

**RANCANG BANGUN SISTEM PROTEKSI CELL BATERAI  
PADA BATERAI PACK DENGAN TEKNIK ACTIVE BYPASS  
BALANCER**

**SKRIPSI**

Diajukan sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar  
Sarjana Teknik



**Oleh:**

**SALMAN AL FARISI**

I0716030

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
SURAKARTA**

**2020**

# **RANCANG BANGUN SISTEM PROTEKSI CELL BATERAI PADA BATERAI PACK DENGAN TEKNIK AKTIF BYPASS BALANCER**

**Salman Al Farisi<sup>1)</sup>**

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret

Email : alfarisislmn@gmail.com

## **ABSTRAK**

Berkembangnya kebutuhan akan penyimpanan energi menyebabkan kebutuhan baterai semakin meningkat khususnya pada penggunaan baterai *lithium*. hal tersebut dikarenakan baterai *lithium* memiliki banyak kelebihan mulai dari kerapatan energi yang tinggi hingga perawatannya yang mudah. Sehingga aplikasi penggunaan baterai *lithium* semakin bervariasi, misalnya untuk kendaraan listrik dan penyimpanan energi terbarukan. Akan tetapi kelemahan baterai *pack* memiliki ketidakseimbangan tegangan tiap *cell* pada proses *charging* dan *discharging* sehingga penggunaan daya tidak maksimal dan dapat merusak *cell*. Oleh karena itu diusulkan rancang bangun sistem proteksi *cell* baterai dengan aktif bypass, yang bertujuan untuk mengatasi ketidakseimbangan *cell*. Hasil dari perancangan alat menunjukan sistem aktif *bypass* dapat menghentikan laju kenaikan atau penurunan tegangan pada *cell* yang sudah berada pada batas maksimal atau minimal tegangan baterai dan sistem ini memiliki tingkat presisi dan akurasi sensor yaitu 89% dan 95,47%.

Kata Kunci : Baterai *pack*, Active *bypass cell*, *Charging*, *Discharging*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas rahmat dan karunianya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul Rancang Bangun Sistem Proteksi *Cell* Baterai Pada Baterai Pack Dengan Teknik *Active Bypass Balancer*. Dalam penyusunan skripsi ini, tentu perlu melewati serangkaian proses. Sebagaimana kita ketahui bahwa dalam berproses tidak selamanya jalan yang harus dilalui mulus. Kadang kalanya jalan berlubang dan berliku menjadi bagian dari perjalanan proses yang harus dilalui. Semakin panjang perjalanan yang telah ditempuh, maka semakin jauh kita telah bepergian. Semakin jauh kita bepergian, maka pengalaman yang kita lalui pun semakin banyak. Dan akhirnya, semakin banyak pengalaman akan memberikan semakin banyak pelajaran hidup sebagai bekal masa depan.

Dalam menyusun skripsi ini, empat tahun perkuliahan di Program Studi Teknik Elektro telah penulis lalui. Skripsi bukan tentang menyelesaikan sebuah proyek dan menuliskannya, namun di dalamnya terkandung segala aspek materi dan kebijaksanaan yang telah diasah menjadi lebih runcing selama empat tahun lebih perkuliahan di Teknik Elektro. Oleh karena itu, skripsi ini penulis persembahkan bagi segala pihak yang telah menjadi bagian dalam perjalanan empat tahun lebih dalam dunia perkuliahan.

Menyelesaikan tugas akhir atau skripsi ini tentu bukanlah perkara mudah. Sebagai wujud apresiasi, melalui kata pengantar ini, penulis hendak menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir.Chico Hermanu B.A.,ST.,M.Eng. selaku Pembimbing I yang setia memberikan dukungan, ide, arahan, bimbingan, dan motivasi selama perkuliahan di Teknik Elektro, khususnya selama mengerjakan tugas akhir ini hingga selesai.
2. Bapak Agus Ramelan, M.T.. selaku Pembimbing II yang selalu setia memberikan dukungan, ide, arahan, bimbingan, dan motivasi selama pengerjaan tugas akhir ini.

3. Bapak selaku Dosen Penguji yang telah memberikan dukungan, ide, arahan, bimbingan, dan motivasi selama pengerjaan tugas akhir ini.
4. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat, motivasi, dan inspirasi yang luar biasa selama menjalani masa perkuliahan selama kurang lebih 4 tahun ini.
5. Teman-teman Teknik Elektro angkatan 2016 yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah sama-sama berjuang selama 4 tahun ini atas bantuannya yang luar biasa dan semangat yang diberikan untuk segera mendapatkan gelar Sarjana Teknik ini.
6. Keluarga yang tercinta ibu saya Suhinah, ayah saya Mudakir, dan kakak saya Istiqomah, Ulikhatun dan Alimudin yang selalu memberikan motivasi dan semangat serta doa restu sehingga penulisan tugas akhir ini dapat terselesaikan.

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR TABEL .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	vi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	4
2.2 Proteksi Baterai .....	4
2.2.1 <i>Overcharging</i> .....	4
2.2.2 <i>Over discharging</i> .....	5
2.2.3 <i>Cell Unbalance</i> .....	5
2.2.4 <i>Overcurrent</i> .....	5
2.2.5 <i>Overheating</i> .....	5
2.3 Aktif <i>cell balancing</i> .....	8
2.3.1 <i>Bypass cell</i> .....	8
2.3.2 <i>Cell to cell</i> .....	8
2.3.3 <i>Cell to pack</i> .....	9
2.3.4 <i>Pack to cell</i> .....	9
2.3.5 <i>Cell to pack to cell</i> .....	9
2.4 MOSFET .....	9
2.5 Baterai <i>Lithium-ion</i> .....	10
2.6 Sensor ACS712 .....	10
2.7 ADC ADS1115 .....	10
2.8 Wemos D1 Mini .....	11
2.9 Sensor <i>Temperatur</i> DS18B20 .....	11
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	13
3.1 Jalannya Penelitian .....	13
3.2 Perancangan Alat .....	14
3.3 Alat dan Bahan .....	15
3.4 Perancangan Perangkat Keras .....	16
3.3.1 Perancangan <i>Bypass cell</i> .....	16
3.3.2 Perancangan Driver mosfet .....	17
3.3.3 Perancangan sensor tegangan .....	17
3.3.4 Perancangan sensor arus .....	18
3.3.5 Perancangan Mosfet Cutoff .....	18
3.5 Perancangan Perangkat Lunak .....	20
3.5.1 Perancangan algoritma Pembacaan Sensor dan Monitoring .....	20
3.5.2 Perancangan algoritma kontrol <i>bypass</i> .....	21
3.5.3 Perancangan Proteksi .....	22
3.5.4 Perancangan Aplikasi Monitoring .....	23
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	25
4.1 Hasil Simulasi .....	25

4.2	Pembuatan Alat .....	27
4.3	Pengujian Pembacaan Sensor .....	29
4.3.1	Tujuan Utama Pengujain Pembacaan Sensor .....	29
4.3.2	Hasil Pengujujian Pembacaan Sensor .....	30
4.4	Pengujian <i>Bypass Cell</i> .....	34
4.4.1	Pengujian <i>bypass</i> pada proses <i>charging</i> .....	34
4.4.2	Pengujian <i>bypass cell</i> pada proses <i>discharging</i> .....	37
4.5	Pengujian Proteksi .....	39
4.6	Pengujian Monitoring Pada Aplikasi Blynk .....	46
<b>BAB V</b>	<b>PENUTUP</b> .....	48
5.1	Kesimpulan .....	48
5.2	Saran .....	49
DAFTAR PUSTAKA .....		50
LAMPIRAN .....		52

### DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Penelitian Sebelumnya .....	6
Tabel 2.2	<i>Relative Properties of Controllable Switches</i> [16] .....	9
Tabel 3.1	Alat dan Bahan .....	15
Tabel 4.1	Hasil Simulasi tanpa <i>bypass</i> .....	25
Tabel 4.2	Hasil Simulasi <i>bypass cell 3</i> .....	26
Tabel 4.3	Hasil uji tingkat presisi sensor .....	31
Tabel 4.4	Hasil uji tingkat akurasi tegangan .....	32
Tabel 4.5	Hasil uji tingkat akurasi sensor arus .....	33
Tabel 4.6	Hasil pengujian proteksi <i>undervoltage</i> .....	40
Tabel 4.7	hasil pengujian proteksi <i>overvoltage</i> .....	42

### DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Topology Bypass Cell [1] [12] .....	8
Gambar 2.2	rangkaian Sensor ACS712. ....	10
Gambar 2.3	rangkain ADS1115 .....	11
Gambar 2.4	Rangkaian Sensor DS18B20 dengan daya parasit. ....	12
Gambar 3.1	Diagram Alir Jalannya Penelitian .....	14
Gambar 3.2	Alat yang akan dibuat .....	15
Gambar 3.3	Rangkain <i>Bypass Cell</i> .....	17
Gambar 3.4	Rangkain Driver Mosfet .....	17
Gambar 3.5	Rangkain Sensor tegangan .....	18
Gambar 3.6	Rangkain Sensor Arus .....	18
Gambar 3.7	Rangkian Mosfet Cutoff .....	18
Gambar 3.8	Diagram Alir Perancangan Perangkat Keras .....	19
Gambar 3.9	Diagram Alir Algoritma Pembacaan Sensor .....	21
Gambar 3.10	Diagram Alir Algoritma kontrol <i>Bypass</i> .....	22
Gambar 3.11	Diagram Alir algoritma Proteksi .....	23
Gambar 3.12	Arsitektur IoT control and monitoring .....	24
Gambar 4.1	Simulasi pada saat pengisian tanpa <i>bypass</i> .....	25
Gambar 4.2	Simulasi <i>Bypass cell 3</i> .....	26
Gambar 4.3	Desain <i>Schematic</i> .....	27

Gambar 4.4 Desain <i>Board</i> .....	28
Gambar 4.5 Hasil Alat.....	28
Gambar 4.6 Hasil pengujian sensor tegangan tanpa beban.....	30
Gambar 4.7 Garafik pengujian akurasi sensor arus. ....	34
Gambar 4.8 Grafik pengujian <i>bypass charging cell 1</i> .....	35
Gambar 4.9 Grafik pengujian <i>bypass charging cell 2</i> .....	35
Gambar 4.10 Grafik pengujian <i>bypass charging cell 3</i> .....	36
Gambar 4.11 Grafik pengujian <i>bypass charging cell 4</i> .....	36
Gambar 4.12 Grafik pengujian <i>bypass discharging cell 1</i> .....	37
Gambar 4.13 Grafik pengujian <i>bypass discharging cell 2</i> .....	38
Gambar 4. 14 Grafik pengujian <i>bypass discharging cell 3</i> .....	38
Gambar 4.15 Grafik pengujian <i>bypass discharging cell 4</i> .....	39
Gambar 4.16 Grafik pengujian proteksi <i>undervoltage</i> .....	41
Gambar 4.17 Grafik pengujian proteksi <i>overvoltage</i> .....	43
Gambar 4.18 Grafik pengujian <i>Overcurrent</i> .....	44
Gambar 4.19 Grafik pengujian <i>Overheat</i> .....	45
Gambar 4.20 (a) <i>Monitoring</i> tegangan tiap <i>cell</i> , tegangan total dan daya; (b) <i>Montoring</i> arus, suhu, kapasitas baterai dan kontrol <i>cutoff</i> ; (c) Kontrol batas tegangan atas bawah, kontrol <i>bypass cell</i> dan kalibrasi arus. ....	46
Gambar 4.21 Garfik <i>monitoring</i> tegangan tiap <i>cell</i> . ....	47

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dewasa ini, kebutuhan penyimpanan energi semakin meningkat sejalan dengan meningkatnya perkembangan energi terbarukan dan kendaraan listrik. Sebagai contoh pada baterai *lithium* karena memiliki daya tahan yang lebih lama, kurangnya efek memori dan kepadatan energi yang tinggi [1]. Hal tersebut didukung dengan tingginya permintaan material pembuatan baterai *lithium* di mana pada tahun 2019 mengalami kenaikan hampir 20% [2].

Namun pada baterai *lithium* memiliki batas tegangan maksimal dan minimal yang apabila melebihi batas tegangan tersebut dapat menyebabkan kerusakan pada baterai [3] sehingga membutuhkan proteksi untuk menjaga agar baterai tetap berada pada tegangan aman. Pada aplikasinya *cell* baterai *lithium* disusun seri paralel untuk mendapatkan kapasitas dan tegangan yang dibutuhkan. Namun seiring dengan adanya *charging* dan *discharging* pada baterai *pack* menyebabkan ketidakseimbangan tegangan antar *cell* yang menyebabkan menurunnya kapasitas energi yang dapat digunakan oleh baterai *pack* tersebut sehingga dibutuhkan sistem penyeimbang agar baterai dapat digunakan dengan maksimal.

Cara paling mudah untuk membatasi tegangan maksimal dan minimal yaitu dengan memutus koneksi baterai. Akan tetapi pada cara ini tidak efisien jika diterapkan pada baterai *pack* sehingga banyak dikembangkan sistem penyeimbang seperti yang dikembangkan oleh Thomas Szalai [4] melakukan penelitian tentang pengujian pada aktif *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 banyak seri.

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. Fan Zhang dkk [6] melakukan penelitian 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* pada *hybrid balancing*, dimana hasil pengujian module memiliki tingkat konvergensi yang cukup baik dan kecepatan rata-rata pasif *balancing* mencapai 0,5% SOC per jam.

Dari beberapa penelitian tersebut kebanyakan menggunakan sistem pasif maupun sistem penyeimbang aktif yang menggunakan *converter* sehingga permasalahan yang hampir sama yaitu pada keandalan dan kerumitan sistem yang menjadi dasar dari penelitian ini. Adapun dalam penelitian ini akan diusulkan rancang bangun yang bersifat eksperimental untuk melakukan proteksi dan balancing pada tiap *cell* baterai lithium ion dengan teknik *bypass* menggunakan MOSFET dengan harapan memiliki tingkat efisiensi yang tinggi, *balancing* yang cepat dengan kesulitan sistem yang lebih rendah.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan sebelumnya, maka dapat ditentukan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang proteksi dan *cell balancing* baterai *Lithium Ion*?
2. Bagaimana proteksi dan *cell balancing* diuji pada baterai *Lithium Ion*?
3. Bagaimana performa proteksi dan *cell balancing* pada baterai *Lithium Ion*?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah dapat ditentukan tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang simulasi proteksi *cell* baterai dengan teknik *bypass* untuk mengetahui apakah sistem *bypass cell* dengan 3 mosfet dapat dilakukan.
2. Merancang hardware sistem proteksi *cell* baterai dengan teknik *bypass*.
3. Menguji sistem proteksi *cell* baterai dengan teknik *bypass* dengan melakukan pengujian nilai presisi dan akurasi pembacaan sensor, pengujian *bypass cell* dengan 3 mosfet pada tiap *cell*, pengujian proteksi *overcharging*, *discharging* dan *overcurrent*, dan pengujian monitoring baterai pada aplikasi blynk.
4. Menganalisis sistem proteksi *cell* baterai dengan teknik *bypass* untuk mengetahui apakah sistem seperti pembacaan sensor, *bypass*, proteksi dan monitoring dapat bekerja dengan baik atau tidak.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Bertambahnya sebuah alat sistem proteksi baterai untuk baterai *Lithium Ion* yang dapat menjadi solusi dalam mengoptimalkan dan mengamankan penggunaan baterai yang dapat dijadikan referensi dalam penelitian selanjutnya.
2. Menjadi sistem teknologi pendukung dalam pengembangan penyimpanan energi terbarukan atau kendaraan listrik di Indonesia.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Dalam bab ini akan dibahas kajian pustaka yang diawali dengan referensi penelitian, konsep-konsep yang digunakan dalam kajian teorinya tentang beberapa pengertian. Adapun dalam bab ini dasar-dasar teori yang akan dibahas adalah meliputi penelitian sebelumnya, proteksi baterai, penyeimbang baterai, MOSFET, ADC dan NodeMCU.

#### **2.1 Penelitian Sebelumnya**

Penelitian yang telah dijalankan sebelumnya dalam topik *Battery Protection* telah dirangkum dalam Tabel 2.1.

Melihat dari referensi pada Tabel 2.1 dapat diketahui bahwa kebanyakan riset tentang proteksi baterai disebabkan ketidakandalan dari sistem *balancing* sehingga dikembangkan beberapa metode dari metode yang telah digunakan yaitu sistem penyeimbang pasif ataupun penyeimbang aktif di mana dari sistem tersebut memiliki kelemahan masing-masing. Berdasarkan referensi tersebut rancangan sistem yang dibuat menggunakan sistem aktif *bypass* yang memiliki perbedaan dari penelitian sebelumnya yaitu dengan menggunakan 3 mosfet pada tiap *cell* untuk mengatasi permasalahan pada arus balancing pada sistem pasif balancing yang memiliki arus *balancing* yang kecil dengan efisiensi rendah dan sistem yang lebih sederhana dibandingkan dengan sistem aktif *balancing*.

#### **2.2 Proteksi Baterai**

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

##### **2.2.1 Overcharging**

*Overcharging* merupakan suatu kondisi dari proses *charging* yang berlebihan yang disebabkan tidak seimbangannya tegangan tiap *cell*, yang dapat

menyebabkan ledakan pada baterai. Proteksi dari *overcharging* sendiri biasa menggunakan mosfet *cutoff* yang diatur berdasarkan referensi tegangan berdasarkan tipe *cell* baterai yang digunakan seperti LFP dengan tegangan maksimal 3.6V dan NCA dengan maksimal tegangan yaitu 4.2V.

### **2.2.2 Over discharging**

*Over discharging* merupakan suatu kondisi dari proses *discharging* yang melewati batas tegangan minimal yang dapat menyebabkan *cell* baterai rusak dan tidak bisa digunakan lagi. Proteksi *Over discharging* sama dengan proteksi *Overcharging* yaitu dengan memberikan mosfet *cutoff* yang dikendalikan berdasarkan referensi tegangan minimal sesuai tipe *cell* baterai yang digunakan seperti LFP dengan tegangan minimal 2.1V dan NCA dengan minimal tegangan yaitu 3.5V.

### **2.2.3 Cell Unbalance**

*Cell Unbalance* merupakan suatu kondisi tidak seimbanganya tegangan antar *cell* baterai sehingga proses *charging* dan *discharging* tidak dapat berjalan dengan baik dan dapat mempengaruhi kapasitas baterai yang dapat digunakan bahkan dapat merusak baterai. Proteksi dari *cell unbalance* sangat bervariasi dikarenakan memiliki kesulitan yang cukup tinggi sejalan dengan jumlah seri *cell* yang digunakan. Contoh proteksi yang banyak digunakan yaitu pasif *balancing* dengan menggunakan resistor, aktif *cell balancing to cell* dengan menggunakan DC-DC converter.

### **2.2.4 Overcurrent**

*Overcurrent* merupakan suatu kondisi dimana penggunaan arus *charging* atau *discharging* yang melebihi batas spesifikasi baterai yang dapat menyebabkan kenaikan suhu pada baterai. Untuk memproteksi *overcurrent* biasanya menggunakan mosfet *cutoff* sebagai pemutus daya ketika terjadi *overcurrent*.

### **2.2.5 Overheating**

*Overheating* merupakan suatu kondisi temperatur baterai melebihi maksimal temperatur kerja baterai yang dapat menyebabkan terjadinya ledakan pada baterai.

Tabel 2.1 Penelitian Sebelumnya

No.	Pengarang	Judul	Permasalahan	Solusi	Metoda	Hasil
1.	Lucian Andrei Perișoară [7]	A Passive Battery Management System for Fast Balancing of Four LiFePO <sub>4</sub> Cells	Kebutuhan sistem balancing yang cepat dengan sistem yang tidak terlalu kompleks	Merancang pasif Balancing dengan menggunakan resistor daya besar.	Pasif Balancing	Memiliki Arus Balancing yang tinggi sehingga mempercepat proses balancing
2.	F. Ran, H. Xu, Y. Ji, J. Qin, and W. Li [8]	An active balancing circuit for lithium battery management system with optoelectronic switches	Permasalahan aktif balancing memiliki kelemahan pada kecepatan balancing, harga dan kompleksitas pada sistem kontrol.	Menggunakan model aktif balancing dengan trafo flyback pada tiap cell	Aktif balancing dengan flyback transformator	Menaikan kecepatan balancing dengan hasil 535.2mV menjadi 9mV dengan waktu yang sama.
3.	Geon-Hong Min and Jung-Ik Ha [9]	Active Cell Balancing Algorithm for Serially Connected Li-Ion Batteries based on Power to Energy Ratio	Permasalahan aktif balancing yang membutuhkan waktu yang cukup lama karena harus mendeteksi beda tegangan terlebih dahulu	Denga menggunakan algoritma untuk memprediksi ketidakseimbangan antar sel karena invarian kapasitas	Aktif balancing dengan flyback transformator	Sistem dengan kompleksitas yang lebih sederhana dan lebih cepat dari model tegangan konvensional
4.	Alma Probstl, Sangyoung Park, Swaminathan Narayanaswamy,	SOH-Aware Active Cell Balancing Strategy For High Power Battery Packs	Permasalahan umur baterai yang tidak termanagment sehingga	Dengan memasang aktif cell balancing dengan memperhatikan	Aktif balancing dengan kapasitor.	penuaan dapat dikurangi hingga 23,5% lebih dari keseimbangan sel

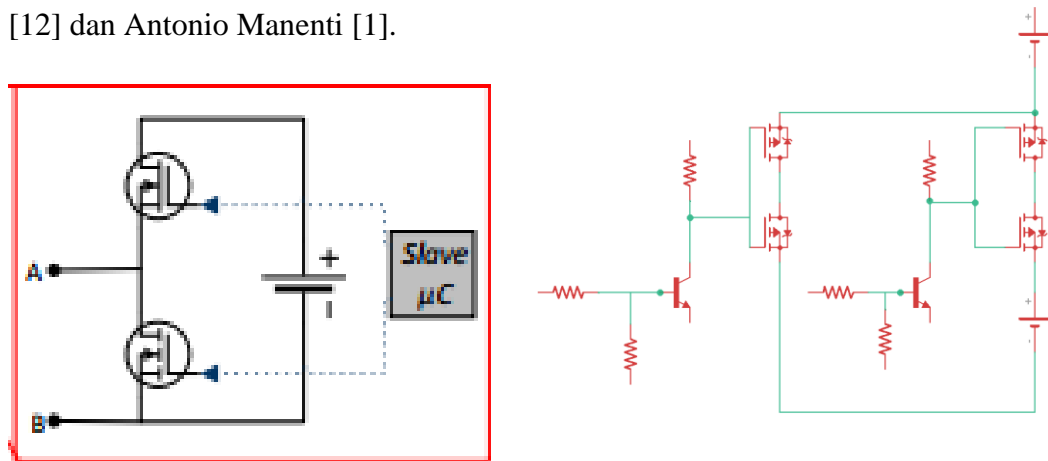
No.	Pengarang	Judul	Permasalahan	Solusi	Metoda	Hasil
	Sebastian Steinhorst, Samarjit Chakraborty [10]		memungkinkan dapat mengurangi umur baterai	keadaan kesehatan baterai(SOH)		pasif dan 17,6% lebih dari keseimbangan sel SOC aktif.
5.	Koko Friansa, Irsyad Nashirul Haq. [11]	Battery Module Performance Improvement Using Active Cell Balancing System Based on SwitchedCapacitor Boost Converter (S-CBC)	Permasalahan cell unbalance pada baterai pack sehingga membutuhkan balancing yang handal	Sistem balancing sel aktif didasarkan pada metode Switched-Capacitor Boost Converter (S-CBC) yang terdiri dari kapasitor dan konverter boost DCDC	metode Switched-Capacitor Boost Converter (S-CBC)	menunjukkan peningkatan kinerja 7,5% dari kapasitas sistem baterai rata-rata dan energi
6.	Mattia Ricco, Jinhao Meng, Tudor Gherman, Gabriele Grandi, dan Remus Teodorescu [12]	Smart Battery Pack for Electric Vehicles Based on Active Balancing with Wireless Communication Feedback	Permasalahan balancing baterai dan pemasangan kabel yang cukup merepotkan pada jumlah sel yang banyak	Sistem BMS single cell dengan active bypass cell yang dilengkapi komunikasi radio.	<i>Active bypass single cell</i> dengan komunikasi wireless menggunakan RFID	Sistem yang yang dirancang menghasilkan hasil yang lebih baik dibandingkan menggunakan pasif balancing.
7.	Antonio Manenti, Andrea Abba, Alessandro Merati, Sergio M. Savaresi, Angelo Geraci [1].	A New BMS Architecture Based on Cell Redundancy	Ketidakseimbangan cell akibat pengisian dan pengosongan	Sistem BMS 10 sel dengan active bypass balancing dengan mengisolasi cell.	Active Bypass balancing dengan rangkaian full bridge.	Tingkat efisiensi BMS berada pada 90% dengan keadaan apapun.

### 2.3 Aktif *cell balancing*

Teknik Aktif *cell balancing* merupakan teknik *balancing* dengan mentransfer *cell* dengan SOC yang lebih tinggi ke SOC yang lebih rendah sehingga memiliki efisiensi yang lebih tinggi [13]. Metode ini sangat efisien karena energi berlebih ditransfer ke *cell* dengan energi rendah tetapi meningkatkan kompleksitas sirkuit penyeimbang [14]. Metode *cell balancing* aktif saat ini terdiri dari *relay*, konektor DC-DC, dan transduser. Metode Aktif *balancing* sendiri terdiri dari lima sub kategori yaitu *Bypass cell*, *cell to cell*, *cell to pack*, *pack to cell* dan *cell to pack to cell* [15].

#### 2.3.1 *Bypass cell*

*Bypass cell* merupakan sistem untuk melakukan *bypass cell* baterai jika terjadi ketidaknormalan pada baterai ataupun untuk melindungi *cell* baterai dari tegangan maksimal ataupun minimal. Sistem kerjanya yaitu dengan memutus jalur pada *cell* baterai yang sudah mencapai batas tegangan maksimal atau minimal dan melakukan *bypass* jalur baterai tersebut pada susunan *cell* baterai berikutnya dengan menggunakan saklar Mosfet seperti yang dikembangkan oleh Mattia Ricco [12] dan Antonio Manenti [1].



Gambar 2.1 Topology Bypass Cell [1] [12]

#### 2.3.2 *Cell to cell*

Metode sel-ke-sel merupakan metode balancing dengan mentransfer energi pada *cell* yang memiliki SoC yang lebih tinggi ke *cell* dengan SoC yang lebih rendah [15]. Sistem ini memiliki efisiensi yang lebih tinggi, tetapi kecepatan balancing lambat dengan kompleksitas kontrol tinggi.

### 2.3.3 *Cell to pack*

Dalam metode Cell-to-pack, energi diekstraksi dari sel yang paling bermuatan dalam paket dan dikirimkan secara merata ke semua sel melalui terminal paket. Metode ini aman dalam arti tidak ada energi yang hilang dalam bentuk panas karena biaya tambahan yang akan menyebabkan pemanasan sama-sama berkurang dari sel ke sel-sel lain dalam paket.

### 2.3.4 *Pack to cell*

Metode pack-to-cell mentransfer energi dari paket ke sel yang paling tidak terisi. Metode ini memastikan biaya keseimbangan dipertahankan sepanjang proses pengisian, dan tidak ada biaya yang hilang

### 2.3.5 *Cell to pack to cell*

Metode cell-to-pack-to-cell mentransfer energi dengan menerapkan metode cell-to-pack dan pack-to-cell. Dalam metode cellto-cell, cell-to-pack, pack-to-cell, dan cell-to-pack-to-sel, topologi konvensional berdasarkan konverter DC / DC cenderung kompleks dan mahal, dan efisiensinya rendah.

## 2.4 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 [16]. Berbeda dengan BJT (Bipolar Junction Transistor) yang dikendalikan oleh arus, MOSFET adalah saklar yang dikendalikan oleh tegangan.

Tabel 2.2 *Relative Properties of Controllable Switches* [16]

<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>



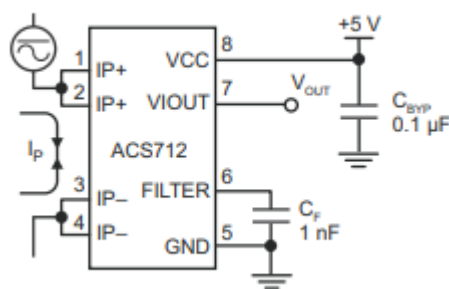
## 2.5 Baterai *Lithium-ion*

Baterai *lithium-ion* merupakan salah satu jenis baterai yang sekarang banyak digunakan karena Baterai *lithium-ion* bila dibandingkan dengan baterai lain 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 [17].

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 terjadi ledakan pada baterai. Untuk memastikan operasi yang handal dari baterai *lithium*, sangat penting untuk mengevaluasi kapasitas baterai *lithium ion* dan memprediksikan usia baterai yang tersisa selama masa pemakaian [17].

## 2.6 Sensor ACS712

Sensor arus ACS712 merupakan IC yang terdiri dari rangkaian sensor *Hall* linear presisi, *offset* rendah, dengan jalur konduksi tembaga. Dimana arus yang mengalir melalui jalur konduksi tembaga ini menghasilkan medan magnet yang dirasa oleh IC *Hall* terintegrasi dan diubah menjadi tegangan proporsional [18].

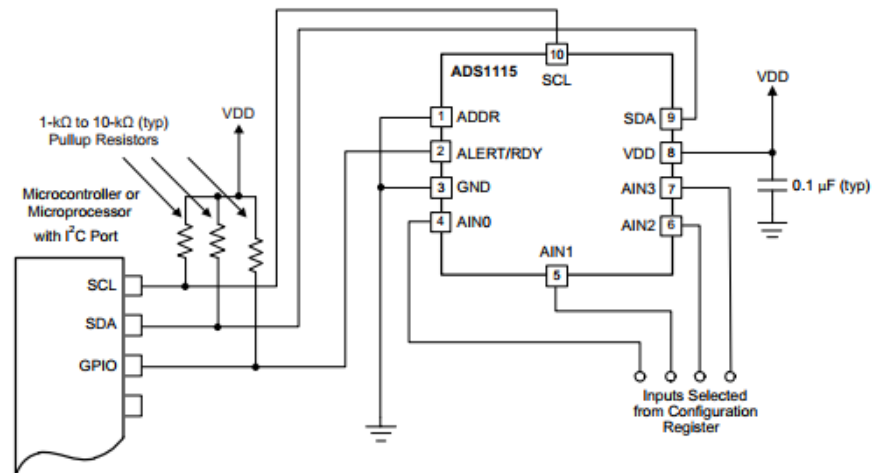


Gambar 2.2 rangkaian Sensor ACS712.

## 2.7 ADC ADS1115

ADC ADS1115 merupakan salah satu tipe IC adc 16-bit dengan presisi yang tinggi penggunaan daya yang rendah dan dilengkapi dengan komunikasi I2C. Spesifikasi dari ADC ini yaitu memiliki kemampuan pembacaan tegangan dari  $\pm 256$  mV sampai  $\pm 6.144$  V dengan kecepatan pembacaan mencapai 860 *sample* per

detik. Tegangan *power supply* antara 2V sampai 5.5V DC, konsumsi arus 150uA dan suhu operasi  $-40^{\circ}\text{C}$  sampai  $+125^{\circ}\text{C}$  [19]. IC ini dapat digunakan sebagai *converter* pembacaan sensor dengan *output* analog yang membutuhkan presisi tinggi ataupun sebagai sensor tegangan rendah seperti baterai *Lithium*.



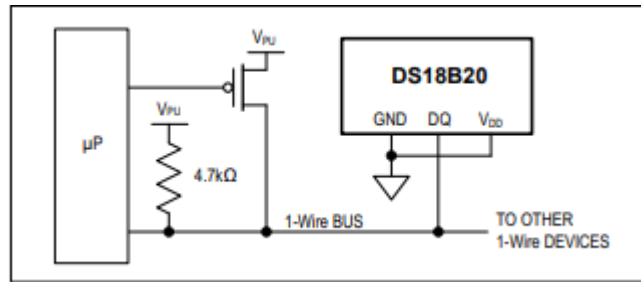
Gambar 2.3 rangkain ADS1115

## 2.8 Wemos D1 Mini

Wemos D1 Mini merupakan *microcontroller* 32-bit dengan *wi-fi module* berbasis ESP8266 yang dilengkapi chip CH340 sebagai konverter usb to serial internal sehingga tidak membutuhkan bantuan board programmer/usb TTL eksternal dan bisa langsung diprogram menggunakan Arduino Ide. Wemos D1 mini dilengkapi dengan 12 IO pin dengan 10-bit PWM dan 1 pin ADC.

## 2.9 Sensor Temperatur DS18B20

Sensor *temperature* DS18B20 merupakan sensor suhu yang menyediakan pengukuran suhu 9-bit hingga 12-bit Celcius dan memiliki fungsi alarm dengan titik pemicu atas dan bawah yang dapat diprogram. DS18B20 berkomunikasi melalui bus 1-Kawat yang menurut definisi hanya membutuhkan satu jalur data (dan *ground*) untuk komunikasi dengan mikroprosesor pusat. Selain itu, DS18B20 dapat memperoleh daya langsung dari jalur data ("kekuatan parasit"), sehingga tidak membutuhkan catu daya eksternal [20].



Gambar 2.4 Rangkaian Sensor DS18B20 dengan daya parasit.

## **BAB III**

### **METODOLOGI 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.

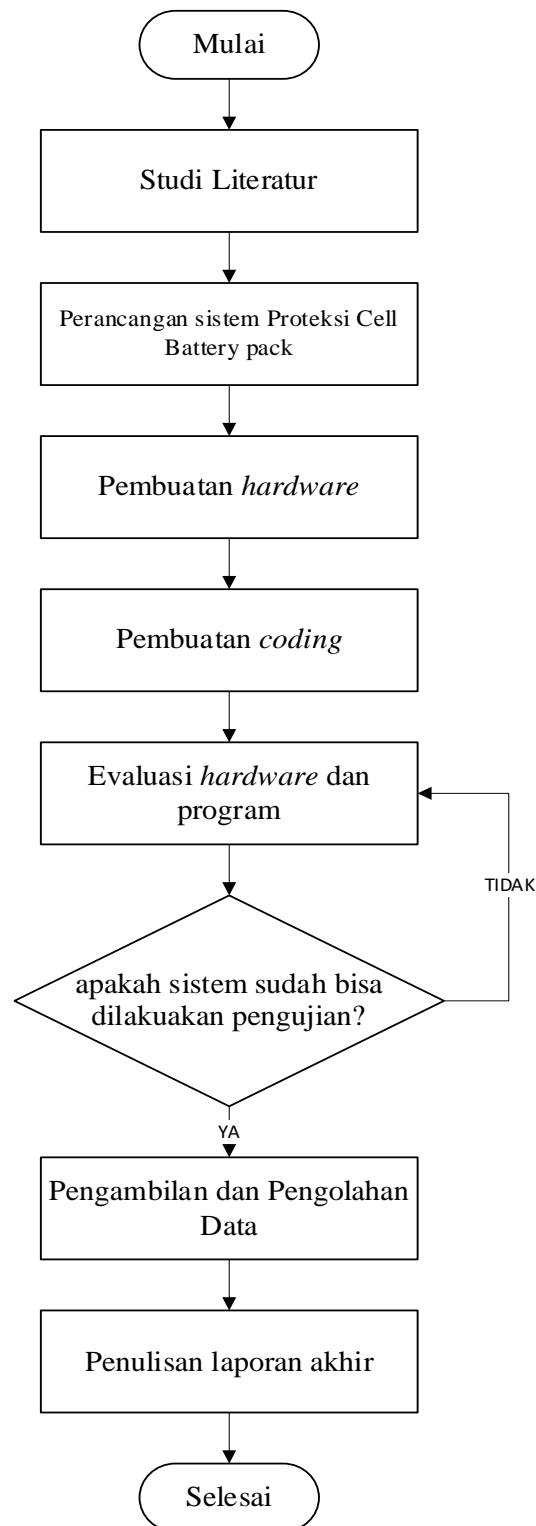
#### **3.1 Jalannya Penelitian**

Penelitian dimulai dengan studi pustaka untuk memahami prinsip kerja cara pembuatan sistem proteksi cell pada *battery pack*. Referensi yang digunakan berupa, paper, *datasheet*, laporan penelitian dengan topik sejenis dan buku. Mempelajari membuat program juga termasuk pada bagian ini.

Setelah pengetahuan dasar dipahami, penelitian dilanjutkan dengan desain konsep sistem dan pembuatan topology yang kemudian disimulasikan. *Software* yang digunakan untuk merancang simulasi ini adalah Proteus 7.9 Professional. Setelah desain konsep selesai dan simulasi berjalan dengan baik sesuai yang diinginkan tahap selanjutnya adalah pembuatan perangkat sistem manajemen baterai. Pembuatan perangkat ini terbagi menjadi dua, yaitu perangkat keras dan perangkat lunak (*program*). Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.

Pembuatan perangkat keras meliputi perancangan sistem Proteksi, perancangan sistem *measurement*, dan perancangan sistem aktif *bypass balancing*.

Serangkaian pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja rangkaian secara keseluruhan, mulai dari pengujian simulasi, pengujian monitoring, pengujian proteksi dan pengujian *balancing*. Evaluasi pun dilakukan hingga rangkaian dapat beroperasi dengan optimal. Setelah itu penelitian diakhiri dengan penulisan laporan penelitian sesuai data yang didapat.

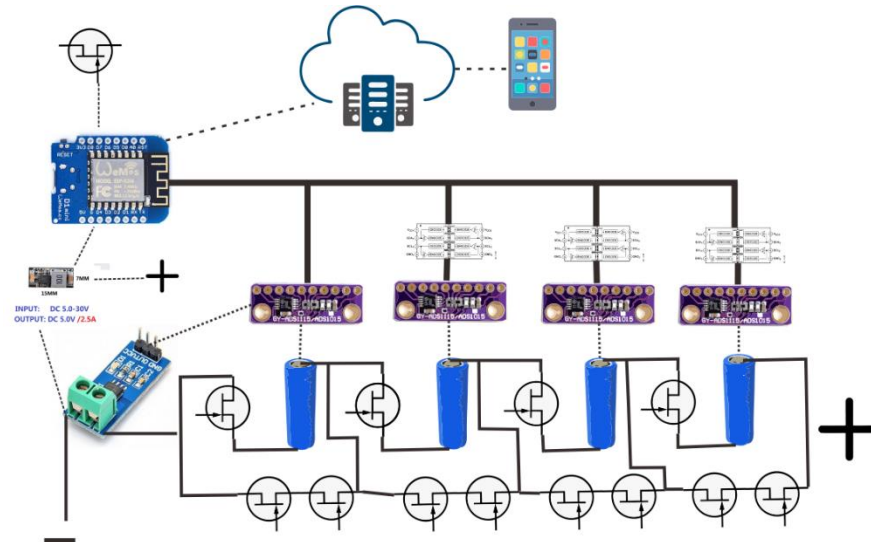


Gambar 3.1 Diagram Alir Jalannya Penelitian

### 3.2 Perancangan Alat

Pada perancangan alat terdiri dari perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak. Pada perancangan perangkat keras terdiri dari

sistem *bypass cell*, pembacaan tegangan dan arus, sistem *cutoff* dan sistem pemrosesan data. Sedangkan pada perancangan perangkat lunak terdiri dari program pembacaan sensor, kontrol *bypass cell*, sistem proteksi, pengiriman data menggunakan Wifi dan desain aplikasi untuk monitoring.



Gambar 3.2 Alat yang akan dibuat

### 3.3 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam merancang, membuat dan menguji sistem manajemen baterai adalah sebagai berikut:

1. Multimeter SANWA CD800a
2. Perangkat lunak Arduino, PROTEUS Version 8.0, Eagle, Blynk.
3. Perkakas: bor listrik, tang potong, tang jepit, obeng, gergaji, solder.
4. Charger dual stage switch buck converter dengan tegangan keluaran 14 v dan arus maksimum 1 A.

Bahan-bahan yang digunakan untuk membuat dan menguji Sistem Manajemen Baterai adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1 Alat dan Bahan

No.	Bahan	Jumlah
1	Wemos D1 mini	1
2	Panasonic 18650BE Li-Ion	4
3	Power Mosfet IRF3205	10

4	Power Mosfet IRF4905	6
5	ADS1115	4
6	ADUM1250	3
7	Optocoupler PC817	9
8	Current Sensor ACS712	1
9	Resistor 12k; 100k;	20
10	Header Block 2	5
11	Micro BEC 5V, 2.5A	3
12	LM2596	1

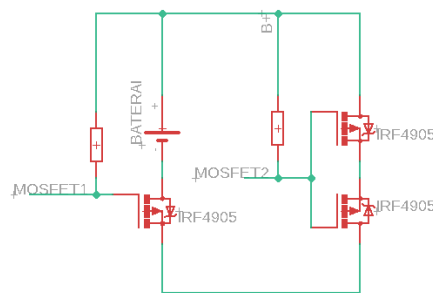
Untuk baterai *lithium-ion* yang digunakan yaitu baterai lithium UNS tipe LFP dengan tegangan minimal 2,1V dan tegangan maksimal 3,6V berkapasitas tiap cellnya 1500mah.

### 3.4 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras dimulai dengan membuat rangkaian *bypass cell* yang dihubungkan 4 seri baterai kemudian pembuatan sensor pembacaan tegangan tiap *cell*, pembuatan sensor arus dan sensor suhu. Untuk rangkain *controller* menggunakan microcontroller Wemos D1 mini yang dihubungkan dengan data *logger* untuk pengambilan data. Berikut pembahasan mengenai bagian-bagian perancangan perangkat keras.

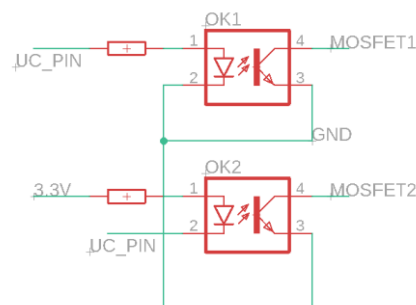
#### 3.3.1 Perancangan *Bypass cell*

Pada sistem *bypass cell* dirancang dengan menggunakan 3 mosfet yang digunakan sebagai pemutus jalur antar *cell* dan sebagai *switch bypass* dengan *bidirectional* mosfet. Mosfet yang digunakan ada dua tipe yaitu mosfet tipe N yaitu IRF3205 dan tipe P yaitu IRF4905 dikarenakan memiliki spesifikasi arus yang tinggi dengan tegangan gate yang rendah.

Gambar 3.3 Rangkain *Bypass Cell*

### 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 rangkainya dibuat dengan model *inverting* agar tidak terjadi penyalaan mosfet secara bersamaan yang dapat menyebabkan terjadinya arus pendek pada *cell* baterai.

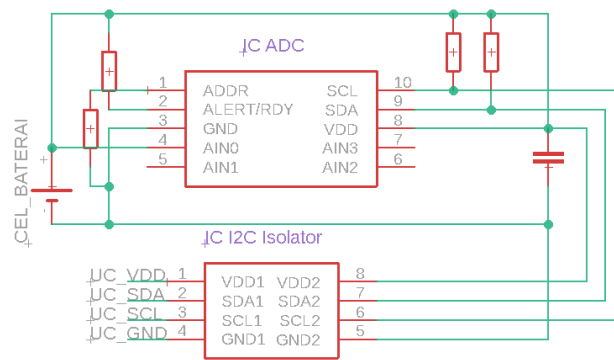


Gambar 3.4 Rangkain Driver Mosfet

### 3.3.3 Perancangan sensor tegangan

Pada perancangan sensor tegangan menggunakan IC ADS1115 dikarenakan IC tersebut merupakan IC ADC dengan resolusi 16-bit sehingga memiliki ketelitian pembacaan yang tinggi, selain itu spesifikasi tegangan dari IC tersebut sesuai dengan rentang tegangan baterai *Lithium* yaitu 2-5.5V. pada rangkaiananya dilengkapi dengan IC ADUM1250 sebagai I2C isolator agar IC tersebut dapat digunakan pada banyak cell dengan satu *Microcontroller*.

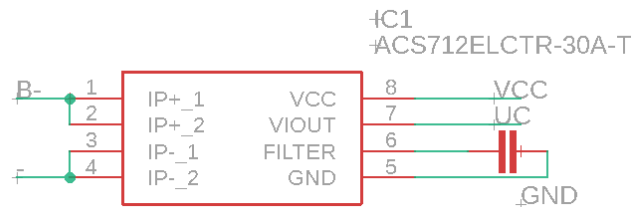




Gambar 3.5 Rangkain Sensor tegangan

### 3.3.4 Perancangan sensor arus

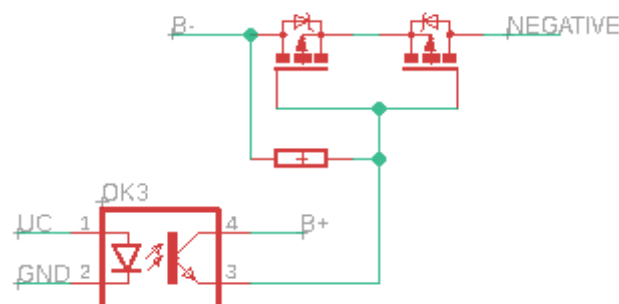
Pada perancangan Sensor Arus menggunakan ACS712 dikarenakan sistem pembacaan yang cukup stabil dan sistem rangkaiannya yang sederhana.



Gambar 3.6 Rangkain Sensor Arus

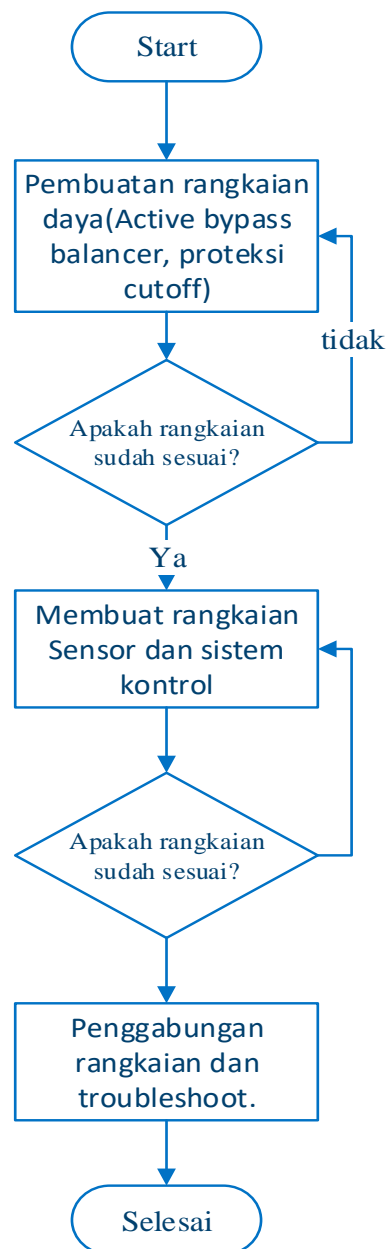
### 3.3.5 Perancangan Mosfet Cutoff

Pada perancangan Mosfet Cutoff menggunakan Mosfet IRF3205 Karena memiliki Arus Tinggi dengan tegangan gate kecil. Pemasangan Mosfet *Cutoff* berada pada Sisi Negatif Rangkaian Dikarenakan Tipe Mosfet Yang digunakan merupakan Mosfet Tipe *N-Channel*.



Gambar 3.7 Rangkian Mosfet Cutoff

Setelah rangkaian percobaan berjalan sesuai yang diharapkan kemudian penggabungan rangkaian dalam satu *board* dan penggabungan program secara keseluruhan dan jika terjadi eror dilakukan *troubleshooting* sampai sistem berjalan sesuai yang diharapkan. Adapun diagram alir perancangan perangkat keras dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.8 Diagram Alir Perancangan Perangkat Keras

### 3.5 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak atau algoritma program meliputi semua proses yang dilakukan *microcontroller* dalam menjalankan proses pengolahan data sensor, proteksi dan kontrol *bypass*. Pada prosesnya perancangan perangkat lunak terdiri dari beberapa bagian yaitu:

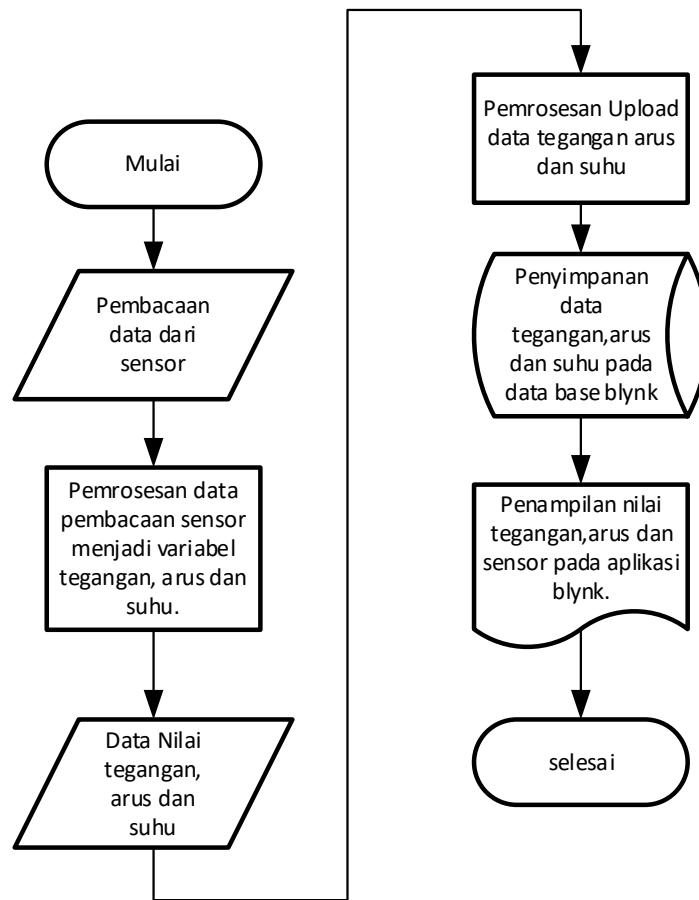
#### 3.5.1 Perancangan algoritma Pembacaan Sensor dan Monitoring

Pada perancangan ini algoritma bermula saat ADS1115 merubah tegangan analog dari baterai dan Sensor Arus menjadi data digital, data dari ADS1115 dan data dari sensor suhu yang kemudian dibaca oleh *microcontroller* diproses untuk mendapatkan data yang dapat dibaca yang berupa data tegangan, data arus dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Nilai Tegangan} = 0.1875 \times \frac{\text{Data Sensor tegangan}}{1000} \quad (3.1)$$

$$\text{Nilai Arus} = \frac{771 - \text{data sensor}}{1023} \times \frac{5}{0.185} \quad (3.2)$$

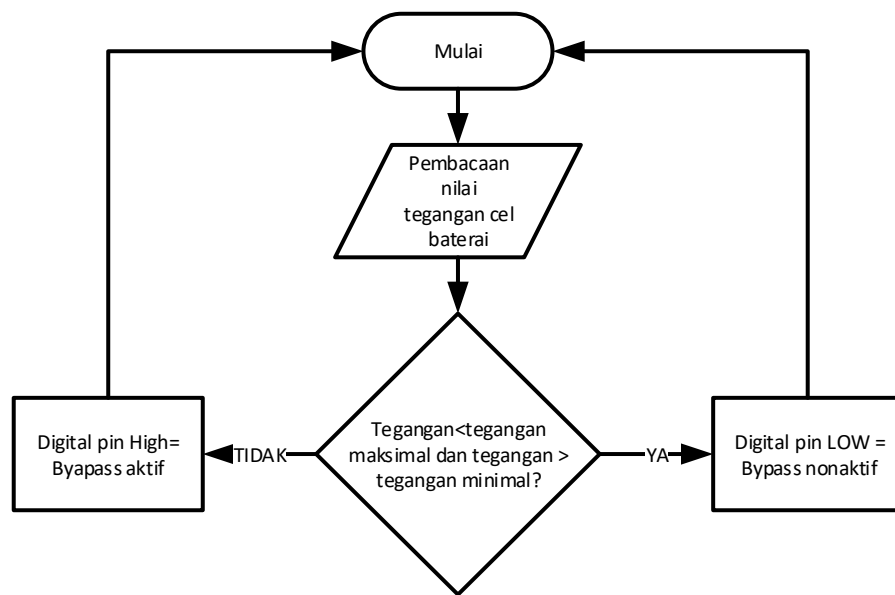
Setelah proses pembacaan sensor selesai kemudian data nilai dari Tegangan, Arus dan Suhu di *upload* ke *server* Blynk agar dapat dimonitoring. Berikut diagram alir dari algoritma tersebut:



Gambar 3.9 Diagram Alir Algoritma Pembacaan Sensor

### 3.5.2 Perancangan algoritma kontrol *bypass*

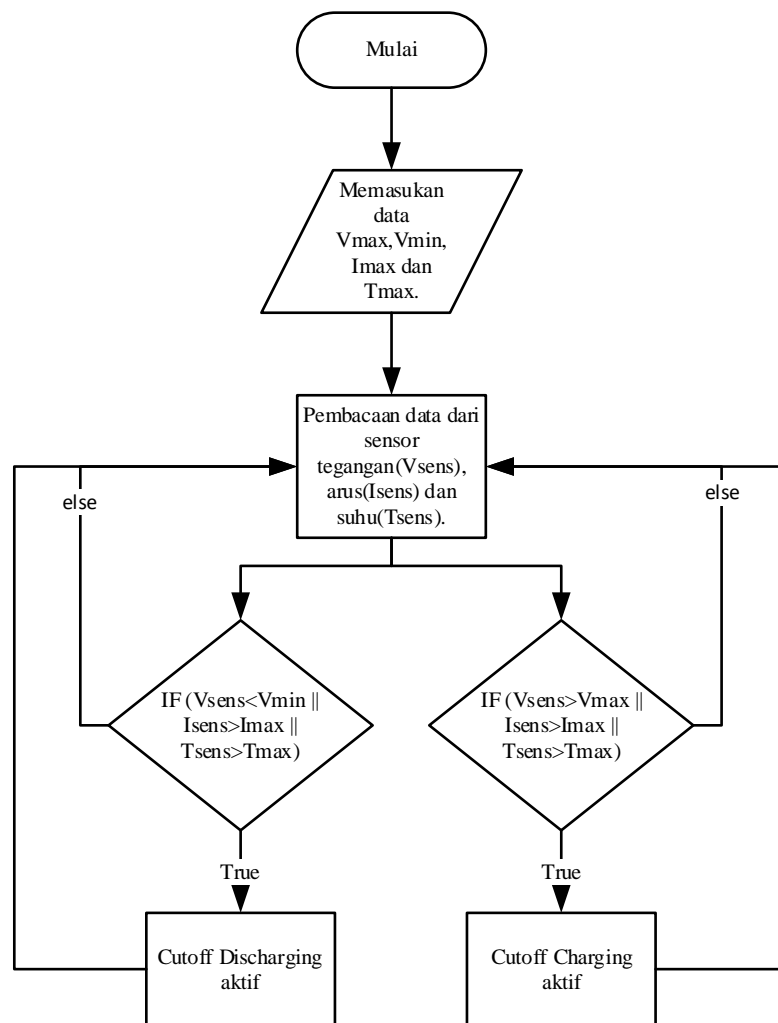
Pada algoritma ini bermula pada pembacaan nilai tegangan yang sudah diproses oleh *microcontroller*. jika nilai tegangan tidak melebihi dari tegangan maksimal baterai dan tidak kurang dari tegangan minimal baterai maka digital pin dalam keadaan *LOW* sehingga sistem *bypass* dalam keadaan tidak aktif namun jika nilai tegangan melebihi batas maksimal dari baterai dan kurang dari batas minimal baterai maka digital pin akan *HIGHT* sehingga *bypass* akan aktif. Berikut diagram alir dari algoritma tersebut:



Gambar 3.10 Diagram Alir Algoritma kontrol *Bypass*

### 3.5.3 Perancangan Proteksi

Pada perancangan proteksi dimulai dengan memasukkan nilai batasan dari tegangan maksimal ( $V_{max}$ ), tegangan minimal ( $V_{min}$ ), Arus maksimal ( $I_{max}$ ) dan suhu maksimal ( $T_{max}$ ). Setelah nilai batasan dimasukan kemudian membandingkan dengan nilai pembacaan dari sensor tegangan, arus dan suhu yang kemudian menjadi dasar keputusan untuk mengaktifkan sistem *cutoff*. Berikut diagram alir dari algoritma proteksi.

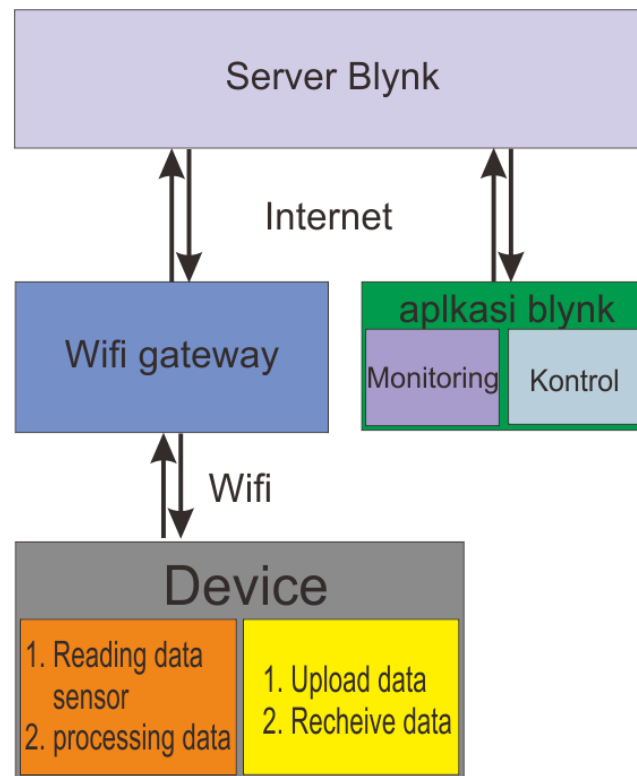


Gambar 3.11 Diagram Alir algoritma Proteksi

### 3.5.4 Perancangan Aplikasi Monitoring

Pada perancangan aplikasi *monitoring* menggunakan aplikasi Blynk dikarenakan kemudahan untuk mengembangkan aplikasi sesuai tampilan yang diinginkan. Untuk perancangan aplikasi sendiri untuk menampilkan nilai tegangan tiap *cell* baterai, nilai arus, nilai daya aktif, nilai suhu dan tampilan indikator untuk mengetahui pada saat proteksi aktif. Cara kerja dari sistem *IoT monitoring* yang digunakan yaitu *module* wifi mengirimkan data yang telah diolah melalui wifi *gateway* kemudian diteruskan ke *server* blynk melalui internet sebelum akhirnya dikirimkan pada aplikasi blynk yang sudah terpasang pada *smartphone*. Sedangkan cara kerja *IoT control* yaitu data perintah dari *smartphone* dikirim ke server blynk

melalui jaringan internet kemudian dari server dikirimkan ke *device* melalui *wifi gateway* dengan jaringan internet.



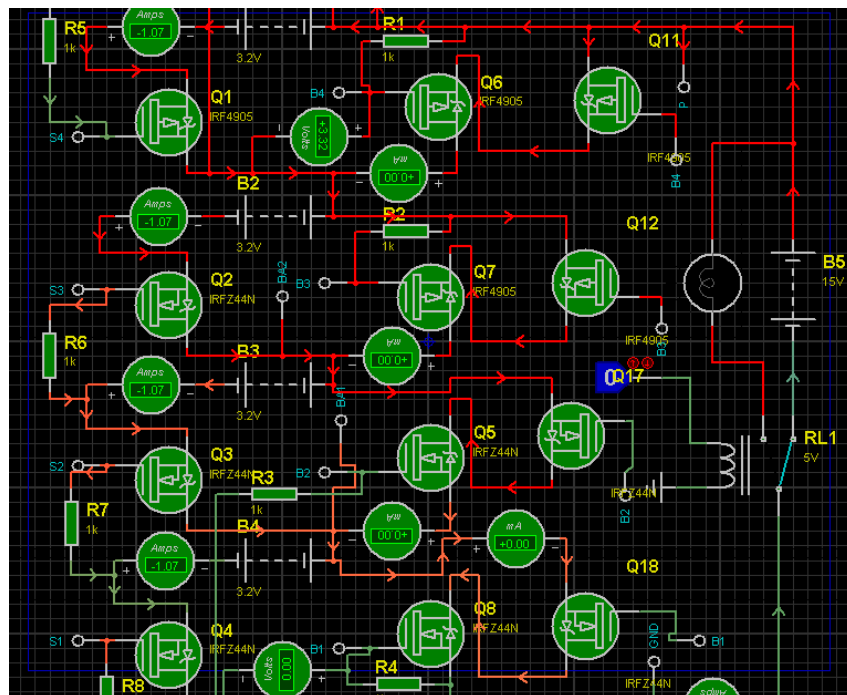
Gambar 3.12 Arsitektur IoT control and monitoring

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Simulasi

Pada pengujian simulasi menggunakan *software* Proteus hanya dilakukan pada pengujian *bypass* pada saat pengisian baterai dan penggunaan baterai. Pengamatan hasil *bypass* dilakukan dengan melihat arus pengisian dan penggunaan baterai, tegangan *output* baterai dan aliran arus apakah ada kebocoran pada saat *bypass* atau tidak. Adapun hasil yang didapatkan pada saat pengisian dapat dilihat pada gambar berikut:



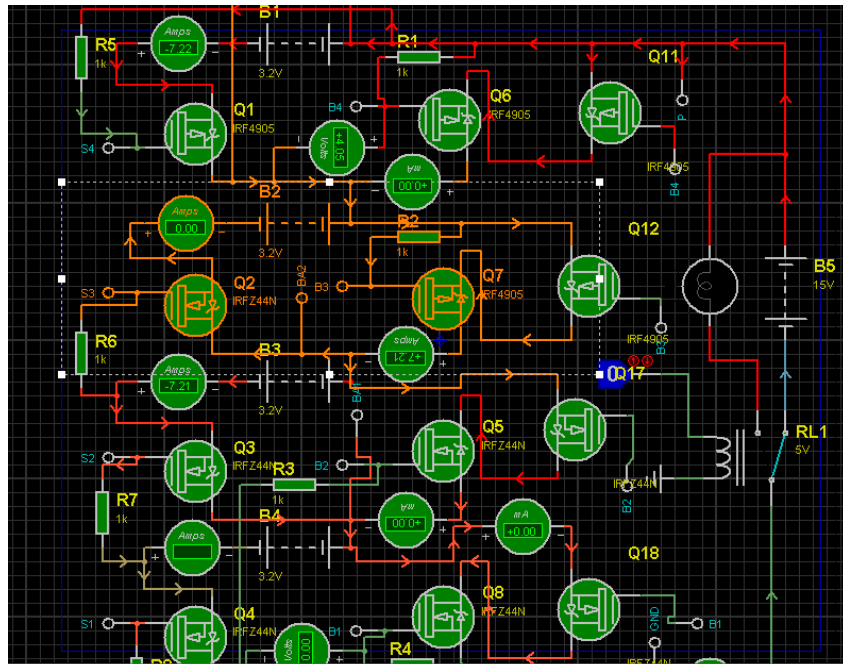
Gambar 4.1 Simulasi pada saat pengisian tanpa *bypass*

Tabel 4.1 Hasil Simulasi tanpa *bypass*

	Batt 1	Batt 2	Batt 3	Batt 4
Tegangan(V)	3.2	3.2	3.2	3.2
Arus(A)	1.07	1.07	1.07	1.07
Arus bypass(A)	0	0	0	0



Berdasarkan data diatas tegangan pengisian menggunakan tegangan 15V dan mendapatkan arus 1.07A pada tiap cellnya sedangkan pada sisi bypass tidak adanya arus yang mengalir hal ini menunjukan tidak adanya kebocoran arus pada sisi *bypass* pada saat tidak digunakan.



Gambar 4.2 Simulasi *Bypass cell 3*

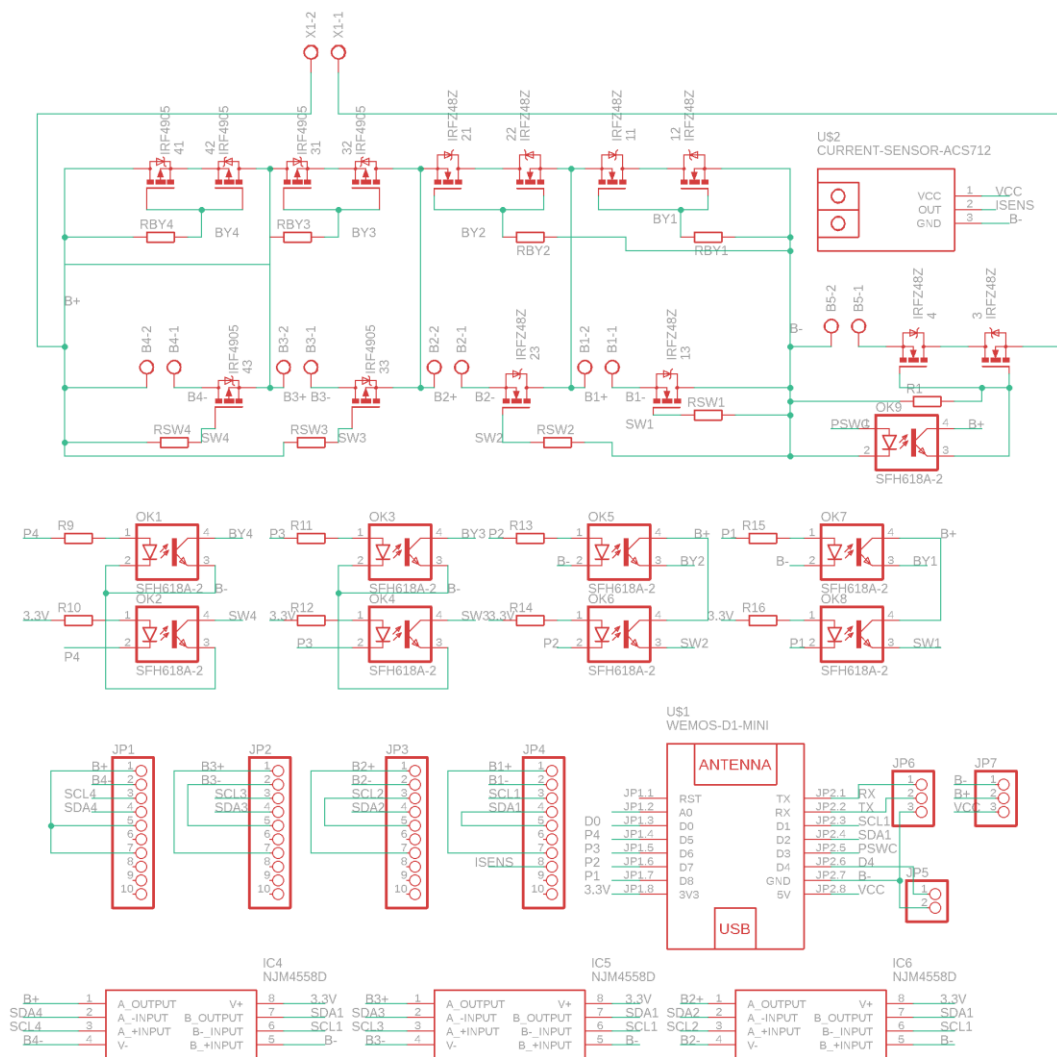
Tabel 4.2 Hasil Simulasi *bypass cell 3*

	Batt 1	Batt 2	Batt 3	Batt 4
Tegangan(V)	3.2	3.2	3.2	3.2
Arus(A)	7.21	7.21	0	7.21
Arus bypass(A)	0	0	7.21	0

Sedangkan pada pengujian pengisian baterai dengan salah satu cell terjadi bypass yaitu pada *cell 3*, nilai arus pengisian naik menjadi 7.22A sedangkan arus pada *cell 3* menjadi 0A dan arus *bypass cell 3* sama dengan arus pengisian. Hal ini menunjukan bahwa *bypass* dapat bekerja dan tidak ada arus bocor yang masuk pada baterai 3. Dan kenaikan arus pada pengisian terjadi karenat turunya tegangan *output* pada susunan baterai yang disebabkan terjadinya *bypass* pada baterai ke 3.

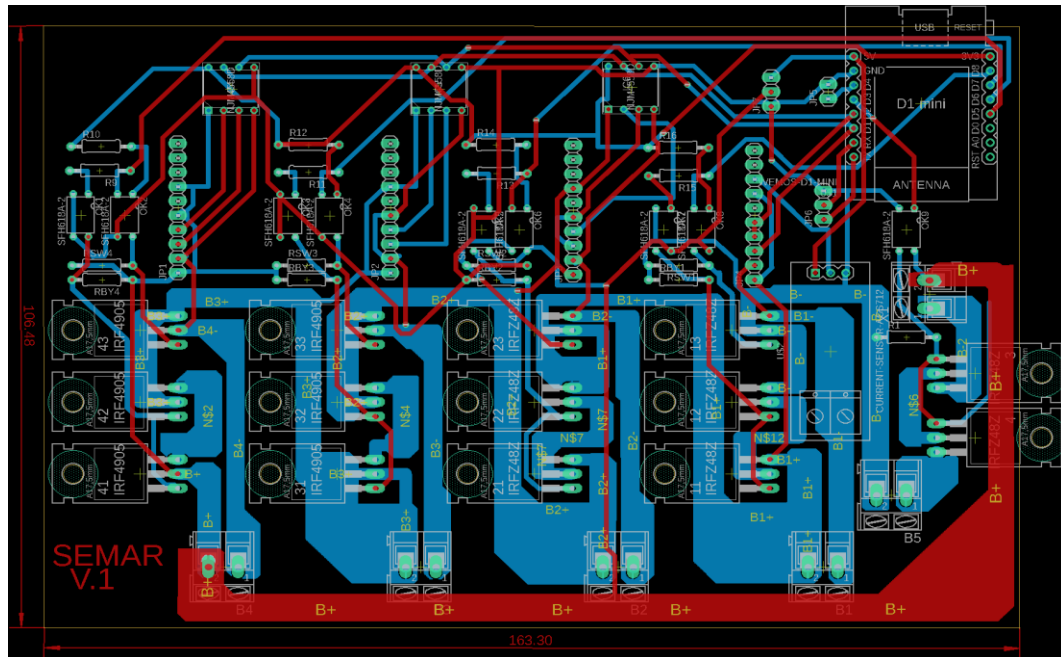
## 4.2 Pembuatan Alat

Pada pembuatan alat dilakukan setelah pengujian menggunakan simulasi dapat hasil sesuai apa yang diinginkan. Pembuatan alat dimulai dengan pembuatan *schematic* rangkaian dan *board* rangkaian yang dapat dilihat pada gambar 4.3 dan gambar 4.4 setelah itu proses pencetakan PCB 2 layer, pengecekan jalur PCB dan pemasangan komponen seperti Wemos D1 mini, ADS1115, mosfet dan komponen lainnya dengan solder. Hasil dari alat yang telah dibuat dapat dilihat pada gambar.



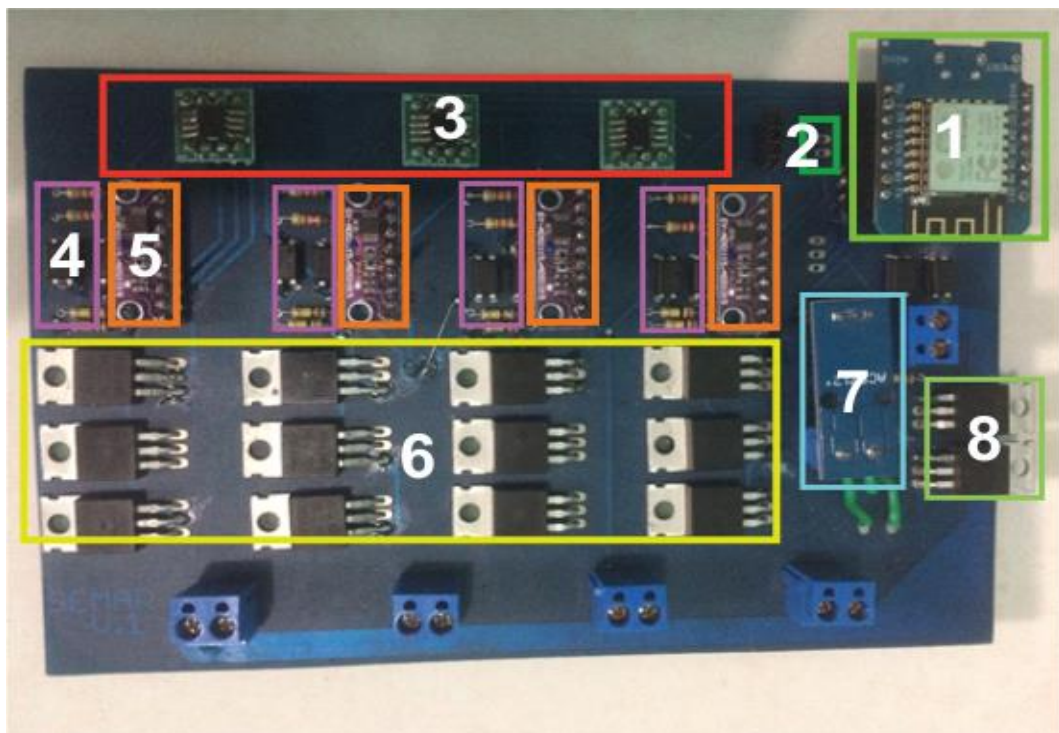
Gambar 4.3 Desain *Schematic*

Pada desain *Schematic* merupakan penggabungan dari beberapa sistem yang telah dirancang pada bab 3 seperti driver motor, sensor tegangan dengan I2C isolator, Sensor arus, Rangkaian *Bypass cell* dengan 3 Mosfet dan Rangkaian Mosfet *Cutoff*.



Gambar 4.4 Desain Board

Pada desain *Board* menggunakan 2 layer dengan ukuran board 106mmX163mm dimana komponen yang digunakan yaitu komponen DIP adapun komponen SMD sudah dalam bentuk module.



Gambar 4.5 Hasil Alat

Pada hasil alat sistem telah tergabung dalam satu *board* dengan jalur 2 layer dimana hasil pemasangan komponen sesuai dengan desain *board* yang telah dibuat. Berikut keterangan tiap sistem yang telah digabungkan menjadi satu *board*:

1. Microcontroler Wifi Module Wemos D1 mini.
2. Port Sensor Suhu.
3. I2C isolator ADUM1250
4. Driver mosfet dengan optocoupler pc817.
5. Sensor tegangan cell baterai dengan ADS1115.
6. Mosfet Bypass cell dengan mosfet tipe P dan N.
7. Sensor Arus dengan ACS712-5B.
8. Mosfet cutoff dengan tipe N.

#### **4.3 Pengujian Pembacaan Sensor**

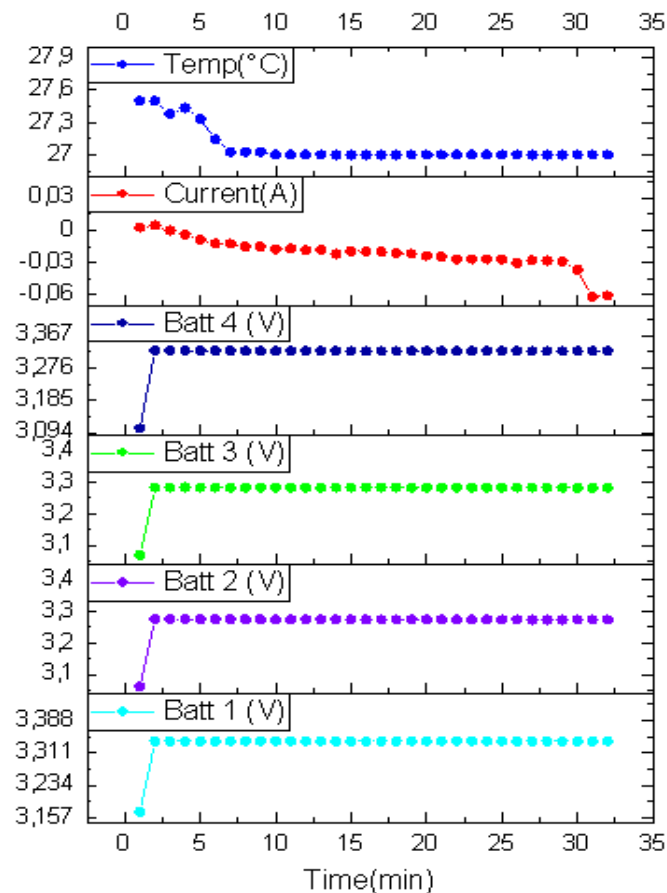
Pengujian pembacaan sensor meliputi pembacaan sensor tegangan tiap *cell* baterai, pembacaan sensor suhu, dan pembacaan sensor Arus. Hasil data pengujian diambil menggunakan bantuan *logger* dari aplikasi blynk yang dikirimkan dalam bentuk CSV melalui email.

##### **4.3.1 Tujuan Utama Pengujian Pembacaan Sensor**

Tujuan utama dari pengujian pembacaan sensor adalah untuk mengetahui kinerja sensor dan untuk mengetahui adanya bug pada sensor atau rangkaian sensor tersebut. Pada proses pengujian dilakukan dengan keadaan pada saat baterai tanpa beban, Pengujian ini diperlukan untuk melihat nilai tegangan (V), arus (I), dan suhu (T) sebagai bahan pengujian tingkat presisi sensor.

#### 4.3.2 Hasil Pengujian Pembacaan Sensor

- Hasil pengujian sensor pada saat keadaan tanpa beban.



Gambar 4.6 Hasil pengujian sensor tegangan tanpa beban

Data diatas adalah hasil pengujian sensor pada saat baterai tanpa beban. Pengujian dilakukan dengan baterai LFP selama 30 menit untuk mengetahui tingkat presisi pembacaan sensor dengan hasil pembacaan direkam dalam *database*. Pada grafik pengujian tegangan memiliki kenaikan 0.2 volt pada awal pembacaan dan kemudian menjadi stabil sampai akhir pembacaan. Pada garfik pembacaan arus nilai pembacaan turun sampai -0.06 Amper dan kemudian naik sampai -0.055 Amper yang seharusnya pembacaan sensor arus berada pada 0 amper karena dalam kondisi tanpa beban. Namun hasil ini masih cukup baik melihat selisih pembacaanya masih sangat kecil. Pada grafik pengujian suhu memiliki suhu pembacaan 27.5 °C dan turun sampai 27 °C sebelum akhirnya stabil pada suhu tersebut.

- Uji tingkat presisi sensor

Pada pengujian ini dilakukan menggunakan data pengujian sensor tanpa beban dengan presentase *mean relative standard deviation* (MSRD) dari *repeability*. Dimana makin kecil nilai koefisien variasi setelah *repeability*, maka semakin bagus presisinya. Pada pengujian tingkat presisi, hasil pengukuran sensor dibandingkan, lalu dicari rata-ratanya. Dapat dilihat melalui Tabel berikut:

Tabel 4.3 Hasil uji tingkat presisi sensor

Pengujian	Batt 1 (V)	Batt 2 (V)	Batt 3 (V)	Batt 4 (V)	Current(A)	Temp(°C)
1	3,33798	3,276	3,283	3,324	0,005	27,50
2	3,33798	3,276	3,283	3,324	0,000	27,38
3	3,338	3,276	3,283	3,324	-0,004	27,43
4	3,338	3,276	3,283	3,324	-0,009	27,33
5	3,338	3,276	3,283	3,324	-0,012	27,14
6	3,338	3,276	3,283	3,324	-0,013	27,03
7	3,338	3,276	3,283	3,324	-0,015	27,03
8	3,33798	3,27579	3,283	3,324	-0,015	27,02
9	3,338	3,27505	3,283	3,324	-0,018	27
10	3,338	3,27502	3,283	3,324	-0,017	27
11	3,338	3,275	3,283	3,324	-0,019	27
12	3,33798	3,275	3,283	3,32385	-0,018	27
13	3,33798	3,275	3,283	3,32367	-0,022	27
14	3,338	3,275	3,283	3,32324	-0,019	27
15	3,338	3,275	3,283	3,32302	-0,020	27
16	3,33798	3,275	3,283	3,323	-0,020	27
17	3,338	3,275	3,283	3,323	-0,021	27
18	3,338	3,275	3,283	3,323	-0,022	27
19	3,338	3,275	3,283	3,323	-0,024	27
20	3,338	3,275	3,283	3,323	-0,024	27
21	3,33798	3,275	3,283	3,323	-0,027	27
22	3,33797	3,27468	3,283	3,323	-0,027	27
23	3,338	3,27428	3,283	3,323	-0,027	27
24	3,338	3,274	3,283	3,323	-0,027	27
25	3,338	3,274	3,28295	3,323	-0,030	27
26	3,338	3,274	3,28292	3,323	-0,028	27
27	3,338	3,274	3,28271	3,323	-0,028	27
28	3,338	3,274	3,2824	3,323	-0,029	27
29	3,338	3,274	3,28219	3,323	-0,037	27
30	3,338	3,274	3,28207	3,323	-0,062	27

31	3,338	3,274	3,282	3,323	-0,061	27
SD	0,000009	0,00073	0,00029	0,00048	0,014	0,14
RSD	0,00028%	0,022%	0,009%	0,014%	63,03%	0,517%
MRSD	10,599%					

Dari 30 kali percobaan, dapat diamati bahwa nilai standar deviasi (SD) pada pembacaan sensor tegangan baterai 1, baterai 2, baterai 3 dan baterai 4, sensor arus dan sensor suhu berturut-turut sebesar 0,0000095V, 0,00073V, 0,00029V, 0,00048V, 0,014A dan 0,14°C. Adapun nilai *relative standard deviation* (RSD) untuk pembacaan sensor berturut-turut adalah sebesar 0,0028%, 0,022%, 0,009%, 0,014%, 63,03%, dan 0,517%. Nilai *mean relative standard deviation* (MRSD) untuk ketiga baterai adalah sebesar 10,599% atau dapat dikatakan nilai presisi sistem adalah sebesar 89,4%. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor tegangan memiliki tingkat presisi yang cukup baik dikarenakan dari 30 pengujian sensor tegangan memiliki simpangan rata-rata tertinggi yaitu 0,73mV, di mana nilai tersebut masih dibawah standar presisi dari pengukuran tegangan untuk baterai LFP yaitu 1mV [21]. akan tetapi nilai presisi sensor arus yang masih buruk yaitu 36,97% sedangkan pada sensor suhu memiliki tingkat presisi 99,48%.

- Uji tingkat akurasi sensor

Pada Uji tingkat akurasi sensor terdiri dari uji sensor Tegangan dan Sensor Arus. Dimana Tingkat akurasi diwakili oleh *root mean square error* (RMSE). Semakin kecil nilai MSE, maka semakin bagus tingkat akurasinya. Berikut data pengujian sensor tegangan dan sensor arus yang dapat dilihat pada tabel

Tabel 4.4 Hasil uji tingkat akurasi tegangan

[illegible]

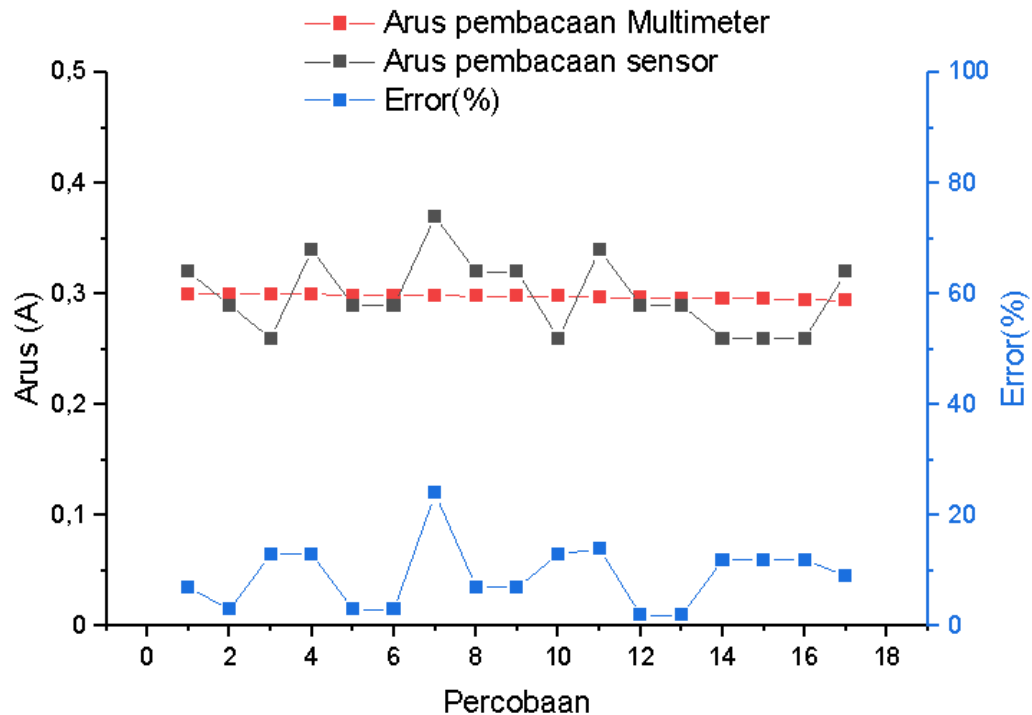
Pada pengujian sensor tegangan dari 10 kali percobaan dapat diamati bahwa nilai rata-rata erro pada sensor tegangan pada baterai 1 sampai 4 berturut-turut adalah 0,10%, 0,03%, 0,05%, dan 0,05%. Sedangkan nilai error tertinggi dari 10 kali percobaan pada sensor tegangan baterai 1 sampai 4 berturut-turut yaitu 0,12%, 0,05%, 0,07%, dan 0,06%. Dengan nilai RMSE dari keempat sensor tegangan yaitu 0,06% sehingga dari pengujian ini pembacaan sensor tegangan memiliki akurasi 99,94%.

Tabel 4.5 Hasil uji tingkat akurasi sensor 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	0,37	0,299	0,071	24%
8	0,32	0,298	0,022	7%
9	0,32	0,298	0,022	7%
10	0,26	0,298	-0,038	13%
11	0,34	0,297	0,043	14%
12	0,29	0,297	-0,007	2%
13	0,29	0,296	-0,006	2%
14	0,26	0,296	-0,036	12%
15	0,26	0,296	-0,036	12%
16	0,26	0,295	-0,035	12%
17	0,32	0,294	0,026	9%
rata-rata=	0,298824	0,297765	0,001059	9%

Dari data berdasarkan tabel berikut kemudian dibuat grafik untuk mempermudah dalam analisa hasil pengujian akurasi sensor arus. Berikut gambar garfik pengujian sensor arus:





Gambar 4.7 Garafik pengujian akurasi sensor arus.

Pada pengujian akurasi sensor arus dengan 17 kali percobaan dapat diamati bahwa nilai rata-rata error pembacaan pada sensor arus yaitu 9% dengan error tertinggi yaitu 24% dengan selisih pembacaan 0,071A. Sehingga dari data tersebut sensor arus memiliki akurasi pembacaan rata-rata yaitu 91% dan toleransi selisih pembacaan yaitu  $\pm 0,071A$ .

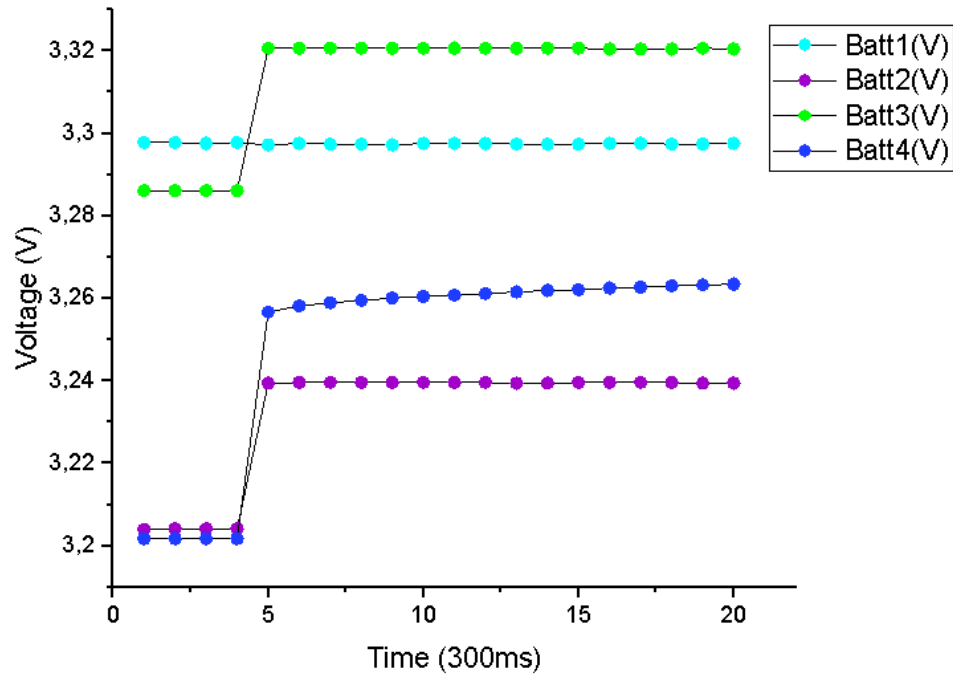
#### 4.4 Pengujian *Bypass Cell*

Pengujian ini dilakukan dengan menguji kinerja bypass pada tiap cell baterai pada saat *charging* dan *discharging*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah sistem bypass yang dirancang dapat bekerja pada tiap *cell* dengan keadaan *charging* maupun *discharging*.

##### 4.4.1 Pengujian *bypass* pada proses *charging*

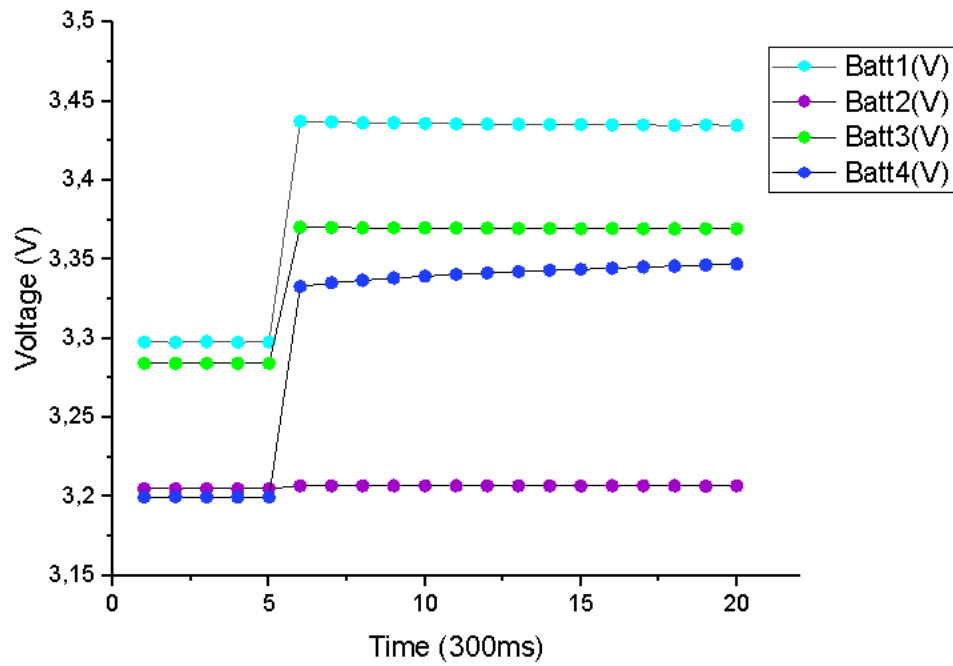
berikut merupakan hasil pengujian *bypass cell* pada proses *charging* pada baterai pack dengan tegangan charging maksimal 12V.

- Pengujian *bypass charging cell 1*.



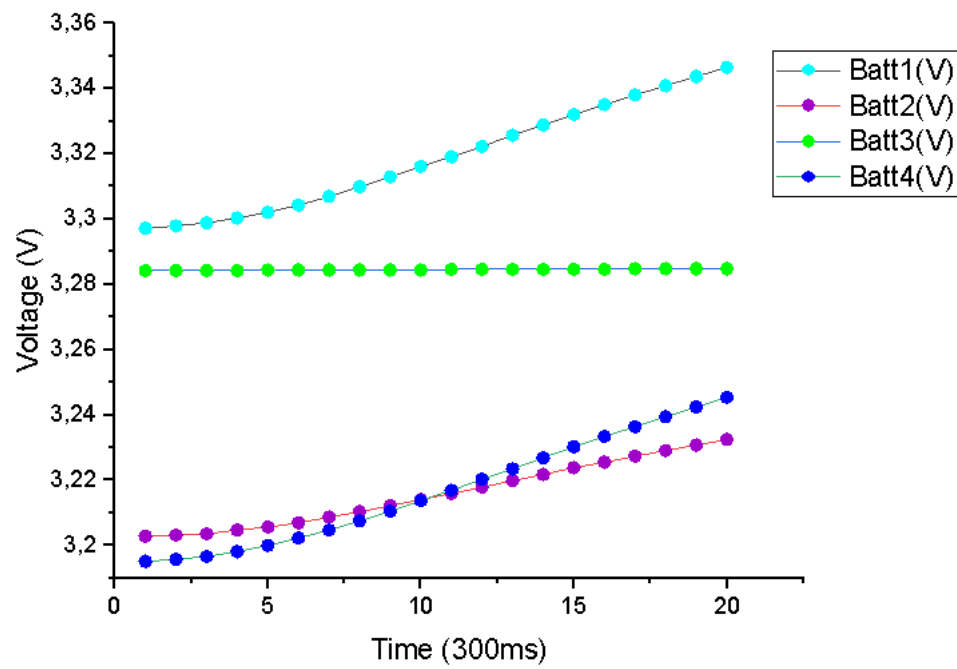
Gambar 4.8 Grafik pengujian *bypass charging cell 1*

- Pengujian *bypass charging cell 2*



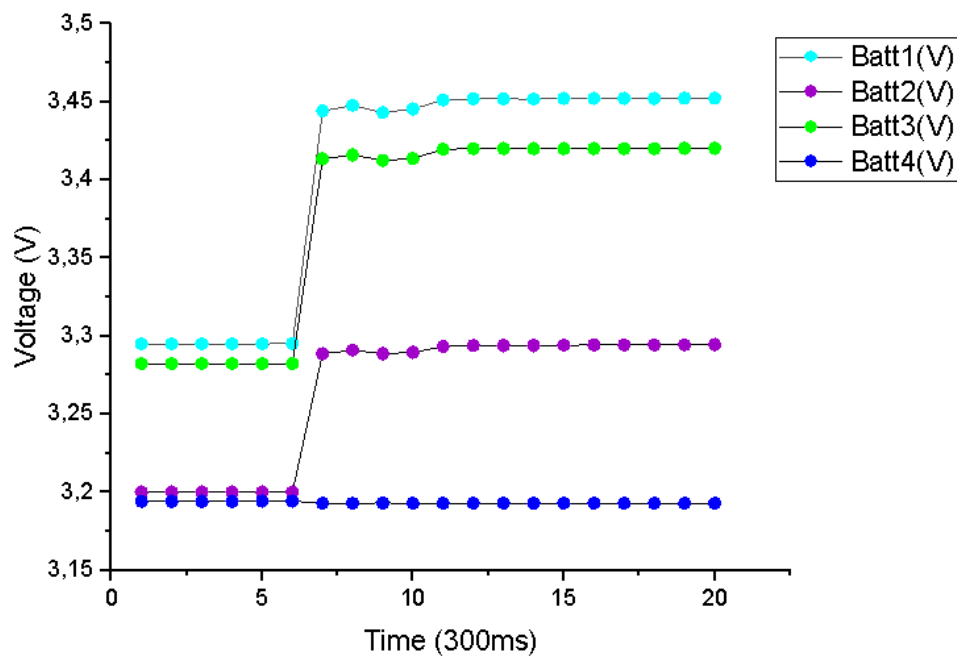
Gambar 4.9 Grafik pengujian *bypass charging cell 2*

- Pengujian *bypass charging cell 3*



Gambar 4.10 Grafik pengujian *bypass charging cell 3*

- Pengujian *bypass charging cell 4*



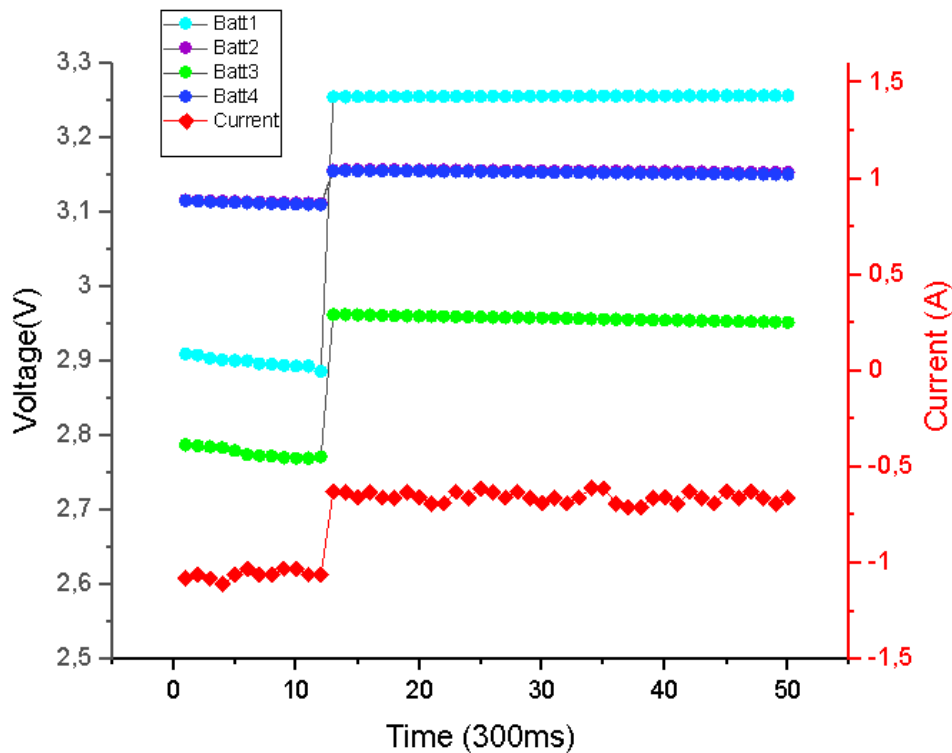
Gambar 4.11 Grafik pengujian *bypass charging cell 4*

Dari gambar B1, B2 dan B4 nilai tegangan cell yang terbypass tidak mengalami kenaikan sedangkan nilai *cell* yang lain mengalami kenaikan yang hampir sama dengan kenaikan awal yang tinggi, sedangkan pada gambar B3 nilai kenaikan tegangan terlihat konstan sedangkan nilai tegangan cell 3 tetap sama dikarenakan pada pengujian bypass pada *cell* 3 nilai tegangan charging dinaikan secara perlahan sedangkan pada *cell* yang lain nilai tegangan charging yang diberikan itu konstan yaitu 12V. melihat dari gambar diatas pengujian *bypass* dapat dilakukan dengan baik dikarenakan nilai baterai yang terbypass tidak mengalami kenaikan tegangan sedangkan baterai yang tidak terbypass mengalami kenaikan tegangan.

#### 4.4.2 Pengujian *bypass cell* pada proses *discharging*

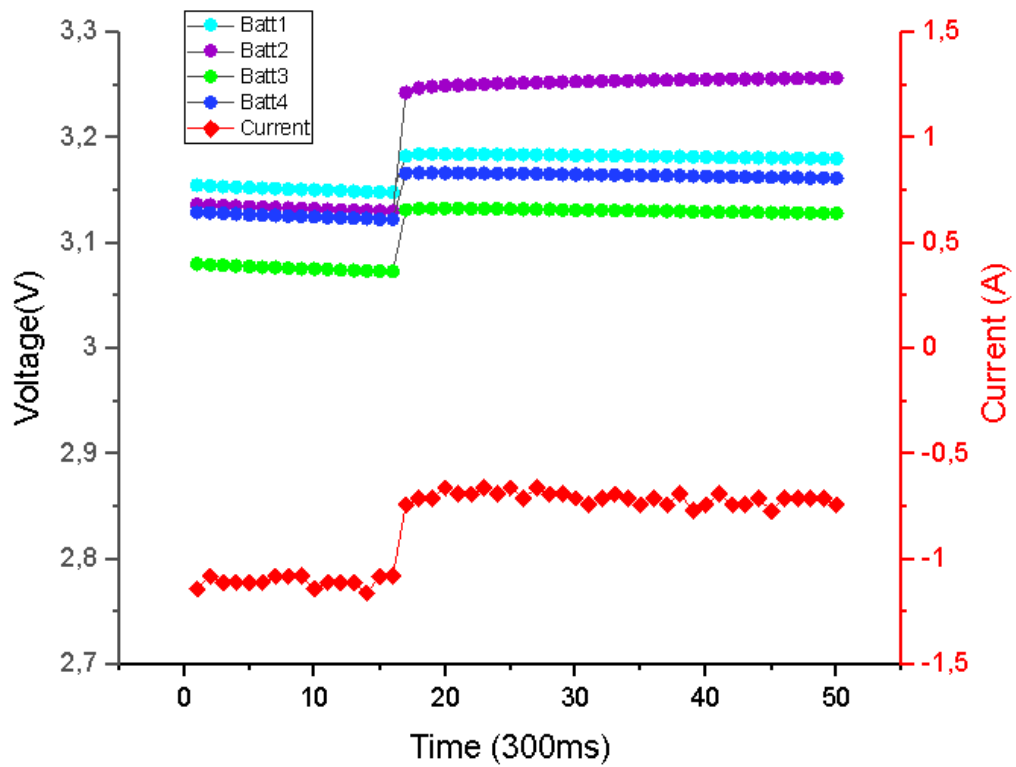
Pada pengujian ini proses *dicharging* dilakukan dengan memberikan beban resistor 10ohm 10watt pada baterai pack dan pada setiap *cell* baterai dilakukan pengujian *bypass*. Berikut merupakan hasil pengujian *bypass discharging*.

- Pengujian *bypass discharging cell* 1



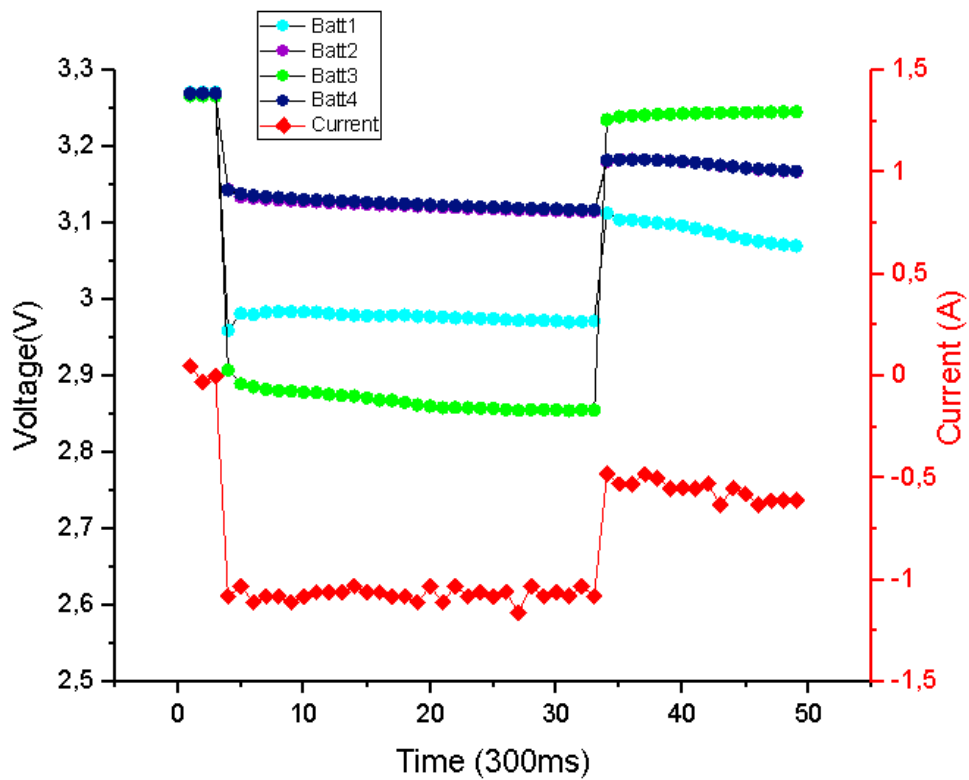
Gambar 4.12 Grafik pengujian *bypass discharging cell* 1

- Pengujian *bypass discharging cell 2*



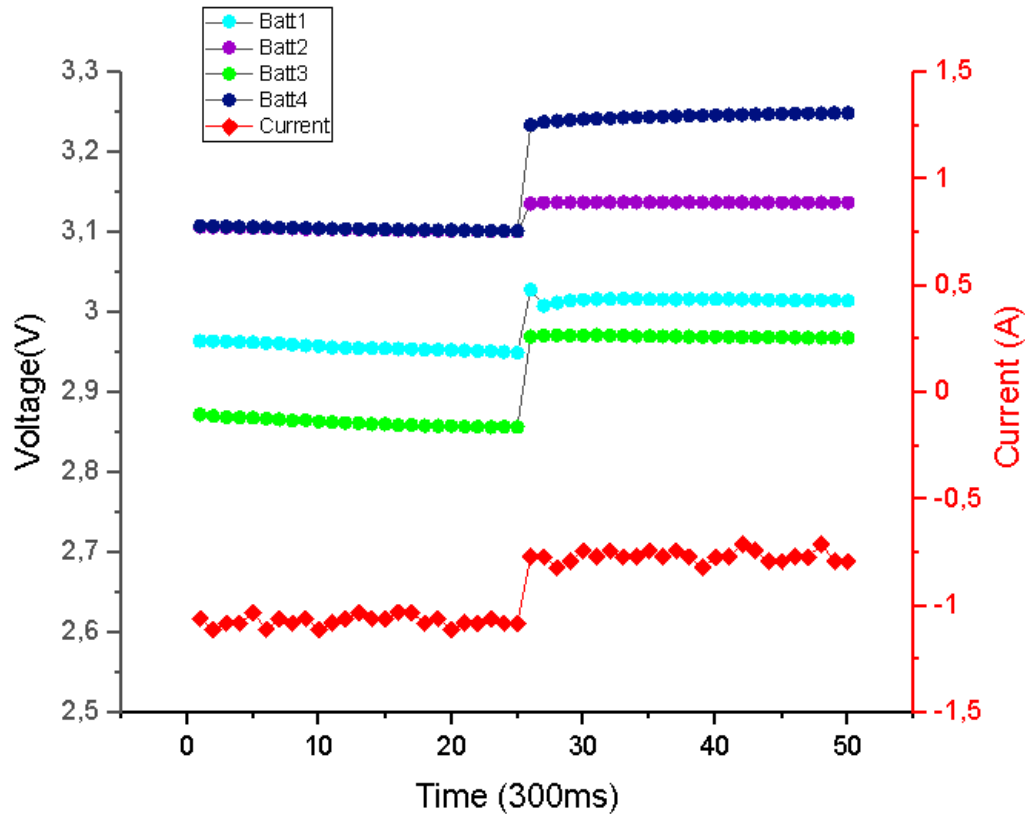
Gambar 4.13 Grafik pengujian *bypass discharging cell 2*

- Pengujian *bypass discharging cell 3*



Gambar 4. 14 Grafik pengujian *bypass discharging cell 3*

- Pengujian *bypass discharging cell 4*



Gambar 4.15 Grafik pengujian *bypass discharging cell 4*

Berdasarkan gambar grafik pengujian *bypass* pada proses discharging yang telah dilakukan nilai tegangan pada cell yang terbypass mengalami kenaikan tegangan lebih tinggi dari cell yang tidak terbypass dan diikuti nilai arus yang mengalami kenaikan dari -1.1Ampere menjadi -0.7 Ampere. Nilai minus pada arus menunjukkan arus discharging. Melihat dari hasil pengujian tersebut *bypass discharging* dapat dilakukan pada alat yang dibuat, dikarenakan nilai tegangan baterai yang terbypass mengalami kenaikan lebih tinggi karena tidak ada beban pada baterai tersebut sedangkan pada baterai yang tidak terbypass mengalami kenaikan tegangan lebih sedikit dikarenakan nilai tegangan total berkurang dan nilai arus discharging jadi lebih kecil.

#### 4.5 Pengujian Proteksi

Pada pengujian proteksi dilakukan dengan menguji proteksi *undervoltage*, *overvoltage*, *overcurrent* dan *overheat*. Dimana pada pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah sistem proteksi dapat bekerja dengan baik atau tidak.

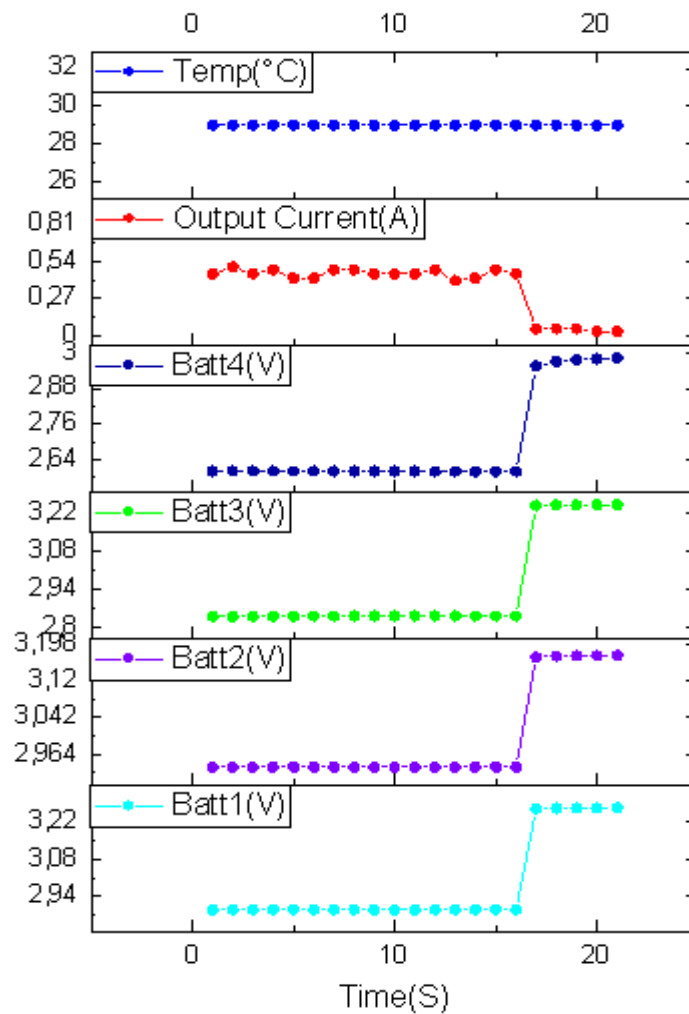
- Pengujian proteksi *undervoltage*

Pengujian *undervoltage* dilakukan menggunakan beban R 22 Ohm dengan nilai tegangan minimal baterai 2.6V.

Tabel 4.6 Hasil pengujian proteksi *undervoltage*

No	Batt1(V)	Batt2(V)	Batt3(V)	Batt4(V)	Output Current(A)	Temp(°C)
1	2,89013	2,93681	2,8425	2,60063	0,45	29
2	2,89031	2,93681	2,84156	2,60081	0,5	29
3	2,89031	2,93681	2,84138	2,60081	0,45	29
4	2,89031	2,93681	2,84194	2,60063	0,48	29
5	2,89031	2,93681	2,84212	2,60063	0,42	29
6	2,89013	2,93681	2,84419	2,60044	0,42	29
7	2,89031	2,93681	2,84381	2,60044	0,48	29
8	2,89031	2,93663	2,84381	2,60025	0,48	29
9	2,89013	2,93681	2,84381	2,60025	0,45	29
10	2,89013	2,93663	2,844	2,60006	0,45	29
11	2,89013	2,93663	2,84437	2,60006	0,45	29
12	2,89031	2,93663	2,84437	2,60006	0,48	29
13	2,89031	2,93663	2,84419	2,60006	0,4	29
14	2,89031	2,93663	2,84419	2,60006	0,42	29
15	2,89031	2,93663	2,84419	2,59987	0,48	29
16	2,89013	2,93663	2,844	2,59987	0,45	29
17	3,26887	3,16969	3,25069	2,95519	0,05	29
18	3,27131	3,17194	3,252	2,97038	0,05	29
19	3,27187	3,17269	3,25237	2,97563	0,05	29
20	3,27206	3,17306	3,25275	2,97956	0,03	29
21	3,27244	3,17344	3,25312	2,98256	0,03	29

Tabel 4.6 menunjukkan data hasil pengujian proteksi *undervoltage* berupa tegangan tiap *cell* baterai, arus masukan dan suhu baterai. Berdasarkan data pada Tabel 4.6 kemudian dilakukan pengolahan. Pengolahan dilakukan dengan membuat data dalam bentuk grafik dengan aplikasi originlab untuk dilakukan analisis. Berikut ini grafik yang didapat :



Gambar 4.16 Grafik pengujian proteksi *undervoltage*

Pada gambar 4.10 dapat dilihat bahwa nilai tegangan pada tiap *cell* baterai berada pada tegangan yang terlihat stabil walau sebenarnya mengalami penurunan yang sangat kecil dimana nilai penurunan tersebut dapat dilihat pada tabel 4.6, sebelum akhirnya nilai tegangan mengalami kenaikan dan nilai arus mengalami penurunan yang dikarenakan nilai tegangan pada baterai 4 mengalami penurunan sampai 2,59987V dimana pada tegangan tersebut berada dibawah nilai tegangan minimal yaitu 2.6V sehingga terjadi cutoff untuk melindungi baterai 4.

- Pengujian proteksi *overvoltage*.

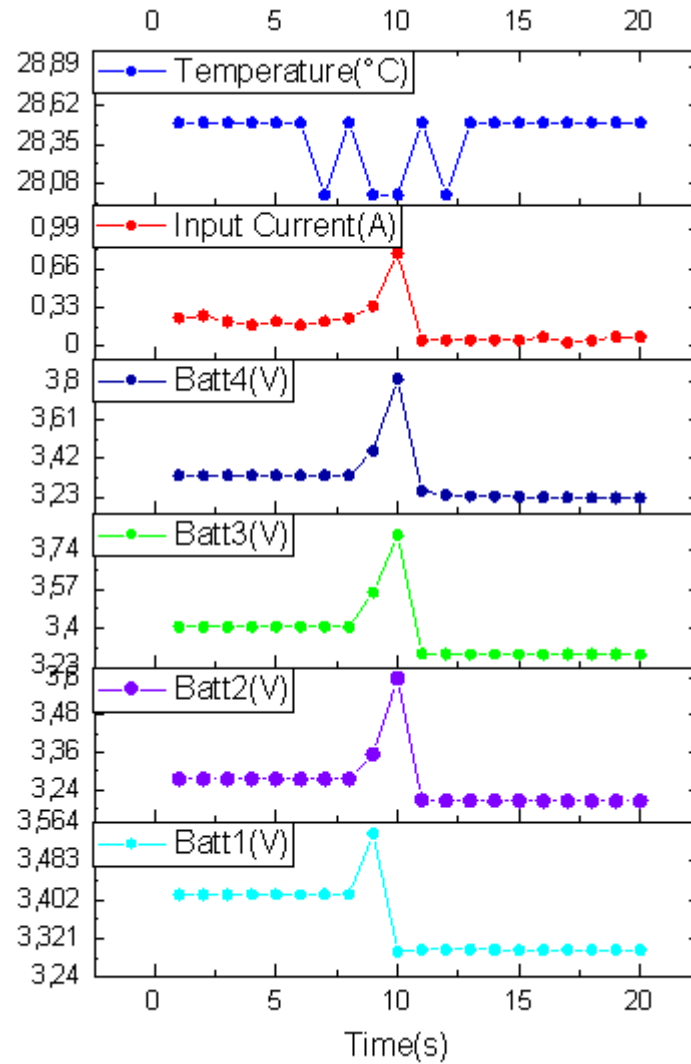
Pengujian proteksi *overvoltage* dilakukan pada proses *charging* dengan tegangan antara 13,5 V dan dinaikan sampai 15V. dengan tegangan maksimal baterai diset pada 3,5V.



Tabel 4.7 hasil pengujian proteksi *overvoltage*

No	Batt1(V)	Batt2(V)	Batt3(V)	Batt4(V)	Input Current(A)	Temp(°C)
1	3,41381	3,27506	3,40613	3,33544	0,24	28,5
2	3,41381	3,27506	3,40613	3,33544	0,26	28,5
3	3,41363	3,27506	3,40613	3,33544	0,21	28,5
4	3,41381	3,27506	3,40613	3,33562	0,18	28,5
5	3,41381	3,27506	3,40613	3,33562	0,21	28,5
6	3,41363	3,27506	3,40613	3,33562	0,18	28,5
7	3,41381	3,27506	3,40613	3,33562	0,21	28
8	3,41381	3,27525	3,40631	3,336	0,24	28,5
9	3,54169	3,35475	3,55725	3,4575	0,34	28
10	3,294	3,59737	3,80625	3,81319	0,79	28
11	3,29813	3,20775	3,28856	3,25781	0,05	28,5
12	3,29794	3,2055	3,28688	3,2385	0,05	28
13	3,29775	3,20494	3,28669	3,23381	0,05	28,5
14	3,29775	3,20475	3,2865	3,23119	0,05	28,5
15	3,29756	3,20456	3,28631	3,22931	0,05	28,5
16	3,29756	3,20456	3,28631	3,22762	0,08	28,5
17	3,29756	3,20438	3,28612	3,22631	0,03	28,5
18	3,29737	3,20438	3,28612	3,22537	0,05	28,5
19	3,29737	3,20419	3,28612	3,22425	0,08	28,5
20	3,29719	3,20419	3,28594	3,2235	0,08	28,5

Tabel 4.7 menunjukkan data hasil pengujian proteksi *overvoltage* berupa tegangan tiap *cell* baterai, arus masukan dan suhu baterai. Berdasarkan data pada Tabel 4.7 kemudian dilakukan pengolahan. Pengolahan dilakukan dengan membuat data dalam bentuk grafik dengan aplikasi originlab untuk dilakukan analisis. Berikut ini grafik yang didapat :

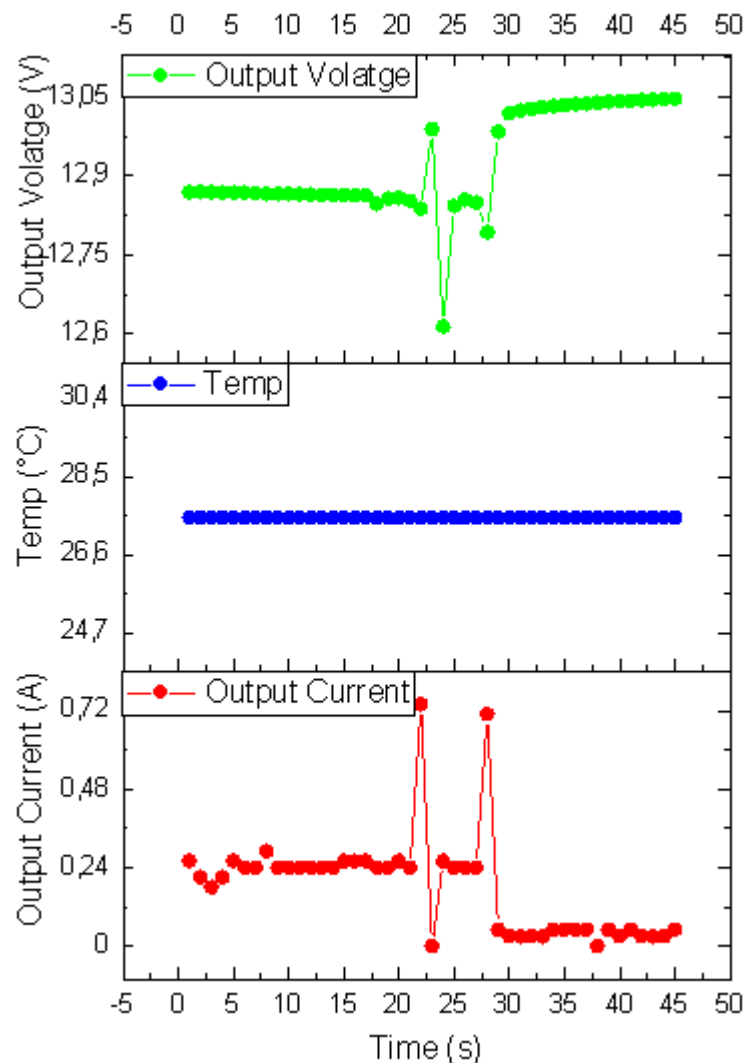


Gambar 4.17 Grafik pengujian proteksi *overvoltage*

Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan tegangan pada tiap cell baterai pada detik ke 9 kemudian terjadi penurunan pada detik ke 10 pada baterai 1 yang menyebabkan terjadinya kenaikan tegangan pada baterai yang lain pada waktu yang bersamaan dikarenakan nilai tegangan baterai 1 pada saat detik ke 9 mencapai 3,54169V dimana nilai tersebut melebihi batas maksimal tegangan yang diset yaitu 2,5V sehingga terjadi bypass pada baterai 1 dan menyebabkan nilai arus dan tegangan naik pada baterai yang lain yang akhirnya terjadi cutoff karena nilai kenaikan tegangan pada baterai 2,3 dan 4 melebihi nilai tegangan maksimal.

- Pengujian *Overcurrent*

Pada pengujian ini arus maksimal diset pada nilai 0.5 Amper dengan beban Inverter dan charger HP.

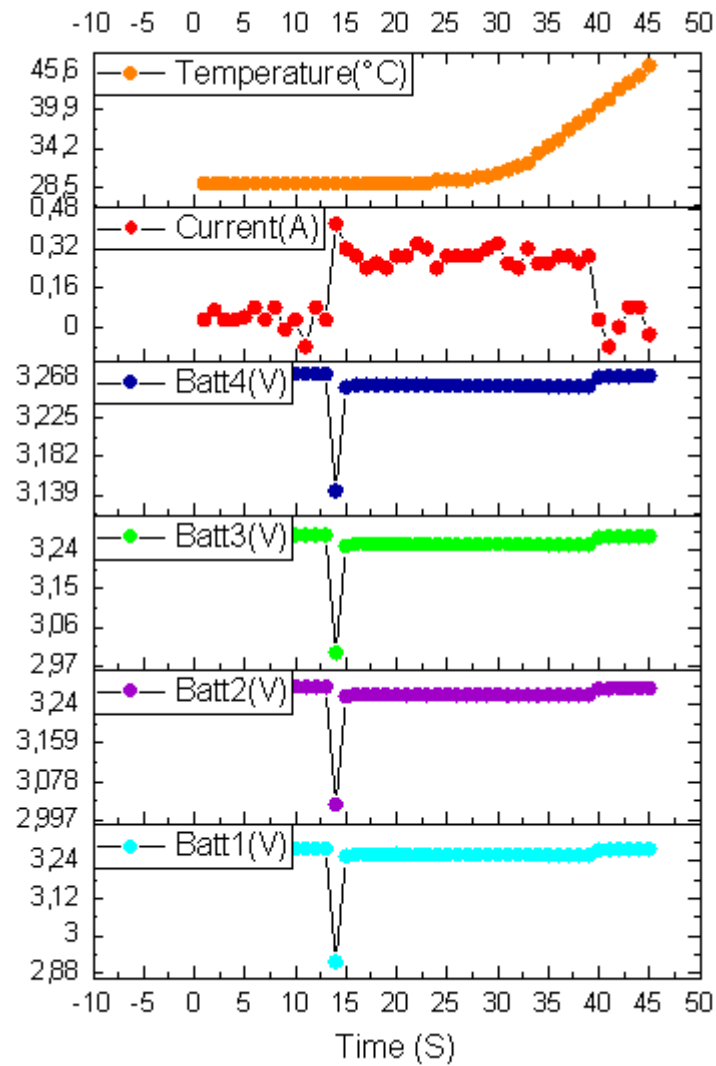


Gambar 4.18 Grafik pengujian *Overcurrent*

Pada grafik data dapat dilihat bahwa nilai arus pada detik ke 0 sampai 20 berada pada 0,24 amper dimana pada proses ini dibebani oleh inverter tanpa beban. Pada saat terjadi kenaikan arus mencapai 0,72 amper inverter dibebani dengan charger HP yang kemudian mengalami penurunan nilai arus sampai 0 amper pada detik selanjutnya yang disebabkan kenaikan arus pada saat dibebani inverter dan charger HP melebihi batas maksimal arus yang diizinkan. Setelah itu terjadi kanaikan arus sampai 0,24 amper dan kembali naik sampai 0,7 amper sebelum akhirnya nilai arus manjadi 0 amper.

- Pengujian *Overheat*

Pada pengujian ini suhu maksimal diset pada nilai 40°C dengan beban motor DC 12V dan temperature dinaikan suhunya sampai batas maksimal dengan korek api.

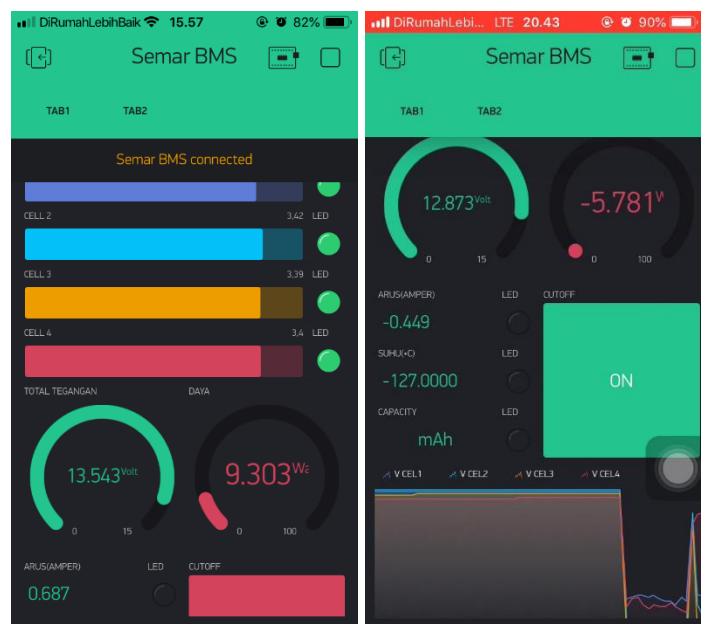


Gambar 4.19 Grafik pengujian *Overheat*

Berdasarkan hasil pengujian *overhetaing* pada grafik diatas dapat dilihat nilai tegangan kembali naik dan nilai arus turun mendekati nol dikarenakan nilai suhu telah mencapai 40,5 °C dan mengaktifkan *cutoff* untuk memproteksi terjadinya *overheating*.

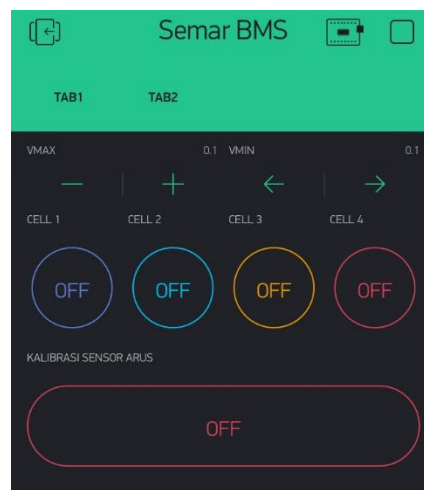
#### 4.6 Pengujian Monitoring Pada Aplikasi Blynk

Pada pengujian monitoring bertujuan untuk mengetahui kinerja sistem monitoring dan apakah informasi yang disampaikan sesuai dengan data pembacaan sensor. Berikut gambar tampilan pengujian monitoring menggunakan aplikasi blynk.



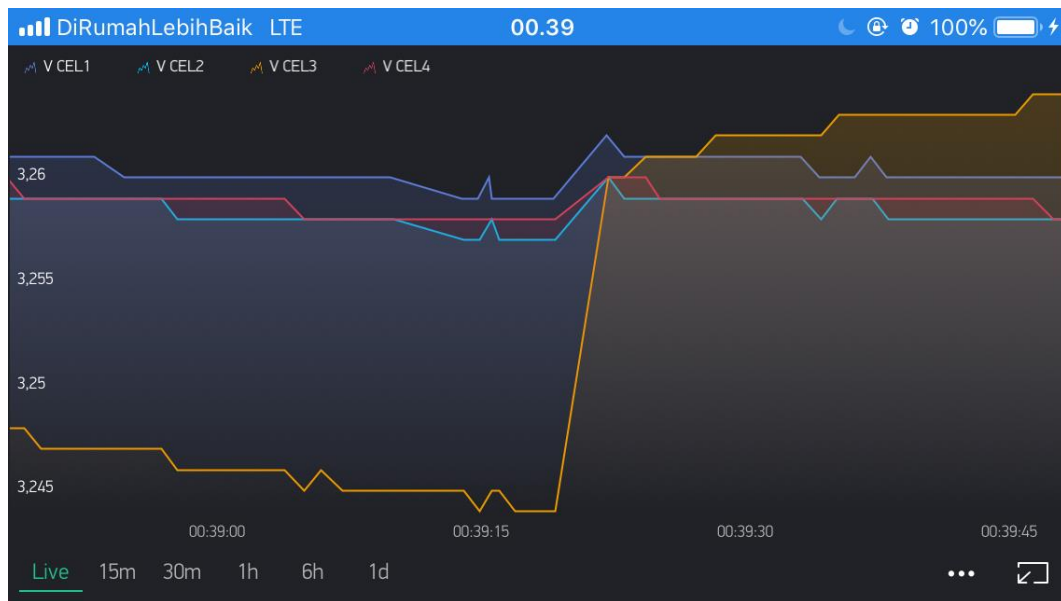
(a)

(b)



(c)

Gambar 4.20 (a) *Monitoring* tegangan tiap *cell*, tegangan total dan daya; (b) *Monitoring* arus, suhu, kapasitas baterai dan kontrol *cutoff*; (c) Kontrol batas tegangan atas bawah, kontrol *bypass cell* dan kalibrasi arus.



Gambar 4.21 Garfik *monitoring* tegangan tiap *cell*.

Berdasarkan gambar diatas terdapat beberapa data yang dimonitoring seperti tegangan tiap cell dengan indikator LED, nilai tegangan total, nilai daya charging dan discharging, nilai arus dan suhu. Aplikasi ini juga memiliki tombol cutoff dan logger yang dapat ditampilkan dalam bentuk grafik yang dapat diamati secara realtime dengan waktu interval 1 detik.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dalam penelitian yang telah dilakukan pembuatan Proteksi Cell baterai menggunakan teknik *active bypass* dengan 3 mosfet. Metode pengujian yang digunakan adalah pengujian tanpa beban, dengan beban dan pengujian pengisian baterai. Setelah dilakukan pengujian dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pengujian simulasi menunjukkan bahwa ketika terjadi bypass pada salah satu *cell* baterai terjadi kenaikan arus yang menunjukkan bahwa *active bypass balancing* yang dirancang dapat bekerja.
2. Perancangan hardware yang telah dilakukan menggunakan board 2 layer dengan komponen DIP dan module.
3. Dengan menggunakan sensor ADC 16 bit yang terisolasi pembacaan tegangan memiliki tingkat presisi rata-rata 99,98% dengan tingkat akurasi rata-rata 99,94%. Sedangkan pada sensor arus menggunakan ACS712 dengan range 5 ampere memiliki tingkat presisi 36,97% dengan tingkat akurasi 91%.
4. Hasil pengujian *Active Bypass* pada sistem yang dibuat dapat bekerja pada keadaan pengisian baterai dengan tidak terjadi kenaikan tegangan pada cell yang terbypass saat proses pengisian sedangkan pada keadaan dengan beban bypass cell tidak dapat dilakukan dikarenakan nilai tegangan yang tidak mencukupi untuk mengaktifkan mosfet sehingga terjadi Cutoff.
5. Hasil pengujian proteksi undervoltage dengan nilai tegangan minimal 2,6V sistem proteksi dapat bekerja dengan terjadi cutoff pada tegangan 2,59987V. pada pengujian proteksi overvoltage dengan tegangan maksimal 3,5V sistem proteksi dapat bekerja dengan terjadi bypass pada baterai 1 pada tegangan 3,54169V. Pada pengujian overcurrent dengan arus maksimal 0,5Ampere dapat bekerja dengan terjadi cutoff pada arus lonjakan 0,72 Ampere.

## 5.2 Saran

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

1. Pada pembuatan proteksi baterai dengan teknik *active bypass* sebaiknya menggunakan mosfet dengan tegangan gate rendah dan arus yang tinggi dengan komponen SMD dan untuk memperkecil ukuran board.
2. Proteksi baterai dengan *active bypass* sebaiknya digunakan pada baterai kapasitas besar dengan susunan seri yang kecil.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Manenti, A. Abba, A. Merati, S. M. Savaresi, and A. Geraci, "A New BMS Architecture Based on Cell Redundancy," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 58, no. 9, pp. 4314–4322, 2011.
- [2] A. Cohen, "Manufacturers Are Struggling To Supply Electric Vehicles With Batteries," *Forbes*, 25 march 2020. [Online]. Available: <https://www.forbes.com/sites/arielcohen/2020/03/25/manufacturers-are-struggling-to-supply-electric-vehicles-with-batteries/#7c62ce561ff3>. [Diakses 18 june 2020].
- [3] H. Venkatesetty and Y. Jeong, "Recent advances in lithium-ion and lithium-polymer batteries," *Seventeenth Annual Battery Conference on Applications and Advances. Proceedings of Conference IEEE*, pp. 173-178, 2002.
- [4] Szalai, T., Schwalbe, U., Schilling, M., Endert, F., Heidrich, T., and Ivanov, S. D., "Design of an active battery management system for electric vehicles," *PCIM*, pp. 1-8, 2014.
- [5] J. B. James D. Welsh, "A Comparison of Active and Passive Cell Balancing Techniques for Series/Parallel Battery Packs", Diss. The Ohio State University, 2009.
- [6] F. Zhang, M. M. U. Rehman, R. Zane, and D. Maksimovic, "Hybrid balancing in a modular battery management system for electric-drive vehicles," *2017 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, 2017.
- [7] L. A. Perisoara, I. C. Guran, and D. C. Costache, "A Passive Battery Management System for Fast Balancing of Four LiFePO<sub>4</sub> Cells," *2018 IEEE 24th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)*, pp. 390-393, 2018.
- [8] F. Ran, H. Xu, Y. Ji, J. Qin, and W. Li, "An Active Balancing Circuit for Lithium Battery Management System with Optoelectronic Switches," *TENCON 2015 - 2015 IEEE Region 10 Conference*, pp. 1-5, 2015.
- [9] G.-H. Min and J.-I. Ha, "Active cell balancing algorithm for serially connected li-ion batteries based on power to energy ratio.," *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, pp. 2748-2753, 2017.
- [10] A. Probstl, S. Park, S. Narayanaswamy, S. Steinhorst, and S. Chakraborty, "SOH-aware active cell balancing strategy for high power battery packs.," *Automation & Test in Europe Conference & Exhibition*, pp. 431-436, 2018.

- [11] K. Friansa, I. N. Haq, E. Leksono, N. Tapran, D. Kurniadi, and B. Yulianto, "Battery module performance improvement using active cell balancing system based on Switched-Capacitor Boost Converter (S-CBC)," *4th International Conference on Electric Vehicular Technology (ICEVT). IEEE*, , pp. 93-99, 2017.
- [12] M. Ricco, J. Meng, T. Gherman, G. Grandi, and R. Teodorescu, "Smart Battery Pack for Electric Vehicles Based on Active Balancing with Wireless Communication Feedback," *Energies*, vol. 12, no. 20 p. 3869, 2019.
- [13] Bowkett, M., Thanapalan, K., Stockley, T., Hathway, M. and Williams, J. Bowkett, " Design and implementation of an optimal battery management system," *Proc. 19th Int. Conf. Automat. Comput*, pp. 1-5, 2013.
- [14] 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 & Energy Systems*, vol. 98, pp. 85–99, 2018.
- [15] N. Mohan, T. M. Undeland dan W. P. Robbins, *Power Electronics Converters, Applications, and Design*, United States: John Wiley & Sons, Inc, 2003.
- [16] 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.
- [17] I. Allegro MicroSystems, "Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor," Allegro MicroSystems, Massachusetts, 2007.
- [18] T. Instruments, "ADS111x Ultra-Small, Low-Power, I2C-Compatible, 860-SPS, 16-Bit ADCs With Internal Reference, Oscillator, and Programmable Comparator," Texas Instruments Incorporated, Texas, 2018.
- [19] Maxim, "DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer," Maxim Integrated Products, 2019.
- [20] L. Lu, X. Han, J. Li, J. Hua, and M. Ouyang, "A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles," *Journal of Power Sources*, vol. 226, pp. 272–288, 2013.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1 Code program

```
/*
  Program Semar BMS untuk TA versi 1.0
  dikembangkan oleh Salman Al Farisi (I0716030)
  Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Sebelas Maret
*/

#include <Wire.h>
#include <Adafruit_ADS1015.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include "ACS712.h"
//#include <Adafruit_INA219.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <BlynkSimpleEsp8266.h>
#include <SimpleTimer.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

#define BLYNK_PRINT Serial
#define ONE_WIRE_BUS 2

//Adafruit_INA219 ina219(0x40);
Adafruit_ADS1115 ads3(0x48); //cel 3
Adafruit_ADS1115 ads4(0x49); //cel 4
Adafruit_ADS1115 ads1(0x4A); //cel 1
Adafruit_ADS1115 ads2(0x4B); //cel 2

SimpleTimer timer;
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensorSuhu(&oneWire);

char auth[] = "xxxxxxxx"; // memasukan token dari aplikasi blynk
char ssid[] = "xxxx"; // nama wifi rumah anda.
char pass[] = "xxxx"; // Password wifi rumah anda

float Voltage1 = 0.0;
float Voltage2 = 0.0;
float Voltage3 = 0.0;
float Voltage4 = 0.0;
float Total_Voltage = 0.0;
float Arus = 0.0;
float Suhu = 0.0;
float mAh = 0.0;

float Vmax = 3.5;
float VmaxR = 3.3;
float Vmin = 2.5;
float VminR = 2.9;
float Imax = 5.0;
float Tmax = 40.0;
float daya = 0;
float busvoltage=0.0;

int bcell1 = 15;
```

```

int bcel2 = 13;
int bcel3 = 12;
int bcel4 = 14;
int cutoffC = 0;
int cutoffD = 16;
int a=0,a1=0,b=0,b1=0,c=0,c1=0,d=0,d1=0,n=0,n1=0,p=0,cal=0;
int Button=0;

int16_t adc1;
int16_t adc2;
int16_t adc3;
int16_t adc4;
int16_t adcArus;
uint32_t currentFrequency;

ACS712 sensor(ACS712_05B,A0);
void setup() {
    Serial.begin(115200);
    delay(1000);
    delay(1000);
    Blynk.begin(auth, ssid, pass);
    delay(1000);
    timer.setInterval(1010, sendUptime);

    ads1.begin();
    ads2.begin();
    ads3.begin();
    ads4.begin();
    sensorSuhu.begin();

    pinMode(bcel1,OUTPUT);
    pinMode(bcel2,OUTPUT);
    pinMode(bcel3,OUTPUT);
    pinMode(bcel4,OUTPUT);
    pinMode(cutoffC,OUTPUT);
    pinMode(cutoffD,OUTPUT);
    digitalWrite(12,LOW); //P3
    digitalWrite(13,LOW); //P2
    digitalWrite(14,LOW); //P4
    digitalWrite(15,LOW); //P1
    digitalWrite(cutoffD,LOW);
    digitalWrite(cutoffC,LOW);
    a=0;b=0;c=0;d=0;
    delay(10000);
}

void loop() {
    Read_Sensor();
    proteksi();
    Blynk.run();
    timer.run();
}

void Read_Sensor(){
    adc1 = ads1.readADC_SingleEnded(0);

```

```

    Voltage1 = (adc1 * 0.1875)/1000;

    adc2 = ads2.readADC_SingleEnded(0);
    Voltage2 = (adc2 * 0.1875)/1000;

    adc3 = ads3.readADC_SingleEnded(0);
    Voltage3 = (adc3 * 0.1875)/1000;

    adc4 = ads4.readADC_SingleEnded(0);
    Voltage4 = (adc4 * 0.1875)/1000;

    Total_Voltage = Voltage1+Voltage2+Voltage3+Voltage4;

    sensorSuhu.requestTemperatures();
    delay(90);
    Suhu = sensorSuhu.getTempCByIndex(0);

    Arus = sensor.getCurrentDC();

}

void bypassD() {
    if (Voltage1<Vmin){a=1;}
    else if(Voltage1>VminR&&a==1){digitalWrite(bcel1,LOW);a=0;};

    if (Voltage2<Vmin){b=1;}
    else if(Voltage2>VminR&&b==1){digitalWrite(bcel2,LOW);b=0;};

    if (Voltage3<Vmin){c=1;}
    else if(Voltage3>VminR&&c==1){digitalWrite(bcel3,LOW);c=0;};

    if (Voltage4<Vmin){d=1;}
    else if(Voltage4>VminR&&d==1){digitalWrite(bcel4,LOW);d=0;};

    n=a+b+c+d;
}

void bypassC(){
    if (Voltage1>Vmax){digitalWrite(bcel1,HIGH);a1=1;}
    else if(Voltage1>VmaxR && a1==1
){digitalWrite(bcel1,HIGH);a1=1;}
    else {digitalWrite(bcel1,LOW); a1=0;};
    if (Voltage2>Vmax){digitalWrite(bcel2,HIGH);b1=1;}
    else if(Voltage2>VmaxR && b1==1
){digitalWrite(bcel2,HIGH);b1=1;}
    else {digitalWrite(bcel2,LOW); b1=0;};
    if (Voltage3>Vmax){digitalWrite(bcel3,HIGH);c1=1;}
    else if(Voltage3>VmaxR && c1==1
){digitalWrite(bcel3,HIGH);c1=1;}
    else {digitalWrite(bcel3,LOW); c1=0;};
    if (Voltage4>Vmax){digitalWrite(bcel4,HIGH);d1=1;}
    else if(Voltage4>VmaxR && d1==1
){digitalWrite(bcel4,HIGH);d1=1;}
    else {digitalWrite(bcel4,LOW); d1=0;};
    n1=a1+b1+c1+d1;
}

void proteksi() {
    bypassD();

```

```

    if (Arus<Imax && Suhu<Tmax && n==0 && Button == 1 ){
        digitalWrite(cutoffD,HIGH);
        digitalWrite(cutoffC,LOW);
        Serial.println("mode discharg");
        Serial.print("nilai n = ");Serial.println(n);
    }
    else {
        digitalWrite(cutoffD,LOW);
        proteksiC();
        Serial.print("nilai n = ");Serial.println(n);
        Serial.print("nilai a = ");Serial.println(a);
        Serial.println("mode charg");
    };
}

void proteksiC() {
    bypassC();
    analogWrite(cutoffC,800);
    Serial.print("nilai n1 = ");Serial.println(n1);
    switch (n1) {
        case 1:
            analogWrite(cutoffC,410);
            break;
        case 2:
            analogWrite(cutoffC,255);
            break;
        case 3:
            analogWrite(cutoffC,105);
            break;
        case 4:
            analogWrite(cutoffC,LOW); Serial.println("mode charg stop");
//delay(1000);
            break;
    }
    if (Arus>Imax && Suhu>Tmax){
        digitalWrite(cutoffC,LOW);p=1;
    }
}

void sendUptime(){
    Blynk.virtualWrite(V0, Voltage1);
    Blynk.virtualWrite(V1, Voltage2);
    Blynk.virtualWrite(V2, Voltage3);
    Blynk.virtualWrite(V3, Voltage4);
    Blynk.virtualWrite(V4, Total_Voltage);
    Blynk.virtualWrite(V5, Arus);
    Blynk.virtualWrite(V6, Suhu);
    daya = Arus*Total_Voltage;
    Blynk.virtualWrite(V11,daya);
    if (a==1||a1==1){Blynk.setProperty(V7,"color","#D3435C");} else
Blynk.setProperty(V7,"color","#2ECC71");
    WidgetLED led1(V7);
    led1.on();
    if (b==1||b1==1){Blynk.setProperty(V8,"color","#D3435C");}else
Blynk.setProperty(V8,"color","#2ECC71");
    WidgetLED led2(V8);
    led2.on();
}

```

```

    if (c==1||c1==1){Blynk.setProperty(V9,"color","#D3435C");}else
Blynk.setProperty(V9,"color","#2ECC71");
    WidgetLED led3(V9);
    led3.on();
    if (d==1||d1==1){Blynk.setProperty(V10,"color","#D3435C");}else
Blynk.setProperty(V10,"color","#2ECC71");
    WidgetLED led4(V10);
    led4.on();
  }
  BLYNK_CONNECTED() {
    Blynk.syncVirtual(V12);
  }

  BLYNK_WRITE(V12) {
    Button = param.asInt();
  }

```

## Lampiran 2 Dokumentasi Pengujian Alat

