



**TUGAS AKHIR - EE 184801**

**SISTEM *MONITORING* PERFORMA BATERAI DAN  
PENGATURAN *CHARGING* BATERAI PADA *KEYPOINT*  
PT. PLN UP2D JAWA TIMUR BERBASIS *FUZZY LOGIC*  
*CONTROLLER***

Ibrahim Dwi Rizky  
NRP. 0711154000032

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Mochammad Rameli  
Eka Iskandar, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019





**FINAL PROJECT - EE 184801**

**BATTERY PERFORMANCE MONITORING SYSTEM AND  
BATTERY CHARGING CONTROL AT KEYPOINT PT.  
PLN UP2D JAWA TIMUR BASED ON FUZZY LOGIC  
CONTROLLER**

Ibrahim Dwi Rizky  
NRP. 0711154000032

Supervisor  
Dr. Ir. Mochammad Rameli  
Eka Iskandar, S.T., M.T.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Electrical Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019







## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Sistem Monitoring Performa Baterai dan Pengaturan Charging Baterai pada Keypoint PT. PLN UP2D Jawa Timur Berbasis Fuzzy Logic Controller**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 28 Mei 2019

Ibrahim Dwi Rizky  
NRP 0711154000032

-----*Halaman ini sengaja dikosongkan*-----



**SISTEM MONITORING PERFORMA BATERAI dan  
PENGATURAN CHARGING pada KEYPOINT PT. PLN UP2D  
JAWA TIMUR BERBASIS FUZZY LOGIC CONTROLLER  
TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada**

**Departemen Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui:**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**



**Dr. Ir. Mochammad Rameli**  
NIP. 195412271981031002

**Eka Iskandar, S.T., M.T.**  
NIP. 198005282008121001



-----*Halaman ini sengaja dikosongkan*-----

# **SISTEM MONITORING PERFORMA BATERAI DAN PENGATURAN *CHARGING* BATERAI PADA KEYPOINT PT. PLN UP2D JAWA TIMUR BERBASIS *FUZZY LOGIC CONTROLLER***

Nama : Ibrahim Dwi Rizky  
Pembimbing : 1. Dr. Ir. Mochammad Rameli  
2. Eka Iskandar, S.T., M.T.

## **ABSTRAK**

Baterai pada *keypoint* memiliki peran penting untuk menjaga keandalan sistem distribusi. Performa baterai yang baik, akan mendukung kinerja peralatan yang ditunjangnya. Energi yang dapat disimpan baterai jumlahnya terbatas, maka baterai akan mengalami siklus *charge* dan *discharge*. Proses *charge* dan *discharge* yang tidak tepat dapat menyebabkan performa baterai menurun. Apabila performa baterai sudah tidak dalam kondisi yang baik maka dapat menyebabkan *keypoint* gagal melaksanakan manuver ketika sumber daya utama mengalami gangguan. Oleh karena itu diperlukan suatu sistem yang dapat memantau performa baterai sebagai upaya preventif hal tersebut akan terjadi. Selain itu diperlukan juga suatu sistem yang dapat mengontrol *charging* baterai untuk menjaga performa baterai. Kontroler logika *fuzzy* akan diimplementasikan pada sistem kontrol *charging* baterai. Hasil simulasi menunjukkan proses *charging* pada *keypoint* sudah sesuai dengan menggunakan control current dengan arus konstan 4 A ketika SoC kurang dari 95% dan menggunakan control voltage dengan tegangan 26.12 V ketika SoC lebih dari 95%. Sistem monitoring menggunakan kapasitansi baterai dapat menunjukkan bagaimana kondisi kapasitas baterai dengan menghasilkan kapasitansi terbesar (peak) 1600 C saat 17 Ah dan menghasilkan peak 1400 C saat 15 Ah.

**Kata Kunci:** Baterai, *Keypoint*, *Fuzzy Logic Controller*

-----*Halaman ini sengaja dikosongkan*-----

# ***Battery Performance Monitoring System and Battery Charging Control at Keypoint PT. PLN UP2D Jawa Timur Based on Fuzzy Logic Controller***

Student's name : Ibrahim Dwi Rizky  
Supervisor : 1. Dr. Ir. Mochammad Rameli  
2. Eka Iskandar, S.T., M.T.

## **ABSTRACT**

*Batteries on keypoints have an important role to maintain the reliability of the distribution system. Good battery performance, will support the performance of the equipment it supports. The amount of battery that can be stored is limited, the battery will pass a charge and discharge cycle. Inaccurate charge and discharge processes can cause battery performance to decrease. If the battery's performance is not in good condition, it can cause the keypoint to fail to perform a maneuver when the main resource is experiencing interference. Therefore we need a system that can monitor the performance of the battery as a preventive measure that will occur. In addition, a system that can control charging the battery is also needed to maintain battery performance. The fuzzy logic controller will be implemented on the battery charging control system. The simulation results show the charging process at the keypoint is appropriate using control current with a constant current of 4 A when the SoC is less than 95% and uses a control voltage with a voltage of 26.12 V when the SoC is more than 95%. The monitoring system using battery capacitance can show the condition of battery capacity by producing the largest capacitance (peak) of 1600 C when 18 Ah and producing a peak of 1400 C when 15 Ah.*

**Keywords:** *Battery, Keypoint, Fuzzy Logic Controller*

-----*Halaman ini sengaja dikosongkan*-----

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “**Sistem Monitoring Performa Baterai dan Pengaturan Charging Baterai pada Keypoint PT. PLN UP2D Jawa Timur Berbasis Fuzzy Logic Controller**” Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih atas segala bantuan dan dukungannya yang telah diberikan selama proses pembuatan tugas akhir ini kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak Slamet Urifan dan Ibu Halimatus Sa’diyah yang selalu memberikan do’a dan dukungan yang sangat berarti dalam keadaan apapun. Semoga Allah selalu memberikan kesehatan.
2. Bapak Dr. Ir. Mochammad Rameli dan Bapak Eka Iskandar, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing atas segala bimbingan ilmu, moral, dan spiritual dari awal hingga terselesaikannya tugas akhir,
3. Seluruh Staff/Karyawan/Dosen Departemen Teknik Elektro yang telah memberikan banyak ilmu dan menciptakan suasana belajar yang mendukung.
4. Teman-teman e55 yang telah berjuang bersama semenjak awal masuk perkuliahan.
5. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat dalam pengembangan keilmuan di kemudian hari.

Surabaya, 28 Mei 2019

Penulis

-----*Halaman ini sengaja dikosongkan*-----



## **DAFTAR ISI**

<b>ABSTRAK .....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xix</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xxi</b>
<b>BAB I.....</b>	<b>1</b>
<b>PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1    Latar Belakang.....	1
1.2    Permasalahan.....	2
1.3    Tujuan.....	3
1.4    Batasan Masalah.....	3
1.5    Metodologi .....	3
1.6    Sistematika Penulisan.....	4
1.7    Relevansi .....	5
<b>BAB II .....</b>	<b>7</b>
<b>TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>7</b>
2.1 <i>Keypoint</i> .....	7
2.2    Baterai .....	9
2.3.    Jenis-Jenis Baterai .....	10
2.3.1    Baterai Primer .....	10
2.3.2    Baterai Sekunder .....	10
2.4    Parameter Baterai .....	10
2.4.1    Kapasitas Baterai.....	10
2.4.2    Tegangan Baterai .....	10
2.4.3 <i>State of Charge (SOC)</i> .....	10
2.4.4 <i>Depth of Discharge (DOD)</i> .....	11

2.4.5	Siklus Hidup Baterai .....	12
2.4.6	<i>Self Discharge</i> .....	12
2.5	Baterai <i>Lead-acid</i> .....	13
2.5.1	Permodelan Baterai Lead Acid .....	14
2.6	Sistem <i>Charging</i> Baterai .....	16
2.7	<i>Fuzzy Logic Controller</i> .....	17
2.7.1	Himpunan <i>Fuzzy</i> .....	18
2.7.2	Fungsi Keanggotaan.....	19
2.7.3	Operasi Himpunan <i>Fuzzy</i> .....	24
2.7.4	Sistem Inferensi <i>Fuzzy</i> .....	25
<b>BAB III</b>	.....	<b>27</b>
<b>PERANCANGAN SISTEM</b>	.....	<b>27</b>
3.1	Sistem Kontrol <i>Charging</i> .....	27
3.2	Perancangan DC <i>Power Supply</i> .....	28
3.3	Desain Buck Converter .....	28
3.4	Pemodelan Baterai <i>Lead-Acid</i> .....	29
3.5	Perancangan Kontroler.....	32
3.5.1	Proses Fuzzifikasi .....	32
3.5.2	Penentuan <i>Rule Base</i> .....	34
3.5.3	Inferensi Mamdani .....	35
3.5.4	Proses Defuzzifikasi.....	35
3.6	Perancangan dan Simulasi Sistem.....	36
3.7	Spesifikasi Sistem .....	37
3.8	Perancangan Sistem <i>Monitoring</i> Baterai.....	37
3.9	Perancangan HMI Sistem <i>Monitoring</i> Baterai .....	38
3.10	Perangkat Keras pada Sistem.....	39
3.10.1	Baterai <i>Lead Acid</i> .....	39
3.10.2	Sensor Tegangan .....	39

3.10.3 Mikrokontroler .....	40
<b>BAB IV .....</b>	<b>43</b>
<b>PENGUJIAN DAN ANALISIS .....</b>	<b>43</b>
4.1 Gambaran Umum Pengujian Sistem .....	43
4.2 Pengujian Sensor Tegangan .....	43
4.3 Pengujian Model Baterai .....	45
4.4 Pengujian Sistem <i>Monitoring</i> .....	48
4.4.1 Pengujian Sistem <i>Monitoring</i> Beban 8,33 $\Omega$ .....	48
4.4.2 Pengujian Sistem <i>Monitoring</i> Beban 12 $\Omega$ .....	49
4.5 Pengujian Kontroler <i>Fuzzy</i> .....	51
4.5.1 Pengujian Kontroler dengan inisial <i>State of Charge</i> 50% ....	51
4.5.2 Pengujian Kontroler dengan inisial <i>State of Charge</i> 60% ....	53
4.5.3 Pengujian Kontroler dengan inisial <i>State of Charge</i> 70% ....	54
4.5.4 Pengujian Kontroler dengan inisial <i>State of Charge</i> 80% ....	56
4.5.5 Pengujian Kontroler dengan inisial <i>State of Charge</i> 94.99%	58
<b>BAB V .....</b>	<b>61</b>
<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>61</b>
5.1    Kesimpulan .....	61
5.2    Saran .....	61
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>63</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>65</b>
<b>BIODATA PENULIS .....</b>	<b>71</b>

-----*Halaman ini sengaja dikosongkan*-----

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	<i>Load Break Switch</i> di lingkungan kerja UP2D .....	8
<b>Gambar 2.2</b>	<i>Recloser</i> di lingkungan kerja UP2D .....	8
<b>Gambar 2.3</b>	Bagian-bagian baterai [3].....	9
<b>Gambar 2.4</b>	Pengaruh <i>Deep of Discharge</i> terhadap siklus baterai [6].	11
<b>Gambar 2.5</b>	Hubungan <i>life cycle</i> baterai dengan DoD [7].....	12
<b>Gambar 2.6</b>	Pengaruh suhu terhadap <i>self discharge</i> baterai [7] .....	13
<b>Gambar 2.7</b>	<i>Non linear battery model</i> [14] .....	15
<b>Gambar 2.8</b>	Bentuk fungsi keanggotaan segitiga .....	20
<b>Gambar 2.9</b>	Bentuk fungsi keanggotaan trapesium .....	21
<b>Gambar 2.10</b>	Bentuk fungsi keanggotaan S .....	22
<b>Gambar 2.11</b>	Bentuk fungsi keanggotaan phi.....	23
<b>Gambar 2.12</b>	Bentuk fungsi keanggotaan gaussian .....	24
<b>Gambar 2.13</b>	Blok diagram kontroler <i>fuzzy</i> .....	26
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram blok kontrol <i>charging</i> baterai <i>constant voltage</i>	27
<b>Gambar 3.2</b>	Diagram blok kontrol <i>charging</i> baterai <i>constant current</i>	27
<b>Gambar 3.3</b>	Rangkaian Perancangan <i>Power Supply</i> .....	28
<b>Gambar 3.4</b>	Rangkaian <i>buck converter</i> .....	28
<b>Gambar 3.5</b>	<i>Non linear battery model</i> [14] .....	30
<b>Gambar 3.6</b>	Model persamaan baterai .....	31
<b>Gambar 3.7</b>	<i>Membership function</i> eror tegangan dan arus .....	33
<b>Gambar 3.8</b>	<i>Membership function</i> integral eror tegangan dan arus .....	34
<b>Gambar 3.9</b>	Defuzzifikasi <i>singleton</i> sistem kontrol <i>charging</i> .....	36
<b>Gambar 3.10</b>	Simulasi sistem <i>monitoring</i> kondisi baterai .....	37
<b>Gambar 3.11</b>	Simulasi sistem kontrol <i>charging</i> baterai.....	37
<b>Gambar 3.12</b>	Tampilan HMI sistem <i>monitoring</i> baterai.....	38
<b>Gambar 3.13</b>	Baterai VOZ TF12-17.....	39
<b>Gambar 3.14</b>	Rangkaian pembagi tegangan .....	40
<b>Gambar 3.15</b>	Arduino Uno .....	41
<b>Gambar 4.1</b>	Grafik Pengujian Sensor Tegangan .....	44
<b>Gambar 4.2</b>	<i>Non linear battery model</i> [14] .....	45
<b>Gambar 4.3</b>	Permodelan baterai pada <i>Simulink</i> MATLAB .....	46
<b>Gambar 4.4</b>	Hasil simulasi grafik <i>discharge</i> baterai.....	47
<b>Gambar 4.5</b>	Hasil pengambilan data grafik <i>discharge</i> baterai.....	47

<b>Gambar 4.6</b> Hasil simulasi <i>monitoring</i> baterai kapasitas 17 Ah beban 8,33 $\Omega$ .....	48
<b>Gambar 4.7</b> Hasil simulasi <i>monitoring</i> baterai kapasitas 17 Ah dan 15 Ah beban 8,33 $\Omega$ .....	49
<b>Gambar 4.8</b> Hasil simulasi <i>monitoring</i> baterai kapasitas 17 Ah beban 12 $\Omega$ .....	50
<b>Gambar 4.9</b> Hasil simulasi <i>monitoring</i> baterai kapasitas 17 Ah dan 15 Ah beban 12 $\Omega$ .....	50
<b>Gambar 4.10</b> Arus <i>charging</i> baterai dengan inisial SOC 50% .....	51
<b>Gambar 4.11</b> Tegangan <i>charging</i> baterai dengan inisial SOC 50% .....	52
<b>Gambar 4.12</b> <i>State of Charge</i> baterai dengan inisial SOC 50% .....	52
<b>Gambar 4.13</b> Arus <i>charging</i> baterai dengan inisial SOC 60% .....	53
<b>Gambar 4.14</b> Tegangan <i>charging</i> baterai dengan inisial SOC 60% .....	54
<b>Gambar 4.15</b> <i>State of Charge</i> baterai dengan inisial SOC 60% .....	54
<b>Gambar 4.16</b> Arus <i>charging</i> baterai dengan inisial SOC 70% .....	55
<b>Gambar 4.17</b> Tegangan <i>charging</i> baterai dengan inisial SOC 70% .....	55
<b>Gambar 4.18</b> <i>State of Charge</i> baterai dengan inisial SOC 70% .....	56
<b>Gambar 4.19</b> Arus <i>charging</i> baterai dengan inisial SOC 80% .....	57
<b>Gambar 4.20</b> Tegangan <i>charging</i> baterai dengan inisial SOC 80% .....	57
<b>Gambar 4.21</b> <i>State of Charge</i> baterai dengan inisial SOC 80% .....	58
<b>Gambar 4.22</b> Arus <i>charging</i> baterai dengan inisial SOC 94.99% .....	59
<b>Gambar 4.23</b> Tegangan <i>charging</i> baterai dengan inisial SOC 94.99% .....	59
<b>Gambar 4.24</b> <i>State of Charge</i> baterai dengan inisial SOC 94.99% .....	60

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Karakteristik baterai <i>lead-acid</i> [3].....	14
<b>Tabel 2.2</b> Parameter Baterai [14].....	16
<b>Tabel 2.3</b> Penyajian tabel derajat keanggotaan himpunan bilangan "mendekati 2" .....	18
<b>Tabel 3.1</b> Spesifikasi Desain <i>Buck Converter</i> [15].....	29
<b>Tabel 4.1</b> Tabel hasil pengujian sensor tegangan .....	44

-----*Halaman ini sengaja dikosongkan*-----



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

Pada bab ini akan dibahas mengenai latar belakang dari penelitian tugas akhir. Berdasarkan latar belakang tersebut dapat dirumuskan permasalahan dan tujuan tugas akhir. Selanjutnya dibahas mengenai metodologi, sistematika, dan relevansi tugas akhir yang dikerjakan.

### **1.1 Latar Belakang**

PT. PLN (Persero) sebagai perusahaan BUMN di Indonesia yang bertugas menyuplai serta mengatur pasokan listrik. Perusahaan ini pun merupakan satu-satunya perusahaan milik pemerintah yang melayani jasa kelistrikan, oleh sebab itu mempunyai hak monopoli terhadap penjualan listrik di Indonesia. Dengan adanya hak monopoli tersebut, maka PT. PLN (Persero) memiliki jumlah konsumen yang sangat banyak yang terdiri atas perumahan, gedung, perkantoran, serta industri-industri. Setiap tahunnya kebutuhan akan listrik di Indonesia terus meningkat, sebagai akibat dari peningkatan kualitas kesejahteraan masyarakat diiringi juga oleh perkembangan industri di Indonesia. Sementara PT. PLN (Persero) memiliki keterbatasan dalam memenuhi peningkatan akan kebutuhan listrik tersebut. Namun tentunya PT. PLN (Persero) terus-menerus tetap melakukan upaya untuk memenuhi kebutuhan listrik secara bertahap keseluruh pelosok negeri. Beberapa usaha telah dilakukan seperti memanfaatkan berbagai energi alternatif untuk dapat menghasilkan pasokan listrik yang cukup. Sekarang ini setiap perusahaan dituntut agar selalu meningkatkan produktivitas pelayanannya, untuk itu PT. PLN (Persero) terus berupaya meningkatkan produktivitas pelayanannya dalam penyediaan listrik.

UP2D (Unit Pelaksana Pengatur Distribusi) Jawa Timur merupakan salah satu unit PT. PLN yang bertugas untuk mengatur sistem jaringan distribusi tenaga listrik di Jawa Timur melalui Gardu Induk dan sejumlah penyulang. Pada suatu sistem distribusi tenaga listrik, tingkat keandalan merupakan hal yang sangat penting dalam menentukan mutu, kontinuitas, dan ketersediaan pelayanan daya listrik. Semakin pentingnya peranan tenaga listrik dalam kehidupan sehari-hari, maka kontinuitas penyediaan tenaga listrik juga menjadi tuntutan yang semakin besar dari konsumen tenaga listrik. Oleh karena hal tersebut, maka dituntut adanya suatu sistem tenaga listrik yang handal. Untuk mengetahui keandalan dalam distribusi tenaga listrik ke konsumen, maka perlu dihitung indeks keandalannya.

Indeks-indeks yang digunakan untuk mengetahui tingkat keandalan suatu sistem distribusi adalah SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) dan SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*).

Salah satu alat untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi adalah *keypoint*. *Keypoint* merupakan suatu alat yang digunakan untuk mempercepat waktu penormalan setelah terjadi gangguan. Dengan mempercepat waktu penormalan maka otomatis keandalan sistem distribusi akan meningkat. Salah satu elemen penting pada *keypoint* adalah ketersediaan sumber daya listrik. Sumber daya listrik utama yang digunakan pada *keypoint* didapatkan dari jaringan 20 kV yang diturunkan melalui trafo tegangan menjadi 220 VAC kemudian diubah menjadi 24 VDC menggunakan rectifier. Selain itu, untuk menjaga kontinuitas sumber daya listrik digunakan juga baterai sebagai *redundant*. Baterai ini digunakan apabila sumber daya listrik utama mengalami gangguan sehingga kondisi baterai harus dipastikan selalu siap untuk dipakai. Teknologi pengisian baterai sendiri dibedakan menjadi 3, yaitu metode arus konstan, metode tegangan konstan, dan metode pulsa. Sementara itu, proses pengisian baterai sendiri dapat dibedakan menjadi 4 jenis, yaitu *slow charge*, *rapid charge*, *fast charge*, dan *ultrafast charge* [1].

Sampai saat ini kondisi baterai pada *keypoint* tidak dipantau sehingga dapat menyebabkan kemungkinan melaksanakan gagal manuver yang dapat memperlambat waktu penormalan. Oleh karena itu diperlukan suatu sistem yang dapat memantau kondisi baterai sebagai upaya preventif hal tersebut akan terjadi. Selain itu diperlukan juga suatu sistem yang dapat mengontrol *charging* baterai untuk memperpanjang usia pemakaian baterai.

Metode yang digunakan untuk mengontrol sistem *charging* dalam Tugas Akhir ini adalah dengan logika *fuzzy* yang lebih mudah diterapkan untuk sistem yang kompleks. Dengan mengontrol sistem *charging* diharapkan arus *charging* saat baterai akan penuh mendekati nol sehingga dapat memperpanjang umur pemakaian baterai.

## 1.2 Permasalahan

Sampai saat ini kondisi baterai pada *keypoint* masih belum dipantau sehingga dapat mengakibatkan terjadinya gagal kontrol. Hal ini mengakibatkan proses penormalan jaringan menjadi lebih lambat. Jika proses penormalan jaringan menjadi lebih lambat maka SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) sistem menjadi meningkat. Berdasarkan hal tersebut, maka kondisi baterai perlu dipantau untuk mengetahui kapasitas baterai yang akan digunakan sebagai parameter pengaturan

sistem *charging*. Selain itu untuk menjaga umur baterai agar sesuai dengan spesifikasi, diperlukan adanya kontroler *charger* yang berfungsi untuk mengontrol arus *charging* untuk menghindari baterai dari *overcharging*.

### 1.3 Tujuan

Adapun tujuan yang hendak dicapai pada tugas akhir ini adalah mendesain suatu sistem yang dapat memantau kondisi baterai dan mengatur *charging* baterai pada *keypoint* PT. PLN UP2D Jawa Timur dengan metode *fuzzy logic controller*.

### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah:

1. Membuat simulasi sistem *charging* baterai pada *keypoint* menggunakan MATLAB/SimulinkR2018b.
2. Baterai yang digunakan adalah jenis *lead acid* dengan kapasitas 24V 17Ah.
3. Kontroler yang digunakan adalah *Fuzzy Mamdani*.
4. Menggunakan Shepherd model untuk pemodelan baterai *lead acid*.

### 1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam menyusun penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

#### 1. Studi Literatur

Studi literatur merupakan serangkaian kegiatan yang dilakukan untuk menambah wawasan dan mempelajari teori-teori yang menunjang proses pengerjaan dan penulisan tugas akhir ini. Literatur yang dapat digunakan yakni, buku, paper, jurnal, artikel maupun *website* yang bertaraf nasional dan internasional, Serta melalui hasil konsultasi dengan dosen pembimbing.

#### 2. Observasi dan Analisa Masalah

Observasi merupakan serangkaian kegiatan yang dilakukan untuk mengumpulkan informasi terkait penelitian yang berkaitan dengan topik tugas akhir ini. Informasi tersebut dapat berupa penggunaan metode *Fuzzy Logic Controller* dan analisa penelitian sebelumnya guna mengetahui kelebihan dan kekurangan pada kontroler yang dirancang sehingga diharapkan pada penelitian ini dapat menyempurnakan kekurangan tersebut.

#### 3. Pengambilan Data

Pada pengerjaan tugas akhir ini diperlukan pengambilan data pada real sistem yang nantinya data tersebut akan digunakan untuk mendesain kontroler yang kemudian akan disimulasikan menggunakan MATLAB.

#### 4. Perancangan Kontroler *Fuzzy*

Perancangan ini akan dikerjakan berdasarkan data yang telah diperoleh dari baterai *keypoint* saat melaksanakan magang yang kemudian akan dirancang dengan menggunakan metode *fuzzy* pada MATLAB.

#### 5. Analisa dan Evaluasi

Analisa dilakukan terhadap hasil simulasi yang telah dilakukan pada program yang telah dibuat di MATLAB. Apabila pada tahap ini mendapatkan hasil yang belum sesuai dengan spesifikasi yang telah diinginkan maka akan dilakukan evaluasi.

#### 6. Penyusunan Laporan

Penyusunan laporan merupakan tahap akhir dari proses pengerjaan tugas akhir ini, laporan yang akan disusun berkaitan dengan pengerjaan tugas akhir yang telah dikerjakan yang meliputi pendahuluan, studi literatur, tinjauan pustaka, perancangan, simulasi, pengujian dan analisa, serta penutup.

### 1.6 Sistematika Penulisan

Penulis membagi laporan penelitian ini menjadi lima bab yang terhubung satu sama lain. Hal ini untuk menghindari kesalahan interpretasi terhadap isi di dalam laporan. Penjelasan tentang masing-masing bab dibuat dengan sistematika penulisan sebagai berikut :

#### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Pada bab ini dijelaskan tentang latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika penulisan, serta relevansi dari penelitian yang dilakukan.

#### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini dibahas mengenai tinjauan pustaka yang membantu penelitian, di antaranya adalah teori metode *Fuzzy Logic Controller*, teori tentang catu daya *keypoint*, teori tentang baterai dan *State of charge*.

#### **BAB 3 PERANCANGAN SISTEM**

Pada bab ini membahas tentang perancangan sistem yang akan digunakan pada tugas akhir ini meliputi blok diagram sistem,

prosedur pengambilan data, dan pembuatan kontroler *fuzzy* untuk monitoring kondisi baterai.

#### **BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISIS**

Pada bab ini dibahas hasil simulasi dan pengujian kontroler yang telah dirancang dan dijelaskan pada BAB 3 sebagai uji validitas. Selanjutnya dilakukan analisa berdasarkan data hasil pengujian sistem.

#### **BAB 5 PENUTUP**

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah diperoleh.

### **1.7 Relevansi**

Penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat, yaitu:

1. Menjadi referensi yang dapat menunjang UP2D Jawa Timur PT. PLN dalam membangun sistem *DC supply* yang andal.
2. Mengurangi terjadinya gagal kontrol akibat kurangnya suplai pada *keypoint*
3. Menjadi referensi bagi mahasiswa yang akan mengerjakan penelitian dengan topik baterai.

-----*Halaman ini sengaja dikosongkan*-----

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Beberapa teori penunjang yang dipaparkan dalam buku tugas akhir ini adalah teori dasar mengenai antara lain *keypoint*, baterai, karakteristik baterai, pembagi tegangan, *state of charge*, *fuzzy logic controller*.

#### **2.1 *Keypoint***

Sistem distribusi tenaga listrik terdiri atas tiga bagian utama yaitu sistem pembangkitan, sistem transmisi dan sistem distribusi. Dari ketiga sistem tersebut, sistem distribusi merupakan bagian yang letaknya paling dekat dengan konsumen dan memiliki fungsi untuk menyalurkan energi listrik dari Gardu Induk ke pelanggan. Oleh karena itu, keandalan sistem distribusi energi listrik harus terus ditingkatkan untuk memuaskan konsumen. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan keandalan yaitu dengan memasang *keypoint* yang mampu memperkecil nilai SAIDI dan SAIFI.

*Keypoint* merupakan istilah yang digunakan di lingkungan PLN untuk menyebut teknologi berbasis modem yang memungkinkan mengatur proses pemutusan/pengaktifan aliran listrik dari GI ke tiap-tiap penyulang. *Keypoint* sendiri terbagi menjadi 2 jenis yaitu LBS (*Load Break Switch*) dan *recloser*. Sesuai dengan namanya LBS merupakan suatu saklar yang dapat menghubungkan dan memutuskan sirkit pada jaringan distribusi tenaga listrik dalam kondisi berbeban. Pada sistem distribusi tenaga listrik LBS biasa difungsikan sebagai alat untuk manuver tegangan apabila di suatu daerah terdapat penyulang yang mengalami gangguan atau sedang ada pemeliharaan. Gambar 2.1 merupakan salah satu contoh LBS yang terpasang di lingkungan disjatim.

*Recloser* pada dasarnya adalah saklar yang dapat menghubungkan dan memutuskan jaringan distribusi tenaga listrik dalam keadaan bertegangan dan mampu memutuskan arus hubung singkat serta dapat melakukan *reclose* (menutup balik) secara otomatis setelah terjadi gangguan sementara. Selang waktu *recloser* untuk menutup balik dan membuka secara otomatis dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Pada sistem distribusi tenaga listrik *recloser* difungsikan sebagai pengaman sistem dari arus berlebih yang diakibatkan oleh gangguan hubung singkat. Apabila gangguan bersifat permanen, *recloser* akan memisahkan jaringan yang mengalami gangguan secara cepat sehingga dapat memperkecil luas daerah gangguan. Gambar 2.2 merupakan salah satu contoh *recloser* yang terpasang di lingkungan disjatim



**Gambar 2.1** *Load Break Switch* di lingkungan kerja UP2D

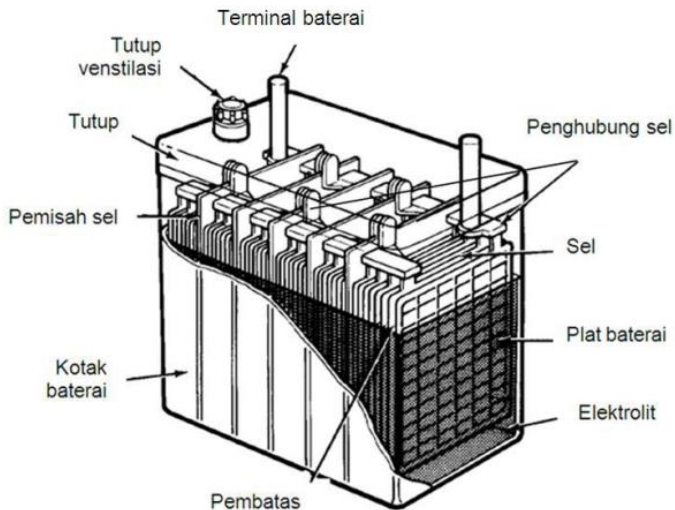


**Gambar 2.2** *Recloser* di lingkungan kerja UP2D



## 2.2 Baterai

Baterai adalah perangkat yang dapat mengonversi energi kimia yang terkandung pada bahan aktif komponen penyusun baterai menjadi energi listrik melalui reaksi elektrokimia reduksi dan oksidasi [2]. Pada umumnya baterai terdiri dari 2 atau lebih sel elektrokimia yang dapat mengubah energi kimia yang tersimpan menjadi energi listrik. Tiap sel memiliki kutub positif (katoda) dan kutub negatif (anoda). Kutub yang bertanda positif menandakan bahwa pada kutub tersebut memiliki energi potensial yang lebih tinggi daripada kutub bertanda negatif. Kutub bertanda negative adalah sumber elektron yang ketika disambungkan dengan rangkaian eksternal akan mengalir dan memberikan energi ke peralatan eksternal. Ketika baterai dihubungkan dengan rangkaian eksternal, elektrolit dapat berpindah sebagai ion di dalamnya, sehingga terjadi reaksi kimia pada kedua kutubnya. Perpindahan ion dalam baterai akan mengalirkan arus listrik keluar dari baterai sehingga menghasilkan kerja [3]. Pada Gambar 2.3 dapat diketahui bagian-bagian baterai lead acid secara umum.



**Gambar 2.3** Bagian-bagian baterai [3]

### 2.3. Jenis-Jenis Baterai

Secara garis besar baterai dibedakan menjadi dua jenis, yaitu [4]

#### 2.3.1 Baterai Primer

Baterai jenis ini merupakan jenis baterai yang paling banyak digunakan di pasaran. Jenis baterai ini tidak bisa diisi ulang (*single use battery*) dan kebanyakan baterai langsung dibuang setelah di gunakan. Baterai ini biasanya terbuat dari Seng dan karbon. Harga yang terjangkau membuat baterai ini cukup mudah ditemukan di pasaran. Kebanyakan baterai jenis ini diaplikasikan pada peralatan elektronik yang berdaya rendah, seperti *remote control* dan perangkat portabel yang lainnya.

#### 2.3.2 Baterai Sekunder

Baterai jenis ini merupakan baterai yang dapat di isi ulang (*rechargeable battery*), sehingga bisa digunakan lebih dari satu kali pemakaian. Jenis baterai sekunder antara lain : Baterai *Lead Acid*, Baterai Ni-Cd (*Nikel Cadmium*), Baterai *Lithium*, dan Baterai *Lead Crystal*.

### 2.4 Parameter Baterai

Beberapa parameter penting dalam baterai antara lain [5] :

#### 2.4.1 Kapasitas Baterai

Kapasitas baterai dapat dinyatakan dalam *Ampere Hour* (Ah). Jika V merupakan nilai tegangan pada baterai, maka kapasitas penyimpanan energi baterai dapat dinyatakan dalam  $Ah \times V = \text{Watt-hour}$ . Biasanya kapasitas pada baterai ditentukan oleh nilai C yang diberikan pada baterai. Sedangkan kapasitas baterai yang sebenarnya bergantung pada kondisi operasi seperti beban, suhu dan lain sebagainya.

#### 2.4.2 Tegangan Baterai

Tegangan Terminal saat kondisi operasi dikenal dengan istilah tegangan nominal atau tegangan kerja. Nilai tegangan ini akan ditentukan oleh manufaktur pembuat baterai. Tegangan ini biasanya bernilai 3V, 6V, 12V, 24V dan lain sebagainya

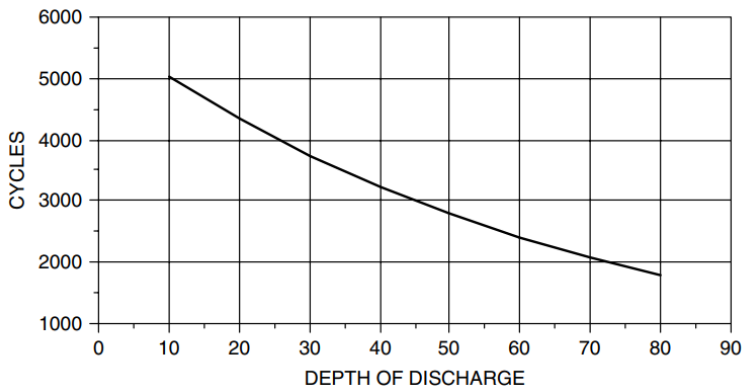
#### 2.4.3 State of Charge (SOC)

*State of charge* adalah perbandingan energi yang tersisa dengan kapasitas energi maksimum pada baterai. Nilai SOC memiliki rentan nilai 0-1, dengan 0 menyatakan baterai dalam keadaan kosong, sedangkan 1 merupakan kondisi baterai dengan keadaan penuh. Nilai *State of Charge* juga bisa dinyatakan dalam bentuk persentase, 0%-100%. Estimasi *State of Charge* adalah salah satu hal yang penting dalam penerapan baterai. Estimasi nilai *State of Charge* yang akurat sangat diperlukan untuk

menghindari dari kerusakan sistem, mencegah baterai dari keadaan *over charge* dan *over discharge* yang dapat menyebabkan kerusakan permanen pada baterai.

#### 2.4.4 *Depth of Discharge* (DOD)

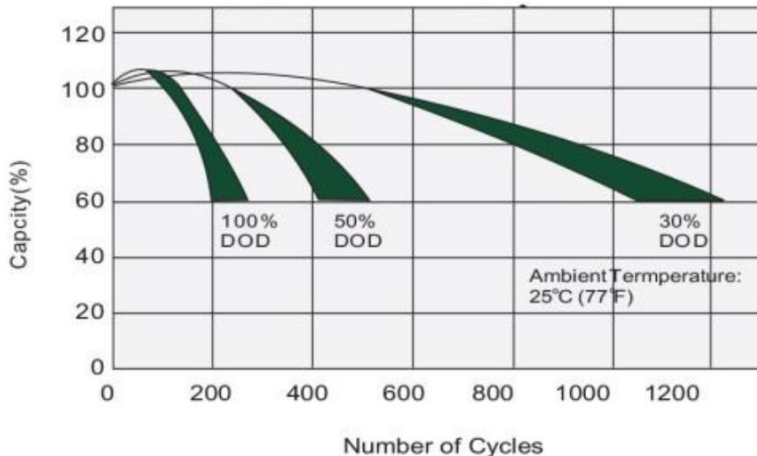
*Depth of Discharge* merupakan nilai yang digunakan untuk menggambarkan jumlah kapasitas baterai yang sudah digunakan. Apabila suatu baterai memiliki nilai SOC sebesar 100%, maka DOD baterai sebesar 0%. Apabila suatu baterai memiliki nilai SOC sebesar 75% maka, baterai tersebut memiliki DOD sebesar 25%. Jadi secara sederhana dapat dikatakan DOD merupakan kebalikan dari SOC. Apabila SOC menyatakan kapasitas baterai yang tersimpan, maka DOD menyatakan banyaknya kapasitas baterai yang sudah digunakan. Dalam penerapannya nilai DOD baterai yang digunakan akan mempengaruhi jumlah siklus (*cycles*) baterai itu sendiri. Pada Gambar 2.4 dapat diketahui baterai *lead-acid* akan memiliki siklus (*lifetime*) yang berbeda sesuai dengan besar atau kecilnya nilai DOD yang digunakan. Jumlah siklus baterai akan bernilai sekitar 5000 kali dengan DOD yang digunakan sebesar 10%. Sedangkan untuk DOD sebesar 80% baterai akan memiliki siklus sekitar 1800 kali. Pemilihan nilai DOD yang digunakan akan sangat penting untuk menentukan jumlah siklus atau umur baterai yang diinginkan. Mengingat semakin besar nilai DOD yang digunakan maka nilai siklus akan semakin kecil. [6]



**Gambar 2.4** Pengaruh *Deep of Discharge* terhadap siklus baterai [6]

### 2.4.5 Siklus Hidup Baterai

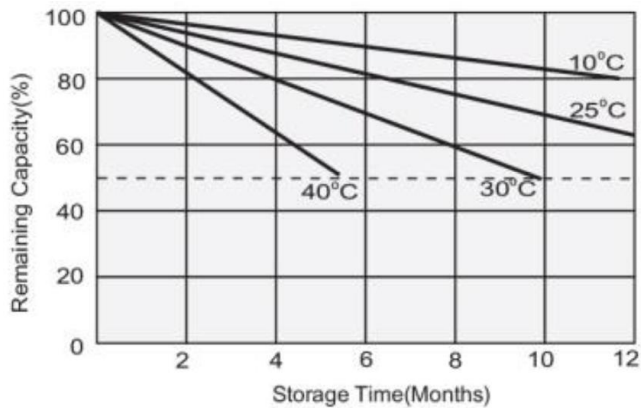
Siklus hidup baterai menunjukkan jumlah pengisian dan pengosongan (satu siklus) yang dapat diterima oleh sebuah baterai sebelum baterai tidak efektif lagi dalam menampung muatan listrik, dengan syarat penggunaan baterai yang normal dan sesuai aturan. Setelah melewati *life cycle* baterai, baterai masih bisa digunakan namun kapasitas pada baterai akan semakin berkurang. Apabila suatu baterai memiliki keterangan 2000 siklus, dengan 1 siklus terdiri dari 1 kali pengisian dan 1 kali pengosongan maka baterai tersebut dapat digunakan untuk 2000 kali pengisian dan 2000 kali pengosongan. Siklus ini akan memiliki nilai yang sama pada *datasheet* baterai dengan catatan baterai digunakan dengan normal sesuai dengan ketentuan.



**Gambar 2.5** Hubungan *life cycle* baterai dengan DoD [7]

### 2.4.6 Self Discharge

*Self Discharge* merupakan kapasitas baterai yang hilang saat baterai tidak digunakan atau dalam keadaan tanpa beban. Hal ini dikarenakan proses reaksi kimia yang terjadi di dalam baterai. *Self Discharge* akan meningkat seiring dengan kenaikan suhu. Oleh karena itu untuk mengurangi *self discharge* pada baterai, baterai dapat disimpan pada ruangan yang memiliki suhu rendah atau suhu pengoperasian baterai.



**Gambar 2.6** Pengaruh suhu terhadap *self discharge* baterai [7]

## 2.5 Baterai *Lead-acid*

Baterai *lead acid* atau yang biasa disebut aki merupakan salah satu jenis baterai yang menggunakan asam timbal (*lead acid*) sebagai bahan kimianya. Secara umum terdapat dua jenis baterai *lead acid* yaitu *starting battery* dan *deep cycle battery*. Baterai *starting* merupakan jenis baterai yang dirancang mampu menghasilkan energi (arus listrik) yang tinggi dalam waktu singkat sehingga dapat menyalakan mesin seperti mesin kendaraan. Baterai *deep cycle* adalah baterai yang cocok untuk sistem solar cell, karena dapat *discharge* sejumlah arus listrik secara konstan dalam waktu yang lama. Umumnya baterai *deep cycle* dapat *discharge* sampai dengan 80% kapasitas baterai. Dengan perencanaan kapasitas dan *maintenance* yang baik, baterai jenis ini dapat bertahan selama kurang lebih 10 tahun.

Terlepas dari dua jenis baterai diatas, baterai *lead acid* juga dibedakan menjadi *flooded battery* dan *sealed battery* [8]. Berikut ini merupakan penjelasan mengenai *flooded battery* dan *sealed battery* :

- *Flooded battery*

Baterai ini merupakan jenis baterai yang umum digunakan untuk aplikasi *renewable energy*. Pada *flooded batteries* kondisi elektroda terendam dalam elektrolit sepenuhnya. Selama proses pengisian, untuk mencapai kondisi penuh / 100% *State of charge* dibutuhkan reaksi kimia

air untuk menghasilkan gas hidrogen dan oksigen pada kedua elektroda (plat positif dan plat negatif). Oleh sebab itu, hal ini mengharuskan pengisian air secara berkala agar proses reaksi kimia ini dapat berlangsung secara terus menerus.

- *Sealed Battery*

Baterai jenis ini disebut juga dengan baterai VRLA (*Valve regulated lead acid*). Baterai jenis ini bersifat tertutup (*Sealed*), sehingga penguapan (evaporasi) yang dikeluarkan sangat kecil. Oleh sebab itu baterai jenis ini tidak memerlukan penambahan cairan *electrolyte* selama masa pemakaian baterai. Karena tidak memerlukan penambahan cairan elektrolit, baterai jenis ini biasa disebut baterai bebas perawatan (*Maintenance Free Battery*).

Berikut ini merupakan karakteristik baterai *lead-acid* berdasarkan standar [3]:

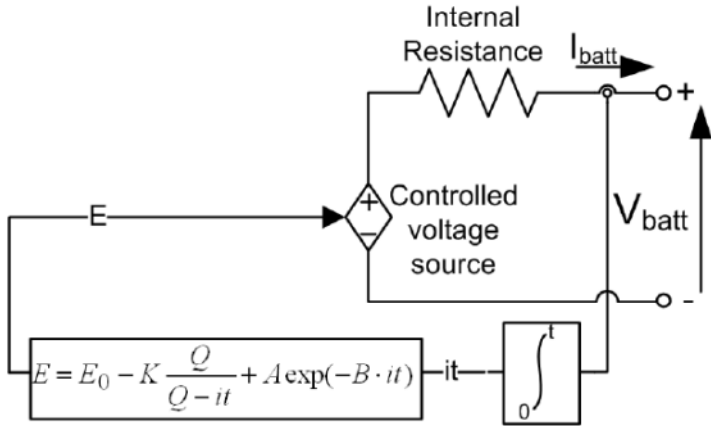
**Tabel 2.1** Karakteristik baterai *lead-acid* [3]

Karakteristik	Values (PbPbO <sub>2</sub> )
Energy Spesifik (Wh/Kg)	30-50
Resistansi Internal (mΩ)	Sangat Rendah
Siklus Hidup (80% <i>discharge</i> )	200-300
Waktu <i>Fast-Charge</i>	8-16 jam
Toleransi <i>Overcharge</i>	Tinggi
<i>Self Discharge</i> / Bulan	5%
Tegangan Sel (nominal)	2 V
Tegangan Cutoff <i>Charge</i> (V/cell)	2.40 Float 2.25
Tegangan Cutoff <i>Discharge</i> (V/cell, 1C)	1,75
Arus <i>Load Peak</i>	5C
Best result	0.2C
Suhu <i>Charge</i>	-20 sampai 50
Suhu <i>Discharge</i>	-20 sampai 50
Perawatan	3-6 Bulan
Keamanan	Suhu stabil
Digunakan Sejak	Sekitar 1800-an

### 2.5.1 Permodelan Baterai Lead Acid

Pada dasarnya terdapat 3 pemodelan baterai yang sering digunakan pada baterai, antara lain : *experimental*, *electrochemical* and *electric circuit-based*, namun model yang paling tepat digunakan untuk melihat karakteristik dari suatu baterai adalah *electric circuit-based*. Dalam

pemodelan *electric circuit-based* pemodelan baterai dapat di representasikan dengan satu buah sumber tegangan dan satu buah tahanan dalam baterai seperti yang terlihat pada Gambar 2.7. Pemodelan ini merupakan jenis pemodelan paling sederhana dalam pemodelan *electric circuit based*. Berikut ini merupakan *simple models electric circuit-based* [14] :



**Gambar 2.7** Non linear battery model [14]

Nilai sumber tegangan terbuka pada pemodelan ini berasal dari persamaan *non-linear* pada baterai. Pemodelan ini mengasumsikan karakteristik baterai yang sama baik pada proses pengisian dan proses pengosongan. Sumber tegangan terbuka direpresentasikan dengan persamaan berikut ini:

$$E = E_0 - K \frac{Q}{Q - \int i dt} + A \cdot \exp(-B \cdot \int i dt) \quad (2.1)$$

Dimana :

$E$  = Tegangan baterai tanpa beban (V)

$E_0$  = Tegangan konstan baterai (V)

$K$  = *Polarisation voltage* (V)

$Q$  = Kapasitas baterai (Ah)

$i$  = Arus baterai (i)

$\int i dt$  = Arus pengisian baterai (i)

$A$  = *Exponential zone amplitude* (V)

$B = \text{Exponential zone time constan invers (Ah}^{-1}\text{)}$

Pemodelan baterai ini memiliki beberapa asumsi antara lain :

1. Nilai tahanan dalam baterai diasumsikan memiliki nilai yang konstan selama proses pengisian dan pengosongan berlangsung.
2. Nilai parameter pada pemodelan ini direduksi dari kurva *discharge* karakteristik pada data *sheet* baterai dan diasumsikan sama untuk proses *charge*.
3. Nilai kapasitas baterai tidak berubah seiring dengan perubahan nilai arus yang digunakan.
4. Pemodelan ini tidak mempertimbangkan pengaruh suhu lingkungan.
5. Pemodelan ini tidak merepresentasikan *self discharge* pada baterai.
6. Baterai dianggap tidak memiliki *memory effect*.

Model pendekatan ini sangat umum dan dapat diterapkan pada jenis baterai lain untuk mendapatkan parameter model. Parameter-parameter yang didapatkan merupakan perkiraan dan tergantung pada ketepatan pengambilan titik yang diperoleh dari kurva *discharging* baterai. Parameter dengan model pendekatan yang sama untuk jenis baterai yang lain dapat dilihat pada tabel 2.2

**Tabel 2.2** Parameter Baterai [14]

Parameter \ Type	Lead-Acid 12V 1.2Ah	Nickel-Cadmium 1.2V 1.3Ah	Li-ion 3.6V 1Ah	Nickel-Metal-Hybrid 1.2V 6.5Ah
$E_0$ (V)	12.6463	1.2505	3.7348	1.2848
$R$ ( $\Omega$ )	0.25	0.023	0.09	0.0046
$K$ (V)	0.33	0.00852	0.00876	0.01875
$A$ (V)	0.66	0.144	0.468	0.144
$B$ ( $Ah^{-1}$ )	2884.61	5.7692	3.5294	2.3077

## 2.6 Sistem Charging Baterai

Setiap perangkat elektronik umumnya dilengkapi dengan *charger* yang digunakan untuk mengisi ulang baterai. Sistem *charging* merupakan sistem yang memproduksi tenaga listrik untuk mengisi baterai. Sistem ini digunakan untuk mengembalikan kondisi baterai agar selalu siap



digunakan. Pada dasarnya sistem ini memiliki tiga fungsi utama [9]. Fungsi tersebut adalah mengisi baterai (*charging*), mengoptimalkan tingkat pengisian (*stabilizing*), dan mengetahui kapan harus berhenti (*terminating*) Sistem ini memiliki beberapa jenis, berdasarkan kecepatan pengisiannya dapat dibedakan menjadi 3 yaitu:

- *Slow charge*, sistem ini membutuhkan waktu 14 – 16 jam untuk mengisi baterai hingga penuh. Tingkat arus yang digunakan sebesar 0.1C (0.1 dari kapasitas baterai). Keuntungan menggunakan sistem ini adalah baterai tidak panas.
- *Quick charge*, untuk mengisi baterai hingga penuh, diperlukan waktu 3 – 6 jam. Tingkat arus yang digunakan sebesar 0.3C (0.3 dari kapasitas baterai). Pada sistem ini rawan terjadi panas pada baterai, sehingga suhu pada baterai perlu untuk diawasi.
- *Fast charge*, untuk mengisi baterai hingga penuh, diperlukan waktu kurang dari 1 jam. Tingkat arus yang digunakan sebesar 1.0C (setara dengan kapasitas baterai). Pada sistem ini juga rawan terjadi panas pada baterai, sehingga suhu pada baterai perlu untuk diawasi.

## 2.7 Fuzzy Logic Controller

Manusia terbiasa mengolah sesuatu hal, baik data maupun fakta secara *fuzzy*. Bahkan saat pengambilan keputusan, didasarkan pada hal-hal yang bersifat *fuzzy*. *Fuzzy* berarti kabur atau samar atau tidak jelas. Sebagai contoh terdapat kalimat seperti berikut: [10]

“Saya akan pergi ke pasar seandainya tempatnya bersih”. Ukuran kata “sering” pada kalimat “Saya akan pergi ke pasar seandainya tempatnya bersih.” adalah samar. Kata “sering” tidak dapat didefinisikan dalam ukuran satuan waktu yang pasti, seperti jam, hari, atau bulan. Cara manusia dalam mengolah hal secara *fuzzy*, mulai diterapkan pada komputer untuk proses pengambilan keputusan. Walaupun bersifat *fuzzy*, tapi keputusan yang dihasilkan bersifat tegas. Logika adalah dasar pemikiran. Sebelum diperkenalkannya logika *fuzzy*, logika tegas (*crisp*) hanya memiliki dua nilai kebenaran, yaitu benar dan salah. Benar diberi nilai logika satu sedangkan salah diberi logika nol. Tetapi pada logika *fuzzy*, nilai kebenaran memiliki derajat tertentu yang menggambarkan kesamarannya, yang bernilai antara nol dan satu (interval , -) yang disebut derajat keanggotaan. Artinya logika *fuzzy* mampu menoleransi data-data yang bernilai samar yang meniru cara berpikir manusia [11]. Zadeh telah memberi gagasan untuk menyajikan derajat keanggotaan dari masing-masing anggota

himpunan. Sebagai contoh, pada Tabel 2.2 ditunjukkan penyajian tabel derajat keanggotaan himpunan bilangan “mendekati 2” [10].

**Tabel 2.3** Penyajian tabel derajat keanggotaan himpunan bilangan "mendekati 2"

Anggota	0	1	2	3	4	5	6	7
Derajat Keanggotaan	0.5	0.9	1	0.8	0.6	0.3	0.1	0

Berikut akan dijelaskan beberapa hal yang terkait dengan logika *fuzzy*

### 2.7.1 Himpunan *Fuzzy*

Pada himpunan tegas (*crisp set*), perpindahan antara elemen yang termasuk anggota dan elemen yang bukan anggota terjadi secara tegas. Sebagai contoh, terdapat sebuah elemen  $x$  dalam suatu himpunan  $A$ , yang dinyatakan dalam derajat keanggotaan  $\mu_A(x)$ , memiliki dua nilai keanggotaan, yaitu: [11]

- Bernilai satu ( $\mu_A(x) = 1$ ), yang berarti elemen  $x$  merupakan anggota penuh himpunan  $A$ ;
- Bernilai nol ( $\mu_A(x) = 0$ ), yang berarti elemen  $x$  bukan merupakan anggota himpunan  $A$ .

Namun pada himpunan *fuzzy* yang menoleransi kesamaran, batas tegas yang memisahkan anggota dan bukan anggota pada himpunan tegas akan dieliminasi. Sehingga perpindahan antara anggota penuh dan bukan anggota akan terjadi berangsur-angsur karena keberadaan daerah *overlapping* pada himpunan *fuzzy*.

Himpunan *fuzzy*  $\tilde{A}$  pada semesta pembicaraan  $U$  dinyatakan sebagai fungsi keanggotaan  $\mu_{\tilde{A}}(\cdot)$  himpunan  $\tilde{A}$ , yang nilainya berada pada rentang  $[0,1]$  dinyatakan sebagai: [10]

$$\mu_{\tilde{A}}(\cdot) : U \rightarrow [0,1] \quad (2.2)$$

Selanjutnya, himpunan *fuzzy*  $\tilde{A}$  pada semesta pembicaraan  $U$  secara umum dinyatakan sebagai sekumpulan pasangan elemen  $u$  ( $u$  anggota  $U$ ) dengan  $\mu_{\tilde{A}}(u)$  merupakan derajat keanggotaan  $u$  pada himpunan  $\tilde{A}$ , yaitu:

$$\tilde{A} = \{(u, \mu_{\tilde{A}}(u)) | (u \in U)\} \quad (2.3)$$

Tanda “|” digunakan untuk menghubungkan elemen dengan derajat keanggotaannya.

Berikut beberapa hal yang perlu diketahui mengenai sistem *fuzzy*, yaitu: [12]

1. Variabel *fuzzy* Adalah variabel yang dibahas dalam sistem *fuzzy*. Contoh: temperatur, kecepatan, posisi, dll.
2. Himpunan *fuzzy* Adalah suatu kelompok yang mewakili suatu keadaan tertentu dalam variabel *fuzzy*. Umumnya ciri penamaan dalam himpunan *fuzzy* adalah linguistik. Linguistik merupakan penamaan yang nilainya berupa kata-kata, yang digunakan untuk memperkirakan nilai atau keadaan yang cukup sulit untuk dinyatakan secara eksak. Contoh: lambat, cepat, sangat cepat.
3. Semesta pembicaraan Adalah seluruh nilai yang diizinkan untuk dioperasikan dalam suatu variabel *fuzzy*. Semesta pembicaraan merupakan himpunan bilangan real yang nilainya selalu bertambah. Nilai semesta pembicaraan dapat berupa bilangan positif atau negatif. Contoh: semesta pembicaraan untuk variabel kecepatan (*km/jam*) : [0 80] .

Semesta pembicaraan dapat dibagi menjadi kelompok yang lebih kecil, yaitu: domain. Contoh: domain untuk kecepatan lambat : [0 40].

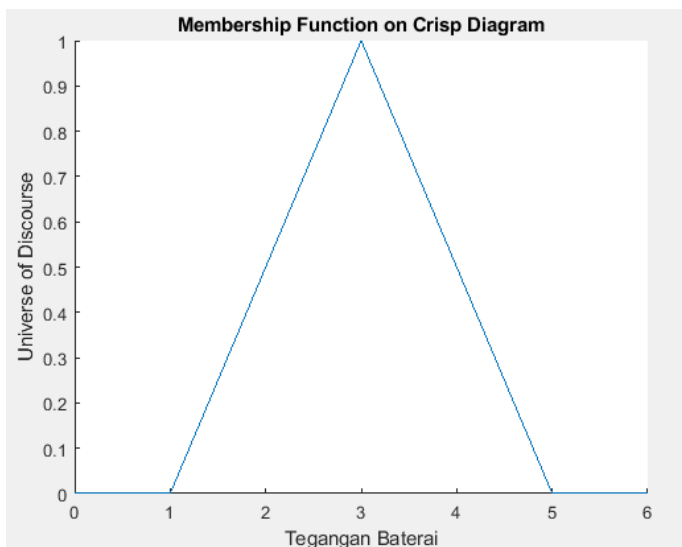
### 2.7.2 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan (*membership function*) merupakan kurva yang menunjukkan pemetaan *input* data ke dalam nilai keanggotaannya dengan rentang nol sampai satu [12]. Berikut beberapa fungsi keanggotaan yang umum digunakan, yaitu :

- a. Fungsi segitiga  
Fungsi segitiga merupakan gabungan antara dua fungsi linear. Fungsi ini ditentukan oleh tiga parameter  $\{a, b, c\}$  dengan

ketentuan  $a < b < c$  . Pada Gambar 2.8 ditampilkan bentuk fungsi segitiga. Fungsi keanggotaan fungsi segitiga, yaitu:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & ; a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & ; b \leq x \leq c \\ 0 & ; x \geq c \end{cases} \quad (2.4)$$



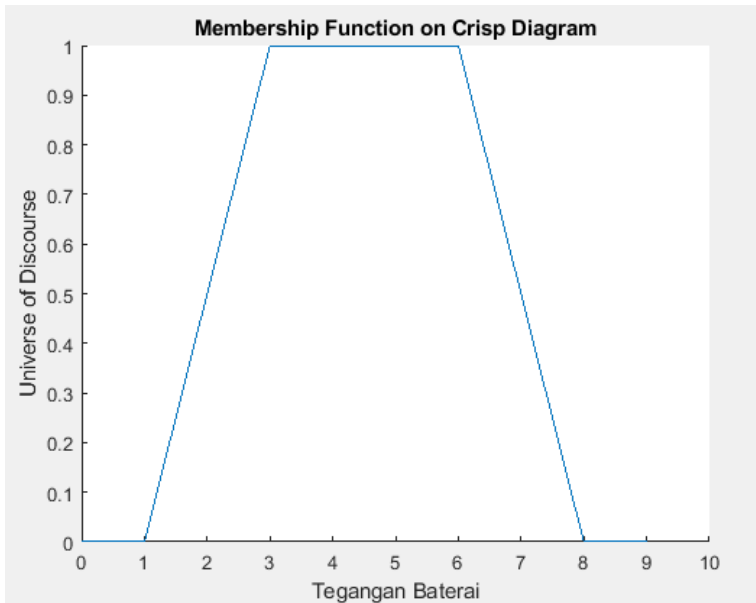
**Gambar 2.8** Bentuk fungsi keanggotaan segitiga

b. Fungsi trapesium

Fungsi trapesium pada dasarnya seperti fungsi segitiga yang memiliki beberapa titik dengan nilai keanggotaan satu. Fungsi ini ditentukan oleh empat parameter  $\{a, b, c, d\}$  dengan ketentuan  $a < c \leq d \leq b$  . Pada Gambar 2.9 ditampilkan

bentuk fungsi trapesium. Fungsi keanggotaan fungsi trapesium, yaitu:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & ; a \leq x \leq b \\ 1 & ; b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & ; c \leq x \leq d \\ 0 & ; x \geq d \end{cases} \quad (2.5)$$



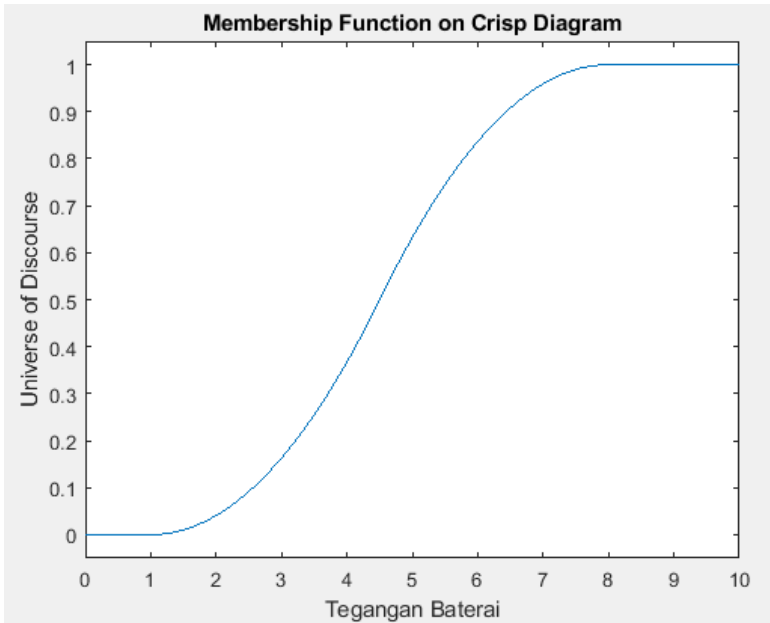
**Gambar 2.9** Bentuk fungsi keanggotaan trapesium

c. Fungsi S

Fungsi S didefinisikan dengan menggunakan tiga parameter, yaitu nilai keanggotaan nol ( $\alpha$ ), nilai keanggotaan penuh ( $\gamma$ ), dan titik infleksi ( $\beta$ ). Titik infleksi yaitu titik yang memiliki

domain 50% benar. Pada Gambar 2.10 ditampilkan bentuk fungsi S. Fungsi keanggotaan fungsi S, yaitu:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq a \\ 2\left(\frac{x-a}{\gamma-a}\right)^2 & ; a \leq x \leq \beta \\ 2\left(\frac{x-\alpha}{\gamma-\alpha}\right)^2 & ; \beta \leq x \leq \gamma \\ 1 & ; x \geq \gamma \end{cases} \quad (2.6)$$

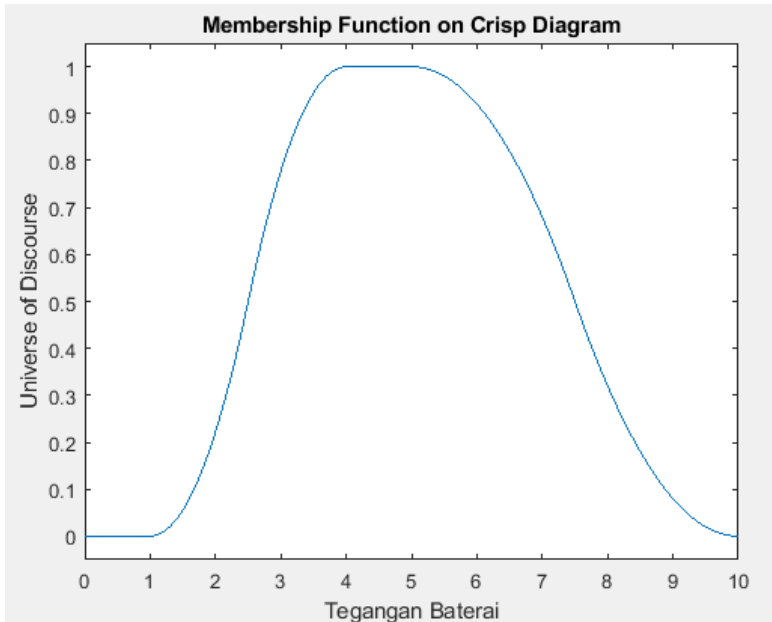


**Gambar 2.10** Bentuk fungsi keanggotaan S

- d. Fungsi phi ( $\pi$ )  
Fungsi phi berbentuk lonceng, menggunakan dua parameter yaitu ( $\gamma$ ) untuk menunjukkan derajat keanggotaan bernilai satu yang terletak di pusat himpunan, dan lebar fungsi ( $\beta$ ). Pada

Gambar 2.11 ditampilkan bentuk fungsi phi. Fungsi keanggotaan fungsi phi, yaitu:

$$\mu(x) = \begin{cases} S\left(x; \gamma + \beta, \gamma + \frac{\beta}{2}, \gamma\right) & ; x \leq \gamma \\ 1 - S\left(x; \gamma + \beta, \gamma + \frac{\beta}{2}, \gamma\right) & ; x > \gamma \end{cases} \quad (2.7)$$



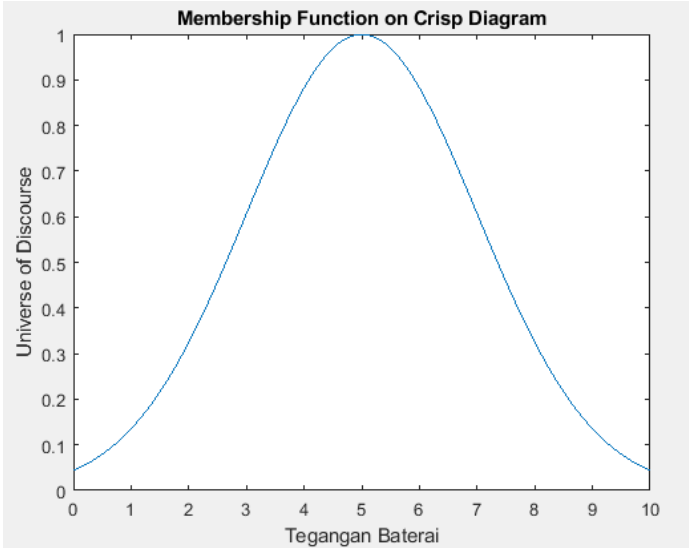
**Gambar 2.11** Bentuk fungsi keanggotaan phi

e. Fungsi gaussian

Fungsi gaussian menggunakan dua parameter, yaitu ( $c$ ) untuk menunjukkan nilai domain pada pusat kurva, dan ( $\sigma$ ) menunjukkan lebar fungsi. Pada Gambar 2.12 ditampilkan

bentuk fungsi gaussian. Fungsi keanggotaan fungsi gaussian, yaitu:

$$\mu(x) = e^{-\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2} \quad (2.8)$$



**Gambar 2.12** Bentuk fungsi keanggotaan gaussian

### 2.7.3 Operasi Himpunan Fuzzy

Berikut akan dijelaskan beberapa operator dasar yang umum digunakan untuk menggabungkan dan memodifikasi dua atau lebih himpunan *fuzzy* pada fungsi keanggotaan, yaitu operator interseksi, gabungan, dan komplemen. kemudian akan dijelaskan sebagai berikut: [13]

a. Operator interseksi (*AND*)

Interseksi himpunan *fuzzy*  $A$  dan himpunan *fuzzy*  $B$  yang didefinisikan dalam semesta pembicaraan  $U$ , dinotasikan sebagai  $A \cap B$ , memiliki dua nilai keanggotaan yaitu:

1. *Minimum*

Nilai keanggotaan *minimum* yaitu:

$$\mu_{A \cap B} = \min \{ \mu_A(u_i), \mu_B(u_i) : u_i \in U_i \} \quad (2.9)$$



2. *Algebraic product*

Nilai keanggotaan *product* yaitu:

$$\mu_{A \cap B} = \{\mu_A(u_i) \mu_B(u_i) : u_i \in U_i\} \quad (2.10)$$

b. Operator gabungan (*OR*)

Gabungan himpunan *fuzzy*  $A$  dan himpunan *fuzzy*  $B$  yang didefinisikan dalam semesta pembicaraan  $U$ , dinotasikan sebagai  $A \cup B$ , memiliki dua nilai keanggotaan yaitu:

1. *Maximum*

Nilai keanggotaan *maximum* yaitu:

$$\mu_{A \cup B} = \max \{\mu_A(u_i), \mu_B(u_i) : u_i \in U_i\} \quad (2.11)$$

2. *Algebraic Sum*

Nilai keanggotaan *algebraic sum* yaitu:

$$\mu_{A \cup B} = \{\mu_A(u_i) + \mu_B(u_i) - \mu_A(u_i) \mu_B(u_i) : u_i \in U_i\} \quad (2.12)$$

c. Operator komplemen (*NOT*)

Komplemen himpunan *fuzzy*  $A$  dengan fungsi keanggotaan  $\mu_A(u_i)$ , memiliki nilai keanggotaan yaitu:

$$\mu_{A'}(u_i) = 1 - \mu_A(u_i) \quad (2.13)$$

#### 2.7.4 Sistem Inferensi *Fuzzy*

Inferensi *fuzzy* adalah cara penarikan kesimpulan pada sistem *fuzzy*. Dalam penalaran logika *fuzzy*, tipe yang umum digunakan untuk inferensi yaitu *generalised modus ponens* (GMP) atau disebut juga *direct reasoning* [10]. Karena pada umumnya pemikiran manusia dilakukan dengan cara *modus ponens*. Pemetaan *input* ke *output* pada sistem *fuzzy* berada dalam sekumpulan aturan *kondisi*  $\rightarrow$  *aksi* atau bentuk *IF-THEN* yang menggambarkan *modus ponens*, yaitu: [13]

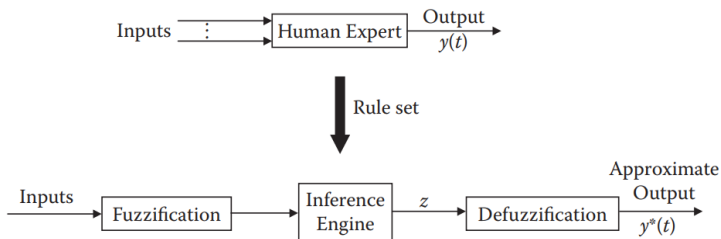
**IF** *premis* **THEN** *konsekuen*.

Premis merupakan kondisi dan konsekuen merupakan aksi. Umumnya *input* sistem *fuzzy* dihubungkan dengan premis sedangkan *output* sistem *fuzzy* dihubungkan dengan konsekuen.

Sistem *fuzzy* dibangun oleh empat bagian utama seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13, yaitu:

1. Dasar-aturan  
Dasar-aturan merupakan sekumpulan aturan *IF-THEN* yang berisi kuantifikasi uraian linguistik pakar tentang cara mencapai kontrol yang baik.
2. Mekanisme inferensi  
Disebut juga inferensi *fuzzy*, yang menyamai cara pengambilan keputusan pakar dalam menerjemahkan dan mengaplikasikan pengetahuan tentang cara terbaik untuk mengontrol *plant*.
3. Fuzifikasi  
Mengonversi *input* kontroler kedalam bentuk informasi yang dapat dipahami oleh mekanisme inferensi untuk mengaktifkan dan mengaplikasikan aturan-aturan *IF-THEN*.
4. Defuzifikasi  
Mengonversi kesimpulan yang dihasilkan mekanisme inferensi menjadi *input* aktual untuk proses.

Ketika sistem *fuzzy* ditempatkan pada bagian kontroler, maka sistem *fuzzy* disebut kontroler *fuzzy*. Pada Gambar 2.13 ditunjukkan kontroler *fuzzy*.



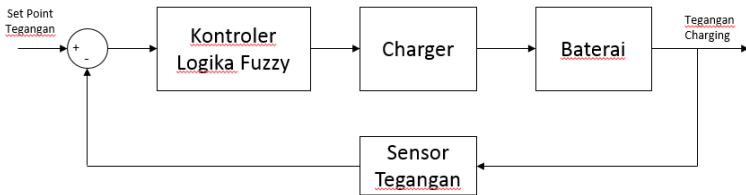
**Gambar 2.13** Blok diagram kontroler *fuzzy*

## BAB III PERANCANGAN SISTEM

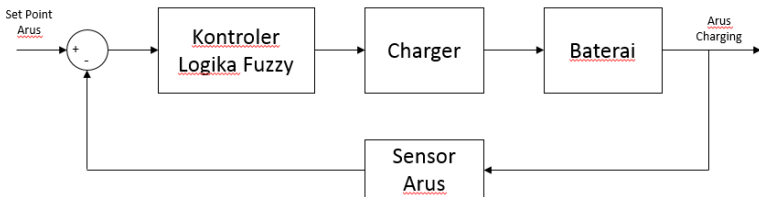
Pada bab tiga dibahas mengenai proses perancangan sistem yang digunakan pada tugas akhir ini meliputi gambaran umum, prosedur pengambilan data *charging* dan *discharging* baterai, dan perancangan kontroler *fuzzy*.

### 3.1 Sistem Kontrol *Charging*

Setiap sistem kontrol terdiri dari komponen-komponen yang memiliki fungsinya masing-masing. Fungsi tiap komponen ditunjukkan dalam diagram blok. Pada Gambar 3.1 ditunjukkan diagram blok kontrol *charging mode constant voltage* baterai menggunakan kontroler *fuzzy*. Sistem terdiri dari referensi, kontroler, aktuator dan *plant*. Sedangkan pada Gambar 3.2 merupakan blok diagram kontroler logika *fuzzy* untuk *charging mode constant current*. Keluaran kontroler *fuzzy* merupakan *duty cycle* yang mana nantinya akan digunakan untuk mengontrol arus dan tegangan *charging*.



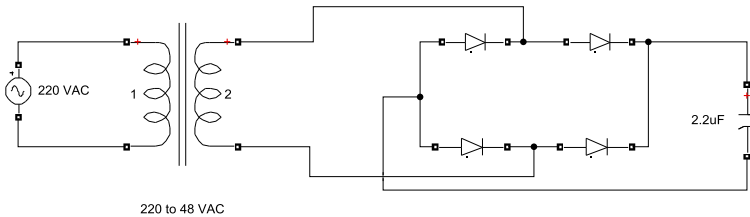
**Gambar 3.1** Diagram blok kontrol *charging* baterai *constant voltage*



**Gambar 3.2** Diagram blok kontrol *charging* baterai *constant current*

### 3.2 Perancangan DC Power Supply

Metode yang akan dilakukan dalam merancang dan membuat power supply arus searah untuk catu daya *charger* baterai pada *keypoint* diperlukan *power supply* arus searah keluaran 40 V. *Power supply* tersebut diperoleh dengan memanfaatkan sumber catu daya arus bolak balik yang tersedia dari PLN sebesar 220 volt, dan tegangan arus bolak balik tersebut diturunkan menjadi 48 volt arus bolak balik menggunakan trnsformator penurun tegangan. Kemudian keluaran sekunder trafo tegangan bolak balik 48 volt tersebut disearahkan menjadi arus searah 48 volt melalui suatu rangkaian penyearah satu fasa gelombang penuh. Rangkaian rancangan power supply secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 3.3.

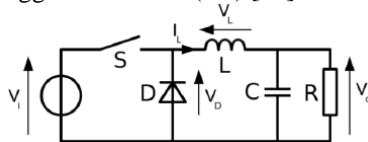


220 to 48 VAC

**Gambar 3.3** Rangkaian Perancangan *Power Supply*

### 3.3 Desain Buck Converter

Konverter Buck digunakan sebagai step down voltage yang menghubungkan adaptor ke baterai juga ke beban *keypoint*. Rangkaian utama buck converter terdiri dari induktor, kapasitor, dioda, dan sakelar elektronik yang bisa berupa MOSFET. Rangkaian ditunjukkan pada Gambar 3.4 sedangkan penentuan nilai parameternya ditunjukkan dalam Persamaan. (3.7) hingga Persamaan. (3.9) [15].



**Gambar 3.4** Rangkaian *buck converter*

$$V_{out} = D \times V_{in} \tag{3.7}$$

$$L = \frac{V_{out} \times (1-D)}{\Delta I_L \times f} \quad (3.8)$$

$$C = \frac{(1-D)V_{out}}{8 \times \Delta V_{out} \times L \times f s^2} \quad (3.9)$$

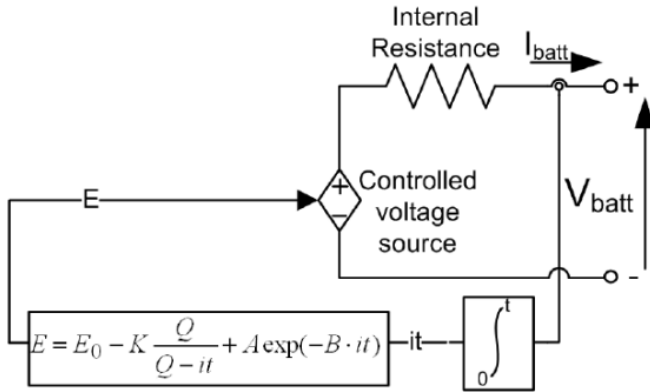
Dengan  $V_o$  sebagai tegangan output,  $V_i$  sebagai tegangan input,  $D$  sebagai siklus kerja,  $L$  sebagai nilai induktor,  $f$  sebagai frekuensi pada sakelar,  $\Delta i_L$  sebagai arus *ripple* pada induktor,  $C$  sebagai nilai dari kapasitor, dan  $\Delta V_o$  sebagai *ripple* tegangan keluaran. Untuk membuat sistem termasuk dalam semua kondisi, nilai tegangan yang diterapkan adalah yang tertinggi. Itu nilai tegangan menjadi acuan untuk menentukan nilai siklus kerja, induktor, dan kapasitor. Ini mengasumsikan bahwa *ripple* pada arus induktor adalah 0,1% dan *ripple* pada tegangan *output* adalah 0,2%. Nilai parameter dari konverter buck yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 3.2

**Tabel 3.1** Spesifikasi Desain *Buck Converter* [15]

Parameter	Nilai
$f$	20 kHz
$L$	10.84 uH
$C$	36.5 uF

### 3.4 Pemodelan Baterai *Lead-Acid*

Tahap pertama perancangan sistem dimulai dari pemodelan baterai *lead acid*. Baterai dimodelkan menggunakan sumber tegangan sederhana yang dikendalikan secara seri dengan tahanan konstan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5. Model ini mengasumsikan karakteristik yang sama untuk siklus pengisian dan pengosongan.



**Gambar 3.5** Non linear battery model [14]

Sumber tegangan yang dikendalikan dijelaskan oleh persamaan sebagai berikut :

$$E = E_0 - K \frac{Q}{Q - \int i dt} + A \cdot \exp(-B \cdot \int i dt) \quad (3.1)$$

$$V_{batt} = E - R \cdot i \quad (3.2)$$

Dimana :

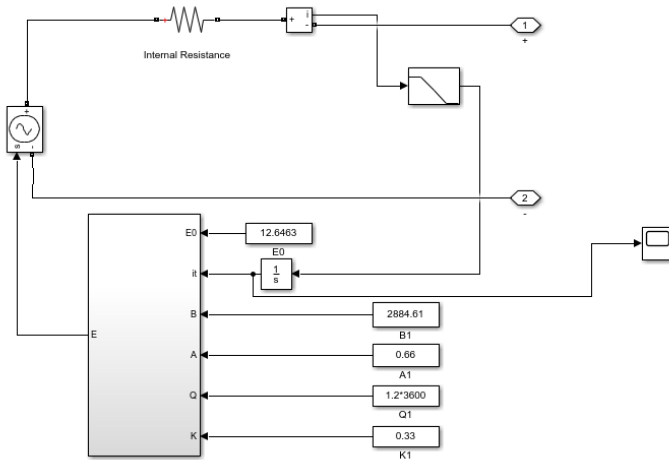
- $E$  = Tegangan baterai tanpa beban (V)
- $E_0$  = Tegangan konstan baterai (V)
- $K$  = *Polarisation voltage* (V)
- $Q$  = Kapasitas baterai (Ah)
- $i$  = Arus baterai (i)
- $\int i dt$  = Arus pengisian baterai (i)
- $A$  = *Exponential zone amplitude* (V)
- $B$  = *Exponential zone time constan invers* ( $Ah^{-1}$ )
- $V_{batt}$  = Tegangan baterai (V)
- $R$  = Tahanan dalam ( $\Omega$ )

Pemodelan baterai ini memiliki beberapa asumsi antara lain :

1. Nilai tahanan dalam baterai diasumsikan memiliki nilai yang konstan selama proses pengisian dan pengosongan berlangsung.
2. Nilai parameter pada pemodelan ini direduksi dari kurva *discharge* karakteristik pada data *sheet* baterai dan diasumsikan sama untuk proses *charge*.

3. Nilai kapasitas baterai tidak berubah seiring dengan perubahan nilai arus yang digunakan.
4. Pemodelan ini tidak mempertimbangkan pengaruh suhu lingkungan.
5. Pemodelan ini tidak merepresentasikan *self discharge* pada baterai.
6. Baterai dianggap tidak memiliki *memory effect*.

Pada Gambar 3.6 ditunjukkan model baterai *lead acid* yang telah dimodelkan pada jendela *Simulink* dan nilai parameter yang dibutuhkan untuk pemodelan diambil dari Tabel 2.2. dengan  $E_0$  adalah Tegangan konstan baterai (V);  $R$  adalah Tahanan dalam ( $\Omega$ ),  $K$  adalah *Polarisation voltage* (V);  $A$  adalah *Exponential zone amplitude* (V), dan  $B$  adalah *Exponential zone time constan invers* ( $Ah^{-1}$ ).



**Gambar 3.6** Model persamaan baterai

Pemodelan baterai ini memiliki persamaan non-linear yang pada  $K \frac{Q}{Q - \int i dt}$ . Persamaan ini merepresentasikan tegangan non-linier yang berubah sesuai dengan amplitudo arus pada proses pengisian baterai. Jadi saat baterai dalam kondisi hampir sepenuhnya penuh dan tidak ada arus yang mengalir, tegangan baterai akan mendekati  $E_0$ . Begitu arus mengalir lagi, tegangan jatuh secara tiba-tiba. Perilaku ini merepresentasikan

kondisi baterai yang sesungguhnya, namun model matematika ini menyebabkan *algebraic loop* dan ketidakstabilan simulasi. Begitu juga ketika baterai hampir sepenuhnya kosong dan tidak ada arus yang mengalir, tegangan akan menjadi hampir 0. Model ini menghasilkan hasil yang akurat dan juga mewakili perilaku baterai

### 3.5 Perancangan Kontroler

Perancangan kontroler logika *fuzzy* pada penelitian ini menggunakan metode *fuzzy* Mamdani. Terdapat tiga proses utama dalam mengimplementasikan *fuzzy logic* pada suatu perangkat yaitu fuzzifikasi, evaluasi *rule* (*rule base*), dan defuzzifikasi.

#### 3.5.1 Proses Fuzzifikasi

Fuzzifikasi merupakan suatu proses untuk mengubah suatu masukan dari bentuk tegas (*crisp*) menjadi *fuzzy* yang biasanya disajikan dalam bentuk himpunan-himpunan *fuzzy* dengan suatu fungsi keanggotaannya masing-masing. Diagram *crisp* untuk proses fuzzifikasi pada penelitian ini dirancang dengan menggunakan fungsi keanggotaan segitiga dan *linear gamma function* atau setengah trapesium untuk masing-masing tepi sisi kanan dan kirinya. Rentang nilai fuzzifikasi akan ditetapkan mulai dari 0 sampai dengan 1. Fungsi keanggotaan segitiga dan trapesium dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan 3.3 dan 3.4

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & ; a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & ; b \leq x \leq c \\ 0 & ; x \geq c \end{cases} \quad (3.3)$$

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & ; a \leq x \leq b \\ 1 & ; b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & ; c \leq x \leq d \\ 0 & ; x \geq d \end{cases} \quad (3.4)$$

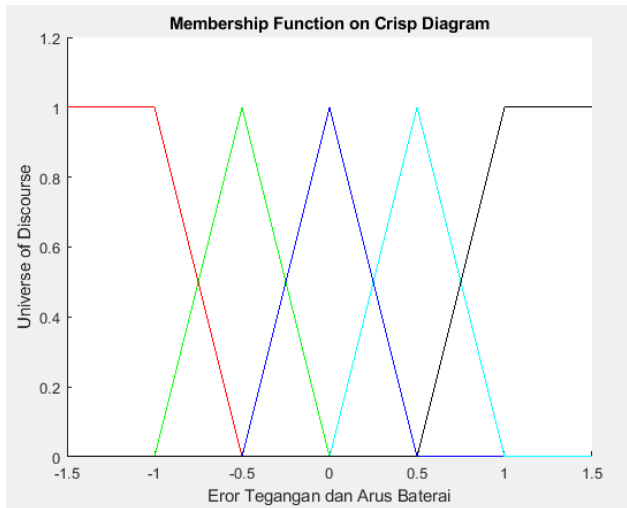
Sebelum dilakukan proses fuzzifikasi akan dilakukan pada sinyal eror tegangan adalah -1 sampai dengan 1. Proses normalisasi untuk sinyal eror adalah sinyal eror dikalikan 10 agar sinyal eror tersebut berada pada rentang fuzzifikasi -1 sampai dengan 1. Untuk proses fuzzifikasi integral eror akan dilakukan pada sinyal integral eror adalah -1 sampai dengan 1.



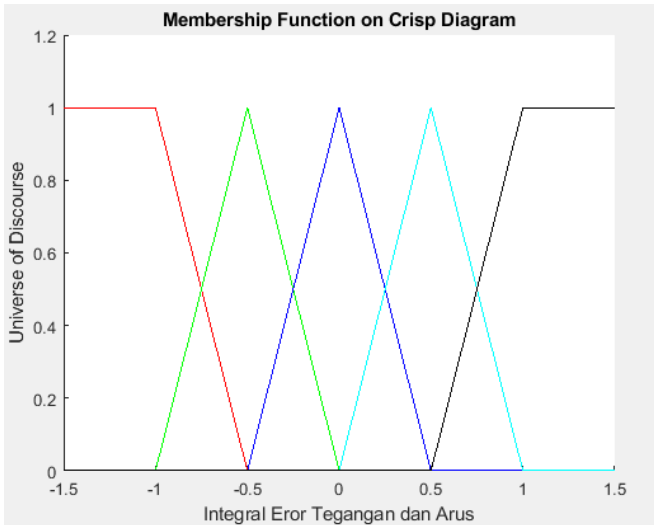
Untuk proses normalisasi pada integral eror memiliki rentang fuzzifikasi yang sama, yaitu antara -1 sampai dengan 1 dengan nilai normalisasi dikalikan dengan  $10^{-6}$ .

Kemudian untuk proses fuzzifikasi pada sinyal eror arus adalah -1 sampai dengan 1, begitu juga pada sinyal integral eror. Pada keduanya tidak diperlukan proses normalisasi.

Derajat keanggotaan pada sinyal eror tegangan dan arus dinyatakan dalam diagram crisp dengan lima buah fungsi keanggotaan yang dinyatakan dalam bentuk *Negative Big* (NB), *Negative Small* (NS), *Zero* (ZE), *Positive Small* (PS), *Positive Big* (PB) yang direpresentasikan ke dalam diagram *crisp* seperti pada Gambar 3.7 dan Gambar 3.8.



**Gambar 3.7** *Membership function* eror tegangan dan arus



**Gambar 3.8** *Membership function* integral error tegangan dan arus

### 3.5.2 Penentuan *Rule Base*

Setelah proses fuzzifikasi kemudian ditentukan *rule-base* terhadap masing-masing fungsi keanggotaan yang sudah ditentukan. Perancangan *rule-base* menyesuaikan dengan jumlah fungsi keanggotaan untuk proses fuzzifikasi dan defuzzifikasi untuk *Mamdani*.

Berdasarkan datasheet baterai dan pengumpulan data tegangan dan waktu, dapat dibuat *rule base* untuk menentukan kondisi dari baterai. Perancangan *rule* ditetapkan dengan lima buah *reference* yang diantaranya adalah *Negative Big* (NB), *Negative Small* (NS), *Zero* (ZE), *Positif Small* (PS), *Positif Big* (PB). Masing-masing hubungan fungsi keanggotaan dapat dinyatakan dalam tabel 3.1

**Tabel 3.2** *Rule-base* sistem kontrol *charging*

$e \backslash ie$	NB	NS	ZE	PS	PB
PB	-0.3	-0.35	-0.45	-0.65	-1.00
PS	0.00	-0.10	-0.20	-0.35	-0.50
ZE	0.20	0.10	0.00	-0.10	-0.20
NS	0.50	0.35	0.20	0.10	0.00
NB	1.00	0.65	0.45	0.35	0.3

### 3.5.3 Inferensi Mamdani

Setelah itu barulah dilakukan inferensi, dimana dalam hal ini dapat dilakukan dengan beberapa metode. Dalam pengaturan sistem *charging* ini metode inferensi yang digunakan adalah *minimum of maksimum* (MOM), yang dinyatakan dalam persamaan

$$u_x = \max(u_x, \min(mf1_{(i)}, mf2_{(j)})) \quad (3.5)$$

Variabel  $u_x$  menyatakan hasil inferensi, mf1 dan mf2 merupakan nilai dari masing-masing fungsi keanggotaan untuk  $i = 1, 2, \dots$  (jumlah fungsi keanggotaan eror tegangan dan arus) serta  $j = 1, 2, \dots$  (jumlah fungsi integral eror tegangan dan arus).

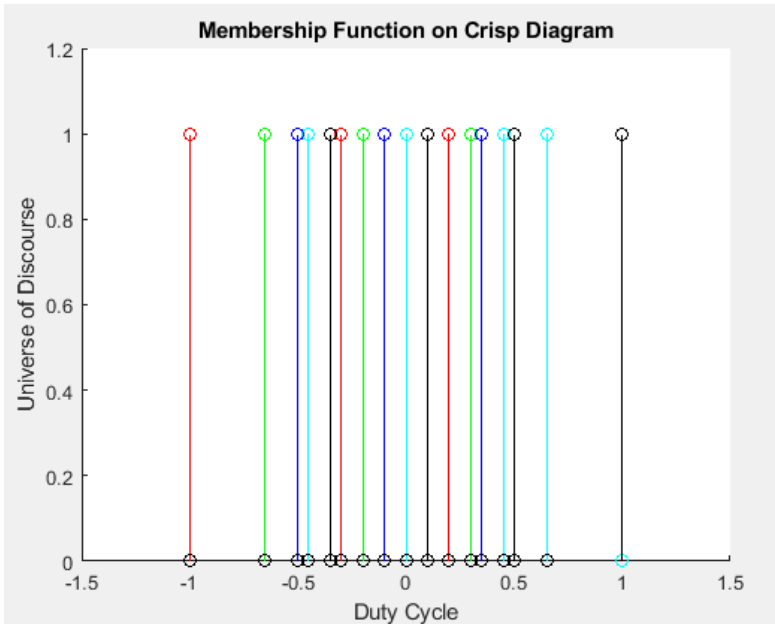
### 3.5.4 Proses Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan proses perubahan variabel berbentuk *fuzzy* tersebut menjadi data-data pasti (*crisp*) yang dapat dikirimkan ke peralatan pengendalian. Pada tahap ini nilai-nilai dari *reference* yang ditentukan pada *rulebase* akan dinyatakan dalam diagram *crisp*. Baik saat proses *charging mode constant current* ataupun *constant voltage* keduanya menggunakan fungsi keanggotaan tipe *singleton* yang direpresentasikan ke dalam diagram *crisp* seperti pada Gambar 3.9

Terdapat beberapa metode untuk proses defuzzifikasi, salah satunya adalah dengan metode *Centre of Area (COA)*, yang dalam *singleton* dapat dinyatakan melalui persamaan

$$x^* = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \mu(x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(x_i)} \quad (3.6)$$

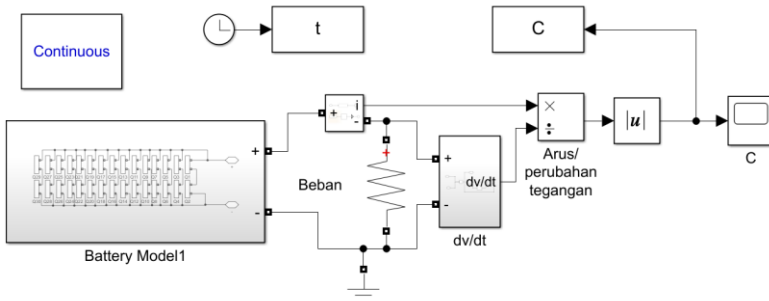
dimana  $x^*$  adalah hasil atau nilai keluaran dari proses defuzzifikasi,  $n$  adalah banyaknya elemen sampel,  $x_i$  adalah elemen sampel serta  $\mu$  menyatakan nilai *membership function*. Diakarenakan proses yang terdapat pada kontroler logika *fuzzy* merupakan nilai hasil dari normalisasi, maka output dari variabel  $x^*$  tersebut perlu diskalakan kembali sesuai dengan interval area kerjanya. Kemudian dari beberapa proses tersebut, mulai dari *fuzzy rule*, inferensi, serta defuzzifikasi akan dirancang ke dalam *diagram block* pada *Simulink MATLAB*.



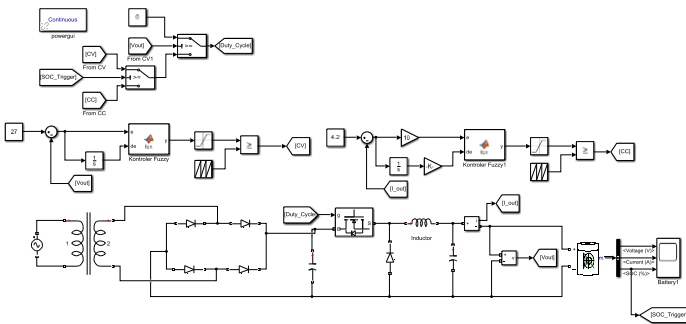
**Gambar 3.9** Defuzzifikasi *singleton* sistem kontrol *charging*

### 3.6 Perancangan dan Simulasi Sistem

Langkah terakhir proses perancangan adalah merancang simulasi sistem monitoring dan kontrol *charging* baterai. Simulasi sistem monitoring dilakukan pada jendela *Simulink* seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.10. Setiap elemen sistem yang telah dirancang dari Subbab 3.2 dan 3.3 saling berintegrasi untuk menjadi sebuah sistem kontrol. Kerangka simulasi mengikuti diagram blok yang ditunjukkan oleh Gambar 3.1 dan Gambar 3.2. Sistem kontrol *charging* merupakan sistem kontrol lup terbuka yang terdiri dari kontroler, aktuator, dan *plant*. Kontroler yang digunakan adalah *fuzzy* Mamdani. Simulasi sistem kontrol *charging* dilakukan pada jendela *Simulink* seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.11.



**Gambar 3.10** Simulasi sistem *monitoring* kondisi baterai



**Gambar 3.11** Simulasi sistem kontrol *charging* baterai

### 3.7 Spesifikasi Sistem

Spesifikasi sistem menggambarkan target atau hasil yang kita inginkan terhadap sistem tersebut. Sehingga perancangan kontroler yang dilakukan dimaksudkan agar sistem tersebut memenuhi kriteria yang sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Pada sistem pengaturan *charging* baterai ditetapkan kriteria sistem yang diinginkan adalah keluaran arus *charging* konstan sebesar 4A hingga mencapai SoC 95% dan menurun secara bertahap ketika SoC baterai lebih dari 95%.

### 3.8 Perancangan Sistem *Monitoring* Baterai

Parameter yang dipantau pada tugas akhir ini adalah kapasitansi baterai. Kapasitansi baterai dipantau pada saat baterai mengalami proses pengosongan. Proses pengosongan baterai dilakukan selama 5 jam.

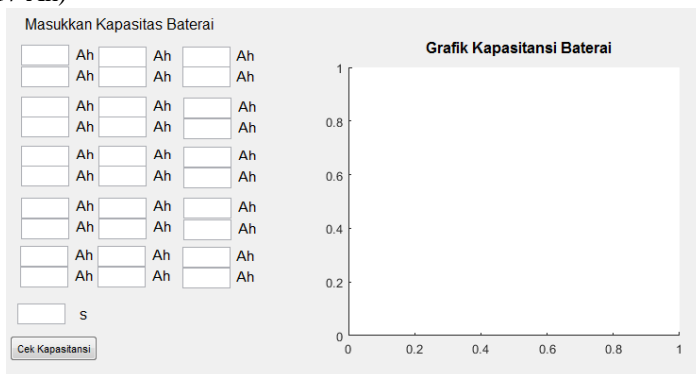
Parameter-parameter yang digunakan untuk sistem *monitoring* baterai adalah arus dan perubahan tegangan. Hal tersebut berdasarkan persamaan 3.10

$$C = \frac{i}{\frac{dv}{dt}} \quad (3.10)$$

Kedua parameter diatas nantinya dibandingkan dengan menggunakan beban yang sama namun kapasitas baterai yang digunakan berbeda. Dengan menggunakan beban yang sama, maka nantinya dapat dibandingkan antara baterai yang masih bagus dan yang sudah rusak. Pada tugas akhir ini cara membandingkan performa baterai adalah dengan menampilkan grafik kapasitansi masing-masing baterai pada GUI (*Graphical User Interface*) di MATLAB.

### 3.9 Perancangan HMI Sistem *Monitoring* Baterai

Perancangan HMI (*Human Machine Interface*) pada penelitian ini didesain dengan mengacu pada *interface* yang sering digunakan pada umumnya yaitu meletakkan *input* disebelah kiri dan *output* sebelah kanan. HMI untuk simulasi ini dapat dijadikan sebagai bahan pembelajaran dalam membandingkan kapasitas baterai dan lamanya waktu discharge dengan beban yang sama. Pada tugas akhir ini HMI dirancang dengan 2 *input* yaitu kapasitas baterai dan waktu. Kedua parameter tersebut dapat diubah-ubah sesuai dengan yang diinginkan. Pada Gambar 3.12 merupakan tampilan HMI yang dirancang pada tugas akhir ini. Keluaran dari HMI adalah grafik perbandingan antara baterai dengan kapasitas yang masih bagus (17 Ah) dan baterai yang sudah berkurang kapasitasnya (<17 Ah)



Gambar 3.12 Tampilan HMI sistem *monitoring* baterai

### 3.10 Perangkat Keras pada Sistem

#### 3.10.1 Baterai *Lead Acid*

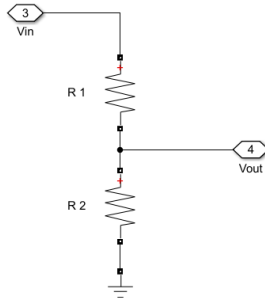
Baterai *lead-acid* merupakan jenis baterai yang sering digunakan dalam aplikasi di *keypoint*. Baterai yang digunakan dalam percobaan ini adalah 2 baterai VOZ TF12-17 dengan rating tegangan masing-masing sebesar 12 VDC dengan *Nominal Capacity (20 hour rate)* 17Ah yang dipasang secara seri. Bentuk fisik dari baterai VOZ TF12-17 dapat dilihat pada Gambar 3.13.



**Gambar 3.13** Baterai VOZ TF12-17

#### 3.10.2 Sensor Tegangan

Sensor tegangan berfungsi untuk mendeteksi nilai tegangan pada baterai, baik saat proses *charge* dan *discharge*. Sehingga baterai bisa dioperasikan pada *rating* tegangannya. Berdasarkan *rating* tegangan pada baterai *lead-acid* yang digunakan, tegangan keluaran maksimal pada baterai sebesar 27 V. Maka untuk mendapatkan tegangan yang sesuai dengan *rating* tegangan mikrokontroler arduino dapat menggunakan metode pembagi tegangan sehingga dapat diperoleh tegangan tidak lebih dari 5V. Pada gambar 3.14 merupakan gambar rangkaian pembagi tegangan yang paling banyak digunakan.



**Gambar 3.14** Rangkaian pembagi tegangan

Rangkaian pembagi tegangan dirancang dengan menggunakan 2 resistor yang berbeda nilai tahanannya untuk menurunkan tegangan dari sumber tegangan yang lebih besar. Perhitungan nilai resistor yang digunakan dapat dihitung menggunakan persamaan 3.11 dibawah ini :

$$V_0 = V_{batt} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (3.11)$$

Dimana

$V_{batt}$  : 27 V

$V_0$  : 5 V

$R_2$  : 20 k $\Omega$

Dari persamaan diatas maka dapat dihitung nilai  $R_1$  adalah

$$5 = 27 \times \frac{20000}{R_1 + 20000}$$

$$5 (R_1) + 100000 = 540000$$

$$5 (R_1) = 440000$$

$$R_1 \approx 88 \text{ k}\Omega$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai tahanan resistor yang digunakan untuk membuat rangkaian *voltage divider* dengan  $R_1 \approx 88 \text{ k}\Omega$  dan  $R_2 = 20 \text{ k}\Omega$

### 3.10.3 Mikrokontroler

Mikrokontroler pada sistem tugas akhir ini baterai berperan dalam mengambil data nilai tegangan discharge dari sensor tegangan baterai



sebagai bahan validasi model baterai yang sudah didapatkan. Jenis mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Uno. Arduino Uno merupakan sebuah board yang menggunakan mikrokontroler ATmega328. Bentuk fisik dari Arduino Uno dapat dilihat pada Gambar 3.15. Arduino Uno memiliki 14 pin digital (6 pin dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, sebuah 16 MHz osilator kristal, sebuah koneksi USB, sebuah konektor sumber tegangan, sebuah header ICSP, dan sebuah tombol reset. Arduino Uno memuat segala hal yang dibutuhkan untuk mendukung sebuah mikrokontroler. Hanya dengan menghubungkannya ke sebuah computer melalui USB atau memberikan tegangan DC dari baterai atau adaptor AC ke DC sudah dapat membuatnya bekerja. Arduino Uno menggunakan ATmega16U2 yang diprogram sebagai USB to serial converter untuk komunikasi serial ke computer melalui port USB. Pengambilan sampling nilai tegangan baterai dilakukan setiap 500 ms.



**Gambar 3.15** Arduino Uno

*-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----*

## **BAB IV**

### **PENGUJIAN DAN ANALISIS**

Pada bab ini akan dipaparkan hasil simulasi dan pengujian sistem kontrol *charging* baterai yang telah dirancang dan dijelaskan pada BAB 3 sebagai uji validitas. Selanjutnya dilakukan analisa berdasarkan data hasil pengujian sistem.

#### **4.1 Gambaran Umum Pengujian Sistem**

Pada tahap ini dilakukan beberapa pengujian. Sebelumnya dilakukan pengujian/kalibrasi sensor tegangan yang digunakan, hal ini bertujuan untuk mendapatkan nilai tegangan yang akurat baik pada proses *charge* dan proses *discharge* mengingat parameter tegangan merupakan parameter yang penting untuk memastikan validitas model baterai. Pada tahap berikutnya akan dilakukan pengujian model baterai. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan beban resistif  $8,33 \Omega$  pada model baterai dan dibandingkan grafik pengosongannya dengan data *real* yang diperoleh saat melakukan pengosongan baterai. Pengujian kedua merupakan pengujian sistem monitoring baterai dan akan disimulasikan dengan *Simulink* pada MATLAB. Selanjutnya akan dilakukan pengujian sistem monitoring baterai yang ditampilkan pada HMI menggunakan GUI di MATLAB dan dilanjutkan dengan pengujian sistem *charging* baterai.

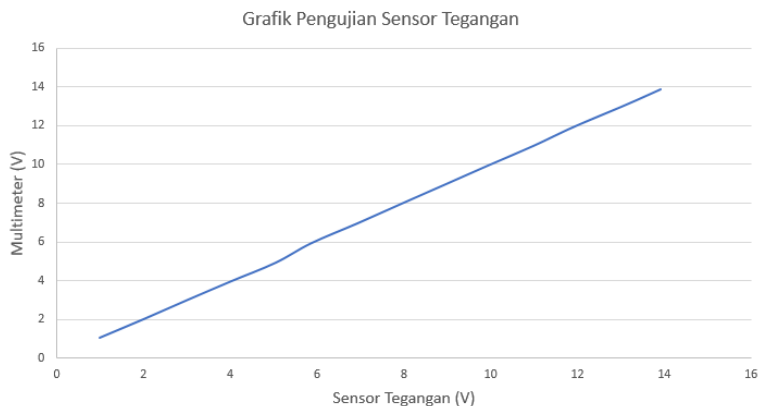
#### **4.2 Pengujian Sensor Tegangan**

Sensor tegangan memiliki peranan penting dalam mendeteksi nilai tegangan baterai, mengingat baterai sangat tidak dianjurkan beroperasi di bawah tegangan *cut-off*. Sensor tegangan ini nantinya akan digunakan untuk membaca nilai tegangan baterai baik saat proses pengisian dan proses pengosongan baterai. Pengujian sensor tegangan ini dilakukan dengan membandingkan nilai tegangan yang terbaca oleh sensor tegangan dengan nilai tegangan yang terbaca oleh alat ukur yang sudah terkalibrasi (Multimeter SANWA), dengan menggunakan catu daya sebagai sumber tegangan pengujian. Pada grafik hasil pengujian yang terdapat pada Gambar 4.1, persamaan grafik yang dihasilkan dari proses pengujian mendekati persamaan garis  $y=x$ , sehingga dapat dikatakan sensor tegangan yang digunakan bekerja dengan baik. Dari hasil pengujian juga didapatkan nilai tegangan yang dibaca oleh sensor tegangan sudah mendekati nilai tegangan yang terukur oleh multimeter SANWA. Rata-rata nilai *error* sebesar 0,94 %, Sehingga dapat dikatakan sensor tegangan yang digunakan ini sudah akurat.

Berikut ini merupakan tabel hasil pengujian sensor tegangan dengan nilai tegangan pengujian yang berbeda :

**Tabel 4.1** Tabel hasil pengujian sensor tegangan

V Terukur (V) (Sensor tegangan)	V Terukur (V) (Multimeter SANWA)	Error (%)
0,98	1,04	5,76
2,00	2,007	0,34
2,98	2,97	0,33
4,00	3,95	1,26
5,03	4,91	2,44
5,86	5,93	1,18
6,93	6,96	0,43
7,96	7,99	0,37
8,89	8,91	0,22
9,91	9,92	0,10
10,99	10,97	0,18
11,91	11,94	0,25
13,13	13,10	0,22
13,92	13,89	0,21
Rata-rata <i>error</i>		0,94

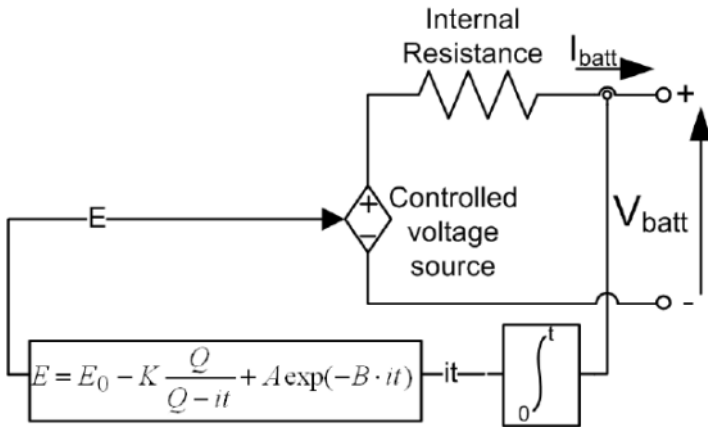


**Gambar 4.1** Grafik Pengujian Sensor Tegangan

### 4.3 Pengujian Model Baterai

Pengujian model baterai ini dilakukan untuk validasi model yang didapatkan dengan baterai yang sebenarnya. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi proses *discharging* baterai dengan data yang diperoleh saat melakukan *discharging* baterai. Proses pengosongan baterai dilakukan selama 6 jam.

Berikut ini merupakan pemodelan baterai yang digunakan dalam tugas akhir ini :

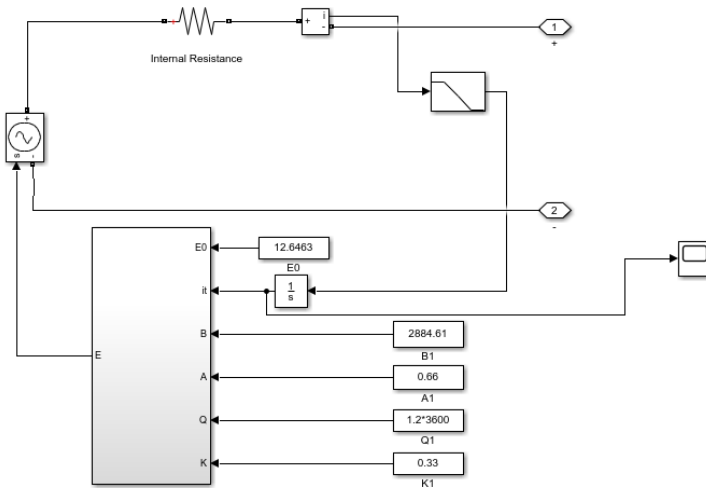


**Gambar 4.2** *Non linear battery model* [14]

Dimana :

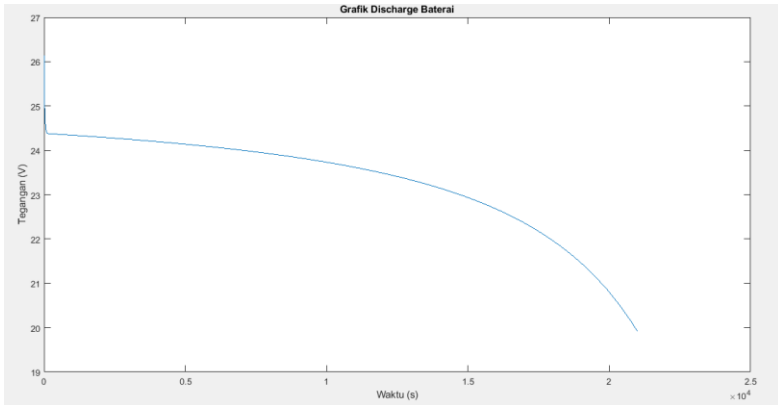
- $E$  = Tegangan baterai tanpa beban (V)
- $E_0$  = Tegangan konstan baterai (V)
- $K$  = *Polarisation voltage* (V)
- $Q$  = Kapasitas baterai (Ah)
- $i$  = Arus baterai ( $i$ )
- $\int i dt$  = Arus pengisian baterai ( $i$ )
- $A$  = *Exponential zone amplitude* (V)
- $B$  = *Exponential zone time constan invers* ( $Ah^{-1}$ )
- $V_{batt}$  = Tegangan baterai (V)
- $R$  = Tahanan dalam ( $\Omega$ )

Nilai parameter ini didapatkan dari tabel 2.2 yang akan diuji dalam penelitian ini. Berikut ini merupakan hasil pemodelan baterai dengan menggunakan *Simulink* MATLAB :

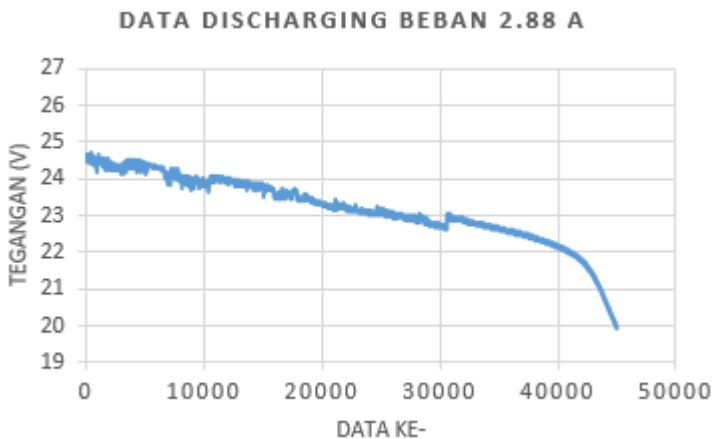


**Gambar 4.3** Permodelan baterai pada *Simulink* MATLAB

Simulasi yang dijalankan menggunakan beban resistif dengan nilai  $8,33 \Omega$ . Proses simulasi dijalankan selama 6 jam. Berdasarkan hasil simulasi yang sudah didapatkan, dapat disimpulkan bahwa permodelan baterai ini sudah dapat memodelkan kurva *discharge* karakteristik yang sesuai dengan pengambilan data *discharge* baterai. Hasil simulasi proses pengosongan baterai dapat dilihat pada Gambar 4.4 sedangkan grafik pengambilan data pengosongan baterai dapat dilihat pada Gambar 4.5.



**Gambar 4.4** Hasil simulasi grafik *discharge* baterai



**Gambar 4.5** Hasil pengambilan data grafik *discharge* baterai

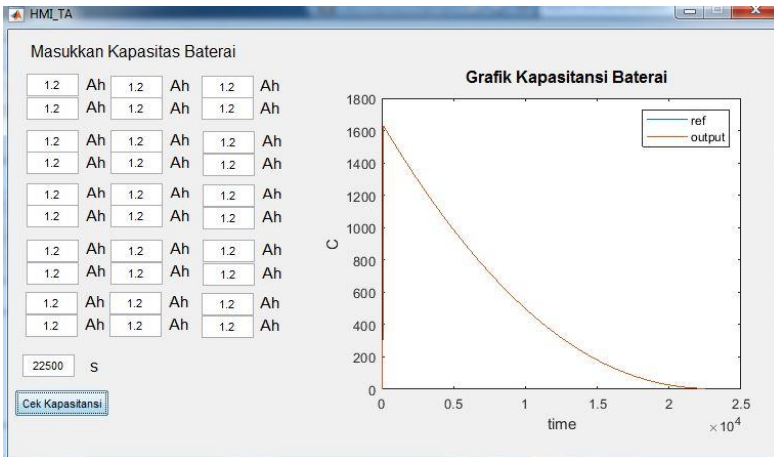
Pada proses pengosongan ini nilai arus *discharge* yang digunakan sebesar 2,88 A, namun nilai arus ini tidak selalu konstan selama proses pengosongan berlangsung, hal ini dikarenakan tidak adanya regulator sebelum beban sehingga nilai arus *discharge* bergantung pada nilai tegangan pada baterai.

## 4.4 Pengujian Sistem *Monitoring*

Pada Subbab ini akan dijelaskan mengenai pengujian sistem monitoring performa baterai. Monitoring ini dilakukan untuk mengetahui apakah baterai tersebut masih dalam keadaan baik atau sudah berkurang kapasitasnya sehingga dapat segera dilakukan penggantian. Pengujian ini dilakukan dengan memberi baterai beban sebesar  $8,33 \Omega$  dan  $12 \Omega$ .

### 4.4.1 Pengujian Sistem *Monitoring* Beban $8,33 \Omega$

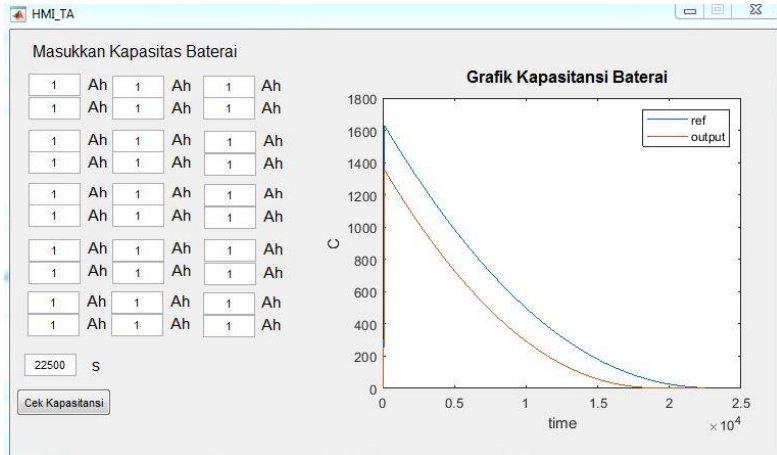
Pengujian ini dilakukan pada proses pengosongan baterai selama 6 jam. Pada gambar 4.6 dapat dilihat hasil simulasi sistem *monitoring* baterai dengan kapasitas 17 Ah dan input referensi baterai yang masih dalam kondisi baik (17 Ah). Terlihat dari gambar tersebut kedua grafik menunjukkan kesamaan sehingga dapat diambil kesimpulan baterai tersebut masih dalam kondisi baik.



**Gambar 4.6** Hasil simulasi *monitoring* baterai kapasitas 17 Ah beban  $8,33 \Omega$

Pada gambar 4.7 merupakan hasil simulasi sistem *monitoring* baterai dengan kapasitas 15 Ah dan input referensi baterai yang masih dalam kondisi baik (17 Ah). Terlihat dari gambar tersebut kedua grafik menunjukkan perbedaan antara kapasitas dan juga waktu baterai mencapai kapasitas 0% sehingga dapat diambil kesimpulan baterai tersebut sudah dalam kondisi rusak.

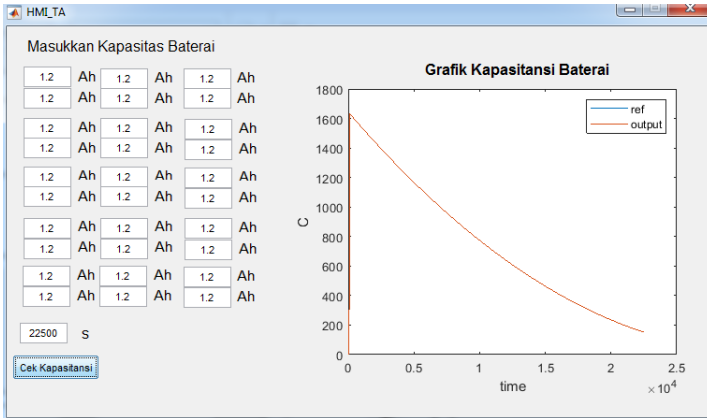




**Gambar 4.7** Hasil simulasi *monitoring* baterai kapasitas 17 Ah dan 15 Ah beban  $8,33 \Omega$

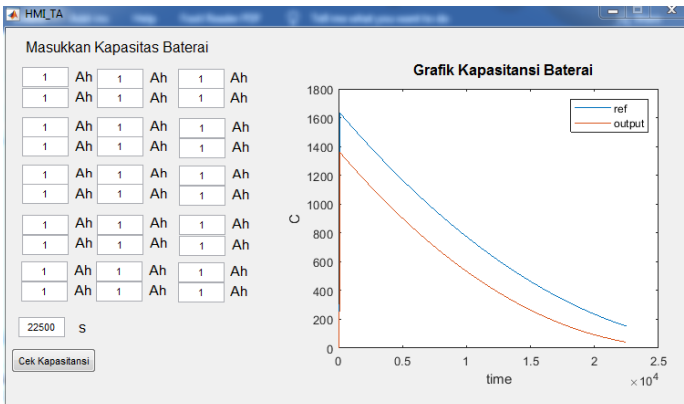
#### 4.4.2 Pengujian Sistem *Monitoring* Beban $12 \Omega$

Pengujian ini dilakukan pada proses pengosongan baterai selama 6 jam. Pengujian dilakukan dengan menggunakan baterai yang berbeda kapasitasnya untuk membandingkan performa kedua baterai. Pada gambar 4.8 dapat dilihat hasil simulasi sistem *monitoring* baterai dengan kapasitas 17 Ah dan input referensi baterai yang masih dalam kondisi baik (17 Ah). Terlihat dari gambar tersebut kedua grafik menunjukkan kesamaan sehingga dapat diambil kesimpulan baterai tersebut masih dalam kondisi baik. Tegangan baterai pada saat simulasi berhenti adalah 23,05 V.



**Gambar 4.8** Hasil simulasi *monitoring* baterai kapasitas 17 Ah beban 12  $\Omega$

Pada gambar 4.9 merupakan hasil simulasi sistem *monitoring* baterai dengan kapasitas 15 Ah dan input referensi baterai yang masih dalam kondisi baik (17 Ah). Terlihat dari gambar tersebut kedua grafik menunjukkan perbedaan antara kapasitas dan juga waktu baterai mencapai kapasitas 0% sehingga dapat diambil kesimpulan baterai tersebut sudah dalam kondisi rusak.



**Gambar 4.9** Hasil simulasi *monitoring* baterai kapasitas 17 Ah dan 15 Ah beban 12  $\Omega$

## 4.5 Pengujian Kontroler *Fuzzy*

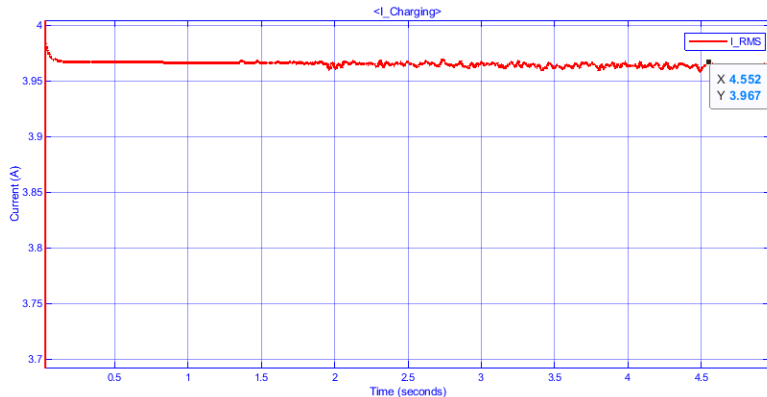
Pengujian kontroler *fuzzy* pada tugas akhir ini dilakukan beberapa kali yaitu pada saat kondisi State of Charge baterai 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, dan 94.99%. Pengujian kontroler logika *fuzzy* dilakukan beberapa kali dikarenakan membutuhkan waktu yang sangat lama apabila menguji baterai mulai dari state of charge 50% sampai penuh. Selain itu pengujian juga bertujuan untuk menganalisa serta membandingkan grafik arus, tegangan, dan state of charge baterai terhadap beberapa kondisi inisial SoC baterai yang berbeda.

### 4.5.1 Pengujian Kontroler dengan inisial *State of Charge* 50%

Pada pengujian pertama dilakukan proses *charging* dengan inisial *State of Charge* 50%. Pengisian baterai dilakukan dengan arus konstan sebesar 4 A. Berikut merupakan grafik hasil pengujian kontroler *fuzzy* pada proses pengisian baterai :

#### 1. Grafik arus pengisian baterai terhadap waktu

Pada Gambar 4.10 dapat dilihat keluaran arus pengisian baterai yang dilakukan dengan inisial SoC 50%. Pada grafik tersebut didapatkan arus pengisian konstan sebesar 3.967 A.

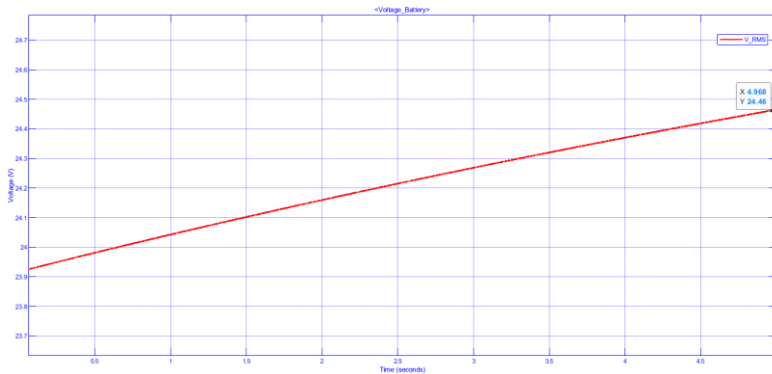


**Gambar 4.10** Arus *charging* baterai dengan inisial SOC 50%

#### 2. Grafik tegangan pengisian baterai terhadap waktu

Dari proses pengisian ini didapatkan grafik tegangan baterai terhadap waktu yang ditunjukkan pada gambar 4.11. Berdasarkan grafik yang diperoleh, nilai tegangan baterai saat mengalami proses pengisian

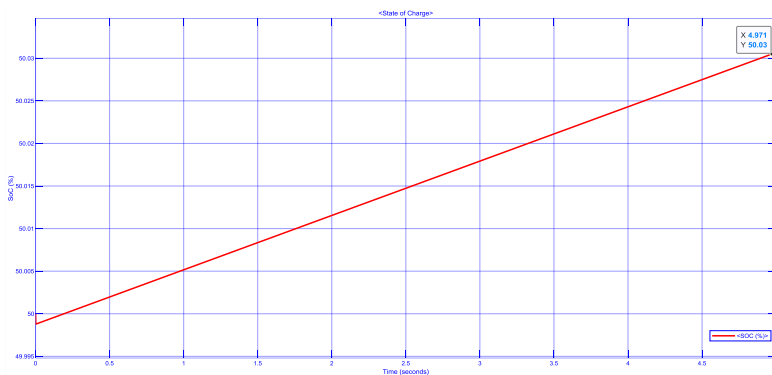
(charge) cenderung mengalami kenaikan yang linier hingga 24.49 V. Hal tersebut dikarenakan arus *charging* konstan sebesar 4 A.



**Gambar 4.11** Tegangan *charging* baterai dengan inisial SOC 50%

### 3. Grafik *State of Charge* pengisian baterai terhadap waktu

Dari proses pengisian ini didapatkan grafik *State of Charge* baterai terhadap waktu yang ditunjukkan pada gambar 4.12. Berdasarkan grafik yang diperoleh, nilai SoC baterai saat mengalami proses pengisian (*charge*) mengalami kenaikan yang linier hingga 50.03%. Hal tersebut dikarenakan arus pengisian konstan sebesar 4 A.



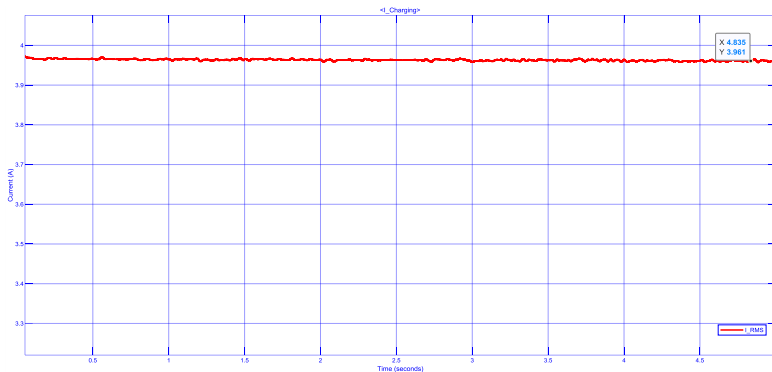
**Gambar 4.12** *State of Charge* baterai dengan inisial SOC 50%

#### 4.5.2 Pengujian Kontroler dengan inisial *State of Charge* 60%

Pada pengujian ini dilakukan proses *charging* dengan inisial *State of Charge* 60%. Pengisian baterai dilakukan dengan arus konstan sebesar 4 A. Berikut merupakan grafik hasil pengujian kontroler *fuzzy* pada proses pengisian baterai :

##### 1. Grafik arus pengisian baterai terhadap waktu

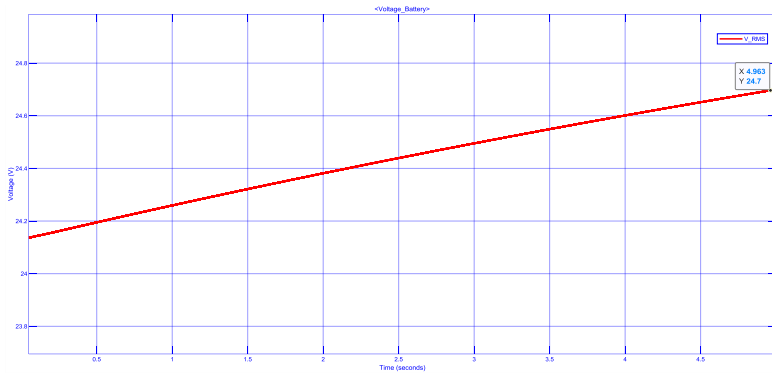
Pada Gambar 4.13 dapat dilihat keluaran arus pengisian baterai yang dilakukan dengan inisial SoC 60%. Pada grafik tersebut didapatkan arus pengisian konstan sebesar 3.961 A.



**Gambar 4.13** Arus *charging* baterai dengan inisial SOC 60%

##### 2. Grafik tegangan pengisian baterai terhadap waktu

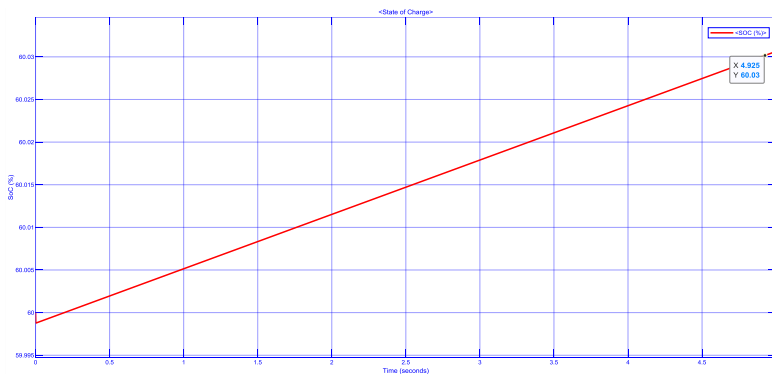
Dari proses pengisian ini didapatkan grafik tegangan baterai terhadap waktu yang ditunjukkan pada gambar 4.14. Berdasarkan grafik yang diperoleh, nilai tegangan baterai saat mengalami proses pengisian (*charge*) cenderung mengalami kenaikan yang linier hingga 24.7 V. Hal tersebut dikarenakan arus *charging* konstan sebesar 4 A.



**Gambar 4.14** Tegangan *charging* baterai dengan inisial SOC 60%

### 3. Grafik *State of Charge* pengisian baterai terhadap waktu

Dari proses pengisian ini didapatkan grafik *State of Charge* baterai terhadap waktu yang ditunjukkan pada gambar 4.15. Berdasarkan grafik yang diperoleh, nilai SoC baterai saat mengalami proses pengisian (*charge*) mengalami kenaikan yang linier hingga 60.03%. Hal tersebut dikarenakan arus pengisian konstan sebesar 4 A.



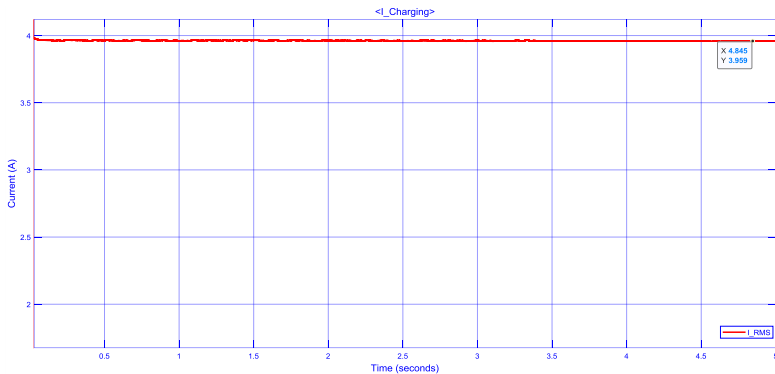
**Gambar 4.15** *State of Charge* baterai dengan inisial SOC 60%

#### 4.5.3 Pengujian Kontroler dengan inisial *State of Charge* 70%

Pada pengujian ini dilakukan proses *charging* dengan inisial *State of Charge* 70%. Pengisian baterai dilakukan dengan arus konstan sebesar 4 A. Berikut merupakan grafik hasil pengujian kontroler *fuzzy* pada proses pengisian baterai :

## 1. Grafik arus pengisian baterai terhadap waktu

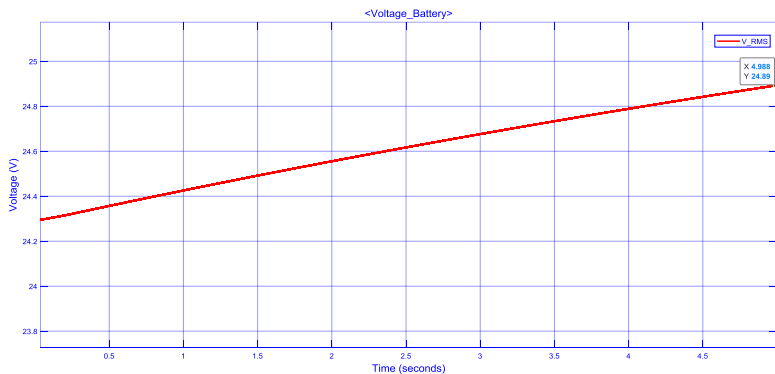
Pada Gambar 4.16 dapat dilihat keluaran arus pengisian baterai yang dilakukan dengan inisial SoC 70%. Pada grafik tersebut didapatkan arus pengisian konstan sebesar 3.959 A.



**Gambar 4.16** Arus *charging* baterai dengan inisial SOC 70%

## 2. Grafik tegangan pengisian baterai terhadap waktu

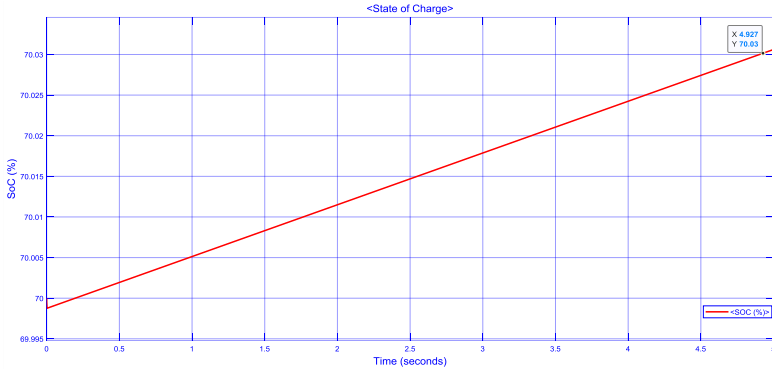
Dari proses pengisian ini didapatkan grafik tegangan baterai terhadap waktu yang ditunjukkan pada gambar 4.17. Berdasarkan grafik yang diperoleh, nilai tegangan baterai saat mengalami proses pengisian (*charge*) cenderung mengalami kenaikan yang linier hingga 24.89 V. Hal tersebut dikarenakan arus *charging* konstan sebesar 4 A.



**Gambar 4.17** Tegangan *charging* baterai dengan inisial SOC 70%

### 3. Grafik *State of Charge* pengisian baterai terhadap waktu

Dari proses pengisian ini didapatkan grafik *State of Charge* baterai terhadap waktu yang ditunjukkan pada gambar 4.18. Berdasarkan grafik yang diperoleh, nilai SoC baterai saat mengalami proses pengisian (*charge*) mengalami kenaikan yang linier hingga 70.03%. Hal tersebut dikarenakan arus pengisian konstan sebesar 4 A.



**Gambar 4.18** *State of Charge* baterai dengan inisial SOC 70%

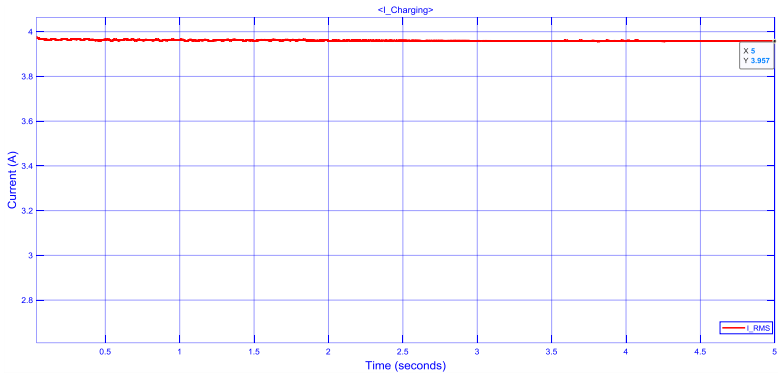
#### 4.5.4 Pengujian Kontroler dengan inisial *State of Charge* 80%

Pada pengujian ini dilakukan proses *charging* dengan inisial *State of Charge* 80%. Pengisian baterai dilakukan dengan arus konstan sebesar 4 A. Berikut merupakan grafik hasil pengujian kontroler *fuzzy* pada proses pengisian baterai :

##### 1. Grafik arus pengisian baterai terhadap waktu

Pada Gambar 4.19 dapat dilihat keluaran arus pengisian baterai yang dilakukan dengan inisial SoC 80%. Pada grafik tersebut didapatkan arus pengisian konstan sebesar 3.957 A.

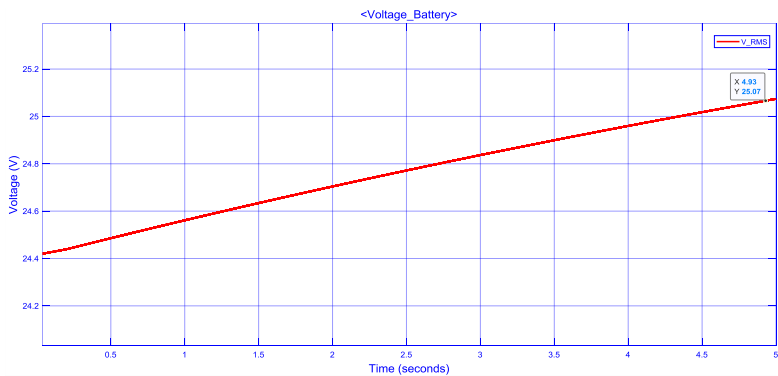




**Gambar 4.19** Arus *charging* baterai dengan inisial SOC 80%

## 2. Grafik tegangan pengisian baterai terhadap waktu

Dari proses pengisian ini didapatkan grafik tegangan baterai terhadap waktu yang ditunjukkan pada gambar 4.20. Berdasarkan grafik yang diperoleh, nilai tegangan baterai saat mengalami proses pengisian (*charge*) cenderung mengalami kenaikan yang linier hingga 25.07 V. Hal tersebut dikarenakan arus *charging* konstan sebesar 4 A.

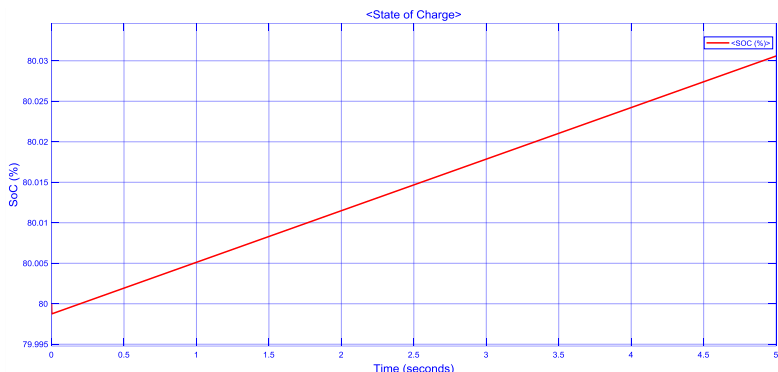


**Gambar 4.20** Tegangan *charging* baterai dengan inisial SOC 80%

## 3. Grafik *State of Charge* pengisian baterai terhadap waktu

Dari proses pengisian ini didapatkan grafik *State of Charge* baterai terhadap waktu yang ditunjukkan pada gambar 4.21. Berdasarkan grafik yang diperoleh, nilai SoC baterai saat mengalami proses pengisian

(charge) mengalami kenaikan yang linier hingga 80.03%. Hal tersebut dikarenakan arus pengisian konstan sebesar 4 A.



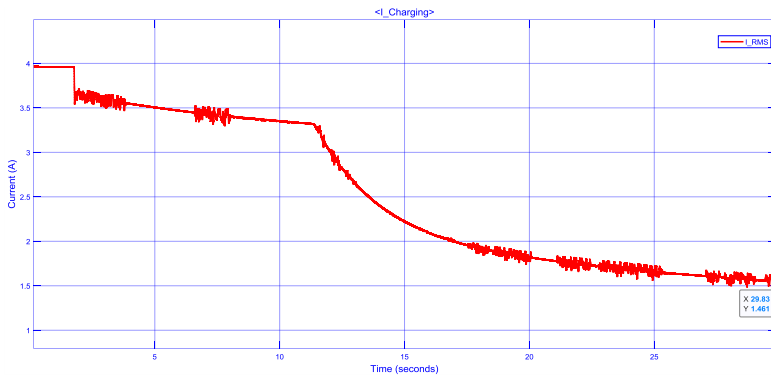
**Gambar 4.21** *State of Charge* baterai dengan inisial SOC 80%

#### 4.5.5 Pengujian Kontroler dengan inisial *State of Charge* 94.99%

Pada pengujian ini dilakukan proses *charging* dengan inisial *State of Charge* 94.99%. Pengisian baterai dilakukan dengan arus konstan sebesar 4 A hingga *state of charge* baterai mencapai 95% dan akan beralih ke mode *constant voltage* ketika *state of charge* baterai lebih dari 95%. Berikut merupakan grafik hasil pengujian kontroler *fuzzy* pada proses pengisian baterai :

##### 1. Grafik arus pengisian baterai terhadap waktu

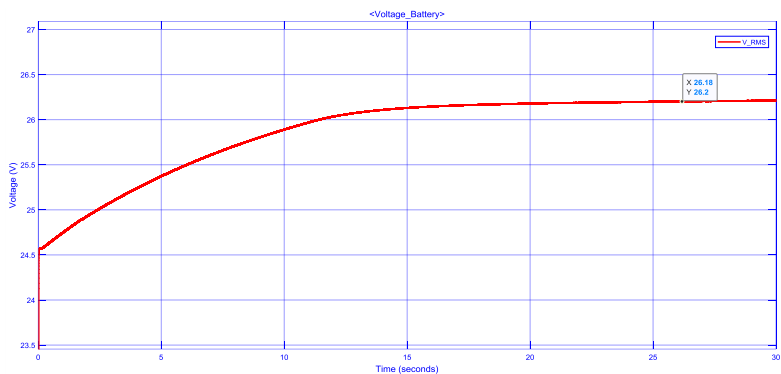
Pada Gambar 4.22 dapat dilihat keluaran arus pengisian baterai yang dilakukan dengan inisial SoC 94.99%. Pada grafik tersebut didapatkan arus pengisian awalnya konstan sebesar 3.957 A hingga mencapai SOC 95 % pada detik ke 2 dan menurun secara bertahap ketika SOC lebih dari 95% atau ketika masuk mode *charging constant voltage*.



**Gambar 4.22** Arus *charging* baterai dengan inisial SOC 94.99%

## 2. Grafik tegangan pengisian baterai terhadap waktu

Dari proses pengisian ini didapatkan grafik tegangan baterai terhadap waktu yang ditunjukkan pada gambar 4.23. Berdasarkan grafik yang diperoleh, nilai tegangan baterai saat mengalami proses pengisian (*charge*) cenderung mengalami kenaikan yang tidak linier dikarenakan menggunakan charging mode constant voltage dengan set point 26.12 V.

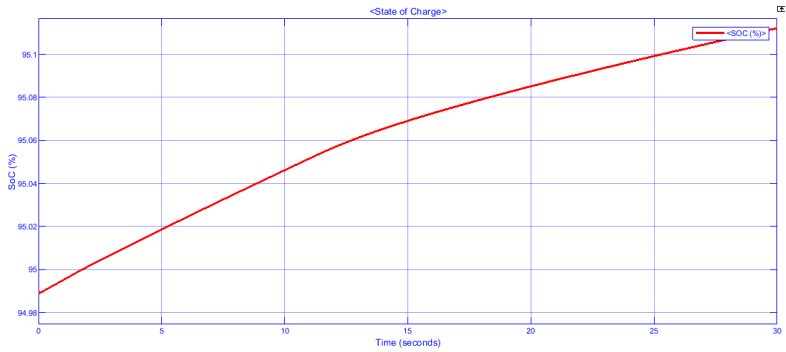


**Gambar 4.23** Tegangan *charging* baterai dengan inisial SOC 94.99%

## 3. Grafik *State of Charge* pengisian baterai terhadap waktu

Dari proses pengisian ini didapatkan grafik *State of Charge* baterai terhadap waktu yang ditunjukkan pada gambar 4.24. Berdasarkan grafik yang diperoleh, nilai SoC baterai saat mengalami proses pengisian (*charge*) mengalami kenaikan yang tidak linier ketika SoC baterai lebih

dari 95%. Hal tersebut dikarenakan arus pengisian yang awalnya konstan sebesar 4 A menurun secara bertahap ketika mencapai *State of Charge* lebih dari 95%.



**Gambar 4.24** *State of Charge* baterai dengan inisial SOC 94.99%

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab ini dibahas mengenai kesimpulan yang diperoleh setelah simulasi, pengujian, dan analisa dilakukan pada BAB 4, juga saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan, antara lain :

1. Ketika constant current charging, charger sudah mampu menghasilkan arus konstan sebesar 4A.
2. Ketika constant voltage charging, charger sudah mampu menghasilkan tegangan yang menuju set point konstan 26.2 V.
3. Pada proses pengisian, tegangan baterai akan mengalami kenaikan hingga mencapai 26.2 V ketika SOC baterai bernilai 95%-95.15%.
4. Saat SOC baterai bernilai 95%-95.15%, arus charging baterai dari 4 A bertahap semakin turun hingga 1,46 A.
5. Sistem monitoring menggunakan kapasitansi baterai dapat menunjukkan bagaimana kondisi kapasitas baterai dengan menghasilkan kapasitansi terbesar (peak) 1600 C saat 17 Ah dan menghasilkan peak 1400 C saat 15 Ah.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan kesimpulan yang diperoleh, saran untuk pengembangan penelitian berikutnya dengan topik serupa antara lain :

1. Menambahkan manajemen daya untuk proses pengisian baterai.
2. Pembuatan sistem *cut-off* otomatis dalam sistem kontrol *charging* baik pada saat pengisian (*charge*) dan pengosongan (*discharge*).
3. Mempertimbangkan pengaruh suhu lingkungan pada proses *charging* dan *discharging* baterai.
4. Melakukan implementasi sistem kontrol *charging* baterai pada *keypoint* PT. PLN UP2D Jawa Timur.

-----*Halaman ini sengaja dikosongkan*-----

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yarlagadda, S., Hartley, T.T. dan Husain, I. "A Battery Management System Using an Active Charge Equalization Technique Based on a DC/DC Converter Topology". Industry Applications, IEEE Transactions on Volume:49, 23 Mei 2013.
- [2] David, Linden and Reddy, Thomas B, "Handbook Of Batteries, 3rd Edition", The McGraw-Hill Companies, Inc, 2001.
- [3] Ahmad Faiz Farizy, Dimas Anton Asfani, and Soedibjo, "Desain Sistem Monitoring State of Charge Baterai pada Charging Station Mobil Listrik Berbasis Fuzzy Logic Dengan Mempertimbangkan Temperature," Institut Teknol. Sepuluh Nop., vol. 5, pp. 1–5, 2016.
- [4] S. M. A. S. Bukhari, J. Maqsood, M. Q. Baig, S. Ashraf, and T. A. Khan, "Comparison of Characteristics -- Lead Acid, Nickel Based, Lead Crystal and Lithium Based Batteries," pp. 444–450,2015.
- [5] P.Manimekalai, R.Harikumar, and S.Raghavan, "An Overview of Batteries for Photovoltaic (PV) Systems," Int. J. Comput. Appl. 0975 – 8887, vol. 82, pp. 1–5, Nov, 2013.
- [6] G. M. Masters, "Renewable and efficient electric power systems". Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2004.
- [7] Datasheet baterai leac acid VOZ TF12-17.
- [8] Albright, Greg, "A comparative of Lead acid to Lithium-Ion in Stationary Storage Applications", New York: AllCell Technologies LLC, 2012.
- [9] \_\_\_\_\_, "Battery Chargers and Charging Methods", 2005.. Available: <http://www.mpoweruk.com/chargers.htm>. [Accessed: 1-Mei-2019].
- [10] Son Kuswadi, "Kendali Cerdas Teori dan Aplikasi Praktisnya", ed pertama. Yogyakarta, Indonesia: Penerbit Andi, 2007.
- [11] Dwi Ana Ratna Wati, "Sistem Kendali Cerdas : Fuzzy Logi Controller (FLC), Jaringan Syaraf Tiruan (JST), Algoritma Genetik (AG), dan Algoritma Particle Swarm Optimization (PSO)", ed pertama. Yogyakarta, Indonesia: Graha Ilmu, 2011.

- [12] Sri Kusumadewi dan Hari Purnomo, “Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan”, ed dua. Yogyakarta, Indonesia: Graha Ilmu, 2013.
- [13] Kevin M. Passino dan Stephen Yurkovich, “Fuzzy Control”. California, United States of America: Addison Wesley Longman, Inc., 1997.
- [14] O. Tremblay, L.-A. Dessaint, and A.-I. Dekkiche, “A Generic Battery Model for the Dynamic Simulation of Hybrid Electric Vehicles,” 2007, pp. 284–289.
- [15] D W Hart “*Power Electronics*, 1st ed”, McGraw-Hill, 2011



## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Program pengambilan data tegangan *discharging*

```
// voltage input read parameters
float Vin = 0.0;
float voltageIn = 0.0;
float VsampleIn = 0.0;
int const Vread = A0;

float VavgIn = 0.0;

float VavgOut = 0.0;

float VreadIn = 0.0;
void setup(){
    Serial.begin(9600);
    pinMode(Vin, INPUT);
}
void loop(){
    // sensor tegangan dan arus
    Vin=analogRead(A0);
    VreadIn = Vin * 50 / 1024.0;
    delay(500);
    Serial.print(VreadIn);
    Serial.print("\t");
    Serial.print(Vin);
    Serial.println(" ");
}
```

### Lampiran 2. Program *push button* HMI Sistem Monitoring GUI pada *script* MATLAB

```
function pushbutton1_Callback(hObject,
 eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a
future version of MATLAB
```

```

% handles      structure with handles and user
data (see GUIDATA)
global time Q1 Q2 Q3 Q4 Q5 Q6 Q7 Q8 Q9 Q10 Q11
Q12 Q13 Q14 Q15 Q16 Q17 Q18 Q19 Q20 Q21 Q22 Q23
Q24 Q25 Q26 Q27 Q28 Q29 Q30 t C ref
Q1=1.2;Q2=1.2;Q3=1.2;Q4=1.2;Q5=1.2;Q6=1.2;Q7=1.2
;Q8=1.2;Q9=1.2;Q10=1.2;Q11=1.2;Q12=1.2;Q13=1.2;Q
14=1.2;Q15=1.2;
Q16=1.2;Q17=1.2;Q18=1.2;Q19=1.2;Q20=1.2;Q21=1.2;
Q22=1.2;Q23=1.2;Q24=1.2;Q25=1.2;Q26=1.2;Q27=1.2;
Q28=1.2;Q29=1.2;Q30=1.2;
time = str2double(get(handles.time,'string'));
sim('kapisitansi');
ref=C;
Q1 = str2double(get(handles.Q1,'string'));
Q2 = str2double(get(handles.Q2,'string'));
Q3 = str2double(get(handles.Q3,'string'));
Q4 = str2double(get(handles.Q4,'string'));
Q5 = str2double(get(handles.Q5,'string'));
Q6 = str2double(get(handles.Q6,'string'));
Q7 = str2double(get(handles.Q7,'string'));
Q8 = str2double(get(handles.Q8,'string'));
Q9 = str2double(get(handles.Q9,'string'));
Q10 = str2double(get(handles.Q10,'string'));
Q11 = str2double(get(handles.Q11,'string'));
Q12 = str2double(get(handles.Q12,'string'));
Q13 = str2double(get(handles.Q13,'string'));
Q14 = str2double(get(handles.Q14,'string'));
Q15 = str2double(get(handles.Q15,'string'));
Q16 = str2double(get(handles.Q16,'string'));
Q17 = str2double(get(handles.Q17,'string'));
Q18 = str2double(get(handles.Q18,'string'));
Q19 = str2double(get(handles.Q19,'string'));
Q20 = str2double(get(handles.Q20,'string'));
Q21 = str2double(get(handles.Q21,'string'));
Q22 = str2double(get(handles.Q22,'string'));
Q23 = str2double(get(handles.Q23,'string'));
Q24 = str2double(get(handles.Q24,'string'));
Q25 = str2double(get(handles.Q25,'string'));
Q26 = str2double(get(handles.Q26,'string'));

```

```

Q27 = str2double(get(handles.Q27,'string'));
Q28 = str2double(get(handles.Q28,'string'));
Q29 = str2double(get(handles.Q29,'string'));
Q30 = str2double(get(handles.Q30,'string'));

sim('kapasitansi');

axes(handles.axes1)
plot(t,ref)
hold
plot(t,C)
xlabel ('time')
ylabel ('C')
legend('ref','output')

```

**Lampiran 3.** Desain kontroler logika *fuzzy* dalam bentuk program *script* pada Matlab

```

function y = fcn(e,de)
%Inisialisasi
z=[0 0 0 0 0; 0 0 0 0 0];
u=[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];

%Normalisasi
e=e;
de=de;

%Input error
if e<=-1
    z(1,1)=1;
elseif e<=-0.5
    z(1,1)=-1-e/0.5;
    z(1,2)=2+e/0.5;
elseif e<=0
    z(1,2)=-e/0.5;
    z(1,3)=1+e/0.5;
elseif e<=0.5
    z(1,3)=1-e/0.5;
    z(1,4)=e/0.5;

```

```

elseif e<=1
    z(1,4)=2-e/0.5;
    z(1,5)=-1+e/0.5;
else
    z(1,5)=1;
end

%Input delta error
if de<=-1
    z(2,1)=1;
elseif de<=-0.5
    z(2,1)=-1-de/0.5;
    z(2,2)=2+de/0.5;
elseif de<=0
    z(2,2)=-de/0.5;
    z(2,3)=1+de/0.5;
elseif e<=0.5
    z(2,3)=1-de/0.5;
    z(2,4)=de/0.5;
elseif de<=1
    z(2,4)=2-de/0.5;
    z(2,5)=-1+de/0.5;
else
    z(2,5)=1;
end

%Rule-base
rule = [ 6 5 4 2 1
         9 8 7 5 3
         11 10 9 8 7
         15 13 11 10 9
         17 16 14 13 12];

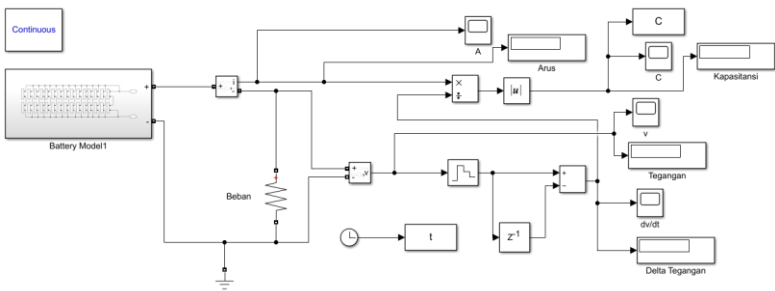
%Inference System(2,2)i
for i=1:5
    for j=1:5
        n = rule(i,j);
        u(n) = max( u(n) , min( z(1,i) , z(2,j)
    ) );
    end
end

```

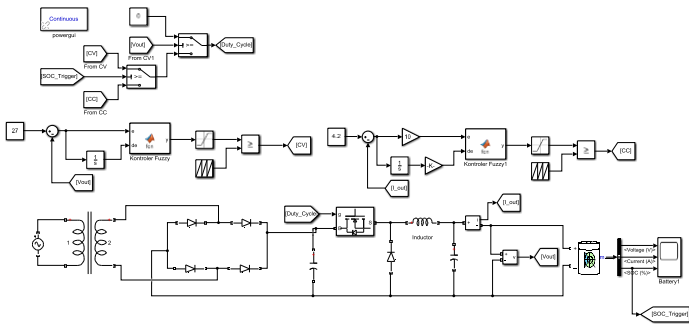
end

```
%Defuzzifikasi  
c = [-1 -.65 -.5 -.45 -.35 -.3 -.2 -.1 0 .1 .2  
.3 .35 .45 .5 .65 1];  
y = sum(c.*u)/sum(u);
```

**Lampiran 5.** Diagram blok *Simulink* untuk sistem *monitoring*



**Lampiran 4.** Diagram blok *Simulink* untuk skema kontroler logika *fuzzy*



*-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----*

## **BIODATA PENULIS**



Ibrahim Dwi Rizky lahir di Pasuruan, 19 Mei 1997 dan dibesarkan di kota Bangil - Pasuruan. Penulis merupakan putra dari pasangan Slamet Urifan dan Halimatus Sa'diyah. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SDN Kidul Dalem 3 Bangil dari tahun 2003 hingga 2009. Setelah itu, penulis melanjutkan pendidikan di SMPN 1 Bangil dan SMAN 1 Bangil. Penulis melanjutkan ke jenjang perguruan tinggi di Institut Sepuluh Nopember melalui jalur SNMPTN. Penulis bisa dihubungi melalui email: [ibrahim.dwi@gmail.com](mailto:ibrahim.dwi@gmail.com)