel ( $W/m^2$ )  
 $S_r$  : *Reference Solar Radiation* ( $1000 W/m^2$ )

- Parameter  $R_s$  dan  $R_p$   
 Parameter  $R_s$  dan  $R_p$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini

$$R_p = \frac{V(V+IR_s)}{\{VI-VI_o \exp\left[\left(\frac{q}{KT}\right)\frac{V+R_sI}{aNs}\right]+VI_o-P_{max,ex}\}} \quad (3.4)$$

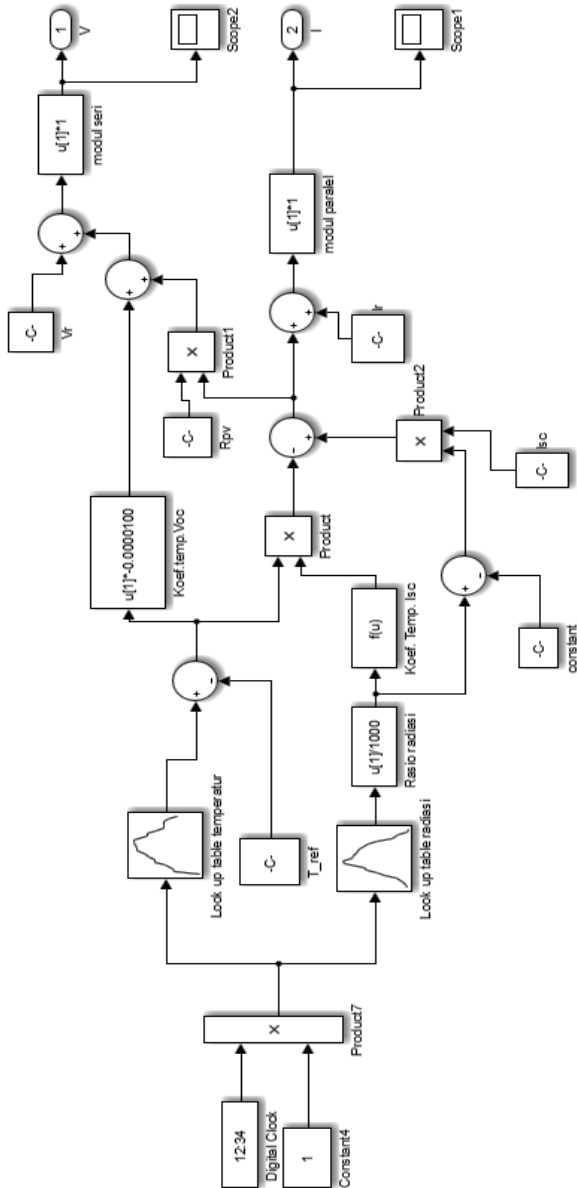
- Nilai I (arus)  
 Setelah didapat nilai pada masing-masing parameter yaitu  $I_{ph}$ ,  $I_d$ ,  $R_s$  dan  $R_p$  dilakukan perhitungan nilai I dengan memasukkan nilai parameter tersebut kedalam persamaan 3.5.

$$I = I_{ph} - I_o \left[ \exp\left(\frac{V+R_sI}{V_t a}\right) - 1 \right] - \frac{V+R_sI}{R_p} \quad (3.5)$$

$$V = V_n - \phi(T - T_{ref}) - R_{pv}(I - I_{in}) \quad (3.6)$$

I dan V dapat direpresentasikan sebagai fungsi radiasi dan temperatur seperti pada persamaan 3.5 dan 3.6. Nilai  $S_{ref} = 1000 W/m^2$ ,  $T_{ref} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Berdasarkan spesifikasi pemodelan matematis dari panel surya diatas dapat dilakukan pemodelan pada software matlab seperti pada gambar berikut.



Gambar 3. 4 Model Simulink Photovoltaic

### 3.4.2 Pemodelan *Converter*

Pemodelan dan simulasi konverter DC-DC dilakukan untuk mengetahui karakteristik konverter terhadap perubahan *duty cycle*. Perubahan *duty cycle* juga dipengaruhi oleh PWM. Pulse Width Modulation (PWM) secara umum adalah sebuah cara memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa dalam satu periode, untuk mendapatkan tegangan rata-rata yang berbeda. *Duty Cycle* merupakan representasi dari kondisi logika high dalam suatu periode sinyal dan di nyatakan dalam bentuk (%) dengan range 0% sampai 100%.

Komponen yang digunakan pada pemodelan *converter SEPIC* sesuai dengan nilai yang tertera pada Tabel 3.2. Saat simulasi digunakan tegangan input  $V_{in} = 28$  volt dan variasi *duty cycle* D dengan perubahan *step* dari 0.1 menuju 0.7. Hasil simulasi yang ditampilkan pada Tabel 3.6 menunjukkan bahwa konverter *SEPIC* yang dimodelkan telah sesuai dengan karakteristik.

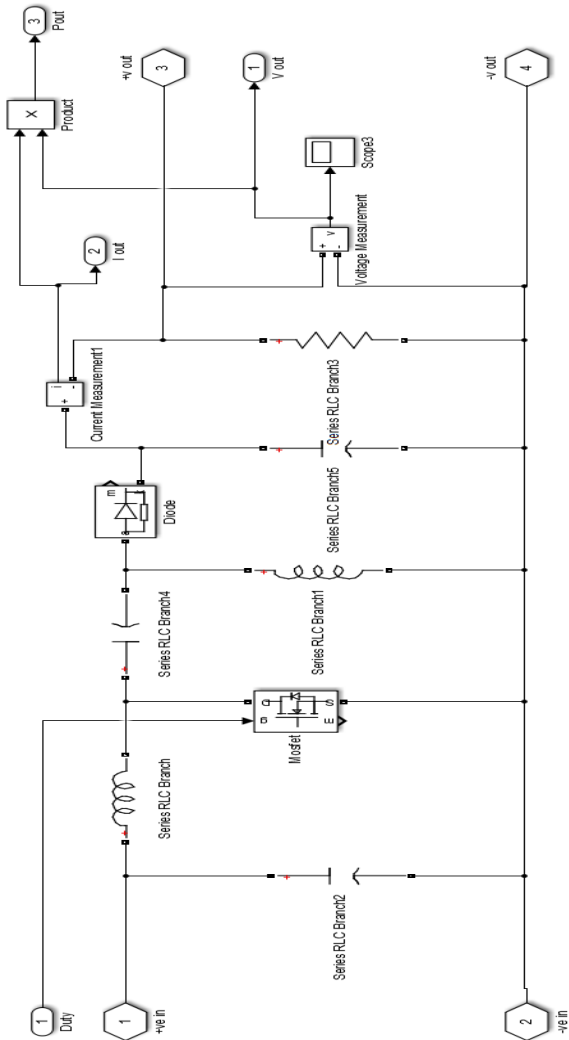
**Tabel 3.6** Hasil simulasi pengujian karakteristik konverter *SEPIC*.

No	Duty Cycle	$V_{in}$ (Volt)	$V_{out}$ (Volt)
1	0,1	28	5,964
2	0,2	28	8,584
3	0,3	28	14,59
4	0,4	28	17,1
5	0,5	28	20,07
6	0,6	28	26,71
7	0,7	28	27,51

Variabel yang dikontrol oleh kontroler adalah tegangan *output* konverter *SEPIC* atau tegangan *output* panel fotovoltaik. Untuk itu perlu diketahui perubahan *duty cycle* terhadap perubahan tegangan input konverter dengan cara memberikan variasi nilai input *duty cycle* secara *step* pada konverter *SEPIC*.

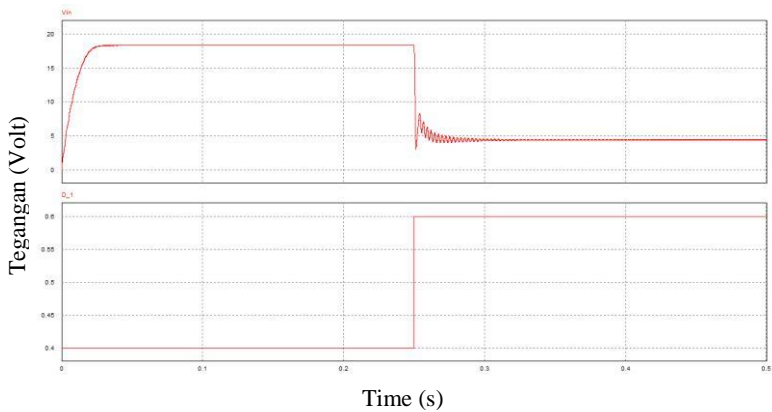
Tabel 3.6 menunjukkan hasil simulasi pengujian konverter *SEPIC* dengan *duty cycle* 0.1 sampai 0.7. Tujuan dari pengujian ini untuk mengetahui perubahan  $V_{out}$  disetiap perubahan *duty cycle*.

*Duty cycle* yang dapat diterima oleh sistem ini untuk mencapai set point 14,55 Volt adalah pada *duty cycle* 0.3.



**Gambar 3.5** Pemodelan rangkaian konverter *SEPIC*.





**Gambar 3.6** Respon  $V_{pv}$  terhadap perubahan step positif *duty cycle*.

Diketahui bahwa respon tegangan input konverter terbalik dengan perubahan *duty cycle* seperti pada Gambar 3.6. Saat diberikan *duty cycle* step positif, tegangan input konverter dc-dc menghasilkan step negatif. Oleh karena itu, nilai *setpoint* berupa  $V_{MPP}$  harus diberikan gain negatif dan  $V_{pv}$  harus diberikan *gain* positif.

### 3.4.3 Pemodelan *Battery*

*Battery* yang digunakan terdiri dari sel-sel dengan setiap sel memiliki tegangan sebesar 2,1 V. Sebagai pembuktian untuk indikator suatu baterai penuh maka dibuat pemodelan rangkaian baterai seperti pada gambar 3.7. persamaan yang digunakan pada rangkaian tersebut adalah:

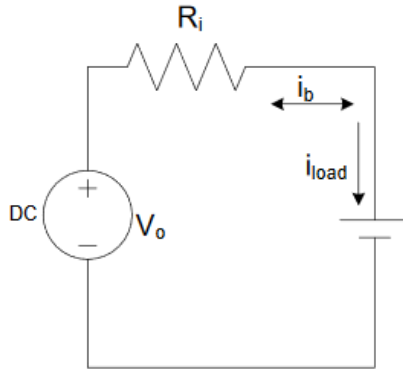
$$V_{bat} = V_0 - R_i \cdot i_b \quad (3.6)$$

Dengan :  $V_{bat}$  = Tegangan baterai (Volt)

$V_0$  = Tegangan internal baterai (Volt)

$R_i$  = Hambatan dalam (Ohm)

$i_b$  = Arus baterai (Ampere)



**Gambar 3. 7** Rangkaian baterai

Gambar 3.7 menunjukkan rangkaian dari baterai. Rangkaian tersebut terdiri dari tegangan sumber, hambatan dalam dari baterai, dan baterai. Dengan rangkaian tersebut, dapat diketahui berapa tegangan *charging* yang digunakan untuk mengisi baterai bermuatan kosong dengan 12 Volt, mengisi baterai penuh dengan tegangan 13,5 Volt.

Apabila baterai akan diisi dengan muatan listrik, maka ditentukan terlebih dahulu tahanan dalam dari baterai. Tahanan dalam dari baterai dapat dicari dengan persamaan :

$$rd = \frac{E-V}{I} \quad (3.7)$$

Dengan :  $r_d$  = Hambatan dalam (Ohm)  
 $E$  = Sumber tegangan baterai (Volt)  
 $V$  = Tegangan luar (Volt)  
 $I$  = Arus listrik yang timbul dalam rangkaian  
 (Ampere)

Perhitungan tahanan dalam baterai dapat dicari dengan persamaan

$$rd = \frac{E - V}{I} = \frac{13,5 \text{ Volt} - 12 \text{ Volt}}{7 \text{ Ampere}} = 0,21 \text{ Ohm}$$

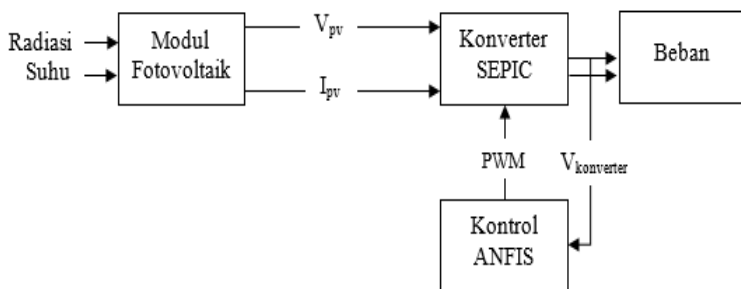
Tegangan 14,55 Volt diambil dari tegangan spesifikasi pabrik untuk baterai penuh dan 12 Volt diambil dari tegangan baterai kosong. Dengan demikian berapa tegangan *charging* yang diperlukan untuk mengisi baterai sampai penuh. Perhitungannya didapat dari penurunan persamaan

$$\begin{aligned} V_0 &= V_{bat} + R_i \cdot i_b \\ &= 13,5 \text{ Volt} + (0,21 \text{ Ohm} \times 7 \text{ Ampere}) \\ &= 14,58 \text{ Volt} \end{aligned}$$

Jadi untuk tegangan baterai 12 Volt dengan tegangan penuh 13,5 Volt dibutuhkan tegangan *charging* sebesar 14,58 Volt.

### 3.5 Diagram Blok Kontrol ANFIS

Kontrol ANFIS yang dirancang pada penelitian ini terdiri dari konverter SEPIC, kontroler ANFIS, sensor tegangan, dan baterai. Seperti telah dijelaskan pada subbab 3.4.2 bahwa konverter SEPIC mempunyai peran untuk mengubah-ubah nilai  $R_{eq}$  berdasarkan nilai *duty cycle* yang diterima. Kontroler ANFIS dalam hal ini akan melakukan penjejukan dengan memberikan output *duty cycle* tertentu sedemikian sehingga  $R_{eq} = R_{opt}$  dan kondisi steady tercapai. Input untuk kontroler ANFIS berupa tegangan panel fotovoltaik  $V_{PV}$  dan  $V_{MPP}$ . Input tegangan fotovoltaik berasal dari pembacaan sensor tegangan.



**Gambar 3.8** Diagram blok kontrol ANFIS

Blok kontrol ANFIS terdiri dari kontroler ANFIS, dan generator PWM seperti ditampilkan pada Gambar 3.8. input kontroler ANFIS berupa nilai error  $e$  dan selisih error  $\Delta e$  yang dinyatakan dengan persamaan.

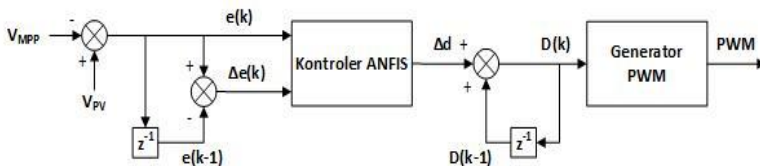
$$e(k) = V_{pv}(k) - V_{mpp}(k) \quad (3.8)$$

$$\Delta e(k) = e(k) - e(k - 1) \quad (3.9)$$

dimana  $e(k)$  adalah error saat ini dan  $e(k - 1)$  adalah error sebelumnya. Output yang dihasilkan berupa selisih *duty cycle*  $\Delta d$ . Nilai *duty cycle*  $D$  diperoleh dengan menggunakan persamaan.

$$D(k) = D(k - 1) + \Delta d(k) \quad (3.10)$$

dimana  $D(k)$  adalah *duty cycle* saat ini,  $D(k - 1)$  adalah *duty cycle* sebelumnya, dan  $\Delta d(k)$  adalah selisih *duty cycle* saat ini. Nilai  $D$  dengan rentang nilai 0-1 kemudian akan diubah menjadi nilai PWM oleh blok generator PWM. Mikrokontroler Arduino Mega 2560 mampu menghasilkan nilai PWM sebesar 8 bit sehingga diperoleh rentang nilai PWM sebesar 0-255.



**Gambar 3.9** Diagram blok kontrol ANFIS

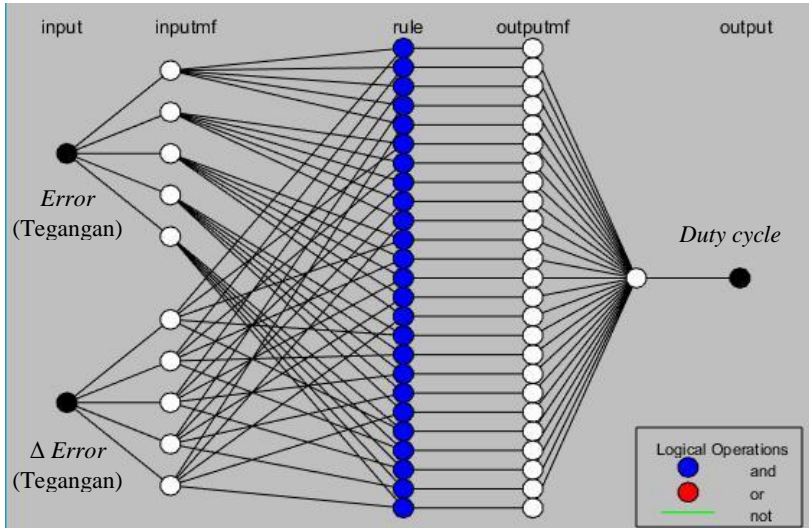
Generator PWM akan menghasilkan nilai PWM dengan *duty cycle* tertentu sebagai sinyal *switching* ON-OFF pada *switch*  $S$  seperti diilustrasikan pada gambar 2.blabla. Pada kenyataannya, MOSFET digunakan sebagai *switch* pada konverter DC-DC termasuk konverter SEPIC. PWM dengan *duty cycle* bernilai nol menyatakan MOSFET dalam keadaan *open* sedangkan *duty cycle* bernilai 1 (satu) menyatakan MOSFET dalam keadaan *short*.

Dengan demikian, dapat dinyatakan bahwa MOSFET bekerja layaknya seperti resistor variabel dengan nilai resistansi dari nol (0) – tak terhingga ( $\infty$ ) yang diatur berdasarkan nilai *duty cycle*. Input konverter SEPIC pada sistem biasanya dihubungkan dengan terminal modul fotovoltaik. Oleh karena itu, perubahan *duty cycle* pada konverter akan secara langsung mengubah  $R_{eq}$  pada terminal modul fotovoltaik. Perubahan  $R_{eq}$  ini akan mengubah titik kerja modul pada kurva I-V sehingga tegangan maupun arus modul fotovoltaik akan ikut berubah. Kontrol ANFIS akan memberikan nilai *duty cycle* sedemikian rupa sehingga nilai  $R_{eq} = R_{opt}$ . Pada keadaan demikian, modul fotovoltaik akan bekerja pada kondisi MPP.

### 3.6 Perancangan Sistem Kontrol ANFIS

ANFIS pada penelitian ini digunakan sebagai kontrol tegangan, agar *output* tegangan dari konverter SEPIC menghasilkan nilai *set point* sebesar kurang lebih 14,55 Volt. Input yang digunakan pada ANFIS terdiri 2 buah yaitu error dan selisih error  $\Delta$ . Output yang dihasilkan adalah nilai selisih *duty cycle*  $\Delta$ . Seperti halnya Jaringan Syarat Tiruan, ANFIS perlu diberikan pelatihan terlebih dahulu menggunakan pasangan data input-output. Pelatihan perlu dilakukan agar ANFIS mampu mempelajari informasi mengenai sekumpulan data tersebut. Saat proses pelatihan, dilakukan penyesuaian parameter-parameter premis dan konsekuen sehingga ANFIS mampu membentuk model yang sesuai dengan sekumpulan data pelatihan yang diberikan. Pada penelitian ini perancangan ANFIS dilakukan dengan bantuan ANFIS Editor GUI pada perangkat lunak MATLAB.

Struktur ANFIS terdiri dari lima buah lapisan yang memiliki fungsi berbeda-beda. Struktur ANFIS yang dibentuk ditampilkan pada Gambar 3.8. Pada lapisan kedua terdapat sekumpulan fungsi keanggotaan input untuk menentukan derajat keanggotaan nilai input yang diberikan. Selain itu pada lapisan keempat terdapat sekumpulan fungsi keanggotaan output untuk menentukan derajat pengaktifan (*firing strength*) dari setiap aturan-aturan (*rules*) pada lapisan kedua.



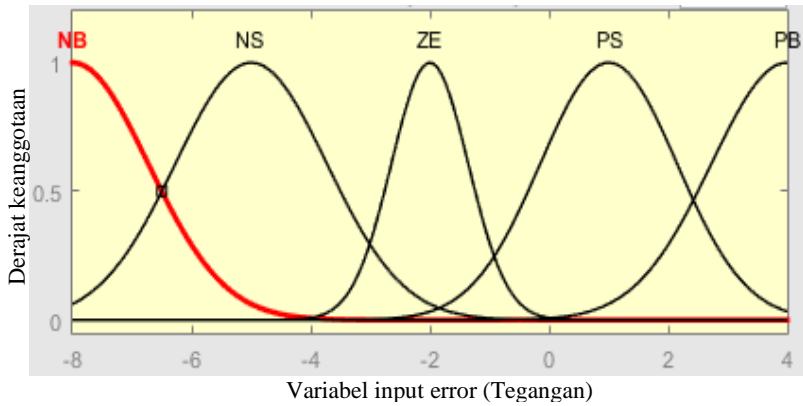
**Gambar 3.10** Struktur ANFIS.

Pada penelitian ini, fungsi keanggotaan dipilih sedemikian rupa sehingga hasil pelatihan memiliki error terkecil. Jenis fungsi keanggotaan input yang digunakan adalah tipe Gaussian (*gaussmf*) sebanyak 5 buah untuk masing-masing input. Persamaan fungsi keanggotaan Gaussian adalah

$$\mu(x) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} \quad (3.11)$$

dimana  $x$  adalah input,  $c$  adalah titik tengah fungsi Gauss dan  $\sigma$  adalah standar deviasi. Ketiga parameter ini dinamakan parameter premis adaptif. Parameter premis adaptif akan diubah-ubah selama proses pelatihan.

Setelah dilakukan pelatihan, diperoleh bentuk fungsi keanggotaan input dengan parameter-parameter yang sudah dioptimalkan seperti ditampilkan pada Gambar 3.11 untuk input error dan Gambar 3.12 untuk input selisih (delta) error.



**Gambar 3.11** Fungsi keanggotaan untuk input error hasil pelatihan

Input error hasil pelatihan terdiri dari 5 buah fungsi keanggotaan dengan parameter sebagai berikut:

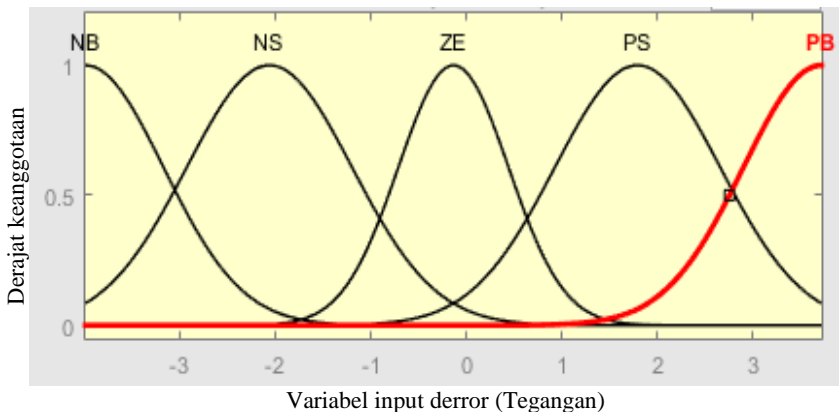
NB [ $\sigma = 1,274$ ;  $c = -8$ ]

NS [ $\sigma = 1,274$ ;  $c = -5$ ]

ZE [ $\sigma = 0,6462$ ;  $c = -2$ ]

PS [ $\sigma = 1,15$ ;  $c = 1,003$ ]

PB [ $\sigma = 1,274$ ;  $c = 4$ ]



**Gambar 3.12** Fungsi keanggotaan untuk input selisih error hasil pelatihan

Input selisih (derror) error hasil pelatihan terdiri dari 5 buah fungsi keanggotaan dengan parameter sebagai berikut:

NB [ $\sigma = 0,8185$ ;  $c = -3,987$ ]

NS [ $\sigma = 0,867$ ;  $c = -2,061$ ]

ZE [ $\sigma = 0,5779$ ;  $c = -0,1335$ ]

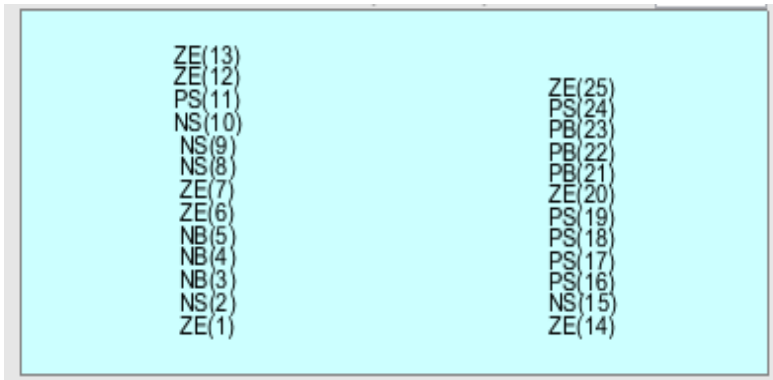
PS [ $\sigma = 0,867$ ;  $c = 1,794$ ]

PB [ $\sigma = 0,8185$ ;  $c = 3,72$ ]

Fungsi keanggotaan output yang digunakan adalah

$$f = c \quad (3.12)$$

dimana  $c$  adalah parameter konsekuen adaptif berbentuk konstanta (orde 0). Seperti halnya parameter premis, parameter konsekuen pada fungsi keanggotaan output juga akan diubah-ubah selama proses pelatihan.



Variabel output (*Duty Cycle*)

**Gambar 3.13** Fungsi keanggotaan output hasil pelatihan

Setelah dilakukan pelatihan, diperoleh 25 buah fungsi keanggotaan output dengan parameter konsekuen sebagai berikut:

ZE(1) [0,3601]

NS(2) [0,36]

NB(3) [0,3594]

NB(4) [0,3839]



NB(5)	[-0,01119]	PS(16)	[0,2679]
ZE(6)	[0,3599]	PS(17)	[0,419]
ZE(7)	[0,36]	PS(18)	[0,3963]
NS(8)	[0,3622]	PS(19)	[0,02502]
NS(9)	[0,02593]	ZE(20)	[6,564E-06]
NS(10)	[-0,0141]	PB(21)	[0,03943]
PS(11)	[0,3636]	PB(22)	[0,423]
ZE(12)	[0,3643]	PB(23)	[0,2744]
ZE(13)	[0,2145]	PS(24)	[0,003175]
ZE(14)	[0,001097]	ZE(25)	[6,487E-07]
NS(15)	[-5,696E-05]		

Aturan-aturan (*rules*) yang terbentuk setelah pelatihan berjumlah sebanyak 25 buah dengan bentuk sebagai berikut:

*Jika x adalah a dan y adalah b maka f=c*

Basis aturan yang digunakan disajikan pada Tabel 3.5.

**Tabel 3.7** Basis aturan pada lapisan kedua

		e				
		NB	NS	ZE	PS	PB
$\Delta e$	NB	ZE(1)	ZE(6)	PS(11)	PS(16)	PB(21)
	NS	NS(2)	ZE(7)	ZE(12)	PS(17)	PB(22)
	ZE	NB(3)	NS(8)	ZE(13)	PS(18)	PB(23)
	PS	NB(4)	NS(9)	ZE(14)	PS(19)	PS(24)
	PB	NB(5)	NS(10)	NS(15)	ZE(20)	ZE(25)

Keterangan:

e : error tegangan

$\Delta e$  : selisih error tegangan saat ini dan sebelumnya

NB : *Negative Big*

NS : *Negative Small*

ZE : *Zero*

PS : *Positive Small*

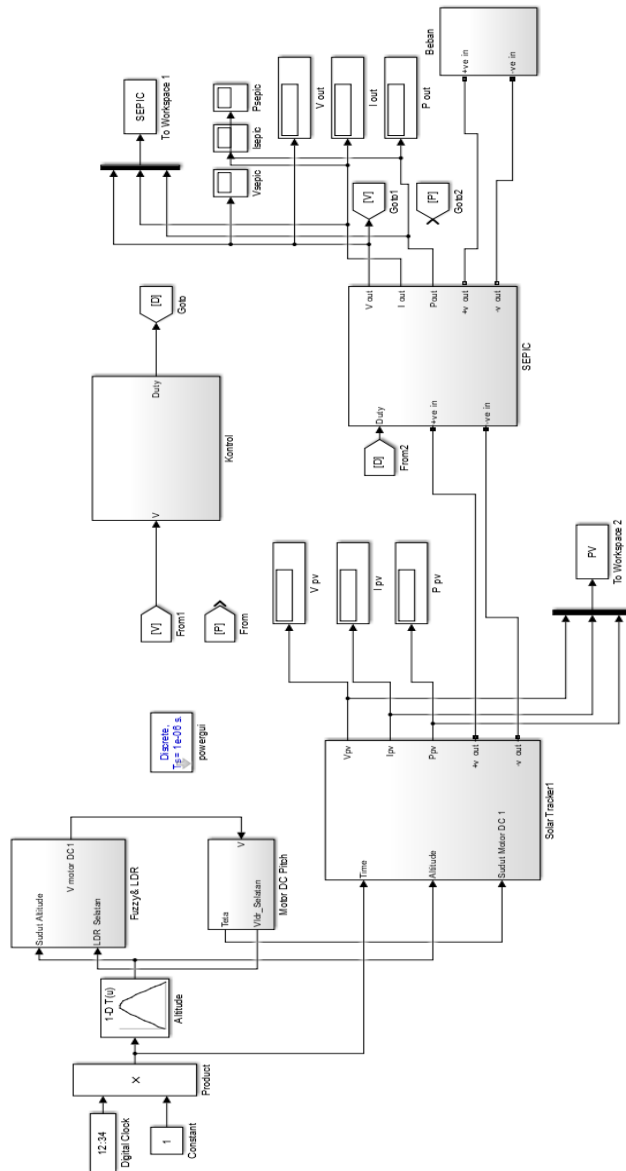
PB : *Positive Big*

Setelah pelatihan selesai dilaksanakan maka ANFIS siap digunakan untuk proses inferensi. Pada lapisan kedua, derajat keanggotaan setiap fungsi keanggotaan akan diperoleh sesuai dengan input error dan selisih error yang diberikan. Selanjutnya derajat pengaktifan untuk setiap *fuzzy rule* akan diberikan dengan mengalikan setiap derajat keanggotaan sesuai dengan persamaan 2.8. Pada lapisan ketiga derajat pengaktifan yang telah diperoleh akan dinormalisasikan menggunakan formulasi seperti pada persamaan 2.9. Pada lapisan keempat derajat pengaktifan ternormalisasi pada setiap simpul akan dikalikan dengan parameter konsekuen menggunakan persamaan 2.10. Akhirnya pada lapisan kelima seluruh keluaran dari simpul-simpul sebelumnya akan dijumlahkan dan diperoleh hasil inferensi berupa selisih *duty cycle*.

### 3.7 Integrasi Sistem Kontrol ANFIS

Integrasi sistem kontrol ANFIS secara keseluruhan dilakukan dengan menggabungkan model modul *photovoltaic* dengan model konverter SEPIC. Blok kontroler ANFIS kemudian ditambahkan untuk mengatur *duty cycle* konverter SEPIC sesuai dengan kondisi iklim yaitu cuaca cerah dan cuaca mendung sehingga modul *photovoltaic* dapat menjejak tegangan konstan yang dihasilkan oleh konverter SEPIC untuk proses pengisian baterai. Untuk mengetahui unjuk kerja kontroler ANFIS dalam menjalankan aksi menjejak tegangan konstan, diberikan variasi input step nilai radiasi matahari dan suhu modul *photovoltaic*.

Simulasi dilakukan menggunakan bantuan perangkat lunak MATLAB simulink. Pemodelan subsistem *photovoltaic*, Konverter SEPIC, dan Kontrol ANFIS dilakukan menggunakan MATLAB simulink. Seperti pada gambar 3.14 yang menggambarkan tentang simulink pemodelan subsistem *charging system*.



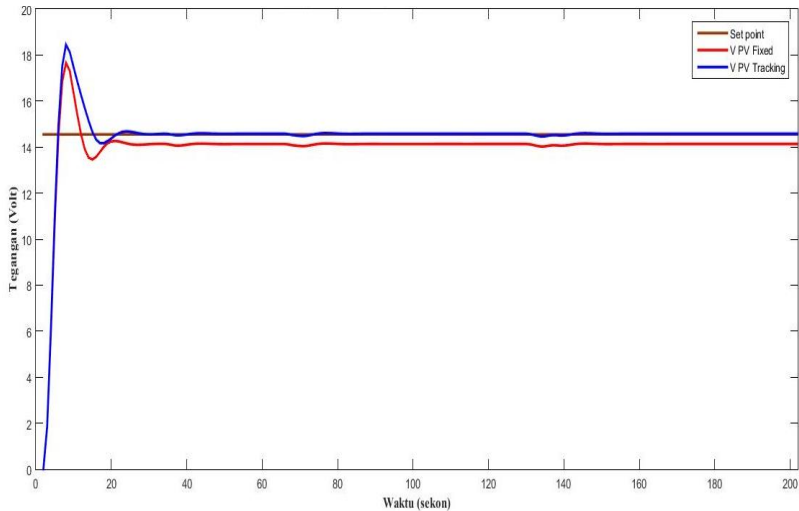
**Gambar 3.14** Simulasi kontrol ANFIS pada *charging system*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Simulasi Uji Tegangan *Output SEPIC Converter*

Pada simulasi ini akan diketahui unjuk kerja kontrol ANFIS dalam melakukan kontrol tegangan pada berbagai variasi kondisi iklim. Tegangan yang keluar dari konverter  $\geq 14,55$  Volt agar tegangan yang keluar mampu melakukan pengisian ke baterai. Metode pengisian baterai yang digunakan adalah metode *constant voltage charging*.



**Gambar 4.1** Penjejukan tegangan PV *fixed* dan *tracker*

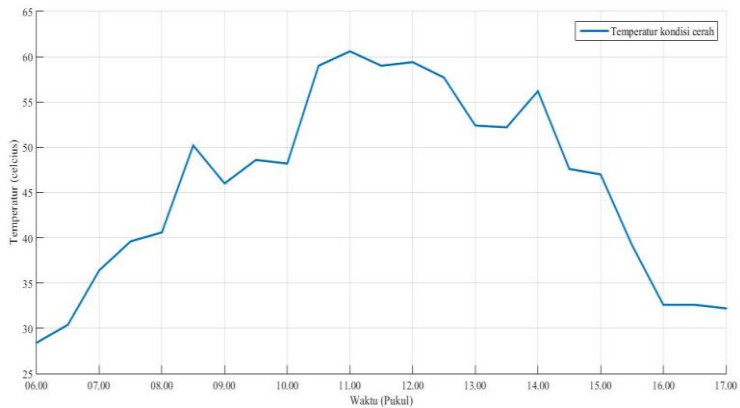
Gambar 4.1 memperlihatkan hasil simulasi uji tegangan menggunakan kontrol ANFIS. Hasil simulasi diperoleh dari pengambilan data dengan kondisi cerah pada tanggal 25 april dengan pengambilan data dimulai dari jam 06.00 WIB. Dari hasil respon tersebut dapat diketahui nilai *rise time*, *peak time*, *maximum overshoot*, dan *settling time*. Dimana *rise time* adalah ukuran waktu yang di ukur mulai dari respon  $t = 0$  sampai dengan respon memotong sumbu *steady state* yang pertama. *Peak time* adalah

waktu yang diperlukan untuk mencapai *peak* pertama, atau maksimum. *Maximum overshoot* adalah Nilai relatif yang menyatakan perbandingan antara nilai maksimum respon (*overshoot*) yang melampaui nilai *steady state* dibanding dengan nilai *steady state*. *Settling time* adalah besarnya waktu yang diperlukan oleh osilasi teredam (*damped*) transien untuk bertahan  $\pm 2\%$  nilai akhir. Sumbu (x) menyatakan waktu (sekon) dan sumbu (y) menyatakan tegangan (volt). Garis coklat adalah *set point* yaitu berupa tegangan konstan bernilai 14,55 Volt, sedangkan garis merah adalah hasil respon kontrol tegangan dari perancangan kontrol ANFIS menggunakan *photovoltaic fixed*. Dan untuk garis biru adalah hasil respon kontrol tegangan dari perancangan kontrol ANFIS menggunakan *photovoltaic solar tracker*. Hasil pengujian diketahui bahwa kontrol ANFIS pada *photovoltaic solar tracker* dapat mengontrol tegangan yang keluar dari konverter agar tidak kurang dari 14,55 Volt. Pada respon penjejukan tegangan pada PV *fixed* didapatkan nilai *rise time* yaitu sebesar 0,0028 detik dan nilai *peak time* sebesar 0,008 detik sedangkan untuk nilai *settling time* didapatkan sebesar 0,0173 sekon dan nilai *maximum overshoot* 0,023% dan untuk nilai *error steady state* 3,065%. Pada respon penjejukan tegangan pada PV *solar tracker* didapatkan nilai *rise time* yaitu sebesar 0,0028 detik dan nilai *peak time* sebesar 0,008 detik sedangkan untuk nilai *settling time* didapatkan sebesar 0,0193 sekon untuk nilai *maximum overshoot* 0,027% dan untuk nilai *error steady state* 0,204%. Hal ini menunjukkan bahwa perancangan kontrol ANFIS bisa dikatakan cukup berhasil dalam mengontrol tegangan dalam kondisi iklim untuk selanjutnya melakukan pengisian ke baterai.

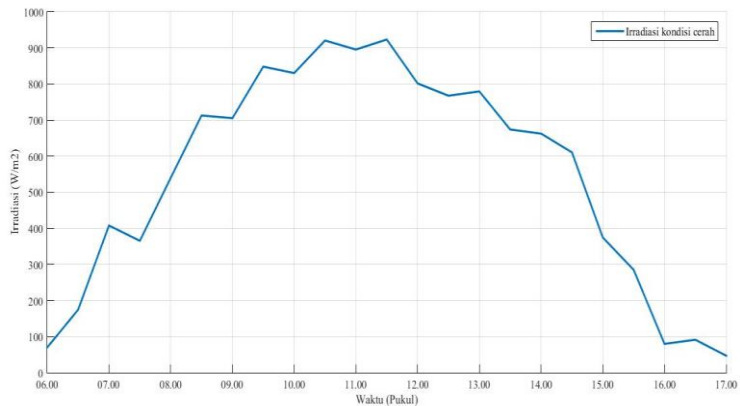
#### **4.2 Simulasi *Charging* Kontrol ANFIS dengan Variasi Kondisi Klimatik**

Simulasi ini dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja dari kontroler ANFIS yang telah dirancang dalam melakukan kontrol tegangan dengan variasi kondisi iklim yaitu cerah dan berawan sedikit mendung. Menggunakan data irradiansi matahari dan suhu panel yang telah dijabar pada tabel 3.2, kemudian masing-masing

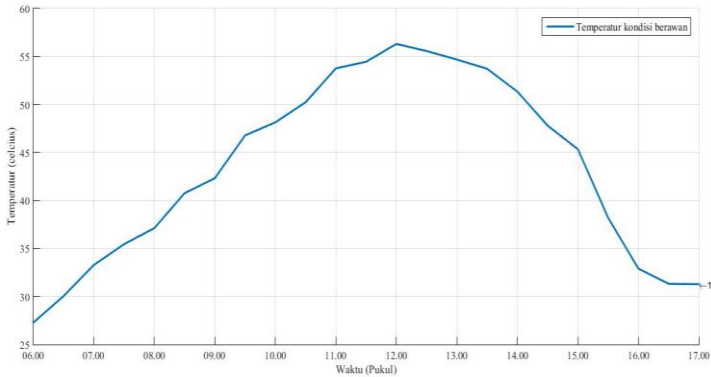
nilai dari irradiansi matahari dan suhu di konversikan ke dalam *lookup table* yang ada pada MATLAB. Hasilnya ditunjukkan pada gambar 4.2 yang menunjukkan profil suhu panel kondisi cerah, gambar 4.3 yang menunjukkan profil irradiansi pada kondisi cerah, gambar 4.4 yang menunjukkan profil suhu panel kondisi mendung dan gambar 4.5 yang menunjukkan profil irradiansi matahari pada kondisi mendung.



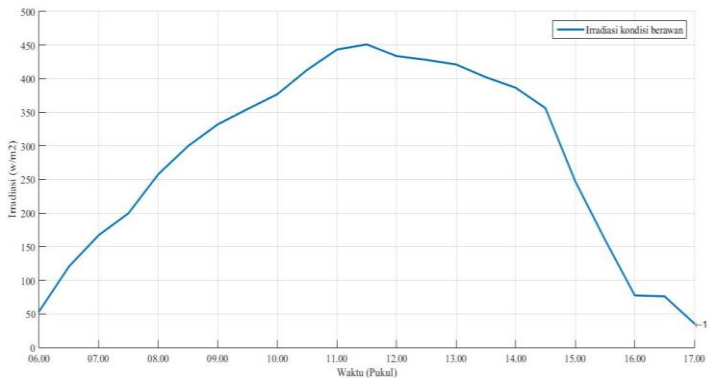
**Gambar 4.2** Profil temperatur panel PV kondisi cerah



**Gambar 4.3** Profil irradiansi matahari kondisi cerah



**Gambar 4.4** Profil temperatur panel PV kondisi berawan

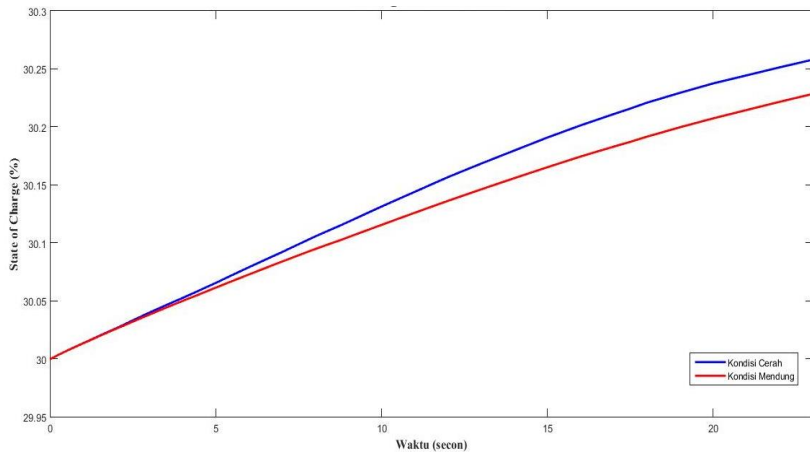


**Gambar 4.5** Profil irradiasi matahari kondisi berawan

Gambar 4.3 memperlihatkan profil irradiasi matahari pada kondisi cerah dan gambar 4.5 memperlihatkan profil irradiasi matahari pada kondisi mendung dan gambar 4.2 memperlihatkan profil suhu panel PV pada kondisi cerah dan gambar 4.4 memperlihatkan suhu panel PV pada kondisi mendung, dengan masing-masing profil dilakukan selama 11 jam operasi pada *lookup table* MATLAB. Sumbu (x) untuk keempatnya menyatakan waktu (sekon) dan sumbu (y) menyatakan besarnya irradiasi ( $W/m^2$ ) untuk gambar 4.3 dan 4.5 dan menyatakan besarnya suhu ( $^{\circ}C$ ) untuk gambar 4.2 dan 4.4. *Time range* di setting selama 23



detik, dengan maksud setiap 1 detik pada simulasi yang dilakukan sama artinya dengan setengah jam. Saat detik ke nol kondisinya saat irradiasi dan suhu panel pada pukul 06.00, saat detik pertama artinya kondisi saat irradiasi dan suhu panel saat pukul 06.30 dan begitu seterusnya sampai detik ke 23.



**Gambar 4.6** Hasil simulasi pengisian baterai dengan variasi kondisi klimatik

Gambar 4.6 memperlihatkan hasil simulasi pengisian baterai kontrol ANFIS dengan variasi kondisi klimatik. Sumbu (x) menyatakan waktu (sekon) dan sumbu (y) menyatakan *state of charge* (rasio dari total kapasitas energi yang dapat digunakan oleh sebuah baterai dengan kapasitas baterai seluruhnya). Garis warna biru menyatakan pengisian baterai dengan kondisi cuaca cerah, sedangkan garis warna merah menyatakan adalah pengisian baterai dengan kondisi cuaca mendung. Terlihat respon pengisian baterai pada kondisi cerah lebih tinggi dibanding pada kondisi mendung. Hal tersebut dimungkinkan output tegangan yang dihasilkan PV pada kondisi mendung lebih rendah, sehingga berpengaruh pula terhadap proses pengisian baterai. Pengisian baterai pada kondisi cerah mencapai 30,26%, sedangkan pengisian baterai pada kondisi

mending mencapai 30,23% dengan kondisi baterai mula-mula 30%.

#### 4.3 Simulasi Pengujian Proses *Charging* Kontrol ANFIS Pada Kondisi *Fixed* dan *Tracker*

Pengujian ini dilakukan dengan maksud untuk mengetahui seberapa besar potensi energi surya yang digunakan untuk proses pengisian baterai berkapasitas 7Ah menggunakan panel surya 250Wp. Pengujian dilakukan dengan menggunakan dua buah panel PV yang mempunyai spesifikasi sama, dengan konfigurasi satu panel diberi perlakuan secara *tracker*, yaitu modul PV diarahkan untuk mengikuti arah datangnya cahaya matahari, sedangkan panel satu lagi dalam kondisi *fixed*. Data hasil simulasi kontrol ANFIS pada kondisi *fixed* dan *tracker* ditampilkan pada tabel 4.1 dan tabel 4.2.

**Tabel 4.1** Data Uji Simulasi PV *Fixed*

No	Pukul	Arus Panel Surya (Ampere)	Arus Pengisian (Ampere)	Teg. Panel Surya (Volt)	Teg. Output SEPIC (Volt)	Teg. Output Baterai (Volt)	SOC (%)
0	06.00	0,518	0,00013	28,783	14,106	12,881	30,000
1	06.30	0,618	2,913	28,832	14,158	13,112	30,010
2	07.00	1,015	2,872	28,939	14,207	13,228	30,020
3	07.30	1,815	2,846	29,018	14,260	13,293	30,029
4	08.00	2,395	2,912	29,213	14,335	13,354	30,038
5	08.30	3,725	3,164	29,488	14,503	13,409	30,048
6	09.00	5,570	3,100	29,542	14,531	13,488	30,058
7	09.30	5,899	2,909	29,477	14,497	13,539	30,068
8	10.00	5,510	2,856	29,588	14,502	13,571	30,078
9	10.30	6,357	3,128	29,794	14,661	13,598	30,087
10	11.00	7,802	3,065	29,813	14,671	13,660	30,097
11	11.30	7,901	2,980	29,811	14,670	13,692	30,107
12	12.00	7,884	2,770	29,691	14,608	13,720	30,117
13	12.30	7,121	2,609	29,603	14,563	13,731	30,126

**Tabel 4.1** Lanjutan

No	Pukul	Arus Panel Surya (Ampere)	Arus Pengisian (Ampere)	Teg. Panel Surya (Volt)	Teg. Output SEPIC (Volt)	Teg. Output Baterai (Volt)	SOC (%)
14	13.00	6,526	2,441	29,502	14,510	13,741	30,134
15	13.30	5,810	2,346	29,455	14,486	13,747	30,142
16	14.00	5,472	2,067	29,384	14,384	13,755	30,149
17	14.30	4,970	1,865	29,183	14,304	13,753	30,156
18	15.00	3,613	1,740	29,030	14,266	13,746	30,162
19	15.30	2,515	1,577	28,917	14,208	13,745	30,167
20	16.00	1,617	1,395	28,779	14,136	13,743	30,172
21	16.30	0,674	1,345	28,748	14,136	13,734	30,176
22	17.00	0,471	1,301	28,723	14,108	13,735	30,180
23	17.30	0,272	1,301	28,723	14,099	13,738	30,184

**Tabel 4.2** Data Uji Simulasi PV *Tracker*

No	Pukul	Arus Panel Surya (Ampere)	Arus Pengisian (Ampere)	Teg. Panel Surya (Volt)	Teg. Output SEPIC (Volt)	Teg. Output Baterai (Volt)	SOC (%)
0	06.00	0,777	0,00013	28,808	14,550	12,881	30,000
1	06.30	0,779	4,033	28,808	14,648	13,184	30,014
2	07.00	1,707	3,809	28,946	14,805	13,343	30,027
3	07.30	3,809	3,969	29,252	14,781	13,444	30,040
4	08.00	3,432	3,713	29,182	14,882	13,510	30,053
5	08.30	5,004	3,815	29,423	15,019	13,578	30,066
6	09.00	6,547	3,978	29,630	15,022	13,654	30,079
7	09.30	6,479	3,847	29,818	15,120	13,704	30,092
8	10.00	7,717	3,969	29,818	15,052	13,758	30,106
9	10.30	7,570	3,718	29,796	15,156	13,786	30,118
10	11.00	8,395	3,870	29,886	15,136	13,830	30,131
11	11.30	8,188	3,739	29,848	15,160	13,857	30,144
12	12.00	8,432	3,731	29,892	15,065	13,883	30,157

**Tabel 4.2** Lanjutan

No	Pukul	Arus Panel Surya (Ampere)	Arus Pengisian (Ampere)	Teg. Panel Surya (Volt)	Teg. Output SEPIC (Volt)	Teg. Output Baterai (Volt)	SOC (%)
13	12.30	7,300	3,446	29,714	15,036	13,890	30,168
14	13.00	6,917	3,340	29,660	15,049	13,899	30,180
15	13.30	6,945	3,331	29,684	14,972	13,915	30,191
16	14.00	6,016	3,110	29,540	14,890	13,917	30,201
17	14.30	5,984	2,905	29,520	14,907	13,914	30,211
18	15.00	5,607	2,922	29,492	14,774	13,922	30,221
19	15.30	3,513	2,567	29,168	14,722	13,912	30,229
20	16.00	2,709	2,439	29,070	14,582	13,905	30,238
21	16.30	0,869	2,093	28,807	14,590	13,888	30,244
22	17.00	0,969	2,112	28,823	14,558	13,889	30,251
23	17.30	0,570	2,021	28,762	14,550	13,889	30,258

Data pada tabel 4.1 menunjukkan hasil uji simulasi PV panel *fixed* yang terdiri dari arus pengisian, tegangan panel surya, tegangan keluaran konverter SEPIC, tegangan pengisian ke baterai, dan *state of charge* pada baterai dan data pada tabel 4.2 menunjukkan hasil uji simulasi PV *tracker*. Terlihat bahwa disemua waktu nilai pengisian baterai yang dihasilkan oleh PV *solar tracker* lebih besar daripada PV *fixed*. Hal tersebut bisa terjadi karena sistem panel PV *tracker* selalu bergerak mengikuti posisi matahari yang membuat arus dan tegangan yang didapatkan akan lebih besar daripada PV *fixed*.

**Tabel 4.3** Perbandingan *State of Charge* Sistem Panel PV *Fixed* dan *Tracker*

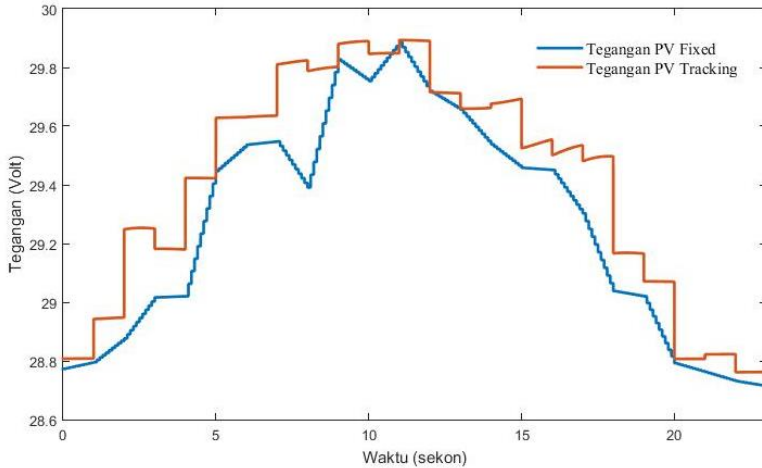
No	Pukul	SOC PV <i>Fixed</i>	SOC PV <i>Tracker</i>	Peningkatan Pengisian (%)
0	06.00	30,000	30,000	0%
1	06.30	30,010	30,014	0,01%

**Tabel 4.3** Lanjutan

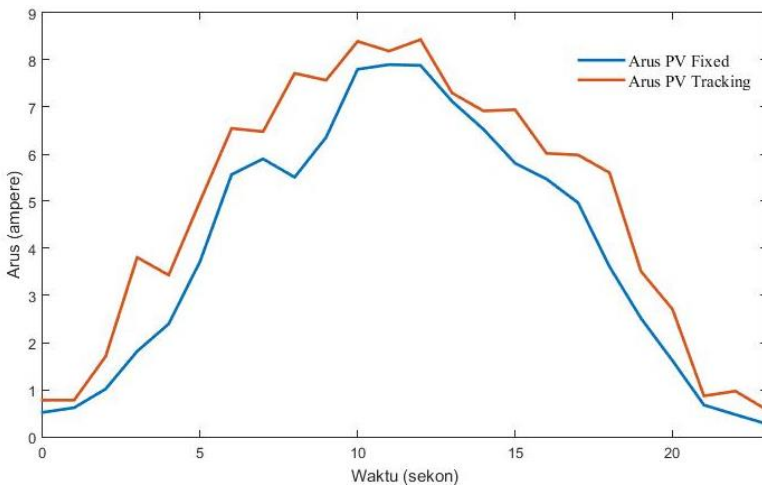
No	Pukul	SOC PV <i>Fixed</i>	SOC PV <i>Tracker</i>	Peningkatan Pengisian (%)
2	07.00	30,020	30,027	0,02%
3	07.30	30,029	30,040	0,04%
4	08.00	30,038	30,053	0,05%
5	08.30	30,048	30,066	0,06%
6	09.00	30,058	30,079	0,07%
7	09.30	30,068	30,092	0,08%
8	10.00	30,078	30,106	0,09%
9	10.30	30,087	30,118	0,10%
10	11.00	30,097	30,131	0,11%
11	11.30	30,107	30,144	0,12%
12	12.00	30,117	30,157	0,13%
13	12.30	30,126	30,168	0,14%
14	13.00	30,134	30,180	0,15%
15	13.30	30,142	30,191	0,16%
16	14.00	30,149	30,201	0,17%
17	14.30	30,156	30,211	0,18%
18	15.00	30,162	30,221	0,20%
19	15.30	30,167	30,229	0,21%
20	16.00	30,172	30,238	0,22%
21	16.30	30,176	30,244	0,23%
22	17.00	30,180	30,251	0,24%
23	17.30	30,184	30,258	0,25%
			Rata-rata	0,13%

Tabel 4.3 menyajikan hasil perbandingan pengisian baterai (*state of charge*) yang diperoleh untuk *state of charge* PV *fixed* dan *state of charge* PV *solar tracker* pada setiap setengah jamnya. Didapatlah sistem panel PV *solar tracker* mengalami peningkatan

pada saat pengisian baterai sebesar 0,13% selama 11 jam operasional relatif terhadap sistem panel PV *fixed*.



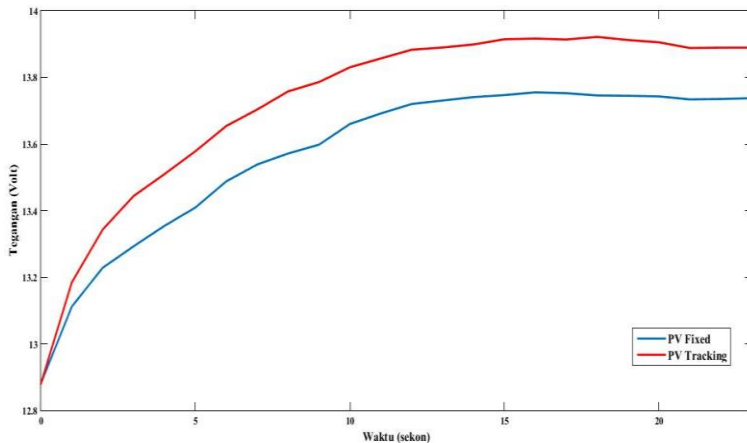
**Gambar 4.7** Tegangan PV *fixed* dan tracker



**Gambar 4.8** Arus PV *fixed* dan tracker

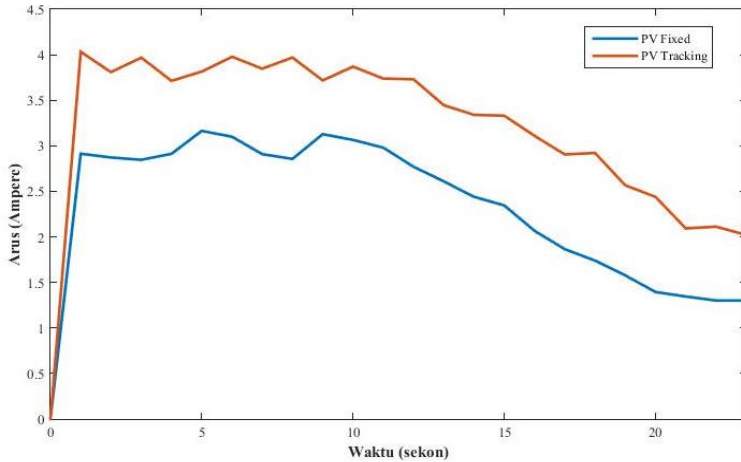
Gambar 4.7 menunjukkan tegangan yang dihasilkan dari *photovoltaic* antara *photovoltaic fixed* dan *photovoltaic solar tracker*. Dan gambar 4.8 menunjukkan arus yang dihasilkan dari *photovoltaic* antara *photovoltaic fixed* dan *photovoltaic solar tracker* dengan kondisi cerah.

Tegangan pengisian yang ditunjukkan gambar 4.9 pada *photovoltaic solar tracker* memiliki nilai tegangan lebih tinggi daripada *photovoltaic fixed*. Hal tersebut dikarenakan PV *solar tracker* lebih maksimum dalam menjejak posisi matahari sehingga tegangan yang dihasilkan lebih tinggi dari PV panel *fixed*.

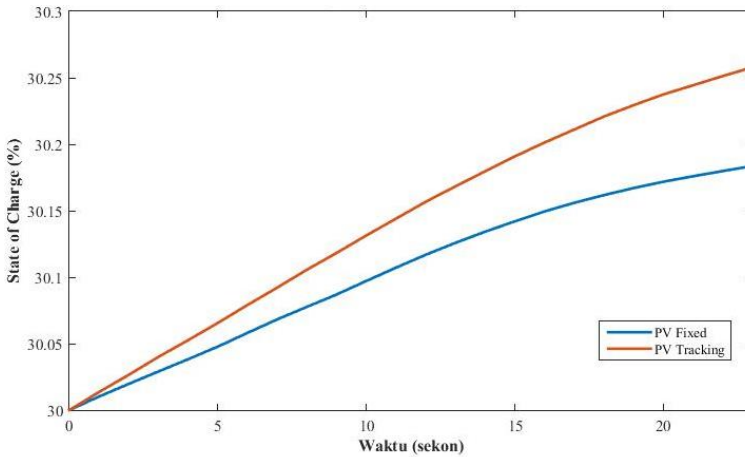


**Gambar 4.9** Tegangan PV *fixed* dan *tracker* pada saat pengisian

Pada Gambar 4.10 dapat diamati bahwa semakin besar kuat arus pada saat proses *charging*, maka semakin cepat pengisian baterai dilakukan. Hal ini dikarenakan energi listrik yang dialirkan dengan arus listrik yang besar lebih banyak dan lebih cepat dibandingkan dengan kuat arus yang kecil. Hal tersebut juga dapat disebabkan karena pada *photovoltaic solar tracker* satu pros mampu menjejak irradiansi matahari dan suhu panel surya selalu tegak lurus sehingga arus yang didapat lebih maksimum.



**Gambar 4.10** Arus PV *fixed* dan *tracker* pada saat pengisian



**Gambar 4.11** Perbandingan Pengisian baterai PV *fixed* dan *solar tracker*

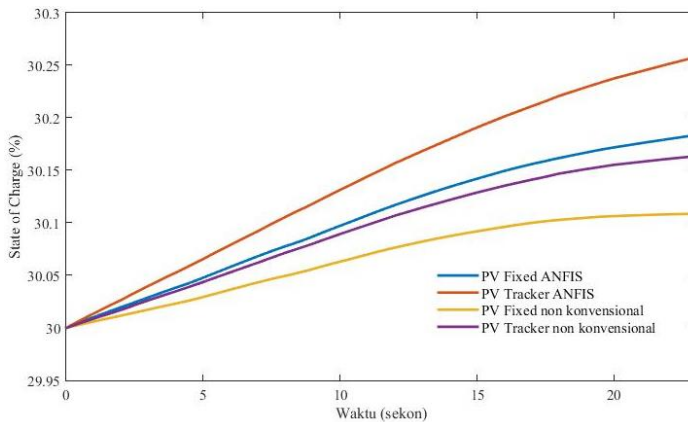
Gambar 4.11 menunjukkan profil pengisian baterai panel PV *fixed* dan panel PV *solar tracker* satu poros dengan kondisi cuaca cerah normal, tidak berawan dan tidak mendung. Terlihat pada grafik ada peningkatan nilai pengisian yang dihasilkan masing-



masing kontrol dengan variasi kondisi klimatik dengan metode pengisian *constant voltage charging*. Kondisi grafik PV panel *solar tracker* satu poros mengalami peningkatan pada saat pengisian dari grafik PV panel *fixed*. Hasil uji simulasi terlihat untuk SOC PV panel *solar tracker* satu poros sebesar 30,26%, sedangkan SOC PV panel *fixed* hanya sebesar 30,18% , dengan kondisi baterai mula-mula 30%. Didapat peningkatan *state of charge* (SOC) pada PV panel *solar tracker* satu poros sebesar 0,25% dibandingkan PV panel *fixed*.

#### 4.4 Simulasi Uji Kontrol ANFIS dan non-Konvensional

Pengujian simulasi ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh dalam proses pengisian ke baterai dengan menggunakan kontrol dan tanpa menggunakan kontrol pada suatu panel PV. Kontroler yang digunakan tetap sama, yaitu kontrol ANFIS. Pengujian dilakukan dengan menggunakan empat buah panel PV dengan spesifikasi yang sama dengan kapasitas 250 Wp. Konfigurasi yang dilakukan adalah melengkapi dua panel dengan kontroler ANFIS, sedangkan dua panel yang lain tidak dilengkapi kontroler ANFIS (non-konvensional). Panel PV yang digunakan dalam kondisi *fixed* dan *tracker*. Hasil simulasi ini sebagai berikut.



**Gambar 4.12** Perbandingan pengisian baterai kontrol ANFIS dan non konvensional

Gambar 4.12 memperlihatkan hasil simulasi menggunakan kontrol ANFIS dan tanpa menggunakan kontrol. Sistem yang dilengkapi dengan kontrol ANFIS menghasilkan *state of charge* yang lebih besar dibanding sistem non konvensional. Dapat dilihat untuk *state of charge* pada panel PV *solar tracker* satu poros selalu lebih tinggi dibanding dengan panel PV *fixed*. Hasil uji simulasi menunjukkan untuk PV panel *solar tracker* satu poros dengan sistem non konvensional hanya mampu melakukan pengisian sebesar 30,16%, sedangkan PV panel *fixed* dengan sistem non konvensional mampu melakukan pengisian sebesar 30,10%, dengan kondisi baterai mula-mula 30%. Didapat peningkatan pengisian baterai pada PV panel *solar tracker* satu poros dengan menggunakan kontrol ANFIS sebesar 0,31% dibanding dengan PV panel *solar tracker* satu poros dengan sistem non konvensional. Dan peningkatan pengisian baterai pada PV panel *fixed* dengan menggunakan kontrol ANFIS sebesar 0,25% dibanding dengan PV panel *fixed* dengan sistem non konvensional. Terdapat selisih sebesar 0,06% pada pengisian baterai menggunakan PV panel *solar tracker* satu poros dibanding dengan PV panel *fixed*. Hal ini membuktikan bahwa sistem panel PV panel *solar tracker* satu poros selalu bergerak mengikuti posisi matahari yang membuat tegangan yang didapatkan akan lebih besar daripada PV panel *fixed*. Namun untuk secara keseluruhan kontrol ANFIS memperoleh peningkatan pada saat pengisian terhadap sistem non-konvensional. Fakta ini menunjukkan bahwa kontroler ANFIS lebih baik dalam mengontrol tegangan yang keluar dari konverter agar tetap berada pada kisaran  $\pm 14,55$  Volt untuk proses pengisian baterai.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian dan analisis yang telah dilaksanakan diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a. Parameter yang berpengaruh dalam pemodelan *photovoltaic* adalah intensitas penyinaran matahari yang sampai ke panel surya dan suhu pada permukaan panel surya. Dimana irradiasi matahari yang diperoleh sebesar  $895,4 \text{ W/m}^2$  dan suhu sebesar  $60,6 \text{ }^\circ\text{C}$  sehingga didapat tegangan PV sebesar  $29,89 \text{ Volt}$ . Parameter yang berpengaruh dalam pemodelan konverter adalah perubahan *duty cycle*. Dimana perubahan *duty cycle* berkisar  $0,3$ . Parameter yang berpengaruh dalam pemodelan baterai adalah arus pada saat pengisian yaitu sebesar  $3,978 \text{ A}$  dan tegangan konstan yang keluar dari konverter yaitu sebesar  $14,89 \text{ V}$ .
- b. Parameter yang berpengaruh dalam perancangan kontrol ANFIS pada sistem *charging* adalah fungsi keanggotaan dengan tipe Gaussian, dan pasangan input serta output pada saat *training* data, dimana pasangan input berupa error tegangan yaitu selisih antara tegangan konverter dengan *setpoint*  $V_{constant}$  sebesar  $\pm 14,55 \text{ Volt}$  yaitu sebesar  $0,61$  dan delta error tegangan yaitu selisih error tegangan saat ini dan sebelumnya yaitu sebesar  $0,024$ .
- c. PV panel *solar tracker* satu poros menggunakan kontrol ANFIS mampu meningkatkan performansi pada pengisian baterai sebesar  $0,25\%$  dibanding dengan PV panel *fixed*. Diperoleh SOC PV panel *solar tracker* satu poros yaitu sebesar  $30,26\%$  dan SOC PV panel *fixed* yang hanya sebesar  $30,18\%$ .

#### **5.2. Saran**

Saran yang diberikan untuk pengembangan selanjutnya pada penelitian ini adalah dapat dilakukan berbagai metode pengisian

baterai untuk mengetahui peningkatan proses pengisian serta output tegangan dan arus pengisian.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abadi , Imam., Musyafa', Ali., & Soeprijanto, Adi. (2015). Design and Implementation of Active Two Axes Solar Tracking System Using Particle Swarm Optimization Based Fuzzy Logic Controller. ITS
- [2] Muhammad, Amar., & Abadi, Imam. (2012). Rancang Bangun Sistem Penjejak Matahari 2 Sumbu Berbasis Kontrol Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS). Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- [3] Abhishek Chauhan. (2014). *MPPT Control PV Charging System For Lead Acid Battery. Department of electrical engineering, National Institute Of Technology, Rourkela.*
- [4] Abil, Huda., Julianto, Patria. (n.d.). Desain dan Pemodelan Maximum Power Point Tracking Menggunakan ANFIS pada Sistem Photovoltaic dengan Buckboost Converter. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Borneo Tarakan.
- [5] Winarno, Istiyo., Wulandari, Firdaus. (2017). Solar Tracking System Single Axis Pada Solar Sel Untuk Mengoptimalkan Daya Dengan Metode Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS). Jurusan Teknik Elektro, Universitas Hang Tuah Surabaya.
- [6] Harmini, & Nurhayati, Titik. (n.d.). Implementasi MPPT (Maximum Power Point Tracker) Pada Sistem Photovoltaic. Jurnal Teknik Elektro, USM. Semarang.

- [7] Gozali, Muhammad Syafei. (n.d.). Perbandingan Konverter CUK dan SEPIC Untuk Pelacakan Titik Daya Maksimum Berbasis Panel Surya. Program Studi Teknik Elektro, Politeknik Batam.
- [8] Santoso, Yanu Arif., Setiawan, Dedy Kurnia., & Kaloko, Bambang Sri. (2015). Rancang Bangun Sistem Pengisi Baterai Lead Acid Berbasis Mikrokontroler ATMEGA328 Dengan Sumber Stand-Alone PV System. Jurusan Arus Elektro Indonesia, Universitas Jember.
- [9] Manimekalai, P., Harikumar, R., & Raghavan, S. (2013, 12 November). An Overview of Batteries for Photovoltaic (PV) Systems. *International Journal of Computer Applications*.
- [10] Vasile , A., Drumea, A., Angel, M., & Stoichescu, A. (n.d.). Automatic System and Energetic Efficiency Optimization Algorithm for Solar Panels on Mobile System.
- [11] Babgei, A. F. (2011). Rancang Bangun Maximum Power Point Tracker (MPPT) Pada Panel Surya Dengan Menggunakan Metode Fuzzy.
- [12] Santoso, H. E. (2016). Implementasi Kontrol Dual Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) Pada Sistem Penjejak Matahari Dua Posisi Untuk Meningkatkan Performasi Photovoltaic.
- [13] Babatunde, E. B. (1995). *Solar Radiation, a Friendly Renewable Energy Source*. Nigeria, Ota, Ogun State: Covenant University.
- [14] Ogata, K. (2004). *System Dynamics Fourth Edition*. New Jersey: Pearson Prentice Hall.

## LAMPIRAN A

**Tabel 1** Data PV *Fixed* Kontrol ANFIS

No	Pukul	Arus Pengisian (Ampere)	Tegangan Pengisian (Volt)	SOC (%)
0	06.00	0,00013	12,881	30,000
1	06.30	2,913	13,112	30,010
2	07.00	2,872	13,228	30,020
3	07.30	2,846	13,293	30,029
4	08.00	2,912	13,354	30,038
5	08.30	3,164	13,409	30,048
6	09.00	3,100	13,488	30,058
7	09.30	2,909	13,539	30,068
8	10.00	2,856	13,571	30,078
9	10.30	3,128	13,598	30,087
10	11.00	3,065	13,660	30,097
11	11.30	2,980	13,692	30,107
12	12.00	2,770	13,720	30,117
13	12.30	2,609	13,731	30,126
14	13.00	2,441	13,741	30,134
15	13.30	2,346	13,747	30,142
16	14.00	2,067	13,755	30,149
17	14.30	1,865	13,753	30,156
18	15.00	1,740	13,746	30,162
19	15.30	1,577	13,745	30,167
20	16.00	1,395	13,743	30,172
21	16.30	1,345	13,734	30,176
22	17.00	1,301	13,735	30,180
23	17.30	1,301	13,738	30,184

**Tabel 2** Data PV *Solar Tracker Single Axis* Kontrol ANFIS

No	Pukul	Arus Pengisian (Ampere)	Tegangan Pengisian (Volt)	SOC (%)
0	06.00	0,00013	12,881	30,000
1	06.30	4,033	13,184	30,014
2	07.00	3,809	13,343	30,027
3	07.30	3,969	13,444	30,040
4	08.00	3,713	13,510	30,053
5	08.30	3,815	13,578	30,066
6	09.00	3,978	13,654	30,079
7	09.30	3,847	13,704	30,092
8	10.00	3,969	13,758	30,106
9	10.30	3,718	13,786	30,118
10	11.00	3,870	13,830	30,131
11	11.30	3,739	13,857	30,144
12	12.00	3,731	13,883	30,157
13	12.30	3,446	13,890	30,168
14	13.00	3,340	13,899	30,180
15	13.30	3,331	13,915	30,191
16	14.00	3,110	13,917	30,201
17	14.30	2,905	13,914	30,211
18	15.00	2,922	13,922	30,221
19	15.30	2,567	13,912	30,229
20	16.00	2,439	13,905	30,238
21	16.30	2,093	13,888	30,244
22	17.00	2,112	13,889	30,251
23	17.30	2,021	13,889	30,258



**Tabel 3** Data PV *Fixed* Tanpa Kontrol

No	Pukul	Arus Pengisian (Ampere)	Tegangan Pengisian (Volt)	SOC (%)
0	06.00	0,00013	12,881	30,000
1	06.30	2,015	13,020	30,006
2	07.00	1,874	13,093	30,012
3	07.30	1,899	13,139	30,017
4	08.00	1,886	13,182	30,023
5	08.30	2,043	13,229	30,029
6	09.00	2,271	13,295	30,036
7	09.30	2,222	13,338	30,043
8	10.00	2,036	13,365	30,050
9	10.30	2,112	13,395	30,056
10	11.00	2,273	13,448	30,063
11	11.30	2,212	13,477	30,070
12	12.00	2,124	13,504	30,076
13	12.30	1,907	13,513	30,082
14	13.00	1,740	13,521	30,087
15	13.30	1,567	13,526	30,092
16	14.00	1,470	13,532	30,096
17	14.30	1,341	13,538	30,100
18	15.00	1,053	13,529	30,103
19	15.30	0,848	13,517	30,105
20	16.00	0,687	13,512	30,106
21	16.30	0,508	13,499	30,107
22	17.00	0,467	13,497	30,108
23	17.30	0,431	13,496	30,109

**Tabel 4** Data PV *Solar Tracker Single Axis* Tanpa Kontrol

No	Pukul	Arus Pengisian (Ampere)	Tegangan Pengisian (Volt)	SOC (%)
0	06.00	0,00013	12,881	30,000
1	06.30	2,778	13,080	30,009
2	07.00	2,609	13,185	30,017
3	07.30	2,892	13,267	30,026
4	08.00	2,677	13,320	30,035
5	08.30	2,774	13,376	30,044
6	09.00	2,903	13,440	30,053
7	09.30	2,864	13,488	30,062
8	10.00	2,940	13,537	30,072
9	10.30	2,708	13,563	30,080
10	11.00	2,885	13,609	30,089
11	11.30	2,744	13,636	30,098
12	12.00	2,751	13,665	30,107
13	12.30	2,457	13,673	30,115
14	13.00	2,347	13,683	30,122
15	13.30	2,271	13,696	30,129
16	14.00	2,105	13,702	30,135
17	14.30	1,904	13,702	30,141
18	15.00	1,904	13,710	30,147
19	15.30	1,512	13,699	30,151
20	16.00	1,397	13,692	30,155
21	16.30	1,086	13,677	30,158
22	17.00	1,084	13,677	30,161
23	17.30	1,007	13,677	30,164

## LAMPIRAN B

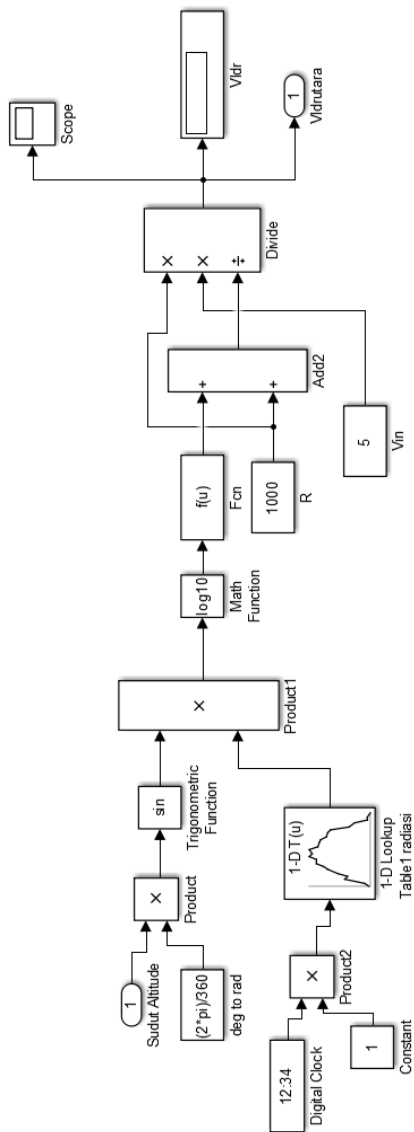


**Gambar 1** Pengambilan data irradiansi matahari

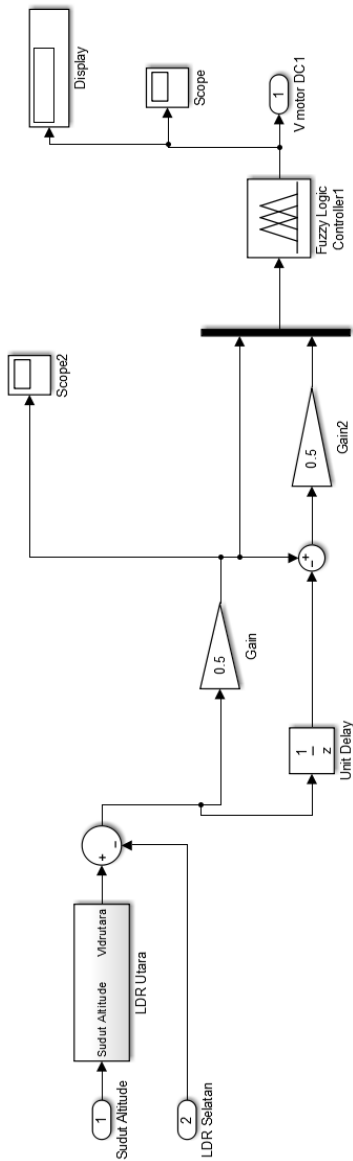


**Gambar 2** Pengambilan data tegangan dan arus PV

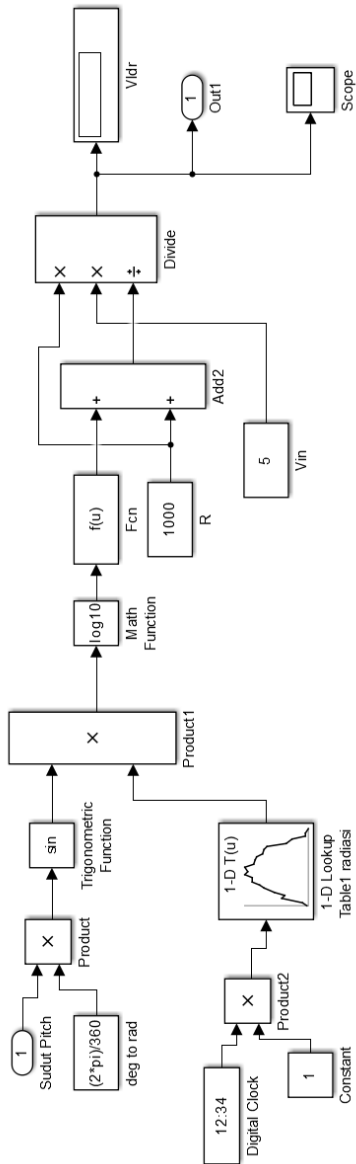
## LAMPIRAN C



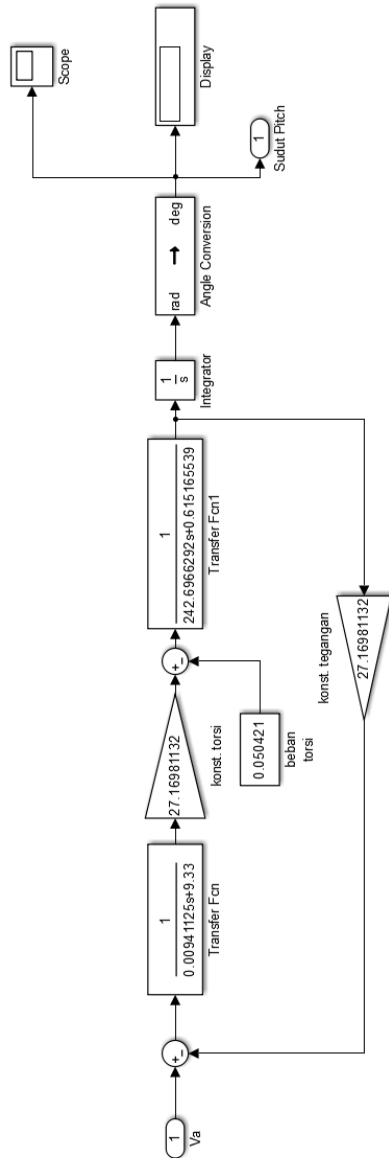
Gambar 3 Pemodelan LDR Utara



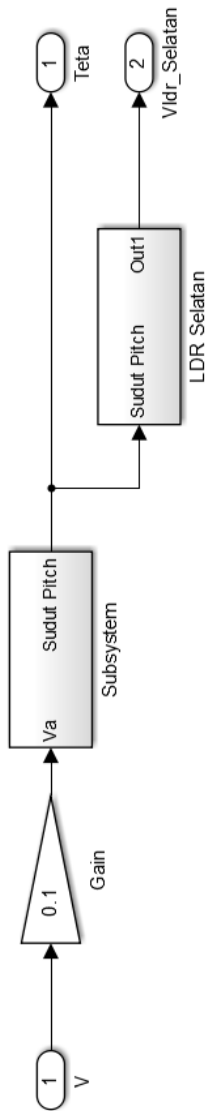
**Gambar 4** Pemodelan Fuzzy pada LDR



**Gambar 5** Pemodelan LDR Selatan



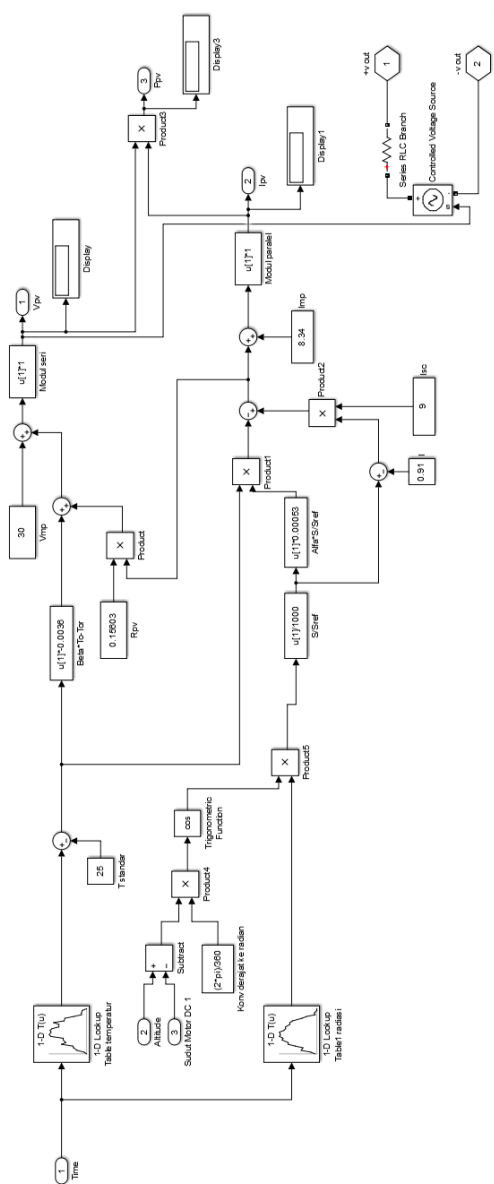
**Gambar 6** Pemodelan Sudut Pitch

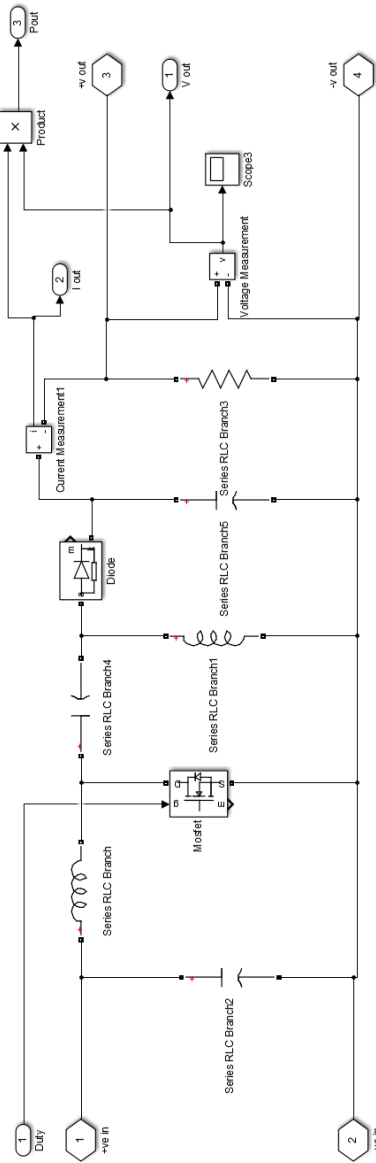


**Gambar 7** Pemodelan Motor DC Pitch

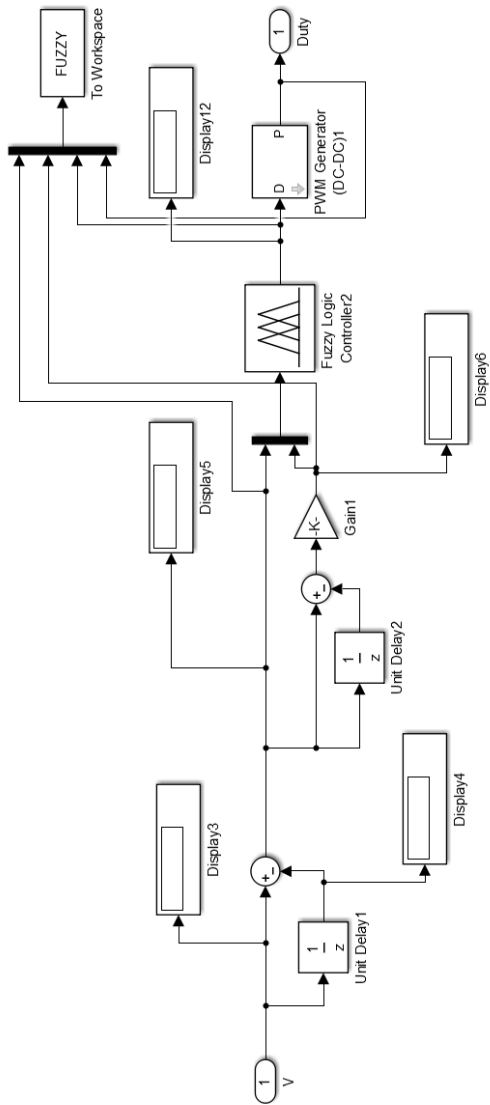


**Gambar 8** *Pemodelan Solar Tracker Single Axis*

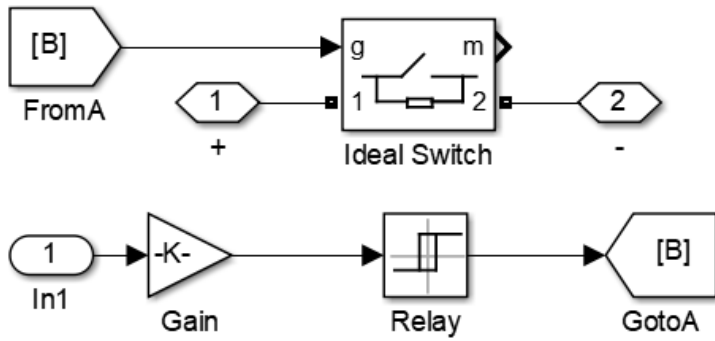




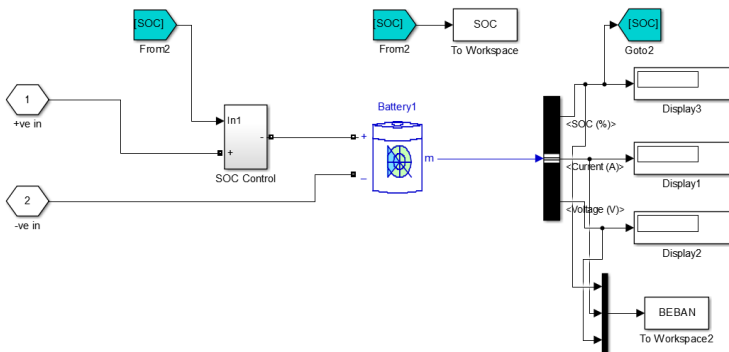
**Gambar 9** Pemodelan Konverter SEPIC



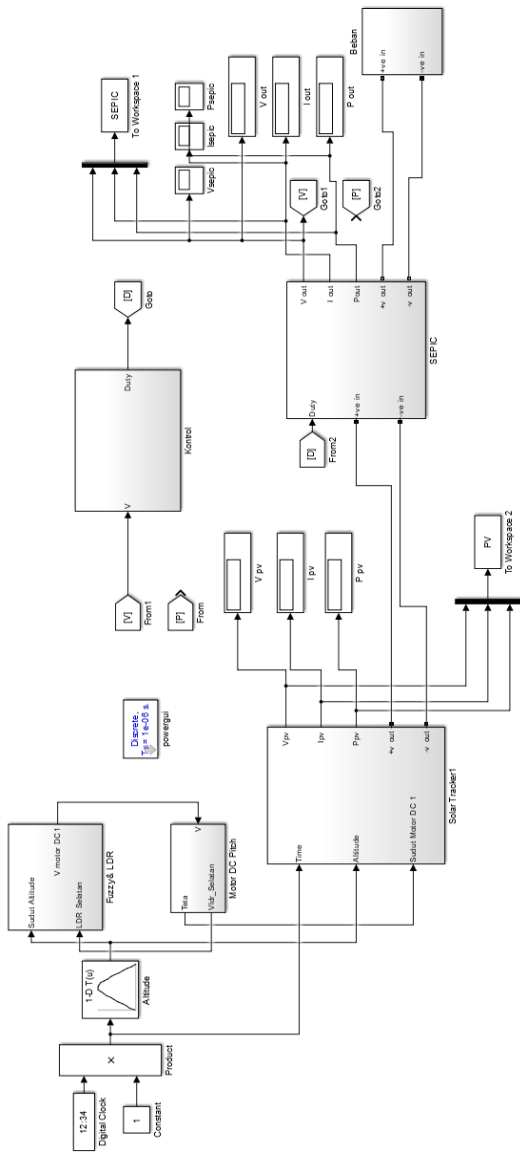
**Gambar 10** Pemodelan Kontrol



**Gambar 11** Pemodelan SOC Control



**Gambar 12** Pemodelan Battery



Gambar 13 Pemodelan Charging System

## **BIODATA PENULIS**



Nama lengkap penulis Tiara Oktavia Hardiana yang dilahirkan di Kota Gresik pada tanggal 13 Oktober 1993 dari Ayah bernama Hartono dan Ibu bernama Dyah Erna Purnomowati. Penulis merupakan anak kedua dari empat bersaudara. Saat ini penulis tinggal di Perum GKGA Blok FE No. 01 Ds. Kedanyang – Gresik. Pada tahun 2006, penulis telah menyelesaikan pendidikannya di SDNU 1 Trate Gresik. Kemudian pada tahun 2009 penulis telah menyelesaikan pendidikan tingkat menengah pertama di SMP YIMI “Full Day School” Gresik. Tahun 2012 berhasil menyelesaikan pendidikan tingkat menengah atas di SMAN 1 Kebomas Gresik. Mulai kuliah pada tahun 2012 di Program Studi D3 Metrologi dan Instrumentasi, Jurusan Teknik Fisika, FTI-ITS dan melanjutkan kuliah S1 Lintas Jalur di Departemen Teknik Fisika, FTI-ITS mulai 2016 hingga sekarang. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai Tugas Akhir maka dapat menghubungi penulis melalui email [oktaviahardiana@gmail.com](mailto:oktaviahardiana@gmail.com).