

**RANCANG BANGUN *BATTERY MANAGEMENT SYSTEM*  
*ACTIVE BALANCING* PADA BATERAI *LI-ION* 12V 2,5Ah**

**SKRIPSI**

untuk memenuhi salah satu persyaratan  
mencapai derajat Sarjana S1



**Disusun oleh:**

**M Nurul Hilal Lubudi**

**16524066**

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

**2020**

# LEMBAR PENGESAHAN

RANCANG BANGUN *BATTERY MANAGEMENT SYSTEM ACTIVE BALANCING*

PADA BATERAI *LI-ION 12V 2,5Ah*

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:

M Nurul Hilal Lubudi

16524066

الجمهورية الإسلامية اندونيسية  
Yogyakarta, 26 Agustus 2020

Menyetujui,

Pembimbing I



Setyawan Wahyu Pratomo

155241302

# LEMBAR PENGESAHAN

## SKRIPSI

RANCANG BANGUN *BATTERY MANAGEMENT SYSTEM ACTIVE BALANCING*

PADA BATERAI *LI-ION 12V 2,5Ah*

Dipersiapkan dan disusun oleh:

**M Nurul Hilal Lubudi**

**16524066**

Telah dipertahankan di depan dewan penguji

Pada tanggal: 26 Agustus 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: Medilla Kusriyanto S.T., 

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

Tanggal: 26 Agustus 2020

Ketua Program Studi Teknik Elektro



**Yusuf Aziz Amrulloh, S.T., Sc., P.h.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.

Yogyakarta, 30 Juni 2020



M Nurul Hilal Lubudi

## KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Wr.Wb

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul “Rancang Bangun *Battery Management System Active Balancing* Pada Baterai *Li-ion 12V 2,5Ah*” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada program studi teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.

Sholawat serta salam senantiasa penulis haturkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah membimbing umat dari zaman kegelapan menuju zaman penuh cahaya yang dirahmati Allah SWT. Selama pelaksanaan tugas akhir, penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak, untuk itu dengan kerendahan hati, penulis ingin berterima kasih kepada:

1. Ibu, Bapak dan seluruh keluarga atas segala doa, nasehat, dukungan, saran, motivasi dan kasih sayang yang telah diberikan.
2. Bapak Dr. Yusuf Aziz Amrullah, S.T., M,Sc., P.h.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Setyawan Wahyu Pratomo, ST., M.T. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah membimbing , memberi saran, masukan, serta pengarahan selama proses penyusunan skripsi ini
4. Seluruh dosen dan staff Program Studi Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan ilmu dan bantuan dalam bentuk apapun.
5. Seluruh keluarga besar Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia khususnya angkatan 2016 yang telah memberikan bantuan dan semangat dalam mngerjakan skripsi.
6. Seluruh pihak yang terlibat dari awal hingga akhir dalam pengerjaan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang bersifat membangun dan positif untuk pengembangan kedepannya. Akhir kata semoga skripsi ini dapat bermafaat dan dapat menambah ilmu pengetahuan bagi semua pihak terutama teman-teman Teknik Elektro.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

## ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

BMS	: <i>Battery Management System</i>
LCD	: <i>Liquid Crystal Display</i>
LI-Ion	: <i>Lithium Ion</i>
A	: Ampere
V	: Volt
R	: Resistan
I	: Arus
Ah	: <i>Ampere Hour</i>
ADC	: <i>Analog to Digital</i>
K	: Kilo
WHO	: <i>World Health Organization</i>
DC	: <i>Direct Current</i>
AC	: <i>Alternating Current</i>
LFP	: <i>Lithium Fero Phosphate</i>
NCA	: <i>Nickel Cobalt Aluminum Oxide</i>
MOSFET	: <i>Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor</i>
SOC	: <i>State Of Charge</i>

## ABSTRAK

Berkembangnya kebutuhan akan penyimpanan energi menyebabkan kebutuhan baterai semakin meningkat misalnya pada penggunaan baterai litium hal tersebut dikarenakan baterai litium ion memiliki banyak kelebihan mulai dari kerapatan energi yang tinggi hingga perawatannya yang mudah. Baterai lithium ion yang dihubungkan secara seri memberikan masalah teknis berupa ketidak seimbangan tegangan yang terjadi pada *battery pack*. Pada penelitian ini dibuat sistem penyeimbangan tegangan sel baterai dengan menggunakan topologi *flyback converter* arsitektur *pack to cell*, dimana energi pada *pack* yang memiliki tegangan paling tinggi akan ditransfer ke sel untuk menyeimbangkan tegangan antar sel. *Battery pack* yang digunakan memiliki konfigurasi 4S1P, pada BMS yang dirancang memiliki tiga fitur utama yaitu *monitoring*, *balancing*, dan proteksi. Hasil pengujian menunjukkan performa BMS untuk *monitoring* nilai tegangan dan nilai arus memiliki akurasi sebesar 99,99% dan 91,7%. Pada fitur *balancing* lama waktu yang dibutuhkan untuk melakukan penyeimbangan tegangan baterai bergantung pada besarnya perbedaan tegangan antar baterai dan banyaknya baterai yang memiliki nilai tegangan yang berbeda. Pada fitur proteksi dapat melakukan kinerja yang baik saat mengatasi masalah *overcharge*.

Kata Kunci : *Battery Management System, Active Balancing, Overcharging, Monitoring*

# 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 .....	x
DAFTAR TABEL .....	xi
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 .....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	4
2.1 Studi Literatur .....	4
2.2 Tinjauan Teori.....	5
2.2.1 <i>Active Cell Balancing</i> .....	5
2.2.2 <i>Pack to Cell</i> .....	5
2.2.3 Proteksi Baterai.....	5
2.2.4 <i>Overcharging</i> .....	5
2.2.5 MOSFET.....	6
2.2.6 Konsep Pembagi Tegangan .....	6
2.2.7 Baterai <i>Li-Ion</i> .....	7



2.2.8 <i>Flyback Converter</i> .....	8
2.2.9 <i>Bridge Rectifier</i> .....	8
2.2.10 <i>Sensor ACS712</i> .....	9
2.2.11 <i>HCPL 3120</i> .....	9
2.2.12 <i>LCD (Liquid Crystal Display) 16x2</i> .....	10
2.2.13 <i>Arduino Mega 2560</i> .....	10
2.2.14 <i>DC to DC Converter</i> .....	11
<b>BAB 3 METODOLOGI</b> .....	<b>12</b>
3.1 <i>Alat dan Bahan</i> .....	12
3.2 <i>Alur Penelitian</i> .....	13
3.3 <i>Perancangan Sistem</i> .....	15
3.3.1 <i>Perancangan BMS Active Balancing</i> .....	15
3.3.2 <i>Perancangan Driver MOSFET</i> .....	15
3.3.3 <i>Perancangan Sensor Tegangan</i> .....	16
3.3.4 <i>Perancangan Sensor Arus</i> .....	16
3.3.5 <i>Perancangan Sistem Cutoff</i> .....	17
3.3.6 <i>Perancangan Hardware BMS Active Balancing</i> .....	17
3.3.7 <i>Perancangan Program/Software</i> .....	18
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>20</b>
4.1 <i>Pengujian Pembacaan Tegangan</i> .....	20
4.1.1 <i>Pembacaan ADC Sensor Tegangan</i> .....	20
4.1.2 <i>Kalibrasi Sensor Tegangan</i> .....	21
4.1.3 <i>Hasil Pembacaan Tegangan dan Tingkat Akurasi Sensor</i> .....	21
4.1.4 <i>Pengujian Pembacaan Tegangan Menggunakan Baterai LG 3,7V 2,7Ah</i> .....	22
4.2 <i>Pengujian Pembacaan Arus</i> .....	23
4.3 <i>Pengujian Sistem Active Balancing</i> .....	24
4.3.1 <i>Case 1</i> .....	24
4.3.2 <i>Case 2</i> .....	25

4.3.3 Case 3.....	26
4.4 Pengujian Sistem Proteksi/ <i>Cutoff</i> .....	27
4.5 Pengujian <i>Monitoring</i> pada LCD dan <i>Serial Monitor</i> .....	28
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	31
5.1 Kesimpulan .....	31
5.2 Saran .....	31
DAFTAR PUSTAKA .....	32
LAMPIRAN .....	34

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 MOSFET IRF3205 .....	6
Gambar 2.2 Rangkaian Pembagi Tegangan .....	7
Gambar 2.3 Baterai <i>Li-ion/Lithium-Ion</i> .....	8
Gambar 2.4 Rangkaian <i>Flyback Converter</i> .....	8
Gambar 2.5 Rangkaian <i>Bridge Rectifier</i> .....	9
Gambar 2.6 Sensor ACS712 .....	9
Gambar 2.7 Rangkaian HCPL 3120.....	10
Gambar 2.8 LCD 16x2.....	10
Gambar 2.9 Arduino Mega 2560.....	11
Gambar 2.10 DC to Dc Converter.....	11
Gambar 3.1 diagram Alir Penelitian .....	14
Gambar 3.2 Skematik BMS <i>Active Balancing</i> .....	15
Gambar 3.3 Rangkaian <i>Driver Mosfet</i> .....	16
Gambar 3.4 Rangkaian Sensor Tegangan .....	16
Gambar 3.5 Rangkaian Sensor Arus .....	17
Gambar 3.6 Rangkaian Sistem Proteksi.....	17
Gambar 3.7 (a) PCB Routing BMS dan (b) 3D BMS.....	18
Gambar 3.8 Diagram Alir Perancangan Sistem .....	19
Gambar 4.1 Skema Penyusunan Baterai .....	20
Gambar 4.2 Grafik <i>Active Balancing Case 1</i> .....	25
Gambar 4.3 Grafik <i>Active Balancing Case 2</i> .....	26
Gambar 4.4 Grafik <i>Active Balancing Case 3</i> .....	26
Gambar 4.5 <i>Monitoring</i> dengan LCD 16x2 .....	29
Gambar 4.6 <i>Monitoring</i> dengan <i>Serial Monitor</i> .....	30

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbedaan Power Capability dan switching MOSFET .....	6
Tabel 3.1 Alat dan Bahan .....	12
Tabel 4.1 Daftar nilai tegangan, hambatan, dan ADC .....	20
Tabel 4.2 Perhitungan Konstanta .....	21
Tabel 4.3 Hasil Pembacaan Tegangan .....	22
Tabel 4.4 Hasil Perbandingan Pembacaan Tegangan .....	23
Tabel 4.5 Hasil Pembacaan Arus .....	24
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Sistem Proteksi/ <i>Cutoff</i> .....	27
Tabel 4.7 Hasil Pengujian <i>Overdischarge</i> .....	28

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Dewasa ini perkembangan teknologi di dunia berkembang sangat pesat, baik pada teknologi berbasis digital maupun teknologi yang diterapkan pada sistem transportasi. Sistem transportasi pada era ini tumbuh dengan pesat, namun emisi dan gas buang dari kendaraan, terutama yang berbahan bakar fosil menjadi permasalahan utama. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh WHO (*World Health Organization*) bahwa nilai emisi gas buang dari kendaraan berbahan bakar fosil merupakan penyebab utama dari kematian manusia yang jumlahnya mencapai tujuh juta jiwa tiap tahunnya [1].

Untuk mengatasi masalah emisi gas dari kendaraan berbahan bakar fosil maka dibuatlah teknologi mobil dengan sumber energi listrik. Dengan munculnya teknologi ini, kebutuhan akan penyimpanan energi listrik semakin meningkat sejalan dengan perkembangan energi terbarukan dan kendaraan listrik. Seperti pada baterai litium yang memiliki daya tahan lebih lama, kurangnya efek memori dan kepadatan energi yang tinggi. Hal tersebut didukung dengan tingginya permintaan material pembuatan baterai litium dimana pada tahun 2019 mengalami kenaikan hampir 20% [2].

Namun pada baterai litium memiliki batas tegangan maksimal dan minimal yang apabila melebihi batas tegangan tersebut dapat menyebabkan kerusakan pada baterai [3] sehingga dibutuhkan suatu alat yang dapat memantau dan menyeimbangkan untuk menjaga agar baterai tetap berada pada tegangan aman. Pada penggunaannya baterai yang disusun seri maupun paralel dapat menyebabkan ketidak seimbangan antar *cell*. Karena ada proses dimana akan dilakukan *charging* dan *discharging* saat penggunaan baterai. Hal ini menyebabkan menurunnya kapasitas energi yang dapat digunakan oleh baterai tersebut sehingga dibutuhkan sistem penyeimbang agar baterai dapat digunakan dengan maksimal.

Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan memasang BMS (*battery management system*) pada *battery pack*. Cara ini sangatlah efisien apabila diterapkan pada *battery pack* dengan jumlah susunan baterai yang banyak. Sistem penyeimbang ini juga dikembangkan oleh Thomas Szalai [4] melakukan penelitian tentang pengujian pada *active balancing* menggunakan bidirectional DC-DC converter. Adapun pengujian dilakukan untuk mengetahui tingkat efisiensi. Hasil yang didapatkan adalah tingkat efisiensi yang mencapai 90% akan tetapi sistem ini tidak cocok untuk baterai dengan susunan seri yang banyak.

James D. Welsh [5] melakukan penelitian tentang pengujian pada aktif dan pasif balancing. Adapun pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan dari kedua teknik tersebut. Hasil yang didapatkan aktif balancing memiliki efisiensi yang lebih tinggi tetapi memiliki tingkat kerumitan yang cukup tinggi.

Dari beberapa penelitian tersebut kebanyakan menggunakan sistem *pasive balancing* dan *active balancing* yang menggunakan konverter sehingga permasalahan yang dihadapi hampir sama yaitu pada keandalan dan kerumitan sistem yang menjadi dasar dari penelitian ini. Adapun dalam penelitian ini akan diajukan rancang bangun yang bersifat eksperimental untuk melakukan monitoring dan balancing pada tiap *cell* baterai *Li-ion* dengan teknik *active balancing* menggunakan *flyback converter* dengan harapan dapat melakukan balancing pada tiap *cell* dengan cepat dan dengan kesulitan yang lebih rendah.

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang sistem *battery management system* menggunakan metode *active balancing* pada baterai *Li-ion*?
2. Bagaimana BMS diimplementasi dan diuji pada 4 buah baterai lithium ion?

## 1.3 Batasan Masalah

1. Baterai yang digunakan yaitu samsung *Li-ion* (NCA) 3,7V 2,5Ah sebanyak 4 buah dengan susunan 4S1P dengan tegangan masing-masing berkisar 3,0-4,2V.
2. Monitoring nilai tegangan tiap *cell* dengan menggunakan LCD 16x2 dan serial monitor.
3. Penyeimbangan tiap *cell* baterai menggunakan topologi *flyback converter* dengan arsitektur *pack-to-cell*.
4. Sistem penyeimbangan baterai menggunakan baterai yang sudah disetting nilai tegangannya agar tidak seimbang.
5. Sistem proteksi untuk *cut off* arus *charging* pada saat baterai mencapai nilai maksimal atau penuh.
6. Hardware tidak sampai pada tahap sempurna, atau hanya pada tahap prototipe.

## 1.4 Tujuan Penelitian

1. Merancang *hardware battery management system active balancing*.
2. Mengetahui nilai muatan tegangan yang ada pada baterai guna untuk monitoring
3. Mengetahui tingkat keseimbangan tiap *cell* pada baterai setelah dilakukan balancing

4. Menguji sistem proteksi *cell* baterai saat dilakukan overcharging

### **1.5 Manfaat Penelitian**

1. Menjadi sistem teknologi pendukung dalam pengembangan penyimpanan energi terbarukan atau kendaraan listrik indonesia.
2. Bertambahnya sebuah alat sistem penyeimbang baterai untuk baterai *Li-ion* yang dapat menjadi solusi untuk mengoptimalkan penggunaan baterai yang dapat dijadikan referensi dalam penelitian selanjutnya.
3. Dapat melakukan monitoring kondisi baterai saat pengisian daya berlangsung
4. Menjadikan umur baterai *Li-ion* menjadi lebih lama.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Studi Literatur

*Battery management system* merupakan suatu sistem elektronik yang berfungsi untuk mengatur, memonitoring dan menjaga baterai dari suatu kondisi yang dapat menyebabkan kerusakan pada baterai. Mengacu pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Fan Zhang [6] tentang desain dan pengujian *hybrid balancing* dengan aktif balancing untuk tiap *module* dan pasif untuk tiap *cell*. Adapun pengujian dilakukan dengan menjalankan uji kecepatan *balancing*, uji akurasi SOC, dan uji akurasi balancing. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa sistem penyeimbang baterai berjalan namun sangat lamban. Sistem penyeimbang membutuhkan waktu 12 jam 54 menit untuk menyeimbangkan baterai dengan perbedaan tegangan 0.9V. sedangkan sistem monitoring baterai dapat memprediksi sisa tegangan dengan baik saat dilakukan *charging* dan *discharging*.

Pada tahun 2016, Jun Xu membahas tentang pengoptimalan baterai manajemen sistem dari masalah gangguan. Akibat dari gangguan ini menyebabkan tidak maksimalnya performa dari baterai yang digunakan. Dalam konsepnya jenis gangguan tersebut dapat diprediksi dengan beberapa cara, dengan kata lain ketika terjadi gangguan, *battery management system* (BMS) harus segera mendeteksi gangguan apa yang terjadi pada baterai. Dengan menggunakan metode *Current Disturbance Estimation Method* didapati bahwa simulasi yang dilakukan menunjukkan bahwa dengan metode ini dapat meminimalkan nilai gangguan yang ada dan dapat memproses nilai gangguan tersebut. Sistem BMS yang seharusnya dapat melindungi baterai dari berbagai macam gangguan dituntut cepat dan akurat dalam memberikan sinyal respon. Dengan metode ini telah memperlihatkan tingkat keakuratan dalam merespon gangguan baterai dan sudah diusulkan sebagai acuan metode yang digunakan pada sistem *battery management system* [7].

Pada tahun 2019, Hasyim Abdullah telah melakukan penelitian tentang *battery management system* menggunakan metode *pasive balancing*. pada penelitian ini menunjukkan bahwa metode *pasive balancing* merupakan sistem balancing yang ditujukan untuk menghabiskan nilai muatan tegangan pada tiap *cell* dengan menggunakan nilai hambatan tertentu dengan acuan nilai tegangan terendah pada suatu *cell*. Dari hasil pengujiannya didapatkan bahwa nilai muatan yang dihabiskan oleh nilai hambatan tersebut disalurkan menjadi energi panas. Oleh karena itu dibutuhkan nilai resistor yang cukup besar yaitu sebesar 10k ohm. Dengan begitu nilai muatan pada tiap *cell* akan turun dan mengacu pada *cell* terendahnya [8].



## 2.2 Tinjauan Teori

### 2.2.1 Active Cell Balancing

Teknik *active cell balancing* merupakan teknik balancing dengan mentransfer *cell* dengan SOC yang lebih tinggi ke SOC yang lebih rendah sehingga memiliki efisiensi yang lebih tinggi [9]. Metode ini sangat efisien karena energi berlebih ditransfer ke *cell* dengan energi rendah tetapi meningkatkan kompleksitas sirkuit penyeimbang. Metode *balancing cell* aktif saat ini terdiri dari relay, konektor DC-DC dan transduser. Metode *Active balancing* sendiri terdiri dari lima subkategori yaitu *Bypass cell*, *cell to cell*, *cell to pack*, *pack to cell* dan *cell to pack to cell* [10].

### 2.2.2 Pack to Cell

*Pack to cell* merupakan salah satu dari beberapa teknik *active balancing*, dimana dengan mentransferkan *cell* dengan nilai SOC (State of Charging) tertinggi ke *cell* yang memiliki SOC terendah. Dengan tetap mengacu pada *cell* terendah untuk melakukan penyeimbangan pada tiap *cell*. Teknik ini menyalurkan total muatan dari tiap *cell* menuju *pack* dan kemudian dikembalikan lagi ke tiap *cell* untuk dilakukan penyeimbangan secara aktif [10].

### 2.2.3 Proteksi Baterai

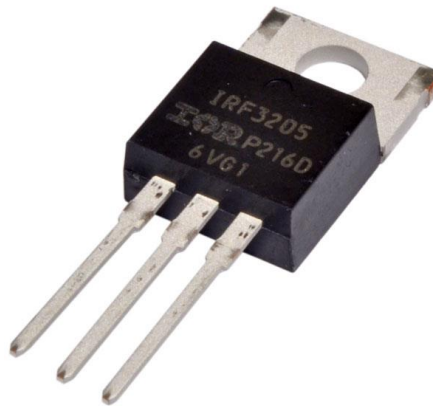
Proteksi Baterai merupakan sistem elektronik yang bertujuan untuk melindungi baterai dari kondisi yang membahayakan baterai seperti *Overcharging* dan *Overdischarging* yang disebabkan *cell unbalance*, *Overcurrent* dan *Overheating* yang disebabkan hubung singkat atau kelebihan beban. Dimana sistem ini bekerja dengan memutus aliran baterai dengan saklar semikonduktor jika terjadi kondisi yang membahayakan atau dengan meminimalisir terjadinya *Overcharging* atau *Overdischarging* dengan melakukan balancing pada tiap *cell* [11].

### 2.2.4 Overcharging

Overcharging merupakan suatu kondisi dari proses charging yang berlebihan yang disebabkan tidak seimbangnya tegangan tiap *cell*, yang dapat menyebabkan ledakan pada baterai. Proteksi dari overcharging sendiri biasa menggunakan mosfet cutoff yang diatur berdasarkan referensi tegangan berdasarkan tipe sel baterai yang digunakan seperti LFP dengan tegangan maksimal 3,6V dan NCA dengan maksimal tegangan yaitu 4,2V.

## 2.2.5 MOSFET

MOSFET merupakan salah satu jenis saklar semikonduktor yang sering digunakan karena memiliki karakteristik kecepatan penyaklaran yang paling tinggi apabila dibandingkan dengan tipe-tipe controllable switch lainnya yang dapat dilihat pada Tabel 2,1. Berbeda dengan BJT (Bipolar Junction Transistor) yang dikendalikan oleh arus, MOSFET adalah saklar yang dikendalikan oleh tegangan berikut merupakan MOSFET IRF3205 pada Gambar 2.1 [12].



Gambar 2.1 MOSFET IRF3205

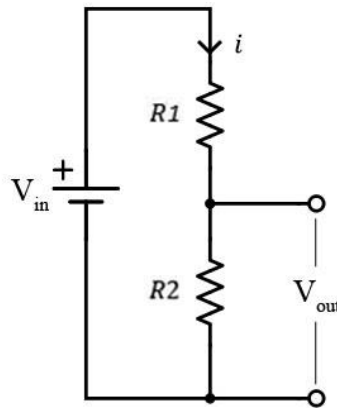
Tabel 2.1 Perbedaan Power Capability dan switching MOSFET

<i>Device</i>	<i>Power Capability</i>	<i>Switching Speed</i>
BJT/MD	<i>Medium</i>	<i>Medium</i>
MOSFET	<i>Low</i>	<i>Fast</i>
GTO	<i>High</i>	<i>Slow</i>
IGBT	<i>Medium</i>	<i>Medium</i>
MCT	<i>Medium</i>	<i>Medium</i>

## 2.2.6 Konsep Pembagi Tegangan

Sebagaimana pada generator juga sering disebut rangkaian pembagi potensial (*potensial divider*). *Input* ke sebuah rangkaian pembagi tegangan  $V_{in}$ . Tegangan ini menggerakkan arus  $i$  untuk mengalir melewati kedua resistor. Karena kedua resistor terhubung seri, arus yang sama besarnya melewati tiap-tiap resistor. Tahanan efektif dari kedua resistor seri ini adalah  $R1 + R2$ . Jatuh tegangan pada gabungan kedua resistor ini adalah  $V_{in}$ . Menurut Hukum Ohm, arus yang mengalir sebagaimana dijelaskan pada persamaan (2.1). Mensubstitusikan  $i$  dengan persamaan (1) menghasilkan hasil sebagaimana persamaan (2.2). Persamaan ini adalah persamaan untuk menghitung tegangan *output* yang dihasilkan oleh sebuah rangkaian pembagi tegangan. Dengan memilih dua buah resistor dengan nilai tahanan yang sesuai, kita dapat memperoleh nilai tegangan

*output* mana pun di dalam kisaran 0 V hingga  $V_{in}$  Skema rangkaian pembagi tegangan ditunjukkan pada Gambar 2.2 [13].



Gambar 2.2 Rangkaian Pembagi Teagangan

Arus yang mengalir

$$i = \frac{V_{in}}{R1 + R2} \quad (2.1)$$

Dan

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{R2}{R1 + R2} \quad (2.2)$$

### 2.2.7 Baterai Li-Ion

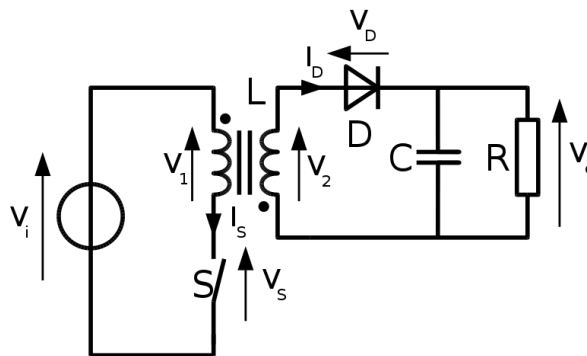
Baterai *Li-ion* atau *lithium ion* merupakan salah satu jenis baterai yang sekarang banyak digunakan karean baterai *lithium-ion* bila dibandingkan dengan baterai lainnya seperti *Lead-Acid*, *NiCd* dan *Ni-MH*, baterai *lithium-ion* memiliki fitur energi dan kerapatan daya yang tinggi, durasi hidup yang tahan lama dan ramah lingkungan, dan juga sudah banyak diaplikasikan pada peralatan elektronika yang beredar di pasaran. Baterai *lithium-ion* harus dioperasikan pada area aman dan handal, yang dimana akan berefek pada *charge rate*, suhu, dan rentang tegangan. Jika melebihi dari rentang tersebut akan mengarah pada melemahnya kinerja baterai dan akan menghasilkan masalah pada keamanan seperti terjadinya ledakan pada baterai. Untuk memastikan operasi yang handal dari baterai *lithium ion* dan memprediksikan usia baterai yang tersisa selama masa pemakaian [14]. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 berikut



Gambar 2.3 Baterai *Li-ion/Lithium-Ion*

### 2.2.8 *Flyback Converter*

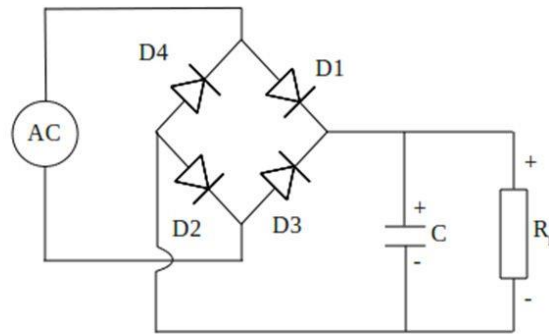
*Flyback converter* merupakan konverter yang bekerja berdasarkan cara kerja *buck-boost converter*, dimana *flyback converter* memiliki transformator frekuensi tinggi yang berfungsi sebagai induktor dan juga sebagai isolasi magnetis antara *input* dan *output* [15]. Berikut merupakan rangkaian *flyback converter* ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Rangkaian *Flyback Converter*

### 2.2.9 *Bridge Rectifier*

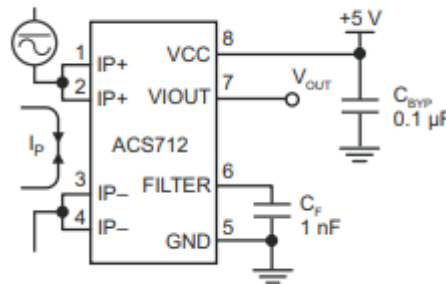
Merupakan jenis dioda yang berfungsi sebagai penyearah arus bolak-balik (*Alternating Current/AC*) menjadi arus searah (*Direct Current/DC*) Dioda Bridge pada dasarnya merupakan susunan dari empat buah Dioda yang dirangkai dalam konfigurasi rangkaian jembatan (*bridge*) yang dikemas menjadi satu perangkat komponen yang berkaki empat. Dua kaki Terminal dipergunakan sebagai Input untuk tegangan/ arus listrik AC (bolak balik) sedangkan dua kaki terminalnya lagi adalah terminal *Output* yaitu Terminal *Output* Positif (+) dan Terminal *Output* Negatif (-) [16]. Berikut merupakan rangkaian bridge rectifier pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Rangkaian *Bridge Rectifier*

### 2.2.10 Sensor ACS712

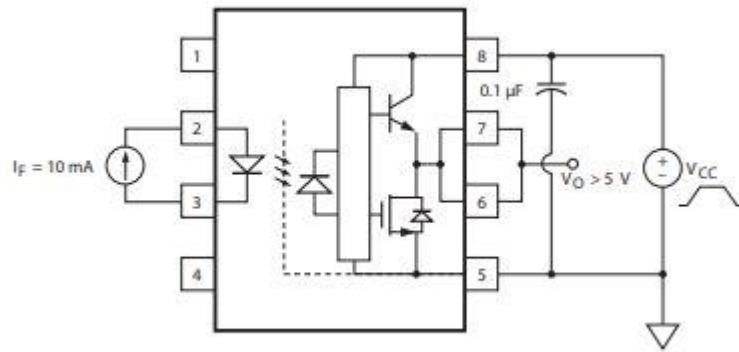
Sensor arus merupakan alat yang digunakan untuk mengukur kuat arus listrik. Metode yang digunakan dalam sensor arus ini yakni, *Hall Effect Sensor*. Cara kerja sensor ini yakni dari arus yang terbaca mengalir melalui kabel tembaga yang terdapat di dalamnya dan menghasilkan medan magnet yang tertangkap oleh *Hall Effect* lalu diubah menjadi tegangan proporsional [17]. Seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Sensor ACS712

### 2.2.11 HCPL 3120

HCPL 3120 merupakan salah satu tipe IC *optocoupler* yang dapat digunakan sebagai *gate driver* yang secara optik digabungkan ke sirkuit yang terintegrasi dengan tingkatan *output* daya. *Optocoupler* ini cocok untuk menggerakkan IGBT dan MOSFET dalam aplikasi *control*. Tegangan operasi  $V_{in} = 15-30V_{dc}$  dengan arus puncak maksimum sebesar 2.5A dan arus keluaran puncak minimum sebesar 2,0A. Kecepatan *switching* maksimum 500ns dengan rentan suhu industri sebesar  $-40^{\circ}C$  hingga  $100^{\circ}C$  [18]. Berikut merupakan rangkaian IC HCPL 3120 yang ditunjukkan Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Rangkaian HCPL 3120

### 2.2.12 LCD (*Liquid Crystal Display*) 16x2

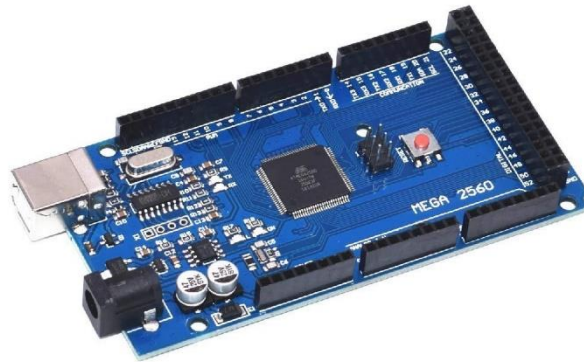
LCD adalah suatu perangkat yang dapat menampilkan karakter, angka, huruf, dan simbol. Penampil jenis ini dapat diprogram untuk *interface* dengan 8 bit data maupun dengan 4 bit data. Penampil LCD yang digunakan memiliki 16 karakter 2 baris, atau secara umum disebut sebagai LCD 16x2. Sistem antar muka yang digunakan untuk monitoring tegangan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 LCD 16x2

### 2.2.13 Arduino Mega 2560

Arduino mega merupakan sebuah alat mikrokontroler yang berbasis pada Atmega2560. Memiliki 54 pin *input / output* digital yang dapat mendukung kebutuhan sebuah mikrokontrol. penggunaan Arduino sebagai mikrokontrol lebih disukai dari pada Atmega karena prinsip dasar dan bahasa pemrograman yang lebih simpel dan mudah dipahami. Arduino Mega 2560 pada penelitian ini digunakan sebagai sistem pengendali utama dan sebagai pengolah data pembacaan dari tiap sensor yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Arduino Mega 2560

#### 2.2.14 DC to DC Converter

Merupakan salah satu jenis rangkaian elektronika daya yang berfungsi untuk mengkonversikan tegangan masukan searah konstan menjadi tegangan keluaran searah yang dapat divariasikan berdasarkan perubahan *duty cycle* rangkaian kontrolnya. Sumber tegangan dc dari converter dc-dc dapat diperoleh dari baterai, atau dengan menyearahkan sumber tegangan ac yang kemudian dihaluskan dengan filter kapasitor untuk mengurangi riak (ripple). Berikut merupakan DC-DC Converter ditunjukkan Gambar 2.10.



Gambar 2.10 DC to Dc Converter

## BAB 3

### METODOLOGI

#### 3.1 Alat dan Bahan

Pada proses pembuatan penelitian ini, diperlukan beberapa alat dan bahan yang akan dirancang dan digunakan untuk melakukan pengukuran dari hasil perancangan alat tersebut. Berikut merupakan alat dan bahan yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Alat dan Bahan

No	Alat dan bahan	Kuantitas
1.	Multimeter	1
2.	Osiloskop	1
3.	<i>Power Supply</i>	1
4.	<i>Solder</i>	1
5.	Timah	1
6.	Pinset	1
7.	<i>Blower</i>	1
8.	Bor PCB	1
9.	Tang jepit	1
10.	Tang potong	1
11.	Obeng set	1
12.	Arduino 1.8.5	1
13.	<i>Proteus 8 Profesional</i>	1
14.	Arduino mega 2560	1
15.	Resistor 1k 1/4watt	20
16.	Kapasitor 1u 50V	8
17.	MOSFET IRF3205	8
18.	Trafo	4
19.	Dioda MUR1560	16
20.	Kapasitor 1000u 16V	16
21.	DctoDc LM2596	4
22.	Trimpot 10k ohm	4
23.	Transistor MPSA42	5
24.	Dioda 5V	4
25.	Dioda zener 4,3V	4
26.	LCD I2C	1
27.	Sensor ACS712	1
28.	IC HCPL 3120	8
29.	MOSFET IRFB4110	1
30.	Resistor 2,2k ohm	1
31.	Rsistor 10K ohm	1
32.	<i>Pin header male</i>	5
33.	<i>Pin header female</i>	2
34.	Socket baterai	4
35.	Socket IC kaki 8	8
36.	Socket KF45 2 pin	1
37.	Spacer	10
38.	kabel	2m
39.	Baterai LI-ion 3,7V 2,5Ah	4
40.	PCB BMS	1



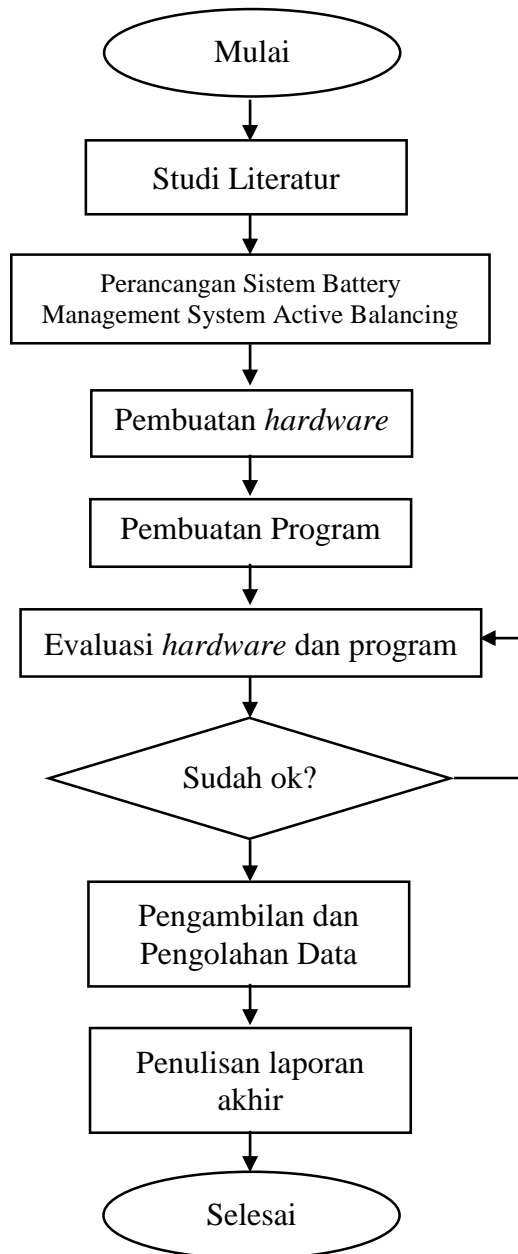
### 3.2 Alur Penelitian

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yang dimulai dari perancangan alat berdasarkan hasil studi literatur yang telah dilakukan sebelumnya. Kemudian melakukan simulasi untuk memastikan apa yang telah dirancang telah berjalan sesuai dengan yang direncanakan atau tidak.

Penelitian dimulai dengan studi pustaka untuk memahami prinsip kerja cara pembuatan *battery management system active balancing*. referensi yang digunakan berupa paper, datasheet, laporan penelitian dengan topik yang sejenis dan buku yang memiliki dasar teori yang sama. Mempelajari dalam pembuatan program juga termasuk kedalam bagian ini.

Setelah pengetahuan dasar dipahami, penelitian dilanjutkan dengan desain konsep sistem dan pembuatan topology yang kemudian disimulasikan. Software yang digunakan dalam melakukan perancangan ini adalah Proteus 8 Profesional. Setelah desain dari konsep sudah selesai dan simulasi berjalan dengan baik sesuai dengan yang diinginkan tahap selanjutnya adalah pembuatan perangkat sistem dari *battery management system active balancing*. pembuatan perangkat ini terbagi menjadi dua, yaitu pembuatan perangkat keras (*hardware*) dan pembuatan perangkat lunak (*software*) yaitu programnya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada diagram alir penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 3.1. pada pembuatan perangkat keras meliputi perancangan sistem Proteksi, perancangan sistem monitoring, dan perancangan sistem *active balancing*.

Serangkaian pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja dari tiap rangkaian secara menyeluruh. Mulai dari pengujian simulasi, pengujian monitoring, pengujian proteksi, dan pengujian *active balancing*. evaluasi dilakukan hingga akhir rangkaian dapat beroperasi dengan optimal. Dengan begitu penelitian dapat diakhiri dengan melakukan penulisan laporan penelitian berdasarkan hasil data yang didapat saat melakukan percobaan.

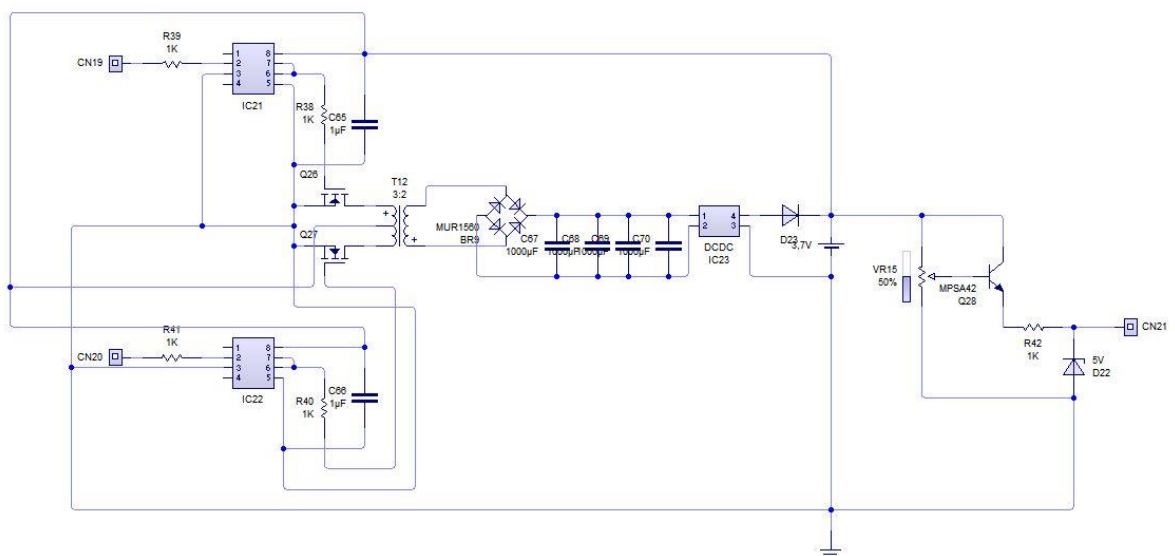


Gambar 3.1 diagram Alir Penelitian

### 3.3 Perancangan Sistem

#### 3.3.1 Perancangan BMS Active Balancing

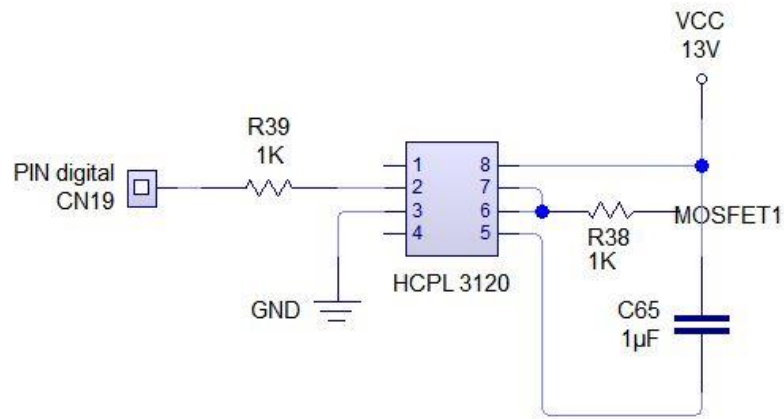
Pada sistem battery management system active balancing dirancang menggunakan IC HCPL 3120 yang digunakan sebagai *gate driver* MOSFET IRF3205. Pada MOSFET ini digunakan sebagai sitem *switching* yang mana pada sistem switching ini digunakan untuk membangkitkan Gaya Gerak Listrik pada trafo *flyback*. Output tegangan dari trafo flyback kemudian disearahkan menggunakan rangkaian bridge rectifier. Tegangan yang sudah disearahkan kemudian diturunkan menggunakan Dc to Dc converter sampai 4,2V yang digunakan untuk mengisi daya pada baterai. Berikut merupakan skematik perancangan battery management system active balancing yang ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Skematik BMS Active Balancing

#### 3.3.2 Perancangan Driver MOSFET

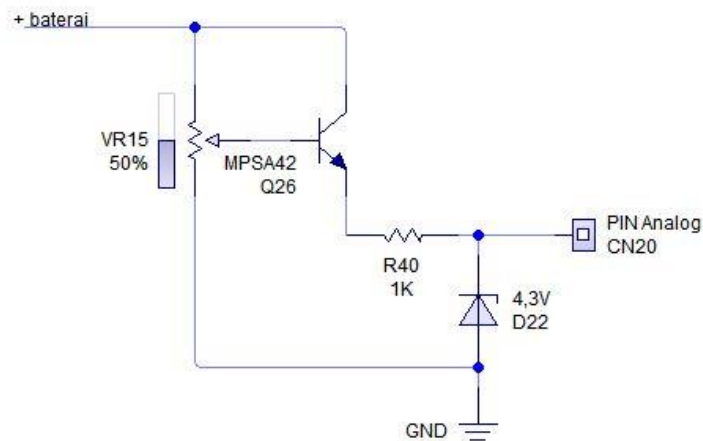
Pada perancangan *driver* mosfet menggunakan optocoupler untuk membatasi sisi tegangan rendah yaitu pada *microcontroller* dan sisi tegangan tinggi yaitu pada baterai *pack*. Pada rangkaiannya digunakan HCPL 3120 sebagai *gate driver* untuk mosfet seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Rangkaian *Driver* Mosfet

### 3.3.3 Perancangan Sensor Tegangan

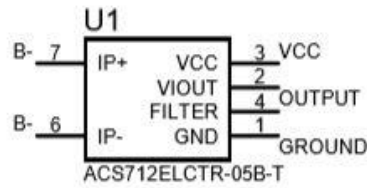
Pada perancangan sensor tegangan ini menggunakan konsep pembagi tegangan dengan menggunakan trimpot 10k ohm sebagai sarana pembagi tegangannya. Dengan menggunakan trimpot dapat mempermudah dalam mengatur nilai dari resistansi yang dibutuhkan. Dalam pengaplikasiannya, rangkaian pembagi tegangan digabungkan dengan transistor dan dioda zener sebagai sistem proteksinya. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Rangkaian Sensor Tegangan

### 3.3.4 Perancangan Sensor Arus

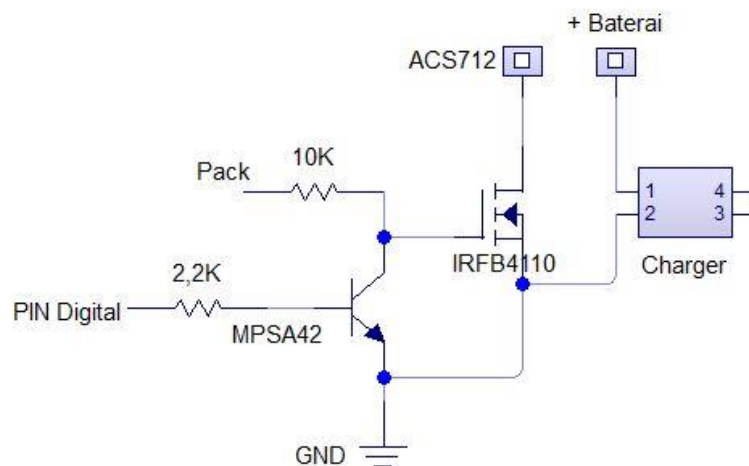
Pada perancangan sensor arus menggunakan ACS712 dikarenakan sistem pembacaan yang cukup akurat dan sistem rangkaiannya yang sederhana seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Rangkaian Sensor Arus

### 3.3.5 Perancangan Sistem *Cutoff*

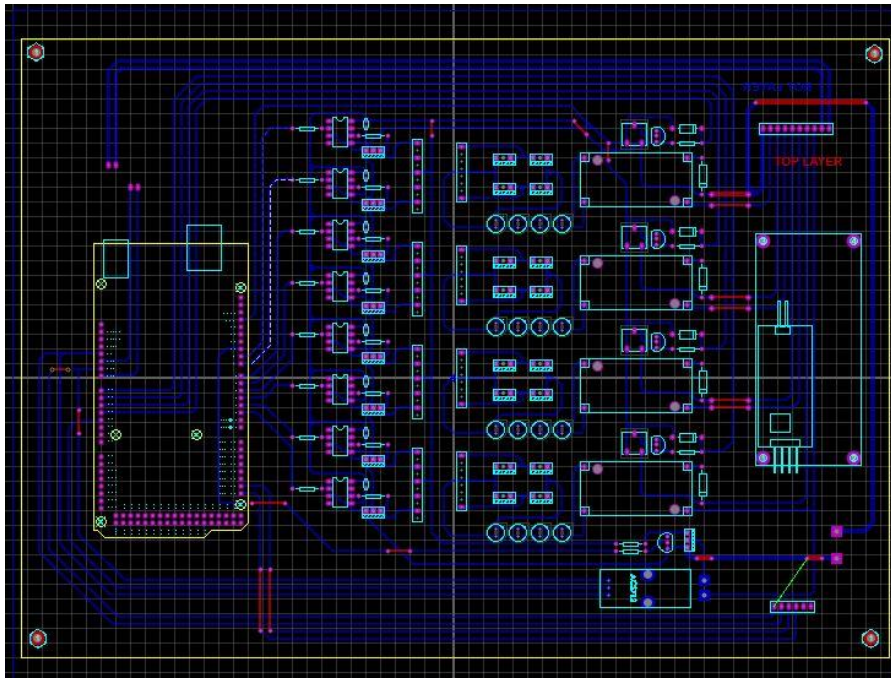
Perancangan sistem *cutoff* merupakan sistem pengamanan yang ditujukan untuk melindungi dari *overcharge*, pada sistem ini menggunakan mosfet IRFB4110 karena memiliki arus tinggi dengan tegangan *gate* kecil. pemasangan mosfet *cutoff* berada pada sisi negatif dari rangkaian, dikarenakan tipe mosfet yang digunakan merupakan mosfet tipe *N-channel* seperti yang ditunjukkan pada Gambr 3.6.



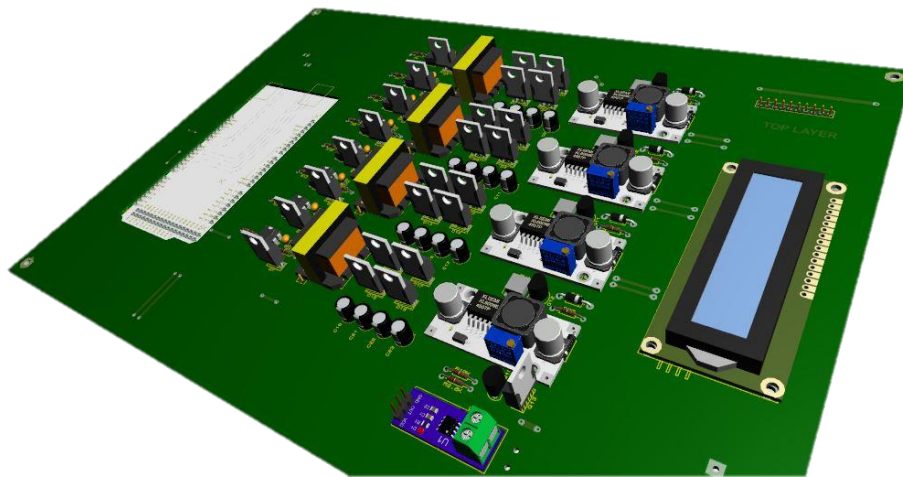
Gambar 3.6 Rangkaian Sistem Proteksi

### 3.3.6 Perancangan *Hardware BMS Active Balancing*

Perancangan hardware BMS active balancing merupakan bagian dimana seluruh rangkaian disatukan dan dibuat desain PCB, pembuatan desain PCB disini ditujukan sebagai wadah untuk penyusunan komponen yang dibutuhkan dalam rangkaian. Agar penyusunan komponen lebih tertata rapi maka dibuatlah desain 3D dari seluruh rangkaian sistem. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut.



(a)



(b)

Gambar 3.7 (a) PCB Routing BMS dan (b) 3D BMS

### 3.3.7 Perancangan Program/Software

Pada perancangan program menggunakan algoritma yang meliputi semua proses yang dilakukan mikrokontroler dalam menjalankan proses pengolahan data sensor *monitoring*, sistem *balancing*, dan sistem proteksi. Pada perancangan sensor *monitoring* digunakan sensor tegangan dengan konsep pembagi tegangan dan sensor ACS712 untuk membaca arus. Dengan merubah tegangan analog dari baterai dan sensor arus menjadi digital kemudian dibaca oleh mikrokontroler dan diproses untuk mendapatkan data yang dibaca berupa tegangan dan arus menggunakan perhitungan berikut:

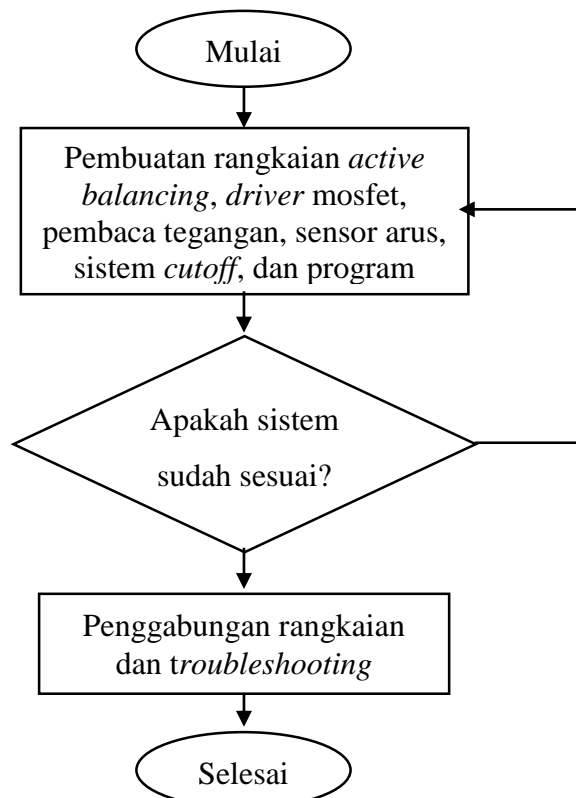
$$\text{Tegangan} = \text{Nilai Sensor} \times \left(\frac{5}{1023}\right) \quad (3.1)$$

$$\text{Arus} = \frac{771 - \text{data sensor}}{1023} \times \frac{5}{0,185} \quad (3.2)$$

Setelah nilai tegangan dan arus terbaca kemudian ditampilkan pada serial monitor dan LCD yang ada pada BMS.

Pada algoritma *active balancing* bermula pada pembacaan tegangan yang sudah diproses oleh mikrokontroler. Jika tegangan pada salah satu baterai berada pada posisi *low* dari tegangan baterai yang lain, maka sistem mikrokontroler akan melakukan *balancing*. dengan acuan bahwa tegangan baterai terendah yang akan dilakukan penyeimbangan. Setelah baterai seimbang maka dapat dilakukan pengisian daya baterai secara bersama.

Pada algoritma sistem proteksi dimulai dengan memasukkan nilai batasan dari tegangan maksimal ( $V_{max}$ ). Setelah nilai batasan dimasukkan kemudian membandingkan dengan nilai pembacaan dari sensor tegangan yang kemudian menjadi dasar keputusan untuk mengaktifkan sistem *cutoff*. setelah seluruh rangkaian dan program berjalan sesuai dengan yang diharapkan kemudian digabungkan menjadi satu dan jika terjadi eror dilakukan *troubleshooting* sampai seluruh sistem berjalan dengan baik. Berikut merupakan diagram alir dari perancangan sistem dapat dilihat pada Gambar 3.8.



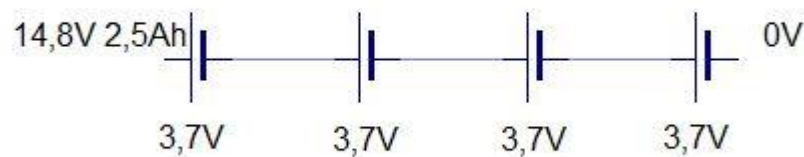
Gambar 3.8 Diagram Alir Perancangan Sistem

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengujian Pembacaan Tegangan

Pada pengujian pembacaan nilai tegangan baterai *pack*, nilai tegangan yang diukur adalah nilai tegangan per *cell*. Satu *pack* terdiri dari 4 *cell* baterai yang disusun secara seri. Satu buah baterai Li-ion mempunyai spesifikasi kapasitas tegangan sebesar 3,7V sampai 4,2V dengan kapasitas hantar arus sebesar 2,5Ah. Sehingga nilai dari tegangan untuk satu *pack* baterai sebesar 14,8V sampai 16,8V (full charge). Skema penyusunan baterai dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Skema Penyusunan Baterai

##### 4.1.1 Pembacaan ADC Sensor Tegangan

*Output* tegangan tiap *cell* memiliki sifat *analog* menjadi *input* pada *Analog to Digital* (ADC) pada arduino dan diolah menjadi nilai keluaran yang mempunyai sifat *digital* pada *serial monitor* dan LCD. Dalam pembacaan tegangan digunakan rangkaian pembagi tegangan menggunakan trimpot atau *variable resistor* yang berjumlah 4 buah dengan nilai hambatan maksimal sebesar 10k ohm. Untuk nilai ADC yang terukur dan nilai resistansi *variable resistor* dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Daftar nilai tegangan, hambatan, dan ADC

No. <i>Cell</i>	Nilai Tegangan (Volt)	Nilai Tegangan per <i>Cell</i> (Volt)	Nilai Hambatan VR (Ohm)	Nilai ADC
1	3,78	3,78	9,47k	917
2	7,49	3,71	8,17k	942
3	11,19	3,7	8,34k	930
4	14,89	3,7	8,77k	932



#### 4.1.2 Kalibrasi Sensor Tegangan

Pada Tabel 4.1 didapatkan pembacaan nilai ADC, dari nilai tersebut digunakan untuk mencari nilai konstanta yang nantinya dimasukkan dalam program perhitungan. dengan menggunakan persamaan nilai yang terbaca oleh multimeter dibagi dengan nilai ADC maka didapatkan nilai konstantanya, seperti yang disajikan pada Tabel 4.2 dengan persamaan (4.1)

$$Konstanta = \frac{\text{Nilai Terbaca Multi}}{\text{Nilai ADC}} \quad (4.1)$$

Tabel 4.2 Perhitungan Konstanta

No. <i>Cell</i>	Nilai Terbaca Multi	Nilai ADC	Konstanta	Nilai Ditampilkan Serial Monitor
1	3,78	917	0,004122137	3,78
2	3,71	942	0,003938429	3,71
3	3,7	930	0,003978495	3,7
4	3,7	932	0,003969957	3,7

#### 4.1.3 Hasil Pembacaan Tegangan dan Tingkat Akurasi Sensor

Pada pengujian ini dilakukan menggunakan data pengujian sensor tanpa beban dengan membaca tegangan tiap *cell* baterai. Dalam pengujian ini sekaligus menentukan tingkat akurasi sensor dengan mencari nilai *error*. Semakin kecil nilai *error* maka semakin tinggi akurasinya. Seperti yang disajikan pada Tabel 4.3 dengan menggunakan persamaan (4.2)

$$\%error = \frac{|\text{Selisih Pembacaan Tegangan}|}{\text{Pengukuran Multi}} \times 100\% \quad (4.2)$$

Tabel 4.3 Hasil Pembacaan Tegangan

Percobaan	Batt1			Batt2			Batt3			Batt4		
	V	V'	Error (%)	V	V'	Error (%)	V	V'	Error (%)	V	V'	Error (%)
1	3,78	3,76	0,02%	3,71	3,71	0,00%	3,7	3,71	0,01%	3,7	3,72	0,02%
2	3,78	3,78	0,00%	3,71	3,71	0,00%	3,7	3,71	0,01%	3,7	3,70	0,00%
3	3,78	3,78	0,00%	3,71	3,71	0,00%	3,7	3,71	0,01%	3,7	3,70	0,00%
4	3,78	3,76	0,02%	3,71	3,73	0,02%	3,7	3,71	0,01%	3,7	3,71	0,01%
5	3,78	3,78	0,00%	3,71	3,73	0,02%	3,7	3,73	0,03%	3,7	3,72	0,02%
6	3,78	3,78	0,00%	3,71	3,73	0,02%	3,7	3,73	0,03%	3,7	3,71	0,01%
7	3,78	3,78	0,00%	3,71	3,73	0,02%	3,7	3,7	0,00%	3,7	3,71	0,01%
8	3,78	3,76	0,02%	3,71	3,73	0,02%	3,7	3,71	0,01%	3,7	3,71	0,01%
9	3,78	3,77	0,01%	3,71	3,71	0,00%	3,7	3,73	0,03%	3,7	3,72	0,02%
10	3,78	3,77	0,01%	3,71	3,71	0,00%	3,7	3,7	0,00%	3,7	3,72	0,02%
Rata-rata	3,78	3,772	0,00%	3,71	3,72	0,01%	3,7	3,714	0,01%	3,7	3,712	0,01%

Pada pengujian sensor tegangan pada 10 kali percobaan dapat diamati bahwa nilai rata-rata error sensor tegangan pada baterai 1 sampai 4 berturut-turut adalah 0,00%, 0,01%, 0,01%, dan 0,01%. Sedangkan nilai error tertinggi dari baterai 1 sampai 4 berturut-turut yaitu 0,02%, 0,02%, 0,03%, dan 0,02%. Dari seluruh pembacaan sensor tegangan yang telah diuji menunjukkan bahwa sensor tegangan memiliki akurasi 99,99%

#### 4.1.4 Pengujian Pembacaan Tegangan Menggunakan Baterai LG 3,7V 2,7Ah

Pada pengujian ini dilakukan menggunakan data pengujian sensor tanpa beban dengan membaca tegangan tiap *cell* baterai. Dalam pengujian ini sekaligus menentukan tingkat akurasi sensor dengan mencari nilai *error*. Semakin kecil nilai *error* maka semakin tinggi akurasi. Seperti yang disajikan pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil Perbandingan Pembacaan Tegangan

Perco baan	Batt1			Batt2			Batt3			Batt4		
	V	V'	Error (%)	V	V'	Error (%)	V	V'	Error (%)	V	V'	Error (%)
1	3,75	3,73	0,0668	3,75	3,751	0,1812	3,76	3,76	0,2214	3,77	3,774	0,4348
2	3,75	3,73	0,0667	3,75	3,751	0,1811	3,76	3,76	0,2210	3,76	3,774	0,4313
3	3,75	3,73	0,0665	3,75	3,751	0,1811	3,76	3,76	0,2206	3,77	3,774	0,4134
4	3,75	3,73	0,0663	3,75	3,751	0,1810	3,76	3,76	0,2201	3,77	3,774	0,4098
5	3,75	3,73	0,0662	3,75	3,751	0,1810	3,76	3,76	0,2197	3,76	3,774	0,4061
6	3,75	3,73	0,0660	3,76	3,751	0,1809	3,75	3,76	0,2193	3,76	3,774	0,3870
7	3,75	3,73	0,0659	3,74	3,751	0,1691	3,76	3,76	0,2123	3,8	3,774	0,3668
8	3,75	3,73	0,0657	3,74	3,751	0,1524	3,78	3,76	0,2118	3,77	3,774	0,3346
9	3,74	3,73	0,0655	3,76	3,751	0,1335	3,76	3,76	0,1485	3,77	3,774	0,3300
10	3,75	3,73	0,0113	3,76	3,751	0,1170	3,75	3,76	0,1479	3,81	3,774	0,3255
Rata- rata	3,74	3,73	0,060%	3,75	3,75	0,16%	3,76	3,76	0,20%	3,77	3,77	0,38%

Pada pengujian sensor tegangan pada 10 kali percobaan dapat diamati bahwa nilai rata-rata error sensor tegangan pada baterai 1 sampai 4 berturut-turut adalah 0,06%, 0,16%, 0,20%, dan 0,38%. Sedangkan nilai error tertinggi dari baterai 1 sampai 4 berturut-turut yaitu 0,06%, 0,18%, 0,22%, dan 0,43%. Dari seluruh pembacaan sensor tegangan yang telah diuji menunjukkan bahwa sensor tegangan memiliki akurasi 99,80%. [15]

#### 4.2 Pengujian Pembacaan Arus

Pada pengujian ini dilakukan pembacaan sensor arus tanpa beban dengan membaca nilai arus *charging* baterai. Dalam pengujian ini sekaligus menentukan tingkat akurasi sensor dengan mencari nilai *error*. Semakin kecil nilai *error* maka semakin tinggi akurasinya. Seperti yang disajikan pada Tabel 4.5 dengan menggunakan persamaan (4.3)

$$\%error = \frac{|Selisih Pembacaan Arus|}{Pengukuran Multi} \times 100\% \quad (4.3)$$

Tabel 4.5 Hasil Pembacaan Arus

Percobaan	I	I'	I-I'	Error(%)
1	0,32	0,3	0,02	7%
2	0,29	0,3	0,01	3%
3	0,26	0,3	0,04	13%
4	0,34	0,3	0,04	13%
5	0,29	0,299	0,009	3%
6	0,29	0,299	0,009	3%
7	0,32	0,298	0,022	7%
8	0,32	0,298	0,022	7%
9	0,26	0,298	0,038	13%
10	0,34	0,297	0,043	14%
rata-rata	0,303	0,2989	0,0253	8,3%

Pada pengujian sensor arus dengan 10 kali percobaan didapatkan hasil nilai rata-rata *error* pembacaan pada sensor arus sebesar 8,3% dengan *error* tertinggi sebesar 14% dengan selisih pembacaan 0,043A. Dari hasil data yang tersaji pada Tabel 4,4 menunjukkan bahwa sensor arus tersebut memiliki akurasi pembacaan rata-rata sebesar 91,7% dan toleransi selisih pembacaan sebesar  $\pm 0,043A$ .

Pada pengujian pembacaan tegangan dan arus terdapat nilai *error* yang berbeda, mungkin ini disebabkan karena komponen yang digunakan pada sensor pembaca tegangan menggunakan resistor variable yang dapat diubah nilai hambatannya, sehingga nilai pembacaannya dapat disesuaikan dengan pembacaan adc yang dibaca oleh arduino sehingga didapatkan nilai tegangan yang akurat, sedangkan pada pembacaan sensor arus digunakan komponen yang sudah menjadi modul sehingga tidak dapat dilakukan perubahan pada pembacaan sensor arusnya. Sehingga pembacaan adc nya mengikuti pembacaan yang sudah ditentukan pada *datasheet* sensor.

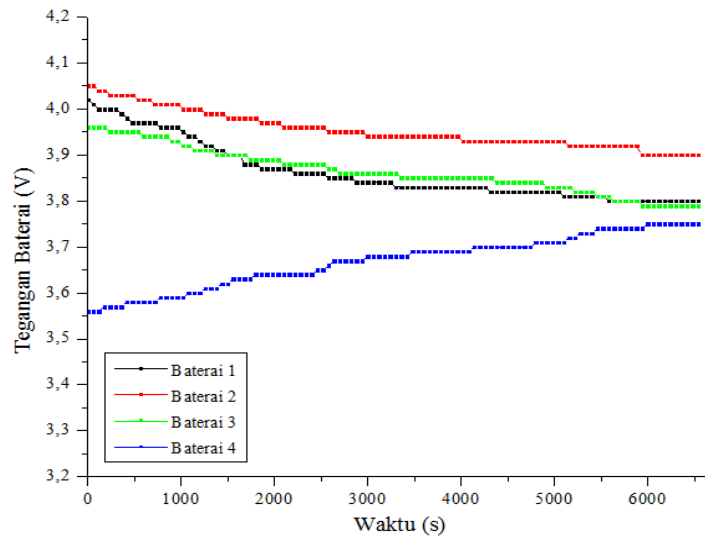
### 4.3 Pengujian Sistem Active Balancing

Pengujian ini dilakukan dengan menguji *battery management system active balancing* dalam melakukan penyeimbangan *cell* baterai. Dalam pengujian ini dibagi menjadi tiga *case*, dimana pada tiap *case* ditujukan untuk mengetahui kinerja BMS *active balancing* dalam menyeimbangkan tegangan *cell* dengan rentan tegangan yang bervariasi.

#### 4.3.1 Case 1

Case 1 dihadapkan pada tegangan 3 *cell* mendekati nilai tertinggi dan 1 *cell* yang lain memiliki nilai tegangan yang lebih rendah. Nilai tegangan pada baterai 1 = 4,02 V, baterai 2 = 4,05 V, baterai 3 = 3,96 V dan baterai 4 = 3,56 V. Setelah proses *balancing* tegangan selama 6622 detik,

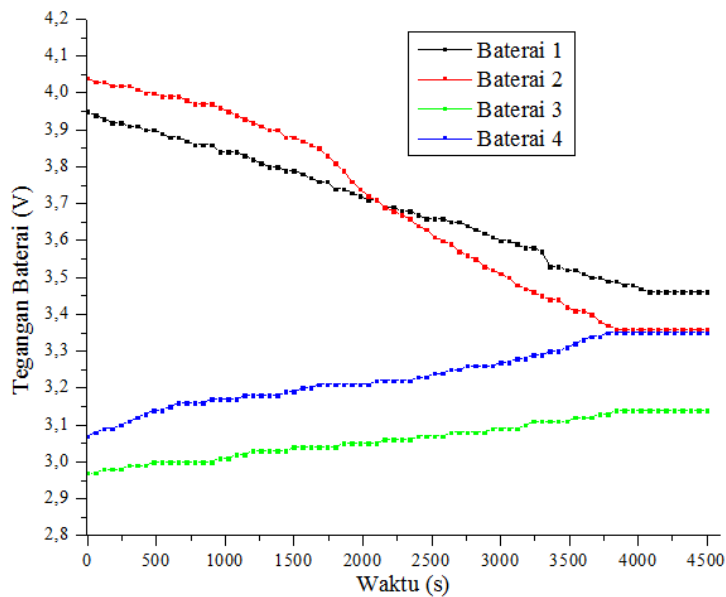
tegangan mengalami perubahan, yaitu baterai 1 = 3,80 V, baterai 2 = 3,90 V, baterai 3 = 3,79 V dan baterai 4 = 3,75 V. Tegangan total awal sebesar 15,59 V turun 0,35 V menjadi 15,24 V. Adapun nilai arus balancing sebesar 0,82 A dan menurun sejalan dengan waktu hingga tidak dapat melakukan balancing.. Grafik *active balancing case 1* hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik *Active Balancing Case 1*

#### 4.3.2 Case 2

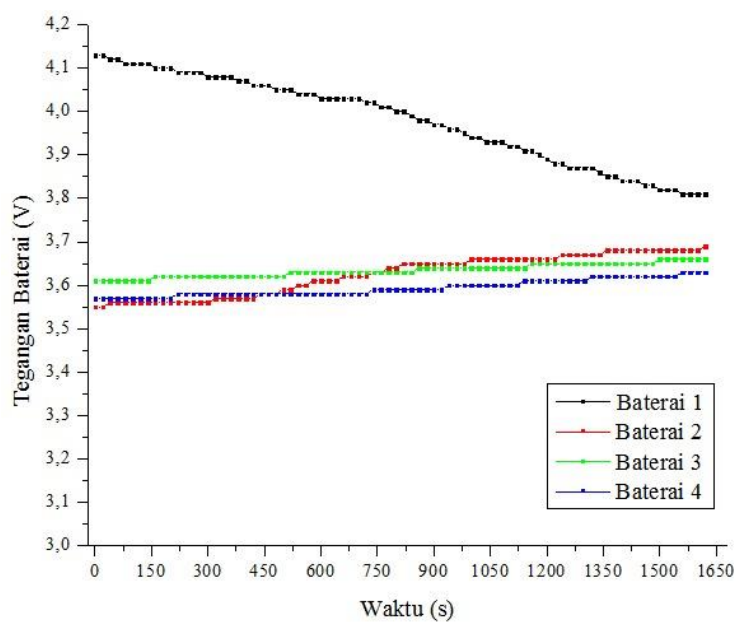
Case 2 dihadapkan pada tegangan 2 *cell* mendekati nilai tertinggi dan 2 *cell* yang lain memiliki nilai tegangan yang lebih rendah. Nilai tegangan pada baterai 1 = 3,95 V, baterai 2 = 4,04 V, baterai 3 = 2,97 V dan baterai 4 = 3,07 V. Setelah proses *balancing* tegangan selama 4539 detik, tegangan mengalami perubahan, yaitu baterai 1 = 3,46 V, baterai 2 = 3,36 V, baterai 3 = 3,14 V dan baterai 4 = 3,35 V. Tegangan total awal sebesar 14,03 V turun 0,72 V menjadi 13,31 V. Adapun nilai arus balancing sebesar 0,82 A dan menurun sejalan dengan waktu hingga tidak dapat melakukan balancing. Grafik *active balancing case 2* hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik *Active Balancing Case 2*

### 4.3.3 Case 3

Case 3 dihadapkan pada tegangan 1 *cell* mendekati nilai tertinggi dan 3 *cell* yang lain memiliki nilai tegangan yang lebih rendah. Nilai tegangan pada baterai 1 = 4,13 V, baterai 2 = 3,55 V, baterai 3 = 3,61 V dan baterai 4 = 3,57 V. Setelah proses *balancing* tegangan selama 1897 detik, tegangan mengalami perubahan, yaitu baterai 1 = 3,79 V, baterai 2 = 3,70 V, baterai 3 = 3,67 V dan baterai 4 = 3,66 V. Tegangan total awal sebesar 14,86 V turun 0,04 V menjadi 14,82 V. Adapun nilai arus *balancing* sebesar 0,82 A dan menurun sejalan dengan waktu hingga tidak dapat melakukan *balancing*.. Grafik *active balancing case 3* hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik *Active Balancing Case 3*

Berdasarkan pengujian sistem banalancing yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa nilai tegangan baterai yang dibalancing seharusnya berubah menjadi nilai tegangan rata-rata total baterai, sehingga pada pengujian sistem *active balancing* yang sudah dilakukan dapat dikatakan berhasil karena pada tegangan tiap *cell* baterai sudah mulai menyentuh batas rata-rata tegangan total baterai. [15]

#### 4.4 Pengujian Sistem Proteksi/*Cutoff*

Pengujian proteksi dilakukan dengan menguji proteksi *voltage overcharge* yang bertujuan untuk mengetahui apakah sistem proteksi dapat bekerja dengan baik atau tidak. Pengujian dimulai dengan proses *charging* pada tegangan 20V, dengan tegangan *cutoff* baterai diset pada 4,2V. Berikut merupakan hasil pengujian proteksi dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Sistem Proteksi/*Cutoff*

No	Baterai1(V)	Baterai2(V)	Baterai3(V)	Baterai4(V)	Input Current(A)
1	4.05	4.02	4.01	4.18	1.00
2	4.05	4.03	4.01	4.17	1.00
3	4.06	4.01	4.02	4.16	0.92
4	4.05	4.03	4.01	4.18	0.98
5	4.06	4.03	4.05	4.15	0.95
6	4.05	4.04	4.04	4.16	1.11
7	4.05	4.03	4.01	4.17	0.98
8	4.06	4.03	4.01	4.17	1.00
9	4.05	4.03	4.04	4.16	1.03
10	4.06	4.04	4.03	4.16	0.98
11	4.06	4.04	4.04	4.15	1.13
12	4.06	4.04	4.03	4.16	1.00
13	4.05	4.04	4.02	4.16	1.03
14	4.06	4.02	4.03	4.18	1.11
15	4.06	4.04	4.02	4.14	1.08
16	4.05	4.02	4.04	4.19	1.06
17	4.07	4.04	4.03	4.16	1.03
18	4.07	4.02	4.03	4.17	1.00
19	4.06	4.02	4.04	4.21	1.00
20	3.81	3.75	3.88	3.92	0.03
21	3.82	3.77	3.79	3.91	0.05

Pada Tabel 4.5 ditunjukkan hasil pengujian sistem *cutoff* dimana terjadi kenaikan tegangan pada tiap cell baterai pada detik ke 19 kemudian terjadi penurunan pada detik ke 20 pada baterai

4 yang pada detik ke 19 mencapai 4,21V dimana nilai tersebut melebihi batas maksimal tegangan yang diset yaitu 4,2V sehingga terjadi *cut-off* pada baterai 4 dan menyebabkan nilai arus dan tegangan turun.

Pengujian proteksi *voltage overdischarge* yang bertujuan untuk mengetahui apakah sistem proteksi dapat bekerja dengan baik atau tidak. Proteksi *over-discharge* dapat dilakukan seketika pemantauan tegangan mendeteksi adanya tegangan baterai yang melebihi batas kurang dari 3,60 V sehingga MOSFET *cut-off* menjadi ON.. Berikut merupakan hasil pengujian proteksi dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil Pengujian *Overdischarge*

Baterai 1 (V)	Baterai 2 (V)	Baterai 3 (V)	Baterai 4 (V)	Arus <i>Discharging</i> (I)
3.67	3.68	3.77	3.64	-1.08
3.67	3.67	3.77	3.62	-1.16
3.67	3.67	3.77	3.63	-1.11
3.67	3.67	3.77	3.61	-1.11
3.67	3.67	3.77	3.63	-1.21
3.67	3.67	3.77	3.63	-1.03
3.67	3.67	3.77	3.61	-1.08
3.67	3.67	3.77	3.61	-1.11
3.67	3.68	3.77	3.63	-1.06
3.67	3.67	3.77	3.62	-1.13
3.67	3.67	3.77	3.62	-1.08
3.67	3.66	3.77	3.61	-1.13
3.66	3.67	3.76	3.61	-1.13
3.67	3.67	3.77	3.62	-1.11
3.67	3.67	3.77	3.61	-1.06
3.67	3.67	3.77	3.62	-1.13
3.67	3.66	3.77	3.64	-1.08
3.67	3.65	3.77	3.64	-1.21
3.67	3.68	3.77	3.61	-1.06
3.67	3.66	3.77	3.62	-1.11
3.67	3.67	3.77	3.63	-1.08
3.67	3.67	3.77	3.60	-1.08
3.73	3.74	3.88	3.70	0.03
3.73	3.73	3.87	3.71	0.08
3.74	3.74	3.87	3.72	0.05
3.71	3.71	3.89	3.73	0.11
3.71	3.72	3.89	3.72	0.00

Berdasarkan data yang disajikan pada Tabel diketahui hasil pengujian proteksi *over-discharge* telah sesuai dengan perancangan dan dapat melakukan pemutusan rangkaian

#### 4.5 Pengujian *Monitoring* pada LCD dan *Serial Monitor*

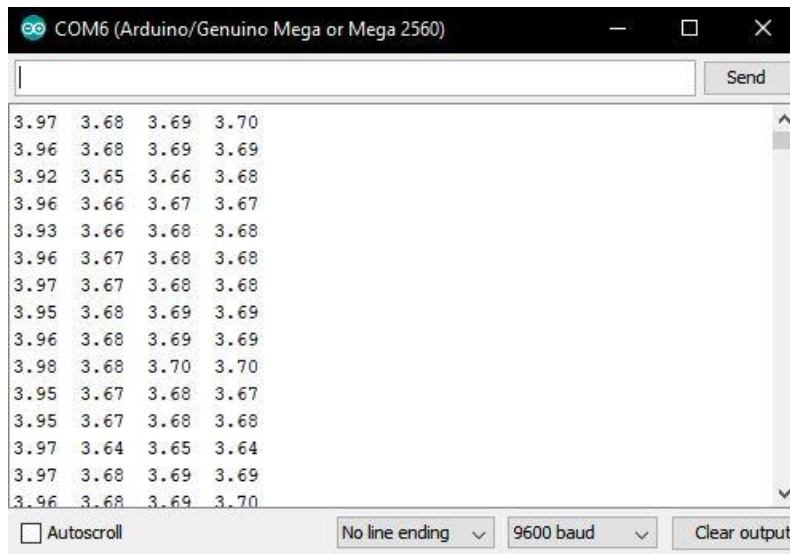
Pada pengujian *monitoring* bertujuan untuk mengetahui kinerja sistem *monitoring* dan apakah informasi yang disampaikan sesuai dengan data pembacaan sensor, berikut tampilan



pengujian *monitoring* menggunakan LCD 16x2 dan serial monitor pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 menunjukkan bahwa hasil dari monitoring memiliki kesamaan dengan hasil pengukuran dengan alat ukur.



Gambar 4.5 *Monitoring* dengan LCD 16x2



Gambar 4.6 *Monitoring* dengan *Serial Monitor*

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

1. BMS yang dirancang memiliki tiga fitur utama yaitu *Monitoring*, *balancing*, dan proteksi. Pada fitur *monitoring*, komponen yang digunakan adalah pembaca tegangan yang menggunakan prinsip pembagi tegangan dan sensor arus ACS712. Pada fitur *balancing* digunakan topologi *flyback converter* dimana konversi tegangan baterai yang lebih tinggi menuju tegangan baterai yang lebih rendah melalui *switching transformer*. Pada fitur proteksi pemutus rangkaian menggunakan IRFB4110, proteksi ini mampu melindungi *battery pack* dari operasi baterai yang tidak aman seperti *overcharge*. Dan pada *fitur monitoring* digunakan LCD 16x2 dan *serial monitor* yang digunakan untuk memantau kondisi baterai.
2. BMS telah diimplementasikan dan diuji dalam kondisi sesuai dengan operasi *battery pack* yang aman, dengan memperhatikan variasi tegangan dan arus.
3. Hasil pengujian menunjukkan bahwa performa BMS untuk *monitoring* tegangan memiliki akurasi sebesar 99,99% dan sensor arus memiliki akurasi sebesar 91,7%. Dalam fitur *balancing* lama waktu penyeimbangan dipengaruhi oleh besarnya perbedaan tegangan antar baterai dan banyaknya baterai yang memiliki tegangan yang bervariasi. Dalam fitur proteksi dapat bekerja dengan baik saat terjadi *overcharge* dengan batasan nilai tegangan yang telah ditentukan.

#### 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa saran sebagai berikut:

1. Dalam BMS active balancing ini untuk meningkatkan daya yang di push oleh flyback transformer harus meningkatkan jumlah lilitan dan memperbesar ukuran koker trafo.
2. Dalam menyuplai trafo flyback sebaiknya menggunakan sumber terpisah dari rangkaian, karena akan meningkatkan rugi-rugi yang besar apa bila sumber powernya diambilkan dari battery pack.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Osseiran, "7 Million Premature Deaths Annually Linked to Air Pollution," *www.who.int*, 2014. [Online]. Available: <https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/>. [Accessed: 19-May-2020].
- [2] Ariel cohen, "Manufacturers Are Struggling To Supply Electric Vehicles With Batteries," *Forbes*, 2020. [Online]. Available: <https://www.forbes.com/sites/arielcohen/2020/03/25/manufacturers-are-struggling-to-supply-electric-vehicles-with-batteries>. [Accessed: 19-May-2020].
- [3] H. V Venkatasetty, "Recent Advances in Lithium-Ion and Lithium-Polymer Batteries h i," pp. 173–178.
- [4] L. Wang, X. Wang, and W. Yang, "Optimal design of electric vehicle battery recycling network – From the perspective of electric vehicle manufacturers," *Applied Energy*, vol. 275, no. February, p. 115328, 2020.
- [5] J. D. Welsh, "A Comparison of Active and Passive Cell Balancing Techniques for Series / Parallel Battery Packs," p. 115, 2009.
- [6] F. Zhang, M. M. U. Rehman, R. Zane, and D. Maksimović, "Hybrid balancing in a modular battery management system for electric-drive vehicles," *2017 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, ECCE 2017*, vol. 2017-Janua, pp. 578–583, 2017.
- [7] J. Xu, S. Li, and B. Cao, "A Novel Current Disturbance Estimation Method for Battery Management Systems in Electric Vehicle," *Energy Procedia*, vol. 105, no. July 2017, pp. 2837–2842, 2017.
- [8] H. Abdulloh, W. B. Pratomo, and M. Eng, "Rancang Bangun Battery Management System untuk Mobil Listrik Kaliurang Unisi Generasi 3 . 1," pp. 2–8, 2015.
- [9] M. Bowkett, K. Thanapalan, T. Stockley, M. Hathway, and J. Williams, "Design and Implementation of an Optimal Battery Management System for Hybrid Electric Vehicles," no. September, pp. 13–14, 2013.
- [10] Y. Chen, X. Liu, H. K. Fathy, J. Zou, and S. Yang, "A graph-theoretic framework for analyzing the speeds and efficiencies of battery pack equalization circuits," *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 98, no. 92, pp. 85–99, 2018.

- [11] K. Fang *et al.*, “Air-stable red phosphorus anode for potassium/sodium-ion batteries enabled through dual-protection design,” *Nano Energy*, vol. 69, no. November 2019, p. 104451, 2020.
- [12] N. Mohan, *Power Electronics Converters, Application, and Design*. 2003.
- [13] D. Xu, W. Zhang, N. Wang, G. Wang, and G. Xu, “The power frequency voltage divider calibration device and its uncertainty,” *Energy Reports*, vol. 6, pp. 380–384, 2020.
- [14] W. Chen, J. Liang, Z. Yang, and G. Li, “A review of lithium-ion battery for electric vehicle applications and beyond,” *Energy Procedia*, vol. 158, pp. 4363–4368, 2019.
- [15] T. Subekti, H. Suryoatmojo, and S. Anam, “Rancang Bangun Equalizer Tegangan Sel Menggunakan Flyback Konverter Untuk Baterai Li-Ion Terhubung Seri,” *Jurnal Teknik ITS*, vol. 5, no. 2, pp. 142–148, 2016.
- [16] N. A. Samsudin, D. Ishak, and A. B. Ahmad, “Design and experimental evaluation of a single-stage AC/DC converter with PFC and hybrid full-bridge rectifier,” *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 21, no. 2, pp. 189–200, 2018.
- [17] Allegro, “ACS712 [Datasheet],” *Allegro MicroSystems, Inc*, pp. 1–14, 2007.
- [18] Allegro, “Hcpl 3120,” *Allegro MicroSystems*, pp. 1–16.

# LAMPIRAN

## BMS Active Balancing

