



TUGAS AKHIR - TF 181801

***ANALISIS PERFORMANSI SISTEM CHARGING BATERAI  
OUTPUT GANDA TERINTEGRASI PADA SOLAR ENERGY  
BERBASIS ALGORITMA ANT COLONY OPTIMIZATION -  
FUZZY LOGIC***

RIZQI LAZUARDY MANARARRAHMAT  
NRP. 02311640000119

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

Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



**FINAL PROJECT - TF 181801**

***PERFORMANCE ANALYSIS OF INTEGRATED DUAL OUTPUT  
BATTERY CHARGING SYSTEM ON SOLAR ENERGY SYSTEM  
BASED ON ANT COLONY OPTIMIZATION ALGORITHM -  
FUZZY LOGIC***

**RIZQI LAZUARDY MANARARRAHMAT  
NRP. 02311640000119**

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

*Department Of Engineering Physics  
Faculty of Industrial Technology and System Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2020*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini.

Nama : Rizqi Lazuardy Manararrahmah  
NRP : 02311640000119  
Departemen / Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika  
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FT-IRS)  
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "*Analisis Performansi Sistem Charging Output Ganda Terintegrasi pada Solar Energy Berbasis Algoritma Ant Colony Optimization – Fuzzy Logic*" adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya-benarnya.

Surabaya, 2 Agustus 2020

Yang membuat pernyataan,



Rizqi Lazuardy Manararrahmah

NRP. 02311640000119

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR**

**ANALISIS PERFORMANSI SISTEM *CHARGING* BATERAI *OUTPUT*  
GANDA TERINTEGRASI PADA *SOLAR ENERGY SYSTEM* BERBASIS  
*ALGORITMA ANT COLONY OPTIMIZATION - FUZZY LOGIC***

Oleh:



**Rizqi Lazuardy Manararrahat**

**NRP. 02311640000119**

Surabaya,

Menyetujui,  
Pembimbing



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

**NIP. 197610061999031002**

Mengetahui,

Kepala Departemen

Teknik Fisika FTI-ITS



**Dr. Suyanto, S.T., M.T.**

**NIP. 19711113319951002**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISIS PERFORMANSI SISTEM *CHARGING BATERAI OUTPUT* GANDA TERINTEGRASI PADA *SOLAR ENERGY SYSTEM* BERBASIS ALGORITMA *ANT COLONY OPTIMIZATION - FUZZY LOGIC*

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Progam Studi S-1 Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FT-IRS)  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember



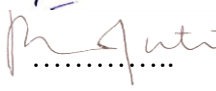


Oleh:



**RIZQI LAZUARDY MANARARRAHMAT**

**NRP. 02311640000119**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.  (Pembimbing I)
2. Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.  (Ketua Penguji)
3. Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.  (Penguji I)
4. Ir. Zulkifli, M.Sc.  (Penguji II)
5. Irwansyah, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D.  (Penguji III)

**SURABAYA**

**2020**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**ANALISIS PERFORMANSI SISTEM *CHARGING* BATERAI  
*OUTPUT* GANDA TERINTEGRASI PADA *SOLAR ENERGY*  
SYSTEM BERBASIS ALGORITMA *ANT COLONY*  
*OPTIMIZATION - FUZZY LOGIC***

**Nama** : Rizqi Lazuardy Manararrahat  
**NRP** : 02311640000119  
**Departemen** : Teknik Fisika FT-IRS ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.

**ABSTRAK**

Sistem yang dirancang adalah sistem *charging* baterai *output* ganda terintegrasi dengan sistem solar energi menggunakan konverter Buck single input dual output untuk menyuplai daya pada baterai 12 V dan baterai 24 V. *Photovoltaic Standalone off-grid* yang digunakan sebagai sumber energi tunggal menghasilkan energi yang dapat dimanfaatkan dan butuh untuk disimpan kedalam baterai. Keluaran tegangan PV yang perlu untuk dikondisikan agar dapat mengisi baterai merupakan tantangan yang akan dihadapi dalam pengendalian pada sistem *charging* baterai. sehingga dibutuhkan teknologi yang cerdas untuk menghadapi masalah tersebut. solusi yang ditawarkan berupa pengendalian *fuzzy logic* yang telah dioptimisasi menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO-FLC). Adapun pengendalian ACO-FLC menunjukkan hasil performansi *settling time*, *maximum overshoot*, *ripple* tegangan, dan *error steady state* masing-masing bernilai 0,012 detik ; 15,7% ; 0,16 V ; 0,6% untuk *charging* baterai 24 V dan pada *charging* baterai 12 V bernilai 0,017 detik ; 36,3% ; 0,17 V ; 0,4%. Hasil optimisasi dapat menurunkan *settling time*, *ripple* tegangan, *maximum overshoot* dan *error steady state*, sehingga dapat disimpulkan pengendalian ACO-FLC meningkatkan performansi pada *output* tegangan yang dibutuhkan baterai.

**Kata Kunci:** Solar Energi, *Photovoltaic*, Baterai, *Fuzzy Logic*, *Ant Colony*.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**PERFORMANCE ANALYSIS OF INTEGRATED DUAL OUTPUT  
BATTERY CHARGING SYSTEM ON SOLAR ENERGY SYSTEM  
BASED ON ANT COLONY OPTIMIZATION ALGORITHM -  
FUZZY LOGIC**

**Name** : Rizqi Lazuardy Manararrahat  
**NRP** : 02311640000119  
**Department** : Engineering Physics FT-IRS ITS  
**Supervisors** : Dr. Imam Abadi, S.T., M.T.

**ABSTRACT**

*The system designed is a dual output battery charging system integrated with a solar energy system using a single input dual output Buck converter to supply power to a 12 V battery and a 24 V battery. The PV voltage output that needs to be conditioned in order to charge the battery is a challenge that will be faced in control of the battery charging system. The solution offered is in the form of fuzzy logic control that has been optimized using the Ant Colony Optimization (ACO-FLC) algorithm. The ACO-FLC control shows the results of the settling time performance, maximum overshoot, voltage ripple, and steady state error, each worth 0.012 seconds; 15.7%; 0.16 V; 0.6% for charging a 24 V battery and charging a 12 V battery is 0.017 seconds; 36.3%; 0.17 V; 0.4%. The optimization results can reduce settling time, voltage ripple, maximum overshoot and steady state error, so it can be concluded that ACO-FLC control increases the performance of the voltage output required by the battery.*

**Keywords:** Solar Energi, Photovoltaic, Battery, Fuzzy Logic, Ant Colony.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih Lagi Maha Penyayang, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT. Atas rahmat dan hidayahnya sehingga laporan tugas akhir ini yang berjudul “Analisis Performasi Sistem *Charging Output* Ganda Terintegrasi pada *Solar Energy* Berbasis Algoritma *Ant Colony Optimization – Fuzzy Logic*” dapat terselesaikan dengan baik.

Dalam penulisan ini, penulis banyak dibantu oleh berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Suyanto, S.T., M.T. selaku ketua departemen Teknik Fisika ITS.
2. Bapak Dr. Imam Abadi, S.T , M.T selaku dosen pembimbing tugas akhir ini atas waktu dan bimbingan konsultasi yang telah diberikan.
3. Bapak Dr. Ir. Ali Musyafa’, M.Sc dan Ibu Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes, Ir. Zulkifli, M.Sc., dan Dr. Irwansyah, S.T., M.T. selaku dosen penguji tugas akhir, yang telah memberikan masukan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir.
4. Segenap Bapak/Ibu dosen pengajar di Departemen Teknik Fisika - ITS.
5. Segenap keluarga terutama kedua orang tua penulis yang telah memberikan dukungan penuh dalam penyelesaian tugas akhir ini.
6. Teman - teman angkatan 2016 dan warga Teknik Fisika - ITS, yang senantiasa memberikan motivasi dan perhatian.
7. Teman-teman asisten Laboratorium Pengukuran Fisis - Teknik Fisika yang senantiasa memberikan motivasi, perhatian dan dukungan penuh.

Surabaya, 29 Juli 2020

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
COVER PAGE.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI .....	v
LEMBAR PENGESAHAN .....	vii
LEMBAR PENGESAHAN .....	ix
ABSTRAK .....	xi
ABSTRACT.....	xiii
KATA PENGANTAR .....	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR .....	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
DAFTAR NOTASI.....	xxiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Laporan .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>Solar Energi System</i> .....	5
2.2 <i>Photovoltaic</i> .....	6
2.3 Sistem Solar <i>Charging</i> .....	8
2.4 Konverter DC-DC .....	10
2.5 Baterai .....	14

2.6 Logika Fuzzy .....	16
2.7 Ant Colony Algorithm Optimization .....	19
2.7 Ant Colony Algorithm Optimization – Fuzzy Logic Controller .....	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	25
3.1 Studi Literatur .....	26
3.2 Pengumpulan Data Penelitian .....	26
3.3 Perancangan Spesifikasi Konverter .....	27
3.4 Perancangan sistem <i>fuzzy logic controller</i> .....	33
3.5 Optimisasi Parameter <i>fuzzy</i> dengan algoritma <i>Ant Colony Optimization</i> ....	36
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....	41
4.1 Hasil Pengujian Rancangan Konverter .....	41
4.2 Simulasi Sistem <i>Charging Dual Output</i> - FLC dan Kontrol <i>Fuzzy</i> Algoritma <i>Ant Colony Optimization</i> .....	44
4.3 Simulasi Sistem <i>Charging</i> pada Baterai .....	48
BAB V PENUTUP .....	53
5.1 Kesimpulan .....	53
5.2 Saran .....	54
DAFTAR PUSTAKA .....	55
LAMPIRAN .....	59

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema diagram pada <i>Solar Energy System</i> .....	5
Gambar 2. 2 Proses pembuatan modul PV .....	6
Gambar 2. 3 Grafik kurva I-V dan P-V .....	8
Gambar 2. 4 Solar <i>charging</i> baterai .....	9
Gambar 2. 5 Karakteristik pengisian daya pada baterai .....	9
Gambar 2. 6 Topologi Buck <i>converter</i> .....	11
Gambar 2. 7 Topologi ZETA <i>converter</i> .....	12
Gambar 2. 8 Topologi SEPIC <i>converter</i> .....	13
Gambar 2. 9 Konstruksi bagian pada baterai .....	15
Gambar 2. 10 <i>State of charge</i> (SOC) pada baterai .....	15
Gambar 2. 11 Diagram blok <i>fuzzy logic</i> .....	17
Gambar 2. 12 Variasi jenis <i>membership function</i> .....	18
Gambar 2. 13 Diagram Alir Ant Colony Optimization .....	20
Gambar 2. 14 Penerapan algoritma ACO pada Fuzzy .....	24
Gambar 2. 15 Grafik Konvergensi Algoritma <i>Ant Colony</i> .....	38
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian .....	25
Gambar 3. 2 Sistem <i>charging</i> Solar Energi .....	28
Gambar 3. 3 Rangkaian Konverter Buck .....	28
Gambar 3. 4 Rangkaian Konverter SEPIC .....	29
Gambar 3. 5 Rangkaian Konverter Zeta .....	30
Gambar 3. 6 Rangkaian Buck <i>Converter dual output</i> .....	32
Gambar 3. 7 Diagram blok pengendalian <i>fuzzy logic</i> pada konverter .....	33
Gambar 3. 8 Fungsi keanggotaan <i>input error</i> FLC .....	33
Gambar 3. 9 Fungsi keanggotaan <i>input delta error</i> FLC .....	34
Gambar 3. 10 Fungsi keanggotaan <i>output duty cycle</i> FLC .....	34
Gambar 3. 11 Sistem pengendalian konverter dual output FLC .....	36
Gambar 3. 12 Langkah Optimisasi dengan ACO .....	37
Gambar 3. 13 Fungsi keanggotaan <i>input Error</i> FLC .....	39
Gambar 3. 14 Fungsi keanggotaan <i>input delta error</i> FLC .....	40

Gambar 4. 1 Perbandingan 3 jenis konverter terhadap tegangan output konverter baterai 12 V .....	41
Gambar 4. 2 Perbandingan 3 jenis konverter terhadap error konverter baterai 12 V .....	42
Gambar 4. 3 Perbandingan 3 jenis konverter terhadap tegangan output konverter baterai 24 V .....	43
Gambar 4. 4 Perbandingan 3 jenis konverter terhadap error konverter baterai 24 V .....	43
Gambar 4. 5 Respon simulasi FLC sistem <i>charging</i> untuk baterai 24 V .....	44
Gambar 4. 6 Respon simulasi FLC sistem <i>charging</i> untuk baterai 12 V .....	45
Gambar 4. 7 Respon simulasi ACO-FLC sistem <i>charging</i> untuk baterai 24 V ....	46
Gambar 4. 8 Respon simulasi ACO-FLC pada sistem <i>charging</i> untuk baterai 12 V .....	46
Gambar 4. 9 Skematik sistem manajemen baterai.....	49
Gambar 4. 10 SOC pada baterai kapasitas 40 Ah.....	49
Gambar 4. 11 SOC pada baterai kapasitas 70 Ah.....	50
Gambar 4. 12 SOC pada baterai kapasitas 100 Ah.....	51

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Spesifikasi model <i>photovoltaic</i> .....	26
Tabel 3. 2 Spesifikasi model baterai .....	27
Tabel 3. 3 Nilai komponen konverter Buck .....	29
Tabel 3. 4 Nilai komponen konverter SEPIC.....	30
Tabel 3. 5 Nilai komponen konverter ZETA .....	31
Tabel 3. 6 Hasil perbandingan simulasi perancangan konverter .....	31
Tabel 3. 7 Tabel Parameter <i>Input</i> Sebelum Optimisasi.....	34
Tabel 3. 8 Parameter <i>Output Duty Cycle</i> .....	35
Tabel 3. 9 <i>Rule base</i> sistem <i>fuzzy logic</i> .....	35
Tabel 3. 10 Parameter Nilai ACO .....	37
Tabel 3. 11 Parameter input setelah diOptimisasi.....	39
Tabel 4. 1 Tabel hasil perbandingan respon pengendalian FLC dan ACO-FLC..	47

*Halaman ini sengaja dikosongka*

## DAFTAR NOTASI

- $V_{PV}$  = Tegangan *Photovoltaic* (V)  
 $V_{STC}$  = Tegangan *Photovoltaic* saat *Standart Temperature Condition* (V)  
 $I_r$  = Irradiasi matahari pada kondisi uji (W/m<sup>2</sup>)  
 $I_{rSTC}$  = Irradiasi matahari pada kondisi *Standart Temperature Condition* (W/m<sup>2</sup>)  
 $F_{temp}$  = Faktor susut akibat pengaruh suhu (%)  
 $\alpha_p$  = Koefisien temperatur tegangan (%/°C)  
 $T_c$  = Temperatur *Photovoltaic* pada kondisi uji (°C)  
 $T_{cSTC}$  = Temperatur *Photovoltaic* pada *Standart Temperature Condition* (°C)  
 $I_{pv}$  = Arus *Photovoltaic* (A)  
 $I_{STC}$  = Arus *Photovoltaic* pada kondisi *Standart Temperature Condition* (A)  
 $K$  = Konstanta boltzman ( $1,38 \times 10^{-23}$  m<sup>2</sup> Kg/s<sup>2</sup>C)  
 $\Delta T$  = Perbedaan temperatur (C)  
 $V_{in}$  = Tegangan *Input* (V)  
 $I_{in}$  = Arus *Input* (A)  
 $P_{out}$  = Daya *Output* (W)  
 $V_o$  = Tegangan *Output* (V)  
 $I_{out}$  = Arus *Output*  
 $D$  = *Duty Cycle* (%)  
 $D_{min}$  = *Duty Cycle* Minimum (%)  
 $D_{max}$  = *Duty Cycle* Maksimum (%)  
 $f_{sw}$  = Frekuensi *Switching* (Hz)  
 $L$  = Induktor (uH)  
 $C$  = Kapasitor (uF)  
 $\Delta I_l$  = *Ripple* Arus (A)  
 $\Delta R_p$  = *Ripple* Tegangan (V)  
 $X_{it}$  = *Pollen* atau serbuk sari yang ke-i dengan iterasi t.  
 $G^*$  = Solusi terbaik pada saat sekarang.  
 $\lambda$  = Lambda dengan nilai 1,5  
 $\Gamma(\lambda)$  = Standar Fungsi Gamma dengan Lambda 1.5

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Tenaga surya bisa dibidang merupakan bentuk energi terbarukan yang terbersih dan paling dapat diandalkan, dan dapat digunakan dalam berbagai bentuk untuk membantu menyediakan keluarga atau perdagangan. Panel *photovoltaic* bertenaga surya (PV) mengubah sinar cahaya menjadi energi oleh elektron yang menarik pada sel semikonduktor menggunakan foton cahaya dari sinar matahari. Energi tersebut kemudian akan digunakan untuk menyediakan energi terbarukan untuk kebutuhan alat elektronik sehari-hari. Inovasi yang berguna untuk memanfaatkan potensi energi menghadirkan teknologi yang sudah dikembangkan sebagai konversi energi surya menjadi energi listrik yaitu panel surya atau juga bisa disebut *photovoltaic* (PV). faktor yang mempengaruhi kinerja dalam pengoprasian PV bergantung pada suhu dan paparan radiasi ,dimana akan mempengaruhi performansi dari daya yang dihasilkan (A. Imam D. N., 2019). Salah satu teknologi yang dikembangkan dalam meningkatkan performansi *photovoltaic* dengan menambahkan sistem perangkat solar tracker. Hasil dari penelitian mengenai solar tracker tersebut didapat performansi yang lebih baik, dimana menghasilkan daya listrik yang tinggi dibandingkan fixed PV (A. Imam A. S., 2014). Sehingga, energi listrik yang dihasilkan dari perangkat *solar tracker* perlu untuk disimpan kedalam perangkat penyimpanan energi.

Dibutuhkan sebuah teknologi berupa sistem *charging* untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan PV tersimpan secara efisien kedalam baterai. Sehingga dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik setelah disimpan terlebih dahulu. Pada kenyataannya daya *output* yang diperoleh dari panel *photovoltaic* mengalami fluktuasi sebelum disimpan di baterai. Kondisi tersebut membutuhkan sistem pengkondisian yang menangani kelemahan tersebut. Penelitian yang telah dilakukan pada *stand alone PV charging system* berbasis *solar tracker* dengan peningkatan efisiensi sebesar 36,15 % dan lama waktu *charging* tersebut adalah 8,5 jam (Bachrow, 2018). Pada penelitian selanjutnya dilakukan perancangan sistem

hybrid *charging* baterai antara PV berbasis tracker dengan jala-jala listrik menggunakan pengendalian FPAO-FLC, dengan total energi rata-rata yang dihasilkan sebesar 479,81 Wh dengan SOC baterai mencapai 82,27 % (Erwandha, 2019). kebutuhan nilai sumber tegangan untuk alat elektronik pada saat ini semakin bervariasi. Sehingga sekarang banyak variasi jenis voltase baterai yang digunakan untuk menjawab kebutuhan tersebut. seperti pada penelitian Shammya Shananda Saha merancang sistem *charging* yang beroperasi pada berbagai konfigurasi sistem daya output tegangan yang mampu mengisi daya baterai 12-24V (Saha, 2016). Dalam merancang sistem *charging* baterai perlu untuk memastikan parameter penting agar proses penyimpanan energi berjalan dengan baik.

Sistem cerdas merupakan salah satu inovasi baru dalam pemilihan metode pengendalian. Sistem pengendalian cerdas ini merupakan sistem yang memiliki kemampuan menyerupai manusia pada domain tertentu, mampu beradaptasi agar dapat bekerja lebih baik jika terjadi perubahan lingkungan. Salah satu sistem pengendalian cerdas yang akan diterapkan yaitu *Fuzzy Logic Control* (FLC). Tak kalah pentingnya metode sistem FLC, algoritma *ant colony optimization* (ACO) dapat digunakan untuk mengoptimisasi pengendali dari sistem *charging* baterai. Algoritma *ant colony* pada prinsipnya mencari sumber makanan berdasarkan jejak feromone yang kemudian secara berkelompok akan mengikuti jejak yang memiliki feromone yang terbesar. Penggunaan FLC dapat berhasil menurunkan nilai *overshoot* yang cukup signifikan dari sebuah perangkat *Switched-Mode Power Supply* yang digunakan sebagai sistem *charging* baterai menggunakan buck konverter DC-DC (Ahuja, 2014). Dan juga pada perangkat mikrokontroler jenis *field-programmable gate array* (FPGA) yang ditanamkan FLC yang telah dioptimisasi dengan ACO, dimana dalam pengendalian temperatur dengan *set point* konstan yang dilakukan mendapat jumlah *absolute error* dengan nilai yang terendah dibanding dengan metode optimisasi lain (Juang, 2008). Sehingga dipilih metode optimisasi algoritma *ant colony* untuk mengendalikan tegangan pada input baterai dengan nilai yang konstan.

Merujuk pada penjelasan di atas, dibutuhkan suatu inovasi baru yang dapat menyimpan energi listrik yang dihasilkan PV dan terbatasnya konfigurasi output tegangan yang dihasilkan sistem *charging*. Sehingga, dalam penelitian ini bertujuan

untuk meningkatkan performansi sebuah proses *charging* dengan melakukan perancangan sistem *charging* baterai antara PV berbasis *tracker* dengan dual output. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan efisiensi yang optimal dengan menggunakan algoritma *ant colony algorithm optimization - fuzzy control* sebagai pengendali sistem tersebut.

## 1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana parameter perancangan dalam sistem *charging* baterai output ganda terintegrasi?
2. Bagaimana parameter pengendalian yang digunakan dalam sistem *charging* baterai output ganda terintegrasi?
3. Bagaimana performansi kinerja kendali *fuzzy logic controller* dan algoritma *ant colony optimization - fuzzy logic*?

## 1.3 Tujuan

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

1. Mengetahui parameter perancangan dalam sistem *charging* baterai output ganda terintegrasi.
2. Mengetahui parameter pengendalian yang digunakan dalam sistem *charging* baterai output ganda terintegrasi.
3. Mengetahui performansi kinerja kendali *fuzzy logic controller* dan algoritma *ant colony optimization - fuzzy logic*.

## 1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan photovoltaic dengan spesifikasi ST Solar *Polycrystalline* 250 Wp.
2. Menggunakan tipe dan kapasitas baterai yaitu VRLA 12V 40/70/100 Ah.
3. Menggunakan sistem *stand alone PV off-grid* untuk input sistem *charging*.

4. Metode pengendalian menggunakan *Fuzzy logic controller* (FLC).
5. Optimisasi menggunakan algoritma *ant colony optimization*.

## 1.5 Sistematika Laporan

Pada penelitian ini memiliki sistematika penulisan laporan yaitu,

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, lingkup kerja, manfaat penelitian, dan sistematika laporan.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini berisi tentang teori dasar yang berkaitan dengan penelitian ini antara lain *photovoltaic*, sistem *charging* baterai, jenis dari konverter DC-DC, kontrol logika *fuzzy*, dan *ant colony algorithm optimization*.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini menjelaskan tentang langkah pengerjaan penelitian ini dari awal hingga selesai dilaksanakan.

### **BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menjelaskan tentang hasil pengolahan data penelitian berupa perbandingan beberapa jenis rangkaian jenis konverter DC-DC, analisa mode dual *output* yang digunakan pada sistem *charging* yang dirancang, dan perfomansi kinerja sistem *charging* dengan *ant colony algorithm optimization - fuzzy control*.

### **BAB V PENUTUP**

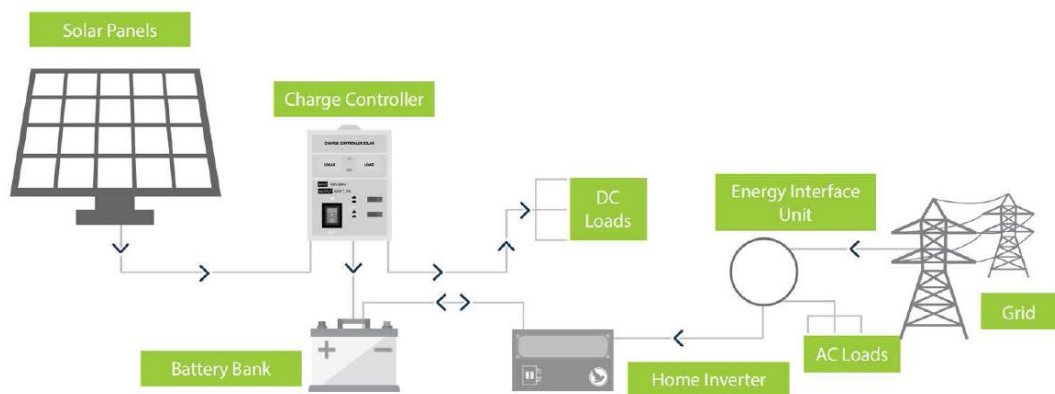
Bab ini menjelaskan tentang kesimpulan tugas akhir serta pemberian saran sebagai pengembangan penelitian selanjutnya.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Solar Energi System

*Solar energy system*, juga disebut *Solar Energy Station*, adalah sistem *Photovoltaic* skala besar (sistem PV) yang dirancang untuk penyediaan daya berupa listrik ke dalam jaringan energi (Xiangyu Zhang, 2016). Sistem tenaga surya dibedakan dari sebagian besar aplikasi tenaga surya yang dipasang di tempat tertentu dan terdesentralisasi karena sistem tersebut menghasilkan energi yang disimpan ke dalam baterai, dan digunakan pada suatu tempat (bangunan) atau pengguna lokal.



Gambar 2. 1 Skema diagram pada *Solar Energy System* ([www.bluebirdsolar.in](http://www.bluebirdsolar.in), 2014)

*Solar energy system* terdiri dari berbagai macam perangkat yang menunjang pada kebutuhan dalam serangkaian proses menghasilkan energi daya pada sistem tenaga surya seperti pada Gambar 2.1. Mulai dari *solar panel* itu sendiri menerima cahaya dari sinar matahari dan menghasilkan daya listrik. MPPT (*maximum power point tracking*) berfungsi untuk memaksimalkan daya yang dihasilkan PV, sedangkan *charge controller* merupakan perangkat untuk menyimpan kelebihan energi yang dihasilkan panel surya kedalam perangkat penyimpanan (*battery bank*) atau dapat langsung dipakai untuk beban DC. Inverter digunakan sebagai konverter tegangan menjadi tegangan AC untuk dihubungkan ke jaringan listrik (*grid*) yang sudah terpasang atau dipakai untuk kebutuhan beban AC. Sistem inverter tersebut

dikenal dengan istilah *Grid Tie* yang menggunakan *energy interface unit* sebagai perangkat pemantauan besar energi yang dipakai.

## 2.2 Photovoltaic

Panel Surya atau *Photovoltaic* (PV) merupakan sebuah teknologi berupa semikonduktor penghantar aliran listrik yang dapat mengubah energi surya secara langsung menjadi bentuk tenaga listrik secara efisien. *Photovoltaic* atau panel surya yang terbentuk dalam satu bidang terdiri dari beberapa sel surya. rangkaian sel surya digunakan dalam membuat modul panel yang menghasilkan daya listrik. Sel Surya berasal dari bahan semikonduktor salah satunya yaitu silikon yang digunakan untuk merekayasa medan listrik. Bahan tersebut berperan sebagai insulator pada temperatur rendah dan sebagai konduktor bila ada energi dan panas. Sebuah Silikon yang terbentuk dari lapisan atas silikon tipe N dan lapisan bawah silikon tipe P. Permukaan di mana suatu bagian dengan pembawa muatan positif berlebih (*hole*) bertemu lapisan dengan pembawa muatan negatif berlebih (elektron). Proses itu terjadi ketika foton diserap. Karena junction P-N, lapisan yang dipisahkan secara alami untuk menghasilkan tegangan (Moore, 2018).



Gambar 2. 2 Proses pembuatan modul PV (Song, 2018)

Elektron-elektron bebas terbentuk dari beberapa foton atau benturan atom pada lapisan penghubung menyebabkan terjadinya aliran listrik. Sel surya disusun membentuk sebuah panel dengan kapasitas dan tegangan tertentu. Sel surya mendapatkan daya yang besar dengan cara menghubungkan sel secara seri dan paralel sebagai suatu panel atau modul PV (Song, 2018). Dapat dilihat pada gambar 2.2 proses pembuatan modul Pv yang selanjutnya gabungan beberapa modul yang terhubung secara seri, paralel atau kombinasi keduanya disebut *array*.

Suatu model rangkaian ekivalen sel surya berhubungan pada arus keluaran suatu sel PV ditulis dengan persamaan berikut ini :

$$I_{pv} = I_L - I_0 [e^{q(V+I R_s) / nkT} - 1] - [(V+I R_s) / R_p] \quad (1)$$

Dimana:

$I$  = Arus sel PV (A)

$V$  = Tegangan sel PV (V)

$I_{pv}$  = Arus yang dihasilkan oleh sel PV (A)

$I_0$  = Arus saturasi reverse (A)

$I_{SC}$  = Arus hubung singkat (A)

$n$  = Faktor ideal diode (bernilai 1 untuk diode ideal)

$q$  = Pengisian electron ( $1,602 \times 10^{-19}$  C)

$k$  = Konstanta Boltzman ( $1,3806 \times 10^{-22}$  J.K-1)

$T$  = Temperatur sel PV (K)

$T_1$  = Temperatur referensi sel PV (298°K)

$R_s$  = Hambatan seri ( $\Omega$ )

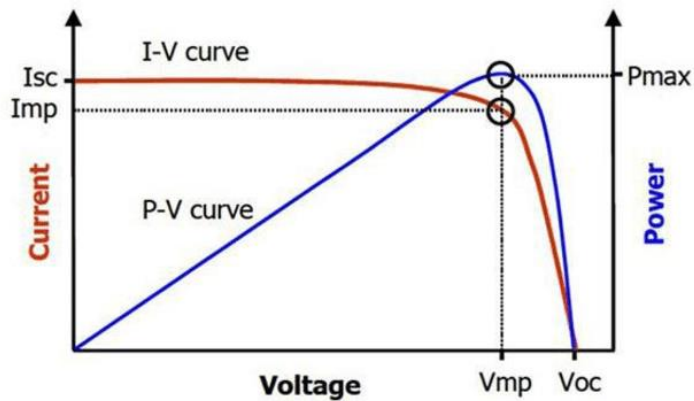
$R_p$  = Hambatan paralel ( $\Omega$ )

$KO$  = Koefisien temperature arus (%/°K)

Efisiensi konversi PV dinyatakan sebagai rasio antara energi keluaran yang dihasilkan (energi listrik) terhadap energi Matahari yang sampai dipermukaan PV, sehingga efisiensi energi maksimum dinyatakan sebagai :

$$\eta_{en} = (V_{oc} \times I_{sc}) / (A \times S_T) \quad (2)$$

Dengan  $V_{oc}$  (V) menyatakan *open circuit voltage*,  $I_{sc}$  *short circuit current* (A),  $S_T$  radiasi global Matahari per jam (W/m<sup>2</sup>), dan  $A$  luas permukaan modul PV (m<sup>2</sup>).



Gambar 2. 3 Grafik kurva I-V dan P-V (A. Saha, 2019)

Ketika tegangan meningkatkan daya juga meningkat dan terlihat dari Gambar 2.3 bahwa ketika panel PV beroperasi di sebelah kiri titik daya maksimum (MPP), daya meningkat dan ketika panel beroperasi di sebelah kanan MPP dengan penurunan daya tegangan mencapai maksimum. Pada kurva I-V terjadi kenaikan arus saat *irradiance* meningkat pada permukaan panel, sedangkan pada kurva P-V *output* daya semakin besar juga ketika terjadi peningkatan *irradiance* (Ramesh, 2018). Tegangan dan arus bergantung pada beberapa parameter yaitu intensitas matahari, temperatur permukaan panel, letak posisi PV terhadap matahari, lokasi pemasangannya, dan arah serta kecepatan angin (Chauhan, 2014).

### 2.3 Sistem Solar Charging

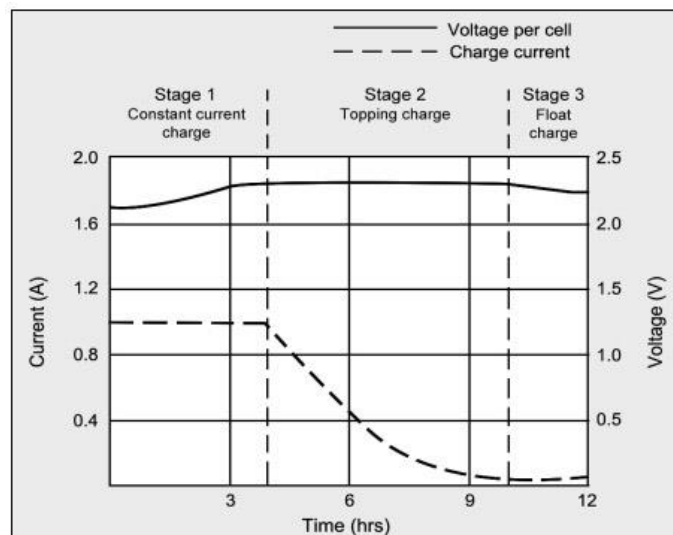
Teknologi pengisian baterai telah dikembangkan selama beberapa tahun terakhir dan penyimpanan energi listrik telah menjadi kebutuhan. Solar Charge adalah sebuah peralatan yang dibutuhkan untuk memantau dan mengendalikan pengisian baterai dengan panel surya sebagai sumber energinya. Fungsi utama adalah bagaimana perangkat pengisi daya baterai yang digunakan memiliki keandalan untuk masa pakai baterai yang lebih lama dan menggunakan metode tegangan yang konstan (Raghavendra, 2018). Tegangan yang konstan perlu pastikan untuk mencegah terjadinya *overcharging* (pengisian berlebih) dan melindungi baterai dari fluktuasi tegangan keluaran panel surya. Penyimpanan energi yang dihasilkan oleh panel surya pada umumnya menggunakan baterai atau aki seperti pada Gambar 2.4 di bawah ini.





Gambar 2. 4 Solar *charging* baterai (www.solardirect.com)

Perlindungan pada solar *charging* adalah hal yang penting untuk diperhatikan seperti *Short circuit*, Beban berlebih, Polaritas terbalik, dan Perlindungan kebocoran arus balik adalah skema perlindungan dasar dari pengendali solar charge yang harus dijaga dengan ketat. Jika pengendalian pengisian baterai tidak memiliki misalnya, kriteria perlindungan dasar seperti membalikkan perlindungan kebocoran arus (Ibrahim, 2016). Maka pada panel surya tidak menghasilkan daya, panel surya akan berperilaku seperti beban. Hubungan pendek dapat menyebabkan bahaya serius termasuk kerusakan yang dapat mengancam keselamatan.



Gambar 2. 5 Karakteristik pengisian daya pada baterai (Buchmann, 2019)

Pada Gambar 2.5 karakteristik pengisian daya baterai, nilai tegangan akan terus meningkat hingga nilai tegangan baterai konstan sesuai dengan spesifikasi tegangan baterai yang digunakan, sedangkan nilai arus yang dialirkan menuju

baterai akan menurun mendekati nol. Baterai diisi pada arus konstan sampai tegangan baterai mendekati titik tegangan maksimum, kemudian pada tahap selanjutnya pengisian tegangan konstan dimulai (Hoque, 2016). Tegangan output *Solar Charge Controller* ( $V_{charging}$ ) dapat lebih tinggi ataupun lebih rendah dari tegangan *photovoltaic*. Prinsip yang seharusnya yaitu semua daya input pada konverter DC-DC diubah menjadi daya output dengan level tegangan yang berbeda tanpa mengubahnya ke energi yang lain pada tiap komponennya. Sehingga nilai arus output yang menuju baterai mengikuti level tegangannya. Ketika tegangan baterai meningkat, maka arus *charging* menurun dan sebaliknya, ketika baterai menurun maka Arus *charging* meningkat.

#### **2.4 Konverter DC-DC**

Sistem *solar charging* pada dasarnya adalah rangkaian atau perangkat cerdas berbasis mikrokontroler dengan konverter DC-DC (Ibrahim, 2016). konverter DC-DC dipakai sebagai aktuator dalam pengendalian operasi pengisian daya pada baterai. karena konverter DC-DC yang dapat menaikkan ataupun menurunkan tegangan output photovoltaic sesuai dengan tegangan baterai. Konverter DC-DC adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengubah satu level tegangan DC ke level tegangan DC yang lain. Perangkat konverter DC-DC ini dibutuhkan karena level tegangan DC tidak dapat dinaikkan atau diturunkan dengan mudah menggunakan transformator seperti tegangan AC. Dengan kata lain, konverter DC-DC adalah transformator untuk tegangan DC, karena memiliki fungsi yang sama dengan transformator pada tegangan AC, yaitu untuk mengubah tegangan input ke level tegangan yang berbeda.

Konverter DC-DC merupakan salah satu jenis rangkaian elektronika daya yang berfungsi untuk mengkonversi tegangan masukan searah konstan menjadi tegangan keluaran searah yang dapat divariasikan berdasarkan perubahan *duty cycle* rangkaian kontrolnya. Sumber tegangan dc dan konverter DC-DC dapat diperoleh dari baterai atau dengan menyearahkan sumber tegangan ac yang kemudian dihaluskan dengan filter kapasitor untuk mengurangi riak (*ripple*).

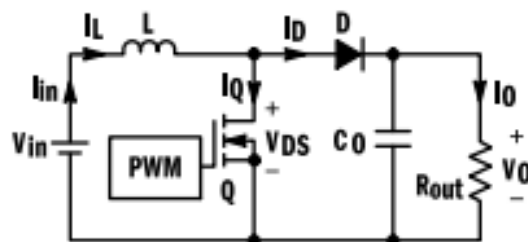
Konverter DC-DC adalah perangkat yang menerima tegangan input DC dan memberikan tegangan output DC. Tegangan output bisa lebih besar dari input atau

sebaliknya. Ini digunakan untuk menyesuaikan beban dengan catu daya. Rangkaian konverter DC-DC paling sederhana terdiri dari sakelar yang mengontrol koneksi dan pemutusan muatan ke catu daya. Konverter DC-DC dasar terdiri dari energi yang ditransfer dari beban ke perangkat penyimpanan energi seperti induktor atau kapasitor melalui sakelar seperti transistor atau dioda. Secara prinsip kerja konverter pada umumnya dibagi menjadi dua yaitu digunakan sebagai regulator tegangan tipe linier dan regulator *mode switched* (tipe peralihan).

Secara umum ada tiga rangkaian (topologi) dasar konverter DC-DC, yaitu *buck*, *boost*, dan *buck-boost*. Rangkaian lain biasanya mempunyai kinerja mirip dengan topologi dasar tersebut, sehingga sering disebut sebagai turunannya. Berbagai jenis topologi memiliki fitur dan parameter yang berbeda. Berikut beberapa jenis topologi dari konverter DC-DC yang dapat digunakan pada penelitian kali ini.

### 2.3.1 Konverter Buck

Konverter jenis buck merupakan jenis konverter yang banyak digunakan dalam industri catu-daya. Konverter ini akan mengkonversikan tegangan dc masukan menjadi tegangan dc lain yang lebih rendah (konverter penurun tegangan). Rangkaian ini terdiri atas satu saklar aktif (MOSFET) dan satu saklar pasif (dioda). Untuk tegangan kerja yang rendah, saklar pasif sering diganti dengan saklar aktif sehingga susut daya yang terjadi bisa dikurangi. Kedua saklar ini bekerja bergantian. Setiap saat hanya ada satu saklar yang menutup. Nilai rata-rata tegangan keluaran konverter sebanding dengan rasio antara waktu penutupan saklar aktif terhadap periode penyaklarannya (faktor kerja). Nilai faktor kerja bisa diubah dari nol sampai satu. Akibatnya, nilai rata-rata tegangan keluaran selalu lebih rendah dibanding tegangan masukannya.



Gambar 2. 6 Topologi Buck *converter* (SCILLC, 2014)

Pada Gambar 2.6 di atas merupakan rangkaian umum dari topologi konverter Buck. Berikut rumus yang dipakai dalam mencari nilai setiap komponen untuk merancang konverter *Buck* menggunakan persamaan berikut ini.

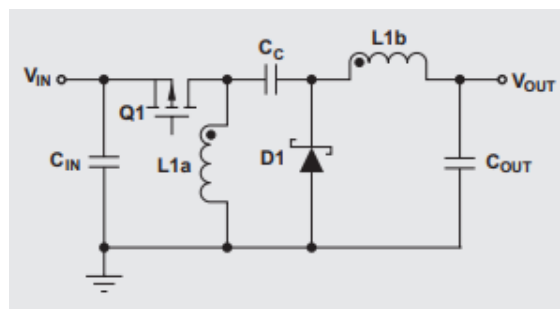
$$D = V_{out} / V_{in} \quad (2.3)$$

$$\Delta I_L = (1/L) (V_{in} - V_{out}) t_1 \quad (2.4)$$

$$C = \Delta I_L / (8 f_{sw} \Delta V_o) \quad (2.5)$$

### 2.3.2 Konverter ZETA

Konverter ZETA merupakan salah satu topologi konverter DC-DC yang digunakan untuk menaikkan dan menurunkan tegangan DC. topologi konverter ZETA memberikan tegangan *output* positif dari tegangan input yang bervariasi di atas dan di bawah tegangan output. Konverter ZETA juga membutuhkan dua induktor dan kapasitor seri, kadang-kadang disebut kapasitor terbang. Konverter ZETA dikonfigurasi dari pengontrol yang menggerakkan FET PMOS sisi-tinggi. Konverter ZETA adalah salah satu dari berbagai macam topologi konverter untuk mengatur catu daya input tegangan yang tidak konstan. Untuk meminimalkan jumlah komponen, induktor berpasangan dapat digunakan. Berikut desain konverter ZETA yang berjalan dalam mode konduksi kontinu (CCM) dengan induktor berpasangan.



Gambar 2. 7 Topologi ZETA *converter* (J. Falin, 2010)

Pada Gambar 2.7 di atas merupakan rangkaian umum dari topologi konverter ZETA. Berikut rumus yang digunakan untuk mencari nilai setiap komponen pada konverter ZETA yang ditunjukkan pada persamaan berikut ini.

$$(D/(1-D)) = V_o / V_{in} = I_{in} / I_o \quad (2.6)$$

$$D = V_o / V_o + V_{in} \quad (2.7)$$

$$L1 = 12 \times V_{in}(\min) \cdot D_{max} \cdot f_{sw} \quad (2.8)$$

$$L2 = 12 \times V_{in}(\min) \cdot D_{max} \cdot f_{sw} \quad (2.9)$$

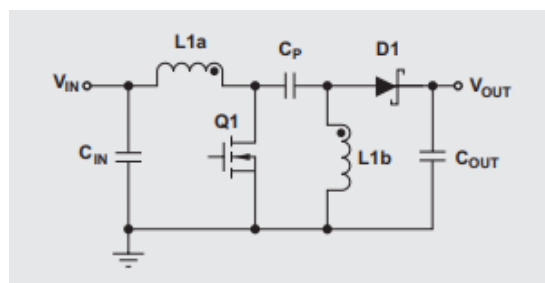
$$C2 = D_{max} \cdot I_{max} \cdot 0,09 \times V_{out} \times f_{sw} \quad (2.10)$$

$$C1 = \Delta I / 8 \times 0,08 \times f_{sw} \quad (2.11)$$

Konverter ini bekerja berdasarkan sinyal pensaklaran, ton dan toff. Hubungan tegangan input dan output dapat dicari dengan kondisi saklar ON dan OFF. Dalam menganalisa arus dan tegangan saat saklar terbuka dan tertutup, yaitu ketika saklar on kapasitor C mengisi Vout dan terhubung seri dengan Lib sehingga yang melewati Lib adalah Vin polaritas positif. Sedangkan pada saat kondisi saklar off, tegangan melalui Lib sama dengan Vout karena diparalel dengan Cout. Karena Cout mengisi Vout sehingga tegangan yang melewati saklar ketika saklar off adalah jumlah Vin dan Vout, menyebabkan tegangan yang melalui Lia adalah Vout polaritas negatif.

### 2.3.3 Konverter SEPIC

*Single Ended Primary Inductor Converter* (SEPIC) adalah jenis konverter DC-DC buck-boost yang dikembangkan seperti konverter Cuk dan konverter Zeta. Konverter SEPIC menggunakan dua induktor dan dua kapasitor yang memiliki keunggulan yaitu, input dan output memiliki polaritas yang sama, *ripple arus input* yang rendah, dan dapat beroperasi sebagai mode *step-up* dan mode *step-down*.



Gambar 2. 8 Topologi SEPIC *converter* (Falin, 2008)

Pada Gambar 2.8 di atas merupakan rangkaian umum dari topologi konverter SEPIC. Rumus yang digunakan untuk mencari nilai stiap komponen

yang dipakai pada topologi konverter SEPIC ditunjukkan pada persamaan berikut ini.

$$D = \frac{V_{out} + V_d}{V_{out} + V_{in(max)} + V_d} \quad (2.12)$$

$$L1 = L2 = 12 \times V_{in(min)} \cdot D_{max} \Delta I_l \cdot f_{sw} \quad (2.13)$$

$$C1 = I_{out} \cdot D(max) \Delta V_{Rpl} \cdot f_{sw} \quad (2.14)$$

$$C2 = I_{out} \cdot D(max) \Delta V_{Rpl} \cdot f_{sw} \quad (2.15)$$

Topologi SEPIC pada dasarnya merupakan topologi konverter boost yang ditambahkan rangkaian filter berupa induktor dan kapasitor. Rangkaian konverter SEPIC terdiri dari induktor, kapasitor, dioda, dan MOSFET sebagai *gate driver* atau komponen pensaklaran. Prinsip kerja dari konverter SEPIC hampir sama dengan konverter regulator *mode switched* lainnya, dimana menaikkan dan menurunkan tegangan dengan cara mengubah *duty cycle* dari sistem pengendaliannya. Konverter SEPIC dapat dioperasikan dengan dua mode yaitu *continuous current mode* (CCM) dan *discontinuous current mode* (DCM). Mode yang digunakan adalah *Continuous current mode* (CCM), ditandai oleh arus yang mengalir secara terus menerus pada induktor selama *switching cycle*-nya dalam keadaan mantap (*steady state*).

## 2.5 Baterai

Baterai merupakan sebuah perangkat penyimpanan energi yang terdiri dari dua atau lebih sel elektrokimia sehingga dapat diubah menjadi energi listrik. Representasi kapasitas baterai dapat ditunjukkan dengan pengukuran tegangan baterai secara langsung tanpa ada beban maupun pada saat *charging*. Hal penting dalam menjaga siklus hidup (*cycle life*) baterai adalah dengan tidak melakukan *overcharge*. Perlindungan arus pendek dan pencegahan polaritas terbalik diterapkan pada baterai untuk penggunaan yang lebih baik dan umur baterai yang lebih lama (Tseng, 2009). Pengisian berlebihan pada baterai dapat mengurangi *cycle life* dari baterai itu sendiri, maka dari itu penting untuk memantau kapasitas dari baterai (SOC) ketika penuh atau kosong. Berikut pada Gambar 2.9 menjelaskan konstruksi bagian pada baterai pada umumnya.



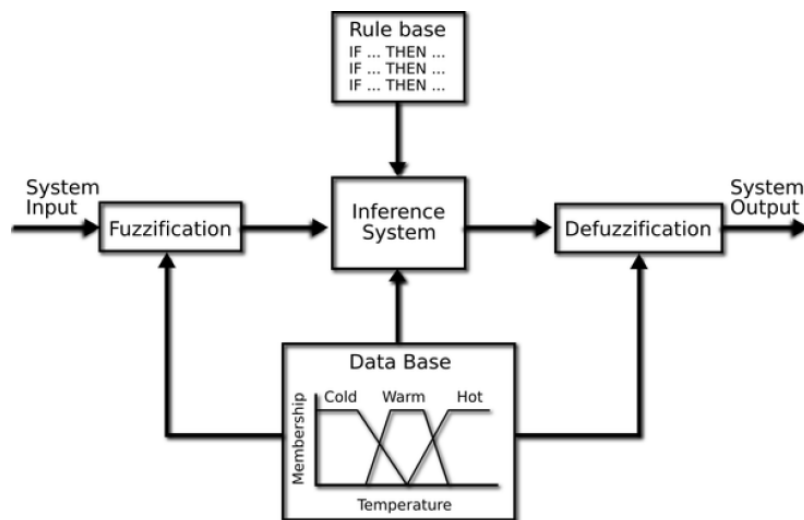
Sistem pengisian adalah elemen penting dalam kinerja baterai; Oleh karena itu, setiap upaya harus dilakukan untuk menggunakan metode pengisian daya yang dapat diterima untuk baterai dan aplikasi lainnya. Pertimbangan penting untuk sistem PV adalah apakah sistem mampu memulihkan kapasitas baterai yang hilang dari periode sumber daya matahari yang rendah selama periode sumber daya surya rata-rata. Jika waktu yang dihabiskan baterai untuk pulih dari pengosongan berlebihan, maka hasil penurunan kapasitas permanen (Hajizadeh, 2014). Cara mengukur SOC dari baterai dapat dilakukan dengan 3 cara, yaitu:

- a. Pengukuran secara langsung tegangan baterai, dapat dilakukan jika baterai diberikan nilai tegangan yang konstan pada saat pengisian.
- b. Pengukuran parameter *Specific Gravity* (SG), dilakukan dengan pengukuran dari berat bahan kimia aktif didalam baterai.
- c. Perkiraan berdasarkan tegangan, dengan mengukur tegangan *cell* baterai sebagai dasar untuk perhitungan SOC atau sisa kapasitas.

## 2.6 Logika Fuzzy

Logika fuzzy adalah cabang dari sistem kecerdasan buatan (*Artificial Intelegent*) yang mengemulasi kemampuan manusia dalam berfikir ke dalam bentuk algoritma yang kemudian ditanam pada kontroler. Algoritma ini digunakan dalam berbagai aplikasi pemrosesan data yang tidak dapat direpresentasikan dalam bentuk biner. Logika *fuzzy* menginterpretasikan statemen yang samar menjadi sebuah pengertian yang logis. *Fuzzy logic* pada dasarnya metodologi ‘berhitung’ dengan variabel kata-kata (*linguistic variabel*), sebagai pengganti berhitung dengan bilangan. Teknologi logika *fuzzy* yang diusulkan banyak digunakan dalam banyak masalah kontrol karena kemampuannya untuk memecahkan masalah pengendalian nonlinier dan kompleks tanpa memerlukan pengetahuan sistem untuk dikendalikan (Ayas, 2014). *Fuzzy logic* menggunakan penalaran manusia dan pengambilan keputusan dalam format aturan *fuzzy*. Pada dasarnya struktur logika *fuzzy* dapat diilustrasikan pada Gambar 2.11 berikut ini





Gambar 2. 11 Diagram blok *fuzzy logic* (P K Singh, 2015)

a. *Input*

*Input* pada sistem logika *fuzzy* berupa bilangan *crisp* atau bilangan nyata.

b. *Fuzzyfication*

Fuzzifikasi adalah proses mengubah data input menjadi nilai linguistik yang sesuai. Untuk setiap nilai linguistik yang diterapkan pada variabel *input*, mengikuti fungsi keanggotaan (*membership function*) yang telah ditetapkan sebagai *data base*.

c. *Rule Base*

*Rule base* tidak lain adalah seperangkat aturan. Aturan yang digunakan dalam logika *fuzzy* umumnya pernyataan "IF...THEN..." di mana IF merupakan suatu kondisi dan THEN berarti kesimpulan (Swathy, 2018).

d. *Inference System*

Sistem ini memiliki mekanisme untuk memutuskan aturan kendali yang sesuai pada situasi tertentu dan memberikan output inferensi yang berbeda pada setiap metode. Metode inferensi yang paling umum dipakai adalah metode inferensi Mamdani, Sugeno, dan Tsukamoto.

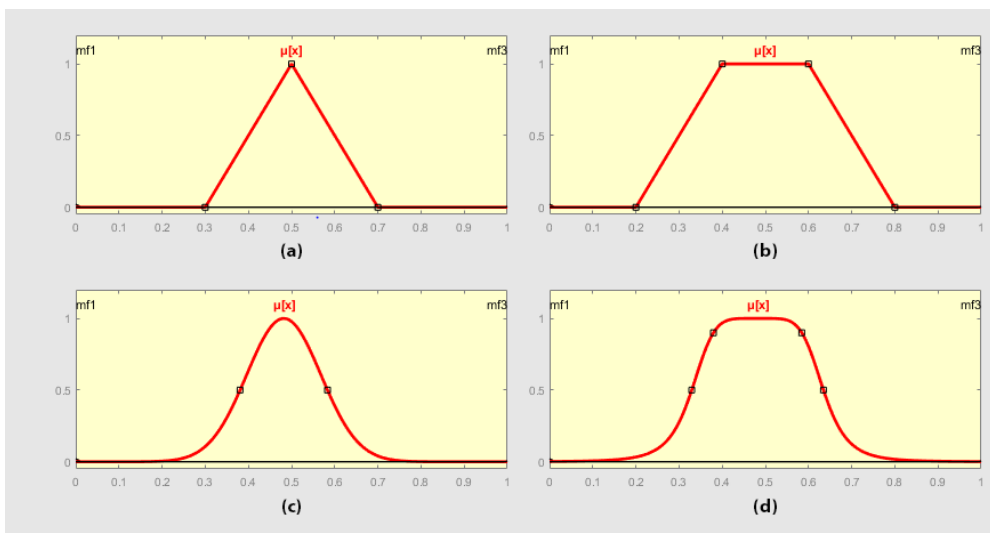
e. *Defuzzyfication*

Kombinasi dari semua keputusan yang telah diambil menjadi sinyal output non fuzzy tunggal disebut proses defuzzifikasi. Proses ini akan menghasilkan output *crisp* atau bilangan nyata.

f. *Output*

*Output* pada sistem logika *fuzzy* berupa bilangan nyata.

Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input / output data ke dalam nilai keanggotaannya. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan dengan melalui pendekatan fungsi. Dalam teori logika fuzzy dikenal himpunan fuzzy (*fuzzy set*) yang merupakan pengelompokan sesuatu berdasarkan variable linguistik, yang dinyatakan dalam fungsi keanggotaan. Didalam fungsi keanggotaan dari suatu himpunan fuzzy terdapat derajat keanggotaan yang bernilai antara 0 sampai dengan 1. Fungsi keanggotaan ini memiliki peranan yang sangat penting untuk merepresentasikan masalah dan menghasilkan keputusan yang tepat dan akurat (Jin Zhao, 2002). Pada Gambar 2.12 beberapa variasi jenis fungsi keanggotaan yang bisa digunakan, adapun jenis representasi logika fuzzy adalah sebagai berikut :



Gambar 2. 12 Variasi jenis *membership function*

- a. Fungsi *Triangular* atau segitiga memiliki pemetaan input ke derajat keanggotaannya digambarkan dengan bentuk segitiga dimana pada dasarnya bentuk segitiga tersebut gabungan antara 2 garis (linear). Nilai-nilai di sekitar  $b$  memiliki derajat keanggotaan turun yang cukup tajam (menjauhi 1). Fungsi keanggotaan dari kurva segitiga:

$$\mu[x] = \left\{ \begin{array}{l} 0, x \leq A \text{ atau } x \geq C \\ \frac{(x-a)}{(B-A)}, A \leq x \leq B \\ \frac{(c-x)}{(c-B)}, B \leq x \leq C \end{array} \right\} \quad (2.16)$$

- b. Fungsi *Trapezoidal* atau trapesium pada dasarnya menyerupai bentuk segitiga, hanya saja ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1. Fungsi keanggotaan trapesium dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$T[x, a, b, c, d] = \begin{cases} 0; & x < a \\ (x - a)I(b - a); & a \leq x \leq b \\ 1; & b < x \leq c \\ (d - x)I(d - c); & c \leq x \leq d \\ 0; & x > d \end{cases} \quad (2.17)$$

- c. Fungsi *Generalized Bell* merupakan representasi kurva dengan bentuk seperti lonceng. Memiliki pusat kurva dengan derajat keanggotaan bernilai 1 yang dilambangkan dengan variabel “c”. Sedangkan untuk mendefinisikan setengah lebar kurva menggunakan variabel “a”. Fungsi keanggotaan generalized bell dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$bell(x; a, b, c) = \frac{1}{1 \pm \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (2.18)$$

- d. Fungsi *Gaussian*, memiliki satu titik keanggotaan yang bernilai 1, yaitu pada saat menunjukkan pusat kurva (c) dan setengah lebar kurva (b) merupakan standar deviasi pada himpunan fuzzy. Fungsi keanggotaan gaussian dinyatakan dengan persamaan berikut:

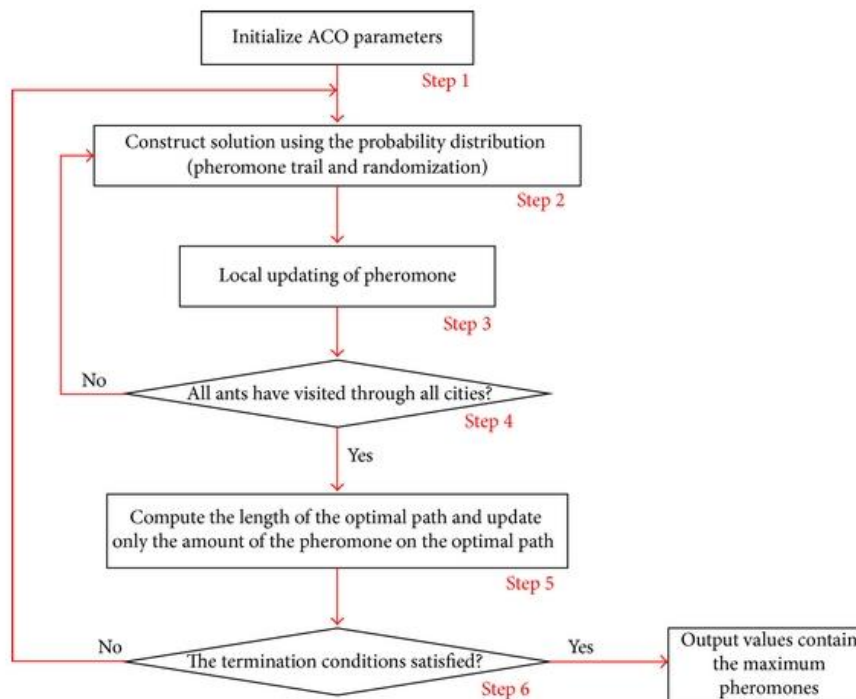
$$G(x; b, c) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2b^2}} \quad (2.19)$$

## 2.7 Ant Colony Algorithm Optimization

Optimisasi sangat penting dalam aplikasi di industri yang digunakan untuk mengoptimalkan sesuatu seperti meminimalkan harga, konsumsi energi atau memaksimalkan keuntungan, performansi dan efisiensi. Algoritma optimisasi koloni semut (ACO) adalah teknik probabilistik untuk memecahkan masalah komputasi yang dapat direduksi untuk menemukan jalur yang baik melalui grafik. ACO berarti metode multi-agen yang terinspirasi oleh perilaku semut sungguhan. Komunikasi semut biologis berbasis feromon sering kali merupakan paradigma dominan yang digunakan. Feromon memiliki fungsi sangat penting, yaitu mempengaruhi distribusi koloni semut dan meningkatkan solusi [13]. Kombinasi

Semut Buatan dan algoritma pencarian lokal telah menjadi metode pilihan untuk berbagai permasalahan optimisasi.

Dalam algoritma optimisasi koloni semut, semut sebagai agen komputasi sederhana yang mencari solusi yang baik untuk masalah optimisasi yang diberikan. Untuk menerapkan algoritma koloni semut, masalah optimisasi perlu dikonversi menjadi masalah menemukan jalur terpendek pada grafik. Pada langkah pertama dari setiap iterasi, masing-masing semut secara stokastik membangun solusi, yaitu urutan dimana titik dalam grafik harus diikuti. Pada langkah kedua, jalur yang ditemukan oleh semut berbeda dibandingkan. Langkah terakhir terdiri dari memperbarui tingkat feromon di setiap jalur yang dilewati. Berikut pada Gambar 2.13 yang menjelaskan diagram alir dari proses *algoritma ant colony*.



Gambar 2. 13 Diagram Alir Ant Colony Optimization (Yun, 2013)

Prinsip utama pada algoritma semut ini berasal dari hasil pengamatan sumber makanan dari semut itu sendiri dimana semut secara individual memiliki kemampuan kognitif dalam menemukan jalur terpendek antara sumber makanan dan sarangnya. Semut melewati berbagai macam rute untuk menuju sumber

makanannya. Dan ketika seekor semut  $k$  melewati rute akan meninggalkan pheromone. Jumlah pheromone yang terdapat pada ruas  $i - j$  setelah dilewati semut  $k$  diberikan dengan rumus( 2.11).

$$\tau_{i,j} \leftarrow \tau_{i,j} + \Delta\tau^k \dots\dots\dots(2.20)$$

Dengan meningkatnya nilai pheromone pada ruas  $i - j$ , maka kemungkinan ruas ini akan dipilih lagi semakin besar pada semut lainnya. Setelah sejumlah rute dilewati maka akan terjadi penguapan pheromone dengan aturan sebagai berikut:

$$\tau_{i,j} \leftarrow (1 - \rho) \tau_{i,j} : \forall (i,j) \in A \dots\dots\dots(2.21)$$

Penguapan pada *pheromone* memungkinkan semut untuk mengeksplorasi lintasan yang berbeda selama proses pencarian. Ini juga akan menghilangkan kemungkinan memilih lintasan yang kurang bagus. Selain itu, ini juga membantu membatasi nilai maksimum yang dicapai oleh suatu lintasan pheromone

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

$$x_i^{(j)} = l_i + \frac{u_i - l_i}{m+v} (j - 1 + rand_i^{(j)}) \dots\dots\dots(2.22)$$

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

Proses selanjutnya merupakan *dynamic exploitation* untuk menetapkan radius semut berjalan pada variabel terpilih atau titik yang sudah ditetapkan sesuai dengan apa yang ingin dioptimisasi. Setiap variabel yang terpilih akan diperbaharui nilainya. Nilai variabel yang terpilih secara random dapat ditingkatkan, dibuat tetap, atau diturunkan dengan persamaan (2.23). Setelah mendapatkan nilai variabel baru, kemudian variabel tersebut akan dibandingkan dengan nilai sebelumnya. Jika nilai yang didapatkan lebih baik dari nilai sebelumnya, maka nilai sebelumnya akan digantikan oleh nilai yang telah diperbaharui.

$$\hat{x}_i = \left\{ \begin{array}{l} \min(x_i^{(0)} + r_i \cdot \sigma_i, u_i), 0 \leq q < 1/3 \\ x_i^{(0)}, 1/3 \leq q < 2/3 \\ \max(x_i^{(0)} - r_i \cdot \sigma_i, l_i), 2/3 \leq q < 1 \end{array} \right\} \dots\dots\dots(2.23)$$

Keterangan:

- $x_i^{(0)}$  : variabel terpilih setiap (i)
- $r_i$  : radius setiap (i)
- $\sigma_i$  : nilai random secara uniform antara [0,1] setiap (i)
- q : nilai random secara uniform antara [0,1] setiap (i)

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

$$l_i^{(k)} = \left\{ \begin{array}{l} \operatorname{argmax} \{ \tau_i^{(1)}, \tau_i^{(2)}, \dots, \tau_i^{(m)} \}, \text{ if } q < q_0 \\ L_i^{(k)}, \text{ otherwise} \end{array} \right\} \dots\dots\dots(2.24)$$

Keterangan:

- q : nilai secara random dengan rentang [0,1]
- I : jumlah iterasi, 1,2,3,...,n
- k : jumlah solusi, 1,2,3,...,m
- $q_0$  : parameter kontrol

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

$$p_i^{(j)} = \frac{\tau_i^{(j)}}{\sum_{u=0}^{m+g_i} \tau_i^{(u)}}, j = 0,1, \dots, m + g_i \dots\dots\dots(2.25)$$

Pada pembaharuan feromon, setiap variabel memiliki feromon awal  $\tau_0$ . Setelah mengevaluasi solusi yang dibangun oleh setiap semut, solusi tersebut diurutkan berdasarkan fungsi objektif yang digunakan untuk membentuk urutan

mulai dari yang terbaik hingga terburuk. Feromon dari variabel yang dipilih, akan menguap dengan fungsi seperti berikut

$$\tau_i^{(j)} \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_i^{(j)} + \rho \cdot T_{min} \dots\dots\dots(2.26)$$

Keterangan:

$\rho$  : laju penguapan feromon yang bernilai antara 0 sampai 1

$T_{min}$  : nilai feromon awal

$i$  : iterasi, (1,2,...,n)

$j$  : jumlah semut (1,2,...,m)

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

$$\tau_i^{(j)} \leftarrow (1 - \alpha) \cdot \tau_i^{(j)} + \alpha \cdot T_{max} \dots\dots\dots(2.27)$$

Keterangan:

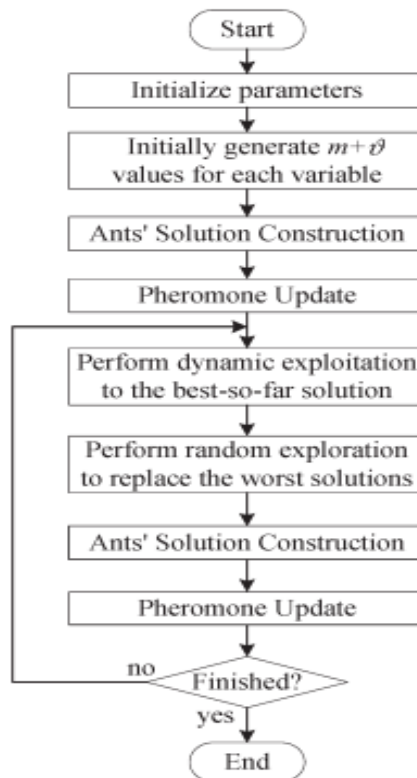
$\alpha$  : laju penguatan feromon yang bernilai antara 0 sampai 1

$T_{max}$  : nilai feromon maksimum awal

$\Psi$  : jumlah solusi terbaik yang mendapatkan penguatan feromon

## 2.7 Ant Colony Algorithm Optimization – Fuzzy Logic Controller

ACO digunakan untuk menemukan fungsi optimal parameter keanggotaan melalui penyesuaian dan selanjutnya evaluasi sistem. Parameter yang terkait dengan fungsi keanggotaan variabel input tetap diperbaiki untuk menyederhanakan masalah. Algoritma akan menemukan nilai optimal dari parameter. Evaluasi keanggotaan *fuzzy* berdasarkan tujuan dan fungsi *fuzzy* sebagai solusi terbaik. Pembaruan nilai *pheromone* ACO menggunakan persamaan pembaruan *pheromone* dari variabel yang dipilih. Adapaun penjelasan mengenai proses dari optimisasi parameter fungsi keanggotaan pada *fuzzy* menggunakan algoritma *ant colony* yang diilustrasikan pada Gambar 2.14 berikut ini.



Gambar 2. 14 Penerapan algoritma ACO pada *Fuzzy* (Xiao-Min Hu, 2010)

Berikut langkah – langkah optimisasi pada parameter fungsi keanggotaan *fuzzy*.

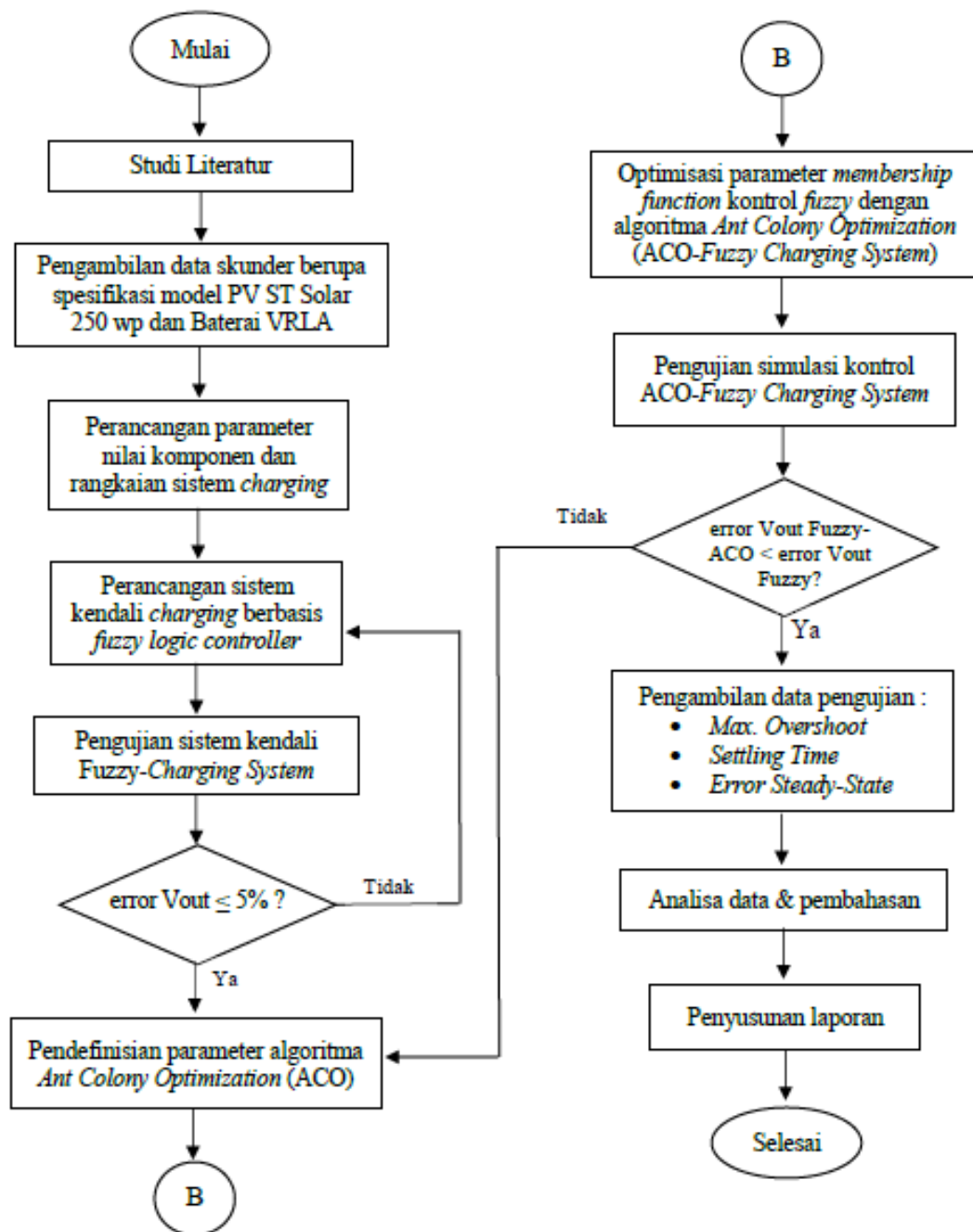
1. Penentuan data output tegangan (*error* dan *delta error*) berupa nilai parameter fungsi keanggotaan *fuzzy*. Dilanjutkan penentuan inisialisasi parameter ACO, penentuan posisi awal semut, dan batasan (*constraint*).
2. Evaluasi fungsi keanggotaan fuzzy berdasarkan tujuan yang ingin dicapai dengan menghitung nilai pheromone dari setiap ruas yang dilewati.
3. Pembaruan nilai pheromone ACO. Hasil berupa solusi baru dengan memperbarui feromon, dan bandingkan nilai dari solusi baru dengan solusi terbaik. Jika nilai yang dihasilkan memiliki nilai yang lebih baik, maka nilai tersebut akan digunakan untuk optimisasi.
4. Periksa jumlah iterasi dan jika jumlah iterasi tidak memiliki nilai yang ditentukan, maka langkah tersebut diulangi
5. Mendapatkan solusi terbaik berdasarkan tujuan menghasilkan nilai titik posisi semut yang digunakan untuk nilai parameter *fuzzy*.
6. Selesai.



### BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

Pada metodologi penelitian membahas prosedur penelitian yang telah dilakukan untuk mencapai tujuan pada tugas akhir ini. Tahapan yang dilakukan dari penelitian ini dapat digambarkan pada diagram alir seperti Gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

### 3.1 Studi Literatur

Penelitian dilakukan dengan merumuskan perancangan topik penelitian berbentuk diagram alir seperti pada Gambar 3.1, kemudian melakukan studi literatur. Studi literatur perlu dilakukan pada awal melakukan sebuah penelitian. Kegiatan yang dapat dilakukan yaitu pencarian informasi dan fakta-fakta terkait yang menunjang sebuah penelitian. Literatur yang digunakan dapat berupa jurnal, buku, dan informasi lainnya mengenai penelitian serupa maupun penelitian sebelumnya sebagai dasar informasi dari bidang-bidang mengenai *photovoltaic*, sistem *charging* baterai, jenis dari konverter DC-DC, kontrol logika *fuzzy*, dan *ant colony algorithm optimization*.

### 3.2 Pengumpulan Data Penelitian

Pengumpulan data penelitian meliputi data spesifikasi PV dan baterai. PV yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe *poly crystalline* dengan daya maksimum sebesar 250 Wp. Adapun spesifikasi untuk PV yang digunakan ditunjukkan pada Tabel dibawah ini.

Tabel 3. 1 Spesifikasi model *photovoltaic*

Parameter Model PV ST Solar 250 Wp	Nilai Parameter
<i>Maximum Power at STC (P<sub>MPP</sub>)</i>	250 Wp
<i>Maximum Power Voltage at STC (V<sub>MPP</sub>)</i>	30 V
<i>Maximum Power Current at STC (I<sub>MPP</sub>)</i>	8.34 A
<i>Open Circuit Voltage at STC (V<sub>oc</sub>)</i>	36.8 V
<i>Short Circuit Current at STC (I<sub>sc</sub>)</i>	9 A
<i>Temperature Coefficient of VOC</i>	-0.32 %/oC
<i>Temperature Coefficient of ISC</i>	0.06 %/oC
<i>Series Connected Cell per Modul</i>	60

Sedangkan baterai yang digunakan yaitu tipe baterai Valve-Regulated Lead-Acid (VRLA) dengan kapasitas 12 V 40 Ah. Nilai parameter pada baterai digunakan sebagai acuan dalam merancang spesifikasi sistem *charging*. Sistem *charging* yang dirancang yaitu sebuah konverter DC-DC, dimana berfungsi untuk

mengubah nilai tegangan menuju ke baterai. Karena output dari konverter harus sesuai atau melebihi dari tegangan yang dibutuhkan baterai, maka penting meninjau nilai parameter baterai untuk melakukan proses *charging* dengan performansi optimal.

Tabel 3. 2 Spesifikasi model baterai

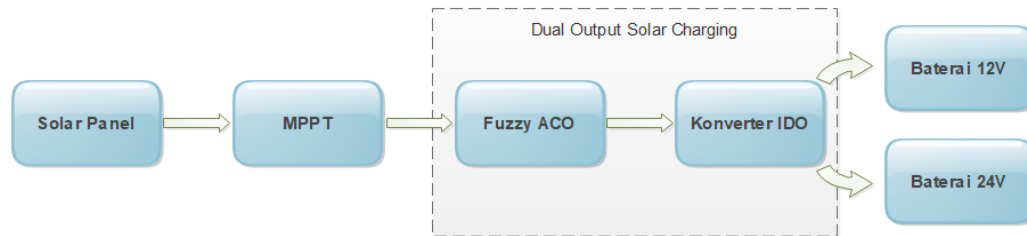
<b>Parameter Power Battery SMT 1240</b>	<b>Nilai Parameter</b>
<i>Tipe baterai</i>	<i>Lead-Acid</i>
<i>Constant Voltage / Capacity</i>	12 V / (40/70/100) Ah
<i>Charging Cycle Use</i>	14.5 – 14.9 V
<i>Stabdy Use</i>	13.5 – 13.9 V
<i>Initial Current</i>	>12 A

Untuk menentukan besar nilai tegangan *charging* pada baterai digunakan spesifikasi di atas. Sedangkan pada spesifikasi baterai tegangan 24 V, menggunakan standar spesifikasi teknis sesuai dengan jenis baterai yang dipakai. Standar tersebut berisi tentang spesifikasi yang mencakup desain, pembuatan, pengujian 24V (2 X 12 V) 40 AH SMF - VRLA baterai dengan pengisi daya yang mampu untuk diaplikasikan diluar ruangan (TSTRANSCO, 2014). Besar nilai tegangan *charging* pada baterai ditetapkan sebesar 27,6 V. spesifikasi teknis tersebut mengacu pada standar IS-15549/2005.

### 3.3 Perancangan Spesifikasi Konverter

Konverter memiliki berbagai jenis topologi dan karakter fungsinya, seperti polaritas tegangan input dan output, tipe *switching* modenya, nilai besar tegangan yang dikonversi, dan sebagainya. Oleh karena itu penting mengetahui karakter dan fungsi dari konverter mana yang sesuai dengan kebutuhan sistem *charging* yang akan dirancang. *Photovoltaic* yang dipakai sebagai sumber energi pada sistem *charging* baterai menghasilkan *output* tegangan searah (DC), sehingga *Solar Charge* yang akan digunakan terdiri dari sebuah konverter DC-DC. Dalam nilai besar tegangan yang dikonversi, konverter DC-DC dapat mengubah nilai tegangan menjadi naik ataupun turun sesuai dengn jenis topologinya. Karena sistem *charging* baterai menerima output dari *Maximum Power Point Tracking* (MPPT), dimana

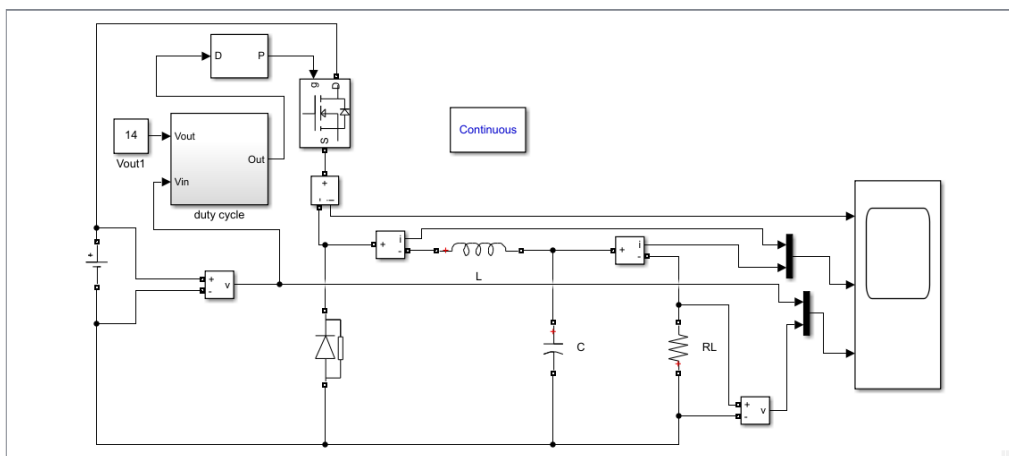
secara umum tegangan *output* dari MPPT lebih tinggi sehingga diperlukan untuk menurunkan tegangannya (*buck*) sesuai dengan baterai. Berikut pada Gambar 3.2 merupakan diagram alir dari sistem *charging solar energy* yang akan dirancang.



Gambar 3. 2 Sistem *charging solar energy*

Fungsi dari MPPT adalah menghasilkan output daya titik maksimal kemampuan photovoltaic, sehingga output tegangan dari MPPT tidak hanya tinggi melainkan juga fluktuasi. Untuk menjaga daya tahan kemampuan baterai dalam menyimpan energi diperlukan tegangan yang stabil. Dari berbagai macam topologi dan jenis konverter didapat 3 macam yang dapat memenuhi kebutuhan dalam segi karakteristik, yaitu konverter Buck, konverter SEPIC, dan konverter ZETA. Berikut perancangan dan perbandingan jenis konverter yang memenuhi kriteria dalam perancangan sistem *solar charging*.

Konverter pertama yang dirancang merupakan jenis topologi konverter Buck. Seperti namanya konverter jenis ini hanya dapat menurunkan (*buck*) nilai tegangan input. Berikut gambar skematik rangkaian konverter Buck yang telah dirancang.



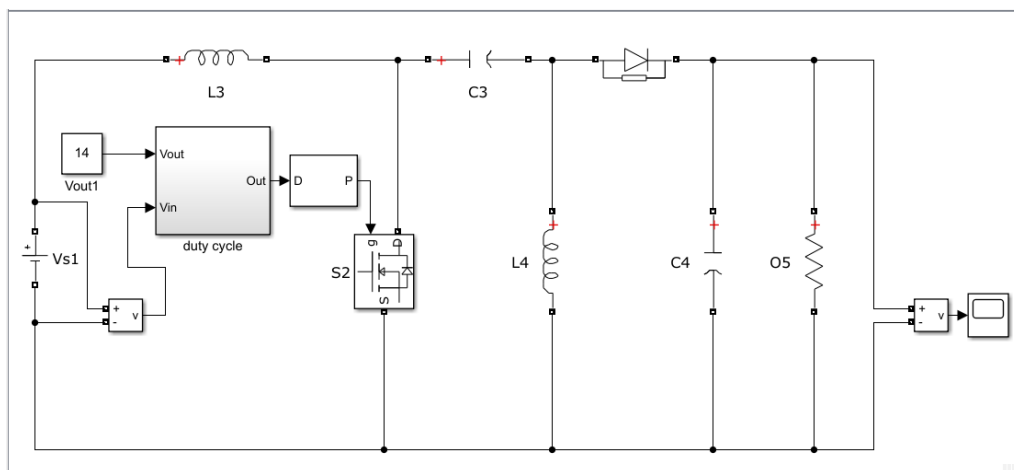
Gambar 3. 3 Rangkaian Konverter Buck

Berdasarkan Gambar 3.3, rangkaian konverter di atas memiliki beberapa komponen yang memiliki nilai masing – masing. Diperlukan perhitungan pada setiap komponen agar dapat dilakukan simulasi. Setiap *output* yang dibutuhkan memiliki nilai komponen sendiri, berikut hasil perhitungan pada setiap komponen yang diperoleh.

Tabel 3. 3 Nilai komponen konverter Buck

Komponen	Nilai (24 V)	Nilai (12 V)	Satuan
L1	$19,2 \times 10^{-4}$	$26 \times 10^{-4}$	uH
C1	$1,68 \times 10^{-6}$	$3,125 \times 10^{-6}$	uF
D	10	10	A
Frekuensi	20000	20000	Hz

Konverter kedua yang dirancang merupakan konverter SEPIC. *Output* yang dihasilkan dari konverter SEPIC dapat lebih tinggi dan rendah dari tegangan *input*. Dalam mengetahui spesifikasi dari konverter SEPIC dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai dari setiap komponen yang dibutuhkan. Skematik dan perhitungan dari konverter SEPIC ditunjukkan pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3. 4 Rangkaian Konverter SEPIC

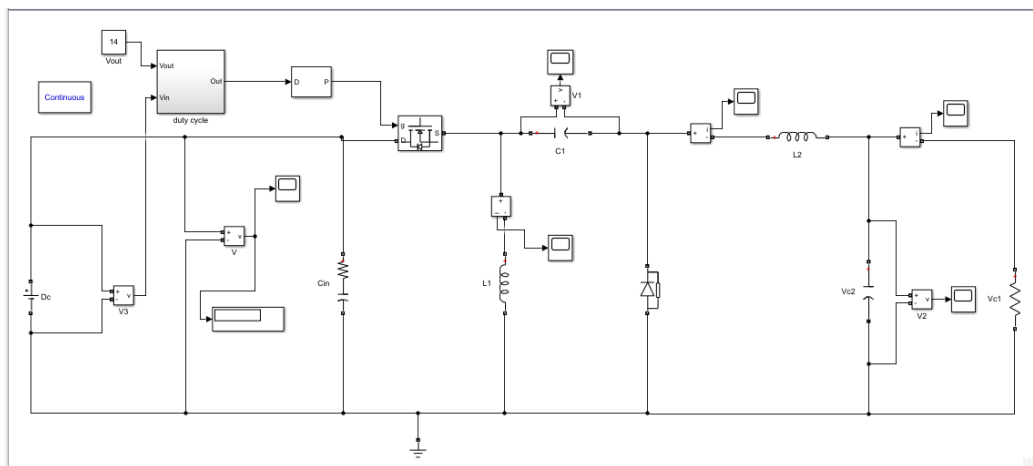
Rangkaian di atas diperlukan perhitungan setiap komponen untuk melakukan simulasi dan perbandingan hasil output dengan jenis konverter lain.

Berikut hasil perhitungan yang diperoleh spesifikasi dari konverter SEPIC pada Tabel 3.4 ini.

Tabel 3. 4 Nilai komponen konverter SEPIC

Komponen	Nilai (24 V)	Nilai (12 V)	Satuan
L1	$1 \times 10^{-3}$	$1,3 \times 10^{-3}$	uH
C1	$8,2 \times 10^{-4}$	$5,6 \times 10^{-4}$	uF
L2	$1 \times 10^{-3}$	$1,3 \times 10^{-3}$	uH
D	10	10	A
C2	$8,2 \times 10^{-4}$	$5,6 \times 10^{-4}$	uF
Frekuensi	20000	20000	Hz

Konverter ketiga yang dirancang merupakan konverter ZETA. *Output* yang dihasilkan dari dari konverter ZETA tidak berpolaritas terbalik (*non-inverting*). Dalam mengetahui spesifikasi dari konverter ZETA dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai dari setiap komponen yang dibutuhkan. Skematik dan perhitungan dari konverter ZETA ditunjukkan pada Gambar 3.5 berikut.



Gambar 3. 5 Rangkaian Konverter Zeta

Berdasarkan pada Gambar 3.5, rangkaian konverter Zeta yang telah dirancang perlu perhitungan untuk setiap nilai komponen yang dibutuhkan. Pada Tabel 3.5 menunjukkan nilai komponen yang telah dihitung untuk melakukan simulasi pada setiap *output* konverter yang diperlukan.

Tabel 3. 5 Nilai komponen konverter ZETA

Komponen	Nilai (24 V)	Nilai (12 V)	Satuan
L1	$2,6 \times 10^{-4}$	$1,84 \times 10^{-4}$	uH
C1	$9,8 \times 10^{-5}$	$6,83 \times 10^{-5}$	uF
L2	$2,6 \times 10^{-4}$	$1,84 \times 10^{-4}$	uH
D	10	10	A
C2	$2,7 \times 10^{-4}$	$1,46 \times 10^{-4}$	uF
Frekuensi	20000	20000	Hz

Sebelum merancang konverter *dual output*, untuk menentukan jenis konverter yang akan dipakai, perlu dibandingkan hasil output yang dihasil dengan menggunakan input yang linear tanpa menggunakan pengendalian. Berikut hasil yang diperoleh dari hasil perbandingan ketiga jenis konverter yang telah dipilih.

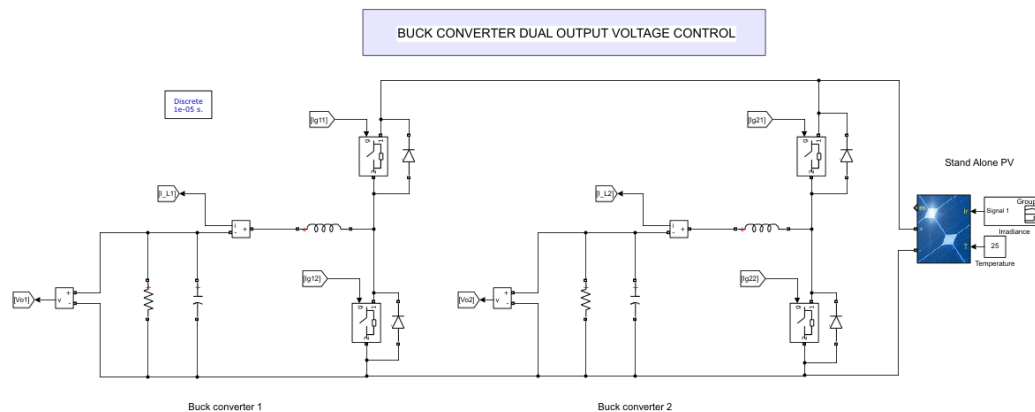
Tabel 3. 6 Hasil perbandingan simulasi perancangan konverter

	Buck				Zeta			
	Konverter 12 V		Konverter 24 V		Konverter 12 V		konverter 24 V	
Vin	Vout	Error	Vout	Error	Vout	Error	Vout	Error
30	14,17	3,61	27,54	0,22	14,32	2,59	26,88	2,61
40	14,48	1,50	27,54	0,22	14,32	2,59	26,88	2,61
50	14,38	2,18	27,17	1,56	14,38	2,18	26,88	2,61
60	14,62	0,54	26,89	2,57	14,38	2,18	26,88	2,61
70	14,49	1,43	26,71	3,22	14,38	2,18	26,87	2,64
80	14,61	0,61	26,72	3,19	14,38	2,18	26,87	2,64
90	14,37	2,24	27,08	1,88	14,38	2,18	26,87	2,64
100	14,44	1,77	27,36	0,87	14,32	2,59	26,87	2,64
rata-rata	14,45	1,73	27,13	1,72	14,36	2,33	26,88	2,63

Tabel 3.6 Hasil perbandingan simulasi perancangan konverter

Vin	SEPIC			
	Konverter 12 V		Konverter 24 V	
Vin	Vout	Error	Vout	Error
30 V	14,08	4,22	25,76	6,67
40 V	14,38	2,18	26,94	2,39
50 V	14,17	3,61	26,25	4,89
60 V	14,39	2,11	27,09	1,85
70 V	14,39	2,11	26,66	3,41
80 V	14,39	2,11	26,77	3,01
90 V	14,63	0,48	26,85	2,72
100 V	14,31	2,65	26,91	2,50
rata-rata	14,34	2,43	26,65	3,43

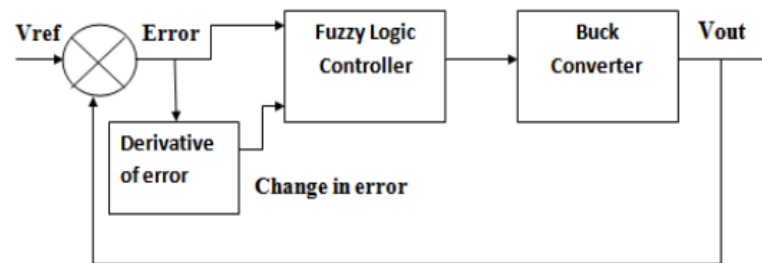
Setelah membandingkan hasil dari ketiga rancangan jenis konverter di atas, dapat diketahui hasil yang terbaik dari nilai *error* yang diperoleh. Uji coba perancangan simulasi dilakukan secara regulator mode linier, yaitu dengan input tegangan konstan. Sehingga dapat melihat seberapa akurat setiap jenis rancangan konverter dalam mengubah nilai tegangan sesuai dengan *set point* yang ditentukan. Dalam simulasi ini tidak memberikan sistem pengendaliah, sehingga besar *duty cycle* yang diterima *gate driver* nilainya konstan atau tidak ada *feedback* pengendalian. Besar *duty cycle* dihitung dari nilai input dan output tegangan yang telah ditetapkan, dalam uji coba simulasi ini ditetapkan dua variasi nilai output. serangkaian uji coba dilakuan sebelum merancang sistem konverter *dual output* yang akan dipakai sebagai aktuator yang akan diimplementasikan sebagai sistem *charging* baterai *dual output* itu sendiri. Berikut Gambar 3.6 merupakan rangkaian *Buck converter dual output* yang telah dirancang untuk simulasi pada Matlab.

Gambar 3. 6 Rangkaian *Buck Converter dual output*



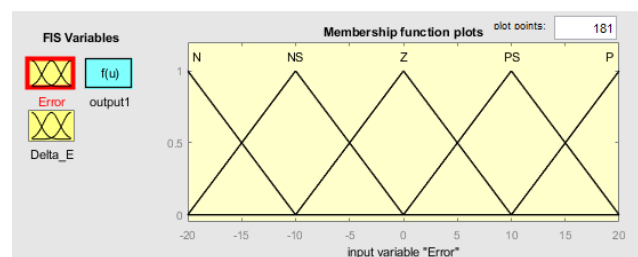
### 3.4 Perancangan sistem *fuzzy logic controller*

Dalam merancang sistem control FLC, terlebih dahulu dibuat sistem kontrol *fuzzy* yang meliputi 4 bagian yaitu *fuzzifikasi*, *inference system*, *rule base*, dan *defuzzifikasi*. *Input* untuk kontrol *fuzzy* ini adalah *error* tegangan (*error*) dan *delta error* (*change in error*), sedangkan *output* yang dihasilkan berupa *duty cycle*. *Error* sebagai *input* merupakan selisih *set point* dan tegangan yang dihasilkan, sedangkan *delta error* merupakan selisih error yang di-*sensing* saat ini dengan *error* sebelumnya.

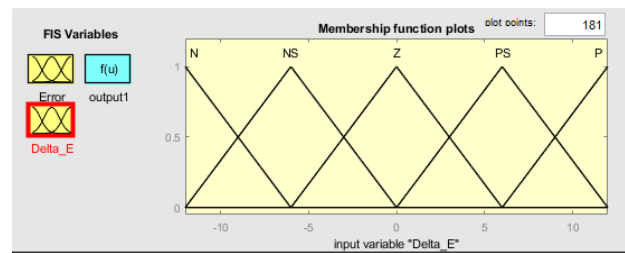


Gambar 3. 7 Diagram blok pengendalian *fuzzy logic* pada konverter

Gambar 3.7 di atas merupakan diagram blok pengendalian tegangan pada konverter menggunakan *fuzzy logic control*. Sistem yang diterapkan merupakan *Multiple-Input-Single-Output* (MISO) dengan variabel input adalah error dan perubahan error yang diambil nilainya dari tegangan output yang dihasilkan oleh konverter, sedangkan untuk variabel keluaran adalah *duty ratio* yang merupakan input sebagai pengendali PWM yang masuk pada MOSFET. Fungsi keanggotaan untuk *input error* dan perubahan error, seperti dapat dilihat pada gambar 3.8 dan gambar 3.9 memiliki lima ketentuan himpunan bagian fuzzy yaitu PS (*Positive Small*), P (*Positive*), ZE (*Zero*), NS (*Negative Small*), dan NB (*Negative*).

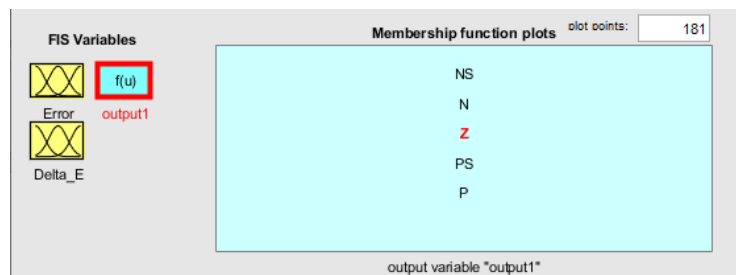


Gambar 3. 8 Fungsi keanggotaan *input error* FLC



Gambar 3. 9 Fungsi keanggotaan *input delta error* FLC

Fungsi keanggotaan untuk output *duty ratio*, dapat dilihat pada gambar 3.10, juga memiliki lima ketentuan himpunan bagian fuzzy yaitu PS (*Positive Small*), P (*Positive*), ZE (*Zero*), NS (*Negative Small*), dan NB (*Negative*).



Gambar 3. 10 Fungsi keanggotaan *output duty cycle* FLC

Fungsi keanggotaan yang digunakan dari input *error* dan *delta error* yaitu 5 himpunan bagian dengan tipe segitiga. Gambar di atas adalah fungsi keanggotaan yang digunakan untuk proses kontrol konverter. menunjukkan fungsi keanggotaan dari *input* berupa *error*, *delta error*, dan *output* yaitu *duty cycle*. *Range input* dan *output* dapat dilihat pada Tabel 3.7 dan 3.8 sebagai berikut.

Tabel 3. 7 Tabel Parameter *Input* Sebelum Optimisasi

Bilangan Fuzzy	Parameter input sebelum dioptimisasi	
	Error	Delta Error
N	[-30 ; -20 ; -10]	[-18 ; -12 ; -6]
NS	[-20 ; -10 ; 0]	[-12 ; -6 ; 0]
Z	[-10 ; 0 ; 10]	[-6 ; 0 ; 6]
PS	[0 ; 10 ; 20]	[0 ; 6 ; 12]
P	[10 ; 20 ; 30]	[6 ; 12 ; 18]

Tabel 3. 8 Parameter *Output Duty Cycle*

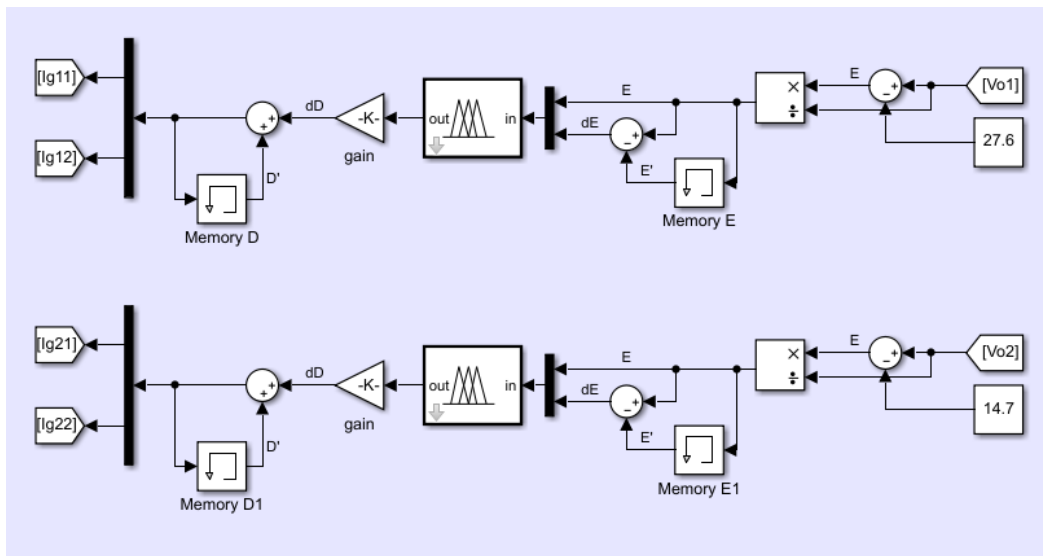
Bilangan Fuzzy	Duty Cycle	
	Vout1	Vout2
N	0,28	0,16
NS	0,425	0,237
Z	0,57	0,315
PS	0,715	0,392
P	0,86	0,47

Dari fungsi keanggotaan yang telah dibuat, dapat dibentuk rule fuzzy logic yang akan dapat ditetapkan. Bilangan *input crisp* yang dinyatakan fungsi keanggotaan tersebut akan diproses oleh *inference system* dengan *rule base* seperti yang terlihat pada Tabel 3.9 berikut ini.

Tabel 3. 9 *Rule base sistem fuzzy logic*

	<i>Delta Error</i>				
<i>Error</i>	N	NS	Z	PS	P
N	N	N	N	NS	Z
NS	N	N	NS	Z	PS
Z	N	NS	Z	PS	P
PS	NS	Z	PS	P	P
P	Z	PS	P	P	P

Simulasi dilakukan dengan menggunakan Matlab 2019b bertujuan untuk menguji *fuzzy logic controller* dengan konverter Buck dual output. Pada *Simulink* terdapat beberapa komponen yang dipakai yaitu DC *voltage source* dan konverter Buck *dual output* sesuai pada gambar 3.6. Berikut adalah rancangan skema *fuzzy logic controller* pada Gambar 3.11 yang digunakan pada pengendalian tegangan pada sistem *charging* baterai.



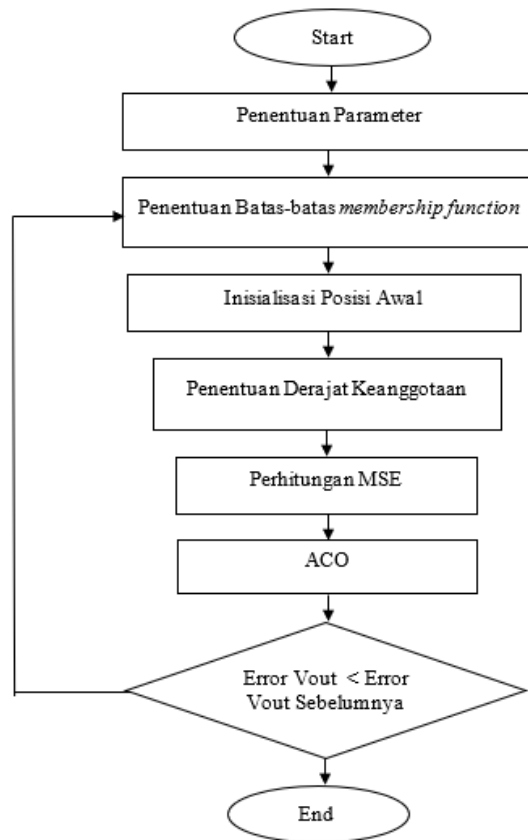
Gambar 3. 11 Sistem pengendalian konverter dual output FLC

**3.5 Optimisasi Parameter fuzzy dengan algoritma *Ant Colony Optimization***

Pada tahap perancangan model fuzzy-ACO diperlukan fungsi keanggotaan kontrol fuzzy yang akan dioptimisasi menggunakan algoritma ACO. Penting untuk menganalisa *output* model yaitu dengan menganalisa nilai MSE, menentukan jumlah iterasi dan dilakukan optimisasi model PV dengan algoritma ACO. Adapun rumus untuk menentukan nilai MSE adalah sebagai berikut:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (y_t - t_\tau)^2 \dots \dots \dots (3.1)$$

Setelah itu dilakukan optimisasi dengan algoritma ACO. Berikut pada gambar 3.12 merupakan langkah optimisasi dengan algoritma ACO .



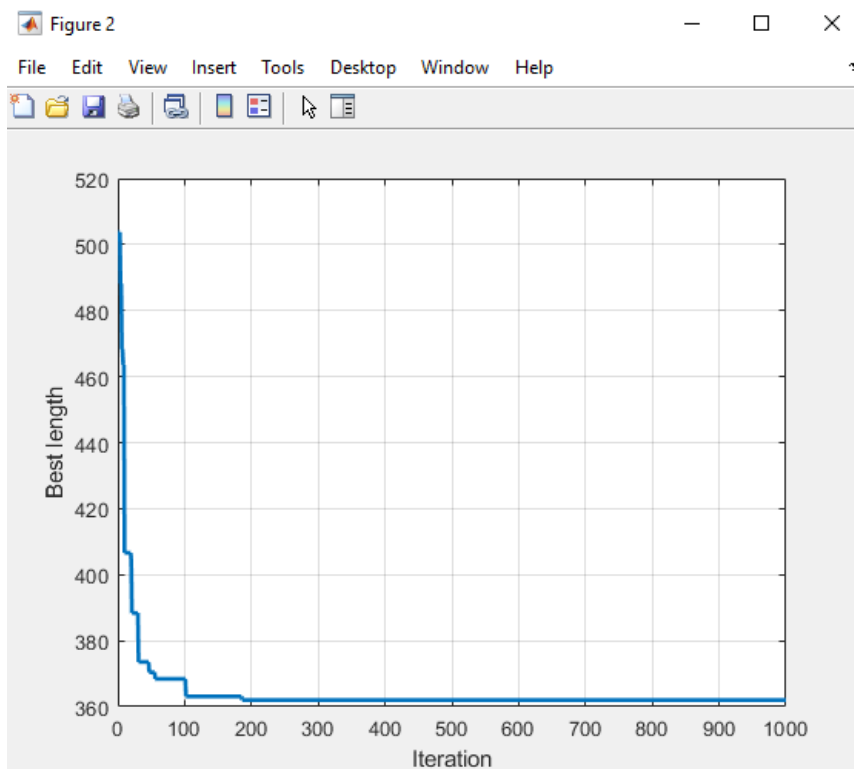
**Gambar 3. 12** Langkah Optimisasi dengan ACO

Adapun penjelasan lebih lanjut mengenai optimisasi fungsi keanggotaan *fuzzy logic controller*. *Ant colony optimization* - FLC dilakukan dengan mendefinisikan parameter awal dari fungsi keanggotaan *fuzzy logic control* yang sudah dibuat, Berikut adalah parameter Optimisasi pada algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO).

Tabel 3. 10 Parameter Nilai ACO

Parameter	Nilai
<i>Pheromone trail weight</i> ( $\alpha$ )	0.8
<i>Heuristic weight</i> ( $\beta$ )	0.2
<i>Evaporation rate</i> ( $\rho$ )	0.7
<i>Total Ants</i> ( $nAnt$ )	40
<i>Iteration</i>	500

Pada algoritma ACO memiliki parameter Optimisasi *Pheromone trail weight* ( $\alpha$ ), *Heuristic weight* ( $\beta$ ), *Evaporation rate* ( $\rho$ ), jumlah semut ( $n$ ), dan iterasi yang dilakukan saat optimisasi. *Pheromone trail weight* ( $\alpha$ ) adalah ketetapan pengendali intensitas jarak semut. *Heuristic weight* ( $\beta$ ) adalah tetapan pengendali visibilitas. *Evaporation rate* ( $\rho$ ) adalah penguapan jejak pada semut. Nilai ini digunakan untuk menentukan seberapa besar pheromone yang akan hilang dan akan bertambah bila jalur dilewati.



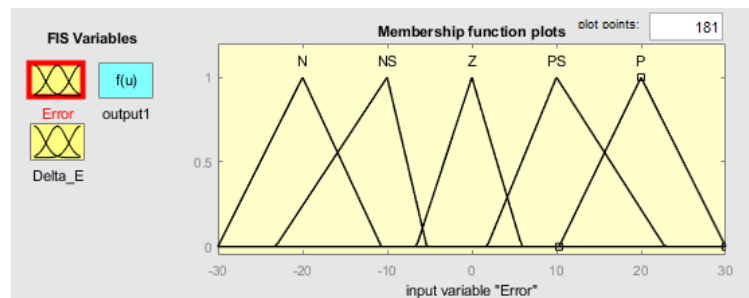
Gambar 2. 15 Grafik Konvergensi Algoritma *Ant Colony*

Respon untuk mencapai situasi konvergen terjadi pada iterasi ke 273. Dimana dihasilkan nilai jarak tempuh semut dan dicari jarak terpendek yang yang didapat dari perjalanan melewati titik titik yang sudah ditentukan. Selanjutnya memulai pencarian posisi terbaik dan memperbarui fungsi keanggotaan *fuzzy logic control* yang dibuat sebelumnya dari setiap iterasi posisi semut yang dilakukan. Besar nilai MSE yang dihasilkan dari Optimisasi menggunakan ACO didapat sebesar 0,0525 untuk derajat keanggotaan input error, sedangkan pada derajat keanggotaan input delta error nilai MSE sebesar 0,0554. Berikut adalah hasil derajat keanggotaan *fuzzy* yang telah dioptimisasi dengan ACO.

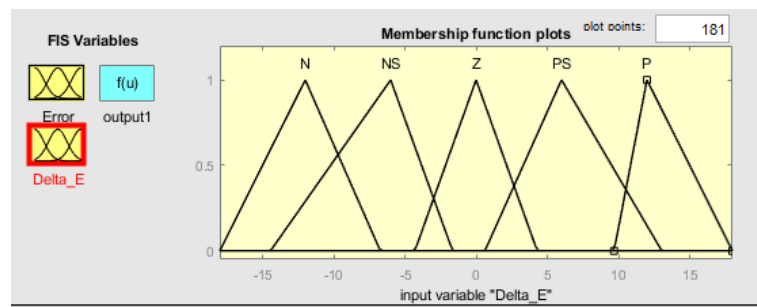
Tabel 3. 11 Parameter input setelah diOptimisasi

Bilangan Fuzzy	Parameter input setelah dioptimisasi	
	Error	Delta Error
N	[-30 ; -20 ; -10,68]	[-18 ; -12 ; -6,73]
NS	[-23,19 ; -10 ; -5,31]	[-14,44 ; -6 ; 1,65]
Z	[-6,54 ; 0 ; 5,92]	[-4,3 ; 0 ; 4,29]
PS	[1,8 ; 10 ; 22,381]	[0,62 ; 6 ; 13,04]
P	[10,31 ; 20 ; 30]	[9,69 ; 12 ; 18]

Pada table di atas merupakan hasil derajat keanggotaan *fuzzy* yang telah diOptimisasi dengan ACO. Besar nilai MSE yang dihasilkan dari Optimisasi menggunakan ACO didapat sebesar 0,0525 untuk derajat keanggotaan *input error*, sedangkan pada derajat keanggotaan input delta error nilai MSE seberar 0,0554. terdapat 8 parameter yang dioptimisasi, yaitu batas kanan untuk Negative, batas kiri dan kanan untuk Negative Small, Zero, dan Positive Small, lalu batas kiri untuk Positive. Hasil 8 parameter yang dioptimasi tersebut pada output ACO berupa posisi semut. Parameter pada tabel 3.11 menghasilkan plot yang di-visualisasikan pada gambar berikut.

Gambar 3. 13 Fungsi keanggotaan *input Error* FLC

Pada gambar 3.13 menunjukkan kurva fuzzy-ACO variabel *input error* dengan himpunan fuzzy 5 *membership function* (MF) dengan model pengendalian sistem *charging* dengan semesta pembicaraan [-30 30].



Gambar 3. 14 Fungsi keanggotaan *input delta error* FLC

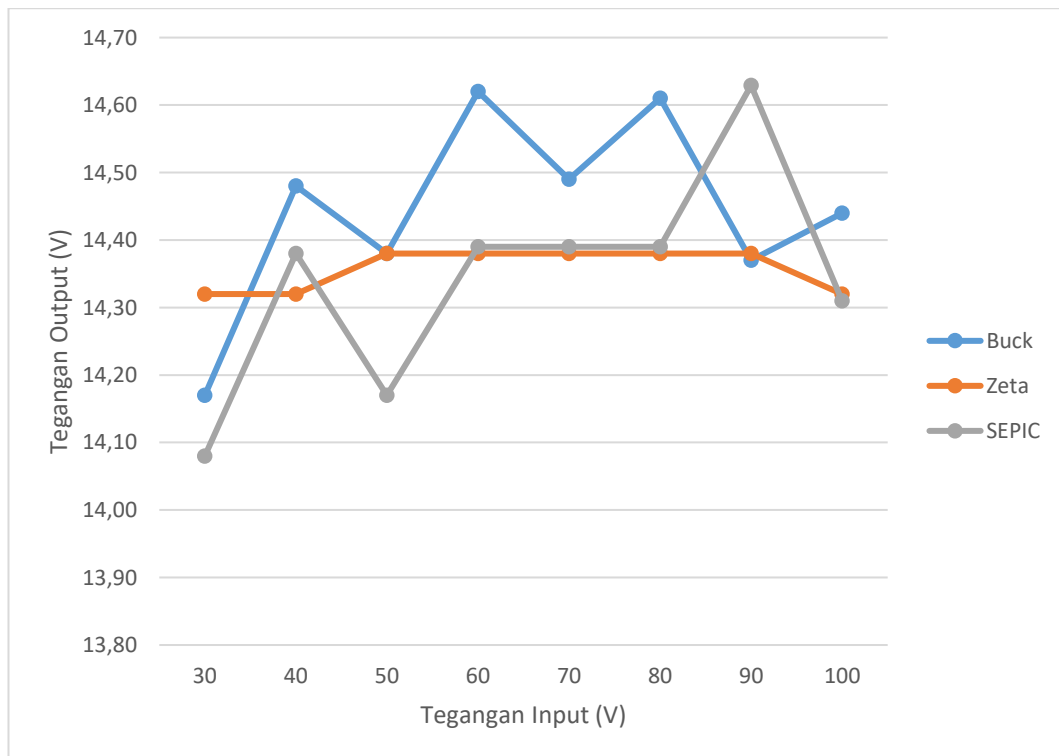
Pada gambar 3.14 menunjukkan kurva fuzzy-ACO variabel *input delta error* dengan himpunan fuzzy 5 *membership function* (MF) dengan model pengendalian sistem *charging* dengan semesta pembicaraan  $[-30\ 30]$ .



## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

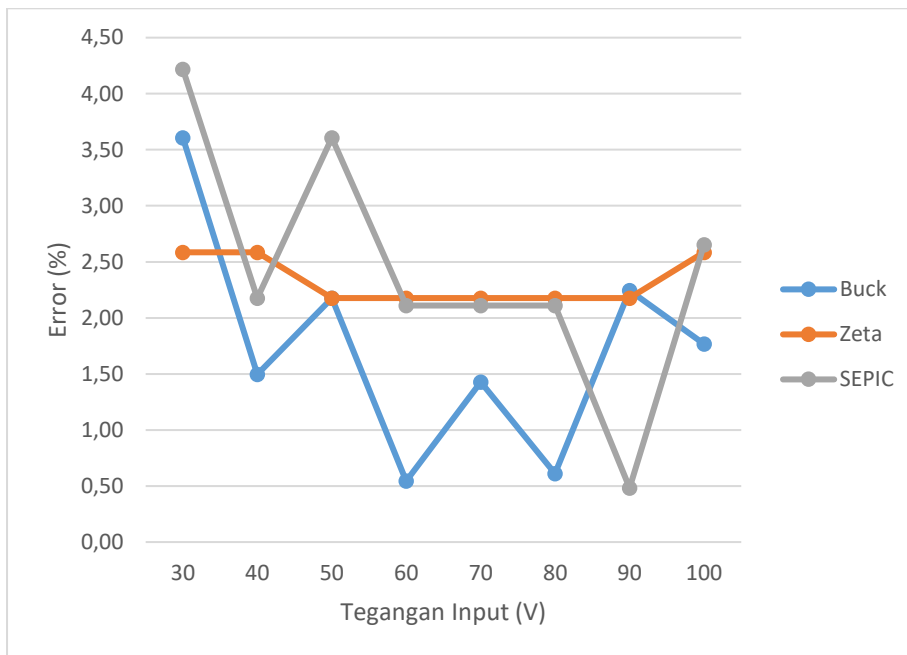
### 4.1 Hasil Pengujian Rancangan Konverter

Pada penelitian ini dilakukan perancangan sistem *charging* baterai *output* ganda menggunakan topologi konverter Buck yang dikembangkan menjadi konverter Buck *single input dual output* (SIDO). Jenis tipologi konverter Buck dipilih setelah melakukan perbandingan jenis konverter dasar yang cocok dengan karakteristik yang dibutuhkan, yaitu dapat menurunkan tegangan sesuai set poin, polaritas input sama dengan polaritas output (*non inverting*), dan berjenis regulator tipe peralihan (*mode switched*). Keuntungan dari sistem *charging* ini memiliki dua mode operasi yang otomatis meliputi mode *charging* untuk baterai 12 V dan 24 V. Masing-masing input dari *stand alone PV solar tracker*. Pengujian pertama berupa pemilihan rancangan konverter yang akan digunakan sebagai aktuator sistem *charging* baterai. Konverter diberi input tegangan liner terlebih dahulu untuk dapat diketahui hasil yang akurat pada saat mengubah nilai tegangan.



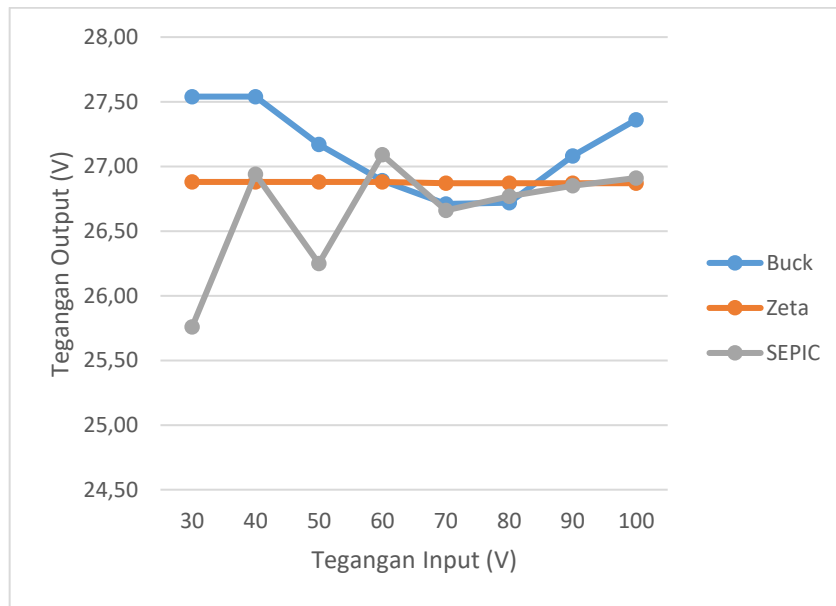
Gambar 4. 1 Perbandingan 3 jenis konverter terhadap tegangan output konverter baterai 12 V

Pada Gambar 4.1 menunjukkan grafik nilai tegangan output dari setiap jenis konverter yang dirancang untuk mengubah input tegangan sesuai *set point* dengan nilai 14.7 V. Dari hasil *output* tegangan di atas dapat diketahui besar nilai error pada setiap input tegangan yang diubah oleh masing – masing jenis konverter. Rata-rata tegangan yang dihasilkan pada konverter Buck, Zeta, dan SEPIC masing – masing bernilai sebesar 14,45 V ; 14,36 V ; 14,34 V. Berikut nilai error yang dihasilkan pada setiap input yang diberikan.



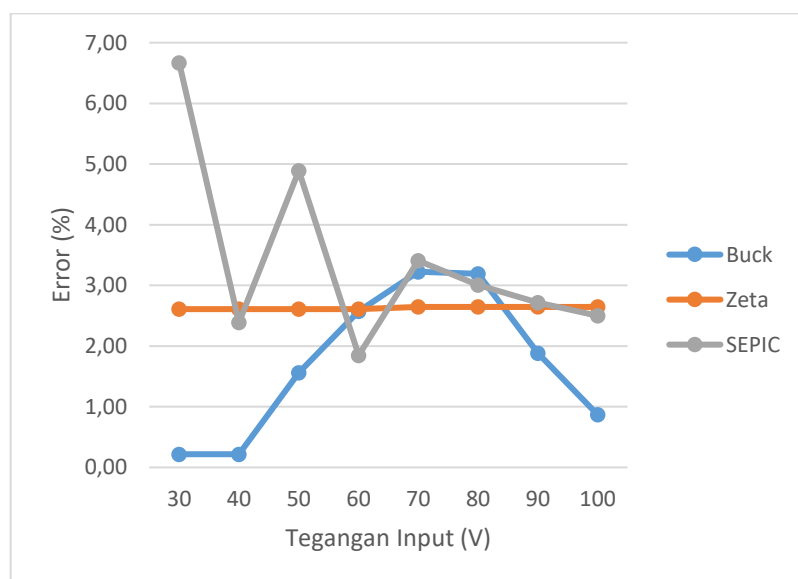
Gambar 4. 2 Perbandingan 3 jenis konverter terhadap error konverter baterai 12 V

Pada Gambar 4.2 grafik di atas dapat dilihat nilai error terkecil dihasilkan dari konverter Buck secara simulasi. Nilai error didapat dari hasil simulasi uji perbandingan ketiga konverter diperoleh dari hasil output tegangan pada Gambar 4.1. di atas. Nilai error yang diperoleh dari perhitungan keluaran tegangan pada setiap konverter Buck, Zeta, dan SEPIC sebesar 1,73 % ; 2,33 % ; 2,43 %. Dari nilai error tersebut, konverter Buck memiliki nilai error terkecil dibanding dua jenis konverter lainnya.



Gambar 4. 3 Perbandingan 3 jenis konverter terhadap tegangan output konverter baterai 24 V

Pada Gambar 4.3 menunjukkan grafik nilai tegangan output dari setiap jenis konverter yang dirancang untuk mengubah input tegangan sesuai set point yang telah ditentukan. Dari hasil output tegangan di atas dapat diketahui besar nilai error pada setiap input tegangan yang diubah oleh masing – masing jenis konverter. Rata-rata tegangan yang dihasilkan pada konverter Buck, Zeta, dan SEPIC masing – masing bernilai sebesar 27,13 V; 26,88 V; 26,65 V. Berikut nilai error yang dihasilkan pada setiap input yang diberikan.

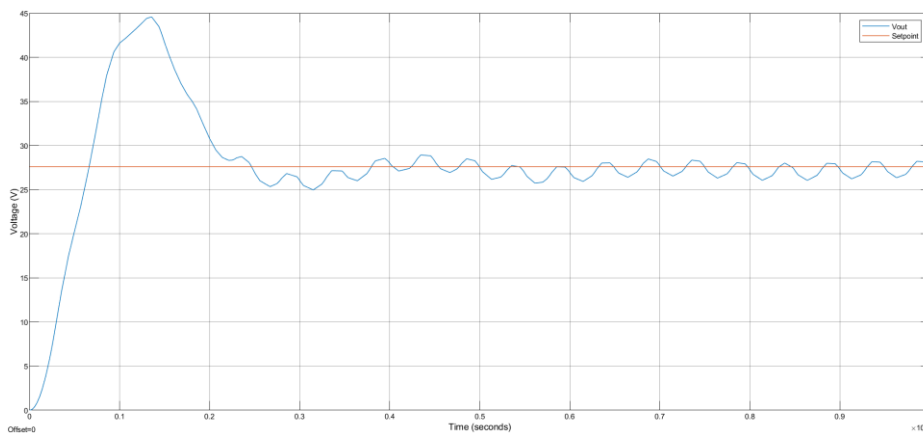


Gambar 4. 4 Perbandingan 3 jenis konverter terhadap error konverter baterai 24 V

Pada Gambar 4.4 grafik di atas dapat dilihat nilai error terkecil dihasilkan dari konverter Buck secara simulasi. Nilai error didapat dari hasil simulasi uji perbandingan ketiga konverter diperoleh dari hasil output tegangan pada Gambar 4.1. di atas. Nilai error yang diperoleh dari perhitungan keluaran tegangan pada setiap konverter Buck, Zeta, dan SEPIC sebesar 1,72 %; 2,63 %; 3,34 %. Dari nilai error tersebut, konverter Buck memiliki nilai error terkecil dibanding dua jenis konverter lainnya. Dapat dilihat bahwa kemampuan konverter Buck dalam menurunkan tegangan lebih baik dari dua jenis konverter lainnya. Hal itu disebabkan kemampuan konverter Buck dalam menghasilkan *duty cycle* yang dibutuhkan rangnya lebih besar, karena fungsi dari konverter tersebut hanya untuk menurunkan tegangan input.

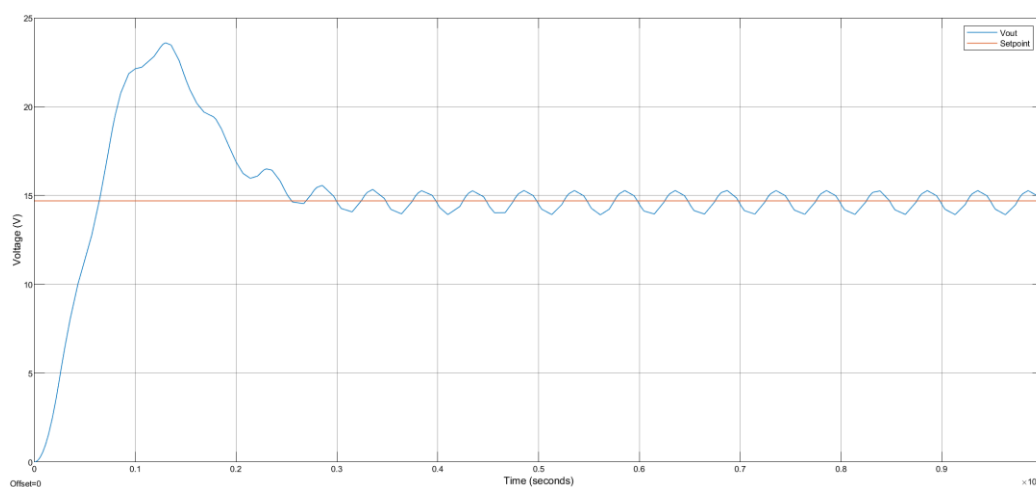
#### 4.2 Simulasi Sistem *Charging Dual Output* - FLC dan Kontrol *Fuzzy* Algoritma *Ant Colony Optimization*

Setelah merancang parameter pengendalian fuzzy, dilakukan simulasi untuk mengetahui respon output tegangan yang dihasilkan dari sebuah konverter Buck. Terdapat dua konverter yang dipakai untuk mengubah nilai tegangan input untuk disesuaikan dengan tegangan *charging* baterai. Sehingga terdapat dua pengendalian fuzzy yang dirancang, dimana pengendalian tersebut akan menghasilkan output tegangan sesuai dengan set point yang ditetapkan. Berikut merupakan hasil dari respon pengendalian fuzzy yang ditanamkan pada konverter Buck dual output.



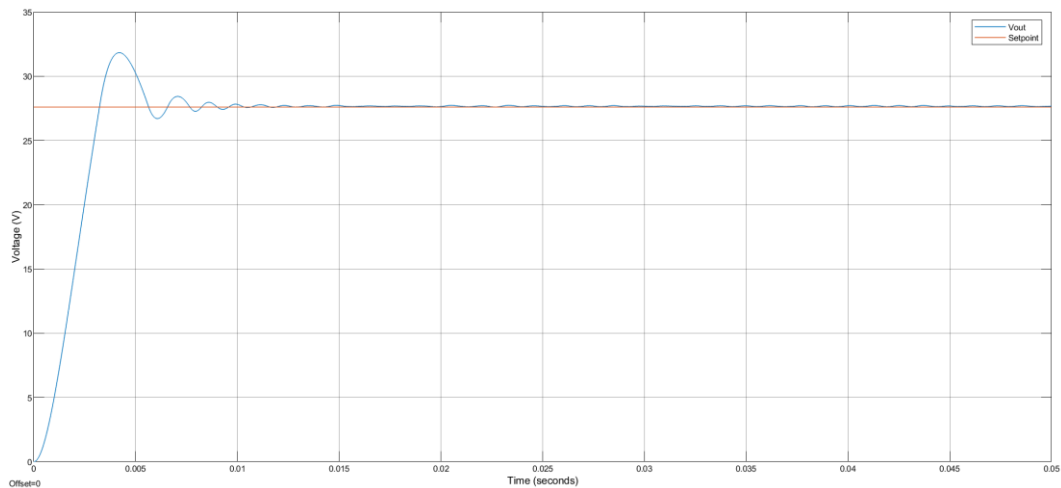
Gambar 4. 5 Respon simulasi FLC sistem *charging* untuk baterai 24 V

Pada Gambar 4.5 merupakan hasil respon pengendalian FLC sistem *charging* dengan *output* untuk baterai 24 V menghasilkan respon seperti pada Gambar 4.5 di atas. Analisa respon pengendalian memiliki maksimum *overshoot* sebesar 44,58 V (61,52%), *settling time* sebesar 0,63 detik, dan *Average steady state* sebesar 27,36 V, dengan maksimum dan minimum *steady state* masing-masing sebesar 28,14 V dan 26,21 V. sehingga tegangan *ripple* yang didapat bernilai 1,93 V pada tegangan *charging* Konverter untuk baterai 24 V.



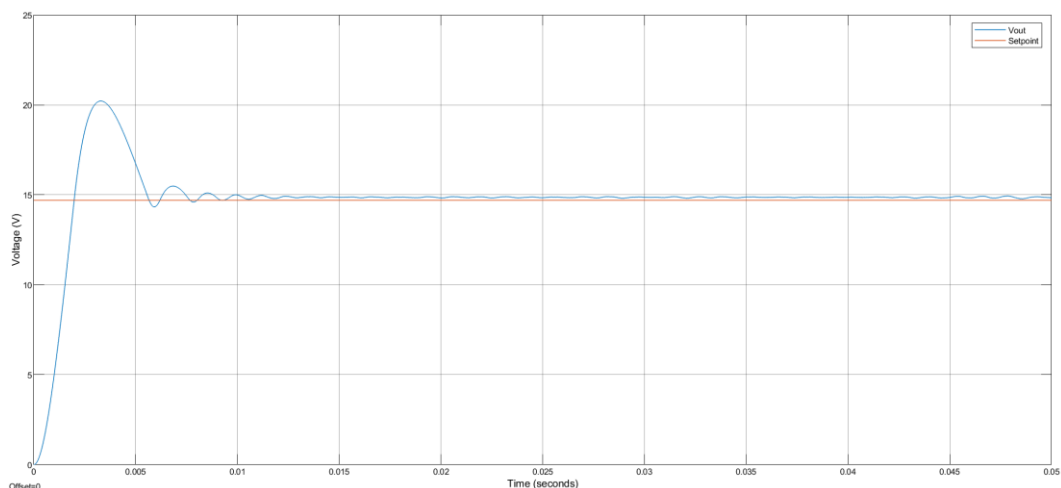
Gambar 4. 6 Respon simulasi FLC sistem *charging* untuk baterai 12 V

Pada Gambar 4.6 merupakan hasil respon pengendalian FLC sistem *charging* dengan *output* untuk baterai 12 V menghasilkan respon seperti pada Gambar 4.6 di atas. Analisa respon pengendalian memiliki maksimum *overshoot* sebesar 44,58 V (61,52%), *settling time* sebesar 0,27 detik, dan *Average steady state* sebesar 14,51 V, dengan maksimum dan minimum *steady state* masing-masing sebesar 15,29 V dan 13,94 V. sehingga tegangan *ripple* yang didapat bernilai 1,35 V pada tegangan *charging* Konverter untuk baterai 12 V.



Gambar 4. 7 Respon simulasi ACO-FLC sistem *charging* untuk baterai 24 V

Pada Gambar 4.7 merupakan hasil respon pengendalian *fuzzy logic controller* ACO menunjukkan untuk mencapai *set point* menghasilkan *output* dengan analisa respon *settling time* pada 0,012 detik dengan *maksimum overshoot* sebesar 31,83 V(15,7%), dan *Average steady state* 27,64 V. Untuk ripple tegangan yang dihasilkan pada respon pengendalian ACO-FLC sebesar 0,16 V dengan nilai maksimum dan minimum pada saat *steady state* masing-masing sebesar 27,74 V dan 27,58 V.



Gambar 4. 8 Respon simulasi ACO-FLC pada sistem *charging* untuk baterai 12 V

Sedangkan Gambar 4.8 merupakan hasil respon untuk sistem *charging* dengan *output* pada baterai 12 V analisa respon untuk mencapai *set point* memiliki *settling time* pada 0,017 detik dengan *maximum overshoot* sebesar 20,21 V(36,3%), dan *Average steady state* 14,86 V. Untuk ripple tegangan yang dihasilkan pada respon pengendalian ACO-FLC sebesar 0,17 V dengan nilai maksimum dan minimum pada saat *steady state* masing-masing sebesar 14,97 V dan 14,94 V.

Setelah menganalisa output respon dari masing-masing pengendalian dari FLC dan ACO-FLC, dilakukan perbandingan parameter respon untuk mengetahui performansi yang diperoleh. Berikut merupakan perbandingan parameter dari kedua pengendalian yang pada masing-masing output *sistem charging*.

Tabel 4. 1 Tabel hasil perbandingan respon pengendalian FLC dan ACO-FLC

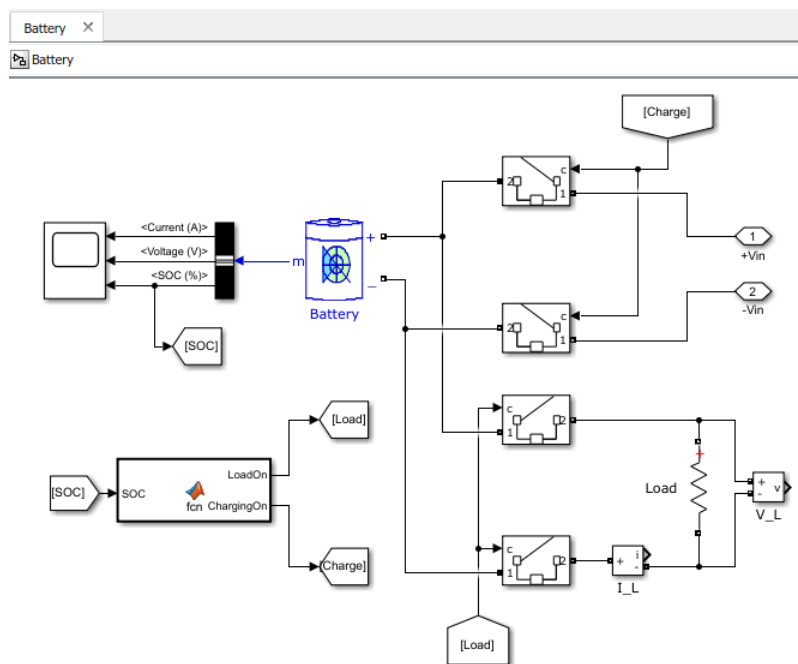
Parameter	FLC		ACO-FLC	
	Baterai 24 V	Baterai 12 V	Baterai 24 V	Baterai 12 V
Max. Overshoot	61,4%	60,5%	15,7%	36,3%
Settling Time	0,63 s	0,27 s	0,012 s	0,017 s
Error Steady-State	2,4%	1,9%	0,6%	0,4%
Maximum (steady)	28,14 V	15,29 V	27,74 V	14,94 V
Minimum (steady)	26,21 V	13,94 V	27,58 V	14,77 V
Ripple (Voltage)	1,93	1,35	0,16	0,17

Penerapan algoritma ACO pada FLC yaitu dengan mengoptimasi parameter fungsi keanggotaan pada *fuzzy*. Didapatkan respon hasil output tegangan yang berbeda antara pengendalian FLC dengan ACO-FLC. Optimasi menggunakan ACO membuat penurunan *maximum overshoot* yang sangat signifikan, pada sistem *charging* baterai 24 V mengalami penurunan sebesar 45,7%, sedangkan pada sistem *charging* baterai 12 V mengalami penurunan sebesar 24,2 %. Pada *average steady state* dari output tegangan yang didapat lebih besar dari set point tegangan *charging* yang ditentukan. Sedangkan error steady state mengalami penurunan setelah dilakukan optimisasi pada pengendalian FLC. Pengendalian ACO-FLC juga menghasilkan respon output tagangan yang lebih stabil, dapat dilihat rendahnya ripple tegangan yang dihasilkan. Pada sistem *charging* baterai 24 V menghasilkan ripple tegangan sebesar 0,16 V, sedangkan pada sistem *charging* baterai 12 V

sebesar 0,17 V. Secara keseluruhan optimisasi yang diterapkan pada FLC dapat menurunkan nilai parameter respon dari *Max.Overshoot*, *error steady state*, *settling time*, dan *ripple* tegangan. Dimana turunnya nilai parameter respon kendai tersebut dapat dinyatakan lebih baik. Pada sistem *charging* baterai sendiri memiliki syarat yaitu tegangan yang dihasilkan harus lebih besar dari  $V_{charging}$  baterai dan *ripple* tegangan yang rendah atau konstan. Maka dapat diperhatikan bahwa Optimisasi yang dilakukan pada pengendalian *fuzzy* dapat menghasilkan respon dari sistem *charging dual output* menjadi lebih baik.

### 4.3 Simulasi Sistem *Charging* pada Baterai

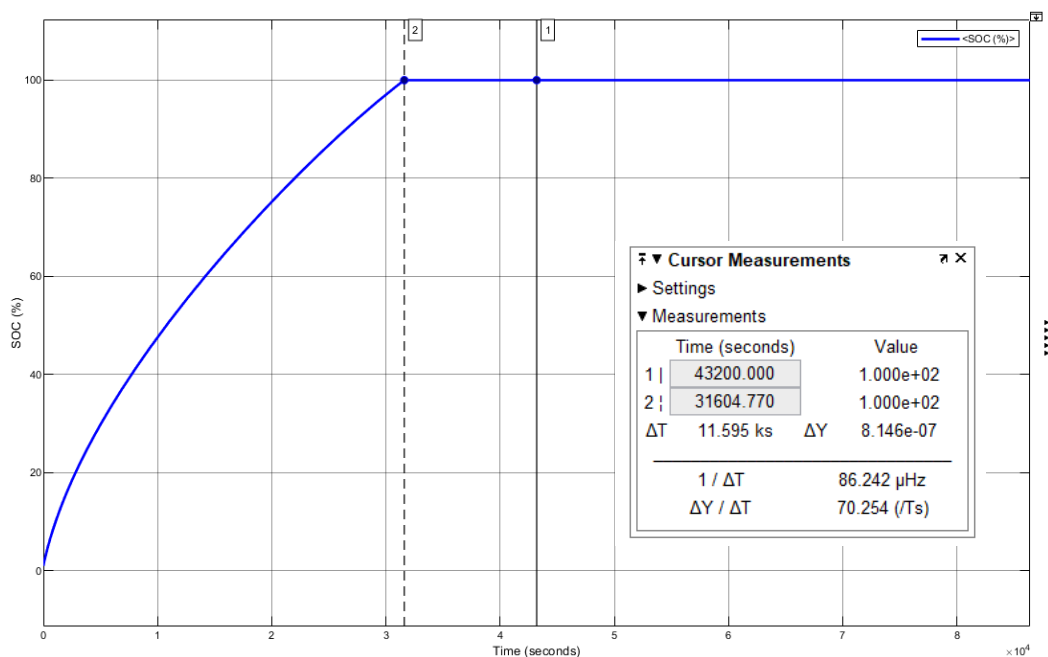
Sistem *charging* pada baterai berguna untuk mengatur daya yang masuk dan menjaga baterai agar dapat berfungsi dengan baik dalam menyimpan sehingga dapat menyuplai daya Ketika dibutuhkan. *Charging* dikatakan efisien bila mana waktu yang dibutuhkan baterai untuk penuh dijalani dengan waktu yang singkat. Sehingga semakin cepat baterai itu penuh maka performansi dari sistem *charging* tersebut semakin baik. Selain itu perlu juga meperhatikan kondisis baterai agar tidak mengalami *over charging*. Berikut Gambar 4.9 merupakan skematik rancangan sistem manajemen baterai.





Gambar 4. 9 Skematik sistem manajemen baterai

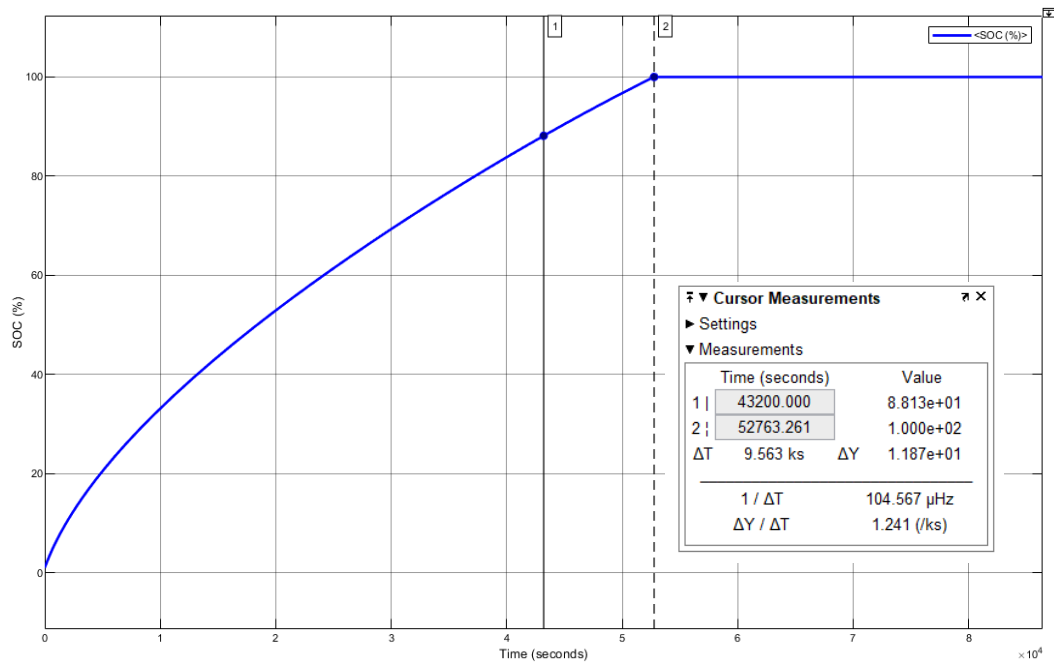
Dalam sistem di atas terdapat saklar yang berguna untuk menentukan kapan baterai tersebut memerlukan daya untuk diisi atau ketika baterai sudah cukup untuk mengisi daya. Untuk itu perlu yang namanya monitoring nilai *state of charge* (SOC) pada baterai. Untuk mengetahui seberapa efisien sistem *charging* yang telah dirancang, perlu pengujian *charging* pada baterai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan. Pengujian sistem *charging* pada baterai dilakukan untuk melihat nilai SOC yang dihasilkan pada dua jenis pengendalian yaitu FLC dan ACO-FLC, namun pada hasilnya didapat nilai peningkatan SOC yang sama. Hal tersebut dikarenakan besar arus yang dihasilkan dari dua jenis pengendalian tersebut memiliki nilai arus yang sama pada simulasi. Pengendalian berpengaruh dalam mengendalikan nilai tegangan ( $V_{out}$ ) sesuai tegangan baterai dengan nilai arus yang sama. Berikut adalah hasil analisis dari pengujian pengisian baterai.



Gambar 4. 10 SOC pada baterai kapasitas 40 Ah

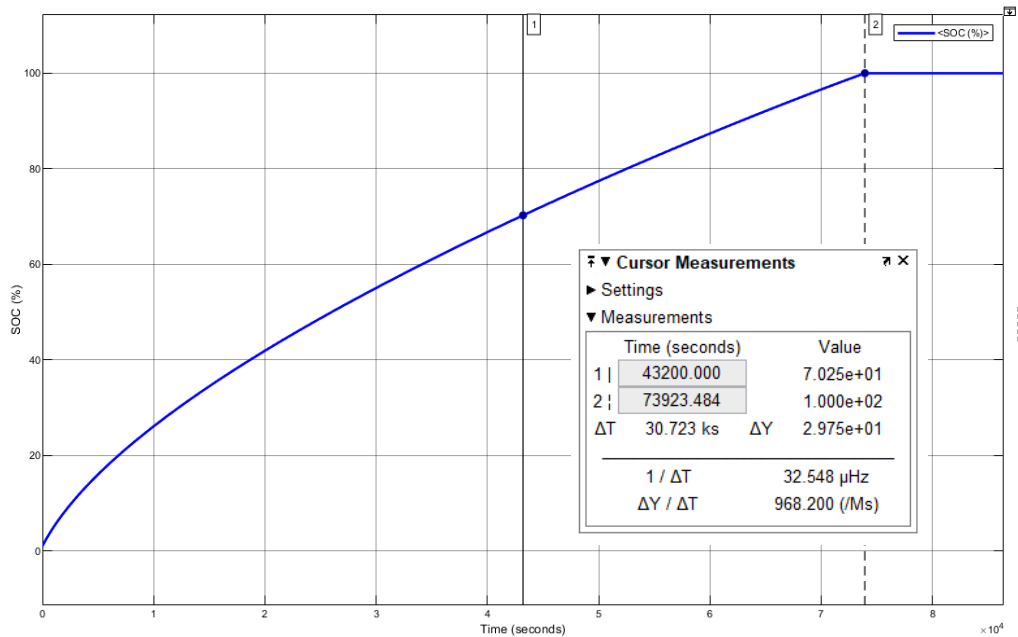
Pada Gambar 4.10 grafik di atas dapat dilihat bahwa baterai terisi penuh SOC 100 % pada detik ke 31616. Jadi baterai tersebut penuh setelah mengalami

proses *charging* selama 8.8 jam lamanya dengan sistem *charging* yang telah dirancang.



Gambar 4. 11 SOC pada baterai kapasitas 70 Ah

Pada Gambar 4.11 grafik di atas dapat dilihat bahwa baterai terisi penuh SOC 100 % pada detik ke 52804. Jadi baterai tersebut penuh setelah mengalami proses *charging* selama 14.6 jam lamanya dengan sistem *charging* yang telah dirancang.



Gambar 4. 12 SOC pada baterai kapasitas 100 Ah

Pada Gambar 4.12 grafik di atas dapat dilihat bahwa baterai terisi penuh SOC 100 % pada detik ke 73992. Jadi baterai tersebut penuh setelah mengalami proses *charging* selama 20,5 jam lamanya dengan sistem *charging* ACO-FLC yang telah dirancang.

Dari hasil analisa pengujian sistem pengendalian dalam mengisi daya baterai dapat dilihat dengan grafik respon nilai SOC yang dihasilkan. Pada sistem *charging* yang diuji untuk mengisi daya baterai, memiliki jangka waktu yang berbeda untuk meningkatkan SOC pada baterai. Semakin besar nilai kapasitas baterai, maka semakin lama pula jangka waktu yang dibutuhkan. Sehingga untuk mempercepat waktu yang diperlukan dalam mengisi daya baterai, harus meningkatkan energi daya yang diberikan pada baterai. Pada penelitian sebelumnya yang meneliti tentang sistem *charging* menggunakan baterai VRLA dengan kapasitas 70 Ah, menghasilkan nilai SOC meningkat 36,15 % selama 8,5 jam (Bachrow, 2018). Pada penelitian berikutnya dihasilkan dari proses *charging dual supply mode* SOC baterai mencapai 82,27 % (Erwandha, 2019). Dari hasil uji coba yang telah dilakukan pada penelitian ini didapat estimasi SOC mengalami peningkatan sebesar 88,13 % pada simulasi menggunakan baterai VRLA dengan kapasitas 70 Ah.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan analisa dan pembahasan yang telah dilakukan pada penelitian kali ini mengenai performansi sistem *charging* baterai yang telah dirancang, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

- a. Parameter perancangan pada sistem *charging* baterai output ganda dilakukan dengan membandingkan jenis konverter yang sesuai dengan kebutuhan. Jenis konverter yang terpilih yaitu konverter Buck yang dirancang secara parallel *single input dual output*. Didapat nilai tegangan output dan error rata-rata konverter tanpa pengendalian sebesar 14,45 V dan 1,73% pada *set point* 14,7 V, sedangkan pada *set point* 27,6 V sebesar 27,13 V dengan pengujian tegangan *input* konstan.
- b. Parameter pengendalian merupakan *membership function Fuzzy* pada sistem *charging* output ganda yang saling terintegrasi. Pengendalian FLC pada *charging* baterai 24 V menghasilkan performansi nilai *settling time* sebesar 0,63 detik, *maximum overshoot* sebesar 61,4%, ripple tegangan sebesar 1,93 V dan *error steady state* sebesar 2,4%. Sedangkan pada *charging* baterai 12 V nilai *settling time*, *maximum overshoot*, ripple tegangan, dan *error steady state* masing-masing sebesar 0,27 detik ; 60,5% ; 1,35 V ; 1,9%.
- c. Adapun pengendalian ACO-FLC menunjukkan hasil performansi *settling time*, *maximum overshoot*, ripple tegangan, dan *error steady state* masing-masing bernilai 0,012 detik ; 15,7% ; 0,16 V ; 0,6% untuk *charging* baterai 24 V dan pada *charging* baterai 12 V bernilai 0,017 detik ; 36,3% ; 0,17 V ; 0,4%. Hasil optimisasi dapat menurunkan parameter respon output pengendalian dan nilai estimasi SOC yang diujikan pada baterai VRLA kapasitas 70 Ah mencapai sebesar 88.13 %. Sehingga dapat disimpulkan pengendalian ACO-FLC meningkatkan performansi pada output tegangan yang dibutuhkan baterai.

## 5.2 Saran

Adapun saran untuk pengembangan selanjutnya pada penelitian ini yaitu adanya penelitian selanjutnya dengan merealisasikan menjadi sebuah alat atau *prototype* yang dapat diaplikasikan pada *solar energy station*. Dan mengembangkan perancangansistem *charging* menggunakan *renewable energy* lainnya sebagai suplai energi dari sistem *charging* menjadi multi input variabel.

## DAFTAR PUSTAKA

- A. Imam, A. S. (2014). Design of Single Axis Solar Tracking System at Photovoltaic Panel using Fuzzy Logic Controller. *5th Brunei International Conference on Engineering and Technology*.
- A. Imam, D. N. (2019). Design of Maximum Power Point Tracking (MPPT) on Two Axes Solar Tracker Based on Particle Swarm Fuzzy. *AIP Conference Proceeding*, Volume 2088.
- A. Saha, F. S. (2019). Design of MPPT mounted Solar Based Double Coil DC Electric Cooker with Smart Temperature Control Device. *2019 5th International Conference on Advances in Electrical Engineering (ICAEE)*, pp. 212-217, doi: 10.1109/ICAEE48663.2019.8975451.
- Ahuja, R. K. (2014). Design and Simulation of Fuzzy Logic Controller based Switched-Mode Power Supply. *IPASJ International Journal of Electrical Engineering (IJEE)*, Volume 2, Issue 5.
- Ayas, M. S. (2014). Fuzzy logic based adaptive admittance control of a redundantly actuated. *Control Engineering Practice*, 59, 44–54. doi:10.1016/j.conengprac.2016.11.015 .
- Bachrow, M. M. (2018). RANCANG BANGUN STAND ALONE PV CHARGING SYSTEM BERBASIS SOLAR TRACKER MENGGUNAKAN KONTROL FUZZY MODIFIED PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (MPSO). *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Chauhan, A. (2014). MPPT Control PV Charging System For Lead Acid Battery. *National Institute of Technology*.
- Erwandha, K. G. (2019). RANCANG BANGUN SISTEM CHARGING BATERAI MENGGUNAKAN HYBRID SOLAR TRACKER DAN JALA-JALA LISTRIK BERBASIS ALGORITMA FLOWER POLLINATION OPTIMIZATION – FUZZY CONTROL. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.

- Hajizadeh, A. S. (2014). Control of solar system's battery voltage based on state of charge estimation (SOC). 2014 International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA). doi:10.1109/icre. 2014 International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA), doi:10.1109/icrera.2014.7016550 .
- Hoque, M. M. (2016). Optimal CC-CV charging of lithium-ion battery for charge equalization controller. 2016 International Conference on Advances in Electrical, Electronic and Systems Engineering (ICAEES), 10.1109/ICAEES.2016.7888119.
- Ibrahim, M. C. (2016). Design and implementation of a micro controller based portable solar charge controller tester. 2016 4th International Conference on the Development in the in Renewable Energy Technology (ICDRET), doi:10.1109/icdret.2016.7421489.
- Jin Zhao, & B. (2002). Evaluation of membership functions for fuzzy logic controlled induction motor drive. *IEEE 2002 28th Annual Conference of the Industrial Electronics Society.*, doi:10.1109/iecon.2002.1187512 .
- Juang, C.-F. L.-M.-Y. (2008). Ant Colony Optimization Algorithm for Fuzzy Controller Design and Its FPGA Implementation. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 1453–1462. doi: 10.1109/tie.2007.909762.
- Moore, S. K. (2018). Scientists Find Strange New Effect for Future Solar Cells Flexo-photovoltaics. *IEEE Spectrum*.
- Raghavendra, N. K. (2018). Solar Charge Controller for Lithium-Ion Battery. 2018 *IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)* , doi:10.1109/pedes.2018.8707743 .
- Ramesh, N. &. (2018). Solar Powered Battery Charging System with. 2018 4th *International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES)*, doi:10.1109/icees.2018.8442362.
- Saha, S. S. (2016). A universal charge controller for integrating distributed energy resources. 2016 *IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*, doi: 10.1109/ghtc.2016.7857320.



- Song, H.-J. S. (2018). Conductive paste based interconnection for photovoltaic modules. *Proc. IEEE 7th World Conf. Photovoltaic Energy Convers. (WCPEC)*, pp. 2838-2840.
- Swathy, M. K. (2018). Design and Hardware Implementation of Closed Loop Buck Converter Using Fuzzy Logic Controller. . *2018 Second International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)*, doi:10.1109/iceca.2018.8474570 .
- Tseng, S.-Y. S.-C.-Y.-K. (2009). Design and implementation of lithium-ion/lithium-polymer battery charger with impedance compensation. *2009 International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS)*, doi:10.1109/PEDS.2009.5385827.
- TSTRANSCO, T. L. (2014). TECHNICAL SPECIFICATION FOR 24V (2 X 12 V), 40 AH Batteries (SMF – VRLA) with chargers of Conventional type (linear type). *Battery*, <[https://www.tstransco.in/images/data/pdfs/spec\\_downloads/battery-24v-40ah-22.pdf](https://www.tstransco.in/images/data/pdfs/spec_downloads/battery-24v-40ah-22.pdf)>.
- Xiao-Min Hu, J. Z.-H.-1. (2010). SamACO: Variable Sampling Ant Colony Optimization Algorithm for Continuous Optimization. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*,, 40(6), 1555–1566. doi:10.
- Yun, H. &.-J.-S. (2013). Advanced Harmony Search with Ant Colony Optimization for Solving the Traveling Salesman Problem. *Journal of Applied Mathematics*, 1-8. 10.1155/2013/123738.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN

```
% optimasi dengan ACO
MaxIt=500; % max numberof iteration
m1=1;
n1=1;
nAnt=40; % Number of Ant
alpha=0.8; % tetapan pengendali intensitas
jejak semut
beta=0.2; % tetapan pengendali visibilitas
rho=0.7; % koefisien penguapan / evaporasi
n=1;

BestCost=zeros(MaxIt,1); % Array to Hold Best Cost Values

% =====
% Batas-batas untuk 1
i=1;
a(:,i)=-18 ;
b(:,i)=-12 ;
c(:,i)=-6 ;
% Batas-batas untuk 2
d(:,i)=-12 ;
e(:,i)=-6 ;
f(:,i)=0 ;
% Batas-batas untuk 3
g(:,i)=-6;
h(:,i)=0 ;
j(:,i)=6;
% Batas-batas untuk 4
k(:,i)=0 ;
l(:,i)=6 ;
m(:,i)=12 ;
% Batas-batas untuk 5
o(:,i)=6;
p(:,i)=12;
q(:,i)=18;
% =====

% Inisialisasi posisi awal
x1(:,i)=(c(:,i)-(rand(n,1)*(c(:,i)-b(:,i)))); %constraint:
b<=x1<=c
x2(:,i)=(d(:,i)-(rand(n,1)*(d(:,i)-a(:,i)))); %constraint:
a<=x2<=d
x3(:,i)=(f(:,i)-(rand(n,1)*(f(:,i)-e(:,i)))); %constraint:
e<=x3<=f
x4(:,i)=(h(:,i)-(rand(n,1)*(h(:,i)-g(:,i)))); %constraint:
g<=x4<=h
x5(:,i)=(j(:,i)-(rand(n,1)*(j(:,i)-h(:,i)))); %constraint:
h<=x5<=j
x6(:,i)=(l(:,i)-(rand(n,1)*(l(:,i)-k(:,i)))); %constraint:
k<=x6<=l
x7(:,i)=(q(:,i)-(rand(n,1)*(q(:,i)-m(:,i)))); %constraint:
m<=x7<=q
```

```

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

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

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

myu10(:,i)=(x6(:,i)-k(:,i))/(l(:,i)-k(:,i)); % myu10=derajat
keanggotaan 4 batas kiri (k)
myu11(:,i)=1; % myu11=derajat
keanggotaan 4 batas tengah (l) (tetap)
myu12(:,i)=(m(:,i)-x7(:,i))/(m(:,i)-l(:,i)); % myu12=derajat
keanggotaan 4 batas kanan (m)
y10=0; % y10=derajat
keanggotaan ideal 4 batas kiri (k) adalah 0
y11=1; % y11=derajat
keanggotaan ideal 4 batas tengah (l) adalah 1 (tetap)
y12=0; % y12=derajat
keanggotaan ideal P4 batas kanan (m) adalah 0

```

```

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

mse(:,i)=(((y1-myul(:,i)).^2)+((y2-myul2(:,i)).^2)+((y3-
myu3(:,i)).^2)+((y4-myul4(:,i)).^2)+((y5-myul5(:,i)).^2)+...
((y6-myul6(:,i)).^2)+((y7-myul7(:,i)).^2)+((y8-
myu8(:,i)).^2)+((y9-myul9(:,i)).^2)+((y10-myul10(:,i)).^2)+((y11-
myul11(:,i)).^2)+...
((y12-myul12(:,i)).^2)+((y13-myul13(:,i)).^2)+((y14-
myul14(:,i)).^2)+((y15-myul15(:,i)).^2))/15;
BestSol.Cost=inf;
%=====
%antPosition(AP)
AP1=x1;
AP2=x2;
AP3=x3;
AP4=x4;
AP5=x5;
AP6=x6;
AP7=x7;
AP8=x8;
%=====
%jarak terdekat xi, jarak terjauh xj
%x1
xi1(:,i)=AP1(:,i)+(mse(:,i)*rho(:,i));
xj1(:,i)=AP1(:,i)-(mse(:,i)*rho(:,i));
%x2
xi2(:,i)=AP2(:,i)+(mse(:,i)*rho(:,i));
xj2(:,i)=AP2(:,i)-(mse(:,i)*rho(:,i));
%x3
xi3(:,i)=AP3(:,i)+(mse(:,i)*rho(:,i));
xj3(:,i)=AP3(:,i)-(mse(:,i)*rho(:,i));
%x4
xi4(:,i)=AP4(:,i)+(mse(:,i)*rho(:,i));
xj4(:,i)=AP4(:,i)-(mse(:,i)*rho(:,i));
%x5
xi5(:,i)=AP5(:,i)+(mse(:,i)*rho(:,i));
xj5(:,i)=AP5(:,i)-(mse(:,i)*rho(:,i));
%x6
xi6(:,i)=AP6(:,i)+(mse(:,i)*rho(:,i));
xj6(:,i)=AP6(:,i)-(mse(:,i)*rho(:,i));
%x7
xi7(:,i)=AP7(:,i)+(mse(:,i)*rho(:,i));
xj7(:,i)=AP7(:,i)-(mse(:,i)*rho(:,i));
%x8
xi8(:,i)=AP8(:,i)+(mse(:,i)*rho(:,i));

```

```
xj8(:,i)=AP8(:,i)-(mse(:,i)*rho(:,i));
```

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

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

```
%=====
%% jalur semut
for i=1:n1
    for z=1:n1
        if CP1(i,z)==0
            h1(i,z)=0;
        else
            h1(i,z)=1/CP1(i,z);
        end
        if CP2(i,z)==0
            h2(i,z)=0;
        else
            h2(i,z)=1/CP2(i,z);
        end
        if CP3(i,z)==0
            h3(i,z)=0;
        else
            h3(i,z)=1/CP3(i,z);
        end
        if CP4(i,z)==0
            h4(i,z)=0;
        else
            h4(i,z)=1/CP4(i,z);
        end
        if CP5(i,z)==0
            h5(i,z)=0;
        else
            h5(i,z)=1/CP5(i,z);
        end
        if CP6(i,z)==0
            h6(i,z)=0;
        else
            h6(i,z)=1/CP6(i,z);
        end
    end
end
```

```

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

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

```

```

%3
for i=1:m1
mh3=h3;
for z=1:n1-1
startplaces3(z,1)=fix(1+rand*(n1-1));
c3=startplaces3(i,z);
mh3(:,c3)=0;
temp3=(tau3(c3,:).^beta).*(mh3(c3,:).^alpha);
s3=(sum(temp3));
P3=(1/s3).*temp3;
r=rand;
s=0;
for u=1:n1
s3=s3+P3(u);
if r<=s
startplaces4(i,z+1)=u;
break
end
end
end
end
%4
for i=1:m1
mh4=h4;
for z=1:n1-1
startplaces4(z,1)=fix(1+rand*(n1-1));
c4=startplaces4(i,z);
mh4(:,c1)=0;
temp4=(tau4(c4,:).^beta).*(mh4(c4,:).^alpha);
s4=(sum4(temp));
P4=(1/s4).*temp;
r=rand;
s4=0;
for u=1:n1
s4=s4+P4(u);
if r<=s4
startplaces4(i,z+1)=u;
break
end
end
end
end
%5
for i=1:m1
mh5=h5;
for z=1:n1-1
startplaces5(z,1)=fix(1+rand*(n1-1));
c5=startplaces5(i,z);
mh5(:,c5)=0;
temp5=(tau5(c5,:).^beta).*(mh5(c5,:).^alpha);
s5=(sum(temp5));
P5=(1/s5).*temp5;
r=rand;
s5=0;
for u=1:n1
s5=s5+P1(u);

```



```

        if r<=s5
            startplaces5(i,z+1)=u;
            break
        end
    end
end
end
%6
for i=1:m1
mh6=h6;
for z=1:n1-1
    startplaces6(z,1)=fix(1+rand*(n1-1));
    c6=startplaces6(i,z);
    mh6(:,c6)=0;
    temp6=(tau6(c6,:).^beta).*(mh6(c6,:).^alpha);
    s6=(sum(temp6));
    P6=(1/s6).*temp6;
    r=rand;
    s6=0;
        for u=1:n1
            s6=s6+P6(u);
            if r<=s6
                startplaces6(i,z+1)=u;
                break
            end
        end
end
end
end
%7
for i=1:m1
mh7=h7;
for z=1:n1-1
    startplaces7(z,1)=fix(1+rand*(n1-1));
    c7=startplaces7(i,z);
    mh7(:,c7)=0;
    temp7=(tau7(c7,:).^beta).*(mh7(c7,:).^alpha);
    s7=(sum(temp7));
    P7=(1/s7).*temp7;
    r=rand;
    s7=0;
        for u=1:n1
            s7=s7+P7(u);
            if r<=s7
                startplaces7(i,z+1)=u;
                break
            end
        end
end
end
end
%8
for i=1:m1
mh8=h8;
for z=1:n1-1
    startplaces8(z,1)=fix(1+rand*(n1-1));
    c8=startplaces8(i,z);
    mh8(:,c8)=0;
    temp8=(tau8(c8,:).^beta).*(mh8(c8,:).^alpha);
    s8=(sum(temp8));

```

```

P8=(1/s8).*temp8;
r=rand;
s=0;
    for u=1:n1
        s8=s8+P8(u);
        if r<=s8
            startplaces8(i,z+1)=u;
            break
        end
    end
end
end
end
% Menghitung distance
for i=1:m1
s1=0;
%1
for z=1:n1
    s1=s1+CP1(i);
    f1(i)=s1;
    cost1=f1;
    f1=f1-rho*min(f1);
end
end
%2
for i=1:m1
s2=0;
for z=1:n1
    s2=s2+CP2(i);
    f2(i)=s2;
    cost2=f2;
    f2=f2-rho*min(f2);
end
end
%3
for i=1:m1
s3=0;
for z=1:n1
    s3=s3+CP3(i);
    f3(i)=s3;
    cost3=f3;
    f3=f3-rho*min(f3);
end
end
%4
for i=1:m1
s4=0;
for z=1:n1
    s4=s4+CP4(i);
    f4(i)=s4;
    cost4=f4;
    f4=f4-rho*min(f4);
end
end
%5
for i=1:m1
s5=0;
for z=1:n1

```

```

        s5=s5+CP5(i);
        f5(i)=s5;
        cost5=f5;
        f5=f5-rho*min(f5);
    end
end
%6
for i=1:m1
s6=0;
for z=1:n1
    s6=s6+CP6(i);
    f6(i)=s6;
    cost6=f6;
    f6=f6-rho*min(f6);
end
end
%7
for i=1:m1
s7=0;
for z=1:n1
    s7=s7+CP7(i);
    f7(i)=s7;
    cost7=f7;
    f7=f7-rho*min(f7);
end
end
%8
for i=1:m1
s8=0;
for z=1:n1
    s8=s8+CP8(i);
    f8(i)=s8;
    cost8=f8;
    f8=f8-rho*min(f8);
end
    %% ant(k).Cost=CostFunction(ant(k).Tour);

    %% if ant(k).Cost<BestSol.Cost
    %%     BestSol=ant(k);
end

%% Update Jalur semut dan pheromone
for i=1:m1
    %1
    for z=1:n1
        dt1=1/f1(i);
        tau1=(1-rho)*tau1+dt1;
    end
    %2
    for z=1:n1
        dt2=1/f2(i);
        tau2=(1-rho)*tau2+dt2;
    end
    %3
    for z=1:n1
        dt3=1/f3(i);
        tau3=(1-rho)*tau3+dt3;

```

```

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

mse = [];
eMse = [];

eMse=[eMse;mse];

clc
max_variable_design=mse(1,:)
figure(gcf)
title('Grafik Nilai ACO','color','b')
xlabel('Jumlah Interasi')
ylabel('MSE')
hold on
plot(eMse, 'DisplayName', 'eMse', 'YDataSource', 'eMse');
hold on
end
end

```

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Rizqi Lazuardy Manararrahat, dilahirkan pada tanggal 24 Februari 1998. Pada saat ini penulis bertempat tinggal di Jalan Arumdalu No.17 Kecamatan Lowokwaru Kelurahan Jatimulyo Kota Malang. Pada tahun 2010, penulis telah menyelesaikan pendidikan sekolah dasar selama 6 tahun di SD Insan Terpadu Paiton, pada tahun 2013 penulis telah menyelesaikan pendidikan tingkat menengah pertama di SMP Bhakti Pertiwi Paiton selama 3 tahun, pada tahun 2016 penulis telah menyelesaikan pendidikan tingkat menengah akhir di SMA Negeri 8 Malang selama 3 tahun. Selama masa perkuliahan penulis aktif dalam berbagai macam kegiatan kemahasiswaan dan organisasi intra kampus, seperti HMTF, ITS EXPO, asisten Laboratorium Pengukuran Fisis Teknik Fisika, dan ITS Marine Solar Boat Team. Pada tahun 2020 ini, penulis telah menyelesaikan pendidikan S1 Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri dan Rekaya Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Penulis dapat dihubungi melalui alamat email : rizqi.lazuardy@outlook.com.