



# INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG

## PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

JALAN GANESHA NO. 10 Gedung Labtek V Lantai 2 (022)2508135-36, (022)2500940  
BANDUNG 40132

### Dokumentasi Produk Tugas Akhir

#### Lembar Sampul Dokumen

Judul Dokumen

**TUGAS AKHIR TEKNIK ELEKTRO:  
Sistem Pengisian Daya Portabel Baterai  
Kendaraan Listrik PT. Oyika Powered Solution**

Jenis Dokumen

**DESAIN SISTEM**

Catatan: Dokumen ini dikendalikan penyebarannya oleh Prodi Teknik Elektro ITB

Nomor Dokumen

**B300-TA2122.01.024**

Nomor Revisi

**002**

Nama File

**B300-TA2122.01.024-002**

Tanggal Penerbitan

**26 Juni 2022**

Unit Penerbit

**Prodi Teknik Elektro - ITB**

Jumlah Halaman

**111** (termasuk lembar sampul ini)

#### Data Pemeriksaan dan Persetujuan

Ditulis Oleh	Nama Tanggal	Dhanurangga Al Fadh 26 Juni 2022	Jabatan Tanda Tangan	<b>Anggota</b> 
	Nama Tanggal	Danu Ihza Pamungkas 26 Juni 2022	Jabatan Tanda Tangan	<b>Anggota</b> 
	Nama Tanggal	Kevin Naoko 26 Juni 2022	Jabatan Tanda Tangan	<b>Anggota</b> 

Diperiksa Oleh	Nama	Dr. Muhammad Amin Sulthoni, S.T. M.T.	Jabatan	<b>Dosen Pembimbing</b>
	Tanggal	26 Juni 2022	Tanda Tangan	
Disetujui Oleh	Nama	Dr. Eng. Arwindra Rizqiawan, S.T., M.T.	Jabatan	<b>Dosen Pembimbing</b>
	Tanggal	26 Juni 2022	Tanda Tangan	
Disetujui Oleh	Nama	Dr. Muhammad Amin Sulthoni 26 Juni 2022	Jabatan	<b>Dosen Pembimbing</b>
	Tanggal	26 Juni 2022	Tanda Tangan	
	Nama	Dr. Eng. Arwindra Rizqiawan, S.T., M.T.	Jabatan	<b>Dosen Pembimbing</b>
	Tanggal	26 Juni 2022	Tanda Tangan	

## **DAFTAR ISI**

<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>3</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>5</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>7</b>
<b>CATATAN SEJARAH PERBAIKAN DOKUMEN.....</b>	<b>9</b>
<b>1 PENGANTAR .....</b>	<b>10</b>
1.1 RINGKASAN ISI DOKUMEN	10
1.2 TUJUAN PENULISAN DAN APLIKASI/KEGUNAAN DOKUMEN	10
1.3 REFERENSI	10
1.4 DAFTAR SINGKATAN	12
<b>2 KONSEP SISTEM .....</b>	<b>13</b>
2.1 PILIHAN SISTEM	13
2.1.1 <i>Algoritma Sistem</i>	14
2.1.2 <i>Konsep Arsitektur Sistem</i>	15
2.1.3 <i>Konsep Subsistem Charger</i>	19
2.1.4 <i>Konsep Topologi Subsistem Charger</i>	19
2.1.5 <i>Konsep Sub-Sistem IoT</i>	20
2.2 ANALISIS	20
2.2.1 <i>Metode Analisis dan Kriteria</i>	20
2.2.2 <i>Analisis konsep</i>	21
2.3 SISTEM YANG AKAN DIKEMBANGKAN	24
2.3.1 <i>Arsitektur Sistem</i>	24
2.3.2 <i>Subsistem Charger</i>	25
2.3.3 <i>Topologi Subsistem Charger</i>	27
2.3.4 <i>Skematik Topologi Subsistem Charger</i>	28
2.3.5 <i>Subsistem IoT</i>	28
<b>3 DESAIN SISTEM .....</b>	<b>30</b>
3.1 PEMODELAN FUNGSIONAL SISTEM	30
3.1.1 <i>Subsistem Interface</i>	30
3.1.2 <i>Subsistem Sensing</i>	37
3.1.3 <i>Subsistem Kontrol</i>	47
3.1.4 <i>Subsistem IoT</i>	49
3.1.5 <i>Subsistem Power Supply</i>	50
3.1.6 <i>Subsistem Charger</i>	54
3.2 PEMODELAN TINGKAH LAKU SISTEM	74
3.2.1 <i>Sistem Secara Keseluruhan</i>	74
3.2.2 <i>Subsistem Interface</i>	79
3.2.3 <i>Subsistem Sensing</i>	83
3.2.4 <i>Subsistem Kontrol</i>	85
3.2.5 <i>Subsistem IoT</i>	101
3.2.6 <i>Subsistem Power Supply</i>	103
3.2.7 <i>Subsistem Charger</i>	104
<b>4 PENGUJIAN SISTEM .....</b>	<b>108</b>
4.1 PENGUJIAN SUBSISTEM INTERFACE	108

4.2 PENGUJIAN SUBSISTEM SENSING	108
4.2.1 <i>Suhu</i>	108
4.2.2 <i>Arus</i>	108
4.2.3 <i>Tegangan</i>	108
4.3 PENGUJIAN SUBSISTEM KONTROL	109
4.4 PENGUJIAN SUBSISTEM IoT	109
4.5 PENGUJIAN SUBSISTEM POWER SUPPLY	109
4.6 PENGUJIAN SUBSISTEM CHARGER	109
<b>5 JADWAL PENGERJAAN.....</b>	<b>110</b>
<b>6 LAMPIRAN.....</b>	<b>112</b>
6.1 DESAIN PERANGKAT KERAS	112
6.1.1 <i>Subblok Input Pengguna</i>	112
6.1.2 <i>Subblok Output</i>	113

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.1 Data flow diagram sistem level 0 .....	13
Gambar 2.1.2 Diagram blok baterai PT Oyika .....	13
Gambar 2.1.3 Alur kerja sistem .....	14
Gambar 2.1.4 Diagram blok arsitektur konsep sistem 1 .....	15
Gambar 2.1.5 Diagram blok arsitektur konsep sistem 2 .....	16
Gambar 2.1.6 Diagram blok arsitektur konsep sistem 3 .....	18
Gambar 2.1.7 Diagram blok alternatif subsistem pertama.....	19
Gambar 2.1.8 Diagram blok alternatif subsistem kedua .....	19
Gambar 3.1.1 Diagram Subsistem Interface .....	31
Gambar 3.1.2 Diagram Level 0 Subblok Input Pengguna .....	31
Gambar 3.1.3 Skematik Board Switch.....	32
Gambar 3.1.4 Diagram Level 0 Subblok Output .....	32
Gambar 3.1.5 Skematik Board LED RGB .....	32
Gambar 3.1.6 Data Flow Diagram Subblok Interface Komunikasi dengan BMS .....	33
Gambar 3.1.7 Subblok Input Daya Jala-jala .....	33
Gambar 3.1.8 Skematik rangkaian pembaca suhu dengan sensor suhu analog .....	38
Gambar 3.1.9 Skematik rangkaian pembaca arus berbasis Shunt Resistor.....	39
Gambar 3.1.10 Skematik rangkaian pembaca arus berbasis <i>Hall-Effect</i> .....	39
Gambar 3.1.11 Pembacaan tegangan rendah .....	41
Gambar 3.1.12 Rangkaian umum voltage divider .....	44
Gambar 3.1.13 Nilai komponen pembacaan tegangan baterai.....	46
Gambar 3.1.14 Skematik Rangkaian Subsistem Power Supply 1.....	51
Gambar 3.1.15 Skematik Rangkaian Subsistem Power Supply 2.....	51
Gambar 3.1.16 Diagram akhir subsistem power supply .....	53
Gambar 3.1.17 Diagram subsistem charger .....	54
Gambar 3.1.18 Model rangkaian rectifier .....	55
Gambar 3.1.19 Rangkaian buck converter .....	55
Gambar 3.1.20 Aliran daya buck converter saat tahap pertama .....	56
Gambar 3.1.21 Aliran daya buck converter saat tahap kedua.....	57
Gambar 3.1.22 Aliran daya buck converter saat tidak ada beban .....	58
Gambar 3.1.23 Rangkaian pilihan 1. Menggunakan mosfet N-Channel di low side .....	59
Gambar 3.1.24 Rangkaian pilihan 2. Menggunakan mosfet P-channel di high side. ....	59
Gambar 3.1.25 Rangkaian pilihan 3. Menggunakan mosfet N-channel di high side.....	60
Gambar 3.1.26 Arus pada induktor berdasarkan kondisi switch .....	65
Gambar 3.1.27 Simulasi subsistem charger pada Simulink.....	71
Gambar 3.1.28 Grafik Hasil Simulasi SoC 10% .....	72
Gambar 3.1.29 Grafik Hasil Simulasi SoC 50% .....	72
Gambar 3.1.30 Grafik Hasil Simulasi SoC 80% .....	73

Gambar 3.1.31 Grafik Hasil Simulasi SoC 99%	73
Gambar 3.2.1 State diagram sistem secara keseluruhan	74
Gambar 3.2.2 Data flow diagram dari subsistem interface	79
Gambar 3.2.3 State diagram subblok output dari subsistem interface	80
Gambar 3.2.4 State diagram subblok interface komunikasi baterai	81
Gambar 3.2.5 Flowchart Subsistem Interface	82
Gambar 3.2.6 Data flow diagram dari subsistem sensing	83
Gambar 3.2.7 Flowchart Subsistem Sensing	84
Gambar 3.2.8 Data Flow Diagram Subsistem Kontrol	85
Gambar 3.2.9 State diagram subsistem kontrol	86
Gambar 3.2.10 Flowchart Subsistem Kontrol Keseluruhan	87
Gambar 3.2.11 Flowchart Subsistem Kontrol pada State Idle	88
Gambar 3.2.12 Flowchart State Idle Transition pada Subsistem Kontrol	88
Gambar 3.2.13 Flowchart Subsistem Kontrol pada State Retrieve Serial Information	89
Gambar 3.2.14 Flowchart State Retrieve Serial Information pada Subsistem Kontrol	90
Gambar 3.2.15 Flowchart Subsistem Kontrol pada State Trigger BMS	91
Gambar 3.2.16 Flowchart Fungsi ComputePI	92
Gambar 3.2.17 Flowchart Subsistem Kontrol pada State Charging	93
Gambar 3.2.18 Flowchart UploadData pada State Charging	94
Gambar 3.2.19 Flowchart Fungsi chargingModeDecision pada State Charging	95
Gambar 3.2.20 Flowchart Fungsi readSoC() pada State Charging	96
Gambar 3.2.21 Flowchart Fungsi requestModeCharge() pada State Charging	97
Gambar 3.2.22 Flowchart Subsistem Kontrol pada State Finish Charge	98
Gambar 3.2.23 Flowchart Subsistem Kontrol pada State Charger Overheat	99
Gambar 3.2.24 Flowchart Subsistem Kontrol pada State Charger Overcurrent	100
Gambar 3.2.25 Data Flow Diagram Subsistem IoT	101
Gambar 3.2.26 State Diagram Subsistem IoT	101
Gambar 3.2.27 Flowchart Subsistem IoT	102
Gambar 3.2.28 Power Flow Diagram Subsistem Power Supply	103
Gambar 3.2.29 State diagram subsistem charger	104
Gambar 3.2.30 Flowchart Subsistem Charger	106
Gambar 4.6.1 Gantt chart jadwal penggeraan produk	110
Gambar 4.6.2 Lanjutan gantt chart penggeraan produk	111
Gambar 4.6.1 Grafik perbandingan arus terhadap suhu junction	112
Gambar 6.1.1 Desain PCB untuk koneksi push button	112
Gambar 6.1.2 Desain PCB untuk LED RGB	113

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.3.1 Matriks pemilihan arsitektur sistem.....	25
Tabel 2.3.2 Matriks pemilihan subsistem charger .....	25
Tabel 2.3.3 Normalized Pairwise Comparison Matrix .....	26
Tabel 2.3.4 Perhitungan rasio weighted sum value terhadap constraint weighting .....	26
Tabel 2.3.5 Decision Matrix untuk subsistem charger.....	27
Tabel 2.3.6 Matriks pemilihan topologi subsistem charger .....	27
Tabel 2.3.7 Decision Matrix untuk topologi subsistem charger .....	27
Tabel 2.3.8 Alternatif topologi subsistem charger .....	28
Tabel 2.3.9 Kebutuhan lebar byte yang dikirim.....	28
Tabel 2.3.10 Perbandingan antara ketiga alternatif subsistem IoT .....	29
Tabel 3.1.1 Alternatif switch pengaturan mode daya .....	34
Tabel 3.1.2 Push button terpilih untuk menyalakan BMS .....	34
Tabel 3.1.3 Alternatif deteksi baterai pada dudukan baterai.....	35
Tabel 3.1.4 Alternatif komponen LED .....	36
Tabel 3.1.5 Pemilihan Komponen Soket Daya .....	37
Tabel 3.1.6 Perbandingan rangkaian pembaca arus .....	40
Tabel 3.1.7 Alternatif metode pembacaan tegangan baterai .....	40
Tabel 3.1.8 Pemilihan sensor suhu.....	42
Tabel 3.1.9 Pemilihan sensor arus berbasis <i>Hall-Effect</i> .....	43
Tabel 3.1.10 Resistor untuk rangkaian voltage divider [18] .....	44
Tabel 3.1.11 Tegangan yang muncul pada output voltage divider .....	45
Tabel 3.1.12 Parameter yang diperlukan oleh subblok lainnya .....	46
Tabel 3.1.13 Pemilihan modul ADC sebagai pembaca tegangan rendah .....	46
Tabel 3.1.14 Pengaturan gain dan input untuk kedua ADC.....	47
Tabel 3.1.15 Kebutuhan pin untuk setiap subsistem.....	48
Tabel 3.1.16 Pemilihan mikrokontroler .....	48
Tabel 3.1.17 Alternatif modul GSM .....	49
Tabel 3.1.18 Konsumsi daya untuk subsistem lainnya .....	50
Tabel 3.1.19 Komponen Converter AC220V – DC12V .....	52
Tabel 3.1.20 Komponen Converter DC12V – DC5V .....	53
Tabel 3.1.21 Input, Output, dan Fungsi Subsistem Charger .....	54
Tabel 3.1.22 Perbandingan tiga implementasi komponen pengganti saklar .....	59
Tabel 3.1.23 Parameter MOSFET untuk kalkulasi daya rugi rugi.....	61
Tabel 3.1.24 Perhitungan daya rugi rugi komponen pada subsistem charger.....	61
Tabel 3.1.25 Kebutuhan komponen rectifier.....	63
Tabel 3.1.26 Alternatif pilihan komponen rectifier .....	63
Tabel 3.1.27 Kebutuhan komponen kapasitor.....	63
Tabel 3.1.28 Spesifikasi buck converter yang diperlukan .....	64
Tabel 3.1.29 Kebutuhan komponen switching (MOSFET) .....	65

Tabel 3.1.30 Alternatif pilihan komponen switching (MOSFET) .....	65
Tabel 3.1.31 Kebutuhan komponen power diode .....	66
Tabel 3.1.32 Alternatif komponen power diode .....	66
Tabel 3.1.33 Alternatif komponen MOSFET driver.....	67
Tabel 3.1.34 Kebutuhan komponen induktor.....	68
Tabel 3.1.35 Induktor yang akan dipilih .....	68
Tabel 3.1.36 Kebutuhan komponen kapasitor.....	68
Tabel 3.1.37 Kebutuhan komponen resistor discharge .....	69
Tabel 3.1.38 Pemilihan kipas sebagai pendingin aktif.....	69
Tabel 3.1.39 Kebutuhan komponen fuse.....	70
Tabel 3.1.40 Besaran komponen pada simulasi .....	71
Tabel 3.1.41 Hasil simulasi dengan beberapa variasi SoC baterai .....	71
Tabel 3.2.1 Rincian syarat perpindahan state.....	74
Tabel 3.2.2 Hubungan subsistem kontrol dengan subsistem lainnya.....	85

## Catatan Sejarah Perbaikan Dokumen

Versi, Tgl, Oleh	Perbaikan
1.0, 19 Oktober 2021, KN, DIP, DAF	Dokumen dibuat
1.1, 25 Oktober 2021, KN, DIP, DAF	Membuat konsep sistem, menentukan subsistem yang diperlukan
1.3, 8 November 2021, KN, DIP, DAF	Membuat pemodelan fungsional subsistem Interface, Sensing, IoT, dan Power Supply
1.6.1, 30 November 2021, KN, DIP, DAF	Membuat pemodelan tingkah laku sistem secara keseluruhan
1.8.3, 7 Desember 2021, KN, DIP, DAF	Memperbaiki diagram blok baterai, arsitektur sistem, serta state diagram subsistem secara keseluruhan
1.6, 29 November 2021, KN, DIP, DAF	Memperbarui desain sistem dan pemilihan komponen subsistem IoT serta
1.5, 22 November 21, KN, DIP, DAF	Memperbarui desain sistem serta memperbarui alternatif pemilihan komponen subsistem charger dan power supply
1.7, 2 Desember 2021, KN, DIP, DAF	Memperbarui desain subsistem charger dan menambahkan simulasi subsistem charger
1.5.2, 24 November 2021, KN, DIP, DAF	Memperbarui desain subsistem sensing serta memperbarui alternatif pemilihan komponen subsistem charger, power supply, dan sensing.
1.8.2, 5 Desember 2021, KN, DIP, DAF	Memperbarui flowchart dan state diagram tiap subsistem dan prosedur pengujian, serta menambah timeline penggerjaan
1.2, 1 November 2021, KN, DIP, DAF	Memperbarui konsep sistem, serta membuat alternatif arsitektur sistem
1.4, 15 November 2021, KN, DIP, DAF	Memperbarui pemilihan komponen untuk tiap subsistem
1.8.1, 5 Desember 2021, KN, DIP, DAF	Memperbarui simulasi subsistem charger
1.3.1 10 November 2021, KN, DIP, DAF	Menambahkan pemodelan fungsional subsistem Kontrol dan subsistem Charger
1.5.1, 23 November 2021, KN, DIP, DAF	Mengubah alternatif subsistem IoT menjadi GSM (semula LoRA)
2.0, 26 Juni 2022, KN, DIP, DAF	Menyelaraskan formatting

# Pengantar

## 1.1 Ringkasan Isi Dokumen

Dokumen ini berisi konsep sistem dan desain sistem dari produk yang akan diimplementasikan pada tahap selanjutnya. Pada pemilihan konsep sistem, diusulkan tiga alternatif konsep sistem. Dari ketiga konsep tersebut, dipilih satu konsep sistem yang terbaik dengan menggunakan metode AHP. Pembobotan kriteria dan konsep dilakukan sesuai dengan analisis untuk memenuhi kebutuhan desain.

Konsep terpilih akan dilanjutkan menjadi desain sistem. Proses desain dilakukan dari blok level tertinggi hingga blok level terendah menggunakan metode top-down. Penentuan sub-blok dilakukan berdasarkan fitur dan spesifikasi dari dokumen sebelumnya. Setelah desain sistem tergambar dengan jelas, selanjutnya dilakukan pemilihan komponen. Pemilihan komponen didasarkan pada pertimbangan spesifikasi dan sistem.

## 1.2 Tujuan Penulisan dan Aplikasi/Kegunaan Dokumen

Tujuan dari penulisan dokumen ini yaitu sebagai dasar-dasar konsep sistem serta desain sistem. Dokumen ini diharapkan dapat menjadi bahan acuan untuk implementasi sistem yang berisi konsep, desain, serta komponen yang akan digunakan. Dokumen ini juga diharapkan dapat menjadi acuan dalam penjadwalan dan implementasi serta implementasi sistem selanjutnya.

## 1.3 Referensi

- [1] S. Jog, N. Chaturvedi and S. Chitnis, "Electromagnetic compatibility of Energy Efficient Switched Mode Power Supply (SMPS) with CISPR EMI standards," 2015 International Conference on Energy Systems and Applications, 2015, pp. 700-705, doi: 10.1109/ICESA.2015.7503440
- [2] P. Van den Bossche, 2003. "Safety Considerations for Electric Vehicles" <http://etec.vub.ac.be/publications/evs12vdb.pdf>
- [3] Ron Stull, 2019. "Isolated vs Non-Isolated Power Converters." Diakses pada 29 Oktober 2021 pukul 12.34, dari <https://www.cui.com/blog/isolated-vs-non-isolated-power-converters>
- [4] Wurth Elektronik, "SMPS Topology Chart" Diakses pada 9 Oktober 2021 pukul 09.29", dari [https://www.we-online.com/web/en/index.php/show/media/07\\_electronic\\_components/news\\_1/blog/midcom\\_blog\\_photos/SMPSChart.pdf](https://www.we-online.com/web/en/index.php/show/media/07_electronic_components/news_1/blog/midcom_blog_photos/SMPSChart.pdf)
- [5] Telkom IOT, "Telkom LoRaWAN Coverage" Diakses pada 12 Oktober 2021 pukul 11.09", dari <https://www.telkomiot.com/>
- [6] Texas Instruments, "LM35", Diakses pada 16 Oktober 2021 pukul 19.34, dari <https://www.ti.com/product/LM35#:~:text=The%20LM35%20device%20does%20not,calibration%20at%20the%20wafer%20level.>
- [7] RandomNerdTutorial, "ESP32 ADC – Read Analog Values with Arduino IDE" Diakses pada 16 Oktober 2021 pukul 23.24", dari <https://randomnerdtutorials.com/esp32-adc-analog-read-arduino-ide/> <https://randomnerdtutorials.com/esp32-adc-analog-read-arduino-ide/>

- [8] Arduino, "Non-linear voltage readings with analog input" Diakses pada 15 Oktober 2021 pukul 02.40", dari <https://forum.arduino.cc/t/very-non-linear-voltage-readings-with-analog-input/13360>
- [9] Hi-Link Datasheet, Diakses pada 30 Oktober 2021 pukul 23.50", dari <https://www.hlktech.com/en/Goods-31.html>
- [10] Allegro, ACS712 Datasheet, Diakses pada 31 Oktober 2021 pukul 03.50", dari <https://www.sparkfun.com/datasheets/BreakoutBoards/0712.pdf>
- [11] Espressif Systems. 2021. "ESP32-S Series." Diakses pada 29/10/2021 pukul 01.33, dari [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf)
- [12] Matt. 2021. "Mini360 Datasheet." Diakses pada 21 November 2021 pukul 09.11, dari <https://www.matts-electronics.com/wp-content/uploads/2018/06/mini-360.pdf>
- [13] Texas Instruments. 2021. "LM2596 Datasheet." Diakses pada 28 November 2021 pukul 16.23, dari [https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf?ts=1637022517884&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf?ts=1637022517884&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F)
- [14] STMicroelectronics. 2007. "STW45NM60 Datasheet." Diakses pada 28 November 2021 pukul 19.37, dari <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stw45nm60.pdf>
- [15] Allegro Microsystems. 2021. "ACS724 Datasheet." Diakses pada 28 November 2021 pukul 19.52, dari <https://www.allegromicro.com/~media/Files/Datasheets/ACS724-Datasheet.ashx>
- [16] Hauke, Brigitte. 2015. "Basic Calculation of a Buck Converter's Power Stage." Diakses pada 28 November 2021 pukul 21.04, dari [https://www.ti.com/lit/an/slva477b/slva477b.pdf?ts=1638159686681&ref\\_url=http%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/an/slva477b/slva477b.pdf?ts=1638159686681&ref_url=http%253A%252F%252Fwww.google.com%252F)
- [17] Maxim Integrated. 2002. "Guide to MOSFET Power Dissipation Calculation in High Power Supply." Diakses pada 3 Desember 2021 pukul 14.27, dari <https://www.maximintegrated.com/en/design/technical-documents/tutorials/1/1832.html#:~:text=Most%20MOSFET%20data%20sheets%20only%20specify%20a%20maximum,from%200.35%25%2FC2%20C%20to%200.5%25%2FC2%20C%20%28Figure%202%29.%20Figure%202>.
- [18] Yageo Group. 2020. "Thin Film Chip Resistors Datasheet." Diakses pada 3 Desember 2021 pukul 17.16, dari [https://www.yageo.com/upload/media/product/products/datasheet/rchip/PYu-RT\\_1-to-0.01\\_RoHS\\_L\\_12.pdf](https://www.yageo.com/upload/media/product/products/datasheet/rchip/PYu-RT_1-to-0.01_RoHS_L_12.pdf)
- [19] Reddy, S Bharadwaj. 2019. "How to Calculate Heat Load in Electrical/Electronic Panel Enclosure". Diakses pada 3 Desember 2021 pukul 17.31, dari <https://instrumentationtools.com/how-to-calculate-heat-load-in-electricalelectronic-panel-enclosure/>
- [20] Rohm Semiconductors. 2016. "Calculation of Power Loss(Synchronous)." Diakses pada 3 Desember 2021 pukul 17.43, dari [https://fscdn.rohm.com/en/products/databook/applinote/ic/power/switching\\_regulator/power\\_loss\\_appli-e.pdf](https://fscdn.rohm.com/en/products/databook/applinote/ic/power/switching_regulator/power_loss_appli-e.pdf)

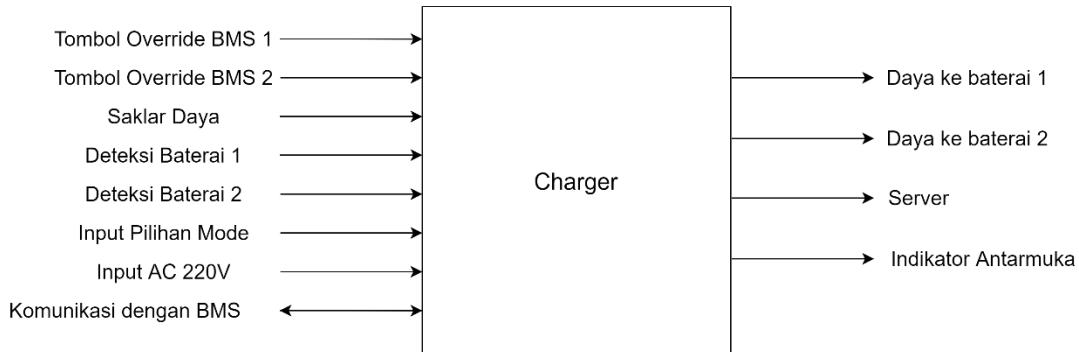
#### **1.4 Daftar Singkatan**

SINGKATAN	ARTI
A	Ampere
AC	Alternating Current
Ah	Ampere-hour
BMS	Battery Management System
BTU	British Thermal unit
CFM	Cubic Feet per Minute
DC	Direct Current
HV	High Voltage
IoT	Internet of Things
LV	Low Voltage
PI	Proportional Integral
PPM	Parts per Million
PWM	Pulse Width Modulation
SMPS	Switched Mode Power Supply
SMD	Surface Mounting Device
SoC	State of Charge
SW	Switch
THT	Through Hole Technology
UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter
V	Volt
W	Watt

## Konsep Sistem

### 1.5 Pilihan Sistem

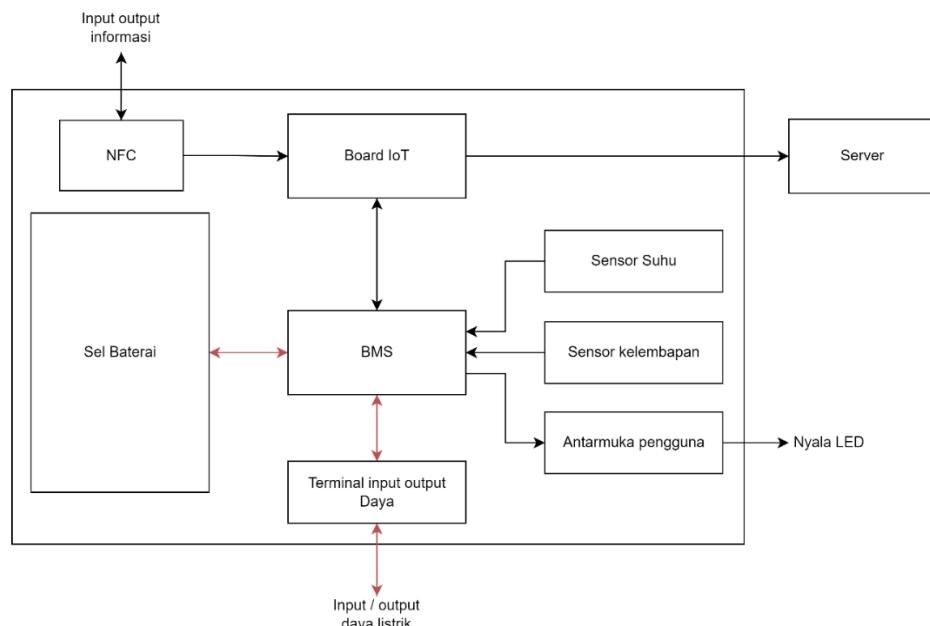
Produk yang dirancang memiliki input dan output sebagai berikut



Gambar 1.5.1 Data flow diagram sistem level 0

Sesuai dengan diagram yang tertera di Gambar 1, sistem menerima input dari pengguna berupa input pemilihan mode pengisian daya. Sistem juga akan melakukan deteksi baterai melalui komunikasi serial yang terdapat pada baterai. Sebagai redundansi, sistem juga dilengkapi tombol *override* apabila BMS mati total.

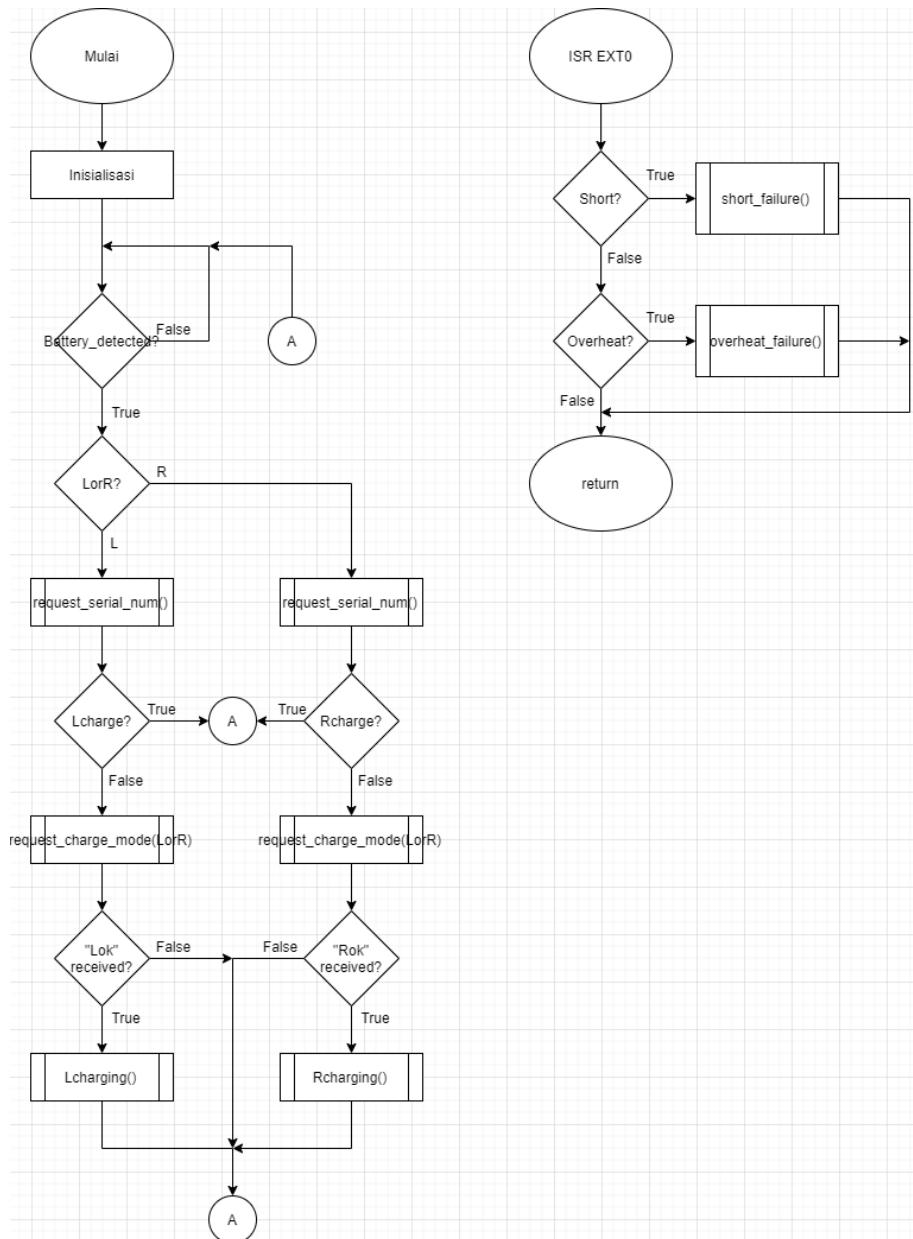
Produk yang dirancang akan melakukan komunikasi dengan baterai untuk mendapatkan informasi tertentu yang dapat digunakan dalam proses datalogging dan proses pengisian daya. Agar perancangan arsitektur sistem dapat dilakukan dengan tepat, perlu diketahui blok komponen yang terdapat pada baterai. Diagram yang menggambarkan blok-blok tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1.5.2 Diagram blok baterai PT Oyika

### 1.5.1 Algoritma Sistem

Secara umum, mikrokontroller yang terdapat pada produk bertugas untuk mengendalikan tegangan dan arus output dari subsistem charger, mengubah mode pada baterai, mendeteksi adanya baterai pada terminal, melakukan sinkronisasi data ke server, serta mengecek *operating condition* dari baterai secara berkala agar dapat menanggulangi *failure*. Untuk melakukan proses tersebut, algoritma sistem secara umum dapat dilihat lebih lanjut pada Gambar 3.



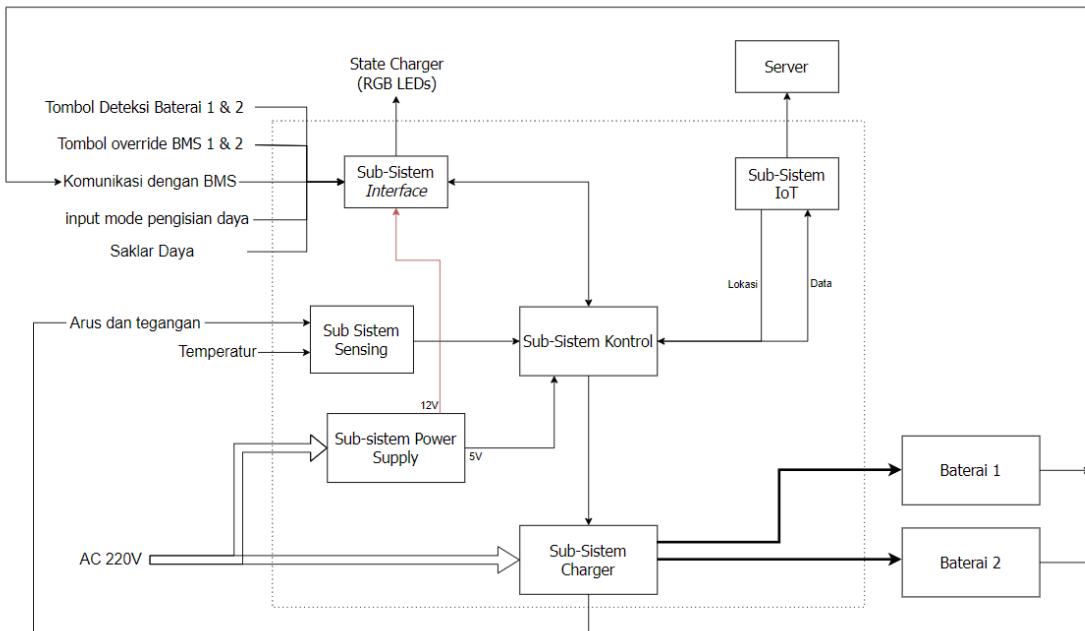
**Gambar 1.5.3 Alur kerja sistem**

Ketika sistem terhubung dengan jala-jala listrik, sistem akan memulai inisialisasi. Proses inisialisasi tersebut dilakukan oleh subsistem power supply yang mengaktifkan mikrokontroler. Setelah mikrokontroler aktif, komunikasi dari BMS akan mendeteksi apakah ada baterai yang terhubung atau tidak. Jika baterai tidak terdeteksi maka sistem akan menunggu hingga ada baterai yang terdeteksi. Setelah baterai terdeteksi, komunikasi dari BMS akan mengirimkan data baterai seperti nomor serial baterai. Lalu

setelah proses pertukaran informasi dari BMS ke charger selesai, akan dilanjutkan pengisian daya ke baterai tersebut. Pengisian akan dilakukan jika tidak terdeteksi adanya short circuit pada baterai dan juga overheat pada baterai. Pembacaan overheating dan juga short circuit pada baterai dilakukan oleh BMS.

### 1.5.2 Konsep Arsitektur Sistem

#### 1.5.2.1 Konsep Arsitektur Sistem 1



**Gambar 1.5.4 Diagram blok arsitektur konsep sistem 1**

Pada konsep ini, subsistem kontrol dan subsistem interface menerima daya dari subsistem power supply. Setelah subsistem kontrol aktif, subsistem kontrol akan mengaktifkan subsistem sensing dan subsistem IoT. Selanjutnya subsistem kontrol akan melakukan komunikasi dengan BMS jika baterai telah diletakkan di tempatnya. Jika komunikasi dengan BMS telah selesai dilakukan, maka mikrokontroler akan mengaktifkan subsistem charger untuk mengalirkan daya ke baterai.

Sub-sistem yang terdapat dalam konsep sistem 1 yaitu sub-sistem charger, sub-sistem power supply, IoT, interface, dan subsistem kontrol.

Sub-sistem charger merupakan bagian terpenting dari sistem ini. Sub-sistem charger berfungsi untuk mengalirkan daya dari sumber jala-jala ke baterai. Selain itu, sub-sistem charger juga akan berfungsi untuk mengalirkan daya ke sub sistem power supply untuk selanjutnya diubah ke tegangan yang tepat untuk subsistem kontrol.

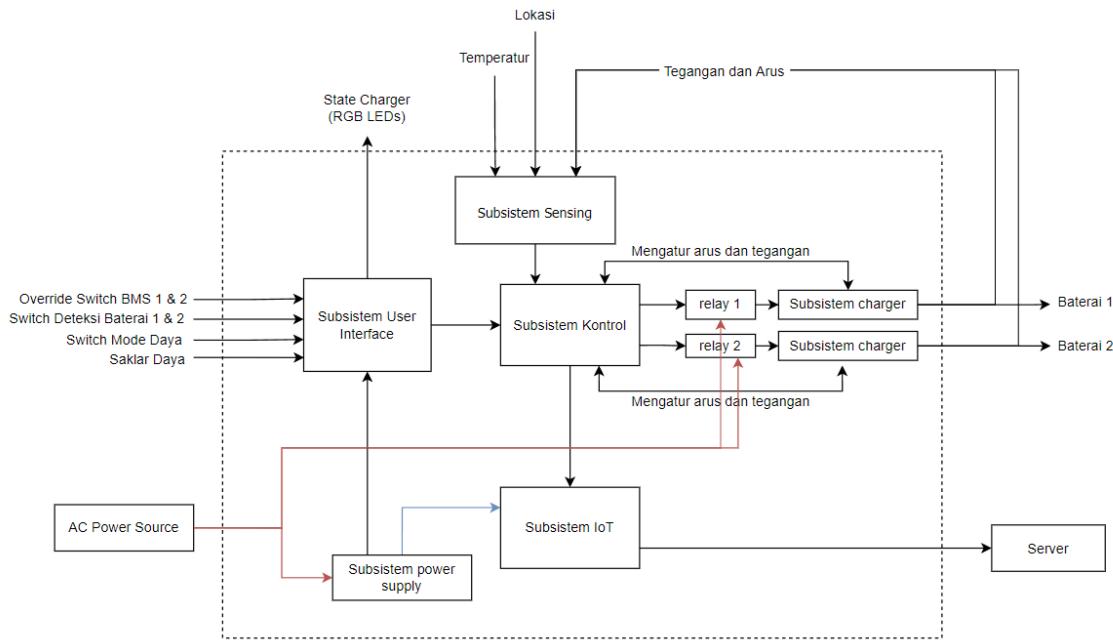
Sub-sistem power supply berfungsi untuk mengubah arus AC menjadi arus DC dan menurunkan tegangannya menjadi tegangan yang dibutuhkan oleh subsistem kontrol dan subsistem interface.

Sub-sistem IoT berfungsi untuk mengunggah data logger ke database. Data logger berisi data lokasi, log penggunaan, nomor serial baterai, durasi pengisian daya, timestamp, tegangan input, serta tegangan dan arus output.

Sub-sistem kontrol merupakan otak dari sistem ini. Subsistem kontrol berfungsi untuk melakukan komunikasi ke BMS, mengatur output signal PWM ke sub-sistem charger. Mikrokontroler juga berfungsi untuk mengeluarkan state user interface, mengirimkan data secara IoT ke database serta menginput data dari sensor suhu.

Sub-sistem *interface* menghimpun input dari mode pengisian daya, tombol untuk mengaktifkan BMS, dan sebagai perantara komunikasi antara BMS dan subsistem kontrol. Sub-sistem interface juga berfungsi sebagai penanda state charger dalam bentuk LED RGB.

### 1.5.2.2 Konsep Arsitektur Sistem 2



**Gambar 1.5.5 Diagram blok arsitektur konsep sistem 2**

Konsep sistem kedua terdiri dari beberapa sub-sistem sebagai berikut:

- Antarmuka input dengan mikrokontroler
- IoT
- Charger
- Antarmuka pengguna
- Sensor temperatur
- Power supply
- Mikrokontroler

Sub-sistem antarmuka input dengan mikrokontroler berperan sebagai penghubung mikrokontroler dengan masukan dari luar sistem, baik dari sistem lain ataupun dari pengguna. Sub-sistem ini terdiri dari board NFC, switch, dan button. Board NFC berfungsi untuk komunikasi dengan BMS yang ada di dalam baterai. Informasi yang dapat diperoleh dari BMS di antaranya adalah serial baterai, tegangan sel, suhu sel, kapasitas daya yang tersisa, kapasitas total, dan arus. Selain itu, mode charge dan discharge baterai juga diatur melalui BMS yang perintahnya diberikan melalui

komunikasi serial ke modul NFC. Kemudian, switch berfungsi untuk mengatur mode keluaran daya yang dapat dipilih oleh pengguna. Terakhir, button berfungsi pada kasus BMS baterai mati. Ketika BMS baterai mati, sistem tidak dapat mengirim perintah. Oleh karena itu, baterai perlu diberi tegangan 67.7 V untuk menyalakan BMS terlebih dahulu. Button inilah yang akan digunakan untuk menyalakan baterai.

Sub-sistem IoT berperan sebagai penghubung sistem dengan jaringan internet. Sub-sistem ini terdiri dari modul GPS dan modul GSM. Modul GPS berguna untuk memonitor lokasi charger ketika digunakan. Lokasi ini akan diunggah ke internet sebagai rekaman data. GSM berfungsi sebagai provider internet. Selain itu, modul IoT ini juga digunakan untuk mengirimkan data-data baterai yang discharge yang juga sebagai rekaman data.

Sub-sistem charger berperan untuk memberi daya ke baterai. Sub-sistem ini terdiri dari komponen konverter AC/DC dan buck converter. Konverter AC/DC berfungsi untuk mengubah listrik AC ke DC. Kemudian buck converter berfungsi untuk mengatur tegangan dan arus pada saat pengisian daya baterai. Pengaturan arus dan tegangan dilakukan oleh mikrokontroler dengan mengumpulkan arus dan tegangan yang terukur dari sensor ke mikrokontroler. Berdasarkan datasheet baterai yang digunakan Oyika, metode pengisian daya baterainya harus dengan metode constant-current dan constant-voltage (CC-CV method).

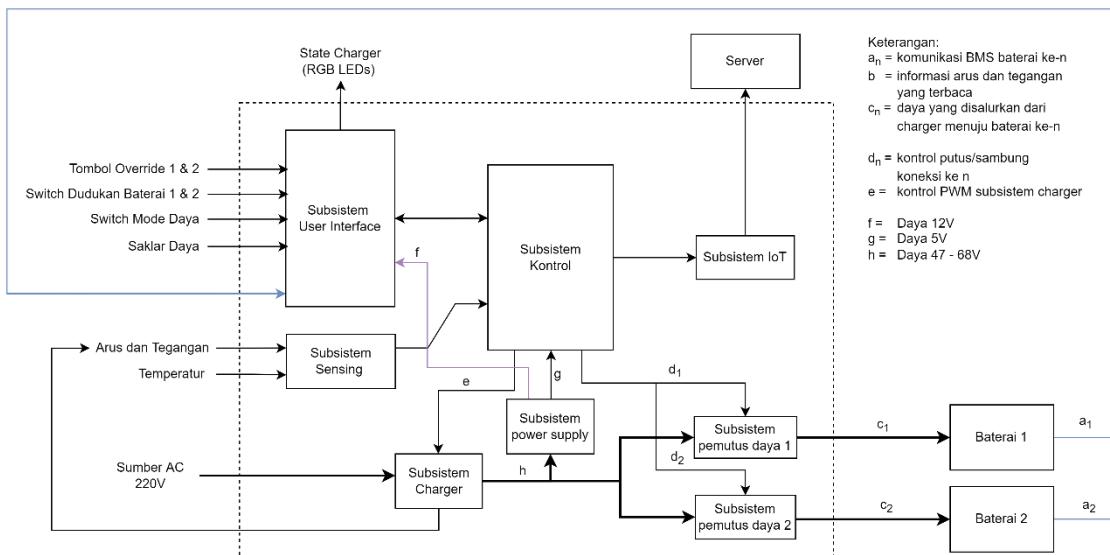
Sub-sistem antarmuka pengguna berperan untuk memberikan informasi-informasi ke pengguna. Sub-sistem ini terdiri dari dua buah LED RGB. Satu LED RGB digunakan untuk memberikan informasi untuk satu dudukan baterai. Informasi yang disampaikan berupa warna yang ditampilkan ataupun kedipan LED.

Sub-sistem sensor temperatur berperan untuk memberikan informasi suhu dari sistem yang terbaca ke mikrokontroler. Sub-sistem ini terdiri dari sensor temperatur dan rangkaian pengondisian sinyal. Sensor temperatur berfungsi untuk mengubah besaran suhu yang terukur menjadi besaran listrik. Kemudian rangkaian pengondisian sinyal berfungsi untuk mengubah sinyal keluaran sensor temperatur agar dapat dibaca oleh mikrokontroler.

Sub-sistem power supply berperan sebagai penyedia daya untuk sub-sistem lainnya. Sub-sistem ini terdiri dari konverter AC/DC dan buck converter. Konverter AC/DC berfungsi untuk mengubah sumber AC menjadi DC. Kemudian, buck converter berfungsi untuk mengubah tegangan dari konverter AC/DC menjadi tegangan yang sesuai dengan komponen tertentu.

Sub-sistem mikrokontroler berperan untuk mengendalikan sub-sistem lainnya. Hubungan sub-sistem ini dengan sub-sistem lain dapat dilihat pada gambar di bawah. Sub-sistem ini mendapatkan dari sub-sistem power supply. Beberapa fungsi dari sub-sistem ini di antaranya adalah mengirim perintah ke BMS, memperoleh informasi dari BMS, mengatur relay untuk menyalakan/mematikan sub-sistem charger, mengatur arus dan tegangan keluaran dari sub-sistem charger, memperoleh informasi posisi dari GPS, mengirimkan data ke internet, dan mengatur keluaran LED RGB.

### 1.5.2.3 Konsep Arsitektur Sistem 3



Gambar 1.5.6 Diagram blok arsitektur konsep sistem 3

Pada konsep sistem yang telah dirancang, sumber tegangan AC 220V diproses oleh satu subsistem charger yang mengubah tegangan AC menjadi DC, lalu akan dibagi ke dua terminal baterai melalui relay 1 dan relay 2. Relay ini berfungsi untuk memutus tegangan yang mengalir ke terminal pengisian daya apabila tidak ada baterai di terminal. Pendekripsi ini dilakukan dengan modul NFC. Apabila BMS pada baterai mati total, modul NFC pada baterai juga akan mati, sehingga deteksi tidak dapat dilakukan. Sebagai redundansi, sistem juga dilengkapi oleh tombol untuk mengisi daya apabila hal tersebut terjadi.

Pada subsistem sensing, parameter yang diamati oleh mikrokontroler ialah tegangan baterai dan arus pengisian daya yang dilakukan. Informasi tegangan baterai digunakan untuk menyesuaikan output tegangan dari subsistem charger, dan informasi arus digunakan sebagai validasi bahwa charger memiliki output arus yang sesuai dengan spesifikasi. Kedua parameter ini, berikut dengan informasi nomor serial baterai, durasi pengisian daya, serta lokasi penggunaan charger akan diupload ke server melalui subsistem IoT untuk memantau penggunaan produk. Selain itu, dilakukan juga pengamatan terhadap parameter temperatur dan lokasi untuk menjaga suhu operasi produk serta mencatat lokasi penggunaan produk

Pada subsistem user interface, terdapat bagian yang menerima input pengguna dan bagian yang mengeluarkan output. Input pengguna diterima dalam bentuk 2 tombol override pengisian daya (apabila BMS mati) dan selektor untuk mode pengisian daya. Output diberikan dalam bentuk dua buah LED RGB yang akan dioperasikan secara kombinasional untuk menginformasikan state charger. Warna biru dan hijau untuk salah satu dari LED menunjukkan bahwa baterai sedang diisi atau sudah terisi penuh. Kondisi yang menyebabkan sistem untuk memutus aliran daya (overheat, undervoltage, atau overcurrent) juga ditampilkan oleh kedua LED ini.

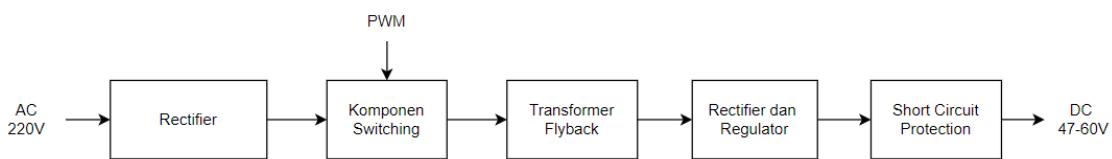
Untuk memberi daya ke sistem komunikasi NFC serta mikrokontroller, tegangan DC 68V yang dihasilkan oleh subsistem charger juga akan disalurkan ke subsistem power

supply agar memberi daya 12V DC untuk sistem komunikasi, serta menjadi 5V untuk memberi daya ke mikrokontroller, modul, dan sensor yang ada.

### 1.5.3 Konsep Subsistem Charger

#### 1.5.3.1 Perancangan Switched Mode Power Supply (SMPS)

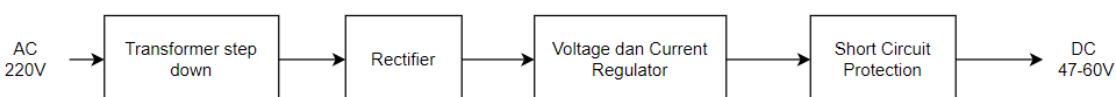
Pada alternatif konsep subsistem ini, akan digunakan topologi switched mode power supply (SMPS) untuk melakukan konversi tegangan AC 220 V menuju tegangan DC dengan tegangan dan arus yang ditentukan. Pertama, tegangan AC 220V dilewatkan ke rectifier untuk mendapatkan tegangan DC. Tegangan DC ini kemudian disalurkan ke komponen switching berfrekuensi tinggi agar tegangan dan arusnya dapat dikendalikan menggunakan pulse width modulation (PWM).



Gambar 1.5.7 Diagram blok alternatif subsistem pertama

#### 1.5.3.2 Perancangan Power Supply Linear

Pada alternatif konsep subsistem ini, proses konversi AC ke DC akan dilakukan menggunakan metode linear. Pada metode ini, tegangan AC 220V diturunkan ke tegangan yang diperlukan menggunakan perbandingan kumparan primer dan sekunder yang sesuai, lalu sinyal AC yang diturunkan tersebut disalurkan ke rangkaian rectifier yang akan menyearahkan tegangan AC menjadi tegangan DC.



Gambar 1.5.8 Diagram blok alternatif subsistem kedua

### 1.5.4 Konsep Topologi Subsistem Charger

#### 1.5.4.1 Isolated Power Supply

Pada topology isolated power supply, bagian high voltage yang menerima input tegangan DC tinggi tidak memiliki loop yang sama dengan bagian output tegangan DC rendah. Pemisahan ini dicapai menggunakan trafo. Untuk topologi ini, terdapat berbagai jenis konfigurasi rangkaian yang memiliki *use case* dan efisiensi yang beragam.

#### 1.5.4.2 Non-Isolated Power Supply

Pada topologi non-isolated power supply, bagian high voltage memiliki hubungan langsung dengan bagian low voltage. Topologi ini secara umum memiliki biaya dan ukuran yang lebih kecil, karena tidak memerlukan trafo seperti topologi isolated. Pembahasan mengenai kelebihan dan kekurangan dari masing masing topologi akan dilakukan pada Subbab 1.6.2.3.

## 1.5.5 Konsep Sub-Sistem IoT

### 1.5.5.1 Konektivitas dengan GPRS

Jaringan GPRS sudah tersedia secara ekstensif di Indonesia, sehingga kecil kemungkinan produk tidak mendapatkan sinyal. Selain itu, koneksi jaringan GPRS juga memungkinkan untuk melakukan transfer data dengan *rate* yang besar. Namun tarif penggunaan GPRS yang didasari atas besar data, biaya penggunaan GPRS secara umum akan lebih tinggi untuk pengiriman data secara *realtime*.

### 1.5.5.2 Konektivitas dengan LoRa

Secara umum, jaringan LoRa hanya memerlukan daya yang kecil untuk melakukan transmisi data. Dengan penggunaan daya yang kecil ini, terdapat tradeoff berupa payload data yang kecil pula. Jaringan LoRa hanya dapat melakukan transmisi data dengan rate 27 kilobits per detik (sekitar 3.3 kilobytes per detik). Bila subsistem IoT akan memanfaatkan jaringan LoRa, perlu dilakukan pertimbangan terhadap besar payload yang ingin dikirimkan.

Secara khusus, untuk penggunaan LoRa di Indonesia dapat digunakan layanan Antares yang disediakan oleh Telkom. Dengan adanya layanan jaringan ini, dapat dilakukan komunikasi dari produk langsung ke infrasturktur LoRa dari Antares, sehingga tidak diperlukan receiver LoRa yang diletakkan di tempat strategis.

Layanan tersebut memiliki skema penawaran harga yang berbeda dengan GPRS. Biaya yang dikenakan untuk menggunakan jaringan LoRa memiliki harga yang konstan, terlepas dari jumlah byte data yang dikirimkan. Namun, jaringan LoRa di Indonesia masih belum terlalu luas, sehingga perlu diperhatikan *coverage* yang disediakan oleh LoRa untuk kondisi penggunaan produk.

### 1.5.5.3 Konektivitas dengan WiFi

Bila subsistem IoT akan memanfaatkan jaringan WiFi yang ada di rumah pelanggan, tidak diperlukan modul tambahan untuk mengakses jaringan WiFi tersebut, karena ESP32 sudah dilengkapi dengan modul WiFi. Penggunaan jaringan tersebut juga lebih murah, karena menggunakan jaringan WiFi yang sudah ada. Yang perlu menjadi perhatian apabila digunakan jaringan WiFi adalah ketersediaan jaringan serta *credentials* dari SSID yang ada. Selain itu, perlu dipertimbangkan juga kasus apabila pelanggan tidak memiliki akses WiFi di rumahnya.

## 1.6 Analisis

### 1.6.1 Metode Analisis dan Kriteria

Dari ketiga konsep sistem yang telah dibuat pada bagian 2.1, selanjutnya akan dipilih satu konsep sistem. Pemilihan konsep sistem yang akan digunakan akan dilakukan menggunakan metode AHP atau metode perbandingan sederhana. Pemilihan konsep akan didasarkan pada spesifikasi yang ada di dokumen B200 serta kriteria yang dikembangkan berdasarkan konstrain yang telah dibuat sebelumnya dalam dokumen B100. Kriteria-kriteria berikut perlu diperhatikan untuk memilih konsep sistem yang

paling sesuai untuk selanjutnya dikembangkan menjadi desain. Adapun kriteria yang akan digunakan dalam memilih konsep sistem yaitu:

#### **1.6.1.1 Ekonomi**

Sebagai produk yang ditujukan untuk penggunaan komersil, proses manufaktur perlu dilakukan seefisien mungkin. Efisiensi ini juga perlu memerhatikan biaya produksi dari produk. Biaya produksi yang lebih tinggi akan memiliki proses manufakturabilitas yang lebih mudah. Hal ini berkaitan erat dengan penggunaan modul yang sudah terdapat di pasaran.

#### **1.6.1.2 Efisiensi**

Kriteria efisiensi produk berkaitan erat dengan konsumsi daya produk untuk melakukan pengisian daya. Efisiensi rendah dapat mengakibatkan penarikan daya yang lebih besar. Meskipun sudah disediakan opsi untuk melakukan pengisian daya dengan arus yang lebih kecil, efisiensi yang terlalu rendah akan menyebabkan produk melewati batas penarikan daya maksimal yang telah ditetapkan pada dokumen sebelumnya.

#### **1.6.1.3 Kehandalan**

Penggunaan produk yang jauh dari teknisi membuat produk harus dapat diandalkan dan dapat selalu digunakan. Yang dimaksud kehandalan disini yaitu seberapa baik produk akan dapat melakukan tugasnya secara fungsionalitas.

#### **1.6.1.4 Dimensi**

Produk yang dibuat memiliki konstrain desain. Dalam konstrain desain tersebut diperlukan suatu produk dengan ukuran yang dapat dipindahkan oleh manusia. Oleh karena itu, dimensi merupakan salah satu aspek penting dari sebuah produk.

#### **1.6.1.5 Ketepatan Output**

Produk perlu memiliki output tegangan dan arus yang akurat dan sesuai spesifikasi. Apabila output melenceng terlalu jauh dari spesifikasi, dalam beberapa kasus dapat menurunkan *lifespan* dari baterai atau pada kondisi ekstrim, dapat merusak baterai.

### **1.6.2 Analisis konsep**

#### **1.6.2.1 Analisis Arsitektur Sistem**

##### *1.6.2.1.1 Analisis Arsitektur Sistem 1*

Arsitektur sistem 1 ini memiliki 5 sub-sistem, yaitu sub-sistem user interface, IoT, mikrokontroler, power supply, dan charger. Sub-sistem power supply dan charger menerima arus AC langsung dari jala-jala. Sub-sistem power supply mengalirkan daya ke mikrokontroler dan berbagai modul lainnya selain sub-sistem charger. Karena sub-sistem charger tidak perlu menerima daya sepanjang waktu, sehingga diletakkan relay sebelum arus AC masuk ke dalam sub-sistem charger. Penggunaan relay tersebut berfungsi untuk mengurangi rugi-rugi daya pada sub-sistem charger akibat loss efficiency pada sub-sistem charger.

Arus DC keluaran dari sub-sistem charger selanjutnya dikontrol melalui voltage and current control yang ada di setiap baterai. Penggunaan dua voltage and current control berfungsi agar setiap baterai dapat dikontrol secara terpisah langsung dari mikrokontroler.

#### *1.6.2.1.2 Analisis Arsitektur Sistem 2*

Pada arsitektur sistem dua, digunakan dua sub-sistem charger pada masing-masing baterai sehingga proses pengisian daya dapat berjalan secara terpisah. Karena sub-sistem charger dipisah untuk setiap baterai, sehingga tidak diperlukan lagi voltage and current control untuk mengatur arus dan tegangan yang keluar dari charger. Untuk mengontrol arus dan tegangan yang dikeluarkan ke baterai dapat langsung dengan mengontrol sub-sistem charger yang terhubung ke masing-masing baterai.

Kekurangan dari sub-sistem dua ini yaitu penggunaan dua sub-sistem charger membuat proses manufaktur menjadi lebih rumit dan menambah biaya komponen sub-sistem charger. Namun, pada kondisi tidak ada baterai yang terhubung, sistem tidak perlu menyalakan subsistem charger untuk menyupplai daya, sehingga secara keseluruhan, sistem menggunakan daya yang lebih kecil pada mode standby dibandingkan sistem ketiga.

#### *1.6.2.1.3 Analisis Arsitektur Sistem 3*

Perbedaan mendasar pada arsitektur sistem ketiga ini terletak pada peletakan relay. Pada arsitektur ini, relay diletakkan didepan subsistem charger. Pengurangan komponen ini berpengaruh positif terhadap kemudahan manufakturabilitas. Dengan itu, hanya diperlukan satu subsistem charger saja.

Namun, subsistem charger perlu menyalakan terus menerus, meskipun tidak ada baterai yang terhubung. Hal ini disebabkan karena submodul power supply yang digunakan untuk memberi daya kepada mikrokontroller, sensor, dsb. menerima tegangan input dari subsistem charger pula. Hal ini dilakukan dengan pertimbangan kemudahan dalam penurunan tegangan DC dari kisaran 47 – 60V ke 12V, dibanding harus melakukan konversi AC 220V ke DC 12V. Namun terdapat kriteria efisiensi pula yang perlu dipertimbangkan.

### **1.6.2.2 Analisis Subsistem Charger**

#### *1.6.2.2.1 Analisis konsep Sub-Sistem Charger 1*

Subsistem charger dengan metode konversi SMPS didasari oleh kriteria ketepatan output. Pengendalian tegangan dan dapat dengan mudah dilakukan menggunakan sinyal PWM yang berasal dari mikrokontroller, sehingga dapat diatur dengan akurat. Alternatif subsistem charger kedua tidak memiliki kapabilitas ini, karena penurunan tegangan dilakukan menggunakan trafo.

Selain itu, alternatif solusi ini memiliki efisiensi yang cukup tinggi dibandingkan dengan metode yang terdapat pada alternatif solusi kedua. Metode SMPS memiliki nilai efisiensi pada kisaran 80%[1]. Namun efisiensi ini dibayar dengan proses manufakturabilitas yang lebih tinggi, serta biaya produksi yang lebih mahal. Pada proses pertimbangannya, perlu diperhatikan juga emisi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh produk

apabila diputuskan untuk menggunakan topologi SMPS ini. Proses switching yang dilakukan oleh SMPS dengan frekuensi tinggi memiliki noise yang cukup besar.

#### *1.6.2.2.2 Analisis konsep Sub-Sistem Charger 2*

Sub-sistem charger dapat didesain menggunakan metode linear. Metode linear yaitu metode yang langsung mengubah sinyal AC menjadi DC. Proses pengubahan tersebut membutuhkan trafo yang cukup besar dan memiliki tingkat efisiensi yang cukup rendah. Efisiensi dari linear regulator yaitu skitar 30-40%. Permasalahan lain dari linear charger yaitu bobot dari trafo yang cukup berat ditambah lagi dengan penggunaan heat sink sehingga menambah bobot keseluruhan sistem. Stabilitas output metode linier pun lebih rendah dibandingkan dengan metode SMPS.

Metode linear memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan metode Switched Mode Power Supply. Metode linear lebih sederhana dibandingkan menggunakan metode SMPS. metode linear hanya terdiri dari regulator dan filter sebagai komponen utama. sedangkan metode SMPS memiliki banyak komponen seperti switching, feedback circuit, serta high frequency transformer.

#### **1.6.2.3 Analisis Topologi Subsistem Charger**

##### *1.6.2.3.1 Analisis Topologi 1 dari Sub-Sistem Charger 1*

Suatu subsitem charger yang dirancang dengan pendekatan SMPS memiliki dua topologi umum, salah satunya adalah isolated power supply. Topologi ini memiliki keunggulan yang mencolok, yaitu adanya pemisahan antara sisi HV dengan sisi LV. Dengan adanya pemisahan ini, penggunaan secara umum akan menjadi lebih aman bagi pengguna dan bagi produk serta baterai yang terhubung. Apabila terjadi kesalahan akibat degradasi komponen, hubungsingkat pada bagian internal rangkaian, atau power surge, topologi isolated power supply ini dapat menjaga baterai dari kerusakan, karena outputnya tidak memiliki loop yang sama dengan inputnya.

Namun, proteksi ini dibayar dengan efisiensi, ukuran, serta biaya produksi. Dengan adanya trafo, efisiensi dari produk akan menurun, sehingga untuk melakukan pengisian daya baterai dengan arus dan tegangan yang sama dengan topologi non-isolated, akan memerlukan daya yang lebih tinggi dari jala-jala. Selain itu, biaya trafo yang cenderung mahal juga akan meningkatkan biaya perancangan topologi isolated secara keseluruhan.

##### *1.6.2.3.2 Analisis Topologi 2 dari Sub-Sistem Charger 1*

Subsistem charger yang menggunakan topologi non-isolated akan memiliki efisiensi yang lebih tinggi, biaya perancangan yang lebih rendah, serta bobot yang lebih ringan, mengingat bahwa tidak ada trafo yang digunakan pada topologi ini. Namun perlu diperhatikan juga karena tidak ada isolasi antara sisi HV dan LV, terdapat resiko dihantarkannya arus dan tegangan yang besar ke sisi output. Untuk meminimalisir terjadinya hal tersebut, pada topologi ini perlu diberikan perhatian yang lebih terhadap proteksi.

#### **1.6.2.4 Analisis Subsistem IoT**

Dalam melakukan analisis mengenai subsistem IoT yang akan digunakan, terdapat dua kriteria utama yang perlu dijadikan sebagai bahan pertimbangan, yaitu biaya dan *coverage*, kemudahan penggunaan.

##### *1.6.2.4.1 Konektivitas dengan GPRS*

Secara umum, *coverage* dari jaringan GPRS sudah tersedia secara luas di Indonesia, sehingga produk akan memiliki konektivitas yang baik dengan server, terlepas dari lokasi penggunaan produk. Namun, perlu diperhatikan bahwa dengan konektivitas yang luas, terdapat biaya yang cukup mahal untuk menggunakan jaringan tersebut. Biaya penggunaan jaringan GPRS diambil berdasarkan jumlah byte yang dikirimkan oleh subsistem. Maka, perlu dilakukan kompresi terhadap paket data yang dikirimkan agar biaya operasi dapat ditekan semaksimal mungkin.

##### *1.6.2.4.2 Konektivitas dengan LoRa*

Jaringan LoRa yang disediakan oleh Antares memiliki biaya yang konstan, tidak terpengaruhi oleh besarnya data yang dikirimkan, sehingga frekuensi pengiriman data bisa dilakukan secara periodik dengan interval yang pendek. Meskipun itu, perlu diperhatikan *coverage* yang tersedia pada jaringan ini. Mengingat bahwa infrastruktur LoRa masih terbilang cukup baru dibandingkan GPRS, terdapat kemungkinan bahwa jaringan ini memiliki *coverage* yang lebih buruk dibandingkan GPRS.

##### *1.6.2.4.3 Konektivitas dengan WiFi*

Penggunaan jaringan WiFi sebagai jembatan penghubung antara produk dengan server memiliki keunggulan dan kekurangannya masing masing. Secara umum, penggunaan WiFi akan menjadi alternatif yang paling murah dibandingkan dengan ketiga alternatif konektivitas yang diajukan. Namun perlu diperhatikan juga ketersediaan jaringan WiFi yang ada. Karena jangkauan WiFi relatif lebih kecil dibanding dua alternatif lainnya, diperlukan metode penyimpanan data tambahan apabila tidak ada jaringan yang tersedia. Selain itu, mengingat bahwa penggunaan produk ini cenderung akan di daerah perumahan, perlu diperhatikan juga ketersediaan WiFi access point di daerah perumahan tersebut. Bila ingin digunakan WiFi yang ada di rumah pengguna, *credentials* dari tiap WiFi berbeda beda, diperlukan suatu cara untuk melakukan koneksi ke jaringan WiFi yang ada. Hal ini berdampak pada peningkatan kompleksitas *user interface*.

### **1.7 Sistem yang akan dikembangkan**

#### **1.7.1 Arsitektur Sistem**

Berdasarkan pertimbangan pada bagian analisis, arsitektur yang terpilih adalah arsitektur sistem pertama. Tegangan AC 220V akan disalurkan ke dua subsistem, yaitu subsistem charger dan subsistem power supply. Penyaluran ini bertujuan agar subsistem charger dapat dimatikan apabila tidak terdapat baterai yang terhubung pada terminal charger, dan produk masih tetap dapat aktif untuk menjalankan fungsionalitasnya.

**Tabel 1.7.1 Matriks pemilihan arsitektur sistem**

Kriteria	Arsitektur Sistem 1	Arsitektur Sistem 2	Arsitektur Sistem 3
Ekonomi	2	2	3
Dimensi	3	1	2
Efisiensi	3	2	1
Kehandalan	2	3	2
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>8</b>

Pemilihan alternatif subsistem charger diulakukan dengan pengurutan prioritas sederhana. Tiap subsistem diberi nilai 1 hingga 3 berdasarkan urutan solusi yang lebih baik, dengan 1 adalah kurang baik, dan 3 adalah sangat baik. Berdasarkan metode penilaian ini, subsistem charger yang terpilih adalah arsitektur sistem pertama, yaitu menggunakan satu sub-sistem charger dengan penempatan relay di depan sub-sistem charger.

### 1.7.2 Subsistem Charger

Untuk memilih alternatif subsistem ini, akan digunakan metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Secara umum, pada metode ini akan dilakukan perbandingan antar konstrain secara individu. Untuk memudahkan perbandingan ini, akan digunakan *Pairwise Comparison Matrix* untuk membandingkan prioritas dari dua konstrain. Matriks tersebut dapat dilihat lebih lanjut pada Tabel 1.7.2.

**Tabel 1.7.2 Matriks pemilihan subsistem charger**

Kriteria	A	B	C	D
Ekonomi (A)	1	1/2	1/2	2
Ketepatan Output (B)	2	1	2	3
Efisiensi (C)	2	1/2	1	4
Dimensi (D)	1/2	1/3	1/4	1
<b>Sum</b>	<b>5.5</b>	<b>2.33</b>	<b>3.75</b>	<b>10</b>

Perbandingan yang dilakukan pada tabel tersebut dilakukan dengan membandingkan prioritas konstrain yang terletak di sisi kiri terhadap konstrain yang terletak di sisi atas. Ketepatan output serta efisiensi memiliki prioritas yang setara satu sama lain, namun lebih tinggi dibanding kemudahan manufaktur.

Setelah skala prioritas berhasil ditentukan, nilai yang dipilih akan dinormalisasi dengan nilai average dari kolomnya masing masing. Lalu, nilai pada tiap baris direratakan untuk mendapatkan nilai *constraint weighting*. Nantinya, nilai ini akan digunakan sebagai pembobotan dalam penentuan alternatif solusi.

**Tabel 1.7.3 Normalized Pairwise Comparison Matrix**

Kriteria	A	B	C	D	Bobot
Ekonomi (A)	0.1818	0.2143	0.1333	0.2	0.1824
Ketepatan Output (B)	0.3636	0.4286	0.5333	0.3	0.4064
Efisiensi (C)	0.3636	0.2143	0.2667	0.4	0.3111
Dimensi (D)	0.0909	0.1429	0.0667	0.1	0.1001

Sebelum masuk ke penentuan solusi, perlu dilakukan verifikasi terhadap nilai yang didapatkan pada Tabel 1.7.3. Verifikasi tersebut dilakukan dengan mencari nilai *weighted sum value*, kemudian dan kemudian dibagi dengan nilai *constraint weighting* yang telah ditentukan sebelumnya untuk mendapatkan rasio antara kedua nilai tersebut. Rasio dari tiap kriteria akan dijumlahkan untuk mencari Consistency Index dari weighting yang telah ditetapkan.

**Tabel 1.7.4 Perhitungan rasio weighted sum value terhadap constraint weighting**

Kriteria	Weighted Sum Value	Criteria Weights	WSV / CW Ratio
Ekonomi	0.7413	0.1824	4.06528
Ketepatan Output	1.6937	0.4064	4.16777
Efisiensi	1.2795	0.3111	4.11217
Dimensi	0.4045	0.1001	4.11508
$\lambda_n$ (rata – rata WSV / CV ratio)			4.11508

Nilai Consistency Index selanjutnya dicari menggunakan persamaan berikut

$$\lambda_n = 3.05374$$

$$CI = \frac{\lambda_n - n}{n - 1} = \frac{3.05374 - 3}{2} = 0.0385$$

Terakhir, akan dicari nilai Consistency Ratio (CR) yang merupakan pembagian antara Consistency Index (CI) dengan nilai Random Consistency Index (Ri). Nilai Ri merupakan nilai rerata dari 500 sampel Pairwise Comparison Matrix yang diisi angka acak dengan rentang 1/9, 1/8, 1/7, ... 7, 8, 9 untuk beberapa objek pertimbangan n. Dalam kasus ini, terdapat 4 kriteria yang menjadi bahan pertimbangan, sehingga diambil n = 4<sup>[4]</sup>

$$CR = \frac{CI}{Ri_{n=4}} = \frac{0.0385}{0.9} = 0.03859$$

Bila nilai CR kurang dari 0.1, dapat dikatakan bahwa weighting yang ditentukan sudah cukup konsisten, dan dapat digunakan sebagai metode yang valid untuk menentukan alternatif solusi. Dengan nilai CR sebesar 0.03859, langkah selanjutnya ialah memberi nilai kepada tiap kriteria dari ketiga alternatif subsistem yang ada. Nilai tersebut dapat dilihat lebih lanjut pada Tabel 1.7.5.

**Tabel 1.7.5 Decision Matrix untuk subsistem charger**

Kriteria	Bobot Prioritas (%)	Usulan 1 SMPS		Usulan 2 Linear	
		Nilai	Jumlah	Nilai	Jumlah
Ekonomi	0.1824	5	0.91	9	1.64
Ketepatan Output	0.4064	9	3.66	6	2.44
Efisiensi	0.3111	8	2.49	6	1.87
Dimensi	0.1001	8	0.8	6	0.6
<b>Total</b>	1.0000		7.86		6.55

Dari nilai akhir *decision matrix* yang telah dibuat, subsistem charger yang akan digunakan adalah subsistem pertama, yaitu menggunakan metode *switching mode power supply* atau SMPS.

### 1.7.3 Topologi Subsistem Charger

Pada bagian ini, akan dilakukan pemilihan terhadap topologi yang akan digunakan untuk subsistem charger pertama (SMPS). Berdasarkan analisis yang telah dilakukan pada Subbab 1.6.2.3, terdapat 4 kriteria utama yang menjadi dasar pemilihan topologi. Pemilihan akan dilakukan dengan metode AHP. Skala prioritas untuk setiap kriteria dapat dilihat lebih lanjut pada Tabel 1.7.6.

**Tabel 1.7.6 Matriks pemilihan topologi subsistem charger**

Kriteria	A	B	C	D
Keselamatan (A)	1	2	3	4
Efisiensi (B)	1/2	1	2	3
Biaya (C)	1/3	1/2	1	2
Dimensi (D)	1/4	1/3	1/2	1
Sum	2.083	3.83	6.5	10

Dari nilai prioritas yang telah ditentukan, dapat dicari bobot yang sesuai untuk kriteria. Prosesnya secara umum sama seperti analisis AHP pada bagian sebelumnya. Setelah dilakukan verifikasi terhadap bobot tiap kriteria, hasil penilaian untuk kedua topologi dapat dilihat pada Tabel 1.7.7.

**Tabel 1.7.7 Decision Matrix untuk topologi subsistem charger**

Kriteria	Bobot Prioritas (%)	Usulan 1 Isolated		Usulan 2 Non-Isolated	
		Nilai	Jumlah	Nilai	Jumlah
Keselamatan	0.4658	8	3.73	5	2.33
Efisiensi	0.2771	6	1.66	9	2.49

Biaya	0.1611	4	0.64	7	1.13
Dimensi	0.0960	3	0.29	7	0.67
Total	1.0000		6.32		6.62

Dari nilai akhir *decision matrix* yang telah dibuat, topologi charger yang akan digunakan adalah topolgi kedua, yaitu menggunakan topologi non isolated power supply.

#### 1.7.4 Skematik Topologi Subsistem Charger

Setelah topologi subsistem charger terpilih, dilakukan pemilihan topologi skematik untuk menentukan rangkaian apa yang akan digunakan dalam perancangan subsistem charger ini. Berdasarkan topologi sistem yang telah terpilih, yaitu topologi non-isolated power supply, terdapat 3 skematik rangkaian yang dapat digunakan untuk merancang subsistem charger. Ketiga skematik rangkaian ini yaitu buck converter, SEPIC converter, dan cuk converter. Perbandingan ketiga topologi skematik ini dapat dilihat pada Tabel 1.7.8.

**Tabel 1.7.8 Alternatif topologi subsistem charger**

Tipe	Magnetics Required	Efisiensi (%)	Cost
Buck	Single Inductor	85	1x
SEPIC	Coupled	75	1.2x
Cuk	Coupled	75	1.2x

Semakin banyak jumlah induktor maka efisiensi dari rangkaian tersebut akan semakin kecil, oleh karena itu dipilih ragkaian dengan jumlah induktor yang lebih sedikit. Berdasarkan jumlah komponen induktor, efisiensi, dan biaya pembuatannya, dipilih buck converter karena memiliki jumlah induktor yang lebih sedikit, efisiensi yang lebih tinggi dan biaya yang lebih rendah.

#### 1.7.5 Subsistem IoT

Pada bagian ini, dilakukan pemilihan konsep subsistem yang akan digunakan pada subsistem IoT. Proses pemilihan konsep subsistem IoT menggunakan beberapa kriteria seperti *data-rate*, *coverage*, dan *cost*. Pembobotan terbesar yaitu pada aspek *coverage* dan *data-rate*. Subsistem IoT berfungsi untuk mengirimkan data ke server. Rincian data yang akan dikirimkan dan besar datanya dapat dilihat pada Tabel 1.7.9.

**Tabel 1.7.9 Kebutuhan lebar byte yang dikirim**

Data	Lebar (Byte)
Serial number	15
Tegangan baterai	8
Lokasi	8
Mode pengisian	1
Timestamp	10
SoC	2

**Tabel 1.7.10 Perbandingan antara ketiga alternatif subsistem IoT**

Pembanding	WiFi	LoRa	GSM
<i>Data-rate</i>	High	Low	High
<i>Coverage</i>	Low	Low	High
<i>Cost</i>	High	Low	High

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan oleh tim penulis, didapatkan bahwa untuk beberapa daerah cakupan operasi produk ini (Tangerang dan Jakarta), coverage dari jaringan LoRa serta jaringan WiFi tidak terlalu handal. Data packet yang dikirim oleh LoRa tidak lengkap. Layanan WiFi publik seperti wifi.id juga tidak tersedia secara luas, khususnya di daerah perumahan yang umumnya akan menjadi lokasi penggunaan produk ini. Maka, alternatif yang terpilih sebagai subsistem IoT adalah jaringan GSM yang memiliki cakupan coverage yang luas.

## Desain Sistem

Proses desain dilakukan secara iteratif dan bertahap. Metode dekomposisi yang digunakan adalah *top-down*, yaitu dari diagram blok level tinggi dipecah sampai diagram blok terendah. Diagram blok *Hardware* berakhir pada rangkaian. Diagram blok *Software* berakhir dengan *function call* terendah berikut model perilakunya.

Penentuan sub-blok dari diagram sistem dilakukan dengan mempertimbangkan alternatif desain dan melakukan *trade-off* untuk pilihan-pilihan yang ada. Untuk membantu dalam menentukan pilihan, dapat dilakukan simulasi, *prototyping*, atau pengujian.

Dalam membuat desain sistem, hal yang penting untuk diperhatikan adalah *interfacing*. Bagaimana metode komunikasi antar sub-blok, format data, dan sebagainya.

### 1.8 Pemodelan Fungsional Sistem

Pemodelan dilakukan dengan cara pemecahan/dekomposisi sistem berdasarkan Diagram Blok dari konsep sistem yang terpilih. Pemodelan menghasilkan beberapa tingkat sub-sistem. Setiap sub-sistem memiliki deskripsi berupa Masukan, Luaran, dan Fungsinya.

#### 1.8.1 Subsistem Interface

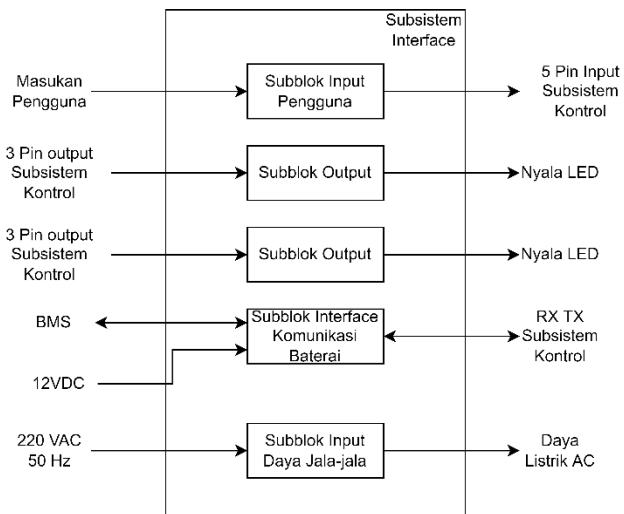
Sub-Sistem	Interface
Input	Daya input jala-jala, masukan dari pengguna, sinyal status dari subsistem kontrol, dan informasi dari baterai menggunakan komunikasi serial.
Output	Daya listrik AC dari jala-jala, LED RGB state, data dari BMS dalam protokol UART, dan sinyal input ke subsistem kontrol
Fungsi	<ul style="list-style-type: none"><li>Mengubah masukan dari pengguna lalu mengubahnya menjadi instruksi ke sub-sistem kontrol</li><li>Mengubah sinyal informasi status sistem dari subsistem kontrol ke dalam bentuk nyala LED RGB</li><li>Mengubah protokol komunikasi NFC menjadi UART dan sebaliknya</li><li>Pemutus/penyambung daya listrik jala-jala ke sistem</li></ul>

##### 1.8.1.1 Pemilihan Rangkaian

Subsistem disusun oleh beberapa subblok, yaitu subblok input pengguna, subblok output, dan subblok *interface* komunikasi BMS. Subblok input pengguna berfungsi untuk menerima sinyal input dari pengguna. Input dari berupa saklar pengubah mode daya, tombol untuk menyalakan BMS pada kasus daya baterai telah habis, dan tombol untuk mendeteksi adanya baterai yang dicolok di dudukan baterai.

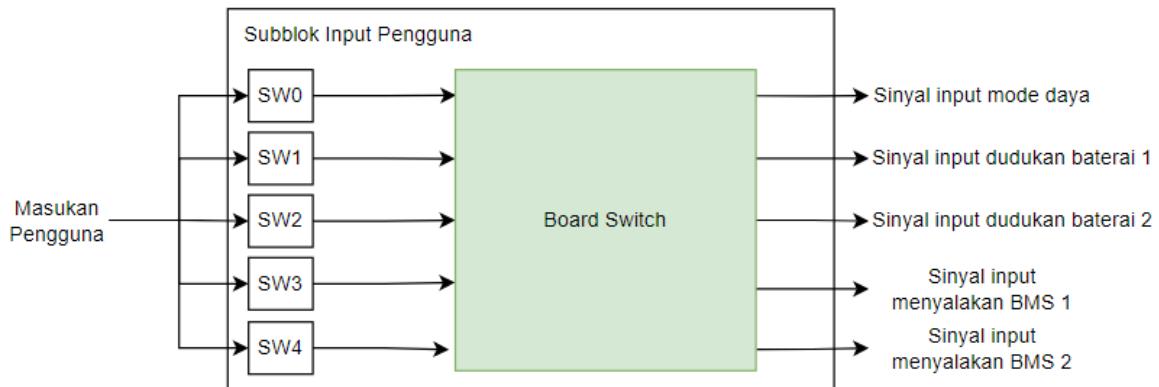
Subblok output berfungsi untuk memberikan informasi status dari sistem. Informasi yang diberikan berupa nyala LED RGB. Status dari sistem secara lengkap dijelaskan pada bagian Pemodelan Tingkah Laku Sistem.

Subblok interface komunikasi BMS berfungsi untuk memberikan informasi ke BMS dan menerima informasi dari BMS. PT Oyika Powered Solution telah menyediakan perangkat keras yang digunakan untuk *interface* komunikasi dengan BMS pada pak baterai. Perangkat keras ini memerlukan daya dengan tegangan 12 VDC. Gambar 1.8.1 menunjukkan diagram dari subsistem *interface*.

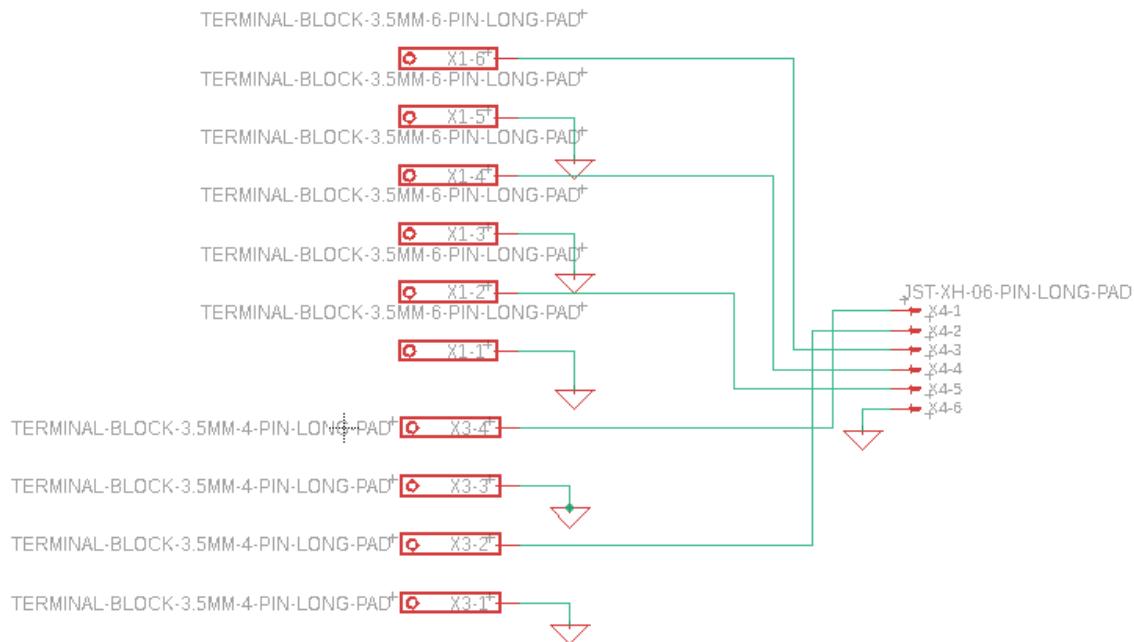


**Gambar 1.8.1 Diagram Subsistem Interface**

#### 1.8.1.1.1 Rangkaian Input

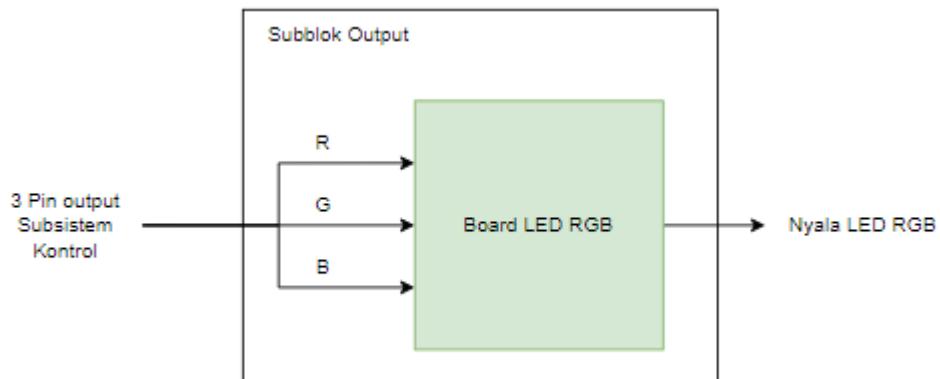


**Gambar 1.8.2 Diagram Level 0 Subblok Input Pengguna**

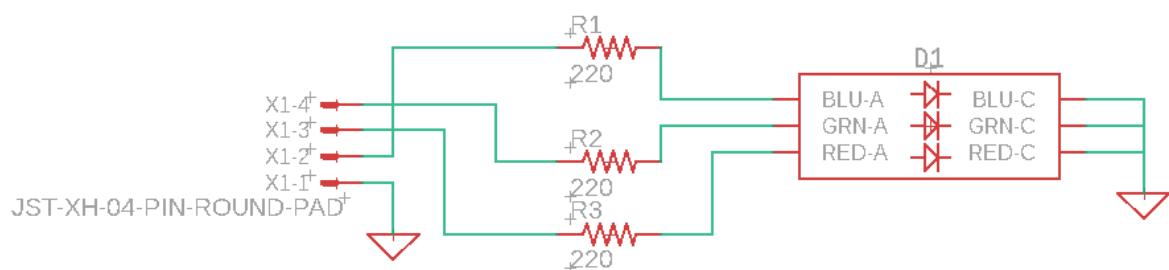


**Gambar 1.8.3 Skematik Board Switch**

#### 1.8.1.1.2 Rangkaian Output

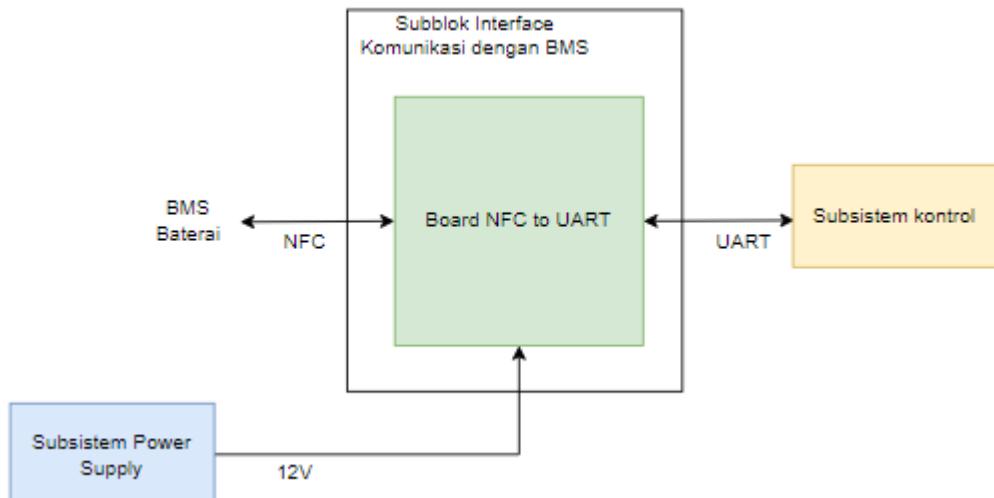


**Gambar 1.8.4 Diagram Level 0 Subblok Output**



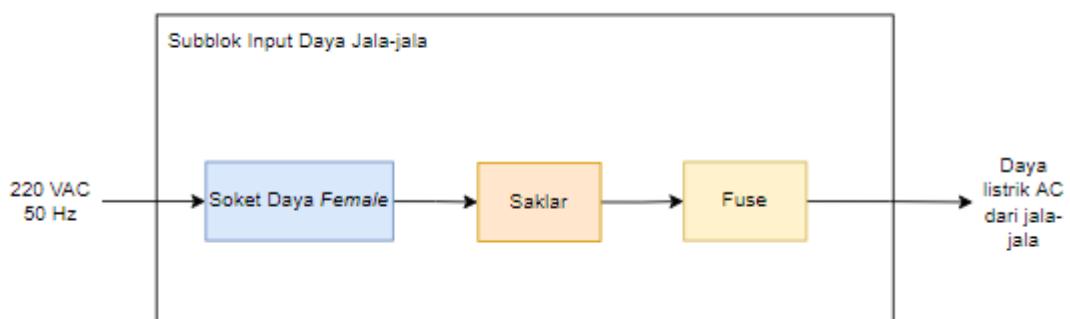
**Gambar 1.8.5 Skematik Board LED RGB**

#### 1.8.1.1.3 Rangkaian Interface Baterai



**Gambar 1.8.6 Data Flow Diagram Subblok Interface Komunikasi dengan BMS**

#### 1.8.1.1.4 Rangkaian Input Daya Jala-jala



**Gambar 1.8.7 Subblok Input Daya Jala-jala**

#### 1.8.1.2 Pemilihan Komponen

##### 1.8.1.2.1 Subblok Input

###### 1.8.1.2.1.1 Switch Pengaturan Mode Daya

Komponen ini berfungsi untuk mengatur mode daya keluaran dari charger. Aspek yang dipertimbangkan dari komponen ini adalah kemudahan penggunaan, keandalan, dan mudah dilihat. Komponen yang dipertimbangkan di antaranya adalah *slide switch* dan *toggle switch*.

**Tabel 1.8.1 Alternatif switch pengaturan mode daya**

Pembanding	Slide Switch	Toggle Switch
Beban Maksimum	6A / 125V 3A / 250V	6A / 125V 3A / 250V
Rating Daya	750Watt	750Watt
Gambar		
Dimensi	35.5 x 13 x 7.8 mm3	13.2 x 12.7 x 29.3 mm3
Harga	Rp 1.500	Rp 5.000

Toggle switch dipilih dengan alasan mudah dilihat, andal, dan kemudahan penggunaan. Slide switch cukup sulit untuk digunakan karena tinggi saklarnya rendah.

#### 1.8.1.2.1.2 Button untuk menyalakan BMS

Tombol untuk menyalakan BMS dipilih tombol mekanikal. Tombol yang diperlukan adalah tipe tombol *momentary*, dimana saklar hanya terhubung ketika tombol ditekan. Berdasarkan keperluan tersebut, dipilih komponen tombol di bawah ini.

**Tabel 1.8.2 Push button terpilih untuk menyalakan BMS**

Besaran	Nilai
Tegangan	250V
Arus	0,05A
Gambar	
Dimensi	Diameter : 12 mm Tinggi : 20 mm
Harga	Rp 5.500

#### 1.8.1.2.1.3 Switch pada dudukan baterai

Terdapat dua opsi saklar untuk mendeteksi adanya baterai pada dudukan, yaitu secara mekanikal dan elektrikal. Roller lever push button dapat digunakan untuk menerapkan saklar secara mekanikal, sedangkan IR reflective optical sensor dapat digunakan untuk menerapkan saklar secara elektrikal. Kelebihan dari saklar secara mekanikal adalah tidak adanya rugi-rugi daya pada kondisi diam. Kelebihan dari saklar secara elektrikal adalah umur saklar yang relatif lebih panjang. Berdasarkan kelebihan dari masing-masing komponen, saklar mekanikal dipilih sebagai komponen saklar pada dudukan baterai.

**Tabel 1.8.3 Alternatif deteksi baterai pada dudukan baterai**

Pembanding	Roller Lever Push Button	IR Reflective Optical Sensor (TCRT5000)
Tegangan	-	1.2 V – 1.4 V (forward)
Rating Tegangan	125V-250 VAC	5 V (reversed)
Rating Arus	5 A	60 mA
Gambar		
Dimensi	19.8 x 4 x 10.2 mm <sup>3</sup>	10.2 x 5.8 x 7.0 mm <sup>3</sup>
Harga	Rp 3.500	Rp 1.950

#### 1.8.1.2.2 Subblok Output

##### 1.8.1.2.2.1 LED RGB

Berdasarkan *package*-nya, LED RGB dibagi menjadi dua, yaitu SMD dan THT. Komponen THT memiliki kelebihan berupa kekuatan cahaya yang lebih besar. Komponen SMD memiliki kelebihan berupa dimensinya yang lebih kecil. Karena sistem pengguna sistem ini tidak memerlukan jarak pandang yang jauh, komponen SMD karena nyala lampunya yang cukup dan dimensinya yang lebih kecil

**Tabel 1.8.4 Alternatif komponen LED**

Pembanding	LED RGB THT	LED RGB SMD
Tegangan	Red :2.0-2.2V Green :3.0-3.2V Blue :3.0-3.2V	Red : 2.0 - 2.3V Green : 3.0 - 3.4V Blue : 3.0 - 3.4V
Arus	20mA	60 mA ( single chip 20mA )
Kekuatan Cahaya	50.4 lm	20 lm
Gambar		
Dimensi	Diameter : 5 mm Tinggi : 8.6 mm	5 x 5 x 1.6 mm3
Harga	Rp 650	Rp 350

#### 1.8.1.2.3 Subblok Input Daya Jala-jala

##### 1.8.1.2.3.1 Soket Daya Female

Pemilihan soket daya didasarkan pada standar yang dibuat oleh *International Electrotechnical Commission* (IEC). Standar untuk konektor daya listrik terdapat pada peraturan IEC 60320. Terdapat 12 model soket daya standar pada peraturan tersebut. Setiap model memiliki spesifikasi arus maksimum dan dimensinya masing-masing. Sistem yang dibuat memiliki spesifikasi minimum arus power 10A. Selain itu, soket daya yang akan dipilih juga harus dapat dicari di pasaran dengan mudah. Selain itu, pentahanan/*grounding* juga dapat menjadi pertimbangan karena aspek keselamatan. Oleh karena itu terdapat dua pilihan soket daya yaitu C7/C8 dan C13/C14.

**Tabel 1.8.5 Pemilihan Komponen Soket Daya**

Pembanding	C7/C8	C13/C14
Arus	10A	15A
Gambar		
Pantanahan	Tidak ada	Ada
Dimensi	35 x 15 x 16 mm	31 x 24 x 27,8 mm
Harga	Rp10.000	Rp15.000

Dari Tabel 1.8.5 diatas, dipilih soket daya C13/C14 karena memiliki spesifikasi arus maksimum 10A, terdapat pantanahan, dan juga mudah dicari di pasaran.

## 1.8.2 Subsistem Sensing

Subsistem	Sensing
Input	Temperatur, lokasi, arus baterai, dan tegangan baterai
Output	Data suhu, lokasi, arus baterai, dan tegangan baterai untuk sub-sistem kontrol
Fungsi	Membaca temperatur didalam subsistem charger serta arus dan tegangan <i>battery pack</i> , lalu mengirim data tersebut ke subsistem kontrol. Menerima data input lokasi lalu mengirimkannya ke subsistem kontrol untuk selanjutnya dikirim menuju server.

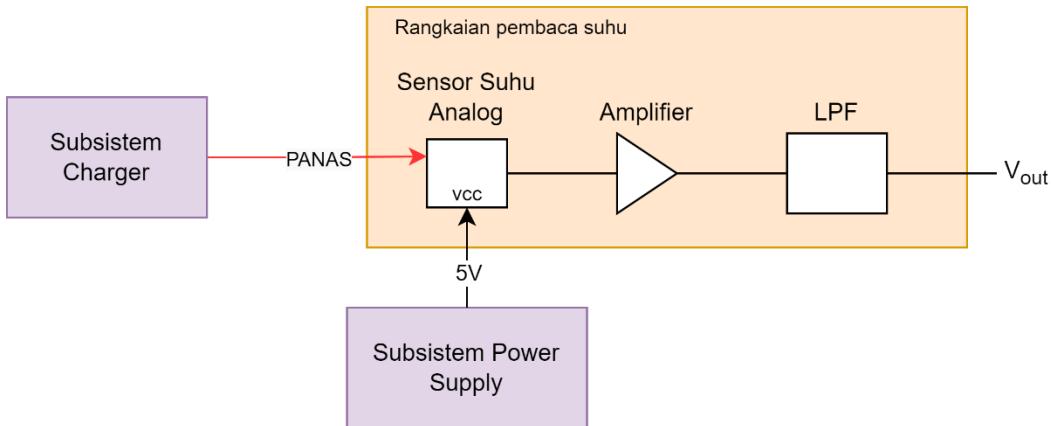
### 1.8.2.1 Pemilihan Rangkaian

#### 1.8.2.1.1 Sensor Suhu

Pengamatan suhu produk saat melakukan pengisian daya baterai perlu dilakukan untuk mencegah terjadinya kerusakan pada subsistem lainnya, khususnya subsistem charger yang menangani tegangan dan arus yang cukup besar. Pengamatan suhu dilakukan untuk mencegah terjadinya *overheating* pada subsistem charger.

Secara umum, pengamatan suhu dapat dilakukan dengan sensor suhu analog atau digital. Berdasarkan percobaan sederhana yang telah dilakukan oleh tim penulis, implementasi sensor suhu digital pada mikrokontroler menambah delay yang cukup lama pada loop dari mikroprosesor tersebut (untuk sensor DS18B20). Hal ini akan mengganggu fungsionalitas mikrokontroler dalam mengeluarkan sinyal PWM berfrekuensi tinggi, sehingga dapat menyebabkan arus dan tegangan yang dikeluarkan oleh subsistem charger tidak sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan.

Tentu, sensor suhu berbasis digital memiliki akurasi yang lebih tinggi serta fitur yang lebih lengkap dibanding sensor suhu analog. Sensor suhu digital dapat mengukur suhu negatif tanpa memerlukan VCC negatif, dan memiliki akurasi yang lebih tinggi. Namun mengikuti keperluan produk bahwa pengamatan suhu diperlukan untuk mencegah terjadinya *overheating*, maka fungsionalitas pengamatan suhu negatif tidak diperlukan. Selain itu, akurasi dari sensor suhu analog juga masih cukup baik untuk *usecase* ini ( $0.75^{\circ}\text{C}$  maksimal [6]), sehingga diputuskan untuk digunakan sensor suhu analog.

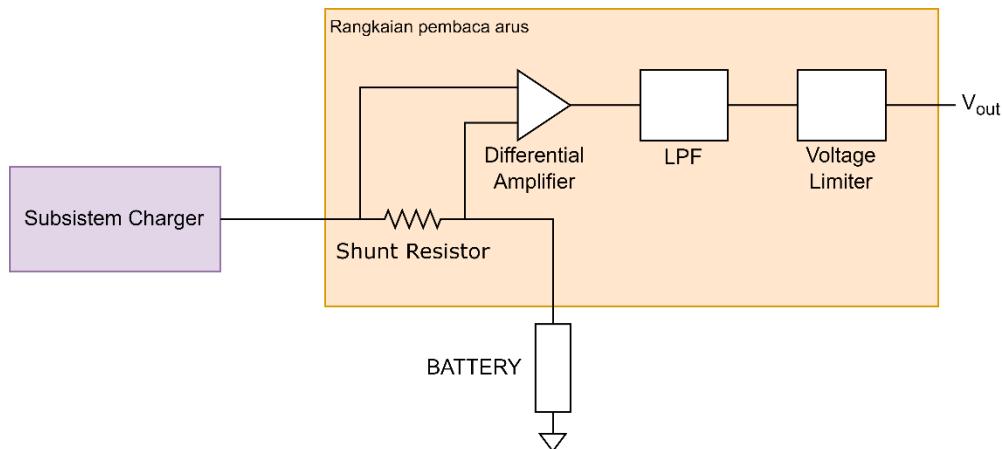


Gambar 1.8.8 Skematik rangkaian pembaca suhu dengan sensor suhu analog

Pada Gambar 1.8.8 dapat dilihat skematik rangkaian untuk sensor suhu berbasis analog. Umumnya, sensor suhu analog memiliki output berupa tegangan analog dengan amplituda tertentu. Untuk meningkatkan ketelitian pembacaan tegangan, akan digunakan amplifier dengan faktor penguatan yang disesuaikan sehingga tegangan output maksimal akan sebesar 5V (sesuai dengan pembacaan tegangan maksimal yang umumnya dapat dibaca oleh rangkaian pembacaan tegangan rendah). Faktor penguatan ini akan ditentukan setelah memilih komponen sensor suhu. Untuk meningkatkan kinerja dari pembacaan arus, akan disertakan pula *passive LPF* sederhana dengan frekuensi *cutoff* sebesar 1 Hz. Perancangan dari dua elemen ini akan dilakukan pada Subbab 1.8.2.2.1 setelah memilih sensor suhu yang sesuai.

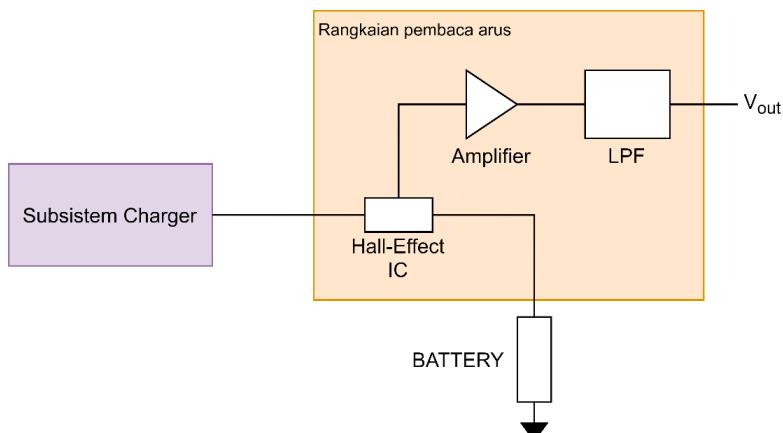
#### 1.8.2.1.2 Sensor Arus

Pengamatan arus secara periodik perlu dilakukan sebagai *feedback control* untuk subsistem charger, agar arus yang diterima oleh baterai tepat sesuai spesifikasi yang telah ditetapkan. Secara umum, terdapat dua metode pengukuran arus yang biasanya diterapkan, yaitu pengukuran arus menggunakan shunt resistor, atau sensor berbasis *hall effect*.



**Gambar 1.8.9 Skematik rangkaian pembaca arus berbasis Shunt Resistor**

Sensor arus berbasis shunt resistor bekerja dengan mengukur tegangan drop yang terjadi diantara dua terminal dari shunt resistor. Tegangan drop tersebut diamplifikasi menggunakan differential amplifier, yang kemudian dilewatkan ke LPF dan dibaca oleh rangkaian pembaca tegangan rendah. Pada umumnya, tegangan drop yang terjadi akibat shunt resistor ini berada di kisaran 50-100 mV, tergantung arus maksimal yang dapat diukur. Tegangan drop ini akan menghasilkan rugi rugi tambahan pada sistem. Dengan asumsi arus maksimal yang keluar dari subsistem charger sebesar 10 A, maka rugi rugi maksimal yang dialami adalah 1 W. Namun, shunt resistor dapat memberikan bacaan arus yang lebih akurat, khususnya apabila terdapat *electromagnetic noise* dan variasi suhu. Juga, ukuran dari shunt resistor umumnya relatif lebih besar dibanding sensor berbasis hall effect.



**Gambar 1.8.10 Skematik rangkaian pembaca arus berbasis Hall-Effect**

Sensor arus berbasis *Hall-Effect* bekerja dengan mengukur intensitas medan magnet yang muncul akibat arus yang mengalir pada suatu konduktor. Dengan itu, sistem secara umum akan terisolasi secara elektrik dengan arus besar. Hal ini akan menghilangkan kemungkinan terjadinya arus surge yang besar, yang dapat merusak komponen pembacaan tegangan yang tentunya tidak dapat menerima arus atau tegangan yang besar. Secara umum, sistem akan menjadi lebih aman terhadap kerusakan. Namun karena sensor arus berbasis *Hall-Effect* ini mengukur medan magnet, sensor akan rentan terhadap medan magnet / gelombang elektromagnetik yang ada di lingkungan. Pada subsistem charger, terdapat komponen switching berfrekuensi tinggi yang menghasilkan gelombang

elektromagnetik. Hal ini akan berpengaruh terhadap akurasi dari sensor arus berbasis *Hall-Effect*.

**Tabel 1.8.6 Perbandingan rangkaian pembaca arus**

Pembanding	Sensor arus berbasis <i>Shunt Resistor</i>	Sensor arus berbasis <i>Hall-Effect</i>
Akurasi terhadap level electromagnetic noise	Baik	Buruk
Akurasi terhadap variasi suhu	Buruk	Baik
Ukuran	Besar	Kecil
Daya rugi rugi	0.75 W 0.375 W	0 W
Keamanan	Kurang, karena tidak <i>electrically isolated</i> .	Baik, karena <i>electrically isolated</i>

Dari perbandingan yang disajikan pada Tabel 1.8.6, akan dipilih sensor arus berbasis *hall effect*. Hal ini didasari atas kebutuhan akan akurasi dari pembacaan arus. Shunt resistor yang dilewatkan arus sebesar 10A terus menerus akan mengkonsumsi daya sebesar 0.75W dalam bentuk panas. Lambat laun, shunt resistor akan memanas dan resistansi nya berubah. Bila resistansi berubah, tegangan drop dari shunt resistor tersebut juga akan berubah, sehingga pembacaan arus tidak akurat. Terkait dengan sensor arus berbasis hall effect yang rentan terhadap noise, dapat dipasangkan unit metal shielding ke sensor arus tersebut, sehingga bacaan arus akan menjadi akurat.

#### 1.8.2.1.3 Pembacaan Tegangan Baterai

Tegangan dari *battery pack* perlu diamati secara periodik untuk mendapatkan estimasi kasar *State of Charge* (SoC) dari *battery pack* tersebut, yang kemudian dapat digunakan untuk menentukan tahap pengisian daya (*constant current* atau *constant voltage*). Untuk membaca tegangan, dapat digunakan sensor tegangan berbasis *hall-effect* agar pengamatan tegangan dapat dilakukan secara *non-intrusive*. Alternatif kedua ialah menggunakan resistor pembagi tegangan (*voltage divider*).

**Tabel 1.8.7 Alternatif metode pembacaan tegangan baterai**

Pembanding	Hall-Effect	Voltage Divider
Daya rugi rugi	0W	Tergantung resistansi yang terpilih
Keamanan	Baik. Pengukuran dilakukan secara <i>non-intrusive</i>	Kurang. Pengukuran dilakukan secara <i>intrusive</i>
Ketersediaan	Sulit dicari di marketplace lokal.	Berbagai kombinasi resistor tersedia di marketplace
Harga	Jauh lebih mahal	Murah

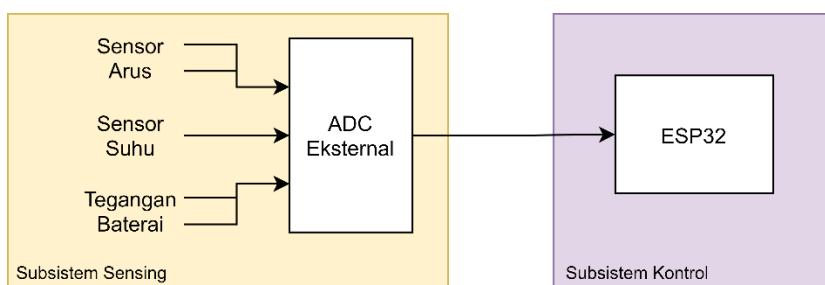
Secara umum, pengukuran tegangan menggunakan sensor tegangan berbasis hall effect memiliki keamanan yang lebih tinggi dan daya rugi rugi yang lebih rendah. Namun, berdasarkan ketersediaan komponen di marketplace lokal, serta harga yang jauh lebih mahal (Rp. 100.000,00 per device) dibanding pengukuran tegangan berbasis voltage divider (maksimal 500 rupiah), maka dipilih alternatif pembacaan tegangan kedua, yaitu dengan voltage divider.

Untuk meningkatkan faktor keamanan dari voltage divider ini, akan dipilih nilai resistansi yang besar, sehingga tidak ada arus tinggi yang mengalir ke pembacaan tegangan rendah. Hal ini juga berpengaruh terhadap daya rugi rugi yang dihasilkan oleh subblok voltage divider.

#### 1.8.2.1.4 Pembacaan Tegangan Rendah

Beberapa sensor yang terdapat pada subsistem sensing memiliki keluaran berupa tegangan analog rendah berkisar dari 0 – 5V yang dapat diubah menuju besaran tertentu. Untuk itu, diperlukan suatu metode pembacaan tegangan rendah yang akurat, agar akurasi informasi yang didapatkan dapat terjaga.

Secara umum, tegangan dibaca menggunakan komponen Analog to Digital Converter (ADC) yang akan mengkuantiasi tegangan dan disalurkan ke mikrokontroller. Kedua alternatif mikrokontroler yang menjadi bahan pertimbangan memiliki komponen ADC yang terintegrasi didalam modul mikrokontroller itu sendiri. Namun, berdasarkan pengujian yang telah dilakukan oleh tim penulis serta pengalaman beberapa individu di internet [7][8], ADC bawaan dari kedua alternatif mikrokontroler ini memiliki nonlinearitas yang buruk . Hal ini menyebabkan pembacaan tegangan menjadi tidak akurat, meskipun resolusi ADC yang dimiliki oleh kedua alternatif mikrokontroler berada di kisaran 5 – 19 mV. Untuk itu, diputuskan bahwa pembacaan tegangan rendah akan dilakukan dengan bantuan modul ADC eksternal. Dengan digunakannya modul ADC eksternal, rangkaian untuk membaca tegangan rendah secara umum dapat dilihat pada Gambar 1.8.11



Gambar 1.8.11 Pembacaan tegangan rendah

#### 1.8.2.2 Pemilihan Komponen

##### 1.8.2.2.1 Sensor Suhu

Suhu berperan penting dalam mendeteksi adanya overheat dalam charger. Oleh karena itu diperlukan sensor suhu yang cukup akurat dalam melakukan pembacaan. Selain akurasi, pembacaan suhu juga harus sesuai dengan range suhu operasi charger yaitu 0-70°C.

**Tabel 1.8.8 Pemilihan sensor suhu**

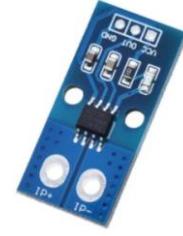
Pembanding	LM35	TMP36
Package	TO-92	TO-92
Temperatur Range	-55 - 150°C ± 1°C	-40 - 125°C ± 2°C
Operating Voltage	4 - 30V	3 – 5,5V
Current	60uA	50uA
Scale Factor	10 mV/°C	10 mV/°C
Max Output Voltage	1.5 V	1.25 V
Response time di udara tenang (95%)	3.5 menit	5 menit
Image		

Kedua sensor memiliki range temperatur operasi yang memenuhi spesifikasi. Akurasi yang lebih tinggi terdapat pada sensor suhu LM35[6]. Oleh karena itu dipilih sensor LM35 sebagai sensor suhu. LM35 memiliki output maksimal sebesar 1.5 V untuk pembacaan suhu 150°C. Untuk meningkatkan akurasi pembacaan perlu dilakukan amplifikasi tegangan menggunakan *non-inverting* amplifier agar output LM35 menjadi 0 – 5V.

Pada komponen subblok pembacaan tegangan rendah (ADC) yang terpilih, terdapat fungsionalitas amplifier dimana input tegangan yang terbaca dapat diamplifikasi agar ADC dapat membaca tegangan dengan lebih akurat.

### 1.8.2.2.2 Sensor Arus

Tabel 1.8.9 Pemilihan sensor arus berbasis *Hall-Effect*

Pembanding	WCS1800	ACS712	ACS724
Arus maksimum (A)	35	20	40
Produk			
Harga	Rp. 130.000,00	Rp. 24.000,00	Rp. 70.000,00

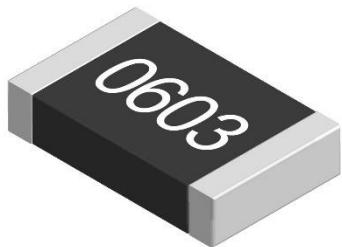
Secara umum, sensor arus berbasis *hall effect* memiliki tipe dan spesifikasi yang beragam. Ketiga alternatif sensor arus yang terdapat pada Tabel 1.8.9 memiliki keunggulan dan kekurangannya masing masing. Keunggulan sensor arus alternatif pertama (WCS1800) terletak pada sisi pengamatan arusnya. Pada WCS1800, IC *Hall-Effect* nya memiliki bentuk seperti lubang, sehingga kabel daya dapat langsung dimasukkan ke lubang tersebut untuk diukur arusnya.

Namun, sensor arus bertipe ini memiliki harga yang relatif lebih mahal dibanding tipe lainnya. Sebagai alternatif yang lebih *cost effective*, terdapat dua sensor arus yaitu ACS712 dan ACS724. Perbedaan mendasar dari dua sensor ini terletak pada akurasi pengukuran arus AC nya. ACS724 memiliki fitur pengukuran diferensial (2 titik), sehingga arus AC dapat dibaca lebih akurat [15]. Fitur tambahan ini tidak diperlukan untuk mengukur tegangan DC, sehingga pada produk yang dirancang, maka dipilih sensor *hall effect* ACS712 dengan *rating* pembacaan arus maksimum hingga 20 A.

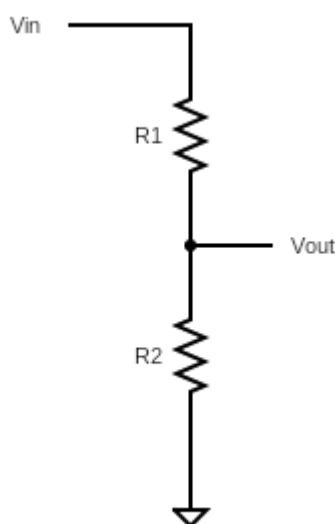
### 1.8.2.2.3 Pembacaan Tegangan Baterai

Berdasarkan proses pemilihan rangkaian pembacaan tegangan baterai yang telah dilakukan, akan digunakan rangkaian voltage divider. Dalam pemilihan nilai resistor yang digunakan, perlu dilakukan pertimbangan mengenai toleransi resistor, jumlah daya disipasi, serta efek disipasi tersebut terhadap nilai resistansi yang digunakan. Untuk itu, akan dipilih resistor presisi dengan toleransi 0.1% yang memiliki hambatan tinggi, sehingga resistor yang digunakan tidak terlalu panas, yang akan menjaga akurasi nilai resistansi dari resistor tersebut.

**Tabel 1.8.10 Resistor untuk rangkaian voltage divider [18]**

Besaran	Nilai
Bentuk	
Tipe	SMD (Surface Mount)
Tegangan maksimum konstan	150V
Tegangan maksimum sesaat	400V
Daya maksimum	128 mW
Toleransi	$\pm 0.1\%$
Perubahan nilai resistansi berdasarkan suhu	25 ppm/ $^{\circ}C$ (0.000025/ $^{\circ}C$ )

Pemilihan nilai ini berkaitan erat dengan modul ADC eksternal yang terpilih sebagai komponen pembacaan tegangan rendah, mengingat bahwa output dari voltage divider ini akan dibaca oleh modul tersebut. Pada modul ADC yang terpilih, terdapat fitur internal gain, dimana input tegangan dapat diamplifikasi sehingga resolusi pembacaan tegangan dapat ditingkatkan lebih lagi.



**Gambar 1.8.12 Rangkaian umum voltage divider**

Atas pertimbangan ketersediaan resistor presisi di pasaran dengan toleransi 0.1%, akan digunakan resistor dengan rating daya 125 mW. Akan dipilih nilai R1 sebesar  $3.3M\Omega$  dan R2 sebesar  $100k\Omega$ . Dengan kombinasi nilai tersebut, tegangan nominal baterai yang memiliki rentang tegangan 47 hingga 68 V dapat diubah menjadi tegangan rendah dengan rentang 1.383 hingga 2 V. Resolusi yang diperlukan oleh modul ADC untuk mengamati perubahan tegangan 0.1 V pada baterai adalah 2.93 mV (dengan gain default)

Selanjutnya, pada Tabel 1.8.11 dapat dilihat nilai tegangan yang akan terbaca oleh modul ADC untuk beberapa variasi tegangan yang dapat muncul di terminal positif pada produk.

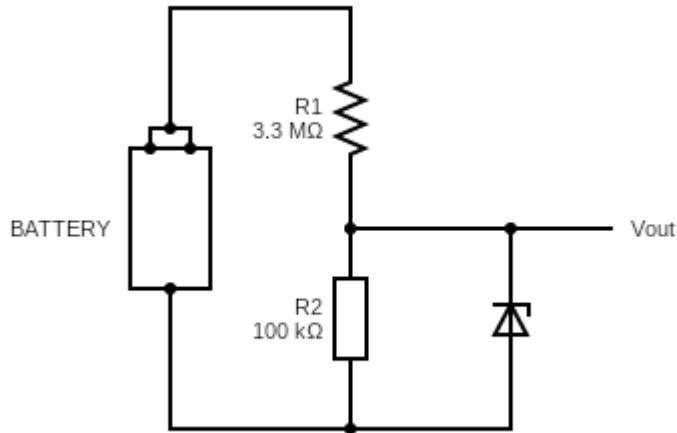
**Tabel 1.8.11 Tegangan yang muncul pada output voltage divider**

No	$V_{in}$ (V)	Keterangan	$V_{out}$ (V)	$P_{loss}$ (mW)
1	0	Tidak ada baterai	0	0
2	47	SoC baterai mendekati 0%	1.383	0.64
3	68	SoC baterai mendekati 100%	2	1.36
4	311	Kapasitor pada buck converter terisi penuh tanpa adanya load yang terhubung	9.15	28.44

Pada tabel tersebut terlihat bahwa untuk operasi normal (Nomor 1, 2, dan 3), daya rugi rugi maksimal hanya mencapai 1.36 mW. Dengan rating maksimum resistor yang terpilih sebesar 128mW, operasi normal tidak memiliki pengaruh nyata terhadap perubahan resistansi. Untuk operasi abnormal (Nomor 4), daya disipasi resistor mencapai 28.44 mW. Namun karena kondisi ini hanya terjadi apabila terdapat abnormalitas pada subsistem kontrol, serta daya disipasi yang masih jauh dibawah rating dari komponen terpilih, maka nilai resistor yang terpilih sudah cocok digunakan untuk melakukan pengamatan tegangan rendah.

Modul ADC yang digunakan dapat melakukan amplifikasi tegangan terlebih dahulu sebelum dibaca oleh ADC, sehingga resolusi pembacaan tegangan dapat menjadi lebih baik. Namun, bila fitur amplifikasi tegangan tersebut digunakan, maka tegangan input maksimum yang dapat diterima oleh modul ADC juga akan menurun. Dalam perancangan sistem ini, ditetapkan bahwa untuk pembacaan tegangan baterai, gain dari modul akan ditingkatkan dari 2/3 (default bawaan modul) menjadi 2. Dengan setting gain tersebut, tegangan input yang diterima oleh modul ADC akan terbatas di 2V.

Pada Tabel 1.8.11 terlihat bahwa pada kondisi abnormal (nomor 4), tegangan yang ada di output rangkaian divider ini mencapai 9.15 V. Nilai ini melewati batas tegangan input maksimal yang dapat diterima oleh ADC dengan setting gain 2. Untuk itu, pada sisi output perlu diletakkan dioda zener dengan rating 2V. Dengan itu, subblok pembacaan tegangan baterai akan memiliki rangkaian sebagai berikut.



**Gambar 1.8.13 Nilai komponen pembacaan tegangan baterai**

#### 1.8.2.2.4 Pembacaan Tegangan Rendah

Berdasarkan komponen yang telah terpilih pada pembahasan sebelumnya, dapat ditinjau kebutuhan resolusi tegangan terkecil serta tegangan maksimal yang diperlukan untuk mendapatkan informasi yang akurat.

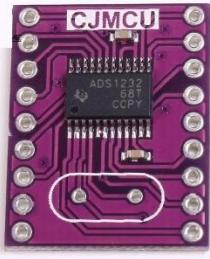
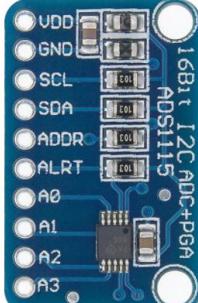
**Tabel 1.8.12 Parameter yang diperlukan oleh subblok lainnya**

Pembanding	Komponen terpilih	Tegangan maksimum (V)	Resolusi terkecil dari komponen	Jumlah
Sensor suhu	LM35	1.5	10 mV	1
Sensor arus	ACS712	5	14 mV	2
Pembagi tegangan	Resistor divider	2	2.93 mV*	2
Total channel input yang diperlukan				5

\*) Lihat pemilihan komponen pembacaan tegangan baterai

**Tabel 1.8.13 Pemilihan modul ADC sebagai pembaca tegangan rendah**

Pembanding	ADS1232	PCF8591	ADS1015	ADS1115
Resolusi	24 bit ( $0.29 \mu\text{V}$ )	8 bit (19 mV)	12 bit (1.5 mV)	16 bit ( $93.8 \mu\text{V}$ )
Tegangan maksimal	5V	5V	6.144V	6.144V

Gambar				
Jumlah Input	2	4	4	4
Harga	Rp. 95.000,00	Rp 27.000,00	Rp. 40.000,00	Rp. 75.000,00

Pada tabel diatas dapat dilihat 4 alternatif modul ADC eksternal yang dapat digunakan. Keempat modul tersebut memiliki fitur internal gain adjustment untuk mengamati tegangan yang lebih rendah dari 5V, sehingga pemilihan modul ADC akan didasari atas resolusi yang dimilikinya. Resolusi yang kecil memiliki kelebihan dari segi kecepatan transmisi data. Mengingat bahwa keempat modul tersebut menggunakan komunikasi I2C, maka kecepatan data yang ditransmisikan akan berbanding terbalik dengan resolusi ADC yang terpilih. Untuk itu, resolusi ADC perlu disesuaikan dengan kebutuhan yang terdapat pada Tabel 1.8.12. Mengacu pada tabel tersebut, modul ADC yang terpilih adalah ADS1015.

Fitur internal gain adjustment yang disebutkan pada bagian sebelumnya mengacu kepada kemampuan modul ADC untuk mengamplifikasi tegangan input terlebih dahulu sebelum dibaca oleh digitizer pada modul ADC. Fitur tersebut akan diterapkan ke output sensor suhu serta pembacaan tegangan rendah. Gain ini tidak dapat diset untuk setiap channelnya, melainkan untuk keempat channel yang ada pada satu buah modul ADC. Atas pertimbangan bahwa memang diperlukan dua modul ADC untuk *menghandle* 5 input dari subblok lainnya, maka akan ditentukan konfigurasi modul ADC seperti pada Tabel 1.8.14

**Tabel 1.8.14 Pengaturan gain dan input untuk kedua ADC**

Subblok	Modul ADC	Gain	V maks	Resolusi
Sensor suhu	1	2 kali	2.048 V	0.5 mV
Pembaca tegangan baterai				
Sensor arus	2	2/3 kali	5 V	1.5 mV

### 1.8.3 Subsistem Kontrol

Subsistem	Kontrol
Input	Sub-sistem sensor suhu & temperatur, interface, IoT, komunikasi dari BMS
Output	Mengirim data ke modul IoT dan mengendalikan sub-sistem relay dan voltage and current control
Fungsi	Mengintegrasikan seluruh sub-sistem agar dapat menjadi satu kesatuan sistem.

Subsistem kontrol merupakan otak dari sistem charger ini. Oleh karena itu pemilihan komponen pada subsistem kontrol ini harus dapat memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan oleh subsistem lainnya. Spesifikasi utama yang dibutuhkan oleh subsistem lainnya yaitu frekuensi switching GPIO dan pin UART. Dibutuhkan frekuensi switching GPIO minimal sebesar 100kHz sebagai sinyal output PWM ke subsistem charger. Subsistem *interface* dengan BMS dan subsistem sensing lokasi membutuhkan masing-masing satu *channel* UART, sehingga diperlukan minimal dua UART pada subsistem kontrol.

**Tabel 1.8.15 Kebutuhan pin untuk setiap subsistem**

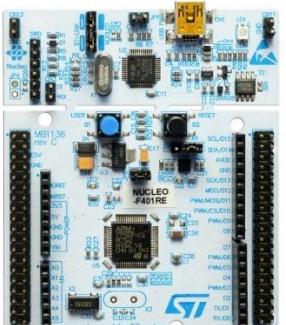
Komponen	Alokasi Pin	Kuantitas	Total	Catatan
Sensor arus (2)	2	2	2	I2C
Sensor tegangan (2)				I2C
Sensor temperatur (2)				I2C
GPS	2	1	2	UART
Button	1	4	4	INPUT
LED	3	2	6	OUTPUT
Toggle Switch	1	1	1	INPUT
NFC	2	1	2	UART
MOSFET (PWM)	1	2	2	PWM
<b>Total pin yang diperlukan</b>			<b>19</b>	

### 1.8.3.1 Pemilihan Komponen

Berdasarkan keperluan pin yang ditunjukkan pada Tabel 1.8.15, tersedia beberapa alternatif mikrokontroler yang dapat dipilih

**Tabel 1.8.16 Pemilihan mikrokontroler**

Pembanding	Arduino Mega	ESP32 Devkit C	STM32 Nucleo F401
Frekuensi Switching GPIO	62.5kHz	312.5kHz	328.125 kHz
Resolusi Duty Cycle	8 bit	8 bit	8 bit
UART	1	3	6

Gambar			
Dimensi	101.6 x 53.4 mm	28 x 57 mm	82.5 x 70 mm
Harga	Rp 650.000,00	Rp 280.000,00	Rp 416.000,00

Dari data diatas, dipilih ESP32 sebagai komponen yang akan digunakan pada subsistem kontrol karena memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan sebelumnya.

#### 1.8.4 Subsistem IoT

Subsistem	IoT
Input	Data yang akan dikirimkan ke server
Output	Mengirimkan data ke server
Fungsi	Mengirim data dari mikrokontroler ke server

##### 1.8.4.1 Pemilihan Komponen

Tabel 1.8.17 Alternatif modul GSM

Pembanding	SIM800L	SIM800L V2
Input Daya	3,4 – 4,4 V	4 – 5,2 V
GSM Band	Quad-band (850/900/1800/1900 Mhz)	Quad-band (850/900/1800/1900 Mhz)
Gambar		
Harga	Rp 55.000,00	Rp 110.000,00

Tegangan yang digunakan pada hampir semua subsistem berada di kisaran 5V. Sehingga akan lebih tepat bila menggunakan komponen dengan rating daya 5V. Perbedaan mendasar dari modul SIM8001 dan SIM8001 v2 adalah tegangan powernya. Tidak ada

perbedaan lain yang signifikan pada kedua board itu. Oleh karena itu dipilih SIM800L v2 sebagai modul IoT yang akan digunakan.

Kartu sim yang akan digunakan yaitu berjenis m2m. kartu sim jenis ini digunakan karena memiliki range suhu operasi yang lebih luas, lebih tahan terhadap guncangan, korosi, dan dapat digunakan untuk mengirimkan data dengan biaya yang lebih rendah.

#### 1.8.5 Subsistem Power Supply

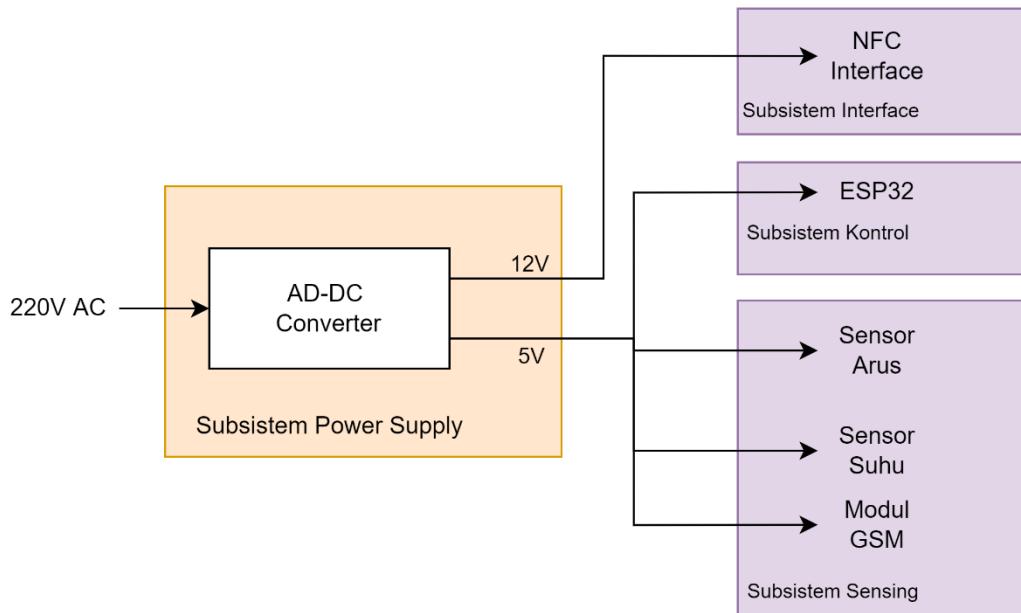
Subsistem	Power Supply
Input	Tegangan AC
Output	Tegangan DC 12V dan 5V
Fungsi	Menyuplai daya ke sub-sistem kontrol dan sub-sistem lainnya selain sub sistem charger. Mengubah tegangan AC 220V menjadi tegangan DC 5V dan 12V. Daya maksimal yang dibutuhkan adalah 2.5W

Subsistem power supply merupakan gerbang daya dari semua subsistem lainnya. Daya dari jala-jala pertama-tama masuk ke subsistem power supply untuk selanjutnya dikirimkan ke subsistem kontrol, interface, dan sensing. Subsistem kontrol dan sensing membutuhkan voltase sebesar 5V sedangkan subsistem interface membutuhkan voltase sebesar 12V. Untuk ketiga subsistem tersebut, rincian konsumsi daya pada beberapa subsistem dapat dilihat pada Tabel 1.8.18.

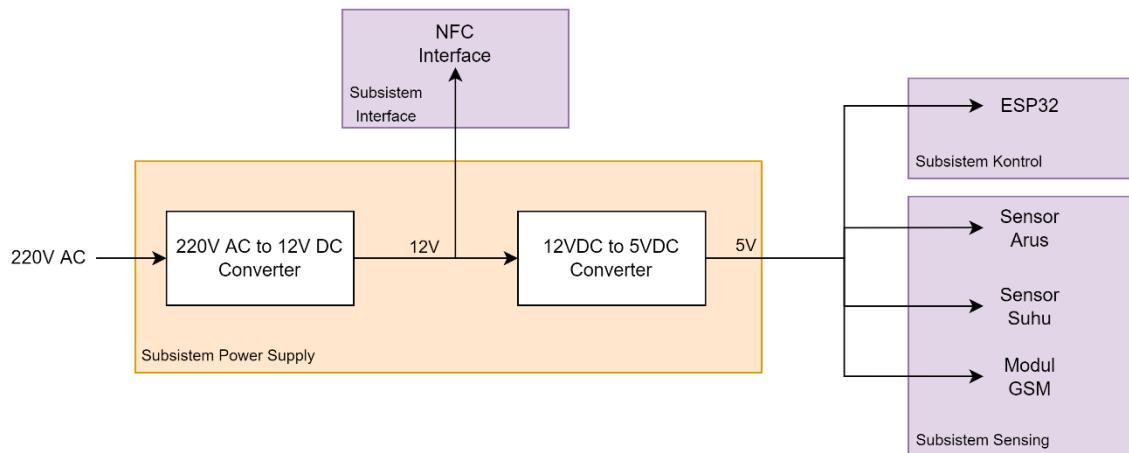
**Tabel 1.8.18 Konsumsi daya untuk subsistem lainnya**

Subsistem	Modul	Tegangan (V)	Arus di 5V (mA) [max]	Konsumsi Daya (mW)	Arus di 12V (mA)
Kontrol	ESP32	5	120	600	50
Sensing	Sensor arus	5	10	50	4.167
	Sensor suhu	5	0.2	1	0.08
	Modul GPS	5	63	315	26.25
Interface	NFC Interface	12	100	1200	100
IoT	Modul GSM	5	500	2500	208
<b>Total</b>				4666	388.5

### 1.8.5.1 Pemilihan Rangkaian



**Gambar 1.8.14 Skematik Rangkaian Subsistem Power Supply 1**



**Gambar 1.8.15 Skematik Rangkaian Subsistem Power Supply 2**

Dalam proses perancangan subsistem power supply, terdapat dua model rangkaian utama yang dapat digunakan untuk memberi daya ke subsistem sensing, kontrol, serta interface. Model rangkaian pertama yang terdapat pada Gambar 1.8.14 hanya memiliki 1 konverter yang mengubah tegangan AC 220V menuju tegangan DC 12V dan 5V. Secara umum, konverter yang memiliki dua atau lebih output memanfaatkan trafo yang ditap di winding tertentu untuk mendapatkan tegangan output 12V dan 5V.

Lalu, model rangkaian kedua yang terdapat pada Gambar 1.8.15 memanfaatkan dua modul converter, pertama adalah konverter AC 220V ke DC 12V, kemudian dilanjutkan dengan konverter DC12V ke DC5V. Bagian 12v akan menyuplai daya ke subsistem interface, dan bagian 5V akan memberi daya ke subsistem sensing dan kontrol. Berbeda dengan model rangkaian pertama, model rangkaian ini tidak menggunakan trafo, sehingga ukurannya akan relatif lebih kecil dibanding model rangkaian pertama.

Untuk memilih rangkaian yang akan digunakan, perlu dilakukan pertimbangan mengenai ukuran dan harga. Pada model pertama, ukuran modul akan relatif lebih besar dari model kedua, karena konversi dilakukan dengan trafo. Dengan adanya trafo yang besar, harga dari modul juga otomatis akan lebih mahal. Maka, dipilih rangkaian 2 sebagai rangkaian subsistem power supply.

### 1.8.5.2 Pemilihan Komponen

#### 1.8.5.2.1 Konverter Tegangan AC 220V ke DC 12V

Rangkaian yang terpilih untuk menjadi dasar subsistem power supply memiliki dua tahap konversi tegangan. Tahap pertama adalah mengubah tegangan AC 220V menjadi DC 12V. Tahap kedua adalah mengubah tegangan DC 12V menjadi DC 5V. Seperti yang telah dibahas sebelumnya, tegangan 12V diperlukan untuk subsistem interface dan tegangan 5V diperlukan untuk subsistem kontrol dan sensing. Untuk memilih komponen yang digunakan dalam konversi tahap pertama, perlu dipertimbangkan faktor daya maksimum, arus maksimum, serta ukuran dari konverter yang akan digunakan. Perbandingan besaran tersebut dapat dilihat lebih lanjut pada Tabel 1.8.19 berikut.

**Tabel 1.8.19 Komponen Converter AC220V – DC12V**

Pembanding	Konverter Generik	Modul Konverter Hi-Link
Tegangan Konversi	AC220V to DC 12V	AC220V to DC 12V
Daya	24W	20W
Arus	2A	1,6A
Gambar		
Dimensi	7.3 x 3.5 x 2.6 cm	5,7 x 3,3 x 2,25 cm
Harga	Rp 67.000,00	Rp 85.000,00

Modul konverter Hi-Link memiliki arus dan daya maksimum yang lebih rendah dibandingkan spesifikasi yang dimiliki oleh konverter generik. Meskipun itu, ukuran dari Hi-Link ini relatif lebih kecil dan lebih ringan dari konverter generik tersebut, karena konverter Hi-Link tidak menggunakan trafo. Subsistem kontrol, interface, dan sensing memerlukan daya sekitar 4.6 watt dan 388 mA (lihat Tabel 1.8.18). Maka, faktor lain yang perlu dipertimbangkan disini adalah harga dan ukuran. Mengingat bahwa terdapat fitur portabilitas pada produk, maka komponen yang terpilih untuk melakukan konversi tegangan pertama (AC220V ke DC12V) adalah konverter Hi-Link.

### 1.8.5.2.2 Konverter Tegangan DC 12V ke DC 5V

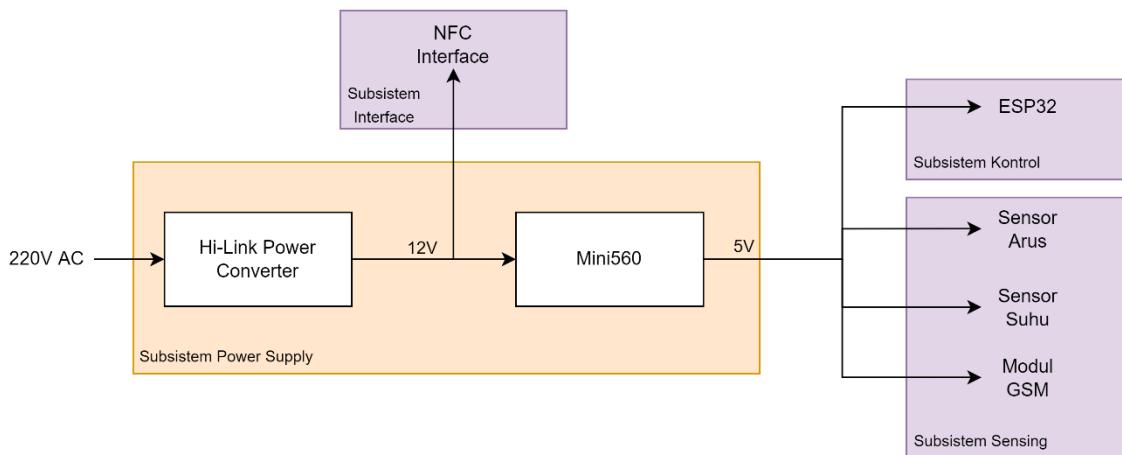
**Tabel 1.8.20 Komponen Converter DC12V – DC5V**

Pembanding	Modul LM2596 [13]	Modul Mini560 [12]
Arus Maksimal	3A	5A
Tegangan Konversi	4,5-35V to 1.25-30V	5-20V to 1-17V
Ukuran*	Besar	Kecil
Gambar		
Dimensi	4,3 x 2,1 x 1,4 cm	3 x 1,8 cm
Harga	Rp. 15.000,00	Rp 19.900,00

\*) Relatif terhadap alternatif lainnya

Sama seperti pada pemilihan komponen sebelumnya, karena konsumsi daya dari subsistem kontrol, interface, serta sensing relatif kecil, maka output dan daya dari kedua alternatif modul buck converter ini sudah memenuhi kebutuhan. Faktor yang menjadi pembanding sekali lagi adalah ukuran serta harga. Dengan ukuran dan harga yang lebih kecil, modul Mini560 akan menjadi alternatif pilihan untuk melakukan konversi tegangan kedua (DC12V ke DC5V).

Dengan komponen yang telah terpilih, diagram dari subsistem kontrol ini dapat dilihat pada Gambar 1.8.16.



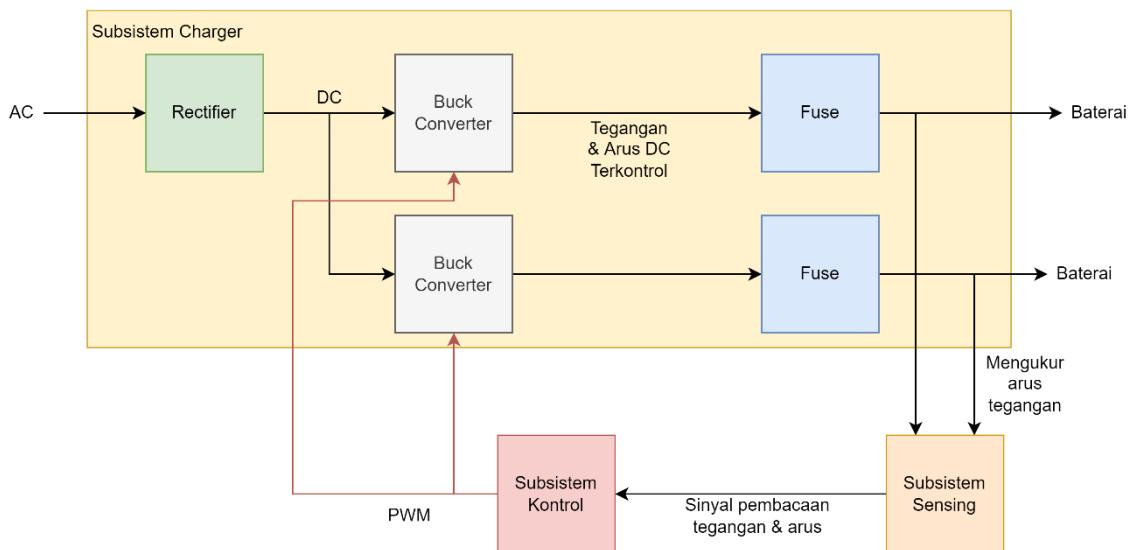
**Gambar 1.8.16 Diagram akhir subsistem power supply**

### 1.8.6 Subsistem Charger

**Tabel 1.8.21 Input, Output, dan Fungsi Subsistem Charger**

Input	Tegangan AC
Output	Tegangan DC 60V
Fungsi	Sub-sistem charger berfungsi untuk menyuplai daya ke baterai. Sub-sistem charger berfungsi sebagai converter dari tegangan AC input sistem menjadi DC output untuk baterai.

Terdapat dua subblok dalam subsistem charger, yaitu rectifier, buck converter. Subblok *rectifier* berfungsi untuk mengubah listrik AC 220 V menjadi DC. Kemudian, subblok buck converter berfungsi sebagai penurun tegangan dari output *rectifier* menjadi tegangan yang sesuai untuk pengisian daya baterai. Arus dan tegangan keluaran subblok buck converter dibaca oleh subsistem sensing. Kemudian, hasil pembacaan akan digunakan oleh subsistem kontrol untuk mengatur *duty cycle* PWM yang digunakan untuk *switching* transistor pada subblok *buck converter* untuk mengatur tegangan dan arus keluaran dari *buck converter*. Pada bagian output buck converter, dipasangkan sebuah fuse sebagai proteksi terjadinya hubung singkat pada terminal. Berikut ini adalah diagram subsistem *charger*. Subsistem sensing diletakkan setelah fuse karena subsistem sensing juga digunakan untuk mendeteksi adanya baterai melalui tegangan baterai yang terbaca. Ketika fuse terputus, subsistem sensing masih dapat membaca tegangan baterai.

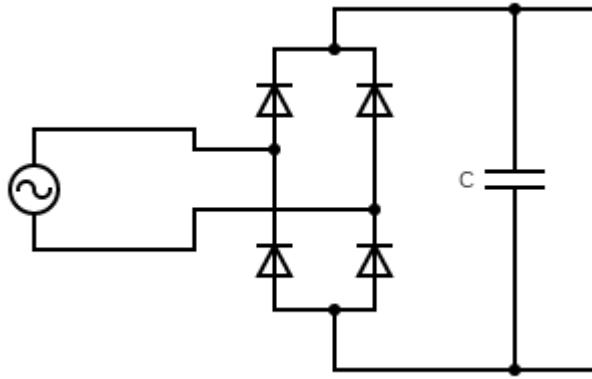


**Gambar 1.8.17 Diagram subsistem charger**

#### 1.8.6.1 Pemilihan Rangkaian

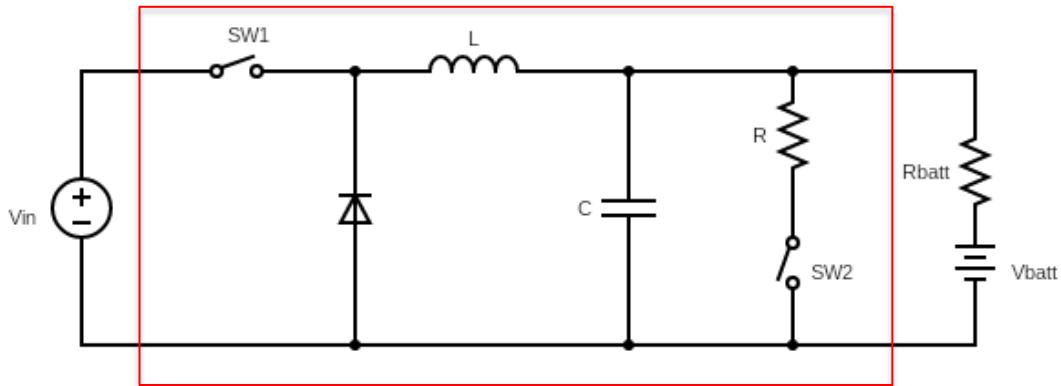
##### 1.8.6.1.1 Rectifier

Rangkaian rectifier berfungsi menyearahkan arus AC. Berdasarkan tegangan keluarannya, rectifier dibagi menjadi dua, yaitu half-wave rectifier dan full-wave rectifier. Pada rancangan ini, dipilih full-wave rectifier dengan konfigurasi full-bridge karena efisiensi yang lebih baik. Keluaran dari rectifier diberikan penghalus tegangan menggunakan kapasitor. Penghalus tegangan ini berfungsi untuk mengurangi *ripple* tegangan keluaran.



Gambar 1.8.18 Model rangkaian rectifier

#### 1.8.6.1.2 Buck Converter



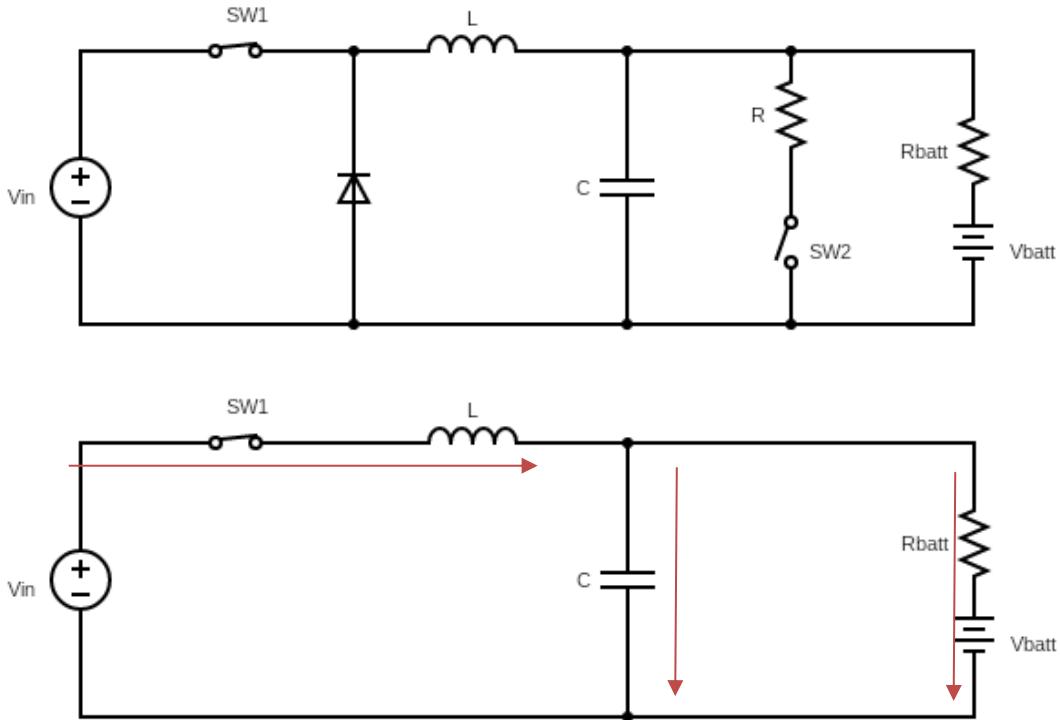
Gambar 1.8.19 Rangkaian buck converter

Rangkaian buck converter digunakan untuk menurunkan tegangan yang lebih tinggi menuju tegangan yang lebih rendah, menggunakan komponen switching serta komponen penyimpan energi seperti kapasitor dan induktor. Pada implementasi sistem yang dirancang, tegangan jala-jala yang telah dikonversikan ke DC 311 V menggunakan rectifier akan digunakan sebagai input buck converter. Kemudian, komponen switching akan dikendalikan dengan duty cycle tertentu untuk mengeluarkan tegangan dan arus yang sesuai dengan baterai.

Terdapat tiga keadaan dari subblok buck converter, yaitu *charging*, *idle*, dan *trigger*. Pada keadaan *charging*, saklar SW2 dibuka dan saklar SW1 akan membuka-menutup dengan *duty cycle* tertentu. Pada keadaan *idle*, saklar SW1 dibuka dan saklar SW2 ditutup untuk menghilangkan energi yang tersimpan pada kapasitor atau induktor. Kemudian, keadaan *trigger* dimaksudkan untuk menyalakan BMS di dalam baterai apabila kondisi BMS baterai telah mati. Pada keadaan *trigger*, *buck converter* mengeluarkan tegangan 68 V. Untuk dapat mengeluarkan tegangan 68 V tanpa ada beban baterai yang terhubung, saklar SW2 perlu ditutup.

Dalam satu siklus buck converter pada keadaan *charging*, terdapat dua tahap yang terlaksanakan. Tahap pertama terjadi saat saklar SW1 berada dalam kondisi tertutup. Bila

switch tertutup, dioda akan masuk ke mode reverse biased dan arus akan mengalir ke induktor  $L$ , kapasitor  $C$ , serta load  $R$ . Arus yang mengalir ke  $L_1$  akan mengisi induktor dan induktor akan menyimpan energi tersebut dalam bentuk medan magnet. Arus tersebut juga akan mengisi kapasitor, serta memberi daya ke load.



**Gambar 1.8.20 Aliran daya buck converter saat tahap pertama**

Bila menerapkan KVL pada kondisi ini, didapatkan hubungan

$$V_{in} = V_L + V_o$$

$$\leftrightarrow V_L = L \frac{di_L}{dt} = V_{in} - V_o$$

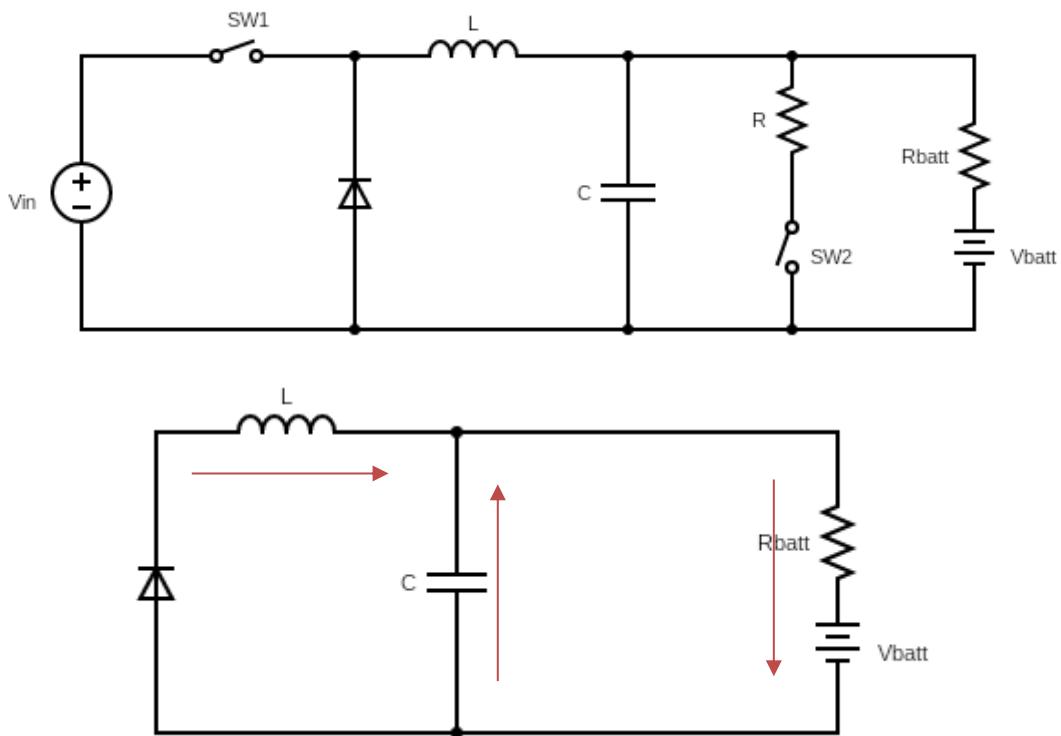
$$\leftrightarrow \frac{di_L}{dt} = \frac{V_{in} - V_o}{L}$$

misalkan waktu saklar tersambung adalah  $T_{ON}$  dan waktu saklar terputus adalah  $T_{OFF}$ . Sehingga, periode pensaklaran adalah  $T = T_{ON} + T_{OFF}$  dan duty cycle,  $D$ , adalah  $D = \frac{T_{ON}}{T}$ . Dengan demikian,

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_{in} - V_o}{L}$$

$$\Delta i_{L,closed} = \left( \frac{V_{in} - V_o}{L} \right) DT$$

Tahap kedua terjadi saat saklar SW1 dibuka. Bila switch dibuka, maka tidak ada energi yang mengisi induktor lagi. Karena arus pada induktor tidak dapat berubah secara langsung, induktor akan menjadi sumber arus yang perlahan akan habis. Pada saat proses pembuangan arus ini, tegangan induktor akan berbalik akibat medan magnet yang mulai melemah. Pembalikan tegangan ini mengakibatkan dioda D menjadi forward biased, sehingga daya yang tersimpan pada kapasitor dan induktor dapat mengalir ke load. Pada kondisi tertentu, daya induktor juga dapat mengalir ke kapasitor, apabila daya yang tersimpan di kapasitor lebih rendah dibanding daya yang disupply oleh induktor.



**Gambar 1.8.21 Aliran daya buck converter saat tahap kedua**

Dengan menerapkan KVL pada keadaan ini dan dioda dimodelkan dengan dioda ideal, didapatkan

$$V_L + V_o = 0$$

$$\leftrightarrow V_L = L \frac{di_L}{dt} = -V_o$$

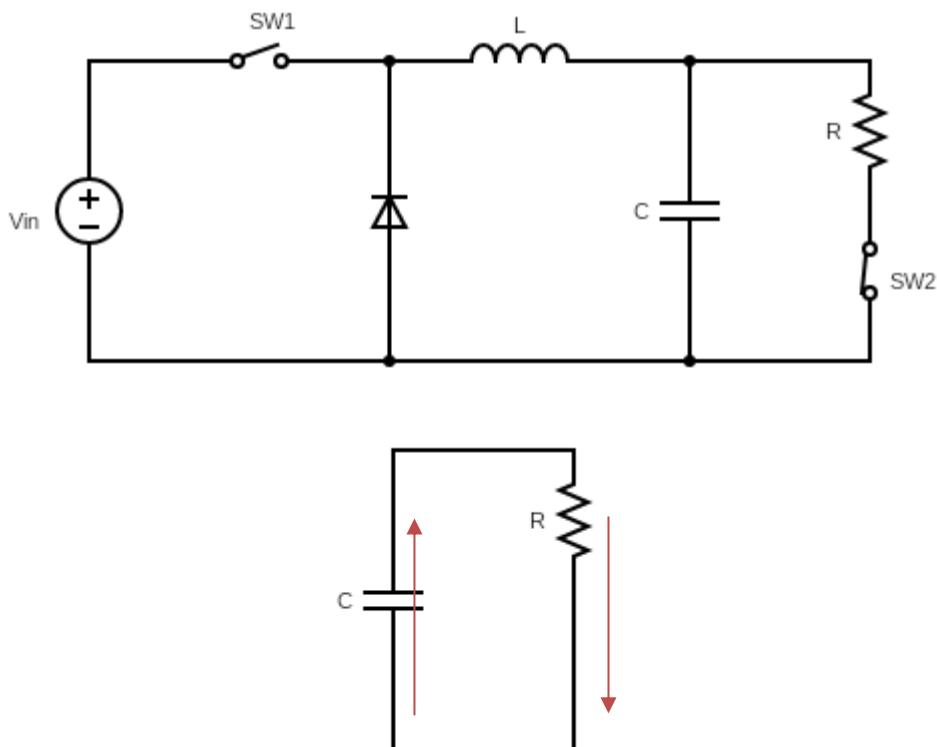
$$\begin{aligned} \leftrightarrow \frac{di_L}{dt} &= \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = -\frac{V_o}{L} \\ \leftrightarrow \Delta i_{L,open} &= -\frac{V_o}{L} (1-D)T \end{aligned}$$

Total perubahan arus pada induktor pada satu siklus adalah nol. Dengan demikian,

$$\begin{aligned}\Delta i_{L,closed} + \Delta i_{L,open} &= 0 \\ \leftrightarrow \left(\frac{V_{in} - V_o}{L}\right) DT - \left(\frac{V_o}{L}\right) (1 - D)T &= 0 \\ \leftrightarrow V_o &= DV_{in}\end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan di atas, tegangan output dari buck converter dapat dikendalikan menjadi nilai referensi tertentu dengan mengubah-ubah duty cycle. Secara tidak langsung, arus output dari buck converter juga dapat dikendalikan. Dengan mengukur tegangan dan arus aktual dari output buck converter, subsistem kontrol dapat memberikan sinyal PWM dengan duty cycle yang menyesuaikan nilai pengukuran dengan nilai referensi dengan menggunakan metode kendali, seperti pengendali PI.

Kemudian ketika pengguna mencabut baterai dari dudukan, buck converter akan memasuki keadaan *idle*. Saklar SW2 akan ditutup untuk menghilangkan energi yang masih tersimpan pada induktor dan kapasitor.



**Gambar 1.8.22 Aliran daya buck converter saat tidak ada beban**

Pada kondisi ini, tegangan pada kapasitor dapat mencapai  $V_{in}$ . Dengan demikian, daya maksimum yang diberikan ke resistor adalah

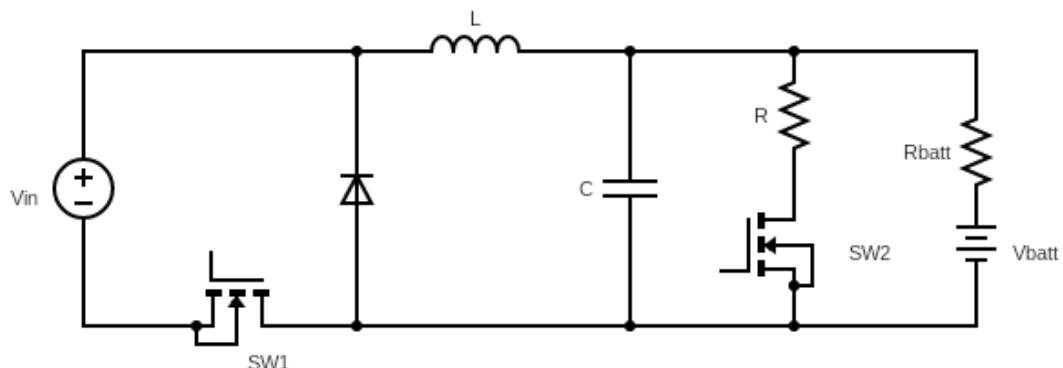
$$W_R = \frac{V_{in}^2}{R}$$

Terdapat tiga opsi implementasi komponen pengganti saklar. Pertama, saklar diletakkan di sisi tegangan rendah menggunakan NMOS. Kedua, saklar diletakkan di sisi tegangan tinggi menggunakan PMOS. Dan ketiga, saklar diletakkan di sisi tegangan tinggi menggunakan NMOS. Kekurangan dan kelebihan dari masing-masing opsi ditunjukkan pada Tabel 1.8.22

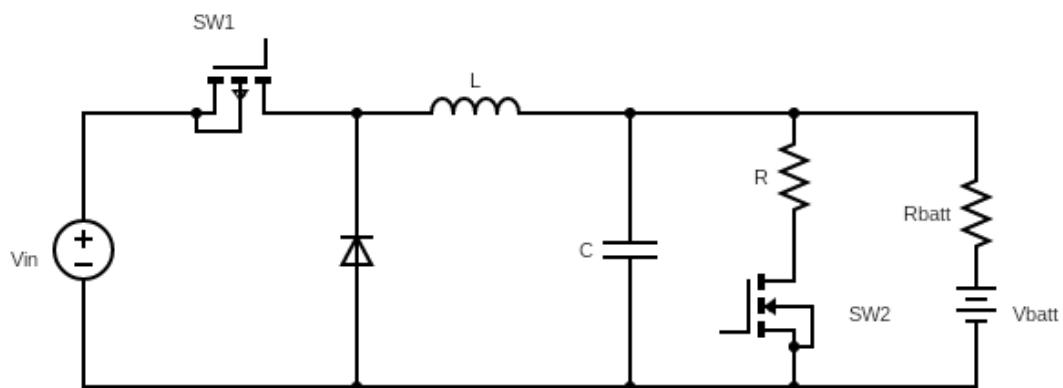
**Tabel 1.8.22 Perbandingan tiga implementasi komponen pengganti saklar**

Pembanding	Pilihan 1 NMOS pada Low Side	Pilihan 2 PMOS pada high side	Pilihan 3 NMOS pada high side
Kelebihan	Komponen MOSFET yang memenuhi rating lebih tersedia di pasaran	Ground load dengan sumber tegangan sama	Rating MOSFET yang memenuhi spesifikasi terdapat di pasaran dan ground load sama dengan ground sumber tegangan
Kekurangan	Ground load dengan sumber tegangan berbeda	MOSFET yang memenuhi rating spesifikasi tidak mudah didapatkan di pasaran	Komponen tambahan untuk gate driver lebih banyak

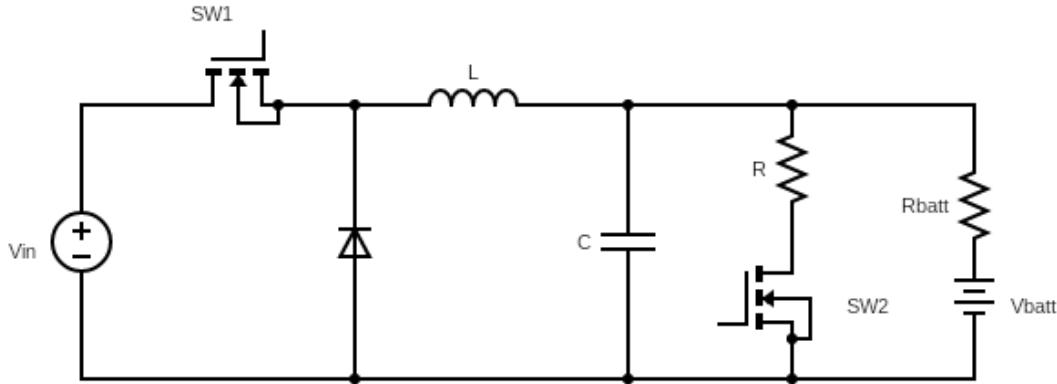
Untuk ketiga alternatif saklar tersebut, model rangkaian buck converter dapat dilihat pada Gambar 1.8.23, Gambar 1.8.24, serta Gambar 1.8.25



**Gambar 1.8.23 Rangkaian pilihan 1. Menggunakan mosfet N-Channel di low side**



**Gambar 1.8.24 Rangkaian pilihan 2. Menggunakan mosfet P-channel di high side.**



**Gambar 1.8.25 Rangkaian pilihan 3. Menggunakan mosfet N-channel di high side.**

Berdasarkan kekurangan dari ketiga pilihan, kekurangan pilihan rangkaian ketiga masih dapat diatasi dengan menggunakan IC yang tersedia di pasaran. Sementara itu, untuk kekurangan rangkaian pilihan pertama tidak dapat diatasi dan kekurangan rangkaian pilihan kedua sulit untuk diatasi. Dengan demikian, dipilih implementasi rangkaian pilihan ketiga sebagai rangkaian *buck converter*.

#### 1.8.6.1.3 Pendingin

Subsistem charger bertugas untuk menyalurkan daya yang cukup besar, hingga mencapai 680 W. Dengan nominal daya yang cukup besar, daya rugi rugi dari komponen yang terdapat pada subsistem charger tidak dapat diabaikan, dan perlu dikalkulasi untuk melihat daya disipasi dari komponen switching, induktor, serta dioda. Parameter yang relevan untuk kalkulasi daya rugi rugi komponen switching, rectifier, dan induktor dapat dilihat pada Tabel 1.8.23.

Secara umum, terdapat 3 jenis rugi rugi yang terjadi pada komponen switching ini [20]. Pertama, terdapat *conduction loss*, atau rugi rugi konduksi. Rugi rugi ini terjadi karena saat MOSFET berada pada kondisi ON, terdapat resistansi dari drain ke source ( $R_{DS_{ON}}$ ). Kedua, terdapat *switching loss*, atau rugi rugi yang terjadi akibat switching yang dilakukan oleh MOSFET. Kontributor utama dalam switching loss ini adalah rise time serta fall time yang dimiliki oleh MOSFET itu sendiri. Ketiga, terdapat *gate charge loss*, yang terjadi akibat kapasitansi internal dari gate MOSFET. Loss ini juga berkaitan dengan frekuensi switching yang digunakan.

Selanjutnya, terdapat juga rugi rugi daya pada komponen dioda rectifier dan induktor yang digunakan. Pada dioda rectifier yang terpilih, terdapat daya rugi rugi akibat forward voltage ( $V_D$ ) yang dimiliki oleh rectifier tersebut. Lalu, rugi rugi induktor terdapat pada resistansi internal dari *copper coil* yang digunakan ( $R_{DCR}$ ).

**Tabel 1.8.23 Parameter MOSFET untuk kalkulasi daya rugi rugi**

Symbol	Parameter	Nilai
$V_{in}$	Tegangan input buck converter	311 VDC
$V_{out}$	Tegangan output buck converter (maksimum)	68 VDC
$v_{gs}$	Tegangan gate	10 V
$I_o$	Arus output (maksimum)	10 A
$I_{RMSAC}$	Arus RMS tegangan AC yang diperlukan (est.)	3A
$f_{sw}$	Frekuensi switching	50 kHz
$R_{DSon}$	Resistansi drain ke source	0.27
$t_r$	Rise time	59 nS
$t_f$	Fall time	58 nS
$Q_G$	Kapasitansi gate	140 nC
$V_D$	Tegangan drop dari rectifier saat mode konduksi	1.05 VDC
$R_{DCR}$	Internal resistance dari copper coil induktor	9.6 mΩ

Dengan besaran yang terdapat pada tabel Tabel 1.8.23, dapat dikalkulasikan rugi rugi daya untuk MOSFET, rectifier, serta induktor yang digunakan. Rincian perhitungan rugi rugi tersebut dapat dilihat lebih lanjut pada Tabel 1.8.24.

**Tabel 1.8.24 Perhitungan daya rugi rugi komponen pada subsistem charger**

Komponen	Tipe Loss	Kalkulasi
MOSFET	Conductive loss	$P_{ON} = I_o^2 \times R_{DSon} \times \frac{V_o}{V_i}$ $P_{ON} = 10A^2 \times 0.27\Omega \times \frac{68V}{311V}$ $P_{ON} = 5.9 W$
	Switching Loss	$P_{SW} = \frac{1}{2} \times V_{in} \times I_o \times (t_r + t_f) \times f_{sw}$ $P_{SW} = \frac{1}{2} \times 311V \times 10A \times (59 + 58)nS \times 50kHz$ $P_{SW} = 9.09 W$
	Gate charge loss	$P_G = Q_G \times v_{gs} \times f_{sw}$ $P_G = 140nC \times 12V \times 50kHz$ $P_G = 84.4 mW$
	Total MOSFET losses	$P_{lossMOSFET} = P_{ON} + P_{SW} + P_G = 5.9 + 9.09 + 0.084$ $P_{lossMOSFET} = 15.074 W$

Dioda	$V_D$ loss	$P_{loss_{rect}} = 2 \times V_D \times I_{RMS}$ $P_{loss_{rect}} = 2 \times 1.05V \times 3A = 4.6 W$
Induktor	Internal resistance loss	$P_{loss_{inductor}} = I_o^2 \times R_{DCA}$ $P_{loss_{inductor}} = 10A^2 \times 9.6m\Omega = 960 \text{ mW}$
Total daya disipasi		$P_{loss_{total}} = 20.634 W$

Tingginya daya yang ditransmisikan membuat subsistem charger membutuhkan suatu sistem pendingin aktif dan pasif. Komponen pendingin pasif dapat berupa heatsink. Heatsink berfungsi untuk menyebarluaskan panas sehingga dapat diserap oleh lingkungannya dengan lebih mudah serta panas menjadi tidak terkumpul di komponen yang mengeluarkan panas tersebut. Komponen pendingin aktif diperlukan jika komponen pendingin pasif tidak mampu menampung panas yang di disipasikan oleh sistem. Daya terbesar yang di disipasikan terletak pada mosfet dan rectifier dengan total akumulasi daya disipasi sebesar 20,634W.

Berdasarkan daya terdisipasi tersebut, karena daya yang di disipasikan cukup besar, maka diperlukan suatu komponen pendingin aktif. Komponen pendingin aktif yang akan digunakan yaitu kipas. Kipas dipilih karena kipas merupakan komponen pendingin aktif yang sederhana. Perhitungan nilai *air flow* atau CFM dapat dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$CFM = \frac{P \times BTU/hr}{k (T_j - T_A)}$$

$$CFM = \frac{20,634 \times 0,293}{1,08 \times (104 - 77)} = 0.207$$

Dengan

$$k = 1,08$$

$$T_j = 40^\circ\text{C} = 104^\circ\text{F}$$

$$T_A = 25^\circ\text{C} = 77^\circ\text{F}$$

Pemilihan komponen kipas dilakukan dengan mengacu pada *air-flow(CFM)* dan ukurannya. Dengan besar daya yang di disipasikan sebesar 20,634W, diperoleh nilai CFM atau *air flow* sebesar 0,207 CFM. Untuk faktor keamanan, diperlukan kipas pendingin dengan rating minimal 10 kali dari hasil perhitungan yaitu 10x0,207 CFM.

### 1.8.6.2 Pemilihan Komponen

#### 1.8.6.2.1 Rectifier

##### 1.8.6.2.1.1 Full-bridge Diode Rectifier

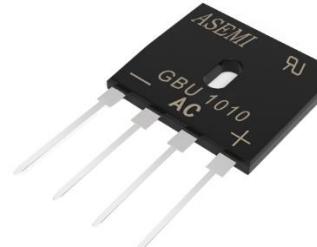
Berdasarkan rancangan, komponen rectifier akan bekerja dengan nilai parameter sebagai berikut:

**Tabel 1.8.25 Kebutuhan komponen rectifier**

Parameter	Kebutuhan minimum perhitungan	Rating komponen
Average forward current	4 A	10 A
Maximum reverse voltage	353.5V (berdasarkan data tegangan maksimum PLN)	500 V

Berdasarkan keperluan tersebut, ditemukan beberapa komponen di pasaran yang memenuhi keperluan tersebut. Berikut ini detail mengenai komponen *rectifier* tersebut:

**Tabel 1.8.26 Alternatif pilihan komponen rectifier**

Pembanding	GBU1010	GBJ3510
Arus Maksimum	10 A	35 A
V <sub>BR</sub>	1000 V	1000 V
Harga	9.900	12.500
Gambar		

GBU1010 memiliki rating yang cukup untuk memenuhi keperluan dari subblok *rectifier*, sedangkan GBJ3510 memiliki rating yang terlalu tinggi untuk memenuhi keperluan dari subblok *rectifier*. Karena terdapat perbedaan harga yang cukup besar di antara kedua komponen tersebut, dipilih GBJ3510 karena sudah dapat memenuhi keperluan dengan harga yang lebih murah.

#### 1.8.6.2.1.2 Kapasitor

Berdasarkan rancangan, komponen kapasitor akan bekerja dengan nilai parameter sebagai berikut:

**Tabel 1.8.27 Kebutuhan komponen kapasitor**

Parameter	Kebutuhan minimum perhitungan	Rating komponen
Voltage	311 V	500 V
Minimum Capacitance	470 uF	470 uF

#### 1.8.6.2.2 Buck Converter

Berdasarkan kebutuhan, diperlukan *buck converter* dengan spesifikasi sebagai berikut

Tabel 1.8.28 Spesifikasi buck converter yang diperlukan

Parameter	Nilai
Tegangan masukan	311 V
Tegangan keluaran maksimum	68 V
Arus keluaran maksimum	10 A
Ripple arus induktor	20%
Ripple tegangan keluaran	10 mV

Sebelum menentukan komponen yang digunakan, pertama-tama ditentukan nilai frekuensi pensaklaran dari buck converter. Frekuensi pensaklaran ditentukan berdasarkan nilai induktansi dari induktor yang dijual di pasaran. Hubungan induktansi dengan frekuensi pensaklaran didapat dari

$$V_L = L \frac{di_L}{dt} = L \frac{\Delta i_L}{(1 - D)T} = V_o$$

Dimana  $D = \text{Duty Cycle}$

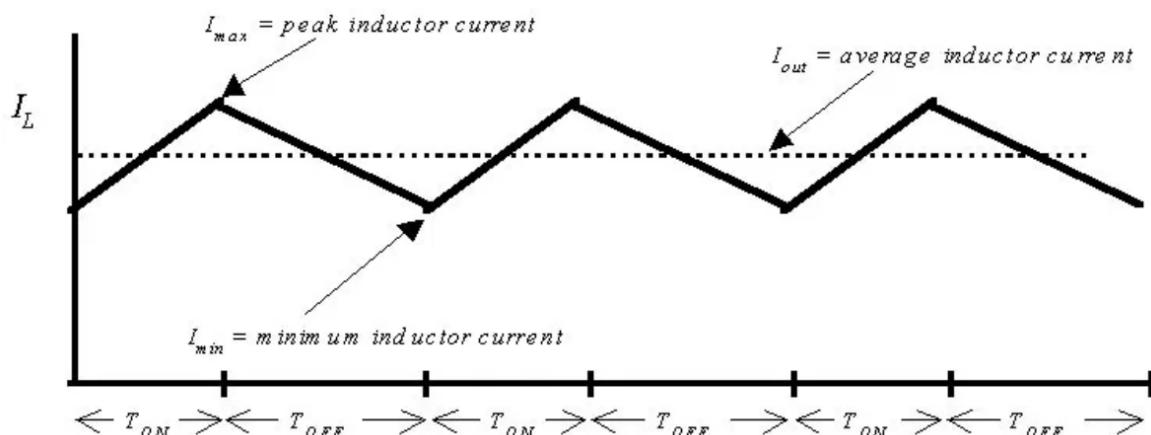
$$\leftrightarrow f_{sw} = \frac{V_o(1 - D)}{L \cdot \Delta i_L}$$

Maksimum ripple current di induktor ditentukan sebesar 20% .[16] Dengan demikian, arus puncak yang melalui induktor adalah

$$i_{L,peak} = i_{out} + \frac{\Delta i_L}{2}$$

$$\leftrightarrow i_{L,peak} = 10 + \frac{10 \cdot 0.2}{2}$$

$$\leftrightarrow i_{L,peak} = 11 A$$



**Gambar 1.8.26 Arus pada induktor berdasarkan kondisi switch**

Berdasarkan kebutuhan arus puncak 11 A, induktor yang memenuhi kebutuhan dan dapat ditemukan di pasaran memiliki induktansi sebesar 1 mH. Dengan nilai induktansi tersebut, didapatkan nilai frekuensi pensaklaran minimum sebesar

$$f_{sw} = \frac{V_o(1 - D)}{L \cdot \Delta i_L}$$
$$\leftrightarrow f_{sw} = \frac{68 \cdot (1 - \frac{68}{311})}{1 \times 10^{-3} \cdot 0.2 \cdot 10} \approx 26.6 \text{ kHz}$$

Frekuensi pensaklaran di atas merupakan nilai minimum secara teoritis. Dengan mempertimbangkan aspek praktis, nilai frekuensi pensaklaran akan dikali dua sehingga digunakan nilai frekuensi pensaklaran sebesar 50KHz.

#### 1.8.6.2.2.1 Power Transistor MOSFET N-Channel

Berdasarkan rancangan, komponen MOSFET N-channel akan bekerja dengan nilai parameter sebagai berikut:

**Tabel 1.8.29 Kebutuhan komponen switching (MOSFET)**

Parameter	Kebutuhan minimum perhitungan	Rating komponen
I <sub>D</sub>	10 A	15 A
V <sub>(BR)DSS</sub>	311 V	400 V
Switching frequency	50 kHz	500 kHz

Berdasarkan keperluan tersebut, ditemukan beberapa komponen di pasaran yang memenuhi keperluan tersebut. Berikut ini detail mengenai komponen MOSFET N-channel tersebut:

**Tabel 1.8.30 Alternatif pilihan komponen switching (MOSFET)**

Pembanding	STW45NM60	IRFP460
I <sub>D</sub>	45 A @ 25 °C 28 A @ 100 °C	20 A @ 25 °C 13 A @ 100 °C
V <sub>(BR)DSS</sub>	600 V	500 V
R <sub>DS(on)</sub>	< 0.11 Ω	0.27 Ω
V <sub>GS(th)</sub>	Min. 3V Max. 5V	Min. 2V Max. 4V
V <sub>GS</sub>	± 30V	± 20V

Maximum Switching Frequency	11 MHz	4 MHz
Harga	Rp. 45.000	Rp. 23.500
Gambar		

Dari kedua produk yang ditemukan, IRFP460 memiliki spesifikasi yang dapat memenuhi kebutuhan. Dengan demikian, dipilih IRFP460 sebagai komponen MOSFET N-channel.

#### 1.8.6.2.2.2 Power Diode

Berdasarkan rancangan, komponen power mosfet akan bekerja dengan nilai parameter sebagai berikut:

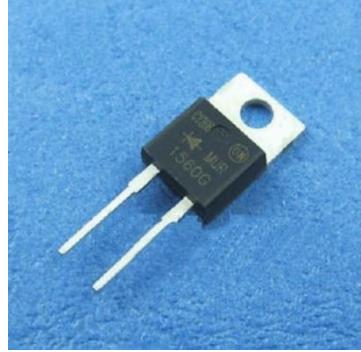
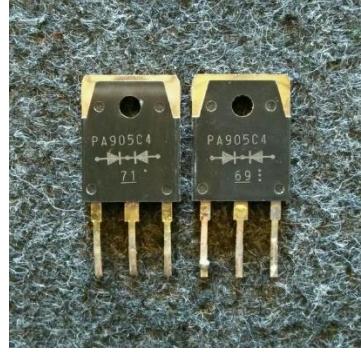
**Tabel 1.8.31 Kebutuhan komponen power diode**

Parameter	Kebutuhan minimum perhitungan	Rating komponen
Average forward current	10 A	15A
Maximum reverse voltage	311 V	400 V
Switching frequency	50 kHz	500 kHz

Berdasarkan keperluan tersebut, ditemukan beberapa komponen di pasaran yang memenuhi keperluan tersebut. Berikut ini detail mengenai komponen power diode tersebut:

**Tabel 1.8.32 Alternatif komponen power diode**

Pembanding	MUR1560	PA905C4
Average forward current	15 A	20 A
Maximum reverse voltage	600 V	400 V
Maximum Switching Frequency	15 MHz	20 MHz
Forward Voltage	1.5 V	1.5 V
Harga	Rp. 7.500	Rp. 5.500

Gambar		
--------	---	---

Dari kedua produk yang ditemukan, PA905C4 memiliki spesifikasi yang dapat memenuhi kebutuhan dengan harga yang lebih rendah. Dengan demikian, dipilih PA905C4 sebagai komponen power diode.

#### 1.8.6.2.2.3 MOSFET Driver

MOSFET gate driver akan dipilih berdasarkan delaynya. Delay pada mosfet gate driver merupakan salah satu parameter terpenting untuk dipertimbangkan. Berdasarkan keperluan tersebut, ditemukan beberapa komponen di pasaran yang memenuhi keperluan tersebut. Berikut ini detail mengenai komponen mosfet gate driver tersebut:

**Tabel 1.8.33 Alternatif komponen MOSFET driver**

Pembanding	IR2110	TC4431
Propagation Delay	10 ns	68ns
Rise Time	35 ns	60 ns
Fall Time	25 ns	70 ns
Turn On Delay Time	120 ns	110 ns
Turn Off Delay Time	94 ns	100 ns
Operating Input Voltage	3,3 – 20 V	4,5 – 30 V
Gambar		

Karena propagation delay yang lebih rendah maka dipilih IR2110 sebagai mosfet driver yang digunakan.

#### 1.8.6.2.2.4 Induktor

Berdasarkan rancangan, komponen induktor akan bekerja dengan nilai parameter sebagai berikut:

**Tabel 1.8.34 Kebutuhan komponen induktor**

Parameter	Kebutuhan minimum perhitungan	Rating komponen
Average current	10 A	12A
Peak current	11 A	15A

Berdasarkan keperluan tersebut, hanya ditemukan 1 komponen yang dapat memenuhi kebutuhan tersebut di pasaran. Opsi lainnya dapat dengan merakit induktor sendiri. Namun, merakit induktor sendiri akan sulit untuk menentukan harga yang diperlukan.

**Tabel 1.8.35 Induktor yang akan dipilih**

Parameter	Inductor yang ada di pasaran
Average current	20 A
Inductance	1 mH
Harga	Rp. 45.000
Gambar	

Dari dua opsi komponen di atas, komponen induktor yang ada di pasaran sudah dapat memenuhi kebutuhan. Opsi membeli komponen yang sudah tersedia di pasaran lebih praktis dan lebih hemat waktu. Oleh karena itu, dipilih komponen induktor yang sudah terdapat di pasaran.

#### 1.8.6.2.2.5 Kapasitor

Berdasarkan rancangan, komponen kapasitor akan bekerja dengan nilai parameter sebagai berikut:

**Tabel 1.8.36 Kebutuhan komponen kapasitor**

Parameter	Kebutuhan minimum perhitungan	Rating komponen
Voltage	311 V	500 V
Minimum Capacitance[16]	75 uF	150 uF

Komponen kapasitor yang dipilih adalah kapasitor yang tersedia di pasaran dan memenuhi spesifikasi di atas.

#### 1.8.6.2.2.6 Resistor Discharge

Nilai resistor dipilih berdasarkan potensi daya maksimum yang diberikan ke resistor. Nilai daya maksimum tersebut adalah

$$W = \frac{V^2}{R}$$

Bila diinginkan daya maksimum sebesar 5 Watt, maka

$$R_{min} = \frac{V^2}{W} = \frac{311^2}{5} \approx 19.3 \text{ k}\Omega$$

Pada praktiknya, nilai R dipilih lebih dari nilai  $R_{min}$  di atas. Bila dipilih nilai  $R = 68 \text{ k}\Omega$ , maka konstanta waktu *discharge* adalah

$$\tau = RC = 68 \text{ k}\Omega \cdot 150 \mu\text{F} = 10.2 \text{ s}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, waktu yang dibutuhkan untuk mengosongkan setidaknya lebih dari konstanta waktu.

**Tabel 1.8.37 Kebutuhan komponen resistor discharge**

Parameter	Kebutuhan minimum perhitungan	Rating komponen
Resistansi	19.3 kΩ	68 kΩ
Daya	5 W	10 W

#### 1.8.6.2.2.7 Kipas Pendingin

Berdasarkan kebutuhan, diperlukan kipas dengan nilai CFM minimal 0,207 CFM secara teoritis. Namun untuk keamanan, maka nilai tersebut dikalikan sepuluh sehingga diperoleh nilai CFM minimal 2,07 CFM.

**Tabel 1.8.38 Pemilihan kipas sebagai pendingin aktif**

Pembanding	40 x 40 mm	60 x 60 mm
CFM	5,5 CFM	13,2 CFM
Tegangan	5V	12V

Gambar



Dengan mempertimbangkan nilai CFM dan ukuran dari kipas, maka dipilih kipas dengan ukuran 40 x 40 mm sebagai kipas pendingin.

#### 1.8.6.2.3 Fuse

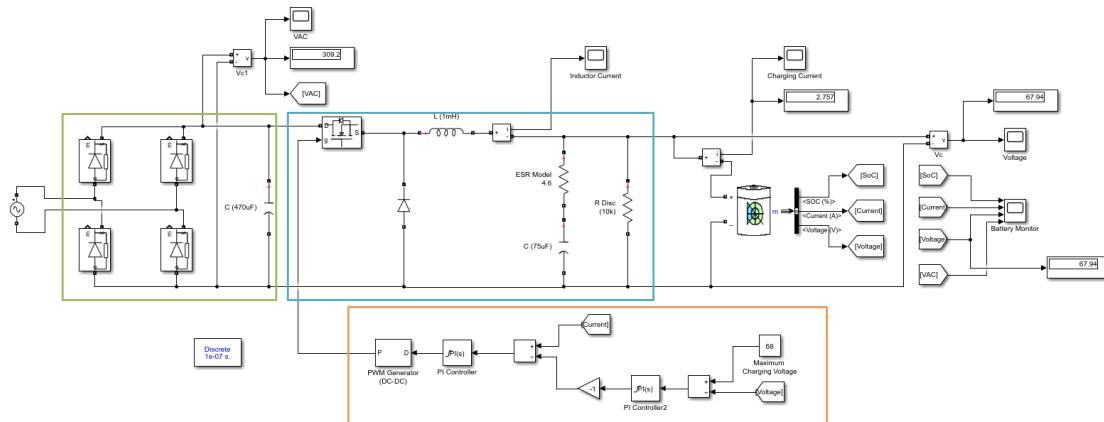
Tabel 1.8.39 Kebutuhan komponen fuse

Parameter	Kebutuhan minimum perhitungan	Rating komponen
Tegangan	311 V	500 V
Arus puncak	15 A	20 A

Fuse yang digunakan memiliki tipe berbentuk tabung. Tipe tersebut dipilih karena pada female socket yang akan digunakan terdapat dudukan fuse berbentuk tabung. Tipe tersebut juga dipilih karena dapat memenuhi spesifikasi arus dan tegangan. Selain itu fuse berbentuk tabung mudah dicari di pasaran dengan harga yang rendah. Kehandalan fuse berbentuk tabung juga sudah terbukti mengingat banyak sekali produk elektronik yang menggunakan fuse berjenis ini.

#### 1.8.6.3 Simulasi Subsistem Charger dengan Kendali PI

Untuk memverifikasi fungsionalitas dari buck converter yang telah dirancang, akan dilakukan simulasi pengisian daya suatu *battery pack* dengan spesifikasi yang sesuai dengan *battery pack* milik PT Oyika. Simulasi dilakukan secara *high level* dengan bantuan program Simulink.



**Gambar 1.8.27 Simulasi subsistem charger pada Simulink**

Pada Gambar 1.8.27, kendali *closed loop* dilakukan pada bagian yang ditandai dengan warna oranye. Pengendali PI pertama (PI Voltage) menerima input berupa besar error antara *reference voltage* dengan output tegangan charger sesungguhnya. Kemudian, output dari pengendali PI pertama akan dijadikan sebagai *reference current* untuk pengendali PI kedua. Pengendali PI kedua menerima input berupa besar error antara *reference current* tersebut dengan arus yang masuk ke baterai sesungguhnya. Output dari pengendali PI ini akan digunakan sebagai kendali komponen switching (MOSFET) dari buck converter.

**Tabel 1.8.40 Besaran komponen pada simulasi**

Besaran	Nilai
Frekuensi Switching	50 kHz
Kapasitor	75 $\mu$ F
Induktor	1 mH
$R_{DISCHARGE}$	68 k $\Omega$
Tegangan threshold	68 V

Selanjutnya, simulasi buck converter dapat dilihat pada bagian yang berwarna biru. Buck converter yang disimulasikan memiliki nilai kapasitansi dan induktansi yang sesuai dengan nilai yang dipilih saat proses pemilihan komponen. Lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 1.8.41. Karena simulasi dilakukan secara *high level*, MOSFET dan dioda yang digunakan diasumsikan memiliki spesifikasi yang cukup dalam pengoperasiannya.

Buck converter mendapatkan input DC sebesar 311 V dari tegangan AC 220 V yang disearahkan oleh rectifier. Bagian ini juga ikut disimulasikan pada Simulink, dan dapat dilihat pada bagian yang ditandai hijau.

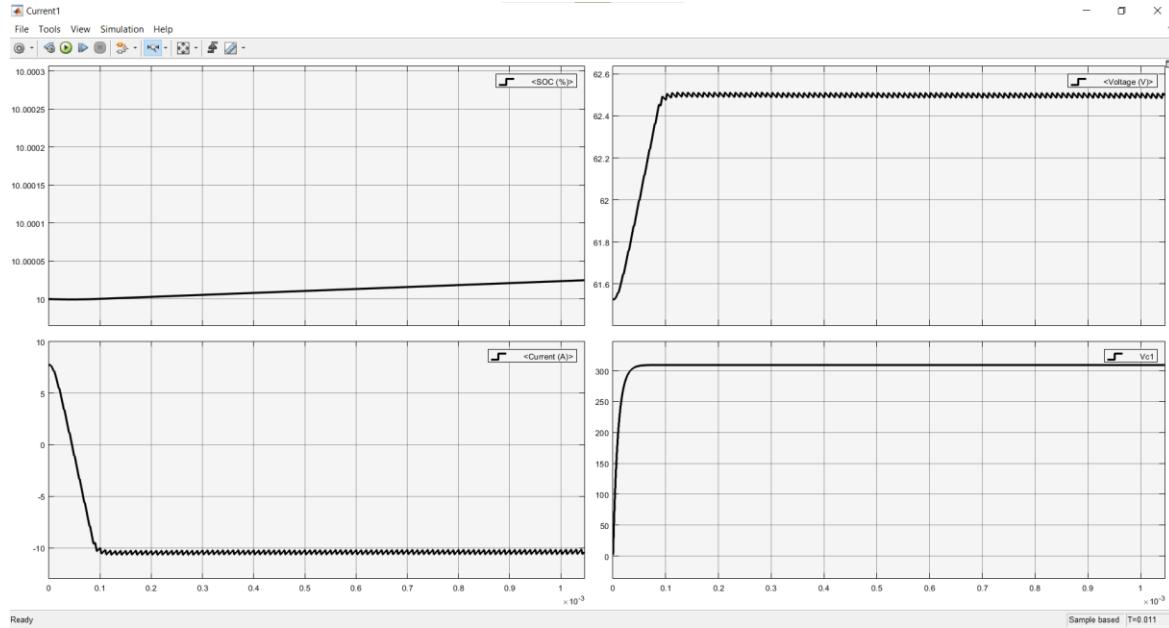
Hasil simulasi yang telah dilakukan untuk beberapa variasi SoC baterai dapat dilihat pada Tabel 1.8.41.

**Tabel 1.8.41 Hasil simulasi dengan beberapa variasi SoC baterai**

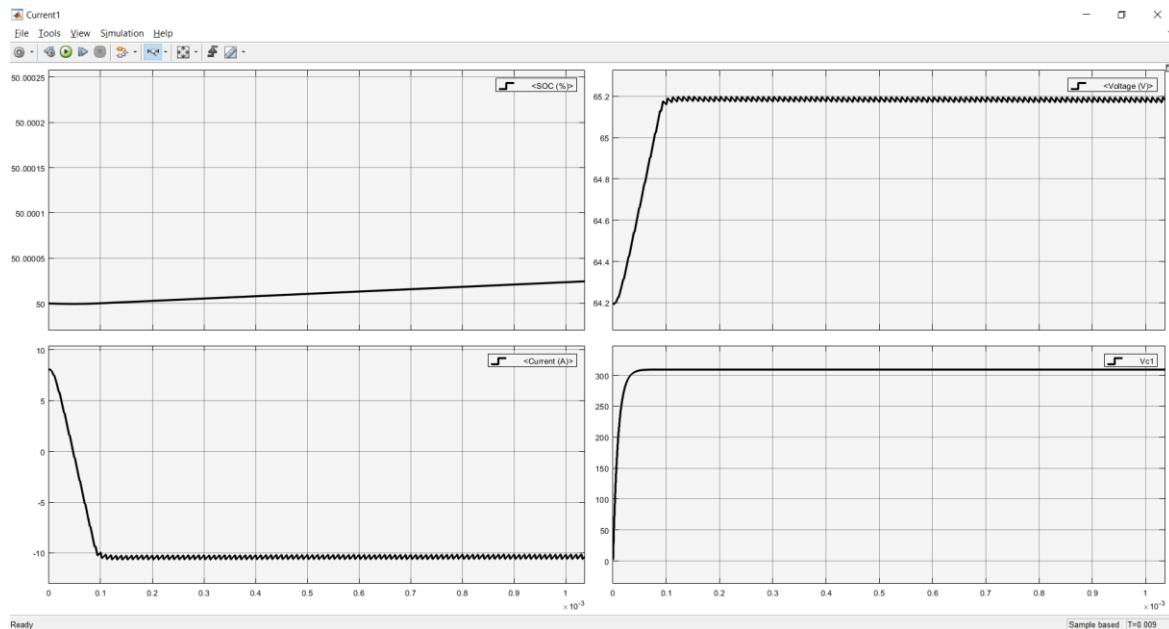
No	SoC Baterai (%)	Tegangan Steady State (V)	Arus Steady State (A)
1	10	62,48	10
2	50	65,17	10
3	80	65,49	10
4	99	67,99	3,5

Pada simulasi pertama, didapatkan nilai tegangan sebesar 62,48 V dan arus sebesar 10 A. Dari kedua nilai tersebut, hasil simulasi fungsionalitas kontrol PWM untuk tahap pengisian *constant current* telah berfungsi sesuai dengan spesifikasi.

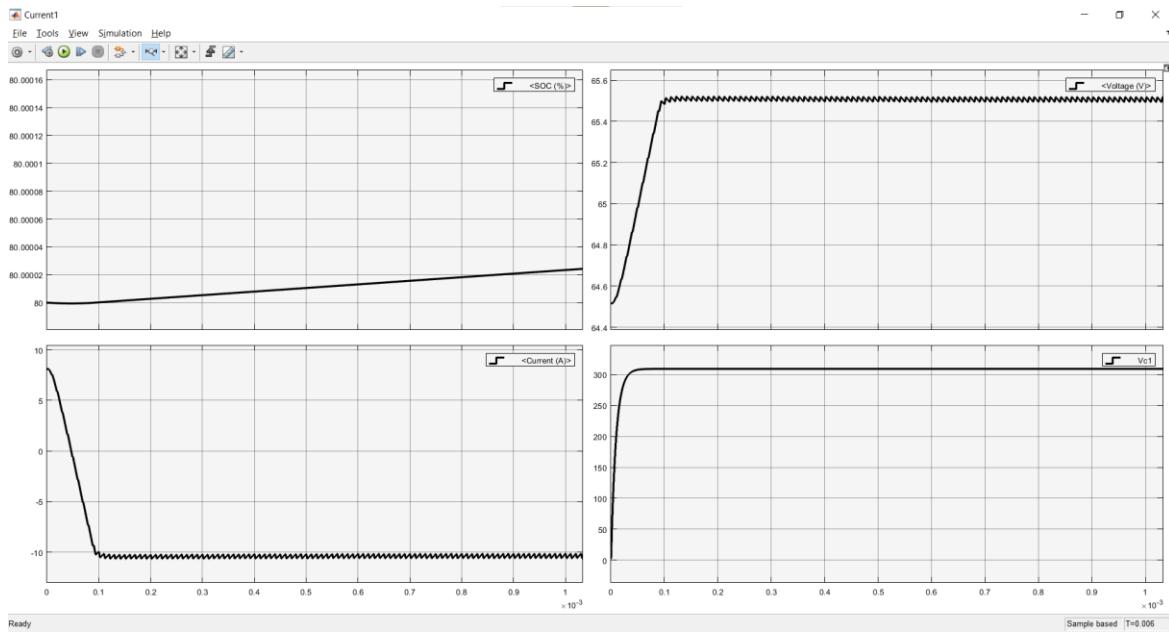
Selanjutnya pada simulasi ke 4, didapatkan nilai tegangan sebesar 67,9 V dan arus sebesar 3,5 A. Nilai arus yang kecil serta tegangan output buck converter yang mendekati tegangan *threshold* maksimal menandakan bahwa charger sudah masuk ke tahap *constant voltage*, dimana arus pengisian daya akan semakin mengecil seiring kapasitas baterai penuh.



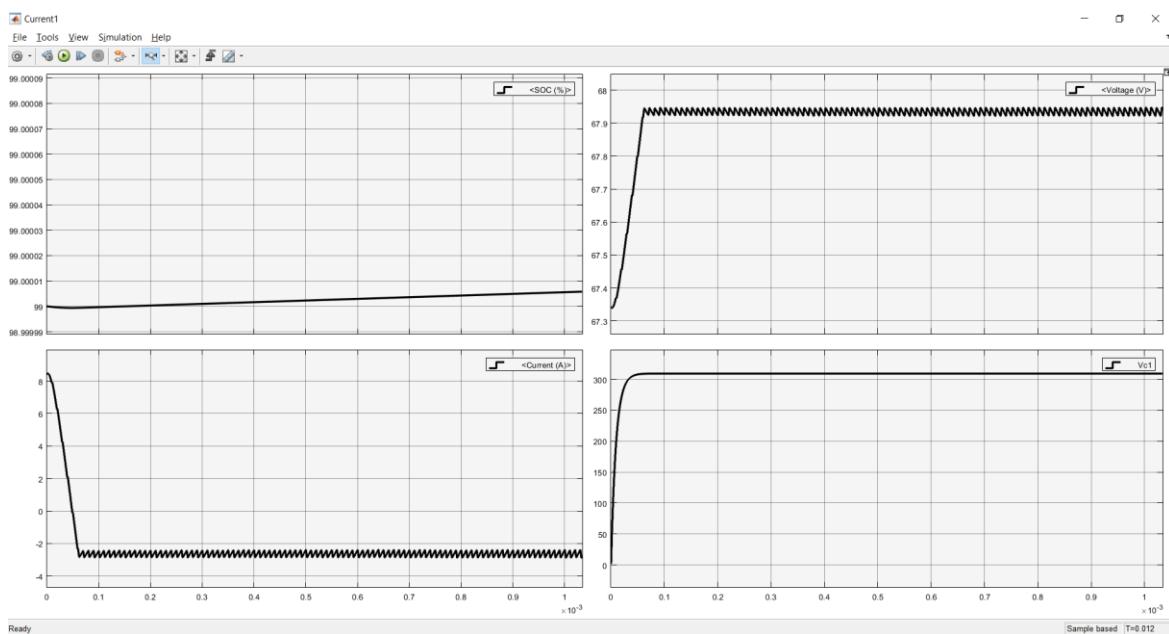
**Gambar 1.8.28 Grafik Hasil Simulasi SoC 10%**



**Gambar 1.8.29 Grafik Hasil Simulasi SoC 50%**



**Gambar 1.8.30 Grafik Hasil Simulasi SoC 80%**



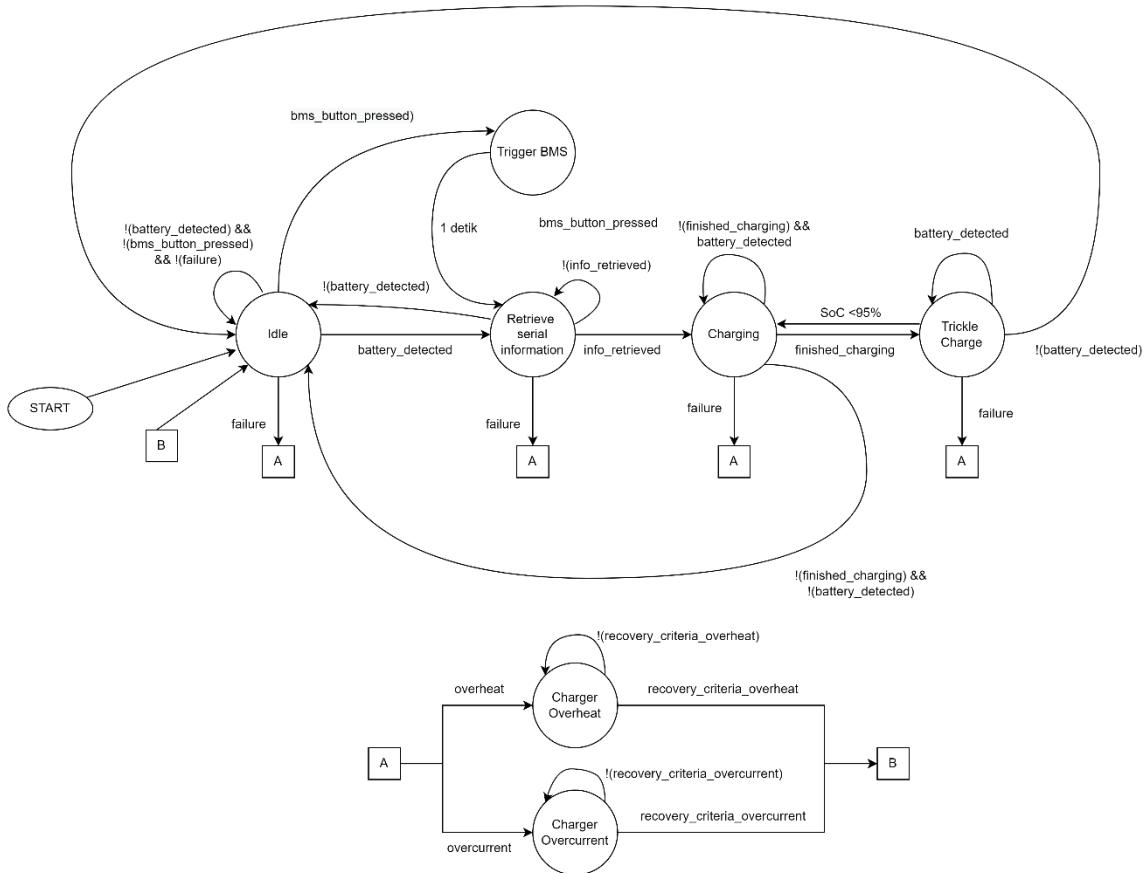
**Gambar 1.8.31 Grafik Hasil Simulasi SoC 99%**

Dari pengamatan perilaku subsistem charger terhadap variasi SoC baterai yang terhubung, serta respon transien dari beberapa alternatif SoC yang digunakan, subsistem charger yang telah dirancang berhasil melewati tahap simulasi dengan baik.

## 1.9 Pemodelan Tingkah Laku Sistem

### 1.9.1 Sistem Secara Keseluruhan

#### 1.9.1.1 State Diagram



Gambar 1.9.1 State diagram sistem secara keseluruhan

Secara umum, sistem yang dirancang memiliki 7 buah state yang masing masing menjalankan fungsi tertentu. Rincian mengenai syarat perpindahan tiap state yang terdapat pada Gambar 1.9.1 dapat dilihat pada Tabel 1.9.1.

Tabel 1.9.1 Rincian syarat perpindahan state

Nama Variabel	Rincian
Battery_detected	<p>Terdapat dua kriteria yang menentukan bahwa baterai telah terhubung ke produk</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Mengecek tombol yang ada di dudukan slot baterai ke-n</li> <li>Mengecek tegangan yang terbaca pada terminal baterai ke-n. Hal ini dilakukan sebelum subsistem charger dinyalakan, sehingga tegangan yang terbaca merupakan murni tegangan baterai. Tegangan baterai yang dimaksud berada di kisaran 47 – 68 V.</li> </ol> <p>Bila kedua kriteria terpenuhi, maka <code>battery_detected = TRUE</code>.</p>
Bms_detected	Mengecek apakah BMS pada baterai dapat berkomunikasi

	dengan komunikasi serial yang terdapat di perangkat. Bila berhasil, maka bms_detected = TRUE
Information_retreived	Menunggu informasi baterai (serial number, SoC, tegangan baterai) dikirim dari BMS ke sistem. Bila informasi tersebut sampai dan telah dicek valid, maka Information_retreived = TRUE
Finished_charging	Terdapat dua kriteria yang dicek untuk menentukan nilai dari variabel ini <ul style="list-style-type: none"> <li>1. Informasi SoC yang diterima dari BMS</li> <li>2. Tegangan baterai yang terbaca</li> </ul> Bila salah satu dari dua kriteria ini terpenuhi, maka nilai variabel finished_charging = TRUE
Failure	Bila terdeteksi failure pada state manapun, akan menuju state A. Failure yang dimaksud dapat berupa overheat atau overcurrent
Overheat	Variabel overheat = TRUE bila suhu yang terbaca pada komponen switching yang terdapat pada subsistem charger mencapai lebih dari $70^{\circ}\text{C}$ (Lihat lampiran). Berdasarkan grafik pada Gambar 1.16.1 suhu mosfet ketika dialiri arus berlebih akan memiliki nilai Rds normalized yang lebih tinggi. Diambil nilai Rds sebesar 1.5 sehingga diperoleh suhu sekitar $70^{\circ}\text{C}$ pada kondisi overheat.
Overcurrent	Variabel overcurrent = TRUE bila arus pengisian daya baterai mencapai lebih dari 15 A selama 5 milisekon.
recovery_criteria_overheat	Apabila suhu di komponen switching terbaca lebih rendah dari $40^{\circ}\text{C}$ [17] maka nilai dari variabel recovery_criteria_overheat = TRUE. Diluar dari itu, nilai dari variabel tersebut akan FALSE. Nilai $40^{\circ}\text{C}$ diperoleh ketika penggunaan normal sehingga digunakan nilai Rds normalized 1. Pada Rds normalized=1 diperoleh suhu sekitar $40^{\circ}\text{C}$ .
recovery_criteria_overcurrent	Setelah subsistem charger idle akibat overcurrent, akan dilakukan pengujian sinyal PWM oleh subsistem kontrol yang dibandingkan dengan arus sebenarnya yang dikeluarkan oleh subsistem charger. Jika output sudah sesuai, maka state sistem tidak lagi overcurrent.

Kendali dari state ini dilakukan secara penuh oleh subsistem kontrol. Subsistem kontrol akan memiliki *case interrupt* apabila terjadi failure, baik dalam segi overheating ataupun overcurrent. Subsistem power supply juga berperan dalam memberi daya untuk subsistem kontrol, IoT, sensing, charger, serta interface. Subsistem kontrol dan power supply memiliki peran yang sama pada setiap state yang ada. Untuk subsistem IoT, charger, sensing, serta interface, rincian tindakan yang dilakukan pada setiap state dapat dilihat di bawah ini

## 1. Idle

- Pada state ini, sistem akan secara periodik melakukan pengecekan apakah ada baterai yang terhubung pada slot 1 atau slot 2
- Subsistem IoT dan charger tidak melakukan operasi apapun.
- Subsistem sensing mengecek apakah baterai terhubung dengan cara memonitor tegangan yang ada pada terminal baterai. Selain itu, subsistem sensing juga akan mengambil data suhu dan arus, dan mengirimkannya ke subsistem kontrol.
- Subsistem interface mengecek apakah baterai terhubung dengan cara memonitor kondisi button yang terdapat pada dudukan baterai. Selain itu, subblok output pada subsistem interface akan mengeluarkan kombinasi warna LED yang menunjukkan bahwa sistem sedang berada pada mode idle

## 2. Retrieve Serial Battery

- Apabila baterai telah terdeteksi secara mekanik (tombol di dudukan baterai), maka sistem akan masuk ke state ini. Di state ini, informasi dari *battery pack* (Serial ID, SoC, tegangan baterai, dsb) akan dicoba diakuisisi menggunakan komunikasi serial.
- Subsistem interface, khususnya subblok interface komunikasi baterai mengirimkan komunikasi serial ke modul NFC yang kemudian akan berkomunikasi dengan modul BMS. Selain itu, subblok input pengguna juga dapat menerima masukkan apabila pengguna menekan tombol override BMS 1 atau 2. Bila terdapat penekanan tombol ini, maka state sistem akan berpindah ke state Trigger BMS
- Subsistem IoT tidak melakukan operasi apapun
- Subsistem sensing akan mengambil data suhu dan arus, dan mengirimkannya ke subsistem kontrol.

## 3. Trigger BMS

- Pada kasus dimana battery pack sudah terlalu terdischarge sampai BMS yang ada di battery pack tersebut pun mati, sistem dapat melakukan “jumpstart” kepada BMS agar dapat menyala, kemudian berkomunikasi dengan modul NFC, dan selanjutnya mengubah mode operasi pada *battery pack* agar pengisian daya dapat dilakukan. Jumpstart dapat dilakukan dengan memberi tegangan tinggi (namun arus rendah) ke terminal *battery pack*.
- Subsistem charger pada kondisi tertentu dapat mengeluarkan output tegangan 68V, sesuai dengan kondisi yang telah dijelaskan sebelumnya
- Subsistem interface dan IoT tidak melakukan operasi apapun

- Subsistem sensing akan mengambil data suhu dan arus, dan mengirimkannya ke subsistem kontrol.

#### 4. Charging

- Subsistem charger akan menyesuaikan nilai arus dan tegangan outputnya berdasarkan beberapa parameter.
  - Informasi SoC yang telah didapatkan pada state Retrieve Serial Battery. Berdasarkan SoC dari *battery pack*, terdapat tiga mode pengisian daya, yaitu constant current, constant voltage, serta trickle charge. Ketiga mode ini memiliki karakteristik arus dan tegangannya masing-masing.
  - Mode pengisian daya yang dipilih pengguna. Pada spesifikasi produk, terdapat dua mode pengisian daya yang dapat dipilih. Mode ini berkaitan erat dengan nilai arus yang digunakan untuk mengisi baterai
- Subsistem kontrol menerima informasi tegangan dan arus dari subsistem sensing, dan kemudian mengontrol duty cycle dari PWM yang diberikan ke subsistem charger. Duty cycle ini dapat menentukan besar arus atau tegangan yang disupply ke battery pack saat tengah dilakukan pengisian daya.
- Subsistem sensing akan mengamati informasi arus dan tegangan pengisian daya, yang kemudian akan digunakan oleh subsistem kontrol sebagai informasi untuk melakukan kendali closed loop.
- Subsistem interface dapat menerima input pengguna berupa mode pengisian daya. Bila pengguna mengubah mode pengisian daya pada saat ditengah tengah pengisian daya (dari fast charging ke normal charging, atau sebaliknya), maka subsistem charger akan menyesuaikan arus yang diberikan ke battery pack
- Subsistem IoT akan mengirimkan data packet yang berisi nomor serial baterai, lokasi kasar, timestamp, dsb (selengkapnya di pemodelan tingkah laku subsistem IoT) saat awal dimulainya pengisian daya. Untuk setiap interval waktu tertentu, subsistem IoT juga akan mengirimkan data packet yang menunjukkan bahwa sedang dilakukan pengisian daya. Dan saat battery pack sudah penuh, subsistem IoT akan mengirimkan data packet yang menunjukkan bahwa battery pack sudah penuh.

#### 5. Finish Charge

- Pada state ini, subsistem charger tidak akan mengeluarkan tegangan
- Mikrokontroler akan melakukan sampling SoC secara berkala. Apabila SoC kurang dari 95%, maka sistem akan pindah ke state charging untuk melakukan pengisian daya kembali. Hal ini dilakukan untuk menjaga baterai tetap penuh apabila ditinggalkan.

- Apabila baterai dicabut, sistem akan berpindah ke state idle untuk menunggu baterai lain dipasang.

## 6. Overcurrent

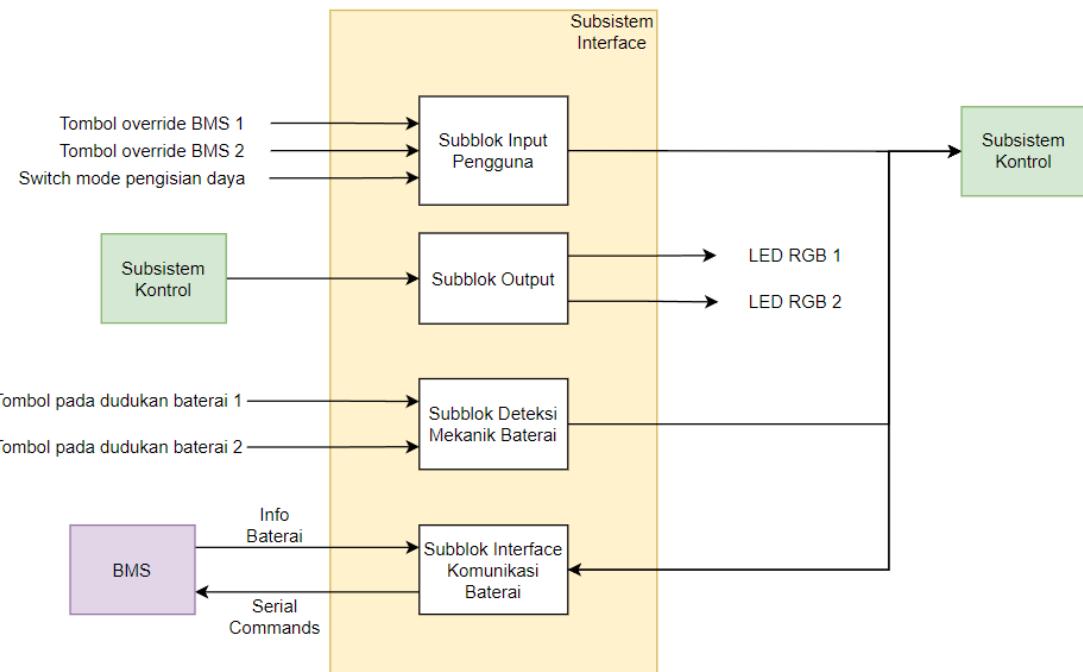
- Ketika arus melebihi arus nominal yang telah ditentukan, subsistem kontrol akan mengurangi duty cycle sehingga arus yang dikeluarkan oleh subsistem charger akan berkurang.
- Subsistem sensing akan mengambil data suhu, arus, dan tegangan lalu mengirimkannya ke subsistem kontrol.
- Subsistem IoT akan mengirimkan data ke database dari subsistem sensing sebagai data log
- Subsistem interface akan mengirimkan tanda overcurrent melalui LED state output

## 7. Overheat

- Ketika suhu mosfet melebihi threshold, subsistem kontrol akan menghentikan sinyal PWM untuk subsistem charger sehingga pengisian daya akan berhenti.
- Subsistem sensing akan mengambil data suhu, arus, dan tegangan lalu mengirimkannya ke subsistem kontrol.
- Subsistem IoT akan mengirimkan data ke database dari subsistem sensing sebagai data log
- Subsistem interface akan mengirimkan tanda overcurrent melalui LED state output

## 1.9.2 Subsistem Interface

### 1.9.2.1 Data Flow Diagram



Gambar 1.9.2 Data flow diagram dari subsistem interface

Subblok input pengguna mengirim data button press dari subblok input serta subblok deteksi mekanik baterai ke subsistem kontrol. Informasi button press pada subblok input pengguna akan berupa tombol override BMS untuk slot baterai 1 dan slot baterai 2. Selain itu, terdapat juga *toggle switch* yang akan menentukan mode pengisian daya (fast charging atau normal charging). Informasi button press digunakan oleh subsistem kontrol untuk mengatur output dari subsistem charger menjadi 68V untuk memberi daya sementara ke BMS apabila *battery pack* sudah terdischarge terlalu banyak. Lalu, informasi kondisi *toggle switch* juga akan digunakan oleh subsistem kontrol untuk mengatur arus output subsistem charger.

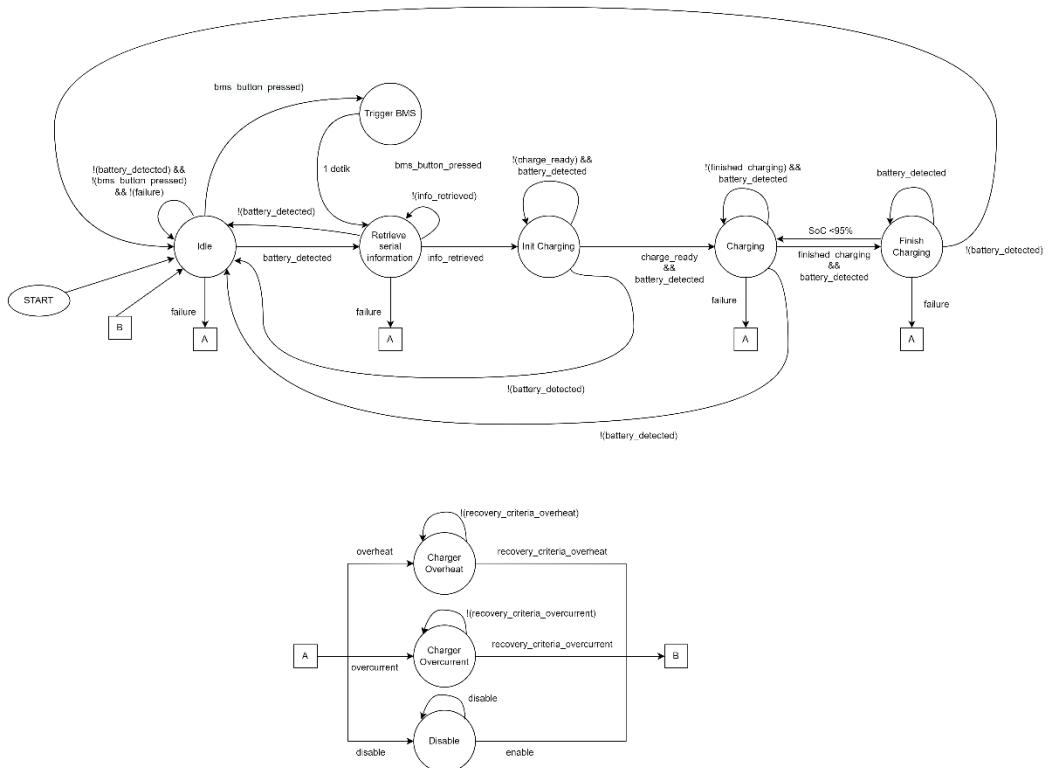
Selanjutnya, subblok deteksi mekanik baterai memiliki prinsip kerja yang sama seperti subblok input baterai, dimana terdapat dua tombol yang terletak pada baterai slot 1 dan slot 2. Informasi button press ini akan digunakan oleh subsistem kontrol sebagai indikator baterai telah terpasang secara mekanik, karena penempatan button ini berada di bagian bawah produk. Bila baterai dipasang, maka button akan tertekan.

Berdasarkan kondisi dan informasi yang diterima oleh subsitem kontrol dari subsistem lain, produk dapat menampilkan kondisi tersebut secara terbatas melalui lampu LED yang terdapat pada subblok deteksi mekanik baterai. Perilaku dari LED ini lebih lengkapnya dapat dilihat pada state diagram subblok output yang terdapat pada Gambar 1.9.3.

Komunikasi BMS dengan subsistem kontrol dijembatani oleh subblok interface komunikasi baterai. Pada dasarnya, subblok ini merupakan modul NFC yang disediakan oleh PT Oyika agar dapat melakukan komunikasi dengan BMS yang terdapat pada *battery pack*. Untuk itu, subsistem kontrol dapat mengirim *set command* serial tertentu ke subblok ini, yang akan diteruskan ke BMS. Bila BMS berhasil menerima *set command* tersebut,

maka BMS akan mengirimkan informasi balik ke subblok interface komunikasi baterai, yang kemudian akan disalurkan ke subsistem kontrol untuk diolah lebih lanjut.

### 1.9.2.2 State Diagram



Gambar 1.9.3 State diagram subblok output dari subsistem interface

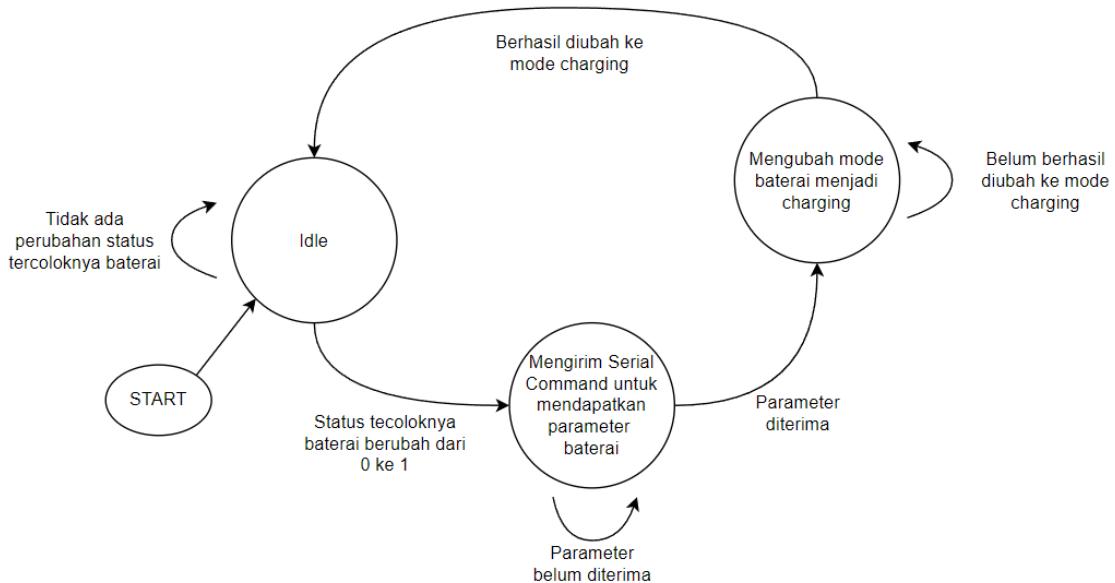
State diagram dari subblok output dapat dilihat pada Gambar 1.9.3. Secara umum, state diagram tersebut menggambarkan perilaku satu LED RGB yang terdapat pada produk. Produk ini memiliki dua LED RGB yang masing masing menunjukkan status *battery pack* yang terpasang di slot 1 dan slot 2. Pada dasarnya, perilaku kedua LED ini sama, hanya bertindak sebagai status baterai pada slot 1 atau 2 saja. Maka dari itu, pada Gambar 1.9.3 hanya akan ditampilkan perilaku dari satu LED RGB saja.

Bila baterai tidak terhubung, maka LED akan menyala merah konstan. Setelah baterai terdeteksi, LED tersebut dapat berubah menjadi warna kuning yang menandakan sistem sedang mencoba untuk memperoleh data serial baterai. Apabila ketika baterai sudah dicolok dan LED berubah menjadi kuning, artinya BMS telah mati dan tegangan baterai tidak terdeteksi. Agar BMS dapat menyala kembali, pengguna perlu untuk menekan tombol *trigger*. Ketika memasuki state trigger, LED akan memberikan indikator kuning berkedip

Setelah sistem berhasil memperoleh serial baterai, sistem memasuki state charge. Pada state ini, LED akan memberikan indikator warna biru konstan. Setelah selesai melakukan charging, LED akan memberikan indikator warna hijau.

Selain itu, sistem akan memasuki state failure apabila terdeteksi adanya failure pada sistem. Terdapat 3 state failure dimana sistem tidak dapat beroperasi, yaitu state overheat, overcurrent, dan disable. Pemicu dari state overheat adalah suhu sistem yang melebihi

70°C atau kurang dari 0°C. Pemicu state overcurrent adalah ketika terdeteksi adanya suhu 15A



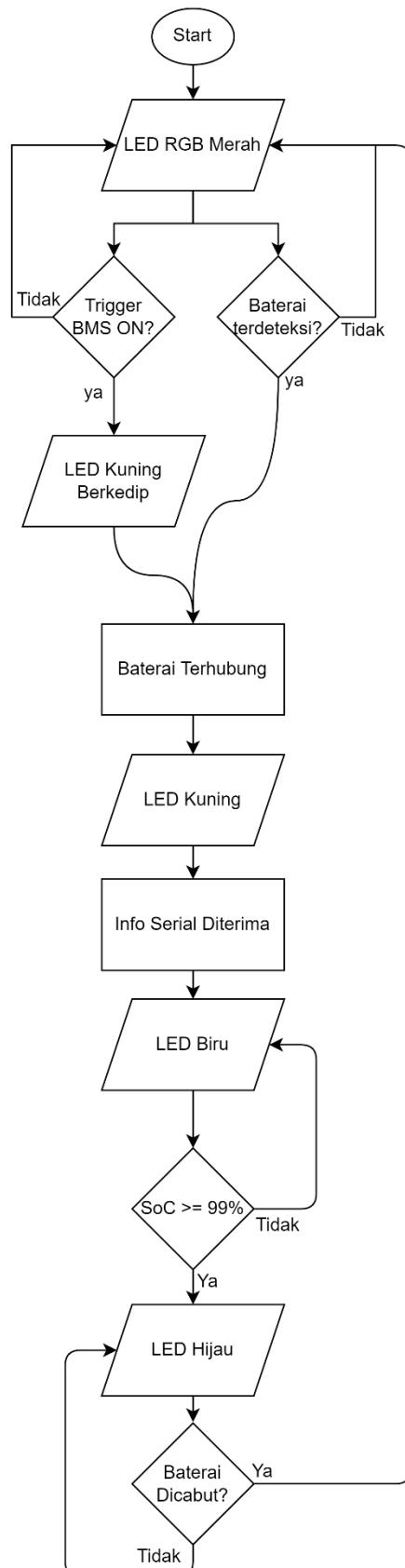
**Gambar 1.9.4 State diagram subblok interface komunikasi baterai**

Pada Gambar 1.9.4 dapat dilihat state diagram dari subblok interface komunikasi baterai yang terdapat didalam subsistem interface. State awal dari subblok ini berada di state idle, yang akan berpindah ke state selanjutnya berdasarkan perubahan status tercoloknya baterai dari 0 ke 1. Perubahan status tersebut dapat terjadi apabila terdapat dua kondisi yang terpenuhi. Kondisi pertama adalah button yang terdapat pada subblok deteksi baterai ditekan. Penekanan tersebut dilakukan oleh *battery pack* itu sendiri. Kondisi kedua adalah tegangan yang terdeteksi oleh subsistem sensing, khususnya pada subblok deteksi tegangan baterai. Kondisi kedua akan terpenuhi apabila tegangan yang terbaca berada di kisaran 47 V hingga 68 V.

Setelah terjadi perubahan status tercoloknya baterai, subblok ini akan mengirim serial command untuk mendapatkan parameter baterai. Melalui komunikasi serial, terdapat set command yang dapat dikirimkan oleh subsistem kontroler melalui subblok ini menuju BMS yang terdapat pada *battery pack*. Set command ini berperan pula sebagai *tester* apakah komunikasi serial sudah dapat dilakukan antara BMS dengan produk ini. Bila sudah berhasil, maka subblok ini akan memberi set command untuk mengubah mode *battery pack* menjadi charging.

Namun, pada kasus parameter *battery pack* belum diterima oleh subblok ini, terdapat kemungkinan bahwa *battery pack* sudah mati total, sehingga BMS yang terdapat pada *battery pack* tersebut tidak memiliki daya yang cukup untuk beroperasi. Untuk itu, subblok ini dapat mengirimkan informasi ke subsistem kontrol bahwa parameter belum dapat diterima, sehingga subsistem kontrol dapat memerintahkan subsistem charger untuk mengeluarkan output sebesar 68V sebagai sumber daya sementara ke BMS agar mode baterai dapat diubah menjadi charging.

### 1.9.2.3 Flowchart

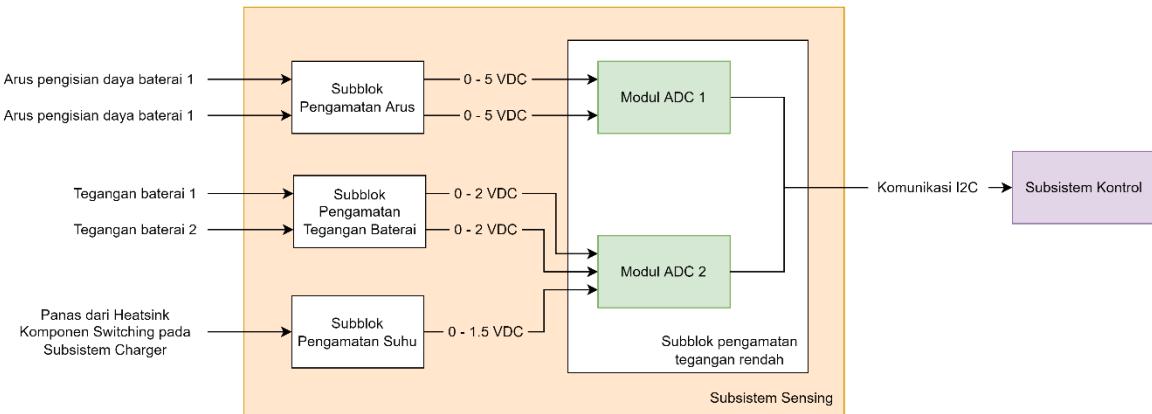


Gambar 1.9.5 Flowchart Subsistem Interface

Gambar 1.9.5 di atas menunjukkan flowchart subsistem Interface. Subsistem interface akan dimulai ketika sub-sistem kontrol mendapat daya dan mengalirkan dayanya ke LED sebagai penanda state output.

### 1.9.3 Subsistem Sensing

#### 1.9.3.1 Data Flow Diagram



**Gambar 1.9.6 Data flow diagram dari subsistem sensing**

Subblok pengamatan arus terdiri atas dua sensor arus yang berperan untuk mendeteksi besar arus pengisian daya pada baterai slot 1 dan slot 2. Pembacaan arus dilakukan menggunakan sensor berbasis *hall effect* yang dapat memberi output tegangan analog dari 0 – 5V yang berhubungan secara linear terhadap besar arus, dan kemudian dibaca oleh subblok pengamatan tegangan rendah.

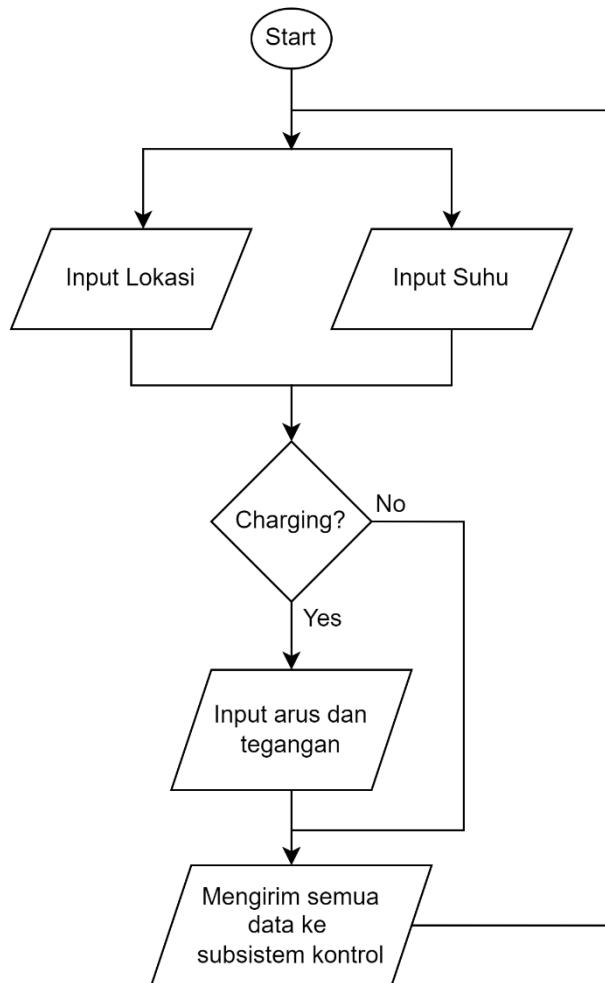
Kemudian, subblok pengamatan tegangan baterai terdiri atas dua voltage divider dengan resistansi tinggi, yang masing masing bertugas untuk membaca tegangan baterai slot 1 dan slot 2. Kombinasi nilai resistor telah dipilih agar output tegangan subblok ini berada di rentang 0 hingga 2 V, sehingga selanjutnya dapat dibaca oleh subblok pengamatan tegangan rendah.

Selanjutnya, subblok pengamatan suhu bertugas untuk mengambil sample suhu dari komponen switching yang terdapat pada subsistem charger. Outputnya berupa tegangan analog berkisar antara 0 hingga 1.5 V sesuai peningkatan suhu yang terdeteksi.

Subblok pengamatan tegangan rendah terdiri atas dua modul ADC eksternal yang masing masing memiliki 4 buah *channel* input. Modul ADC pertama akan bertugas untuk membaca tegangan output dari subblok pengamatan arus. Subblok pengamatan suhu dan subblok pengamatan tegangan baterai akan dibaca oleh modul ADC kedua. Selain karena keterbatasan channel input (hanya 4 *channel* per modul), penggunaan modul ADC terpisah ini dilakukan karena setiap modul ADC dapat diatur untuk memiliki gain input. Output dari subblok pengamatan suhu dan tegangan baterai akan diamplifikasi menggunakan penguat sinyal internal dari modul ADC sehingga tidak diperlukan Op Amp instrumentasi tambahan. Kedua modul ADC ini kemudian mengirimkan data yang terbaca ke subsistem kontrol melalui protokol I2C.

### 1.9.3.2 Flowchart

Subsistem sensing berfungsi untuk mengetahui suhu, kelembapan, dan lokasi dari charger. Data yang diperoleh dari subsistem sensing kemudian akan dikirim ke subsistem kontrol untuk selanjutnya diolah menjadi suatu operasi. Flowchart dari subsistem sensing ini dapat dilihat pada Gambar 1.9.7 dibawah ini.

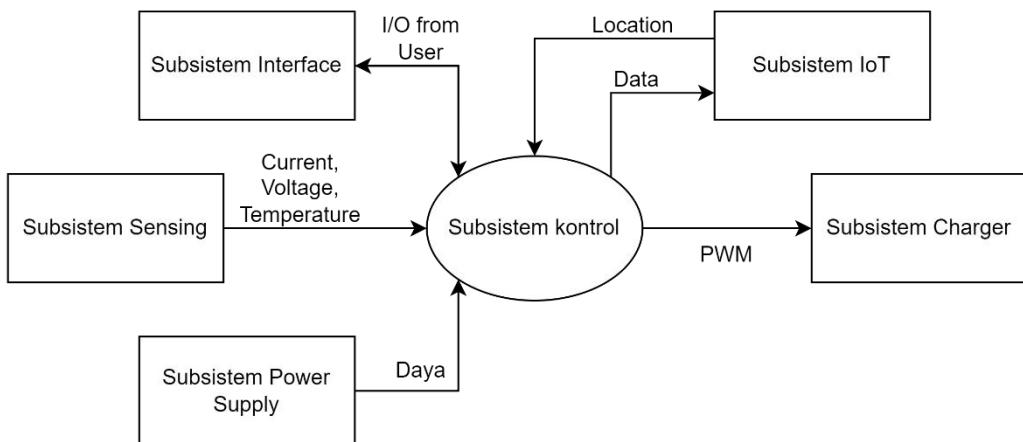


Gambar 1.9.7 Flowchart Subsistem Sensing

Proses yang dilakukan pada subsistem sensing ini cukup sederhana yaitu hanya mengambil data lokasi dan suhu lalu mengirimkannya ke subsistem kontrol. Jika sedang dilakukan pengisian daya maka subsistem sensing akan mengambil data arus dan tegangan dari subsistem charger lalu mengirimkannya ke subsistem kontrol.

## 1.9.4 Subsistem Kontrol

### 1.9.4.1 Data Flow Diagram



**Gambar 1.9.8 Data Flow Diagram Subsistem Kontrol**

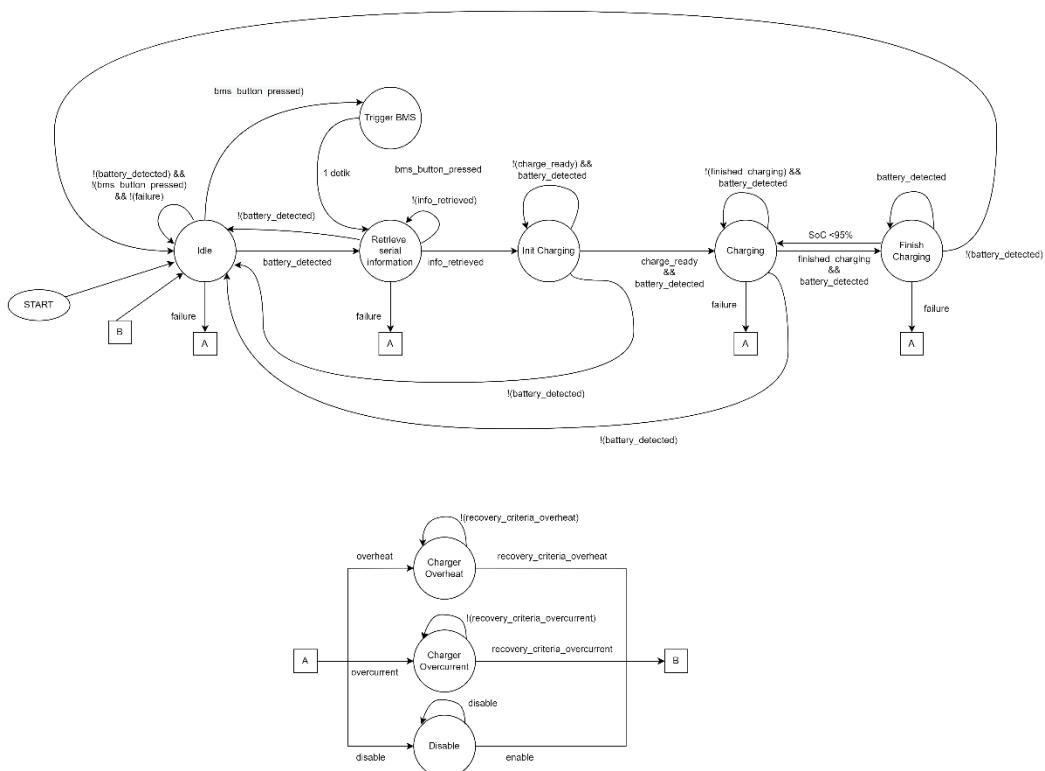
Subsistem kontrol bertugas untuk mengintegrasikan subsistem lainnya sehingga dapat bekerja bersama. Penjelasan mendetail dari hubungan subsistem kontrol dengan subsistem lainnya dapat dilihat pada Tabel 1.9.2 berikut ini.

**Tabel 1.9.2 Hubungan subsistem kontrol dengan subsistem lainnya**

Subsistem	Rincian
Subsistem Interface	<p>Terdapat tiga koneksi antara subsistem kontrol dengan subsistem interface, yaitu sebagai input, output, dan komunikasi UART.</p> <p>Input subsistem Interface berupa 3 push button, 2 toggle, dan 2 switch detector pada dudukan baterai.</p> <p>Output subsistem interface berupa 2 LED RGB sebagai penanda state charger.</p> <p>Komunikasi UART antara BMS dengan Charger juga dilakukan melalui subsistem ini.</p>
Subsistem Sensing	<p>Terdapat tiga sensor yang akan digunakan pada subsistem sensing ini. Ketiga sensor tersebut akan dikirimkan ke subsistem kontrol untuk selanjutnya dikirimkan ke subsistem IoT untuk dikirimkan ke database.</p> <p>Sensor pertama yaitu sensor suhu. Sensor suhu berfungsi untuk mengetahui suhu mosfet.</p> <p>Sensor kedua yaitu sensor arus. Sensor arus akan menjadi feedback kepada kontrol PI pada subsistem kontrol.</p> <p>Sensor ketiga yaitu yaitu sensor tegangan. Sensor tegangan tersebut juga berfungsi sebagai sensor feedback untuk subsistem charger.</p>
Subsistem Power Supply	Subsistem ini akan menyuplai daya untuk subsistem kontrol dengan rating tegangan 5V.

Subsistem IoT	Subsistem IoT memiliki 2 koneksi dengan subsistem kontrol yaitu sebagai penanda lokasi serta untuk mengunggah data yang telah dikumpulkan ke database. Untuk mendapatkan lokasi, subsistem kontrol akan mengirimkan perintah untuk mendeteksi dari tower sinyal mana data dikirimkan. Dengan itu lokasi charger akan dapat diketahui.
Subsistem Charger	Subsistem kontrol menerima feedback dari subsistem sensing untuk selanjutnya informasi tersebut diubah menjadi sinyal PWM untuk subsistem charger.

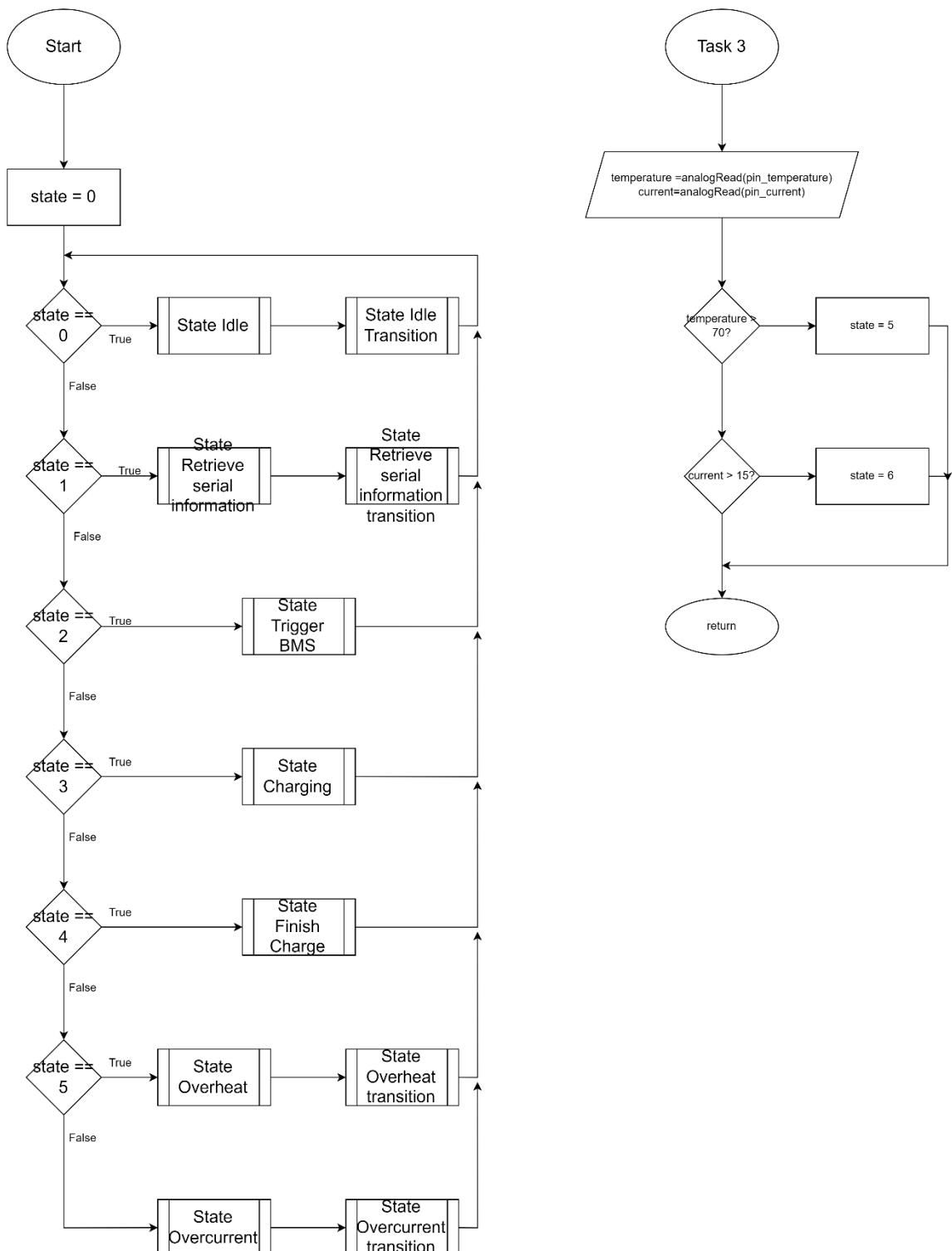
#### 1.9.4.2 State Diagram



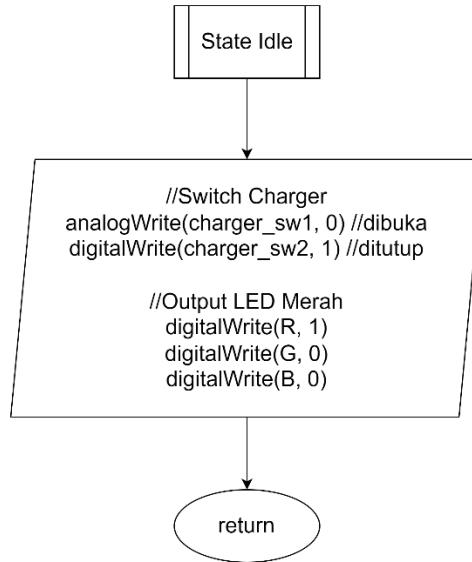
Gambar 1.9.9 State diagram subsistem kontrol

#### 1.9.4.3 Flowchart

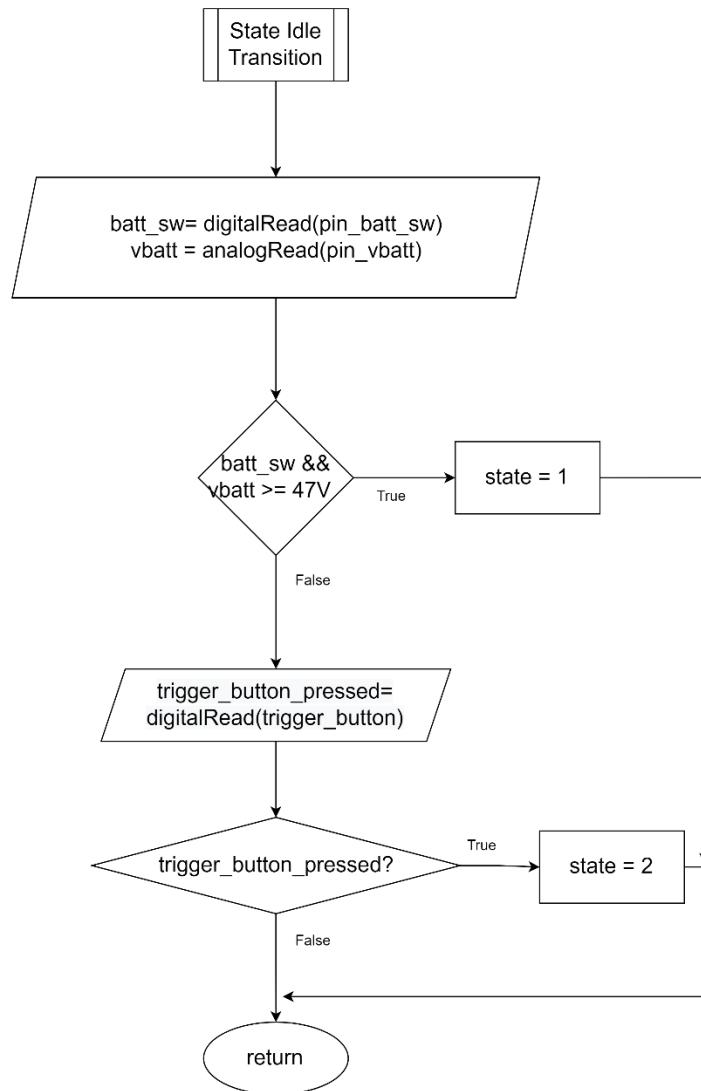
Pemrograman mikrokontroler akan berbasis FreeRTOS, dimana terdapat task untuk mengelola baterai sebelah kiri dan task untuk mengelola baterai sebelah kanan. Kedua task memiliki flowchart yang sama. Perbedaan kedua task hanya pada pin input dan output yang digunakan. Di bawah ini merupakan flowchart dari satu task.



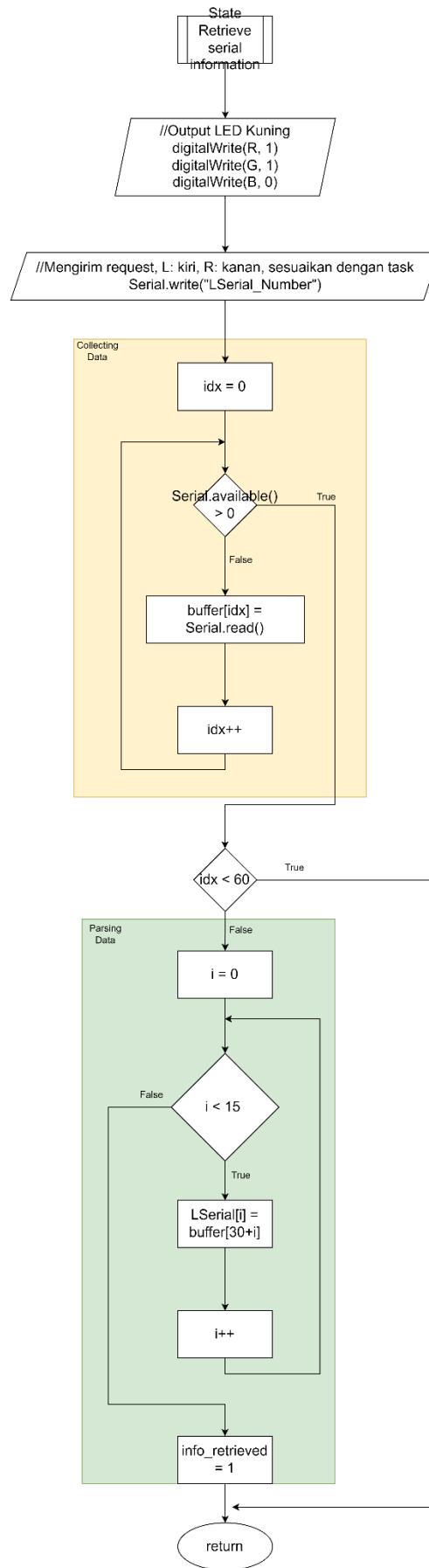
**Gambar 1.9.10 Flowchart Subsistem Kontrol Keseluruhan**



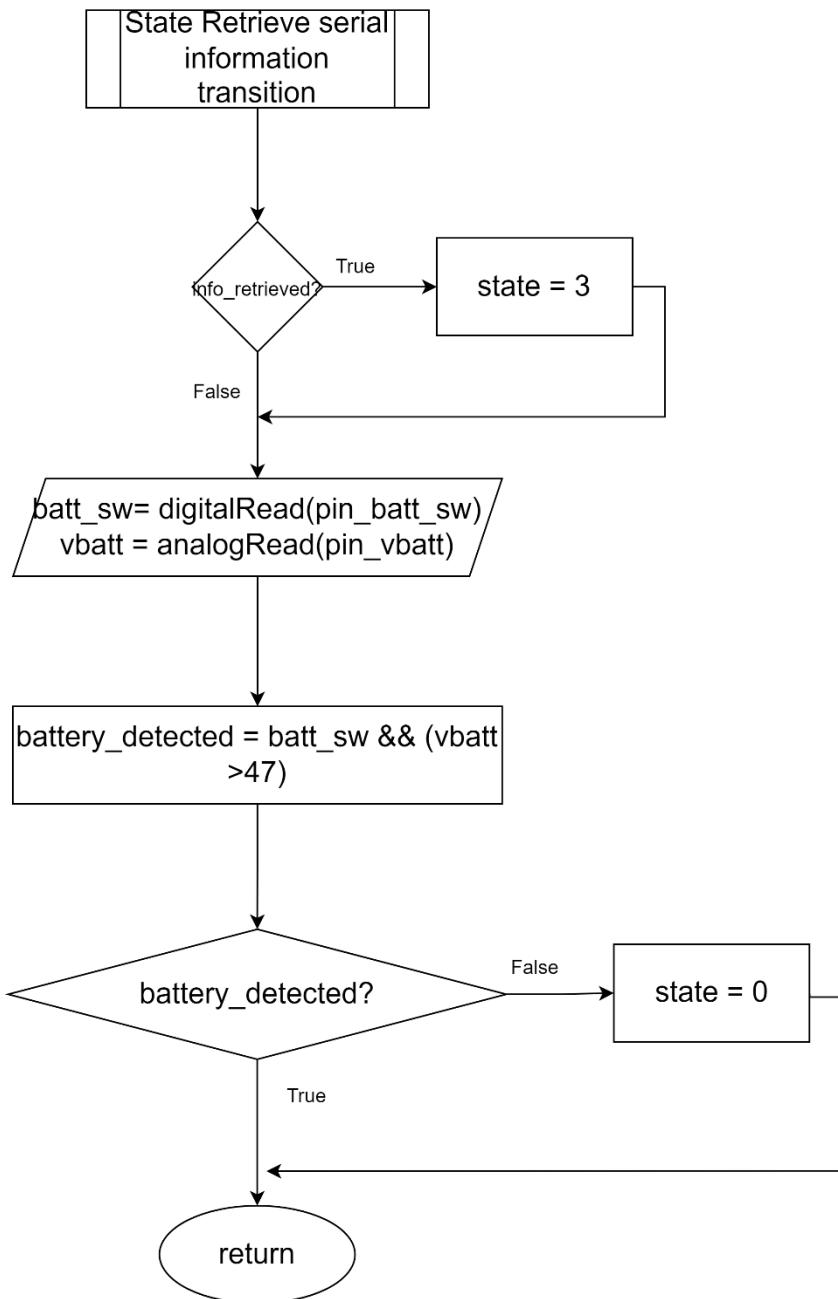
**Gambar 1.9.11 Flowchart Subsistem Kontrol pada State Idle**



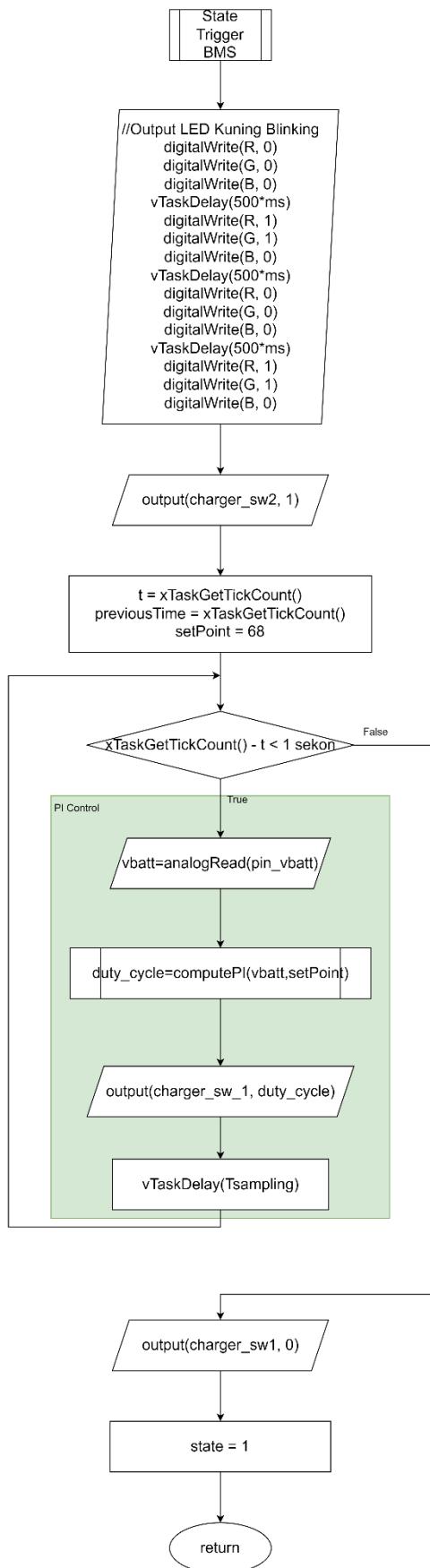
**Gambar 1.9.12 Flowchart State Idle Transition pada Subsistem Kontrol**



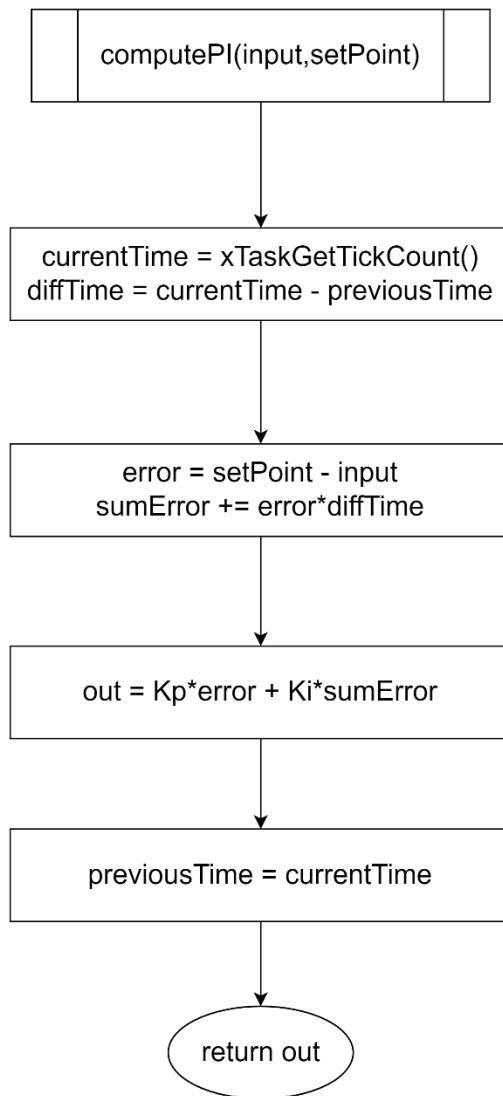
**Gambar 1.9.13 Flowchart Subsistem Kontrol pada State Retrieve Serial Information**



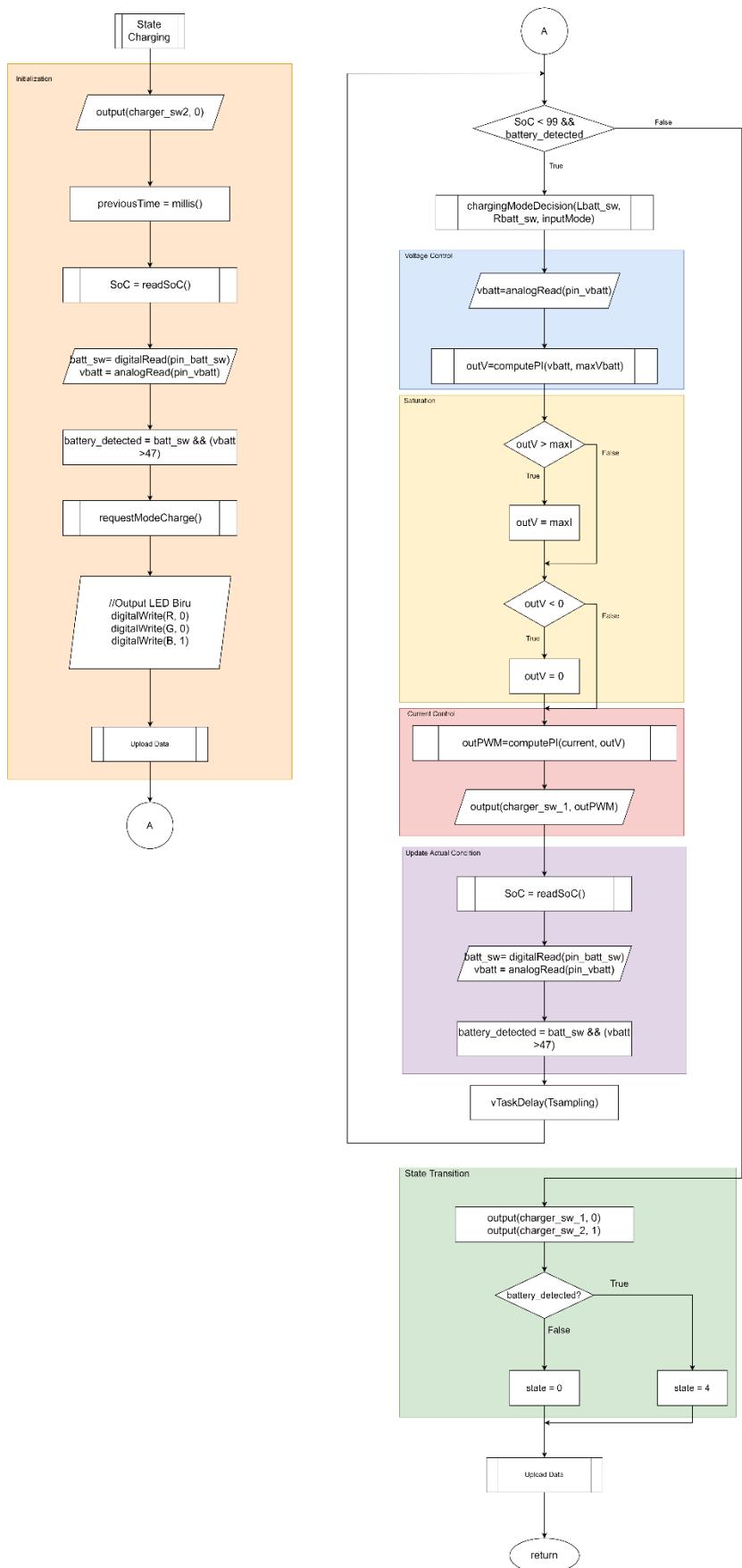
**Gambar 1.9.14 Flowchart State Retrieve Serial Information pada Subsistem Kontrol**



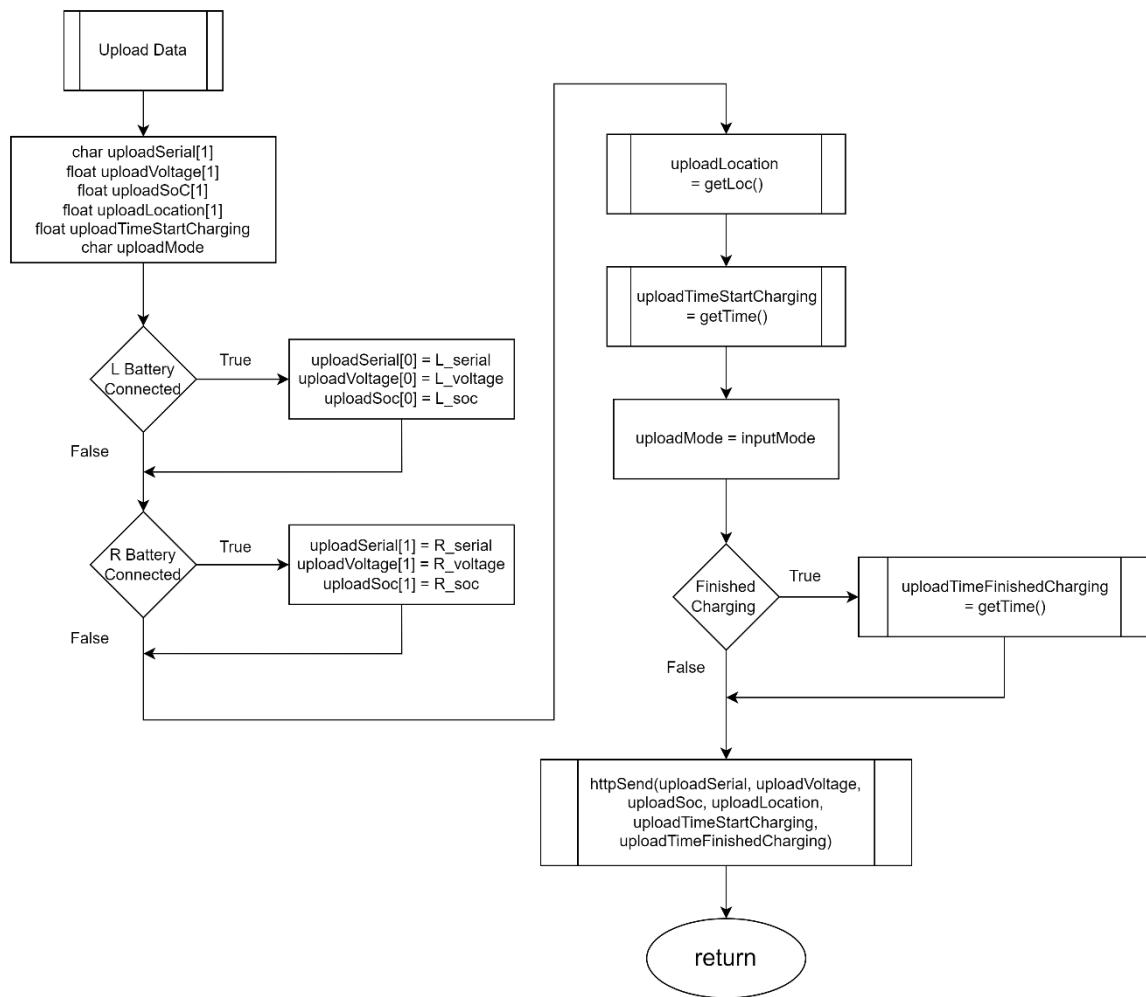
**Gambar 1.9.15 Flowchart Subsistem Kontrol pada State Trigger BMS**



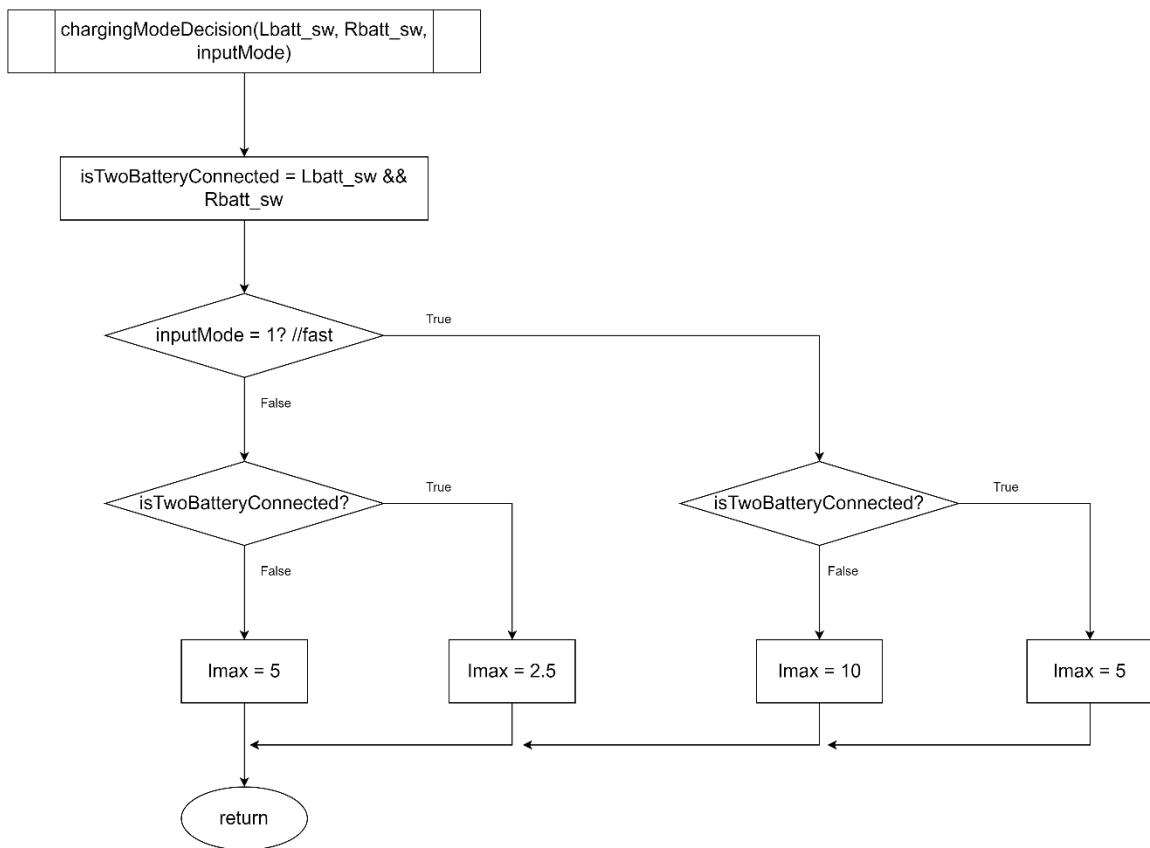
**Gambar 1.9.16 Flowchart Fungsi ComputePI**



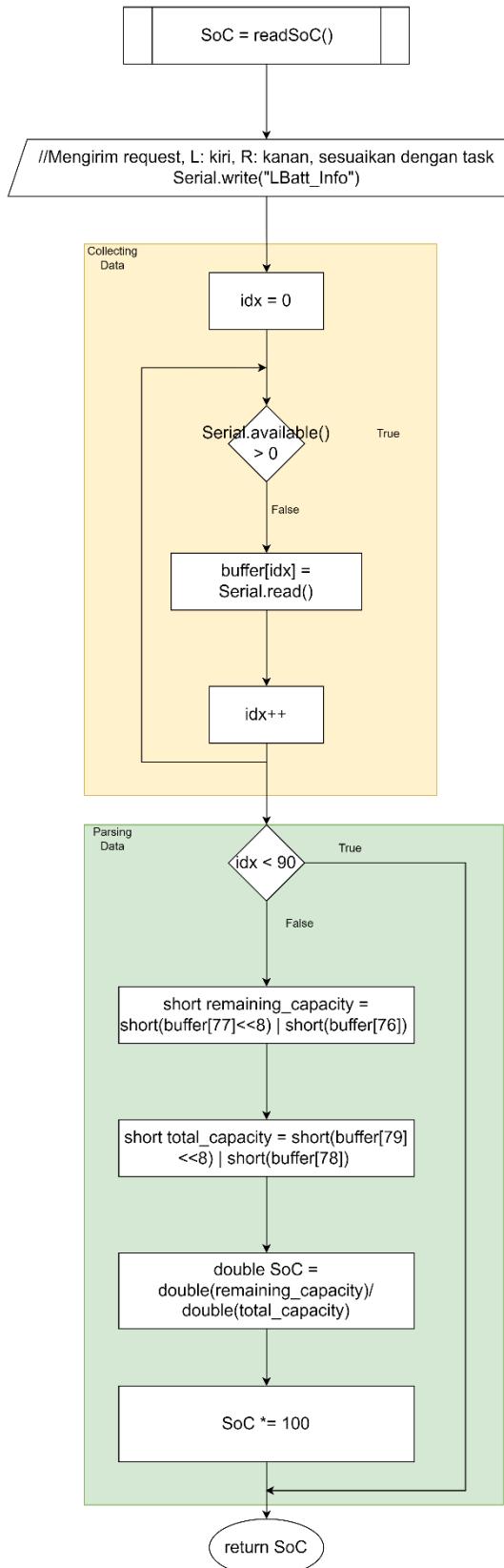
**Gambar 1.9.17 Flowchart Subsistem Kontrol pada State Charging**



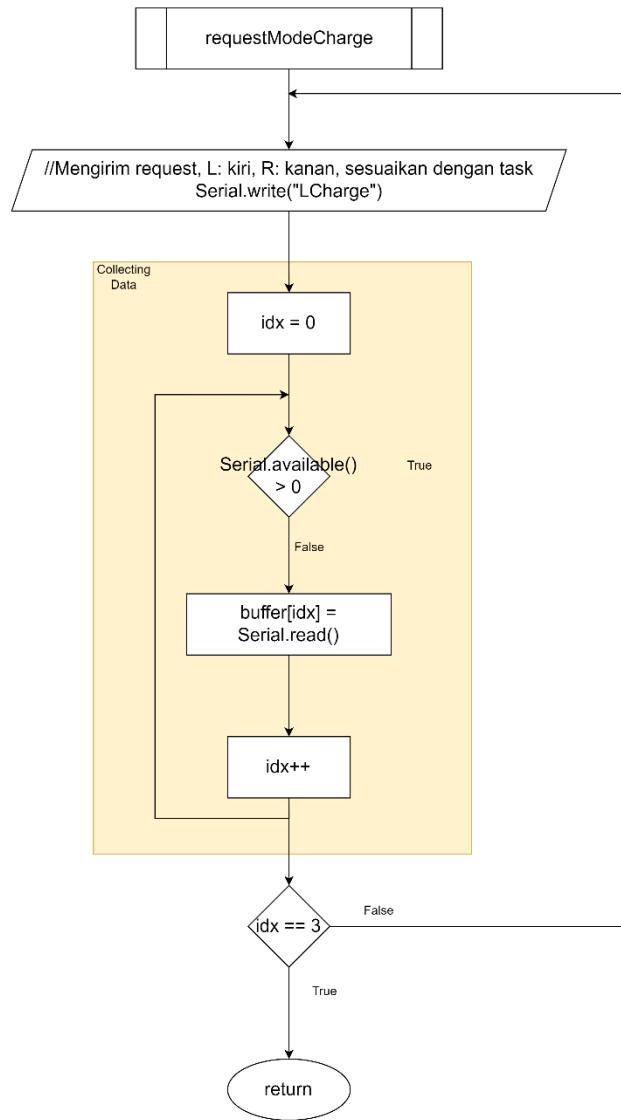
**Gambar 1.9.18 Flowchart UploadData pada State Charging**



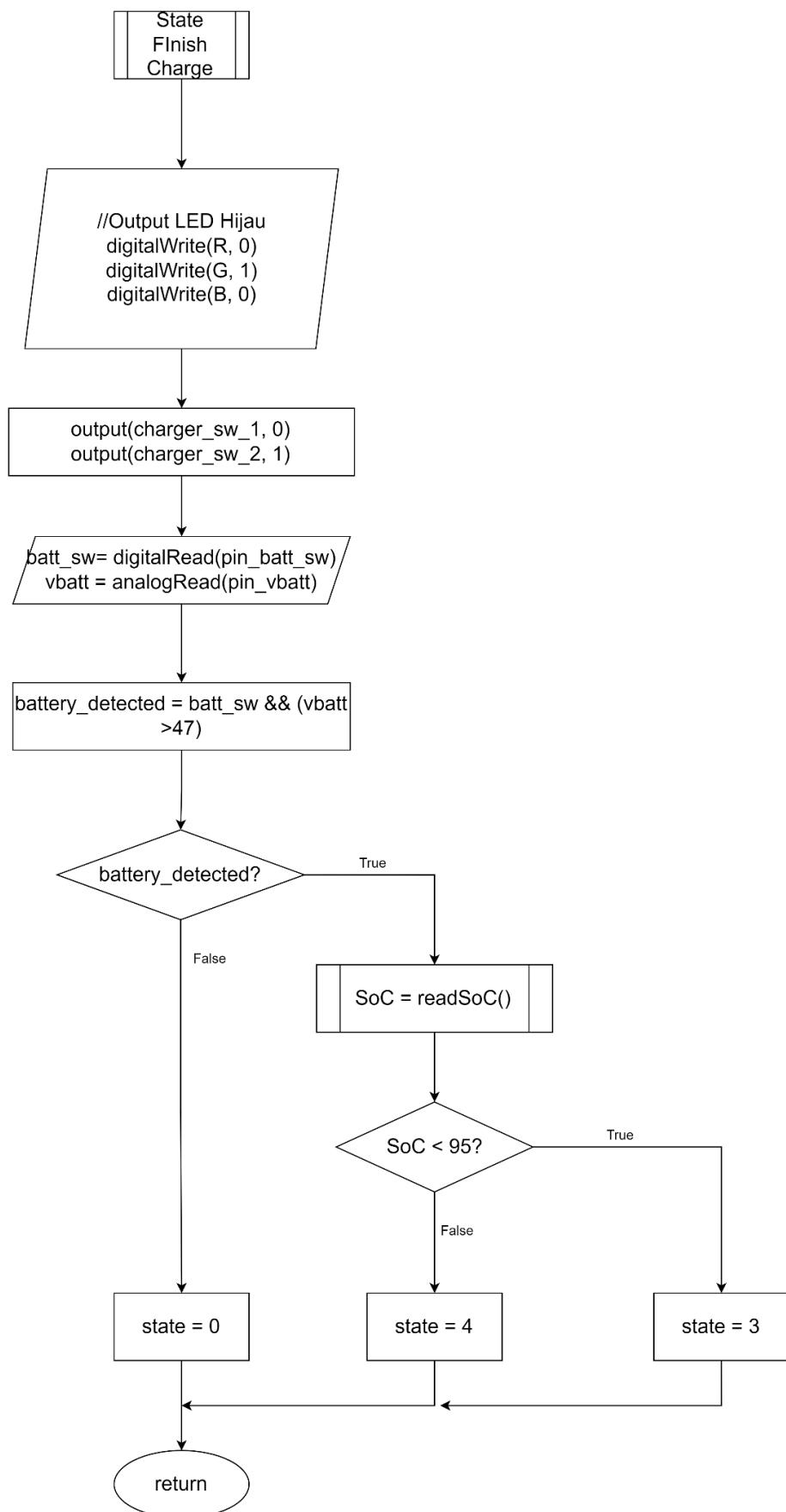
**Gambar 1.9.19 Flowchart Fungsi chargingModeDecision pada State Charging**



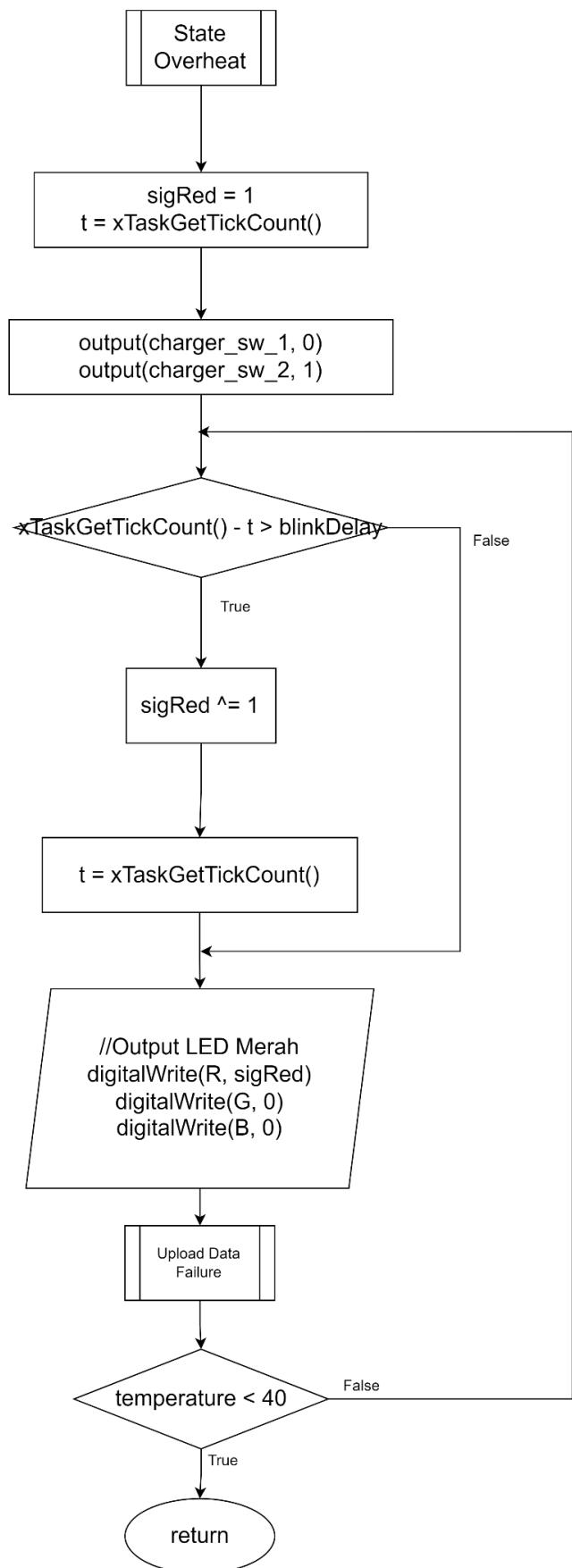
**Gambar 1.9.20 Flowchart Fungsi readSoC() pada State Charging**



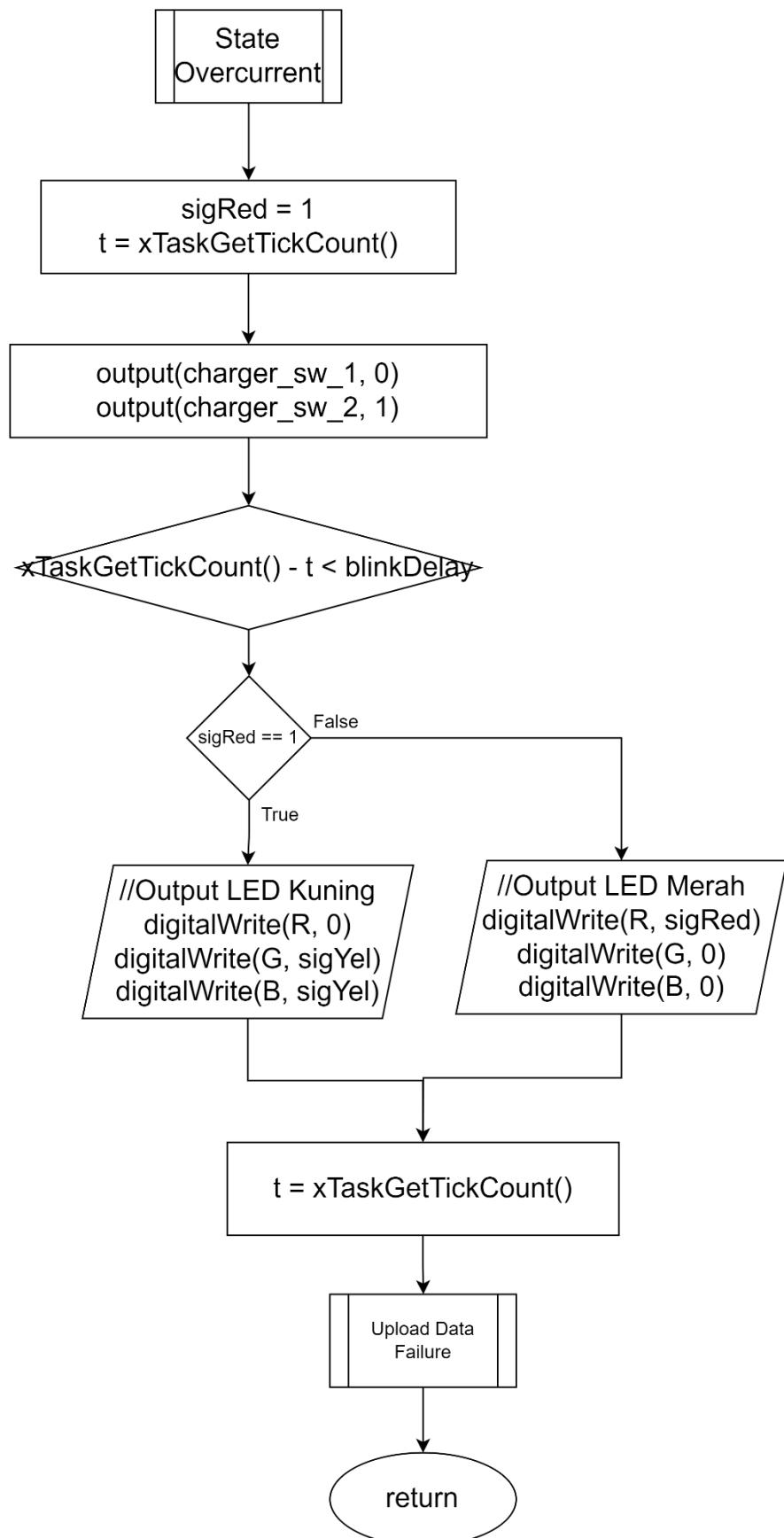
**Gambar 1.9.21 Flowchart Fungsi requestModeCharge() pada State Charging**



**Gambar 1.9.22 Flowchart Subsistem Kontrol pada State Finish Charge**



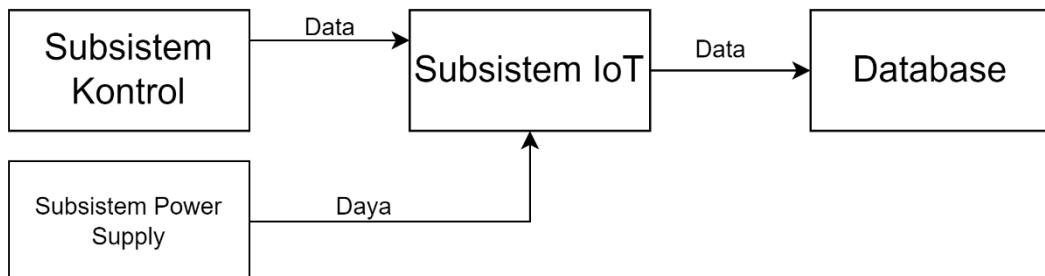
**Gambar 1.9.23 Flowchart Subsistem Kontrol pada State Charger Overheat**



**Gambar 1.9.24 Flowchart Subsistem Kontrol pada State Charger Overcurrent**

## 1.9.5 Subsistem IoT

### 1.9.5.1 Data Flow Diagram

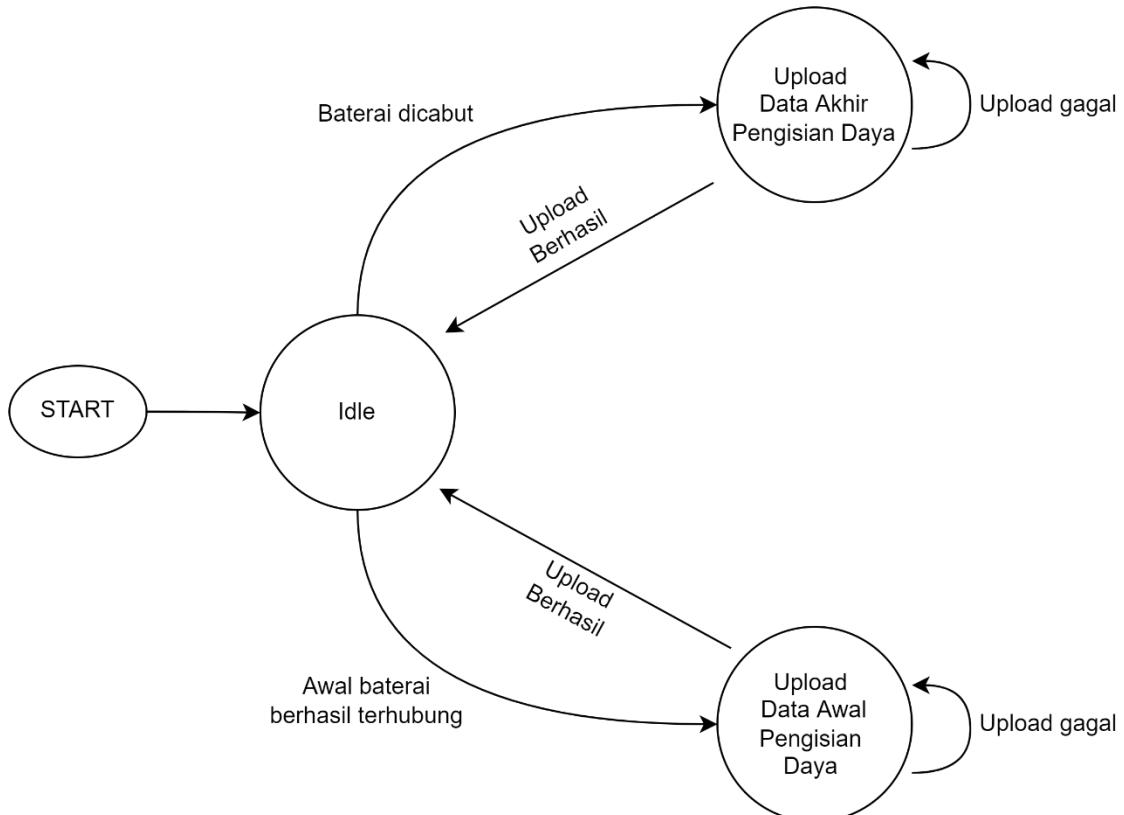


Gambar 1.9.25 Data Flow Diagram Subsistem IoT

Subsistem IoT terhubung dengan subsistem kontrol dan database. Subsistem kontrol menerima daya dari subsistem power supply berupa tegangan 5v dan arus 2,5A. Arus sebesar 2,5A hanya dibutuhkan ketika mode burst. Mode burst yaitu mode ketika subsistem IoT sedang mencari sinyal untuk mentransmisikan data. Namun pada sleep mode, daya yang dibutuhkan oleh subsistem IoT tidak mencapai 10W.

Komunikasi yang dilakukan oleh subsistem IoT dan subsistem kontrol dilakukan menggunakan komunikasi UART. Komunikasi tersebut hanya membutuhkan dua pin untuk mengirim dan menerima data.

### 1.9.5.2 State Diagram

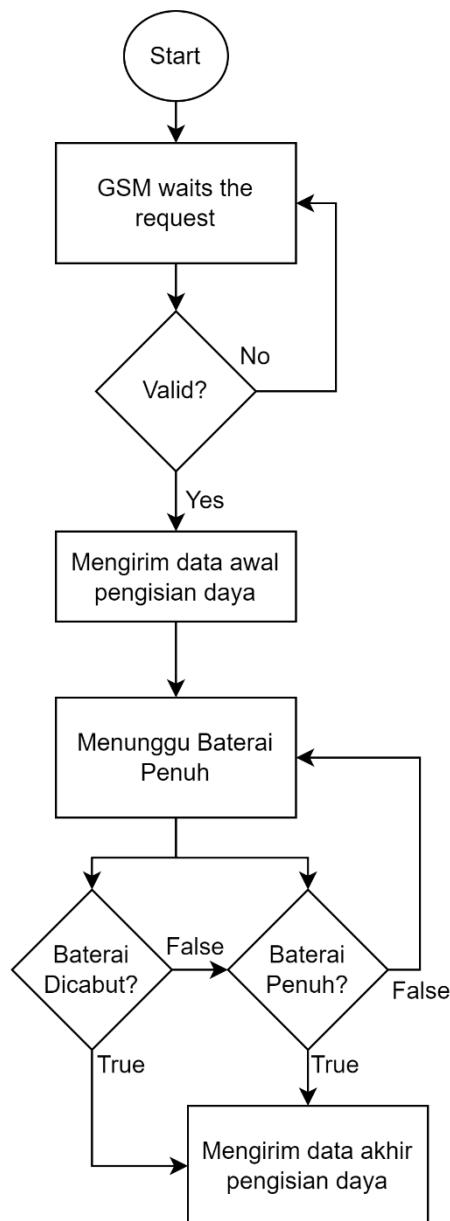


Gambar 1.9.26 State Diagram Subsistem IoT

Ketika baterai belum terdeteksi, subsistem IoT akan berada pada mode Idle hingga baterai dihubungkan. Lalu ketika baterai terhubung dan subsistem charger akan melakukan pengisian daya, subsistem IoT akan mengupload data awal pengisian daya. Jika pengiriman data awal ini gagal, subsistem IoT akan terus mencoba mengupload data awal hingga berhasil. Data awal yang dikirimkan oleh subsistem IoT yaitu nomor serial baterai, waktu awal pengecasan, SoC baterai, dan lokasi.

### 1.9.5.3 Flowchart

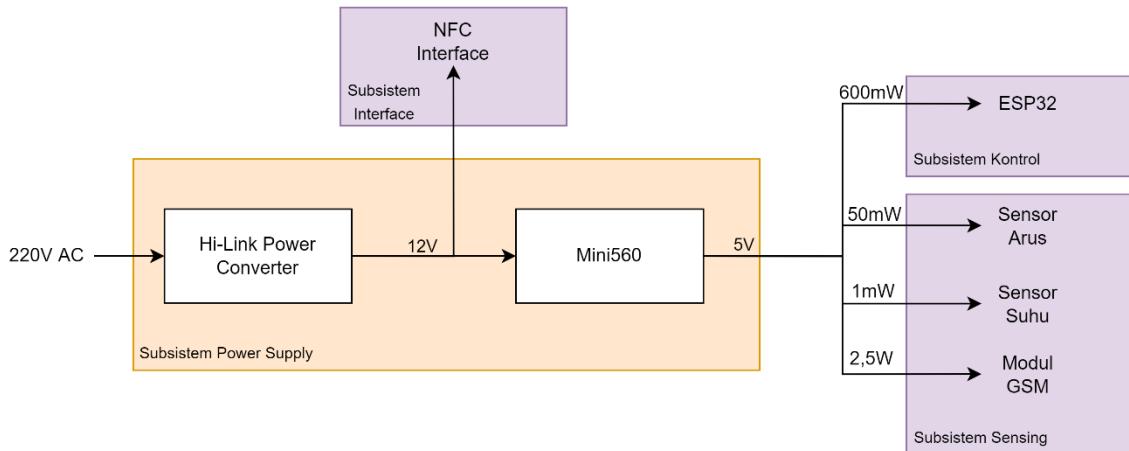
Subsistem IoT berfungsi untuk mengirim data ke database. Data yang dikirimkan oleh subsistem IoT yaitu lokasi dan log proses pengisian daya. Data-data tersebut diambil dari subsistem kontrol dan subsistem sensing. Flowchart dari subsistem IoT ini dapat dilihat pada Gambar 1.9.27 dibawah ini.



Gambar 1.9.27 Flowchart Subsistem IoT

## 1.9.6 Subsistem Power Supply

### 1.9.6.1 Power Flow Diagram



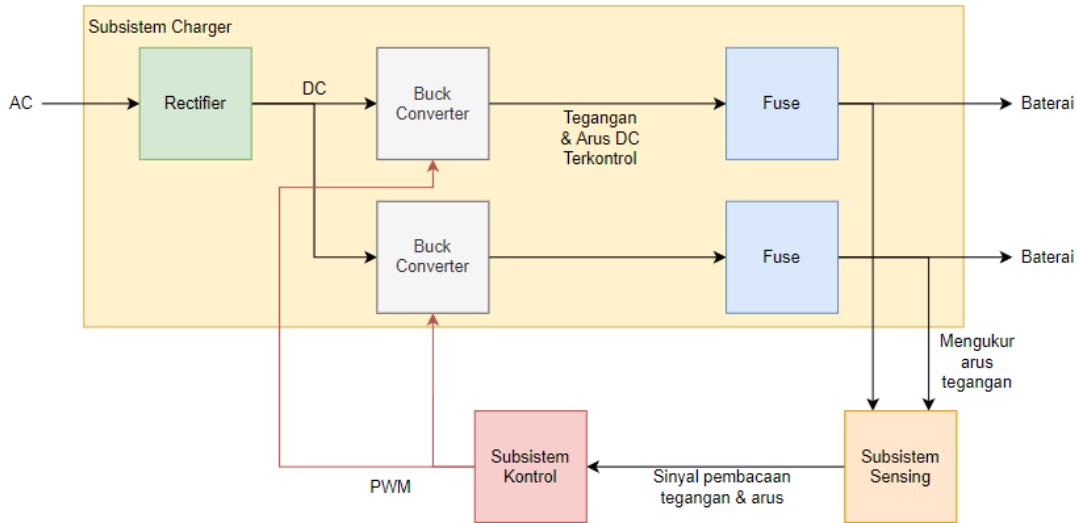
Gambar 1.9.28 Power Flow Diagram Subsistem Power Supply

Subsistem power supply berfungsi untuk mengubah tegangan AC 220V menjadi tegangan DC yang sesuai untuk subsistem lainnya, yaitu 12V untuk NFC pada subsistem interface dan 5V untuk subsistem lainnya. Untuk mengubah tegangan AC 220V ke DC 12V digunakan power converter 20W bermerek Hi-Link. Nilai 20W tersebut dipilih berdasarkan daya yang dibutuhkan oleh seluruh subsistem lainnya. Daya yang dibutuhkan oleh seluruh subsistem dapat dilihat pada Tabel 1.8.18.

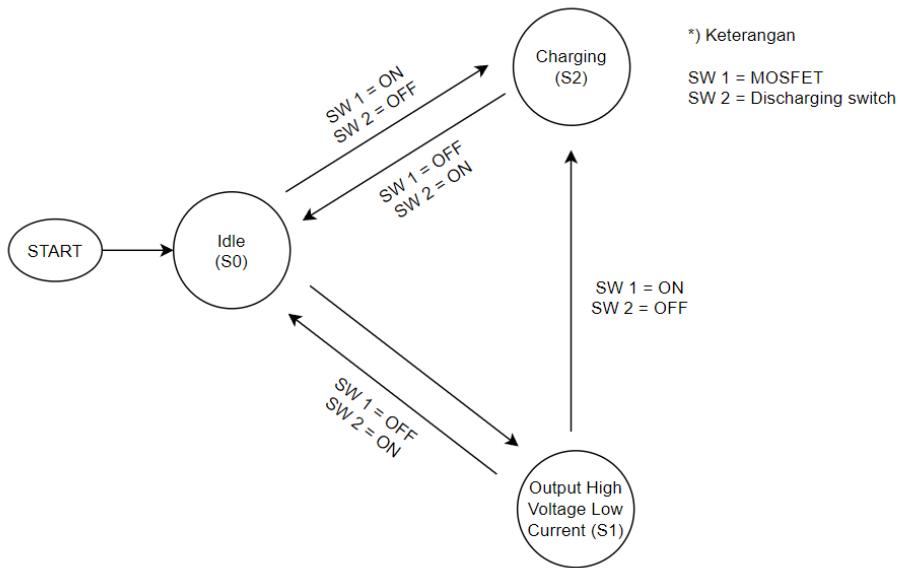
Selanjutnya dari tegangan DC 12V tersebut akan diubah kembali menjadi tegangan DC 5V. tegangan DC 5V diperlukan oleh subsistem kontrol, sensing, dan IoT. Digunakan DC-DC converter berdaya 15W untuk menyuplai daya ke tiga subsistem tersebut. Nilai 15W tersebut dipilih berdasarkan Tabel 1.8.18 pada bagian sebelumnya. Daya yang diserap oleh masing-masing subsistem dapat dilihat pada Gambar 1.9.28 diatas.

## 1.9.7 Subsistem Charger

### 1.9.7.1 Data Flow Diagram



### 1.9.7.2 State Diagram



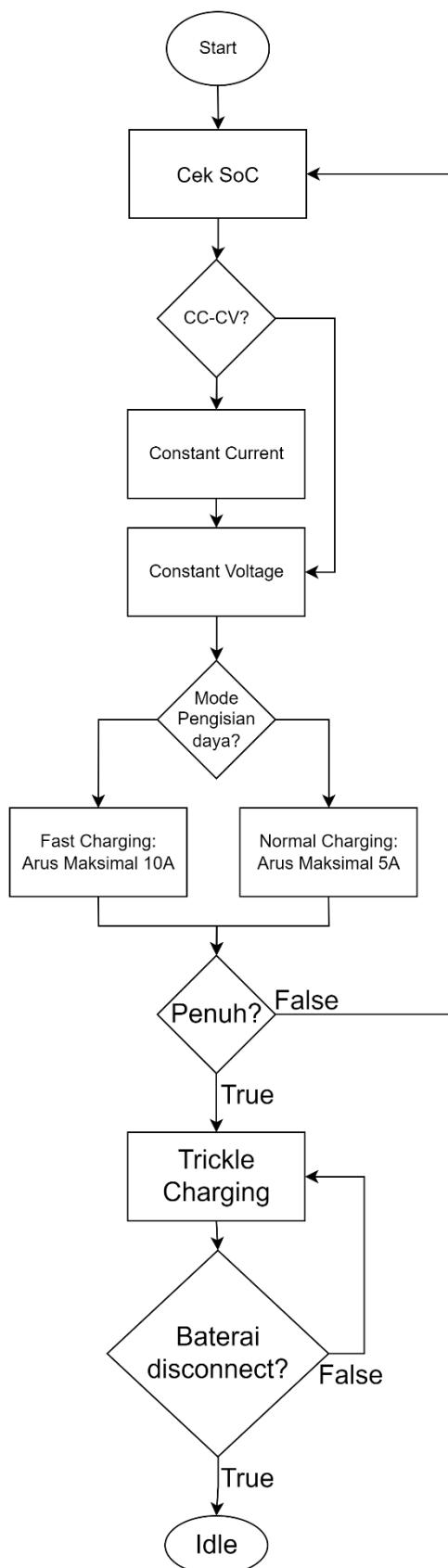
Gambar 1.9.29 State diagram subsistem charger

Secara umum, state diagram dari subsistem charger yang terdapat pada Gambar 1.9.29 menunjukkan perilaku subsistem charger dari segi output arus dan tegangannya. Subsistem charger pada dasarnya hanya menerima input berupa PWM saja, semua kontrol dan parameter yang dideskripsikan pada gambar tersebut dilakukan oleh subsistem kontrol. Subsistem kontrol dibantu dengan subsistem lain (interface dan sensing) untuk menentukan kriteria perpindahan state. Untuk deskripsi perubahan state, hanya digunakan kondisi SW1 dan SW2 yang diubah melalui subsistem kontrol. SW1 merupakan MOSFET yang digunakan sebagai komponen switching, dan S2 merupakan discharging switch yang ketika dalam kondisi ON, dapat membuang muatan sisa yang ada di kapasitor.

Pertama, subsistem charger berada pada state idle (S0), dimana kondisi SW1 OFF dan SW2 ON. SW1 OFF melambangkan tidak ada sinyal PWM yang diberikan ke subsistem charger, sehingga output dari subsistem charger adalah 0 V dan 0 A. Apabila subsistem kontrol mendapat informasi bahwa terdapat baterai yang terhubung (secara mekanik melalui switch yang diletakkan di dudukan baterai), maka subsistem kontrol akan mengubah state SW1 menjadi ON dan SW2 menjadi OFF, sehingga charger akan masuk ke state S2. Dalam kasus ini, nilai ON pada SW1 bukan berarti konstan berada pada kondisi ON, melainkan terdapat sinyal PWM yang diberikan ke SW1, sehingga SW1 bekerja sebagai komponen switching pada buck converter.

Namun, pada kasus informasi SoC tidak / belum dimiliki oleh subsistem kontrol, terdapat kemungkinan bahwa subsistem interface belum dapat berkomunikasi dengan BMS yang ada pada *battery pack*. Hal ini dapat disebabkan karena komunikasi serial yang lambat. Kemungkinan kedua adalah *battery pack* yang tercolok sudah *terdischarge* terlalu jauh, sehingga tidak ada daya yang tersisa untuk menyalakan BMS. Untuk kondisi kemungkinan kedua, subsistem kontrol akan menunggu user menekan tombol override BMS yang terdapat pada subsistem interface. Bila sudah ditekan, subsistem kontrol akan mengubah kondisi SW1 dan SW2 menjadi ON, sehingga charger masuk ke state S1 dan dapat mengeluarkan tegangan 68V sebagai sumber daya sementara bagi BMS. Discharging switch perlu masuk ke kondisi ON saat state S2 ini, karena pada kondisi BMS yang mati, battery pack tidak bertindak sebagai load. Sehingga diperlukan resistor discharge untuk bertindak sebagai load, agar tegangan dapat dijaga di 68 V.

### 1.9.7.3 Flowchart



**Gambar 1.9.30 Flowchart Subsistem Charger**

Subsistem charger merupakan inti dari keseluruhan sistem charger ini. Subsistem charger menerima daya dari subsistem pemutus daya. Output dari subsistem charger diatur melalui subsistem kontrol dengan menggunakan sinyal PWM. Output dari subsistem akan langsung dikirimkan ke baterai. Flowchart dari subsistem charger ini dapat dilihat pada Gambar 1.9.30 diatas.

Tegangan pada mode mode fast charging dan normal charging memiliki nilai yang sama. Namun arus pada normal charging hanya setengah dari fast charging. Pengaturan arus dilakukan oleh kontrol kendali PI.

## Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan pada setiap sub-blok sistem. Pengujian bertujuan untuk memastikan bahwa sistem dan subsistem bekerja/berfungsi sesuai rancangan.

### 1.10 Pengujian Subsistem Interface

Metode Pengujian	Pengujian dilakukan dengan mengamati apakah input interface dapat diterima dengan benar dan dapat mengeluarkan output dengan tepat.
Prosedur Pengujian	<ul style="list-style-type: none"><li>- Mengirimkan sinyal nyala LED merah, hijau, dan biru</li><li>- Menekan setiap button dan mengecek apakah sinyal input tegangan masuk atau tidak</li><li>- Mengirim perintah request informasi dari BMS baterai</li><li>- Menguji masukan daya jala-jala menggunakan multimeter</li></ul>

### 1.11 Pengujian Subsistem Sensing

#### 1.11.1 Suhu

Metode Pengujian	Pengujian subsistem ini dilakukan dengan melakukan pembacaan pada sensor suhu, lalu membandingkannya dengan hasil pengukuran secara langsung pada mosfet menggunakan thermometer.
Prosedur Pengujian	<ul style="list-style-type: none"><li>- Membaca sinyal keluaran sensor suhu dengan mikrokontroller dan membandingkannya dengan termometer</li></ul>

#### 1.11.2 Arus

Metode Pengujian	Pengujian subsistem ini dilakukan dengan melakukan pembacaan pada sensor arus dengan menggunakan dummy resistor dan sumber tegangan tertentu.
Prosedur Pengujian	<ul style="list-style-type: none"><li>- Memberikan tegangan tertentu pada sebuah resistor</li><li>- Menghitung arus secara teori dengan menggunakan hukum Ohm</li><li>- Membaca arus yang terbaca dari subsistem sensing dengan mikrokontroller dan membandingkannya dengan hasil pembacaan multimeter</li></ul>

#### 1.11.3 Tegangan

Metode Pengujian	Pengujian subsistem ini dilakukan dengan melakukan pembacaan pada tegangan charger menggunakan rangkaian pembagi tegangan.
Prosedur Pengujian	<ul style="list-style-type: none"><li>- Membaca tegangan keluaran power supply variabel dari subsistem sensing dengan mikrokontroller dan</li></ul>

	membandingkannya dengan hasil pembacaan multimeter
--	--

### 1.12 Pengujian Subsistem Kontrol

Metode Pengujian	Metode pengujian subsistem kontrol dilakukan dengan mengsinkronisasi subsistem kontrol dengan subsistem lainnya. Pengujian dilakukan dengan memastikan komunikasi subsistem kontrol dengan subsistem lainnya dapat beroperasi dengan seharusnya.
Prosedur Pengujian	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengamati output dari subsistem lainnya berdasarkan state tertentu dan membandingkannya dengan output yang diharapkan</li> </ul>

### 1.13 Pengujian Subsistem IoT

Metode Pengujian	Pengujian subsistem IoT ini dilakukan dengan melakukan pengiriman data ke database dalam ruang terbuka maupun ruang tertutup
Prosedur Pengujian	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Memastikan semua data yang dikirimkan diterima oleh server</li> <li>- Melakukan pengiriman data di luar dan di dalam ruangan tertutup</li> </ul>

### 1.14 Pengujian Subsistem Power Supply

Metode Pengujian	Pengujian dilakukan dengan menghubungkan sistem ke jala-jala lalu mengukur output dari subsistem power supply ini.
Prosedur Pengujian	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan pada output subsistem ini. Lalu dibandingkan dengan spesifikasi tegangan yang telah ditentukan sebelumnya (12V dan 5V)</li> <li>- Menguji subsistem dengan memberikan beban sesuai dengan rancangan dan mengecek apakah semua beban mendapatkan daya yang cukup.</li> </ul>

### 1.15 Pengujian Subsistem Charger

Metode Pengujian	Pengujian dilakukan dengan menghubungkan sistem ke jala-jala lalu mengukur output dari subsistem charger ini. Selanjutnya dilihat mode pengisian apakah sudah sesuai dengan yang telah ditentukan sebelumnya yaitu CC-CV.
Prosedur Pengujian	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengirimkan sinyal dari mikrokontroller untuk mengatur perpindahan state subsistem charger dengan mengatur saklar SW1 dan SW2. Output charger diamati dan dibandingkan dengan output yang diharapkan</li> </ul>

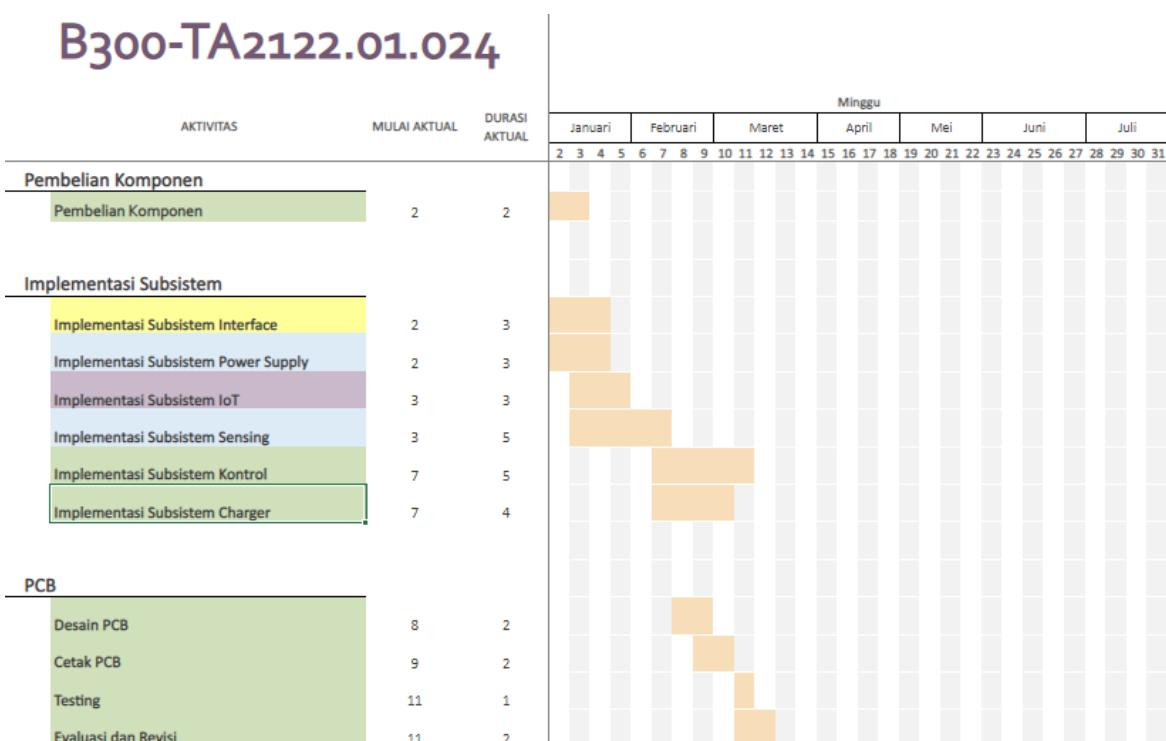
## **1.16 Pengujian Sistem Keseluruhan**

Metode Pengujian	Pengujian dilakukan dengan melakukan pengisian daya hingga penuh pada kondisi BMS mati dan menyala
Prosedur Pengujian	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menghubungkan baterai ke charger</li> <li>- Mengukur SoC barerai</li> <li>-</li> </ul>

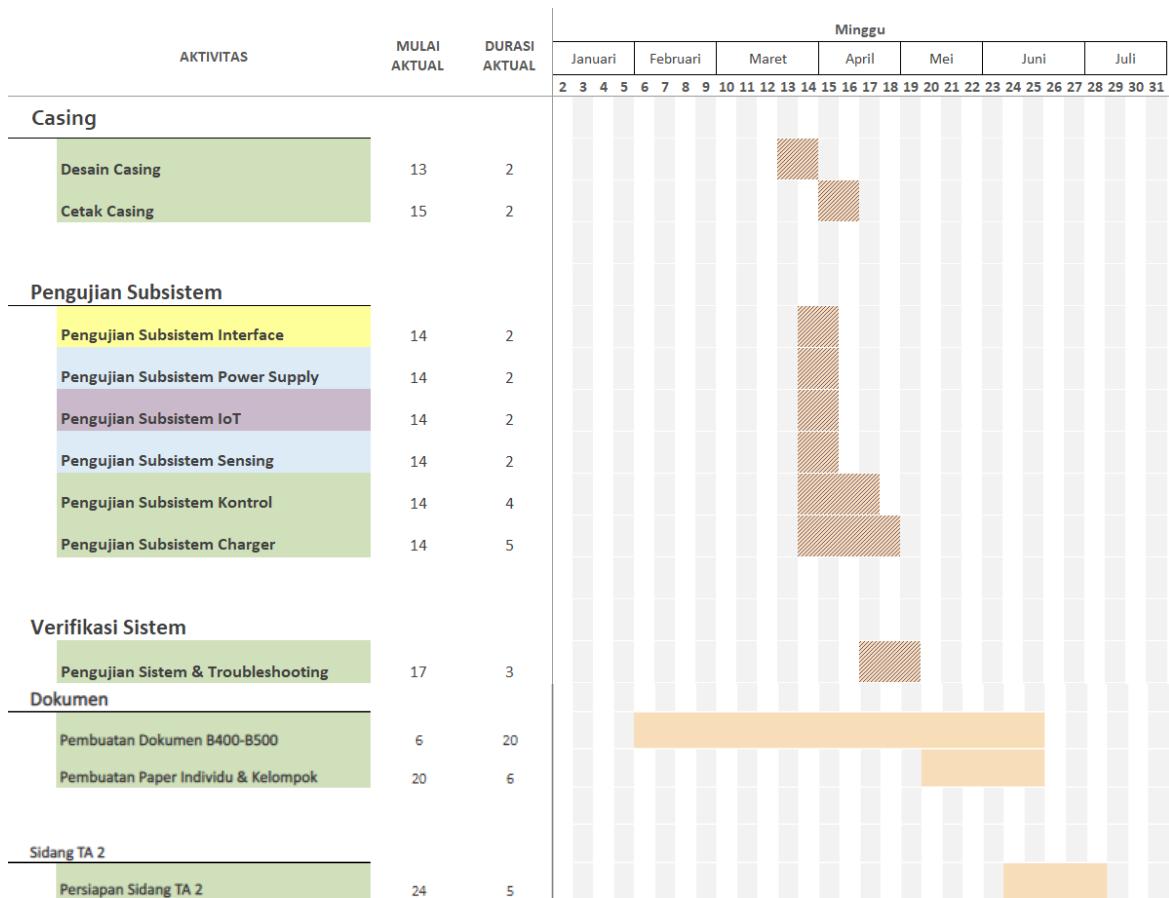
## Jadwal Pengeraaan

Jadwal pelaksanaan meliputi proses implementasi dan pengujian yang akan dilakukan pada Tugas Akhir II. Waktu pelaksanaan sejak kuliah dimulai sampai akhir masa kuliah pada semester genap 2019-2020. Pembuatan jadwal pelaksanaan meliputi breakdown pekerjaan, lama pelaksanaan tiap bagian, dan anggota kelompok yang mengerjakannya. Implementasi sistem dilaksanakan selama 8 minggu, sedangkan pengujian dilaksanakan pada sisa waktu (7 – 8 minggu). Pembuatan jadwal pelaksanaan mengacu pada pembagian waktu tersebut.

Dhanu	Danu	Naoko	Kelompok



Gambar 1.16.1 Gantt chart jadwal pengrajin produk

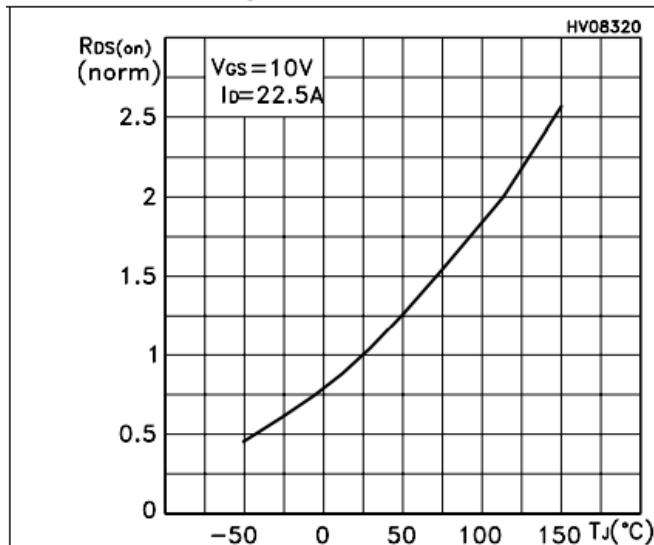


Gambar 1.16.2 Lanjutan gantt chart penggerjaan produk

## Lampiran

Lampirkan dokumen pendukung yang terkait, misalnya dokumen standard yang terkait produk ini serta dokumen rujukan biaya.

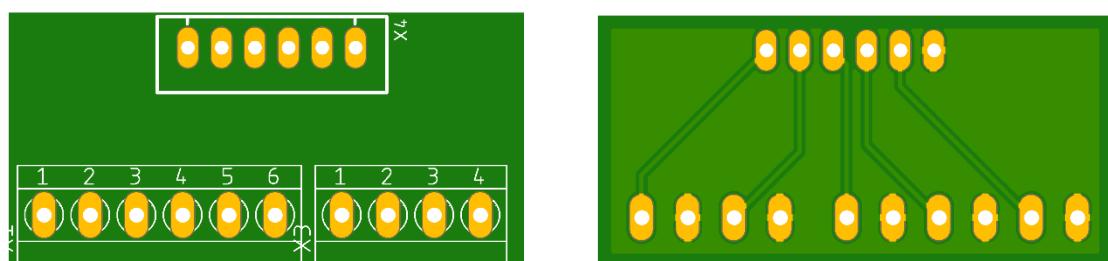
**Figure 10. Normalized on resistance vs temperature**



**Gambar 1.16.1 Grafik perbandingan arus terhadap suhu junction**

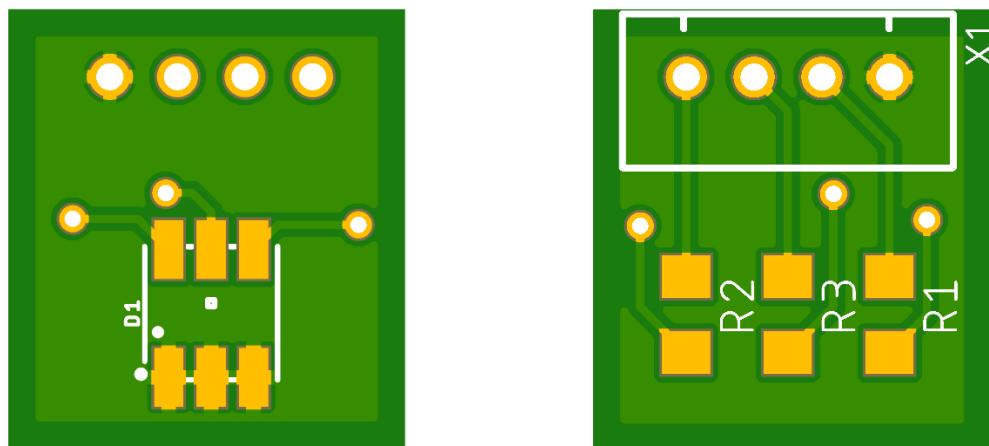
## 1.17 Desain Perangkat Keras

### 1.17.1 Subblok Input Pengguna



**Gambar 1.17.1 Desain PCB untuk koneksi push button**

### 1.17.2 Subblok Output



**Gambar 1.17.2 Desain PCB untuk LED RGB**