

# ANALISIS EFISIENSI PENGISIAN MUATAN BATERAI

## *LITHIUM IRON PHOSPHATE (LiFePO<sub>4</sub>)*

SKRIPSI

untuk memenuhi salah satu persyaratan  
mencapai derajat Sarjana S1



**Jurusan Teknik Elektro**  
**Fakultas Teknologi Industri**  
**Universitas Islam Indonesia**  
**Yogyakarta**  
**2020**

# LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS EFISIENSI PENGISIAN MUATAN BATERAI LITHIUM IRON

PHOSPHATE

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik  
pada Program Studi Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Indonesia

Disusun oleh:

Irfan Zidni  
16524078

Yogyakarta, 08-Juli-2020

Menyetujui,

Pembimbing 1



Setyawan Wahyu Pratomo, S.T., M.T.  
155241302

# LEMBAR PENGESAHAN

## SKRIPSI

### ANALISIS EFISIENSI PENGISIAN MUATAN BATERAI LITHIUM IRON PHOSPHATE

Dipersiapkan dan disusun oleh:

Irfan Zidni  
16524078

Telah dipertahankan di depan dewan penguji

Pada tanggal: 08 Juli 2020

Susunan dewan penguji

Ketua Penguji : Setyawan Wahyu Pratomo, S.T., M.T. .



Anggota Penguji 1: Husein Mubarak, S.T., M.Eng. .



Anggota Penguji 2: Wahyudi Budi Pramono, S.T., M.Eng. .



Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh gelar Sarjana

Tanggal: 04 Agustus 2020

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Yusuf Aziz Amrullah, S.T., M.Eng., Ph.D.

045240101

## PERNYATAAN

Dengan ini Saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini tidak mengandung karya yang diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan Saya juga tidak mengandung karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Informasi dan materi Skripsi yang terkait hak milik, hak intelektual, dan paten merupakan milik bersama antara tiga pihak yaitu penulis, dosen pembimbing, dan Universitas Islam Indonesia. Dalam hal penggunaan informasi dan materi Skripsi terkait paten maka akan diskusikan lebih lanjut untuk mendapatkan persetujuan dari ketiga pihak tersebut diatas.



Cilegon, 20 Juni 2020

Irfan Zidni

## KATA PENGANTAR

*Assalamu 'alaykum Warahmatullaahi Wabarakaatuh,*

*Alhamdulillah* rabbil' alamin, Segala puji bagi Allah *subhanahu wa ta'ala* yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah Nya, tidak lupa solawat serta salam kita panjatkan kepada nabi Muhammad *shallallahu 'alaihi wa sallam* yang telah memberikan rahmat nya sehingga umat manusia menjadi lebih baik. Berkat rahmat dan ridho Nya, penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Analisis Pengisian Muatan Baterai *Lithium Iron Phosphate* (LiFePO<sub>4</sub>) sebagai syarat memperoleh gelar gelar sarjana Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia.

Dalam penulisan skripsi ini penulis menyadari banyak dukungan dan bantuan dari berbagai pihak selama proses pengerjaan penelitian ini, oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Yusuf Aziz Amrullah, S.T., M.Sc., Ph.D. Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Setyawan Wahyu Pratomo, ST., M.T. Sebagai dosen pembimbing I yang telah memberikan arahan, membimbing, memberi saran, , serta masukan selama proses penelitian ini.
3. Seluruh dosen dan pegawai Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan ilmu yang membantu menyelesaikan penelitian ini.
4. Orang tua serta keluarga yang telah memberikan dukungan, doa serta nasihat dalam menyelesaikan penelitian ini
5. Teman-teman Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Indonesia khususnya Angkatan 2016 yang telah mendukung penelitian ini.
6. Seluruh pihak yang terlibat yang telah memberikan masukan dan arahan hingga laporan skripsi ini selesai

Penulis menyadari bahwa dalam skripsi ini masih banyak kekurangan, oleh sebab itu penulis menerima kritik dan saran guna mengembangkan penelitian ini. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi orang lain dan terutama penulis sendiri, *Aamiin*.

*Wassalamu 'alaykum Warahmatullaahi Wabarakaatuh.*

Cilegon, 21 May 2020



Irfan Zidni

## ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Singkatan	Keterangan
LiFePO4	Lithium Iron Phosphate
CC/CV	<i>Contant Current/Constant Voltage</i>
V	<i>Volt</i>
mAh	<i>Mili Ampere Hour</i>
BMS	<i>Battery Management System</i>
Ah	<i>Ampere Hour</i>
Lead Acid	<i>Accu/Aki</i>
A	<i>Ampere</i>
DC	<i>Direct Current</i>
AC	<i>Alternating Current</i>
Wh/L	<i>Watt Hour/Litre</i>
V	<i>Volt</i>
VDC	<i>Volt Direct Current</i>
VAC	<i>Volt Alternating Current</i>
W	<i>Watt</i>
S	<i>Cell</i>
g	<i>Gram</i>
LiPo	<i>Lithium Polymer</i>
LiIon	<i>Lithium Ion</i>
LiHV	<i>Lithium High Voltage</i>
mm	<i>Milimeter</i>
°F	<i>Derajat Farenheit</i>
°C	<i>Derajat Celcius</i>
%	<i>Persen</i>
Rp	<i>Rupiah</i>

## ABSTRAK

Energi Fosil merupakan energi utama pada zaman ini, hampir semua sektor kelistrikan didunia ini di gerakan oleh energi ini, tetapi energi ini mempunyai banyak dampak negatif pada saat ini dan masa yang akan datang, oleh sebab itu energi terbarukan semakin di perhatikan untuk dijadikan solusi untuk masalah ini. Namun energi terbarukan mempunyai kelemahan yaitu tidak tersedia kapan pun atau keberadaannya terbatas, seperti energi matahari yang hanya ada pada siang hari, dan energi angin yang hanya ada pada saat waktu tertentu. Untuk menyelesaikan masalah tersebut, energi terbarukan ini membutuhkan tempat penyimpanan energi untuk dapat digunakan kapan pun dan dimana pun. Dalam hal ini energi terbarukan pada umumnya akan disimpan pada baterai sebagai alat menyimpan energi, tetapi beberapa jenis baterai mempunyai efisiensi <70%. Untuk itu diperlukan baterai yang mempunyai efisiensi tinggi agar energi saat pengisian dan pengosongan muatan tidak terbuang sia sia. Pada penelitian ini dilakukan pengujian *Charging/Discharging* baterai LiFePO<sub>4</sub> berkapasitas 800mAh 6,6v dengan menggunakan *Battery Management System* (BMS) “Imax b6 Mini Sky RC” proses *Charging/Discharging* baterai menggunakan metode CC/CV dengan memvariasikan arusnya sebesar 0,4A, 0,6A dan 0,8A. dari pengujian baterai didapatkan hasil efisiensi energi rata-rata baterai sebesar 98%.

Kata kunci: Baterai, *Charging/Discharging*, Efisiensi



# DAFTAR ISI

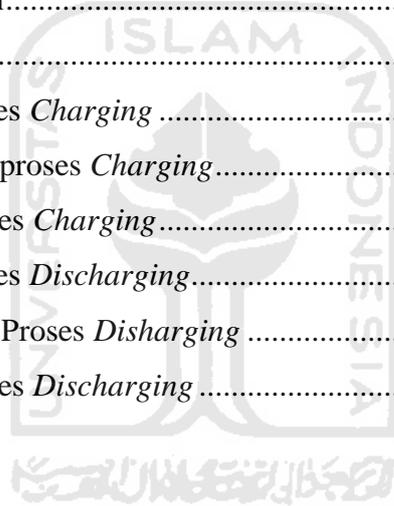
LEMBAR PENGESAHAN.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN .....	v
ABSTRAK .....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	x
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	4
2.1 Studi Literatur .....	4
2.2 Tinjauan Teori.....	5
2.2.1 Catu Daya .....	5
2.2.2 <i>Battery Management System (BMS)</i> .....	7
2.2.3 Baterai .....	7
2.2.4 Konstruksi Baterai .....	8
2.2.5 Prinsip Kerja Baterai.....	9
2.2.6 Jenis-Jenis Baterai.....	10
2.2.7 Baterai Lithium Iron Phosphate (LiFePO <sub>4</sub> ).....	10

2.2.8 Parameter Pada Baterai .....	11
2.2.9 Efisiensi Energi Baterai .....	12
<b>BAB 3 METODOLOGI</b> .....	<b>14</b>
3.1 Alat dan Bahan.....	14
3.2 Alur Penelitian (jika dibutuhkan) .....	16
3.3 Perancangan Sistem .....	17
3.4 Cara Analisis .....	18
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>19</b>
4.1 Hasil Pengujian <i>Charging</i> .....	19
4.2 Hasil Pengujian <i>Discharging</i> .....	22
4.3 Energi Efisiensi Baterai .....	24
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>35</b>
5.1 Kesimpulan .....	35
5.2 Saran .....	35
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>36</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>1</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Blok DC <i>Power Supply</i> .....	5
Gambar 2.2 Skema <i>Transformator Step Down</i> .....	5
Gambar 2.3 Skema Rangkaian Dioda <i>Bridge</i> pada <i>Power Supply</i> .....	6
Gambar 2.4 Skema Rangkaian <i>Voltage Regulator</i> .....	6
Gambar 2.5 Baterai LiFePO4.....	7
Gambar 2.6 Konstruksi Baterai.....	8
Gambar 2.7 Proses reaksi Elektrokimia saat <i>Charging</i> .....	9
Gambar 2.8 Proses reaksi Elektrokimia saat <i>Discharging</i> .....	9
Gambar 3.1 Baterai LiFePO4.....	14
Gambar 3.2 Temperature Probe SK-600040.....	15
Gambar 3.3 Diagram alir Penelitian.....	16
Gambar 3.4 Diagram Blok Sistem .....	17
Gambar 4.1 Grafik Arus Pada Proses <i>Charging</i> .....	19
Gambar 4.2 Grafik Tegangan pada proses <i>Charging</i> .....	20
Gambar 4.3 Grafik Suhu Pada Proses <i>Charging</i> .....	21
Gambar 4.4 Grafik Arus Pada Proses <i>Discharging</i> .....	22
Gambar 4.5 Grafik Tegangan Pada Proses <i>Discharging</i> .....	23
Gambar 4.6 Grafik Suhu Pada Proses <i>Discharging</i> .....	23



## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi SKY RC iMAX b6 Mini..... 14



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Sebagian besar energi listrik dunia dipenuhi oleh energi berbahan bakar fosil, hal tersebut membuat energi dunia sangat bergantung pada energi fosil, hal ini pun akan menimbulkan masalah saat ini dan di kemudian hari karena, kebutuhan energi akan terus bertambah seiring berjalannya waktu sedangkan bahan bakar fosil terus berkurang, disamping itu energi berbahan bakar fosil menghasilkan dampak negatif terhadap lingkungan seperti polusi udara, pencemaran air dan pencemaran tanah yang dapat mengakibatkan pemanasan global, hal ini lah yang mendorong penggunaan energi terbarukan karena energi terbarukan tidak menimbulkan dampak negatif yang dihasilkan dari energi berbahan bakar fosil, dan juga energi terbarukan mudah untuk didapatkan di alam dan ketersediaannya pun tidak terbatas, oleh sebab itu energi terbarukan semakin diperhatikan untuk dijadikan solusi dari masalah energi pada saat ini[1].

Salah satu energi terbarukan yang paling mudah didapatkan adalah energi matahari, energi matahari dapat menghasilkan listrik dengan bantuan Photovoltaic (PV), salah satu masalah yang timbul dari penggunaan energi terbarukan adalah media penyimpanan energi yang dihasilkan, karena ketersediaan energi terbarukan terbatas pada waktu-waktu tertentu, misalnya energi dari panas matahari, energi ini tidak akan menghasilkan energi pada malam hari sehingga dibutuhkan media penyimpanan untuk menyimpan energi yang dihasilkan pada saat siang hari dan memakainya pada malam hari.

Baterai adalah salah satu media penyimpanan energi yang paling banyak digunakan saat ini, karena hal tersebut baterai menjadi salah satu teknologi yang sangat penting dalam penggunaan energi terbarukan, baterai yang sering digunakan untuk media penyimpanan energi yang berasal dari energi surya adalah baterai *Lead-Acid*. Tetapi baterai jenis *Lead-Acid* mempunyai kekurangan diantaranya terpengaruh oleh suhu udara, jika suhu udara rata-rata  $92^{\circ}\text{F}$  maka siklus hidup baterai akan turun menjadi 50%, baterai *Lead-Acid* dapat menyebabkan kerusakan lingkungan pada skala pendek, baterai *Lead-Acid* juga rentan terhadap korosi akibat elektrolisis[2] dan baterai *Lead-Acid* hanya mempunyai efisiensi energi sebesar 60% [3], oleh sebab itu diperlukan jenis baterai yang mempunyai efisiensi energi yang tinggi agar energi saat pengisian dan pengosongan muatan baterai tidak terbuang sia-sia. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian *Charging/Discharging* baterai *Lithium Iron Phosphate* ( $\text{LiFePO}_4$ ) dengan metode *Constant-Current/Constant-Voltage* (CC/CV) untuk mengetahui efisiensinya dan serta pengaruh variasi arus pada proses *Charging/Discharging*.

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Berapa besar energi efisiensi baterai LiFePO<sub>4</sub>?
2. Apa pengaruh Variasi arus pada pengisian dan pengosongan muatan?
3. Berapa lama waktu pengisian baterai yang diisi dengan metode *Constant-Current-Constant Voltage*?

## 1.3 Batasan Masalah

1. Metode pengisian muatan menggunakan *Constant-Current-Constant Voltage*.
2. Baterai menggunakan *Lithium Iron Phosphate (LiFePO<sub>4</sub>)* berkapasitas 6.6v 800mAh.
3. Pengisian dan pengosongan menggunakan arus sebesar 0,4A, 0,6A dan 0,8A.
4. Tidak menganalisa reaksi kimia yang terjadi.
5. Pengisian muatan dikontrol menggunakan *Battery Management Sysem (BMS)* “Sky RC iMax b6 mini”.
6. Baterai yang digunakan adalah baterai LiFePO<sub>4</sub> baru yang belum pernah digunakan sebelumnya.

## 1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui berapa persen efisiensi energi yang dihasilkan dari pengisian muatan baterai *Lithium Iron Phosphate (LiFePO<sub>4</sub>)* dengan metode *Constant-Current-Constant Voltage*.
2. Mengetahui pengaruh memvariasikan arus 0,4A,0,6A dan 0,8A pada saat *Charging/Discharging*.
3. Mengetahui perubahan Suhu yang terjadi saat proses *Charging/Discharging*.
4. Mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk pengisian baterai hingga kapasitas nya terpenuhi.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat dijadikan referensi pengguna baterai dalam memilih jenis baterai.

2. Dapat dijadikan salah satu referensi pengguna baterai dalam memilih metode *Charging/Discharging* baterai.
3. Dapat membantu menambah referensi dalam penelitian terkait baterai LiFePO<sub>4</sub>.



## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Studi Literatur

Penelitian tentang baterai baterai *Lihtium Iron Phosphate* (LiFePO<sub>4</sub>) sudah banyak dilakukan, seperti yang dilakukan oleh Chih-Chiang Hua [3]. Mereka menganalisis pengisian muatan baterai dan pelepasan nya, dalam penelitian tersebut membandingkan baterai *Lead Acid* dengan baterai *Lihtium Iron Phosphate* (LiFePO<sub>4</sub>). Pada penelitian tersebut baterai *Lead Acid* yang digunakan berkapasitas 12V 7Ah sedangkan baterai *Lihtium Iron Phosphate* (LiFePO<sub>4</sub>) yang digunakan berkapasitas 12.8V 6.75 Ah. Dalam penelitian tersebut pengisian muatan nya menggunakan metode *Pulse Charge Method* sedangkan cara untuk melepaskan muatan baterai nya dengan cara mengisi muatan nya dengan metode *Constant-Current dan Constant Voltage* lalu didiamkan selama 24 jam.

Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan terminal voltase baterai *Lihtium Iron Phosphate* (LiFePO<sub>4</sub>) lebih stabil dibanding dengan baterai *Lead Acid* pada saat proses *discharge*, pada proses *Discharge* menunjukkan baterai jenis *Lihtium Iron Phosphate* (LiFePO<sub>4</sub>) mempunyai karakteristik pelepasan muatan yang baik, walaupun voltase baterai berkurang saat proses pelepasan muatan tetapi kapasitas nya masih diatas 80%, dari penelitian tersebut diketahui juga bahwa semakin lama waktu pengisian muatan baterai maka suhu nya pun akan semakin tinggi.

Dari kedua perbandingan baterai yang diteliti jenis baterai *Lihtium Iron Phosphate* (LiFePO<sub>4</sub>) lebih efisien dibandingkan dengan jenis baterai *Lead Acid*. Lalu dari hasil penelitian tersebut juga diketahui untuk mendapatkan pengisian baterai dengan efisiensi yang tinggi, pengisian harus dilakukan dengan *low speed rate*, tetapi jika ingin proses pengisian baterai nya cepat maka pengisian akan memakan arus yang besar dan efisiensi pengisian baterai nya akan rendah.

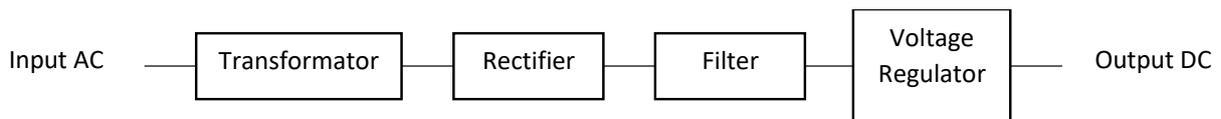
Pada tahun 2019 Kurriawan Budi Pranata [4] meneliti pengaruh variasi arus pengisian muatan pada model baterai *Lead Acid* terhadap perubahan efisiensi energi, penelitian tersebut memvariasikan arus pengisian dan pengosongan sebesar 0,3A, 0,5A dan 0,6A dari penelitian tersebut disimpulkan perubahan variasi arus mempengaruhi efisiensi energi, pada variasi arus yang telah dilakukan efisiensi energi tertinggi didapat pada rentang arus 0,6 A dengan mendapatkan efisiensi energi sebesar 91,33%.

Pada penelitian ini dilakukan *Charging/Discharging* muatan baterai *Lithium Iron Phosphate* Menggunakan Metode *Constant Current/Constant Voltage* untuk membandingkan kapasitas nya pada proses *Charging/Discharging* untuk mengetahui nilai Efisiensi nya.

## 2.2 Tinjauan Teori

### 2.2.1 Catu Daya

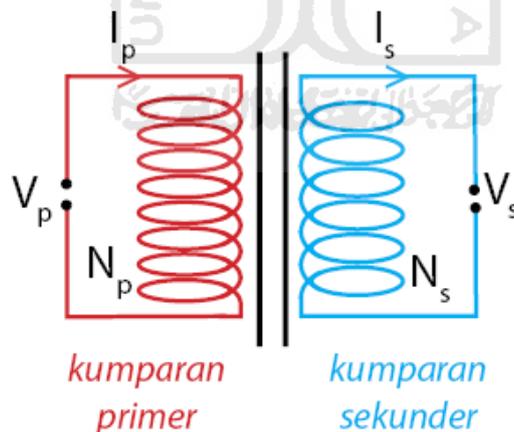
Catu Daya atau *Power Supply* adalah sebuah alat yang berfungsi sebagai sumber listrik untuk perangkat elektronik lain. Pada umumnya *Power Supply* memerlukan sumber energi listrik AC, kemudian mengubahnya menjadi energi listrik DC lalu menyalurkannya ke piranti elektronik lainnya. Pada dasarnya untuk menghasilkan arus DC yang stabil *Power Supply* memiliki 4 bagian utama, antara lain *Transformer*, *Rectifier*, *Filter* dan *Voltage Regulator*.



Gambar 2.1 Diagram Blok DC *Power Supply*

#### 1. *Transformer*

*Transformer* yang digunakan pada *Power Supply* adalah *Transformer Step-Down* yang bertujuan untuk menurunkan tegangan listrik agar sesuai dengan kebutuhan komponen pada *Power Supply*. Prinsip kerja dari *Transformer* adalah menggunakan prinsip elektromagnetik yang berbentuk lilitan, dan terdiri dari lilitan primer dan lilitan sekunder.

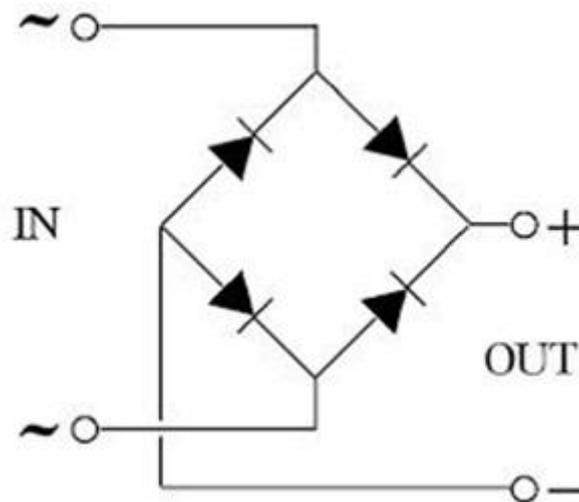


Gambar 2.2 Skema *Transformer Step Down*

#### 2. Penyearah Gelombang *Rectifier*

Setelah tegangannya diturunkan oleh transformator, *Rectifier* pada rangkaian *Power Supply* berfungsi untuk mengkonversi gelombang AC menjadi Gelombang DC.

Rangkaian *Rectifier* terdiri dari 2 atau 4 komponen dioda yang biasa disebut dengan dioda jembatan dan dirangkai seperti pada gambar 2.3.



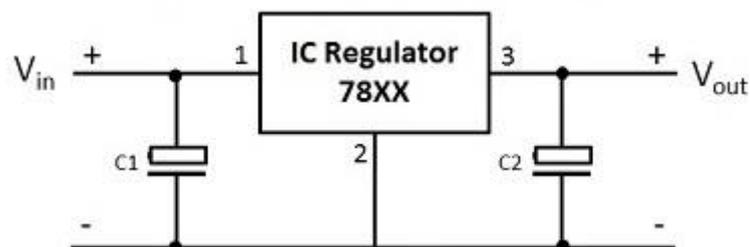
Gambar 2.3 Skema Rangkaian Dioda *Bridge* pada *Power Supply*

### 3. Penyaring (*Filter*)

Pada rangkaian *Power Supply*, *Filter* berfungsi untuk meratakan sinyal arus yang keluar dari *Rectifier*, komponen *Filter* pada *Power Supply* biasanya berupa *Electrolyte Capacitor* (ELCO).

### 4. Pengatur Tegangan (*Voltage Regulator*)

*Voltage Regulator* pada rangkaian *Power Supply* berfungsi sebagai pengatur tegangan dan arus DC agar tetap stabil sehingga *Output* yang dihasilkan *Power Supply* tidak dipengaruhi oleh suhu dan arus beban, komponen *Voltage Regulator* pada umumnya terdiri dari Dioda Zener, *Integrated Circuit* dan *Transistor*.



Gambar 2.4 Skema Rangkaian *Voltage Regulator*

### 2.2.2 Battery Management System (BMS)

*Battery Management System* adalah sebuah sistem elektronik yang berfungsi untuk memajemen sebuah baterai isi ulang, fungsi dari BMS antara lain adalah mengatur jalannya pengisian/pengosongan muatan pada baterai, memproteksi baterai dari kelebihan daya, menyeimbangkan daya, mengukur suhu baterai serta mencatat setiap data pada saat pengisian/pengosongan muatan pada baterai. Penggunaan BMS juga dapat memperpanjang *life cycle* dari sebuah baterai, dan pada umumnya BMS hanya digunakan pada baterai *Lithium* hal tersebut dikarenakan baterai lithium mempunyai ketentuan yang lebih kompleks dari pada baterai *lead acid*.

### 2.2.3 Baterai

Baterai adalah peralatan listrik yang berfungsi sebagai alat untuk menyimpan energi, baterai terdiri dari 2 elektroda positif (+) dan elektroda (-) dan larutan elektrolit sebagai larutan penghantar sehingga menghasilkan energi listrik akibat proses elektrokimia yang terjadi didalamnya. Pada baterai sekunder atau *Rechargeable* memiliki 2 kondisi reaksi kimia yang berkebalikan dimana pada kondisi pertama energi kimia dalam baterai dapat dikonversikan menjadi listrik (*Discharging*) kemudian pada kondisi kedua energi listrik yang dikonversikan menjadi energi kimia (*charging*).



Gambar 2.5 Baterai LiFePO4

## 2.2.4 Konstruksi Baterai

### 1. Elektroda

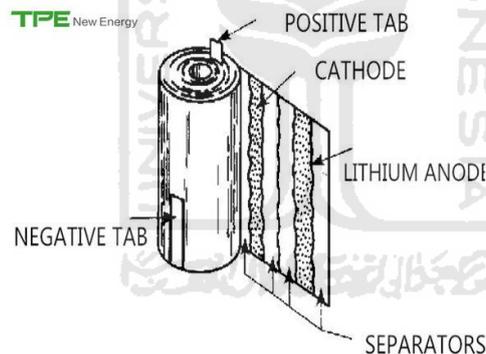
Elektroda adalah sebuah plat berbahan material aktif yang akan bereaksi dengan larutan elektrolit saat proses pengisian maupun pengosongan muatan, pada baterai pada umumnya berbahan grafit. elektroda pada baterai terbagi menjadi 2 bagian yaitu elektroda (+) dan elektroda (-).

### 2. Elektrolit

Elektrolit merupakan sebuah larutan yang terdiri dari senyawa kimia pada baterai yang berfungsi untuk menghantarkan arus listrik dan menyimpan listrik pada baterai, senyawa kimia yang terkandung pada elektrolit dapat menghasilkan ion positif maupun negatif, banyaknya ion yang dihasilkan dari proses pengisian maupun pengosongan muatan yang mempengaruhi daya hantar listrik pada sebuah baterai

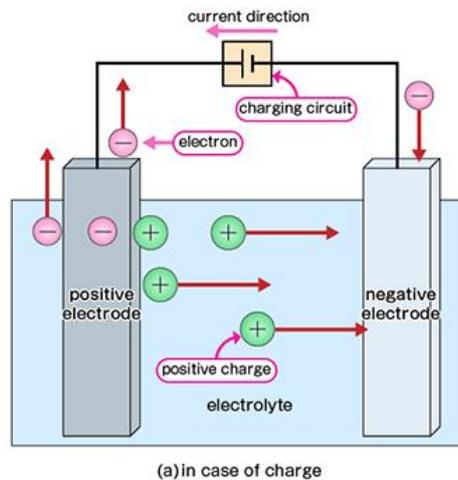
### 3. Separator

Separator atau penyekat berfungsi untuk memisahkan antara sel positif dengan sel negative, separator berada diantara elektroda (+) dan elektroda (-) dan memiliki struktur berongga sehingga larutan elektrolit pada baterai dapat melewatinya.



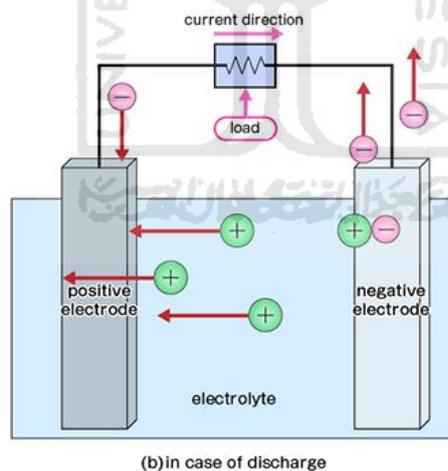
Gambar 2.6 Konstruksi Baterai

## 2.2.5 Prinsip Kerja Baterai



Gambar 2.7 Proses reaksi Elektrokimia saat *Charging*

Pada dasarnya prinsip kerja baterai adalah menggunakan prinsip Oksidasi dan Reduksi, pada saat proses *charging* seperti yang terlihat pada gambar 2.7 saat sel baterai terhubung ke sumber tegangan, pada elektroda positif (+) akan terjadi Oksidasi yaitu melepaskan elektron atau ion negatif (-) sedangkan pada elektroda negatif (-) akan terjadi reduksi dimana elektroda negatif (-) akan menerima ion positif (+) dari elektrolit.



Gambar 2.8 Proses reaksi Elektrokimia saat *Discharging*

Saat sudah terhubung ke beban proses *discharging* merupakan kebalikan dari proses *charging* dimana pada elektroda negatif (-) akan terjadi proses oksidasi yang dimana elektron atau ion negatif (-) akan dilepaskan dari elektroda negatif (-) sedangkan pada elektroda positif (+) akan terjadi proses reduksi yang dimana elektroda positif (+) akan menerima ion positif (+) yang dilepaskan oleh larutan elektrolit.

## 2.2.6 Jenis-Jenis Baterai

Baterai terbagi menjadi 2 jenis, yaitu baterai primer dan baterai sekunder :

### 1. Baterai Primer

Baterai primer adalah baterai yang hanya bisa digunakan sekali, senyawa kimia pada baterai jenis ini tidak dapat di isi ulang, jenis baterai ini terdiri dari 2 elektroda dan senyawa kimia sebagai penghantar nya, ada pun contoh dari jenis dari baterai ini antara lain:

- Baterai Alkaline
- Baterai Litium
- Baterai *Zinc Carbon*
- Baterai Silver Oxide

### 2. Baterai Sekunder

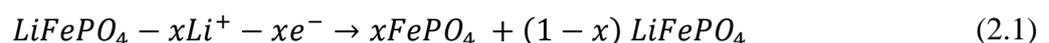
Baterai sekunder adalah baterai yang dapat digunakan berulang, senyawa kimia pada baterai jenis ini dapat di isi ulang, sama dengan baterai primer baterai jenis ini juga terdiri dari 2 elektroda dan senyawa kimia elektrolit sebagai penghantar nya, ada pun contoh dari jenis baterai ini antara lain:

- Baterai Asam (*Acid*)
- Baterai Lithium-Ion
- Baterai Lithium Iron Phosphate

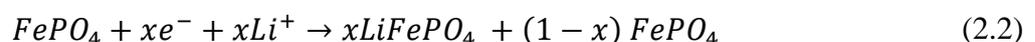
## 2.2.7 Baterai Lithium Iron Phosphate (LiFePO<sub>4</sub>)

Baterai LiFePO<sub>4</sub> adalah jenis baterai sekunder, baterai ini satu tipe dengan baterai *lithium-Ion*, baterai jenis ini memiliki sel voltase sebesar 3.3v/sel dengan kerapatan energi sebesar 220Wh/L. Baterai ini memiliki reaktifitas serta termodinamika nya yang stabil. Baterai ini memiliki *life cycle* yang Panjang, kerapatan energi yang tinggi, dan *high work voltage*. Baterai ini juga dapat mengisi muatan dengan efisiensi yang tinggi serta hilang nya muatan pada proses *Discharge* sangat kecil, serta pengisian nya yang cepat jika dibandingkan dengan jenis baterai lain, kapasitas baterai *Lithium Iron Phosphate (LiFePO<sub>4</sub>)* lebih besar dibandingkan dengan baterai jenis lain hal tersebut dikarenakan kerapatan energi pada baterai jenis ini sangat rapat [5].

Berikut adalah mekanisme Reaksi kimia dari jenis baterai *Lithium Iron Phosphate (LiFePO<sub>4</sub>)* pada saat proses pengisian muatan atau *charging* adalah sebagai berikut:



Lalu berikut adalah mekanisme reaksi kimia pada saat proses pelepasan muatan atau *discharging* :



## 2.2.8 Parameter Pada Baterai

Berikut adalah parameter pada baterai :

### 1. Tegangan

Sebuah baterai akan mengalirkan arus listrik apabila di plat positif (+) dan negatif (-) terjadi beda potensial saat proses *charging* atau *discharging* berlangsung.

### 2. Kapasitas Baterai

Kapasitas baterai adalah kemampuan dari suatu baterai dilewati arus listrik dalam satuan waktu dan dinyatakan dengan Ampere/Hour (Ah). Kapasitas baterai pada umumnya tercantum plat baterai. Kapasitas dari sebuah baterai dapat ditentukan dengan persamaan berikut [6]:

$$C = I (\text{Ampere}) \times t (\text{jam}) \quad (2.3)$$

Dimana:

C = Kapasitas Baterai (Ah)

I = Arus (Ampere)

t = Waktu (Jam)

### 3. Efisiensi Baterai

Efisiensi baterai adalah rasio perbandingan kapasitas baterai pada saat *discharging* terhadap kapasitas aktualnya.

### 4. Temperatur Baterai

Pada operasi normal, suhu baterai yang ideal adalah 25°C, pada kondisi suhu <25°C kemampuan baterai untuk menyimpan energi meningkat, tetapi akan mengakibatkan umur baterai menurun.

### 5. Muatan Energi

Energi dari baterai dapat di tentukan dengan persamaan berikut [6]:

$$E = \int V(t).I.(t).dt \quad t \geq 0 \quad Wh \quad (2.4)$$

Dimana:

V: Voltase/Tegangan (Volt)

I : Arus ketika muatan dilepas (Ampere)

t : Waktu ketika pelepasan muatan (Jam)

#### 6. Kerapatan Energi (*Energy Density*)

Kerapatan Energi merupakan jumlah energi yang terkandung pada baterai yang sama besar dengan volume baterai. *Energy Density* dari sebuah baterai dipengaruhi oleh komponen aktif pada baterai, dimana komponen aktif ini merupakan faktor penting yang menyebabkan nilai potensial dan arus maksimum baterai berbeda dengan nilai teoritisnya.

#### 7. *Self Discharge*

Pada setiap baterai akan mengalami *Self Discharge* jika tidak digunakan dalam waktu tertentu, jumlah energi yang terbuang pada saat *Self Discharge* dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah Suhu disekitar baterai, kelembapan udara dan adanya kontak fisik dengan benda lain sebagai konduktor untuk baterai mengalami *self discharge*.

#### 8. Siklus Hidup (*Life Cycle*)

Siklus hidup atau *Life Cycle* adalah jumlah terjadinya proses pengisian dan pengosongan pada baterai sampai baterai tersebut tidak mampu menyimpan energi listrik. *Life Cycle* dari sebuah baterai dinyatakan habis jika sebuah baterai tidak mampu menyimpan  $\frac{1}{4}$  kapasitas baterai pada *name plate*.

### 2.2.9 Efisiensi Energi Baterai

Efisiensi adalah Jumlah kapasitas *Discharging* baterai dibagi dengan kapasitas *Charging* baterai. Berikut adalah persamaan untuk mencari efisiensi energi dari sebuah baterai [6]:

$$\eta = \frac{C_d}{C_c} \times 100\% \quad (2.5)$$

Dimana :

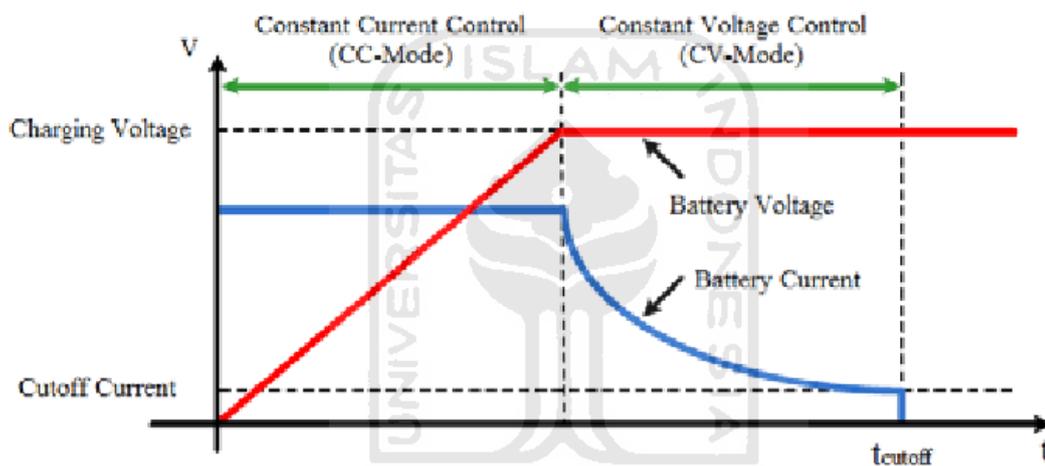
$\eta$  = Efisiensi Energi (%)

$C_d$  = Kapasitas *Discharge*

$C_c$  = Kapasitas *Charging*

### 2.2.10 Constant Current/Constant Voltage

*Constant Current/Constant Voltage* atau CC/CV adalah salah satu metode *Charging/Discharging* baterai yang dimana menggabungkan 2 metode *Charging/Discharging* dalam 1 metode. Dimana pada awal proses nya metode ini menggunakan *Constant Current* yang dimana BMS akan mensuplai baterai dengan arus konstan dan tegangan akan naik secara perlahan linear dengan waktu, metode arus konstan mengisi baterai hingga kapasitas baterai 80-90%, kemudian ketika baterai sudah mencapai 80-90% kapasitasnya, arus akan mulai menurun secara eksponensial sampai tegangan menyentuh nilai cut off, fase tersebut disebut dengan *Constant Voltage*. Metode CC/CV biasa digunakan pada baterai *Lithium* yang dimana dapat menjaga baterai *Lithium* dari *Overcharge* pada proses *Charging* dan *Deep Discharging* pada proses *Discharging* yang dimana dapat memperpanjang *Life Cycle* baterai.



Gambar 2.9 Grafik Arus dan Tegangan pada metode CC/CV

## BAB 3

### METODOLOGI

#### 3.1 Alat dan Bahan

Pada penelitian ini diperlukan beberapa alat dan bahan untuk mencapai tujuan penelitian ini, berikut adalah alat dan bahan yang digunakan :

1. Baterai LiFePO4

Baterai yang digunakan adalah berjenis *Lithium Iron Phosphate* 2 sel dengan kapasitas 800mAh 6,6 Volt dengan 1 C Rate.



Gambar 3.1 Baterai LiFePO4

2. *Power Supply*

*Power Supply* yang digunakan mempunyai spesifikasi *input 110-220 VAC dan output 12-24 VDC*.

3. *Battery Management System (BMS)*

BMS yang digunakan adalah “SKY RC iMAX b6 Mini” dengan spesifikasi

Tabel 3.1 Spesifikasi SKY RC iMAX b6 Mini

Input Voltage	DC 11-18V
Circuit Power	Max Charge :60W Max Discharge : 5W
Charge Current Range	0.1 – 6.0 A
Discharge Current Range	0.1 – 2.0 A
LiPo/LiFe/LiIon/LiHV Cells	1-6 S
NiMH/NiCd Cells	1-15 S
Pb Battery Voltage	2-20 V

Net Weight	233 g
Dimensions	102x84x29 mm

#### 4. Sensor Suhu

Sensor Suhu yang digunakan adalah *Temperature Probe SK-600040* yang merupakan *Part Item* dari “SKY RC iMAX b6 Mini”.



Gambar 3.2 Temperature Probe SK-600040

#### 5. Charge Master 2.0

*Charge Master 2.0* adalah aplikasi untuk menghubungkan BMS dengan *Personal Computer* menggunakan komunikasi serial, pada aplikasi ini pengguna dapat memantau tegangan baterai, arus, suhu dll pada proses *charging/discharging* yang berupa grafik aktual secara *real time*.

### 3.2 Alur Penelitian



Gambar 3.3 Diagram alir Penelitian

Dapat dilihat pada gambar 3.1 adalah tahapan tahapan yang akan penulis lakukan pada penelitian ini, diantaranya :

1. Studi Literatur

Pada tahap ini penulis melakukan studi beberapa jurnal, buku, artikel, manual book maupun sumber lain untuk mengumpulkan informasi terkait topik yang di angkat dan menjadikannya referensi guna menyelesaikan penelitian ini.

2. Identifikasi Kebutuhan dan Spesifikasi alat

Pada tahap ini penulis mengidentifikasi kebutuhan apa saja yang akan digunakan guna menyelesaikan penelitian ini, seperti menentukan jenis baterai yang digunakan, kapasitas baterai yang digunakan dan menentukan *Battery Management System* yang digunakan.

3. Perangkaian Alat

Pada tahap ini dilakukan perangkaian alat yang digunakan untuk mendapatkan data yang diinginkan.

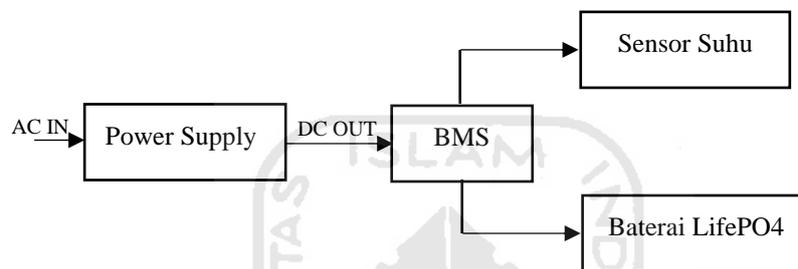
#### 4. Pengambilan Data

Pada tahap ini penulis melakukan pengamatan dan pengambilan data parameter-parameter baterai pada Proses *Discharging Battery*, *Charging Battery* hingga menjadi sebuah data yang siap di analisa.

#### 5. Analisa Data

Pada tahap ini penulis melakukan Analisa data yang didapatkan pada proses sebelumnya, penulis melakukan Analisa dari mulai tegangan, arus, suhu, hingga efisiensi baterai pada saat *Charging* maupun *Discharging*.

### 3.3 Perancangan Sistem



Gambar 3.4 Diagram Blok Sistem

Berikut adalah penjelasan dari masing-masing blok pada gambar 3.2, antara lain:

#### 1. Power Supply

Tegangan 220 VAC merupakan sumber dari sistem ini, tegangan 220 VAC akan masuk menuju input power supply lalu tegangan tersebut diturunkan dan dikonversi menjadi 12-24 VDC.

#### 2. BMS

Tegangan DC keluaran dari Power Supply akan menjadi sumber tegangan dari BMS, disini BMS mengatur semua hal yang terjadi terhadap baterai seperti proses *charging/discharging*, menentukan arus yang masuk, menampilkan suhu baterai dan menampilkan parameter-parameter baterai.

#### 3. Baterai LiFePO4

Baterai LifePO4 disini merupakan salah satu komponen yang dianalisa.

#### 4. Sensor Suhu

Sensor Suhu berfungsi untuk mendeteksi suhu baterai pada saat proses *charging/discharging*.

### 3.4 Cara Analisis

Langkah – Langkah yang dilakukan untuk menyelesaikan penelitian ini adalah memahami dan mengetahui metode perhitungan yang berkaitan dengan topik penelitian, penulis melakukan identifikasi awal mengenai alat, komponen dan spesifikasi apa saja yang dibutuhkan, kemudian penulis merangkai alat dan komponen yang sudah ditentukan. Kemudian melakukan pengambilan data, dimulai dengan melakukan proses *discharging* sampai dengan tegangan minimum nya yaitu 2.6v/sel dan proses *charging* sampai dengan tegangan maksimum nya yaitu 3.7v/sel serta memvariasikan arus sebesar 0,4A, 0,6A dan 0,8A. kemudian melakukan pengolahan data yang sudah didapat yang terdiri dari nilai tegangan, arus suhu baterai kemudian dari data tersebut dihitung besar energi efisiensi baterai dari setiap variasi arus, membandingkan pengaruh memvariasikan arus dari baterai dan menganalisa karakteristik kurva dari proses *charging/discharging* baterai.



## BAB 4

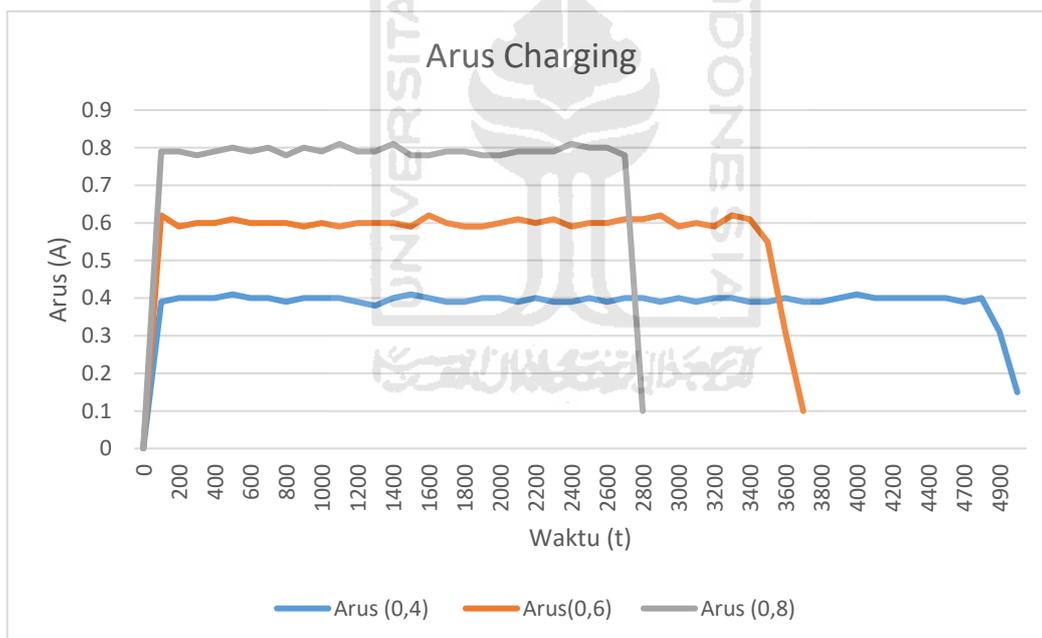
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan uji *Charging/Discharging* muatan baterai *LiFePO4* dengan metode *constant-current/constant voltage* dengan memvariasikan arus sebesar 0,4A, 0,6A dan 0,8A untuk mencari nilai efisiensinya. Efisiensi yang dimaksud pada penelitian ini adalah membandingkan Kapasitas *Discharging* baterai dengan kapasitas *Charging* nya.

*Disclaimer:* Pada penelitian ini digunakan baterai *LiFePO4* baru yang belum pernah digunakan sebelumnya untuk keperluan apapun, untuk itu hasilnya akan sangat berbeda jika baterai yang digunakan sudah dipakai sebelumnya.

#### 4.1 Hasil Pengujian *Charging*

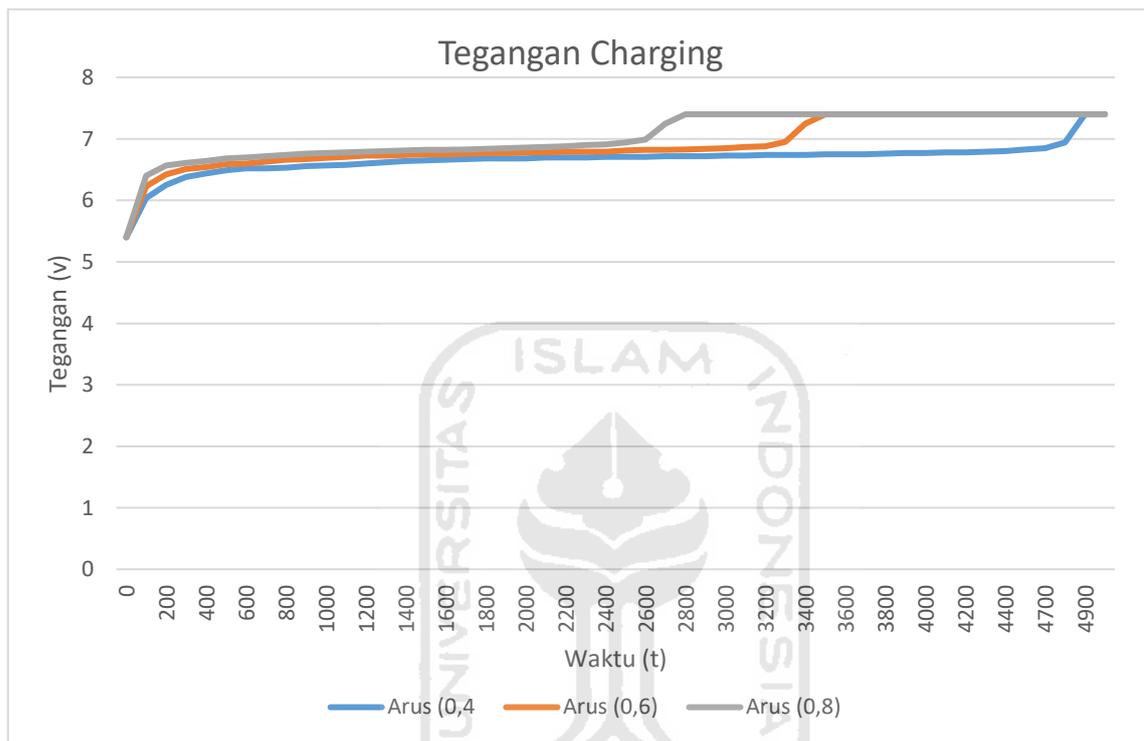
Berikut adalah grafik arus yang dihasilkan dari proses *Charging* dengan variasi arus sebesar 0,4A, 0,6A dan 0,8 A:



Gambar 4.1 Grafik Arus Pada Proses *Charging*

Pengisian muatan baterai atau *Charging* pada baterai *LiFePO4* menggunakan metode CC/CV dengan memvariasikan arus 0,4A, 0,6A dan 0,8A. dapat dilihat pada gambar 4.1 terlihat diketiga variasi arus tersebut mempunyai pola perubahan grafik yang hampir sama, pada saat start arus melonjak naik mengikuti nilai arus yang telah *disetting* pada BMS yaitu 0,4A, 0,6A dan 0,8A, kemudian ketika baterai yang di *Charge* mendekati tegangan maksimum nya (7,4VDC), nilai arus yang konstan akan menurun drastis agar tidak terjadi *Overcharge*. Pada gambar 4.1 juga dapat

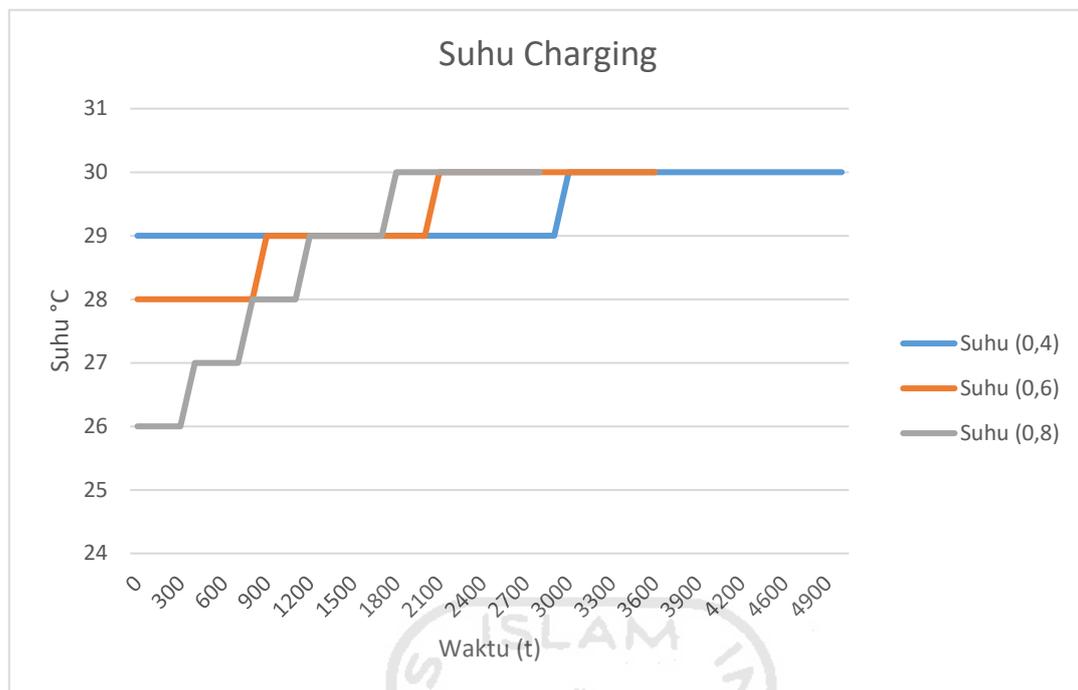
dilihat perbedaan lainnya adalah lama waktu (s) yang di lalui untuk mencapai tegangan pengisian maksimum baterai yaitu 7.4VDC, pada arus 0,4A dibutuhkan waktu 1,39 jam, pada arus 0,6A dibutuhkan waktu 1 jam sedangkan pada arus 0,8A dibutuhkan waktu 0,78 jam. Hal tersebut membuktikan bahwa semakin tinggi arus maka waktu yang ditempuh untuk mencapai tegangan maksimum baterai akan semakin kecil hal tersebut dikarenakan arus *charging* adalah muatan listrik yang dipaksakan masuk kedalam sel baterai kemudian jika arus pengisian semakin kecil hal tersebut menyebabkan reaksi redoks yang terjadi pada baterai akan semakin lambat [4].



Gambar 4.2 Grafik Tegangan pada proses *Charging*

Pada gambar 4.2 adalah grafik tegangan pada proses *Charging* yang arus pengisian nya divariasikan menjadi 0,4A, 0,6A dan 0,8A. seperti grafik arus pada gambar 4.1, grafik tegangan juga hampir mempunyai pola pergerakan yang hampir sama. Pada arus *Charging* 0,8A tegangan awal yang dihasilkan oleh arus tersebut paling besar yaitu 6,4VDC dalam 100s hal itu disebabkan arus merupakan muatan listrik yang dipaksakan masuk kedalam sel baterai sehingga semakin besar arus maka tegangan pada baterai akan semakin besar, kemudian berbanding terbalik dengan grafik arus *Charging* yang akan menurun ketika tengangan baterai hampir mencapai 7.4VDC tegangan baterai yang naik secara perlahan akan naik drastis hingga menyentuh 7.4VDC hal itu disebabkan oleh metode CC/CV yang digunakan, jadi pada proses awal pengisian BMS akan mengisi baterai dengan arus konstan dengan tegangan yang perlahan naik kemudian ketika baterai hampir terisi penuh nilai arus akan menurun drastis dan nilai tegangan akan naik secara signifikan hal itu terjadi

dikarenakan metode *Charging* dengan CC/CV digunakan untuk menghindari pengisian berlebih atau *Overcharge* yang dapat mengakibatkan baterai meledak.

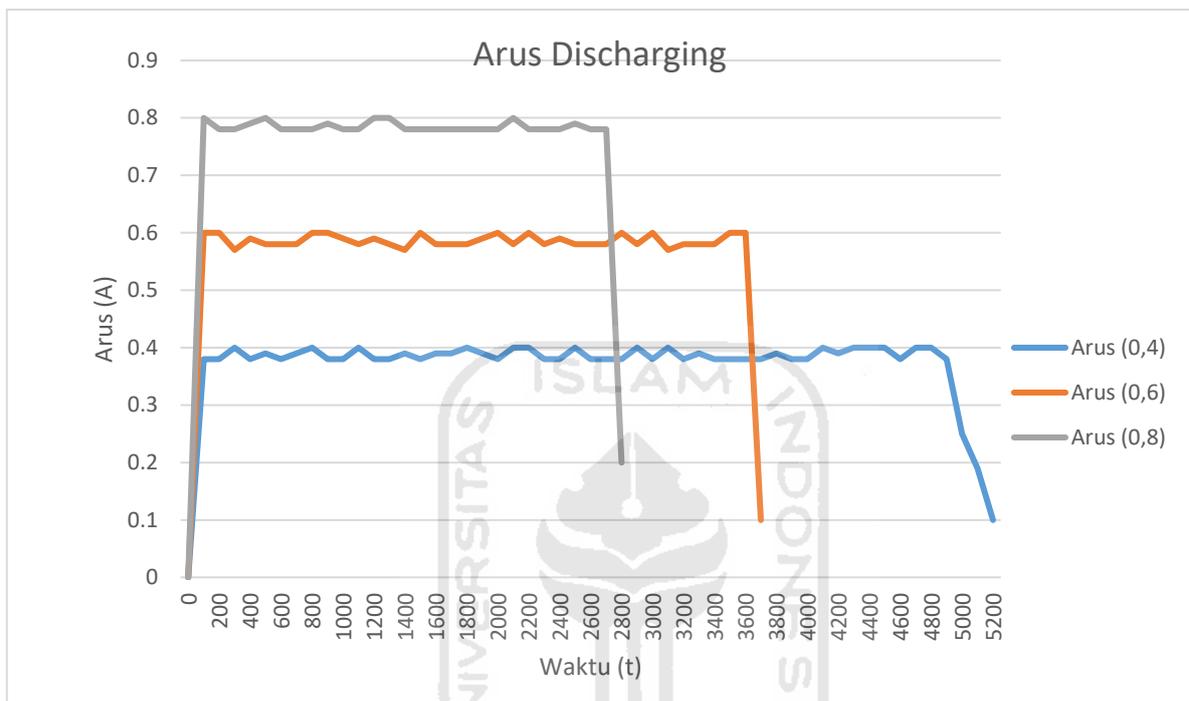


Gambar 4.3 Grafik Suhu Pada Proses *Charging*

Pada gambar 4.3 adalah grafik mengenai suhu pada proses *Charging*, suhu pada proses *Charging* sangat dipengaruhi oleh suhu ruangan, waktu pengambilan dan jumlah arus yang masuk kedalam sel baterai. Dapat dilihat pada gambar 4.3 pada variasi arus 0,8A suhu awalnya adalah 26°C yang dimana lebih rendah dari suhu dikedua variasi arus 0,4A dan 0,6A hal tersebut dikarenakan pengambilan data variasi arus 0,8A dilakukan pada malam hari sehingga suhu ruangan pada posisi paling rendah. Dari ketiga variasi arus tersebut kenaikan suhu pada proses *Charging* rata-rata hanya 3°C, nilai tersebut sangat rendah dikarenakan arus yang masuk kedalam baterai juga rendah sehingga tidak menyebabkan kenaikan suhu yang signifikan.

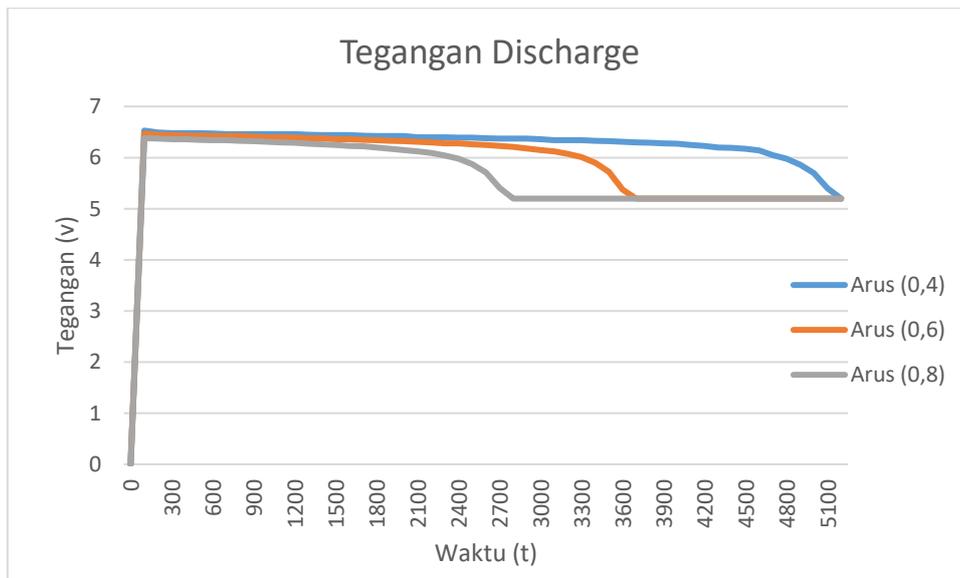
## 4.2 Hasil Pengujian *Discharging*

Berikut adalah grafik arus yang dihasilkan dari proses *Discharging* dengan variasi arus sebesar 0,4A, 0,6A dan 0,8 A:



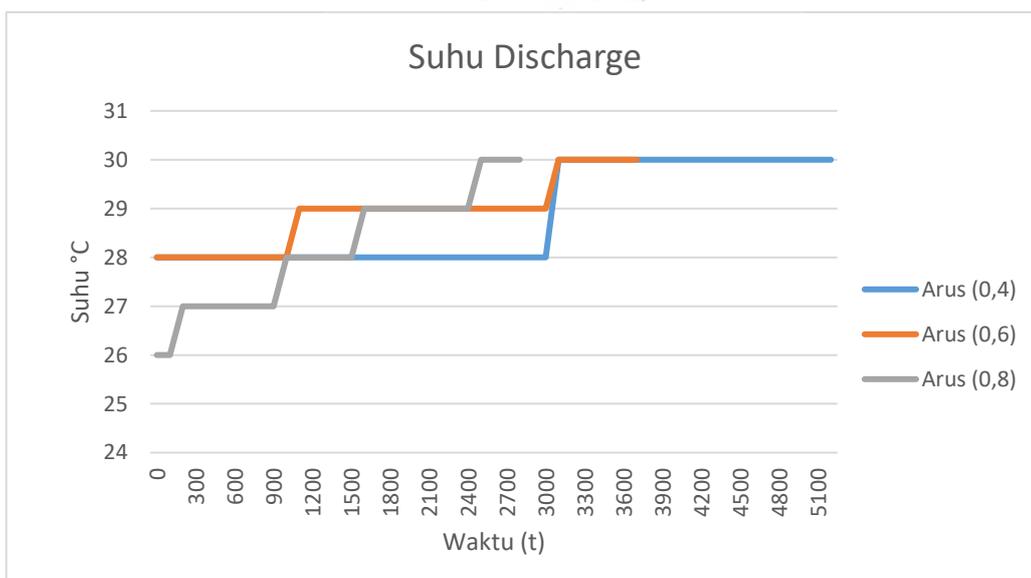
Gambar 4.4 Grafik Arus Pada Proses *Discharging*

Proses *Discharging* juga dilakukan dengan memvariasikan arus sebesar 0,4A, 0,6A dan 0,8A. Karakteristik kurva yang dihasilkan dari proses *Discharging* memiliki kesamaan dengan proses *Charging* dimana arus pada awal proses *Discharging* akan melonjak naik sesuai dengan nilai arus yang telah *disetting* pada BMS yaitu 0,4A, 0,6A dan 0,8A, kemudian nilai arus akan turun secara signifikan ketika tegangan baterai hampir mencapai 5,2VDC, arus akan menurun drastis untuk menjaga baterai tidak melewati tegangan minimum *Discharge* baterai yaitu 5,2VDC. jika tegangan baterai saat proses *Discharge* melewati tegangan minimum nya baterai akan terkena *Deep Discharging* yang dimana dapat membuat sel baterai mati. Kemudian waktu yang ditempuh pada proses *Discharging* mempunyai kemiripan dengan proses *Charging* yaitu semakin besar arus yang digunakan maka waktu proses *Discharge* akan semakin singkat, dapat terlihat pada Gambar 4.4 waktu yang dibutuhkan oleh arus 0,8A untuk melakukan proses *Discharge* adalah 0,78 jam, sedangkan arus 0,6A memakan waktu 1,028 jam dan arus 0,4A memakan waktu 1,44 jam.



Gambar 4.5 Grafik Tegangan Pada Proses *Discharging*

Pada gambar 4.5 adalah grafik tegangan pada proses *Discharging*, pada variasi arus 0,8A mempunyai tegangan awal yang lebih kecil yaitu 6,38VDC dalam 100s hal tersebut dikarenakan arus yang besar mampu mengambil muatan pada baterai dengan lebih besar juga sehingga tegangan pada baterai lebih cepat terkuras dan juga arus yang besar dapat menyebabkan jumlah reaksi redoks yang lebih banyak pada baterai oleh karena itu arus 0,8A menempuh waktu paling cepat pada proses ini yaitu 0,78 jam lalu arus 0,6A memakan waktu 1,028 jam dan arus 0,4A memakan waktu paling lambat yaitu 1,44 jam. Kemudian pada proses ini tegangan baterai akan menurun secara drastis saat hampir menyentuh nilai minimum *Discharge* nya (5,2VDC) hal tersebut dikarenakan metode CC/CV yang digunakan.



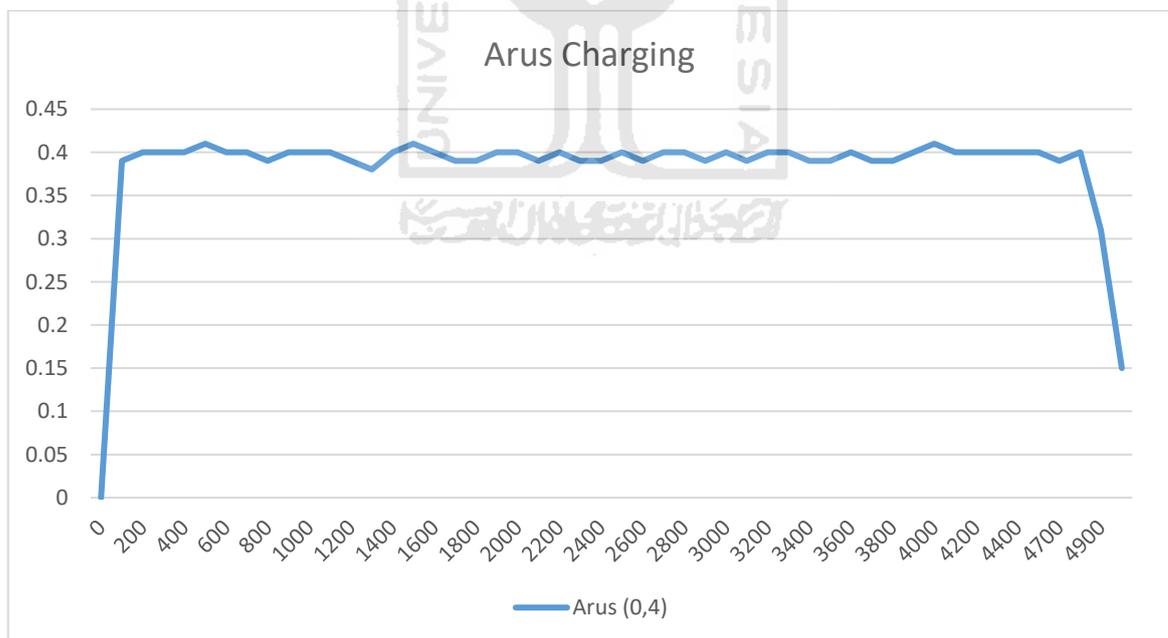
Gambar 4.6 Grafik Suhu Pada Proses *Discharging*

Sama halnya dengan proses *Charging*, suhu pada proses *Discharging* juga sangat dipengaruhi oleh suhu ruangan, waktu pengambilan data dan arus yang masuk kedalam sel baterai. Pada proses *Discharging* muatan baterai akan diambil kemudian diubah menjadi panas oleh BMS sehingga perubahan panas yang signifikan terjadi pada BMS bukan pada sel baterai. Pada proses ini dapat dilihat pada gambar 4.6. suhu pada variasi arus 0,8 mempunyai titik awal paling rendah yaitu 26°C hal tersebut dikarenakan pada pengambilan data tersebut dilakukan di malam hari yang dimana suhu ruangan dalam posisi paling rendah, dari ketiga variasi arus yang dilakukan perubahan suhunya rata-rata hanya sebesar 3°C hal tersebut dikarenakan arus yang digunakan pada proses *Discharging* ini relatif kecil.

### 4.3 Energi Efisiensi Baterai Dengan Arus Charging/Discharging Sebanding

Untuk menghitung kapasitas baterai, perlu diketahui terlebih dahulu jumlah kapasitasnya pada kondisi *Charging/Discharging*, Kapasitas baterai pada kondisi *Charging/Discharging* dapat dihitung dengan persamaan 2.3 sebagai berikut:

$$C = I \times t \quad (2.3)$$



Gambar 4.7 Grafik arus 0,4A pada proses Charging

Untuk menghitung nilai kapasitas pada proses *Charging* dibagi menjadi 3 bagian yaitu pada saat arus pada waktu 0-200s, 200-4800s dan 4800-4900s. untuk perhitungan kapasitas *Charging* pada waktu 0-200s adalah sebagai berikut:

$$C = \left( \frac{0,1 + 0,2 + 0,3 + 0,4}{4} \right) \times \frac{200}{3600} = 13,75 \text{ mAh}$$

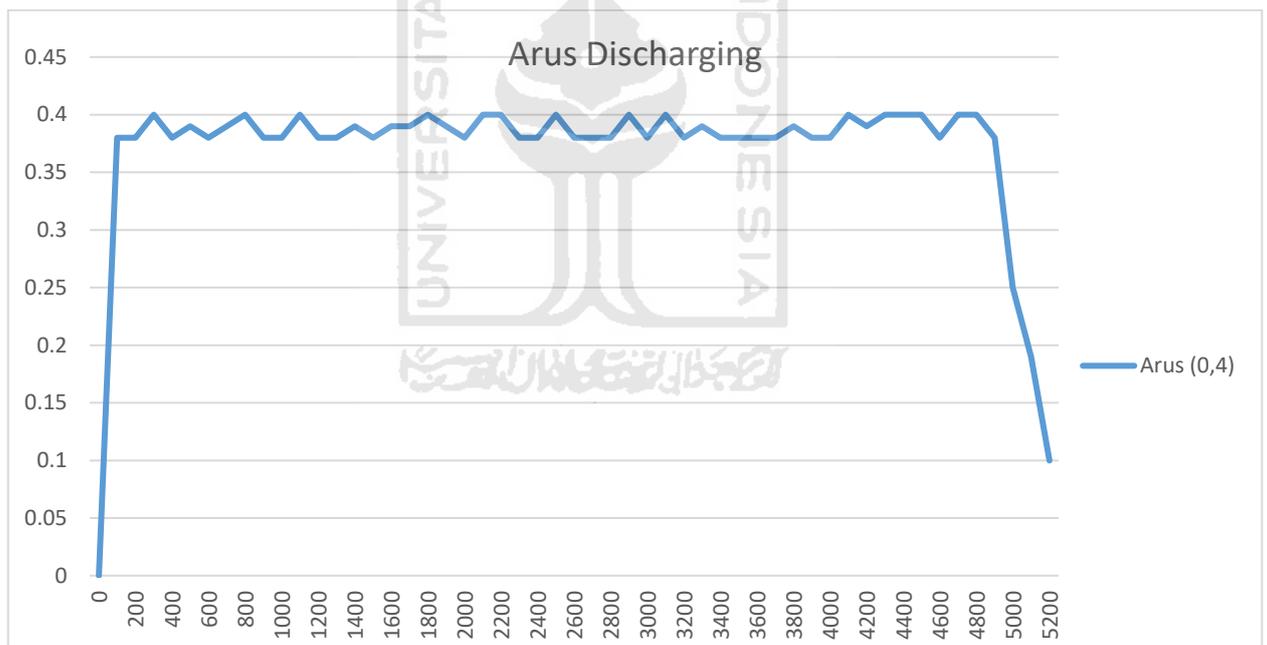
Kemudian mencari nilai kapasitas *Charging* pada waktu 200-4800s angka 0,396 didapatkan dari rata-rata arus pada waktu 200-4800s, berikut adalah perhitungannya:

$$C = 0,396 \times \frac{4600}{3600} = 505,5 \text{ mAh}$$

Kemudian mencari nilai kapasitas *Charging* pada waktu 4800s-4900s dengan perhitungan berikut:

$$= \frac{0,4 + 0,3 + 0,2 + 0,15}{4} \times \frac{100}{3600} = 29 \text{ mAh}$$

Setelah itu hasil dari ketiga perhitungan dijumlahkan dan untuk variasi arus 0,4A mendapatkan nilai kapasitas *Charging* sebesar 548,25mAh.



Gambar 4.8 Grafik arus 0,4A pada proses Discharging

Untuk menghitung nilai kapasitas pada proses *Discharging* dibagi menjadi 3 bagian yaitu pada saat arus pada waktu 0-200s, 200-4800s dan 4800-5200s. untuk perhitungan kapasitas *Disharging* pada waktu 0-200s adalah sebagai berikut:

$$C = \left( \frac{0,1 + 0,25 + 0,31 + 0,39}{4} \right) \times \frac{200}{3600} = 13,75 \text{ mAh}$$

Kemudian mencari nilai kapasitas *Discharging* pada waktu 200-4800s, angka 0,388 didapatkan dari rata-rata arus pada waktu 200-4800s, berikut adalah perhitungannya:

$$C = 0,388 \times \frac{4600}{3600} = 495,7 \text{ mAh}$$

Kemudian mencari nilai kapasitas *Discharging* pada waktu 4800s-5200s dengan perhitungan berikut:

$$= \frac{0,39 + 0,29 + 0,18 + 0,1}{4} \times \frac{400}{3600} = 26,6 \text{ mAh}$$

Setelah itu hasil dari ketiga perhitungan dijumlahkan dan untuk variasi arus 0,4A mendapatkan nilai kapasitas *Discharging* sebesar 536,05mAh.

Setelah diketahui jumlah kapasitas *Charging/Discharging* maka akan dilanjutkan dengan menghitung Efisiensi Energi dari baterai dengan persamaan 2.5 sebagai berikut:

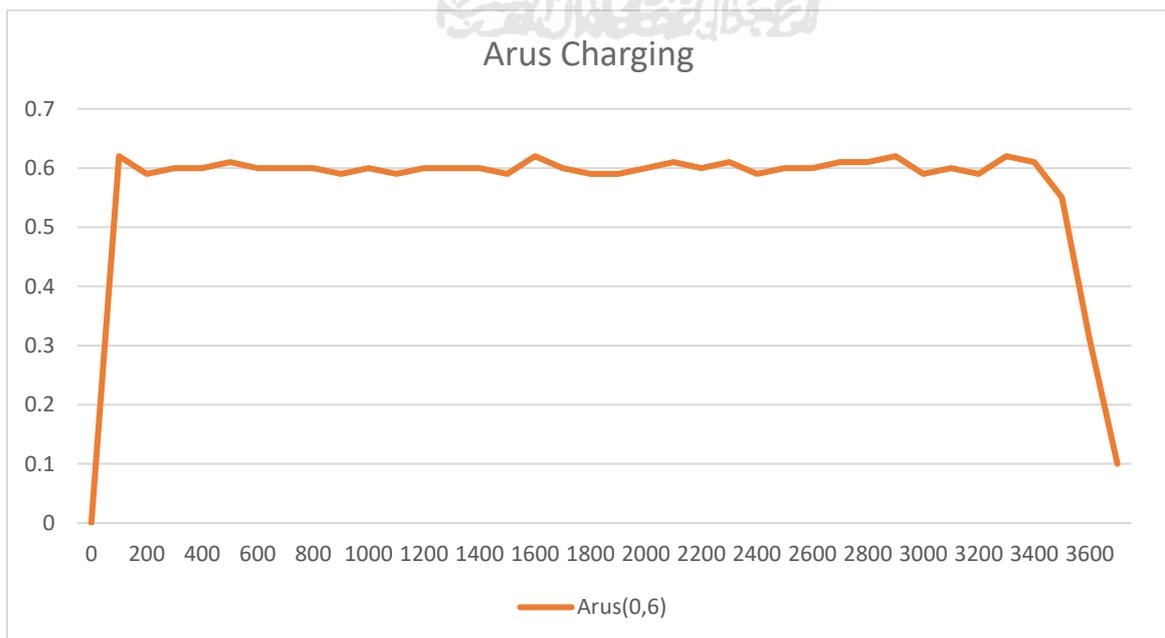
$$\eta = \frac{C_d}{C_c} \times 100 \tag{2.5}$$

$$\eta = \frac{536,05}{548,25} \times 100$$

$$\eta = 0,97,7 \times 100$$

$$\eta = 97,7\%$$

Setelah dilakukan perhitungan Energi efisiensi dari baterai yang divariasikan arus *Charging/Discharging* sebesar 0,4A didapatkan nilai efisiensi energi 97,6%.



Gambar 4.9 Grafik arus 0,6A pada proses Charging

Untuk menghitung nilai kapasitas pada proses *Charging* dibagi menjadi 3 bagian yaitu pada saat arus pada waktu 0-100s, 100-3400s dan 3400-3700s. untuk perhitungan kapasitas *Charging* pada waktu 0-200s adalah sebagai berikut:

$$= \left( \frac{0,15 + 0,3 + 0,44 + 0,58}{4} \right) \times \frac{100}{3600} = 10,2 \text{ mAh}$$

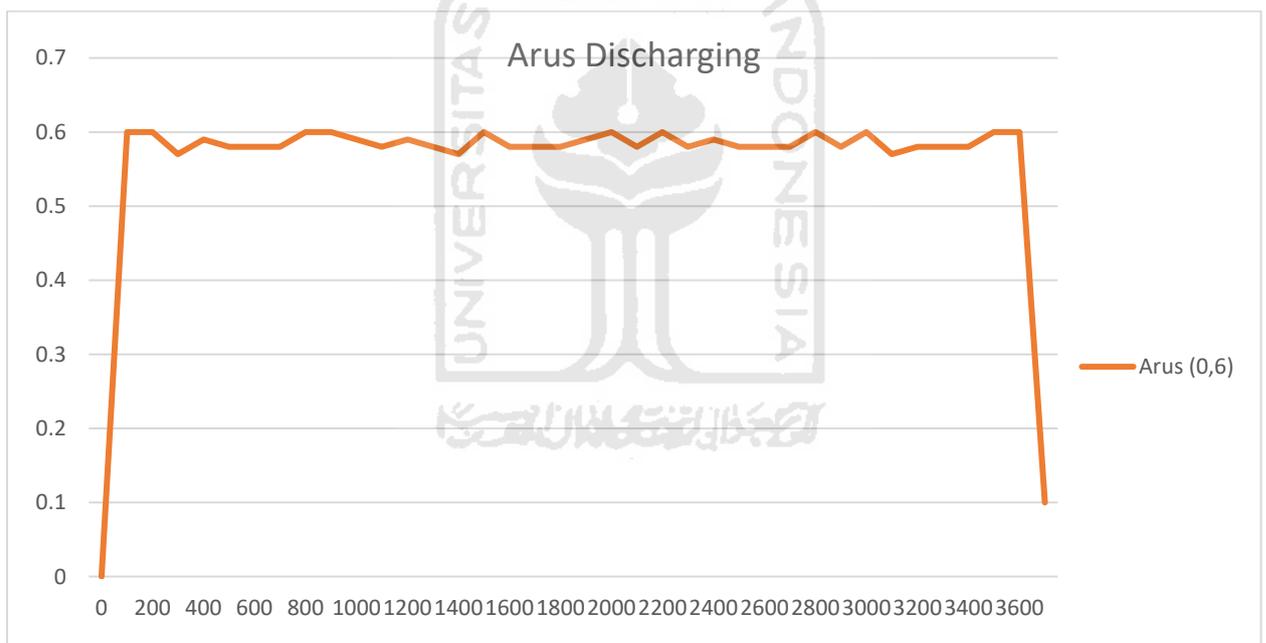
Kemudian mencari nilai kapasitas *Charging* pada waktu 100-3400s, angka 0.6009 didapatkan dari rata-rata arus pada waktu 100-3400s, berikut adalah perhitungannya:

$$C = 0,6009 \times \frac{3300}{3600} = 550 \text{ mAh}$$

Kemudian mencari nilai kapasitas *Charging* pada waktu 3400s-3700s dengan perhitungan berikut:

$$= \frac{0,6 + 0,43 + 0,29 + 0,13}{4} \times \frac{300}{3600} = 30 \text{ mAh}$$

Setelah itu hasil dari ketiga perhitungan dijumlahkan dan untuk variasi arus 0,6A mendapatkan nilai kapasitas *Charging* sebesar 590,2mAh.



Gambar 4.10 Grafik arus 0,6A pada proses Discharging

Untuk menghitung nilai kapasitas pada proses *Disharging* dibagi menjadi 3 bagian yaitu pada saat arus pada waktu 0-100s, 100-3500s dan 3500-3700s. untuk perhitungan kapasitas *Disharging* pada waktu 0-100s adalah sebagai berikut:

$$= \left( \frac{0,14 + 0,32 + 0,44 + 0,6}{4} \right) \times \frac{100}{3600} = 10,4 \text{ mAh}$$

Kemudian mencari nilai kapasitas *Discharging* pada waktu 100-3500s, angka 0,558 didapatkan dari rata-rata arus pada waktu 100-3500s, berikut adalah perhitungannya:

$$C = 0,585 \times \frac{3300}{3600} = 552,2 \text{ mAh}$$

Kemudian mencari nilai kapasitas *Charging* pada waktu 3500s-3700s dengan perhitungan berikut:

$$= \frac{0,61 + 0,49 + 0,33 + 0,18}{4} \times \frac{200}{3600} = 22,3 \text{ mAh}$$

Setelah itu hasil dari ketiga perhitungan dijumlahkan dan untuk variasi arus 0,6A mendapatkan nilai kapasitas *Discharging* sebesar 584,9mAh.

Setelah diketahui jumlah kapasitas *Charging/Discharging* maka akan dilanjutkan dengan menghitung Efisiensi Energi dari baterai dengan persamaan 2.5 sebagai berikut:

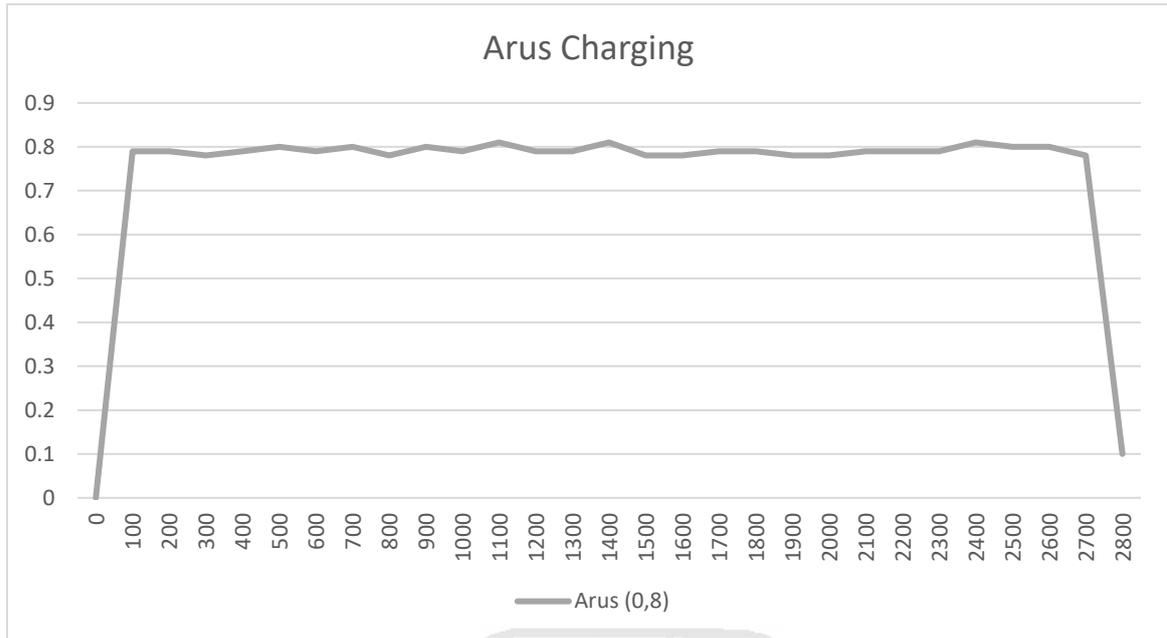
$$\eta = \frac{C_d}{C_c} \times 100 \quad (2.5)$$

$$\eta = \frac{584,9}{590,2} \times 100$$

$$\eta = 0,991 \times 100$$

$$\eta = 99,1\%$$

Setelah dilakukan perhitungan Energi efisiensi dari baterai yang divariasikan arus *Charging/Discharging* sebesar 0,6A didapatkan nilai efisiensi energi 99,1%.



Gambar 4.11 Grafik arus 0,8A pada proses Charging

Untuk menghitung nilai kapasitas pada proses *Charging* dibagi menjadi 3 bagian yaitu pada saat arus pada waktu 0-100s, 100-2700s dan 2700-2800s. untuk perhitungan kapasitas *Disharging* pada waktu 0-100s adalah sebagai berikut:

$$= \left( \frac{0,2 + 0,39 + 0,59 + 0,79}{4} \right) \times \frac{100}{3600} = 10,4 \text{ mAh}$$

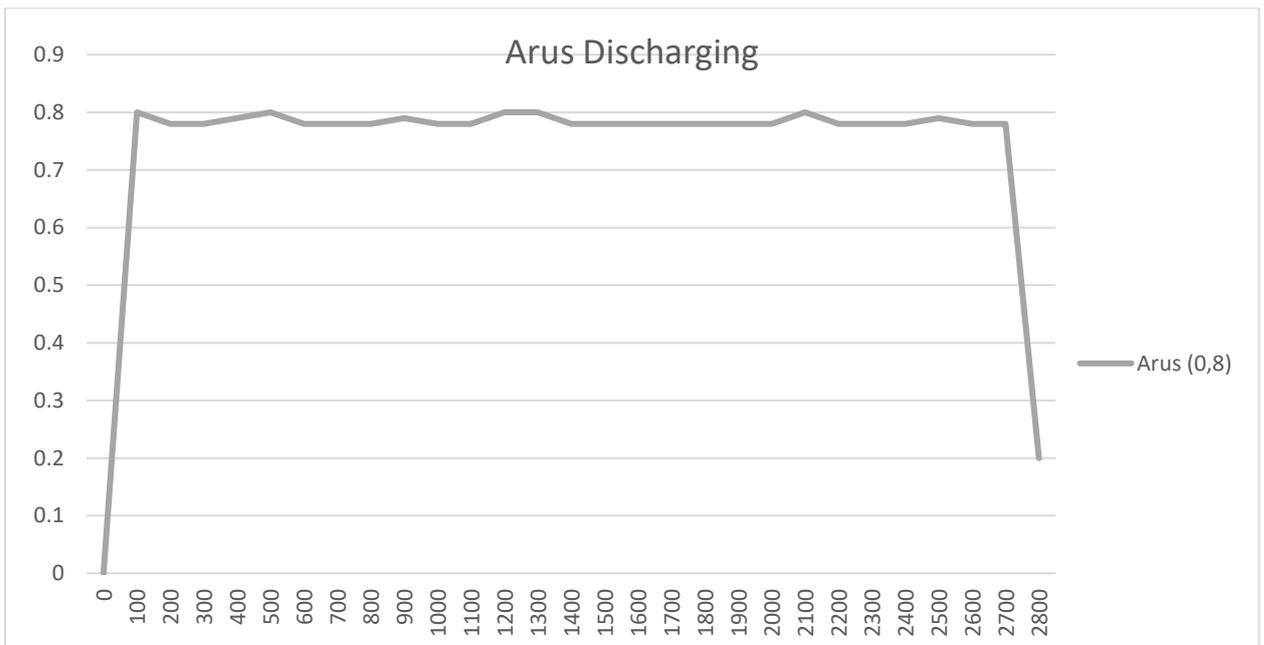
Kemudian mencari nilai kapasitas *Charging* pada waktu 100-2700s, angka 0,791 didapatkan dari rata-rata arus pada waktu 100-2700s, berikut adalah perhitungannya:

$$C = 0,791 \times \frac{2600}{3600} = 571,1 \text{ mAh}$$

Kemudian mencari nilai kapasitas *Charging* pada waktu 2700s-2800s dengan perhitungan berikut:

$$= \frac{0,78 + 0,6 + 0,41 + 0,19}{4} \times \frac{100}{3600} = 13,7 \text{ mAh}$$

Setelah itu hasil dari ketiga perhitungan dijumlahkan dan untuk variasi arus 0,8A mendapatkan nilai kapasitas *Charging* sebesar 595,2mAh.



Gambar 4.12 Grafik arus 0,8A pada proses Discharging

Untuk menghitung nilai kapasitas pada proses *Discharging* dibagi menjadi 3 bagian yaitu pada saat arus pada waktu 0-100s, 100-2700s dan 2700-2800s. untuk perhitungan kapasitas *Disharging* pada waktu 0-100s adalah sebagai berikut:

$$= \left( \frac{0,19 + 0,41 + 0,6 + 0,78}{4} \right) \times \frac{100}{3600} = 13,7 \text{ mAh}$$

Kemudian mencari nilai kapasitas *Discharging* pada waktu 100-2700s, angka 0,784 didapatkan dari rata-rata arus pada waktu 100-2700s, berikut adalah perhitungannya:

$$C = 0,784 \times \frac{2600}{3600} = 566 \text{ mAh}$$

Kemudian mencari nilai kapasitas *Discharging* pada waktu 2700s-2800s dengan perhitungan berikut:

$$= \frac{0,78 + 0,55 + 0,39 + 0,12}{4} \times \frac{100}{3600} = 12,7 \text{ mAh}$$

Setelah itu hasil dari ketiga perhitungan dijumlahkan dan untuk variasi arus 0,8A mendapatkan nilai kapasitas *Discharging* sebesar 592,4mAh.

Setelah diketahui jumlah kapasitas *Charging/Discharging* maka akan dilanjutkan dengan menghitung Efisiensi Energi dari baterai dengan persamaan 2.5 sebagai berikut:

$$\eta = \frac{Cd}{Cc} \times 100 \quad (2.5)$$

$$\eta = \frac{592,4}{595,2} \times 100$$

$$\eta = 0,995 \times 100$$

$$\eta = 99,5\%$$

Setelah dilakukan perhitungan Energi efisiensi dari baterai yang divariasikan arus *Charging/Discharging* sebesar 0,8A didapatkan nilai efisiensi energi 99,5%.

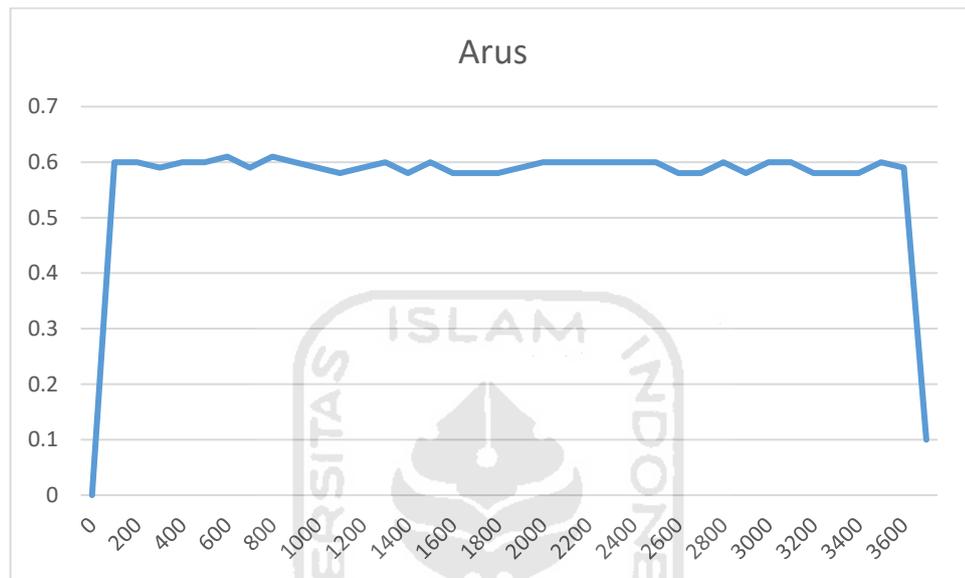
Setelah dilakukan perhitungan efisien baterai yang arusnya sudah divariasikan sebesar 0,4A, 0,6A dan 0,8A masing-masing adalah 97,7%, 99,1% dan 99,5%. Dari ketiga variasi arus tersebut dihasilkan efisiensi energi >97%, efisiensi energi paling tinggi diperoleh variasi arus 0,8A, hal tersebut dikarenakan waktu *Charging* dan *Discharging* dengan variasi arus 0,8A mempunyai kesamaan yaitu 2800s atau 0,78 jam dan juga variasi arus 0,8A merupakan arus yang paling tinggi yang dapat dimasukkan ke dalam sel baterai pada penelitian ini, hal inilah yang menyebabkan efisiensinya paling tinggi dikarenakan menggunakan arus dengan potensi maksimalnya.

Berbeda dengan halnya dengan variasi arus 0,4A yang menempuh waktu *Charging* 1,39 jam dan waktu *Discharging* 1,44 jam dan variasi arus 0,6A yang menempuh waktu *Charging* 1 jam dan waktu *Discharging* 1,028 jam, terdapat perbedaan waktu *Charging/Discharging* pada variasi arus 0,4A dan 0,6A yang menyebabkan muatan yang masuk atau pun keluar tidak sama hal tersebut dikarenakan keakuratan dari BMS yang digunakan dan menyebabkan efisiensinya tidak lebih baik dari variasi arus 0,8A.

#### 4.4 Energi Efisiensi Baterai Dengan Arus Charging/Discharging Tidak Sebanding

Pada perhitungan ini dilakukan perhitungan nilai efisiensi baterai dengan arus *Charging/Discharging* tidak sebanding, pada penelitian ini digunakan menggunakan arus *Charging* 0,6A dan arus *Discharging* 0,8A untuk mengetahui apakah perbedaan arus *Charging/Discharging* mempengaruhi nilai efisiensi baterai, untuk itu perlu diketahui dulu nilai dari kapasitas baterai menggunakan persamaan 2.3 berikut ini:

$$C = I \times t \quad (2.3)$$



Gambar 4.13 Grafik arus 0,6A pada proses Charging

Untuk menghitung nilai kapasitas pada proses *Charging* dibagi menjadi 3 bagian yaitu pada saat arus pada waktu 0-200s, 200-3600s dan 3600-3700s. untuk perhitungan kapasitas *Charging* pada waktu 0-200s adalah sebagai berikut:

$$C = \left( \frac{0,16 + 0,29 + 0,44 + 0,6}{4} \right) \times \frac{100}{3600} = 10,3 \text{ mAh}$$

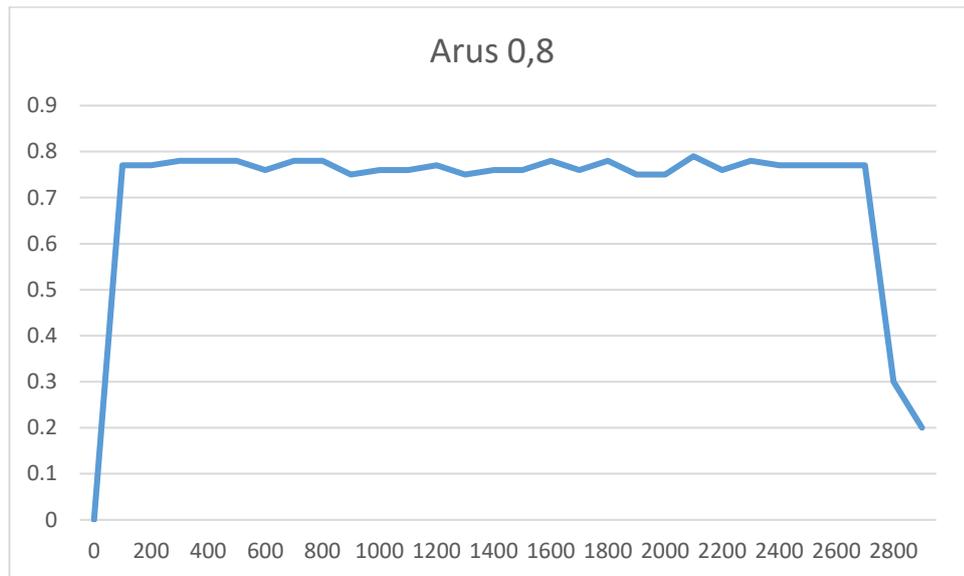
Kemudian mencari nilai kapasitas *Charging* pada waktu 200-3600s angka 0,588 didapatkan dari rata-rata arus pada waktu 300-4800s, berikut adalah perhitungannya:

$$C = 0,592 \times \frac{3400}{3600} = 559 \text{ mAh}$$

Kemudian mencari nilai kapasitas *Charging* pada waktu 3600s-3700s dengan perhitungan berikut:

$$= \frac{0,59 + 0,45 + 0,31 + 0,13}{4} \times \frac{100}{3600} = 10,2 \text{ mAh}$$

Setelah itu hasil dari ketiga perhitungan dijumlahkan dan untuk variasi arus 0,6A mendapatkan nilai kapasitas *Charging* sebesar 579,5mAh.



Gambar 4.14 Grafik arus 0,8A pada proses Discharging

Untuk menghitung nilai kapasitas pada proses *Discharging* dibagi menjadi 3 bagian yaitu pada saat arus pada waktu 0-100s, 100-2700s dan 2700-2850s. untuk perhitungan kapasitas *Disharging* pada waktu 0-200s adalah sebagai berikut:

$$C = \left( \frac{0,19 + 0,37 + 0,61 + 0,76}{4} \right) \times \frac{100}{3600} = 13,4 \text{ mAh}$$

Kemudian mencari nilai kapasitas *Discharging* pada waktu 100-2700s, angka 0,781 didapatkan dari rata-rata arus pada waktu 100-2700s, berikut adalah perhitungannya:

$$C = 0,768 \times \frac{2600}{3600} = 554 \text{ mAh}$$

Kemudian mencari nilai kapasitas *Discharging* pada waktu 2700s-2800s dengan perhitungan berikut:

$$= \frac{0,76 + 0,5 + 0,31 + 0,1}{4} \times \frac{150}{3600} = 11,5 \text{ mAh}$$

Setelah itu hasil dari ketiga perhitungan dijumlahkan dan untuk variasi arus 0,8A mendapatkan nilai kapasitas *Discharging* sebesar 578,9mAh.

Setelah diketahui jumlah kapasitas *Charging/Discharging* maka akan dilanjutkan dengan menghitung Efisiensi Energi dari baterai dengan persamaan 2.5 sebagai berikut:

$$\eta = \frac{C_d}{C_c} \times 100 \quad (2.5)$$

$$\eta = \frac{578,9}{579,5} \times 100$$

$$\eta = 0,998 \times 100$$

$$\eta = 99,8\%$$

Setelah dilakukan perhitungan Energi efisiensi dari baterai yang arus *Charging/Discharging* nya dibedakan terdapat kenaikan efisiensi jika dibandingkan dengan arus yang sebanding, pada arus *Charging* 0,6A dan arus *Discharging* 0,8A didapatkan nilai efisiensi energi 99,8%.



## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan percobaan *Charging/Discharging* baterai dengan metode CC/CV dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Efisiensi Energi yang dihasilkan baterai LiFePO<sub>4</sub> yang di *Charge* dan *Discharge* menggunakan metode CC/CV menghasilkan efisiensi energi lebih dari >98%.
2. Pengaruh memvariasikan arus pada proses *Charging* dan *Discharging* adalah mempengaruhi arus dan tegangan *Charging/Discharging*. Semakin besar arus *Charging* yang digunakan maka besar rentang tegangan awal baterai akan semakin besar tetapi hal itu berbanding terbalik saat proses *Discharging* yang dimana semakin besar arus yang digunakan maka rentang tegangan awal baterai akan semakin kecil karena arus yang besar dapat menguras baterai dengan cepat.
3. Memvariasikan arus mempengaruhi lama waktu proses *Charging/Discharging* semakin besar arus yang digunakan maka proses nya akan semakin cepat.
4. Membedakan arus *Charging/Discharging* dapat menimbulkan perbedaan efisiensi pada baterai.

#### 5.2 Saran

Untuk penelitian terkait *Charging/Discharging* baterai LiFePO<sub>4</sub> sebaiknya dilakukan dengan menggunakan metode *Charging/Discharging* baterai yang berbeda, hal ini bertujuan untuk mengetahui apakah metode *Charging/Discharging* mempengaruhi nilai efisiensi energi dari baterai LiFePO<sub>4</sub>, kemudian untuk penelitian selanjutnya gunakan BMS dengan fitur yang dapat mendeteksi kapasitas baterai agar waktu *Charging/Discharging* lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. P. Putra, “Universitas Indonesia Studi Karakteristik Pelepasan Muatan Baterai,” 2010.
- [2] M. Thowil Afif and I. Ayu Putri Pratiwi, “Analisis Perbandingan Baterai Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid dan Nickel-Metal Hydride pada Penggunaan Mobil Listrik - Review,” *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 6, no. 2, pp. 95–99, 2015.
- [3] A. C. C. Hua and B. Z. W. Syue, “Charge and Discharge Characteristics of Lead Acid Battery and LiFePO<sub>4</sub> Battery,” in *2010 International Power Electronics Conference - ECCE Asia -, IPEC 2010*, 2010, pp. 1478–1483.
- [4] K. P. Budi, “Pengaruh Variasi Arus Pengisian Pengosongan Muatan Pada Model Baterai Lead Acid Terhadap Perubahan Efisiensi Energi,” vol. 16, pp. 1–6, 2019.
- [5] H. U. Yin-quan, L. I. U. He-ping, Z. Yi, and L. I. U. Kai-feng, “Charging Method Research for Lithium Iron Phosphate Battery,” vol. 15, pp. 4367–4371, 2011.
- [6] A. S. Fitri, “Pengaruh Proses Pengosongan (Discharging) Terhadap Kapasitas dan Efisiensi Baterai 110 VDC di Gardu Induk Sungai Kedukan Palembang,” Sriwijaya University, 2019.



## LAMPIRAN

### Lampiran 1 – Rincian Biaya Skripsi

No	Rincian	Harga (Rp)
1	Imax B6 Mini SkyRC	Rp.499,000.00
2	Baterai LiFePO4 2s 800mAh 6.6V	Rp.197,000.00
3	Power Supply	Rp.99,000.00
4	Temperature Probe SK-600040	Rp.143,000.00
<b>Jumlah</b>		<b>Rp.935,000.00</b>

### Lampiran 2 – Data pengujian *Charging* dengan arus 0,4A

Waktu (s)	Tegangan (V)	Arus (I)	Suhu ©
0	0	0	29
100	6,04	0,39	29
200	6,25	0,4	29
300	6,38	0,4	29
400	6,44	0,4	29
500	6,49	0,41	29
600	6,52	0,4	29
700	6,52	0,4	29
800	6,53	0,39	29
900	6,56	0,4	29
1000	6,57	0,4	29
1100	6,58	0,4	29
1200	6,6	0,39	29
1300	6,62	0,38	29
1400	6,64	0,4	29
1500	6,65	0,41	29
1600	6,66	0,4	29
1700	6,67	0,39	29
1800	6,68	0,39	29
1900	6,68	0,4	29
2000	6,68	0,4	29
2100	6,7	0,39	29
2200	6,7	0,4	29
2300	6,7	0,39	29
2400	6,71	0,39	29
2500	6,71	0,4	29
2600	6,71	0,39	29
2700	6,72	0,4	29
2800	6,72	0,4	29
2900	6,72	0,39	29

3000	6,73	0,4	30
3100	6,73	0,39	30
3200	6,74	0,4	30
3300	6,74	0,4	30
3400	6,74	0,39	30
3500	6,75	0,39	30
3600	6,75	0,4	30
3700	6,75	0,39	30
3800	6,76	0,39	30
3900	6,77	0,4	30
4000	6,77	0,41	30
4100	6,78	0,4	30
4200	6,78	0,4	30
4300	6,79	0,4	30
4400	6,8	0,4	30
4600	6,83	0,4	30
4700	6,85	0,39	30
4800	6,94	0,4	30
4900	7,4	0,4	30
5000	7,4	0,15	30

**Lampiran 3 – Data pengujian *Discharging* dengan arus 0,4A**

Waktu (s)	Tegangan (V)	Arus (I)	Suhu ©
0	0	0	28
100	6,53	0,38	28
200	6,49	0,38	28
300	6,48	0,4	28
400	6,48	0,38	28
500	6,48	0,39	28
600	6,47	0,38	28
700	6,46	0,39	28
800	6,46	0,4	28
900	6,46	0,38	28
1000	6,46	0,38	28
1100	6,46	0,4	28
1200	6,46	0,38	28
1300	6,45	0,38	28
1400	6,44	0,39	28
1500	6,44	0,38	28
1600	6,44	0,39	28
1700	6,43	0,39	28
1800	6,42	0,4	28
1900	6,42	0,39	28
2000	6,42	0,38	28
2100	6,4	0,4	28

2200	6,4	0,4	28
2300	6,4	0,38	28
2400	6,39	0,38	28
2500	6,39	0,4	28
2600	6,38	0,38	28
2700	6,37	0,38	28
2800	6,37	0,38	28
2900	6,37	0,4	28
3000	6,36	0,38	28
3100	6,34	0,4	30
3200	6,34	0,38	30
3300	6,34	0,39	30
3400	6,33	0,38	30
3500	6,32	0,38	30
3600	6,31	0,38	30
3700	6,3	0,38	30
3800	6,29	0,39	30
3900	6,28	0,38	30
4000	6,27	0,38	30
4100	6,25	0,4	30
4200	6,23	0,39	30
4300	6,2	0,4	30
4400	6,19	0,4	30
4500	6,17	0,4	30
4600	6,14	0,38	30
4700	6,05	0,4	30
4800	5,98	0,4	30
4900	5,86	0,38	30
5000	5,7	0,25	30
5100	5,4	0,19	30
5200	5,2	0,1	30

**Lampiran 4 – Data pengujian *Charging* dengan arus 0,6A**

Waktu (s)	Tegangan (V)	Arus (I)	Suhu ©
0	0	0	28
100	6,23	0,62	28
200	6,42	0,59	28
300	6,51	0,6	28
400	6,54	0,6	28
500	6,59	0,61	28
600	6,6	0,6	28
700	6,63	0,6	28
800	6,66	0,6	28
900	6,67	0,59	29
1000	6,69	0,6	29

1100	6,71	0,59	29
1200	6,73	0,6	29
1300	6,73	0,6	29
1400	6,74	0,6	29
1500	6,75	0,59	29
1600	6,75	0,62	29
1700	6,76	0,6	29
1800	6,77	0,59	29
1900	6,77	0,59	29
2000	6,78	0,6	29
2100	6,78	0,61	30
2200	6,79	0,6	30
2300	6,79	0,61	30
2400	6,79	0,59	30
2500	6,81	0,6	30
2600	6,82	0,6	30
2700	6,82	0,61	30
2800	6,83	0,61	30
2900	6,84	0,62	30
3000	6,85	0,59	30
3100	6,87	0,6	30
3200	6,88	0,59	30
3300	6,95	0,62	30
3400	7,25	0,61	30
3500	7,4	0,55	30
3600	7,4	0,31	30

**Lampiran 4 – Data pengujian *Discharging* dengan arus 0,6A**

Waktu (s)	Tegangan (V)	Arus (I)	Suhu ©
0	0	0	28
100	6,47	0,6	28
200	6,45	0,6	28
300	6,44	0,57	28
400	6,43	0,59	28
500	6,43	0,58	28
600	6,42	0,58	28
700	6,42	0,58	28
800	6,42	0,6	28
900	6,41	0,6	28
1000	6,4	0,59	28
1100	6,4	0,58	29
1200	6,39	0,59	29
1300	6,38	0,58	29
1400	6,38	0,57	29
1500	6,36	0,6	29

1600	6,36	0,58	29
1700	6,35	0,58	29
1800	6,34	0,58	29
1900	6,33	0,59	29
2000	6,32	0,6	29
2100	6,31	0,58	29
2200	6,3	0,6	29
2300	6,28	0,58	29
2400	6,28	0,59	29
2500	6,26	0,58	29
2600	6,25	0,58	29
2700	6,23	0,58	29
2800	6,21	0,6	29
2900	6,18	0,58	29
3000	6,15	0,6	29
3100	6,12	0,57	30
3200	6,07	0,58	30
3300	6,01	0,58	30
3400	5,9	0,58	30
3500	5,72	0,6	30
3600	5,37	0,58	30
3700	5,37	0	30

**Lampiran 5 – Data pengujian *Charging* dengan arus 0,8A**

Waktu (s)	Tegangan (V)	Arus (I)	Suhu ©
0	0	0	26
100	6,4	0,79	26
200	6,57	0,79	26
300	6,61	0,78	26
400	6,64	0,79	27
500	6,68	0,8	27
600	6,7	0,79	27
700	6,72	0,8	27
800	6,74	0,78	28
900	6,76	0,8	28
1000	6,77	0,79	28
1100	6,78	0,81	28
1200	6,79	0,79	29
1300	6,8	0,79	29
1400	6,81	0,81	29
1500	6,82	0,78	29
1600	6,82	0,78	29
1700	6,83	0,79	29
1800	6,84	0,79	30
1900	6,85	0,78	30

2000	6,86	0,78	30
2100	6,87	0,79	30
2200	6,88	0,79	30
2300	6,9	0,79	30
2400	6,91	0,81	30
2500	6,94	0,8	30
2600	6,99	0,8	30
2700	7,25	0,78	30
2800	7,4	0,15	30

**Lampiran 6 – Data pengujian *Discharging* dengan arus 0,8A**

Waktu (s)	Tegangan (V)	Arus (I)	Suhu ©
0	0	0	26
100	6,38	0,8	26
200	6,37	0,78	27
300	6,36	0,78	27
400	6,36	0,79	27
500	6,35	0,8	27
600	6,34	0,78	27
700	6,34	0,78	27
800	6,33	0,78	27
900	6,32	0,79	27
1000	6,31	0,78	28
1100	6,3	0,78	28
1200	6,29	0,8	28
1300	6,27	0,8	28
1400	6,26	0,78	28
1500	6,25	0,78	28
1600	6,23	0,78	29
1700	6,22	0,78	29
1800	6,2	0,78	29
1900	6,17	0,78	29
2000	6,15	0,78	29
2100	6,12	0,8	29
2200	6,09	0,78	29
2300	6,04	0,78	29
2400	5,98	0,78	29
2500	5,87	0,79	30
2600	5,71	0,78	30
2700	5,41	0,8	30
2800	5,24	0,2	30