

**SISTEM KONTROL DUAL BATERAI *VALVE REGULATED
LEAD-ACID* DAN *LITHIUM FERRO PHOSPHATE (LiFePO₄)*
MENGUNAKAN TEKNIK *SWITCHING***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik



Oleh:

FUAD NUR KUNCORO

NIM. I0716014

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2020**

SURAT TUGAS

Nomor : 054/TA/TE/2020

Kepala Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret
memberikan tugas kepada :

Nama Mahasiswa : Fuad Nur Kuncoro
NIM : I0716014
Bidang Peminatan : Sistem Energi Listrik (SEL)
Pembimbing Utama : Prof. Muhammad Nizam, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197007201999031001
Pembimbing Pendamping : Hari Maghfiroh , S.T., M.Eng.
NIP. 199104132018031001
Mata kuliah pendukung : 1. Elektronika Daya
2. Sistem Penyimpanan Energi
3. Teknologi Transportasi dan Kendaraan
Listrik.

Untuk mengerjakan dan menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul :

Sistem Kontrol Dual Baterai Valve Regulated Lead Acid dan Lithium Ferro
Phosphate (LiFePO_4) Menggunakan Teknik Switching

Surat tugas ini dibuat untuk dilaksanakan dengan sebaik-baiknya.

Surakarta, 16 Surakarta 2020

Kepala Program Studi

Feri Adriyanto, Ph.D.

NIP. 19680116199903100

SURAT PERNYATAAN INTEGRITAS PENULIS

Saya mahasiswa Program Studi Sarjana Teknik Elektro Universitas Sebelas Maret Surakarta bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Fuad Nur Kuncoro

NIM : I0716014

Judul Tugas Akhir : SISTEM KONTROL DUAL BATERAI
VALVE REGULATED LEAD ACID DAN LITHIUM FERRO PHOSPHATE
(LiFePO₄) MENGGUNAKAN TEKNIK SWITCHING

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir yang saya susun tidak mencontoh atau melakukan plagiat dari karya tulis orang lain. Jika terbukti tugas akhir yang saya susun tersebut merupakan hasil plagiat dari karya orang lain maka tugas akhir yang saya susun tersebut dinyatakan batal dan gelar sarjana yang saya peroleh dengan sendirinya dibatalkan atau dicabut.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan apabila dikemudian hari terbukti melakukan kebohongan maka saya sanggup menanggung segala konsekuensinya.

Surakarta, September 2020

Fuad Nur Kuncoro

NIM. I0716014

**SISTEM KONTROL DUAL BATERAI VALVE REGULATED
LEAD-ACID DAN LITHIUM FERRO PHOSPHATE (LiFePO_4)
MENGUNAKAN TEKNIK SWITCHING**

Disusun oleh
FUAD NUR KUNCORO
NIM. I0716014

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Prof. Muhammad Nizam, S.T, M.T, Ph.D.
NIP. 197007201999031001

Hari Maghfiroh, S.T., M.Eng.
NIP. 199104132018031001

Telah dipertahankan di hadapan Tim Dosen Penguji pada hari, tanggal 2019

1. **Prof. Muhammad Nizam, S.T, M.T, Ph.D.**
NIP. 197007201999031001
2. **Hari Maghfiroh, S.T., M.Eng.**
NIP. 199104132018031001
3. **Chico Hermanu B. A., S.T., M.Eng.**
NIP. 198804162015041002
4. **Agus Ramelan, S.Pd., M.T.**
NIP. 199203152019031017

Kepala Prodi Teknik Elektro

Mengetahui,
Koordinator Tugas Akhir

Feri Adriyanto, Ph.D.
NIP. 196801161999031001

M. Hamka Ibrahim, S.T., M.Eng.
NIP. 196801161999031001

Sistem Kontrol Dual Baterai *Valve Regulated Lead-Acid* Dan *Lithium Ferro Phosphate (LiFePO₄)* Menggunakan Teknik *Switching*

Fuad Nur Kuncoro¹⁾

¹ Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
Email : fuadnurkuncoro@student.uns.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan *Hybrid Energy Storage System (HESS)* pada kendaraan listrik dengan konfigurasi baterai VRLA diaplikasikan untuk suplai daya utama dalam mengatasi beban rendah dan handal dalam perubahan variasi beban. Sedangkan untuk baterai LFP memiliki karakteristik kepadatan energi yang tinggi, *internal resistance* kecil, efisiensi tinggi, siklus hidup lama hingga sesuai untuk mengatasi beban tinggi. Pada penelitian ini dikembangkan sistem kontrol dual baterai dengan kombinasi baterai VRLA dan LFP menggunakan metode *switching*. *Switching* pemilihan baterai ditentukan oleh *set point* dari operasional baterai yang digunakan. Hasil penelitian didapatkan nilai akurasi pembacaan sensor arus sebesar 83,74 % dan akurasi pembacaan sensor tegangan sebesar 94,25 %, sedangkan nilai presisi sensor arus sebesar 64,9062% dan presisi sensor tegangan sebesar 99,74 %. Pada pengujian konsumsi energi total pada sistem dual baterai didapatkan persentase penghematan energi baterai VRLA sebesar 69,75 % dan persentase penghematan energi baterai LFP sebesar 29,475 %.

Kata Kunci : Dual Baterai, *Switching*, Parameter Baterai, Batas Kritis

Dual Battery Control System of Valve Regulated Lead Acid Battery and Lithium Ferro Phosphate (LiFePO_4) Battery Using Switching Technique

Fuad Nur Kuncoro¹⁾

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
Email : fuadnurkuncoro@student.uns.ac.id

ABSTRACT

The use of Hybrid Energy Storage System (HESS) in electric vehicles with a VRLA battery configuration is applied to the main power supply to cope with low loads and reliably in changing load variations. Meanwhile, LFP batteries have the characteristics of high energy density, small internal resistance, high efficiency, long cycle life so they are suitable to cope with high loads. In this project, a dual battery control system with a combination of VRLA and LFP batteries was developed using the switching method. Battery selection switching is determined by the operational set point of the battery used. The results of the research conducted showed that the current sensor accuracy was 83.74% and the voltage sensor accuracy was 94.25%, while the current sensor precision value was 64.90% and the voltage sensor precision was 99.74%. In testing the total energy consumption of the dual battery system, the percentage of VRLA battery energy savings was 69.75% and the energy saving percentage of LFP batteries was 29.47%.

Keywords : Dual Battery, Switching, Battery Parameters, Critical Limit

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadiran Allah SWT atas berkat, rahmat dan hidayahnya yang senantiasa dilimpahkan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Sistem Kontrol Dual Baterai Valve Regulated Lead-Acid dan Lithium Ferro Phosphate (LiFePO_4) Menggunakan Teknik Switching” sebagai syarat untuk menyelesaikan mata kuliah tugas akhir skripsi pada program strata 1 (S1) Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini tidak dapat terselesaikan tanpa dukungan serta bantuan dari berbagai pihak baik secara moril maupun materiil. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan laporan akhir skripsi ini terutama kepada :

1. Bapak Prof. Ir. Muhammad Nizam S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing pertama yang telah memberikan bimbingan, masukan dan bantuan komponen dalam menyelesaikan penelitian ini..
2. Bapak Hari Maghfiroh S.T., M.Eng selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, masukan, dan bantuan dalam menyelesaikan penelitian ini.
3. Bapak Ir. Chico Hermanu Brillianto Apribowo S.T., M.Eng. selaku dosen penguji pertama yang telah memberikan masukan, saran, dan ilmu dalam menyempurnakan hasil dari penelitian.
4. Bapak Agus Ramelan, S.Pd., M.T. selaku dosen penguji kedua yang telah memberikan masukan, saran dan ilmu dalam menyempurnakan hasil dari penelitian.
5. Bapak Feri Adriyanto Ph.D. selaku dosen pembimbing akademik serta kepala program studi teknik elektro UNS yang telah membimbing dan memberikan motivasi selama penulis menempuh pendidikan di teknik elektro UNS.
6. Bapak Ir. Muhammad Hamka Ibrahim S.T., M.Eng. selaku koordinator tugas akhir.

7. Segenap keluarga penulis, ibu saya tercinta Sri Hartati, ayah saya tercinta Topo Raharjo serta kakak saya tersayang Nur Kusumastuti yang telah memberikan dukungan dan memotivasi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
8. Segenap dosen dan karyawan Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik UNS yang telah membimbing penulis selama menempuh perkuliahan di teknik elektro UNS.
9. Saudara Salman Alfarisi yang telah bersedia diskusi mengenai permasalahan pada rangkaian *hardware* dan program.
10. Saudara Henry Probo Santoso yang telah bersedia diskusi mengenai permasalahan pada simulasi dan program.
11. Seluruh teman-teman Teknik Elektro yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah menemani penulis selama menempuh kuliah di program studi teknik elektro serta memberikan bantuan dan masukan kepada penulis selama mengerjakan tugas akhir skripsi.

Penulis menyadari bahwa pada penyusunan laporan skripsi ini masih banyak kekurangan oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca demi perbaikan kedepannya. Semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis serta banyak pihak.

Surakarta, September 2020

Fuad Nur Kuncoro
NIM. I0716014

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENUGASAN	ii
SURAT PERNYATAAN INTEGRITAS PENULIS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN TIM PEMBIMBING DAN PENGUJI.....	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR SINGKATAN	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	16
1.1. Latar Belakang	16
1.2. Rumusan Masalah	18
1.3. Tujuan Penelitian.....	18
1.4. Manfaat Penelitian.....	18
1.5. Sistematika Penulisan.....	19
BAB II KAJIAN PUSTAKA	20
2.1 Penelitian Sebelumnya	20
2.2 Sistem Penyimpanan Energi Hibrida	25
2.3 Baterai VRLA.....	27
2.4 Baterai LFP.....	31
2.5 Mikrokontroler Arduino Nano	35

2.6	Sensor Arus ACS712.....	37
2.7	Pembagi Tegangan	39
2.8	Sensor Suhu DS18B20	39
2.9	Driver MOSFET IR2101	40
2.10	MOSFET Daya.....	41
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		43
3.1	Tahapan Penelitian	43
3.1.1	Pengumpulan Data Spesifikasi Dual Baterai dan Beban	44
3.2	Perancangan Alat.....	47
3.3	Alat dan Bahan	49
3.4	Perancangan Perangkat Keras	50
3.4.1	Perancangan Perangkat Keras Sistem <i>Monitoring</i>	50
3.4.2	Perancangan Perangkat Keras Sistem <i>Switching</i>	55
3.4.3	Perancangan Sistem Keseluruhan	59
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		62
4.1	Pengujian Simulasi.....	62
4.1.1	Pengujian Switching Simulasi	63
4.1.2	Pengujian Gelombang <i>Switching</i> pada Simulasi	67
4.1.3	Pengujian Akurasi Nilai Pembacaan Sensor.....	70
4.1.4	Pembuatan Hardware	73
4.2	Pengujian Hardware	76
4.2.1	Pengujian Akurasi Nilai Pembacaan Sensor.....	76
4.2.2	Pengujian Presisi Nilai Pembacaan Sensor.....	78
4.2.3	Pengujian Baterai Tunggal VRLA dan LFP	82

4.2.4	Pengujian Baterai Ganda Hibrida VRLA dan LFP.....	85
4.2.5	Pengujian Gelombang <i>Switching</i>	88
4.2.6	Pengujian Kapasitas Baterai dan Suhu	91
4.2.7	Pengujian Optimasi Baterai Ganda Hibrida.....	92
BAB V PENUTUP.....		97
5.1	Kesimpulan.....	97
5.2	Saran	97
DAFTAR PUSTAKA		99
LAMPIRAN		102

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perbandingan Kepadatan Energi Jenis-Jenis Baterai	26
Gambar 2.2 <i>Lead-Acid</i> Panasonic LC-R127R2PG1	27
Gambar 2.3 Kontruksi dan Dimensi Dari Baterai <i>Lead Acid</i> Panasonic LC-R127R2PG1	28
Gambar 2.4 Konfigurasi Penamaan Baterai Panasonic.....	28
Gambar 2.5 (a) Kontruksi Dimensi Sel Baterai LFP 18650 (b) Sel baterai LFP.....	32
Gambar 2.6 Konfigurasi Penamaan Tipe Lithium	32
Gambar 2.7 Susunan Seri Paralel Baterai <i>Pack</i> LFP 12,8 V	35
Gambar 2.8 Konfigurasi Arduino Nano.....	36
Gambar 2.9 (a) Rangkaian Skematik Sensor Arus (b) Modul Sensor Arus ACS712.....	37
Gambar 2.10 Rangkaian Pembagi Tegangan	39
Gambar 2.11 (a) Rangkaian Skematik Sensor Suhu (b) Sensor Suhu DS18B20.....	40
Gambar 2.12 Driver MOSFET IC IR2101	40
Gambar 2.13 Rangkaian Koneksi Pada Driver Mosfet IR2101	41
Gambar 2.14 (a) Konfigurasi MOSFET IRF4950 (b) MOSFET IRF4950.....	42
Gambar 3.1 Diagram Alir Jalannya Penelitian	44
Gambar 3.2 (a) Baterai VRLA (b) Baterai <i>pack</i> LFP	45
Gambar 3.3 Motor DC	46
Gambar 3.4 Rangkaian Sistem Kontrol <i>Switching</i> Dual Baterai Beserta <i>Driver</i> dan Motor.....	48
Gambar 3.5 Diagram Alir Sistem <i>Monitoring</i>	51
Gambar 3.6 Rangkaian Sensor Tegangan Baterai (a) Baterai VRLA (b) Baterai LFP	52
Gambar 3.7 Rangkaian Sensor Arus ACS712-5A	53
Gambar 3.8 Rangkaian Sensor Tegangan Pada Beban Motor	54
Gambar 3.9 Rangkaian Sensor Suhu DS18B20 Pada Mikrokontroler	54
Gambar 3.10 Diagram Alir Sistem <i>Switching</i> Dual Baterai	56
Gambar 3.11 Prioritas Tiga Keadaan Bersamaan <i>Switching</i> Baterai.....	57
Gambar 3.12 <i>Gate Driver</i> IR2101	58
Gambar 3.13 Blok Diagram Permodelan Sistem Keadaran Listrik Sederhana	59
Gambar 3.14 (a) Sistem Resistansi pada Potensiometer (b) Skenario bukaan Potensiometer.....	60
Gambar 3.15 (a) Konfigurasi Pin <i>Driver</i> Motor L298N (b) Instalasi <i>Driver</i> Motor dengan Potensiometer	60
Gambar 3.16 Rangkaian <i>Driver</i> Motor Pada Simulasi Proteus ISIS	61
gambar 4.1 Hasil Simulasi Rangkaian Pada Proteus Dengan Bukaan Potensiometer 60%	63
Gambar 4.2 Hasil Pembacaan Sensor Pada Serial Monitor Virtual Ketika Bukaan Potensiometer 60%.....	64
gambar 4.3 Hasil Simulasi Rangkaian Pada Proteus Dengan Bukaan Potensiometer 40%	65

Gambar 4.4 Hasil Pembacaan Sensor Pada Serial Monitor Virtual Ketika Buka	
Potensiometer 40%	65
gambar 4.5 Hasil Simulasi Rangkaian Pada Proteus Dengan Buka Potensiometer	
100%	66
gambar 4.6 Hasil Pembacaan Sensor Pada Serial Monitor Virtual Ketika Buka	
Potensiometer 100%	67
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Pembacaan Nilai Arus Dan Besar <i>Error</i>	71
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Pembacaan Nilai Tegangan Dan Besar <i>Error</i>	72
Gambar 4.9 Rangkaian Skematik Sistem Kontrol Dual Baterai	73
gambar 4.10 Desain PCB Dari Skematik Rangkaian	74
Gambar 4.11 <i>Hardware</i> Alat Pada PCB	74
Gambar 4.12 <i>Hardware</i> Setelah Dilakukan <i>Packaging</i>	75
Gambar 4.13 <i>Hardware</i> Sistem Keseluruhan	76
Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Pembacaan Nilai Arus Dan Besar <i>Error</i>	77
Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Pembacaan Nilai Tegangan Dan Besar <i>Error</i>	78
Gambar 4.16 Grafik Nilai Presisi Sensor Arus ACS712-5A <i>Hardware</i>	80
Gambar 4.17 Grafik Nilai Presisi Sensor Tegangan <i>Hardware</i>	82
Gambar 4.18 Grafik Konsumsi Arus Pengujian Baterai Tunggal	83
Gambar 4.19 Grafik Konsumsi Tegangan Pengujian Baterai Tunggal	84
Gambar 4.20 Grafik Konsumsi Daya Pengujian Baterai Tunggal	85
Gambar 4.21 Grafik Konsumsi Arus Pengujian Baterai Ganda Hibrida	86
Gambar 4.22 Grafik Konsumsi Tegangan Pengujian Baterai Ganda Hibrida	87
Gambar 4.23 Grafik Konsumsi Daya Pengujian Baterai Ganda Hibrida	88
Gambar 4.24 Gelombang PWM Pada Sisi Input High Dengan Nilai 80%	89
Gambar 4.25 Gelombang <i>Switching</i> Pada <i>Source</i> Mosfet Ketika Transisi Low Ke	
High	90
Gambar 4.26 Gelombang <i>Switching</i> Pada <i>Source</i> Mosfet Ketika Transisi High Ke	
Low	91
Gambar 4.27 Grafik Kapasitas Baterai Dan Suhu Baterai Ketika <i>Discharge</i>	92
Gambar 4.28 Persentase Penggunaan Energi Masing-Masing Baterai Pada Baterai	
Ganda Hibrida	94
Gambar 4.29 Grafik Konsumsi Energi Pada Pengujian Baterai Ganda Hibrida	95

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Sebelumnya Yang Relevan	21
Tabel 2.2 Tabel Perbandingan Operasional Baterai <i>Lead Acid</i> dan <i>Lithium</i>	26
Tabel 2.3 Spesifikasi Baterai LC-R127R2PG1.....	29
Tabel 2.4 Spesifikasi Dari Baterai <i>Lithium Ferro Phosphate</i>	33
Tabel 2.6 Konfigurasi Arduino Nano.....	36
Tabel 2.7 Penjelasan Setiap Pin Out Dari Sensor Arus ACS712.....	37
Tabel 2.8 Data Spesifikasi Dari Sensor Arus ACS712	38
Tabel 2.9 Spesifikasi Dari Driver Mosfet IR2101	41
Tabel 2.10 Perbandingan MOSFET Dengan Kontrol <i>Switch</i> lain [13].....	42
Tabel 3.1 Parameter Referensi <i>Switching</i> Baterai.....	45
Tabel 3.2 Operasional Beban Motor DC.....	46
Tabel 3.3 Operasional Beban Driver L298n	46
Tabel 3.4 Bahan Habis Pakai Penelitian	49
Tabel 3.5 Konfigurasi <i>Driver</i> Motor l298N.....	60
Tabel 4.1 Batas Referensi <i>Switching</i> Dual Baterai	62
Tabel 4.2 Hasil Gelombang <i>Switching</i> Pada Virtual Oscilloscope Ketika Sinyal PWM HO 60%	68
Tabel 4.3 Hasil Gelombang <i>Switching</i> Pada Virtual Oscilloscope Ketika Sinyal PWM HO 40%	69
Tabel 4.4 Nilai Akurasi Sensor Arus ACS712-5A Pada Simulasi.....	70
Tabel 4.5 Nilai Akurasi Sensor Tegangan Pada Simulasi.....	71
Tabel 4.6 Nilai Akurasi Sensor Arus ACS712-5A Pada <i>Hardware</i>	76
Tabel 4.7 Nilai Akurasi Sensor Tegangan Pada <i>Hardware</i>	77
Tabel 4.8 Nilai Presisi Sensor Arus ACS712-5A <i>Hardware</i>	79
Tabel 4.9 Nilai Presisi Sensor Tegangan <i>Hardware</i>	80
Tabel 4.10 Tabel Perbandingan Konsumsi Energi Total	93
Tabel 4.12 Perbandingan Penggunaan Energi Baterai Dan Penghematan Energi	96

DAFTAR SINGKATAN

VRLA	: <i>Valve Regulated Lead Acid</i>
LFP	: <i>Lithium Ferro Phosphate</i>
DBS	: <i>Dual Battery System</i>
HESS	: <i>Hybrid Energy Storage System</i>
PWM	: <i>Pulse Width Modulation</i>
IC	: <i>Integrated Circuit</i>
C-Rate	: <i>Capacity Rate</i>
PCB	: <i>Printed Circuits Board</i>
MOSFET	: <i>Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor</i>
POT	: <i>Potensiometer</i>
T	: <i>Temperature</i>
C	: <i>Celcius</i>
HIN	: <i>High Input</i>
LIN	: <i>Low Input</i>
HO	: <i>High Output</i>
LO	: <i>Low Output</i>
DC	: <i>Direct Current</i>
NIGD	: <i>Non Isolated Gate Driver</i>
Wh	: <i>Watt Hour</i>
Ws	: <i>Watt Second</i>
V	: <i>Volt</i>
I	: <i>Ampere</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dewasa ini perkembangan pasar kendaraan listrik semakin meningkat. Mengacu data *International Energy Agency* (IEA) jumlah kendaraan listrik yang beroperasi di seluruh dunia mencapai 5,1 juta unit per akhir 2018 dan rencana kedepan ditargetkan mencapai 400.000 unit pada 2025 dan kemudian meningkat menjadi 5,7 juta unit pada 2035 [1]. Kebutuhan kendaraan listrik yang semakin meningkat perlu didukung oleh adanya perangkat penyimpanan energi yang handal. Salah satu contoh perangkat penyimpanan energi yang dikembangkan di seluruh dunia yaitu baterai. Baterai merupakan suatu perangkat penyimpanan energi yang berfungsi mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Banyak jenis baterai yang digunakan untuk aplikasi kendaraan listrik yaitu *Lithium-ion*, *Lithium Polymer* dan *Lead-Acid* [2]. Dalam penggunaan baterai banyak spesifikasi yang dipertimbangkan yaitu tegangan, kapasitas, kemampuan arus, siklus baterai, massa, spesifik energi, dan sensitivitas suhu [1].

Baterai *Valve Regulated Lead Acid* (VRLA) merupakan jenis baterai yang banyak digunakan oleh masyarakat selain baterai *lithium*. Baterai VRLA mampu menghadapi kondisi arus *starting* dan tahan terhadap pengisian daya berlebihan [2]. Penggunaan baterai *lead-acid* memiliki kemampuan yang terbatas dalam menjalankan fungsi-fungsi seperti hambatan dalam (*Internal Resistance*) baterai yang besar sehingga mempengaruhi penurunan tegangan yang cepat (*self discharge*) dan kemungkinan kerusakan pada beban tinggi. Sedangkan baterai LFP merupakan jenis baterai isi ulang (*rechargeable*) yang paling populer karena memiliki kepadatan energi (*specific energy*) yang sangat baik, tanpa efek memori

dan mengalami penurunan tegangan (*self discharge*) yang lambat saat tidak digunakan [2]. Pada baterai LFP memiliki batasan tegangan maksimal dan minimal yang apabila melebihi batas tegangan tersebut dapat dapat menyebabkan kerusakan pada baterai [3].

Salah satu solusi yang dapat dilakukan dalam menutupi kekurangan masing-masing baterai yaitu penggunaan *Dual Battery System* (DBS) seperti yang dipublikasikan dalam penelitian Renner [4]. Dikembangkannya sistem penyimpanan energi hibrida dalam pemanfaatan dan penggunaan dua atau lebih perangkat penyimpanan yang berbeda. Tujuan dari hibridisasi baterai adalah untuk mensinergikan keunggulan individu baterai, menutupi kelemahan baterai lainnya, memaksimalkan manfaat setiap baterai dan mengurangi biaya berlebih [5]. Pada penelitian Steven Chung dimana menggabungkan dua perangkat penyimpanan yang berbeda memberikan keuntungan dan kerugian dari kinerja, massa, volume dan efisiensi pada kendaraan listrik ringan. Sehingga tujuan dari ini digunakan baterai *Lead Acid* dan *Lithium-Ion* dalam memberikan daya pada *Light Electric Vehicle* (LEV) [6].

Pada penelitian ini diusulkan sistem dual baterai VRLA dan LFP meliputi *switching* antara kedua baterai dan *monitoring* pada kendaraan listrik. Dalam hal ini teknik yang digunakan yaitu teknik *softswitching* antara kedua baterai dalam memberikan suplai daya ke beban. Teknik *softswitching* bertujuan memberikan transisi lembut ketika perpindahan penggunaan baterai saat digunakan di kendaraan listrik. Sistem *switching* baterai yang mensuplai beban disesuaikan dengan variasi beban dan operasional baterai. Fitur *monitoring* berfungsi dalam melihat kondisi kapasitas baterai, suhu baterai *pack*, arus, tegangan dan daya yang disuplai baterai ke beban. Rancang Bangun sistem *switching* dengan dual *platform* baterai diharapkan dapat medistribusikan kebutuhan beban sesuai dengan operasional baterai yang sesuai.

1.2. Rumusan Masalah

Pada penelitian ini dibuat sistem *switching* dual baterai yang mengontrol pemilihan salah satu baterai berdasarkan variasi beban dan operasional produk baterai. Berdasarkan uraian tersebut, maka penulis merumuskan permasalahan yang ada yaitu

1. Bagaimana mengatur *switching* agar dapat memilih baterai yang sesuai dengan kebutuhan beban dan keadaan baterai?
2. Bagaimana desain prototipe sistem kontrol dual baterai dengan teknik *switching* ketika dimodelkan pada sistem kendaraan listrik?
3. Bagaimana kinerja sistem kontrol dual baterai dalam mengakomodasi *switching* baterai dan *monitoring* baterai?

Dari rumusan masalah diatas, dapat diambil batasan masalah yang diangkat oleh penulis dalam penelitian ini yaitu

1. Menggunakan dua jenis baterai yang berbeda yaitu VRLA dengan tipe *LCR127R2PG1* dengan spesifikasi tertentu dan LFP 18650 *Pack* dengan spesifikasi tertentu.

1.3. Tujuan Penelitian

1. Merancang sistem kontrol dual baterai hibrida dengan teknik *switching* berdasarkan variasi beban dan keadaan baterai.
2. Merancang sistem *switching* dan sistem *monitoring* pada prototipe.
3. Mengoptimasi kinerja baterai dengan membandingkan penggunaan energi dari baterai tunggal dan baterai ganda serta operasional baterai.

1.4. Manfaat Penelitian

1. Dapat membuat sistem *switching* kontrol dual baterai yaitu VRLA dan LFP sehingga menyesuaikan keadaan baterai dan variasi beban terhadap operasional
2. Memberikan optimasi kinerja baterai dengan menyesuaikan keadaan baterai dan variasi beban motor terhadap operasional produk baterai.

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan penulis dalam menyusun skripsi agar mudah dipahami adalah sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan.

Pada bab ini memberikan penjelasan singkat mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka.

Pada bab ini berisi uraian teoritis mengenai baterai VRLA, baterai LFP, sistem *switching* dual baterai hibrida, sistem *monitoring* serta landasan teori komponen yang berhubungan dengan penelitian.

BAB III Metode Penelitian.

Pada bab ini menguraikan tahapan-tahapan dan metode perancangan sistem *switching* dual platform baterai hibrida.

BAB IV Hasil dan Pembahasan.

Pada bab ini menjelaskan tentang hasil dan analisis dari pembuatan sistem kontrol dual baterai yang meliputi pengujian *switching*, pengujian sensor.

BAB V Penutup.

Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan dan analisis keseluruhan sistem kontrol dual baterai.

Daftar Pustaka

Berisikan referensi dan sumber yang digunakan sebagai acuan dalam pembuatan dan perancangan sistem kontrol dual baterai hibrida serta laporan skripsi

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dibahas mengenai kajian pustaka yang peneliti perlukan dalam merancang topik tugas akhir berjudul sistem kontrol dual baterai hibrida VRLA dan LFP. Adapun kajian pustaka yang akan dibahas meliputi penelitian terdahulu, dasar teori dari sistem penyimpanan hibrida, baterai VRLA, baterai LFP, mikrokontroler arduino nano, sensor arus ACS712, sensor tegangan (*voltage divider*), sensor suhu DS18B20, *driver* MOSFET IC IR2101 dan MOSFET Daya IRF4905.

2.1 Penelitian Sebelumnya

Berdasarkan beberapa referensi dan sumber penellitin terdahulu pada tabel 2.1 terlihat bahwa pada penelitian yang dilakukan oleh Chung,S [6] dengan judul Hybrid Energy Storage System with Active Power Mix Control in a Dual-Chemistry Battery Pack for Light Electric Vehicles melakukan rancang bangun sistem kontrol dual baterai dengan kombinasi baterai Lead Acid dan Lithium Ion. Pada penerapannya, baterai berkerja secara hibrida / *mix* dimana perlu ditambahkan boost buck converter dalam balancing kapasitas tegangan pada dual baterai dan sebagai penstabil daya aktif yang diperlukan ketika beban berubah-ubah.

Sedangkan sistem kontrol yang dikembangkan dalam penelitian ini menggunakan metode *switching* yaitu pemilihan salah satu baterai sehingga hanya mengontrol pemilihan salah satu baterai dalam menyuplai kebutuhan beban. *Switching* dilakukan menggunakan *driver* MOSFET IR2101 dan MOSFET IRF4905. Skenario *switching* ditentukan oleh variasi beban dan opsional baterai yang digunakan. Pemilihan salah satu baterai diupayakan untuk menghindari arus *charge* ke baterai yang lain karena ketika menggunakan metode *hybrid* / *mix* / gabungan perlu adanya penyesuaian tegangan baterai menggunakan converter.

Tabel 2. 1 Penelitian Sebelumnya Yang Relevan

No	Pengarang	Judul	Permasalahan	Solusi	Metoda	Hasil
1.	Jamahari. H, <i>et al</i> [5]	Hybrid Energy Storage System for Life Cycle Improvement	Tidak dapatnya suatu paerangkat penyimpanan energi dalam menyalurkan daya ke beban dalam waktu lama	Hibridisasi perangkat penyimpanan energi, dimana berkerja bersama untuk mempertahankan performa dan meningkatkan life cycle sistem penyimpanan	Modeling performa optimisasi penyimpanan tunggal dan dual baterai hibrida menggunakan simulink MATLAB	Ketika beban yang lebih kecil dari baterai utama, baterai cadangan akan mengisi baterai utama, ketika beban lebih besar dari kapasitas baterai utama, baterai cadangan akan memasok arus ke beban supaya level tetap sama

2.	Rade, M. [7]	Design and Development of Hybrid Energy Storage System for electric Vehicle	Penggunaan penyimpanan tunggal yang tidak dapat memenuhi karakteristik kebutuhan kepadatan daya pada kendaraan listrik	Penggunaan hibridisasi dari dua jenis penyimpanan energi, dimana baterai pertama untuk daya rendah (daya rata-rata) dan supercapasitor untuk suplai daya tinggi selama akselerasi.	Metode perhitungan dari formula secara teoritis dan eksperimental	Kombinasi seri dan paralel kedua penyimpan energi mempengaruhi arus output baterai.
3.	Renner. D, <i>et al</i> [1]	Optimization of 12 V Dual Battery System for Micro-Hybrid Vehicles	Kurang efisiensinya penggunaan baterai tunggal dalam memberikan daya ke beban	Kombinasi kedua baterai lead acid dan lithium ion secara paralel	Metode optimisasi simulasi Mathworks SimScape Tool	Dual battery meningkatkan stabilitas daya.

4.	Renner, D, <i>et al</i> [4]	Predictive Power Estimation of Dual Battery System in Mild Hybrid Vehicles	Meningkatkan performa dalam penggunaan kendaraan listrik tanpa awak dengan dual baterai	Menggunakan konsep 12 V dual baterai baterai lead-acid dan lithium ion	Metoda estimasi untuk memprediksi distribusi daya yang membandingkan antara baterai tunggal dan baterai ganda	Distribusi penggunaan arus dari suplai daya tergantung oleh impedansi baterai dan tegangan baterai.
5.	Keshan. H, <i>et al</i> [9]	Comparison of Lead Acid and Lithium Ion Batteries for Stationary Storage in Off-Grid Energy System	Pemilihan baterai berdasarkan karakteristik baterai	Membandingkan antara kedua baterai VRLA (Valve Regulated Lead Acid) dan Lithium Ferro Phosphate (LFP) berdasarkan biaya, proses pengisian, efisiensi, siklus baterai.	Metode study case dengan membandingkan antara kedua baterai.	Baterai Li-Ion memiliki efisiensi yang lebih besar dan 5-10 times siklus hidup lebih besar dari lead-acid.

6.	Kurniawan. E, <i>et al</i> [10]	Data Analysis of Li-Ion and Lead Acid Batteries Discharge Parameters with Simulink Matlab	Untuk mengetahui <i>discharge</i> parameter yang berpengaruh pada baterai	Membuat simulasi dan menganalisis antara baterai li ion dan lead acid berdasarkan parameter <i>input</i> dan <i>output</i> .	Menggunakan metode simulasi pada Matlab Simulink	Berdasarkan data ouptut <i>discharge</i> , lead acid memiliki keuntungan pada kapasitas eksponensial sedangkan Li Ion memiliki keuntungan pada tegangan konstan beban tinggi.
7.	Chung, S, <i>et al</i> [6]	Hybrid Energy Storage System with Active Power Mix Control in a Dual- Chemistry Battery Pack for Light Electric Vehicles	Pemanfaatan kelebihan dan kuntungan dari masing-masing baterai Lead Acid (PbA) dan Lithium Ion (LI)	Merancang HESS dimana biaya sesuai dengan baterai PbA dalam single energy storage, dan menjaga performa dari keuntungan baterai Lithium Ion	Perancangan HESS dengan DC-DC converter untuk mencapai operasi yang stabil, buck boost converter dimodifikasi untuk balancing dual baterai	Biaya dan performa dari kendaraan ringan terbagi antar baterai, dengan efisiensi sebesar 23% (range/kWh) meningkat dari pemakaian baterai tunggal PbA

2.2 Sistem Penyimpanan Energi Hibrida

Pada suatu sistem penyimpanan energi terdapat kelebihan dan kekurangan yang dimiliki. Oleh sebab itu dikembangkan sistem penyimpanan energi hibrida dalam pemanfaatan dan penggunaan dua atau lebih perangkat penyimpanan yang berbeda. Tujuan dari hibridisasi baterai adalah untuk mensinergikan keunggulan individu baterai, menutupi kelemahan baterai lainnya, memaksimalkan manfaat setiap baterai dan mengurangi biaya [5]. Penggunaan *Hybrid Energy Storage System (HESS)* di kendaraan listrik, tipikal baterai utama diaplikasikan untuk suplai daya utama, untuk mengatasi beban rendah, perawatan yang murah dan handal dalam perubahan variasi beban. Sedangkan untuk baterai kedua atau yang lain memiliki karakteristik memiliki kepadatan energi yang tinggi, *self discharge* yang rendah (*internal resistance* kecil), efisiensi tinggi, dan siklus hidup yang lama [22]. Biasanya, teknologi Sistem Penyimpanan Energi dengan daya tinggi dapat dikombinasikan dengan sistem penyimpanan energi yang tinggi pula dimana hibridisasi keduanya dapat lebih fungsional dan memanfaatkan karakteristik atau spesifikasi masing-masing jenis [5]. Penggabungan sistem penyimpanan energi yang berbeda memberikan pilihan dalam hal biaya, kinerja, massa sistem, volume, dan efisiensi yang dapat menciptakan keseimbangan pada suatu aplikasi tertentu [6].

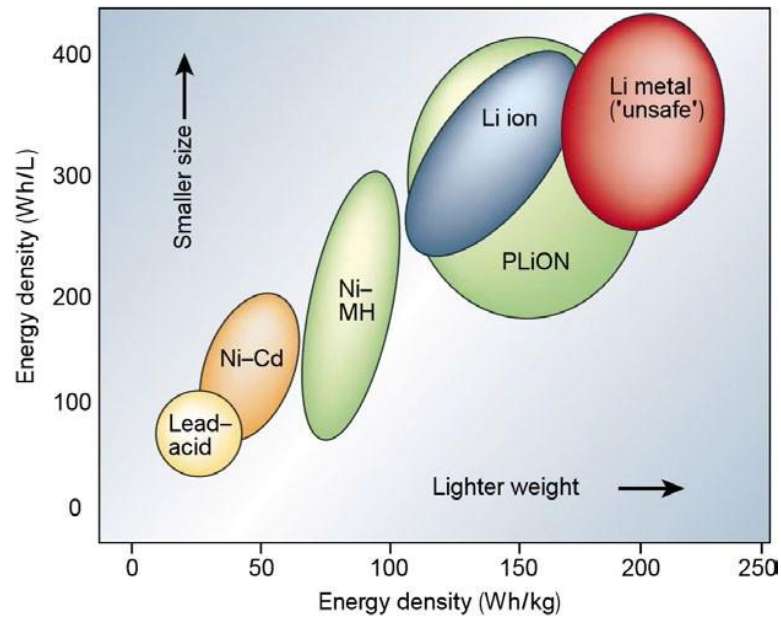
Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Bocklisch [22], terdapat beberapa keuntungan dari penggunaan sistem penyimpanan energi hibrida yaitu

1. Dapat meminimalkan penggunaan beban lebih pada baterai tunggal dan untuk mengatasi variasi kebutuhan daya pada beban
2. Meningkatkan total efisiensi sistem keseluruhan, karena baterai bekerja sesuai dengan operasional dan kondisi baterai sehingga mengurangi rugi-rugi yang terjadi.

Tabel 2.2 Tabel Perbandingan Operasional Baterai *Lead Acid* dan *Lithium* [6]

Parameter	<i>Lead- acid</i>	Lithium	Unit
<i>Specific Energy</i>	30-50	110-160	<i>Wh/kg</i>
<i>Cycle Life</i>	300-1000	500-2000	<i>Cycles</i>
<i>Charge Time</i>	8-16	2-4	<i>Hours</i>
<i>Overcharge Tolerance</i>	high	very low	
<i>Self-discharge /month</i>	5%	10%	<i>SOC</i>
<i>Cell voltage</i>	2	3.2	<i>V</i>
<i>Operating Temp</i>	-15-50	-20-40	<i>°C</i>

Berikut ini perbandingan kepadatan energi dari berbagai jenis baterai.



Gambar 2.1 Perbandingan Kepadatan Energi Jenis-Jenis Baterai [13]

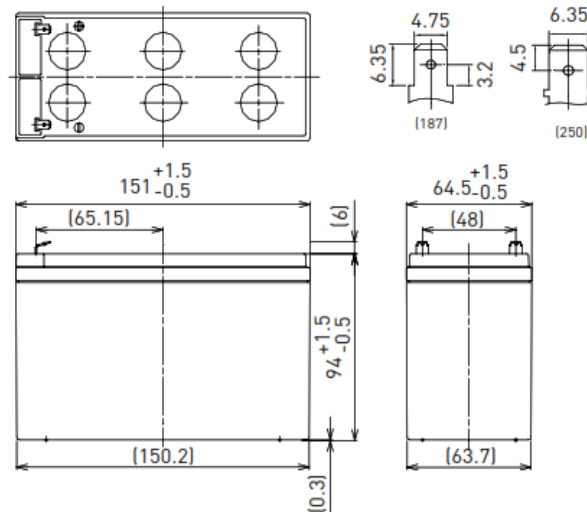
2.3 Baterai VRLA

Baterai VRLA atau biasa disebut aki merupakan salah satu jenis baterai yang menggunakan asam timbal (*lead acid*) sebagai bahan kimianya. Baterai Asam Timbal memiliki spesifik energi dan kepadatan energi terendah dibandingkan jenis baterai yang lain. Baterai ini tidak memerlukan suatu sistem proteksi tambahan, sehingga baterai *lead-acid* menjadi lebih murah, mudah dirancang dalam sistem skala besar. Pada penelitian ini penulis menggunakan baterai *Valve Regulated Lead Acid* Panasonic LC-R127R2PG1 dengan tipe *absorptive glass mat*. Berikut ini baterai Panasonic LC-R127R2PG1



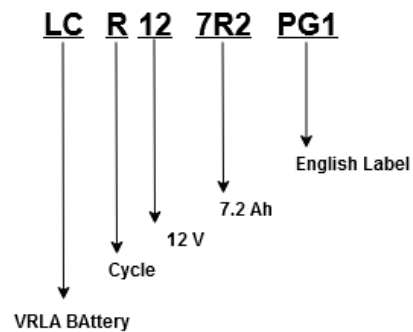
Gambar 2.2 *Lead-Acid* Panasonic LC-R127R2PG1 [23]

Berikut ini kontruksi dan dimensi dari baterai *Lead Acid* LC-R127R2PG1



Gambar 2.3 Kontruksi dan Dimensi Dari Baterai VRLA Panasonic LC-R127R2PG1 [23]

Baterai *lead acid* memiliki konfigurasi dalam penamaan jenis dan spesifikasi yaitu sebagai berikut



Gambar 2.4 Konfigurasi Penamaan Baterai Panasonic [23]

- LC** merupakan klasifikasi baterai *lead acid*.
 - R** menandakan jumlah siklus umur yang dimiliki oleh baterai. R menandakan bahwa baterai memiliki umur hidup 6-9 tahun
 - 12** Menandakan bahwa baterai memiliki nominal voltage sebesar 12 V
 - 7R2** Menandakan baterai memiliki kapasitas sebesar 7.2 Ah
 - PG1** P merupakan english label sedangkan G merupakan *Vds certified product*
- Berikut ini spesifikasi dari Baterai *Lead Acid* Panasonic LC-R127R2PG1

Tabel 2.3 Spesifikasi Baterai LC-R127R2PG1 [24]

Specifications		LC-R127R2PG1
Nominal Voltage (V)		12
Specific Energy (Wh/Kg)		50
Control Voltage (V)		14.5-14.9
Nominal Capacity (Ah)		7.2
C-Rate		1C
Initial Current (A)		2.88 A or smaller
Dimensions	Length (mm)	64.5
	Width (mm)	151
	Total Heigh (mm)	100
Weight (kg)		2.50
Discharge Current	Cut off voltage = 10.5 V	0.360 A-1.44 A
	Cut off voltage = 10.2 V	1.44 A- 3.60 A
	Cut off voltage = 9.9 V	3.60-7.20 A
	Cut off voltage = 9.3 V	7.20 A – 14.4 A
	Cut off voltage = 8.7 V	14.4 A – 21.6 A
Wattage Battery	Cut off voltage = 9.6 V	4.60
	Cut off voltage = 9.9 V	4.59
	Cut off voltage = 10.2 V	4.43
Normal Temperature		25° C
Max Discharge Temperature		> 40° C
Discharge Depth	100 %	< 400 Cycle
	50%	400- 600 Cycle
	30 %	600-1200 Cylce

Keterangan :

1. *Nominal Voltage* = Tingkatan tegangan yang dimiliki oleh baterai. Pada baterai LC R 12 7R2 PG1 memiliki tingkatan tegangan sebesar 12 V.
2. *Spesific Energy* = Merupakan banyaknya energi yang terkandung dalam baterai dibandingkan dengan beratnya.
3. *Control Voltage* = Tingkatan tegangan ketika pengisian baterai (*Charge Battery*), dimana pada baterai dengan *nominal voltage* 12 V dapat diisi dengan tegangan control sebesar 14-14.9 V agar tidak merusak siklus hidup baterai
4. *C-Rate* = Merupakan kemampuan seberapa cepat baterai dapat diisi dan dikosongkan dengan aman. *Lead acid* memiliki kapasitas 7.2 Ah 1C menandakan bahwa baterai akan habis dikosongkan dengan arus 7,2 dalam waktu 1 jam.
5. *Nominal Capacity* = Jumlah energi yang dapat digunakan dari baterai pada arus konstan dalam waktu tertentu.
6. *Initial current* = Batas arus ketika baterai terhubung dengan *Charger*. Arus pengisian harus lebih rendah dari *initial current* yang ditetapkan oleh pabrik.
7. *Dimensions* = Ukuran dan volume dari baterai LC R 127R2 PG1.
8. *Weight* = Berat dari baterai LC R 127R2 PG1
9. *Discharge Current* = Arus yang dikonsumsi oleh beban atau arus pemakaian.
10. *Cut off voltage* = Tegangan dimana baterai sepenuhnya habis.
11. *Wattage Battery* = Daya yang dapat diberikan oleh baterai hingga mencapai *cut off voltage* dan *maximum current*.
12. *Normal Temperature* = Suhu dimana baterai bekerja dengan baik,

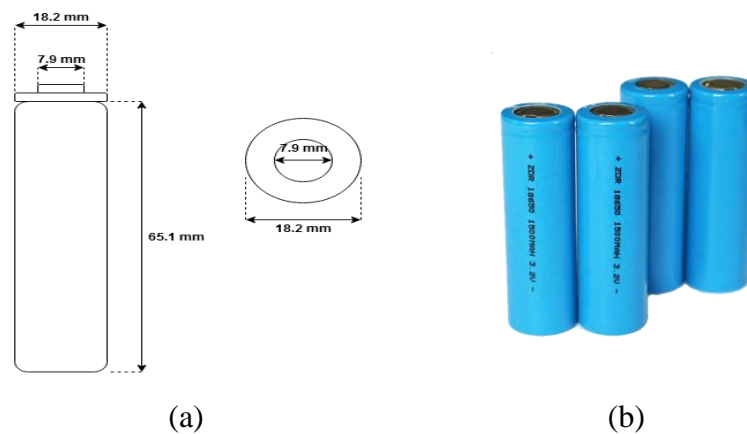
- mempengaruhi kinerja baterai dan siklus hidup baterai.
13. *Max Discharge Temperature* = Suhu maksimum yang dimiliki oleh baterai ketika digunakan.
 14. *Depth of Discharge (DOD)* = Persentase dari kapasitas yang dilepas oleh baterai. DOD merupakan kebalikan dari *state of charge* dimana merupakan nilai persentase penuh baterai. DOD yang tidak terkendali akan mempengaruhi siklus hidup dari baterai.

2.4 Baterai LFP

Baterai dengan teknologi berbasis lithium termasuk baterai yang memiliki spesifik energi dan *cycle life* paling tinggi diantara baterai yang lain dan banyak diaplikasikan secara luas pada kendaraan listrik karena baterai lithium telah banyak digunakan menggantikan baterai *lead-acid* sebagai baterai isi ulang karena memiliki kepadatan energi yang tinggi dan lebih ringan untuk penerapannya pada kendaraan listrik [15]. Baterai Lithium memiliki pasar dunia yang potensial dibandingkan dengan jenis baterai lain dalam berbagai aplikasi karena memiliki karakteristik yang unggul dan teknologi canggih, memiliki kepadatan energi tinggi, tanpa efek memori, dan laju *self discharge* yang rendah [15].

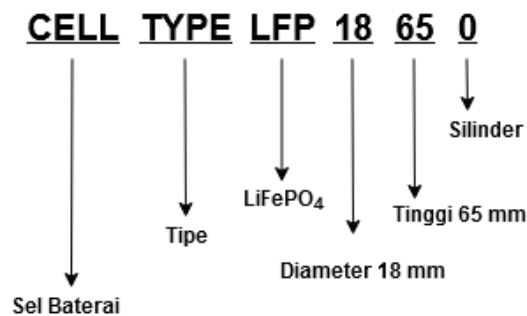
Baterai lithium umumnya diterapkan pada kendaraan listrik baik sebagai sumber energi primer atau sumber energi sekunder. Tetapi dalam aplikasinya, penggunaan baterai lithium ion memerlukan proteksi sesuai dengan karakteristik operasionalnya yang sensitif terhadap pengisian, pengosongan baterai serta perubahan suhu tak terkendali. Berikut ini jenis-jenis bahan katoda pada baterai lithium yaitu *lithium cobalt oxide* (LiCoO_2), *Lithium manganese oxide* (LiMn_2O_4), *Lithium Iron Phosphate* (LiFePO_4), *Lithium nickel-manganese cobalt oxide* (LiNiMnCoO_2), *lithium nickel cobalt aluminium oxide* (LiNiCoAlO_2) dan *lithium titanate* ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$) [15].

Pada penelitian ini menggunakan jenis baterai *LFP* yang diproduksi oleh Pusat Pengembangan Bisnis UNS (PUSBANGNIS UNS). Baterai LFP terbuat dari skala nano material fosfat sehingga memiliki resistansi yang rendah, masa umur baterai panjang, kemampuan penanganan beban tinggi, keamanan yang lebih baik ketika suhu tinggi dibandingkan jenis lithium lain, tidak memiliki efek racun/toksik dan biaya lebih murah. LFP memiliki sensitivitas terhadap suhu dimana terdapat beberapa operasional yang menurun karena pengaruh suhu. Berikut ini kontruksi dari sel baterai lithium secara umum



Gambar 2.5 (a) Kontruksi Dimensi Sel Baterai LFP 18650 (b) Sel baterai LFP [24]

Baterai *lithium* memiliki konfigurasi dalam penamaan tipe sel, yaitu sebagai berikut



Gambar 2. 6 Konfigurasi penamaan tipe lithium [24]

CELL Baterai tergolong dalam jenis baterai sel

TYPE Label tipe pada baterai

LFP Menandakan jenis baterai *lithium*. LFP

- 18** Menandakan diameter tabung sel baterai dalam satuan milimeter
- 65** Menandakan tinggi dari tabung sel baterai dalam satuan milimeter
- 0** Menandakan bentuk sel, bentuk berupa tabung/ silinder. Contoh lain dapat berupa pouch/kantong atau prisma.

Berikut ini spesifikasi dari sel baterai LFP 18650

Tabel 2.4 Spesifikasi Dari Baterai LFP [25]

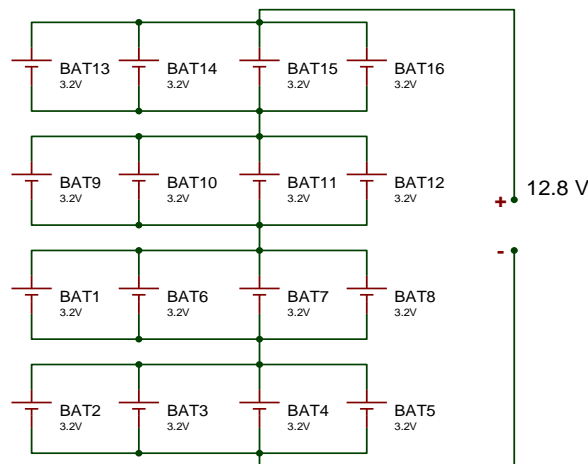
Specifications		LFP-18560
Nominal Voltage (V)		3.2
Specific Energy (Wh/Kg)		117
Minimum Discharge Voltage (V)		2.5
Working Voltage		3.0-3.2
C-Rate		1C-2C max
Capacity	Nominal Capacity	1400 mAh nominal
	Max Capacity	1500 mAh max
Dimensions	Small diameter (mm)	7.9
	Diameter (mm)	18.2 (max 18.6)
	High (mm)	65.1 (max 65.5)
Maximum charge Voltage (V)		3.65
Weight		41 grams
Max Discharge Current		5 A
Normal Temperature		25° C (Room Temperature)
Operation Temperature	Charging	-10° – 45° C
	Discharging	-20° – 60° C
Discharge Depth	100 %	2000-7000 Cycle
	10%	> 10000 Cycle

Keterangan :

1. *Nominal Voltage* = Tingkatan tegangan yang dimiliki oleh baterai. Pada sel baterai LFP 18650 memiliki tegangan sebesar 3.2 V.
2. *Spesific Energy (Wh/Kg)* = Merupakan banyaknya energi yang terkandung dalam baterai dibandingkan dengan beratnya.
2. *Minimum Discharge Voltage (V)* = Tingkatan tegangan minum yang diperbolehkan oleh pabrikan. Dapat diartikan sebagai batas bawah tegangan nominal sel baterai.
3. *Working Voltage* = Tegangan kerja sel baterai. Merupakan nilai saran dari pabrikan ketika baterai digunakan.
4. *Capacity* = Jumlah energi yang dapat digunakan dari baterai pada arus konstan dalam waktu tertentu. Pada baterai LFP memiliki *capacity* 1.4 Ah
5. *C-Rate* = Merupakan kemampuan seberapa cepat baterai dapat diisi dan dikosongkan dengan aman. LFP memiliki kapasitas 1.4 Ah 2C menandakan bahwa baterai mampu dikosongkan dengan arus 2.8 A dalam waktu 30 menit dengan aman.
6. *Dimensions* = Ukuran dan volume dari sel baterai LFP 18650
7. *Maximum Charge Voltage (V)* = Tingkatan tegangan maksimum dari sel baterai ketika di isi (*charging*). Dapat dikatakan sebagai batas atas tegangan sel baterai.
8. *Weight* = Berat dari sel baterai LFP tipe 18650 3.2 V
9. *Max Discharge Current* = Batas konsumsi sel baterai LFP. Sel baterai LFP memiliki batas maksimum *discharge* sebesar 5 A.
10. *Normal Temperature* = Suhu dimana baterai bekerja dengan baik, mempengaruhi kinerja baterai dan siklus hidup baterai.

11. *Operation Temperature* = Suhu operasi saran dari pabrik. Memiliki nilai 25°C (suhu lingkungan). Suhu yang sesuai operasi mempengaruhi siklus hidup sel baterai.
12. *Depth of Discharge (DOD)* = Persentase dari kapasitas yang dilepas oleh baterai. DOD merupakan kebalikan dari *state of charge* dimana merupakan nilai persentase penuh baterai. DOD yang tidak terkendali akan mempengaruhi siklus hidup dari baterai

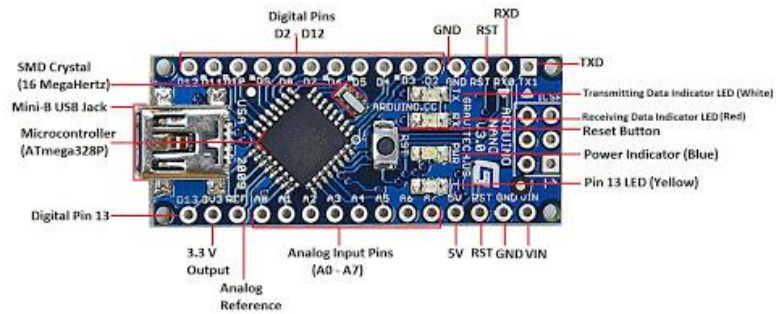
Sel baterai LFP akan dirangkai agar memenuhi tegangan sebesar 12 V (Tegangan Motor 12-18 V) dengan melakukan seri sel baterai sebanyak 4 sel, dan untuk memenuhi kebutuhan arus yang besar dilakukan perakitan paralel sel baterai berjumlah 4 sel. Berikut ini konfigurasi seri dan paralel pada perakitan baterai pack *lithium ferro phosphate* dengan spesifikasi 12.8 V 5.6 Ah



Gambar 2.7 Susunan Seri Paralel Baterai *Pack* LFP 12,8 V [Penulis]

2.5 Mikrokontroler Arduino Nano

Arduino nano merupakan *platform* mikrokontroler menggunakan IC Atmega328P. Mikrokontroler Arduino Nano memiliki 14 pin masukan dan keluaran dimana 6 pin keluaran pwm dan 6 keluaran digital, 6 inputan analog, osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, suplai daya, dan tombol reset. Berikut ini gambar arduino nano berserta pin input dan output [13].



Arduino Nano V3.0 Pinout

Gambar 2.8 Konfigurasi Arduino Nano [26]

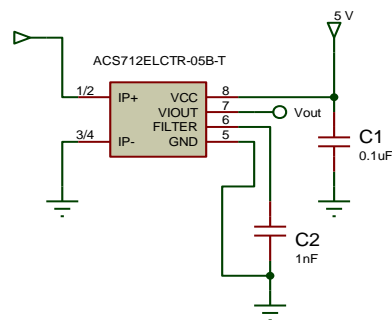
Tabel 2.5 Konfigurasi Arduino Nano

Arduino Nano Pin	Nama Pin Arduino Nano
1	Digital Pin 0 (TX)
2	Digital Pin 0 (RX)
3 & 28	Reset
4 & 29	GND
5	Digital pin 2
6	Digital pin 3 (PWM)
7	Digital Pin 4
8	Digital Pin 5 (PWM)
9	Digital Pin 6 (PWM)
10	Digital Pin 7
11	Digital Pin 8
12	Digital Pin 9 (PWM)
13	Digital Pin 10 (PWM-SS)
14	Digital Pin 11 (PWM-SS)
15	Digital Pin 12 (MISO)

16	Digital Pin 13 (SCK)
18	AREF
19 - 26	Analog input 0-7
27	Vcc
30	Vin

2.6 Sensor Arus ACS712

Sensor ACS712 merupakan salah satu sensor arus yang menggunakan prinsip *Hall-Effect*. Sensor ini banyak digunakan pada sistem otomasi seperti keamanan arus beban pada motor, monitoring beban arus. Sensor arus ACS712 mampu mengukur arus dari -30A sampai dengan 30A. Setiap arus yang melalui sensor akan berpengaruh terhadap tegangan operasi outputnya. Misalnya tegangan 0-2.5 V dengan kisaran arus yang mengalir sebesar -30A-0A, dan pada tegangan 2.5V-5.0V dilalui arus dengan kisaran 0A-30 A. Sensor arus ACS712 sama seperti modul sensor lain dimana memerlukan input Vcc dari mikrokontroler sebesar 5 V agar dapat bekerja. Berikut ini gambar pin out diagram dari sensor arus ACS712.



(a)



(b)

Gambar 2.9 (a) Rangkaian Skematik Sensor Arus (b) Modul Sensor Arus ACS712 [27]

Tabel 2.6 Penjelasan Setiap Pin Out Dari Sensor Arus ACS712

Nomor Pin	Nama	Deskripsi
1 dan 2	IP +	Terminal input arus yang akan diukur

3 dan 4	IP-	Terminal output arus yang akan diukur
5	GND	Terminal ground
6	FILTER	Terminal untuk kapasitor untuk mengatur bandwidth
7	VIOUT	Terminal output analog arduino
8	VCC	Terminal suplai daya 5 V

Berikut ini data spesifikasi dari sensor arus ACS712

Tabel 2.7 Data spesifikasi dari sensor arus ACS712 [18]

Karakteristik	Simbol	Rating Maksimum
Tegangan Suplai	Vcc	8 V
Output tegangan	Vout	8 V
Toleransi arus lebih	Ip	100 A
Sensitivitas	Tipe 5 T = 185 mV/A	
	Tipe 20 T = 100 mV/A	
	Tipe 30 T = 66 mV/A	

Dalam pembacaan arus, diperlukan perhitungan dalam menentukan rumus komputasi agar sesuai dengan resolusi sensitivitas sensor yang digunakan. Formula perhitungan dapat dirumuskan sebagai berikut [18]

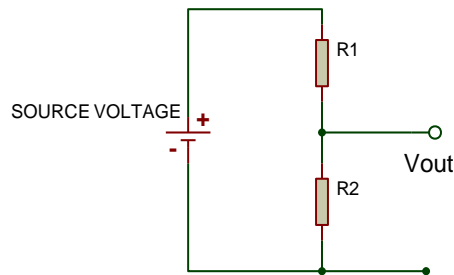
$$I = \frac{\left(\frac{V_{ref}}{ADC_{Max}}\right) \times ADC - \left(\frac{1}{2} \times V_{ref}\right)}{S} \quad (2.1)$$

Keterangan :

- I : Arus (Ampere)
 V_{ref} : Tegangan referensi (Volt)
 ADC_{Max} : Nilai ADC Maksimal
 ADC : Pembacaan nilai ADC
 S : Sensitivitas Sensor ACS712 (5A/20A/30A)

2.7 Pembagi Tegangan

Pembagi tegangan merupakan sebuah rangkaian yang memiliki fungsi untuk merubah tegangan dari suatu nilai tegangan ke nilai tegangan yang lebih kecil dan dapat digunakan sebagai sensor tegangan. Pada penggunaan sebagai sensor tegangan, nilai V_{output} rangkaian pembagi tegangan dihubungkan ke input analog mikrokontroler. Berikut ini rangkaian pembagi tegangan



Gambar 2.10 Rangkaian Pembagi Tegangan [18]

Berikut ini rumus menghitung nilai resistor pada pembagi tegangan [18]

$$V_{\text{OUT}} = V_{\text{IN}} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (2.2)$$

Keterangan :

V_{out} : Tegangan keluaran/ tegangan ke analog arduino, satuan volt ($< 5\text{V}$)

V_{in} : Tegangan masukan/tegangan sumber, satuan volt

R_1 : Nilai resistansi dari resistor pertama, satuan ohm

R_2 : Nilai resistansi dari resistor kedua, satuan ohm

Terlihat pada rangkaian gambar 2.10, pembagi tegangan, terdiri dari 2 buah resistor yang dipasang seri. Kalkulasi pada suatu rangkaian pembagi tegangan yaitu tegangan input akan dibagi secara proporsional sesuai dengan nilai resistansi dua resistor yang dirangkai seri.

2.8 Sensor Suhu DS18B20

Sensor Suhu tipe DS18B20 merupakan sensor yang memiliki output digital pada kaki data. Tingkat akurasi yang dimiliki oleh sensor suhu DS18B20 yaitu $0,5^\circ \text{C}$

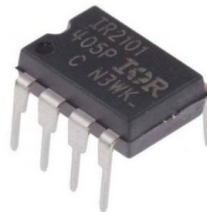
pada rentang suhu -10°C hingga $+85^{\circ}\text{C}$. Berikut ini konfigurasi pin sensor suhu DS18B20 pada proteus.



Gambar 2.11 (a) Rangkaian Skematik Sensor Suhu (b) Sensor Suhu DS18B20

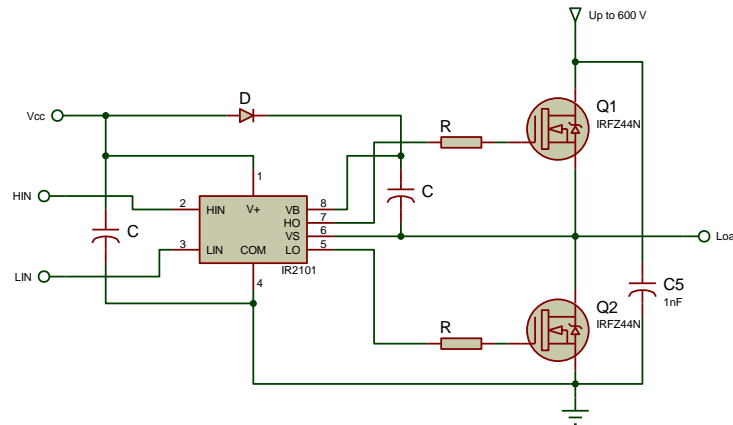
Pada gambar 2.11 menunjukkan bahwa Vcc terhubung dengan sumber tegangan sebesar 5 V, pin DQ merupakan pin data yang terhubung dengan pin digital arduino dan pin GND terhubung dengan ground. Pada pin Data, output yang dikerluarkan merupakan data digital dengan ketelitian sebesar $0,5^{\circ}\text{C}$ [18].

2.9 Driver MOSFET IR2101



Gambar 2.12 Driver MOSFET IC IR2101

IR2101 merupakan salah satu *driver* MOSFET yang banyak beredar dipasaran. IR2101 merupakan *driver* MOSFET daya dan IGBT tegangan tinggi dengan kecepatan output tinggi pada dua saluran yang berbeda yaitu High output dan Low output [28]. Berikut ini tipikal koneksi dari *driver* ir2101



Gambar 2.13 Rangkaian koneksi pada driver mosfet IR2101 [28]

Berikut ini data spesifikasi dari IR2101 berdasarkan datasheet

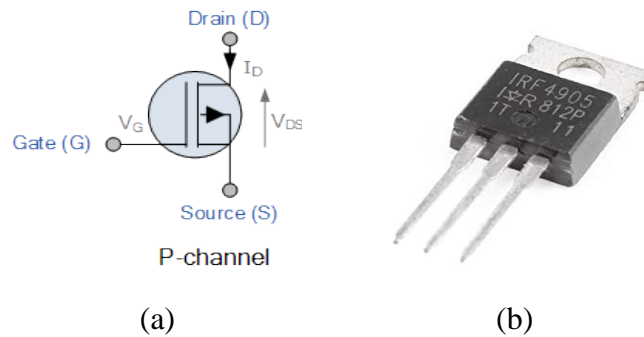
Tabel 2.8 Spesifikasi Dari Driver MOSFET IR2101 [28]

Simbol	Deskripsi	Nilai minimum	Nilai maksimum	satuan
V_B	Tegangan suplai sisi HIGH	$V_s + 10$	$V_s + 20$	V
V_S	Batas ambang tegangan suplai sisi HIGH	Note 1	600	V
V_{HO}	Ambang tegangan sisi HIGH	V_s	V_b	
V_{CC}	Tegangan suplai sisi LOW	10	20	V
V_{LO}	Tegangan keluaran sisi LOW	0	V_{cc}	V
V_{IN}	Tegangan masukan logika (HIN dan LIN)	0	V_{cc}	V
T_A	Batas Suhu	-40	125	$^{\circ}C$

2.10 MOSFET Daya

MOSFET memiliki kepanjangan *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor* adalah sebuah perangkat elektronika daya yang secara luas digunakan sebagai *switch* dan penguat sinyal elektronik. MOSFET adalah inti dari sebuah IC (*Integrated Circuit*) yang difabrikasi dengan single chip. Mosfet memiliki tiga gerbang terminal yaitu *Source* (S), *Gate* (G), *Drain* (D). Mosfet berkerja secara elektronik

memvariasikan sepanjang jalur pembawa muatan (elektron atau hole). Muatan listrik masuk melalui saluran pada source dan keluar melalui drain. Lebar saluran dikendalikan oleh tegangan pada elektrode yang disebut *Gate*. Berbeda dengan BJT (*Bipolar Junction Transistor*) yang dikendalikan oleh arus, MOSFET adalah *switch* daya yang dikendalikan oleh tegangan [13]. Berikut ini gambar dari MOSFET irf4905



Gambar 2.14 (a) Konfigurasi MOSFET irf4950 (b) MOSFET irf4950

Berikut perbandingan MOSFET terhadap kontrol *switch* yang lainnya

Tabel 2.9 Perbandingan MOSFET Dengan Kontrol *Switch* lain [13]

Elektronika Daya	Kemampuan Daya	Kecepatan Switching
BJT/MD	Sedang	Sedang
MOSFET	Rendah	Cepat
GTO	Tinggi	Lambat
IGBT	Sedang	Sedang
MCT	Sedang	Sedang

BAB III

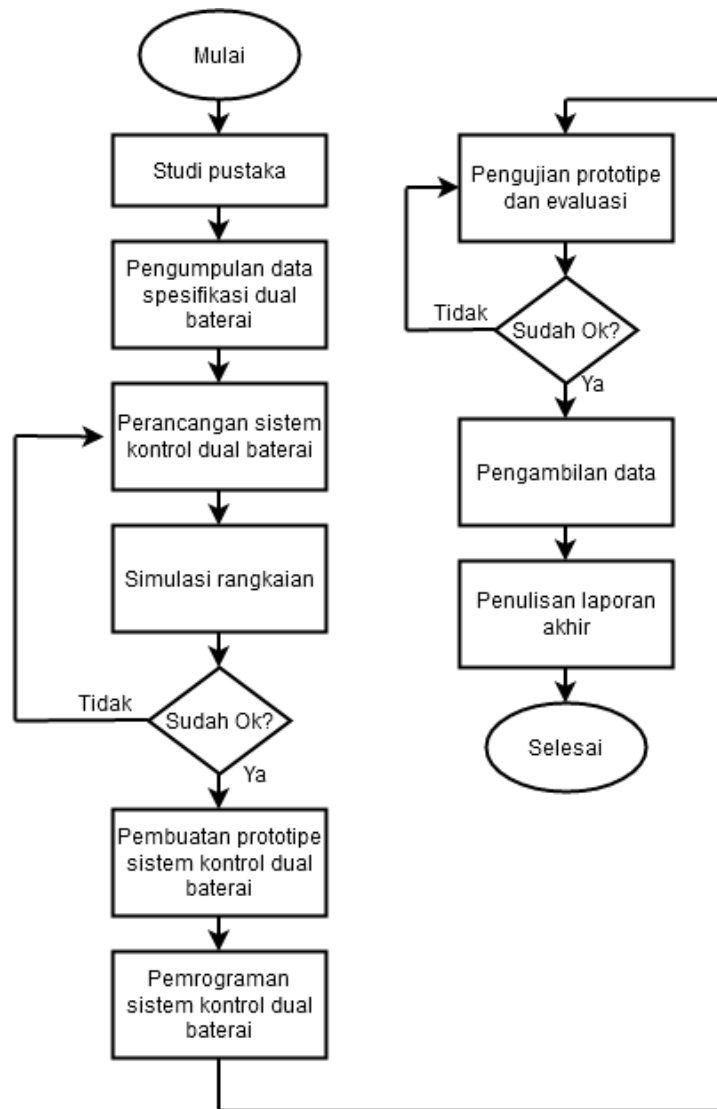
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Penelitian dimulai dengan mencari referensi berupa paper, jurnal, skripsi, *datasheet* komponen yang berkaitan dengan topik penelitian. Studi pustaka ini bertujuan untuk mengetahui konsep, prinsip kerja dan skematik rangkaian dari alat yang akan dibuat.

Setelah memahami teori dari beberapa referensi, dilakukan pengumpulan data spesifikasi dari baterai yang digunakan. Data spesifikasi digunakan sebagai acuan algoritma kerja *switching* dari alat. Dua jenis baterai yang digunakan yaitu baterai VRLA LC R 127R2 PGI dan baterai *pack* LFP. Selanjutnya melakukan perancangan dan simulasi dengan menggunakan *Software* Proteus 7 Professional. Setelah perancangan dan simulasi berhasil berjalan, berikutnya pengumpulan komponen serta pembuatan perangkat meliputi *etching PCB layout, drilling, soldering*, perakitan serta pengujian. Pada pengujian dilakukan beberapa tahapan yaitu pengujian *switching* melalui pembacaan gelombang dengan osiloskop, pengujian sensor dengan membandingkan hasil pengukuran meliputi akurasi dan presisi dan pengujian optimasi baterai berdasarkan pengujian baterai tunggal dan baterai ganda. Penelitian ini diakhiri dengan penulisan laporan akhir penelitian dari data dan hasil pengujian alat yang didapat. Berikut ini diagram alir jalannya penelitian

.



Gambar 3.1 Diagram Alir Jalannya Penelitian

3.1.1 Pengumpulan Data Spesifikasi Dual Baterai dan Beban

Pengumpulan data spesifikasi dilakukan untuk mengetahui operasional produk dari baterai yang digunakan, pada penelitian ini dilakukan pengumpulan spesifikasi dari baterai VRLA jenis LC R 12 7R2 PG1 dan baterai LFP *pack, driver* motor dan motor listrik DC sebagai beban.



(a)



(b)

Gambar 3.2 (a) Baterai VRLA (b) Baterai *pack* LFP

Berikut ini data spesifikasi dari baterai yang diperlukan dalam perancangan skenario program dan sistem

Tabel 3.1 Parameter Operasional *Switching* Baterai

Parameter		<i>LC R 12 7R2 PG1</i>	<i>Lithium Ferro Phosphate</i>
Tegangan (V)	Batas maksimum	14.9 (<i>Control Voltage</i>)	3.65 / sel (seri 4 sel 14.6 V)
	Batas minimum	6 V	2.5 / sel (seri 4 sel 9.9 V)
Arus (A)	Batas maksimum	1.44 A (Cut off voltage 10.5)	5 A
	Batas minimum	-	-
Tegangan Baterai	Batas minimum	(6 V dari 12 V)	(9.9 V dari 12 V)
Suhu (°C)	Batas maksimum	50° C	40° C

Dari tabel 3.1 diketahui beberapa batas kritikal dari sebuah baterai yang digunakan dalam menentukan *switching* baterai. Parameteter dari hasil pembacaan sensor dan variasi beban akan disesuaikan dengan operasional produk baterai yang digunakan. Berikut ini operasional motor listrik DC.



Gambar 3.3 Motor DC

Tabel 3. 2 Operasional Beban Motor DC

Operasional Beban Motor DC	Nilai
I rated	0,18 A
V rated	12,51 V
P rated	0,09 Watt

Dari tabel 3.2 diketahui operasional beban motor DC ketika dioperasikan.

Didapatkan nilai I_{rated} 0,18 A, V_{rated} 12,51 V dan P_{rated} 0,0963 Watt.

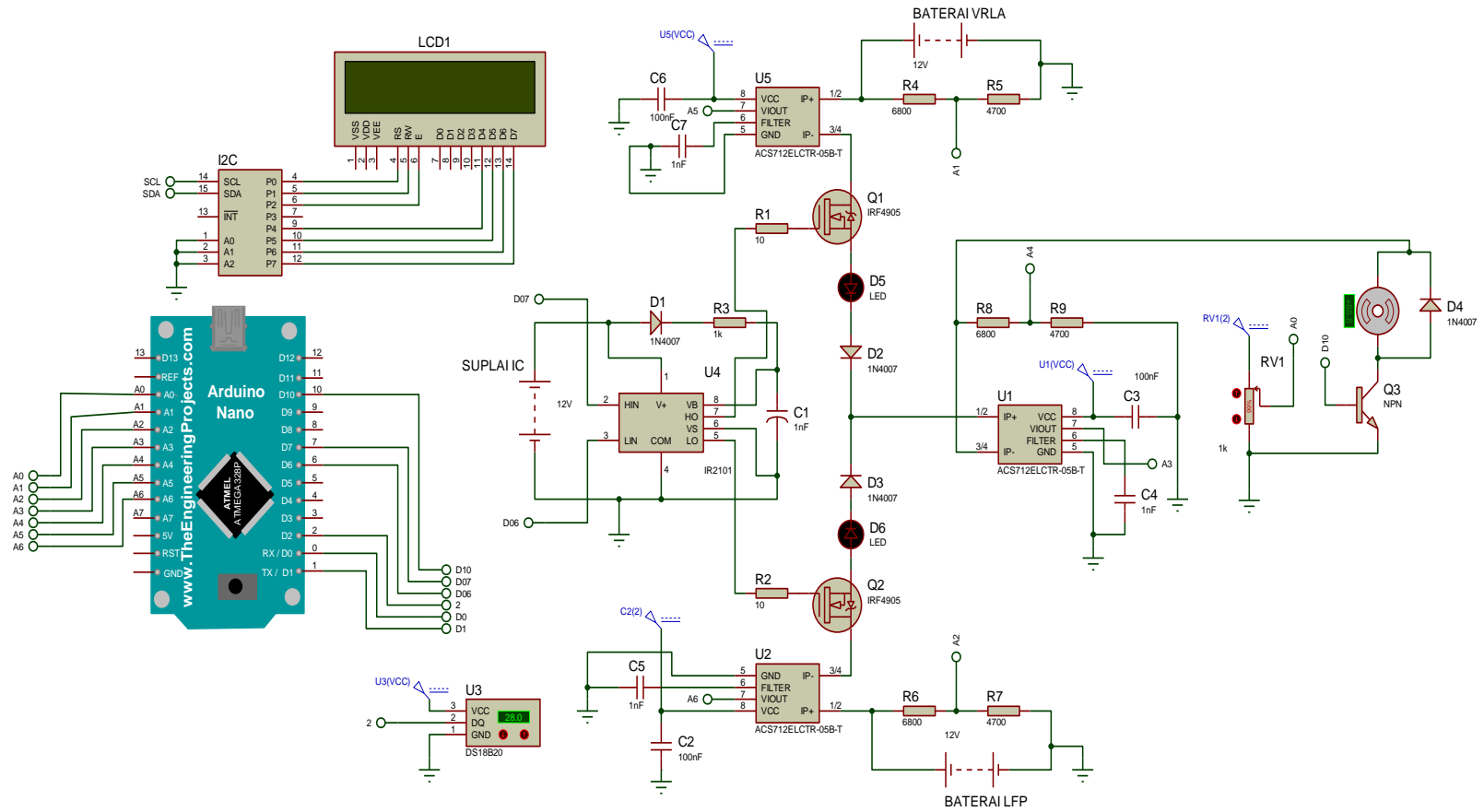
Tabel 3. 3 Operasional Beban Driver L298n

Operasional Driver L298n	Bukaan 60 % (analogRead : 3)	Bukaan 40% (analogRead :2)	Bukaan 100% (analogRead : 5)
I input (Ampere)	0,18	0,16	0,19
V input (Volt)	11,64	11,68	11,65
P input (Watt)	2,09	1,86	2,21
I output (Ampere)	0,07	0,06	0,07
V output (Volt)	8,78	7,31	10,12
P output (Watt)	0,61	0,43	0,70
Efisiensi (%)	29,33	23,46	32,00

Dari Tabel 3.3 diketahui operasional nilai arus masukan, arus keluaran, tegangan masukan, tegangan keluaran, daya masukan dan daya keluaran dari driver motor L298n berdasarkan variasi bukaan potensiometer 60%, 40% dan 100% ketika *driver* dioperasikan.

3.2 Perancangan Alat

Perancangan alat dilakukan melalui beberapa tahap yaitu perancangan rangkaian dengan menggunakan *software* Proteus, pemrograman sistem dan pembuatan prototipe. Pada perancangan sistem kontrol dual baterai terdapat dua bagian yaitu pembuatan rangkaian *switching* dan rangkaian sensor. Setelah perancangan sistem kontrol dual baterai telah selesai, dilakukan permodelan dengan menghubungkan alat dengan *driver* motor untuk melihat kinerja *switching* dalam menentukan penggunaan baterai berdasarkan variasi kerja motor. Berikut ini rangkaian skematik alat dan permodelan keseluruhan.



Gambar 3.4 Rangkaian Sistem Kontrol *Switching* Dual Baterai Beserta *Driver* dan Motor

3.3 Alat dan Bahan

Berikut ini alat dan bahan yang digunakan dalam merancang, mendesain, merakit dan menguji :

1. Multimeter Digital
2. Software Arduino.IDE (Perangkat lunak pemrograman mikrokontroler arduino),
PROTEUS ISIS 7 Professional (Perangkat lunak merangkai rangkaian listrik dan simulasi)
3. Solder, bor listrik, tang jepit, tang potong, obeng, charter, penggaris,
FeriCloit(FeCl_3), Akrilik.
4. Osiloskop Gwinstek, Hantek dan Laptop.

Sedangkan bahan-bahan yang diperlukan dan digunakan untuk membuat sistem kontrol daya dual baterai meliputi sistem *switching* dan sistem *monitoring* adalah sebagai berikut :

Tabel 3.4 Bahan Habis Pakai Penelitian

No	Bahan	Kuantitas
1.	Arduino Nano	1
2.	Sel baterai LFP 3,2 V	16
3.	Baterai VRLA tipe LCR127R2-PG1	1
4.	Power Mosfet IRF4905	2
5.	Sensor Arus ACS712- 5A	1
6.	Driver Mosfet IR2101	1
8.	Diode 3 A	2
9.	Sensor Suhu DS18B20	1
10.	Resistor 1k, 10, 6k8, 4k7	9

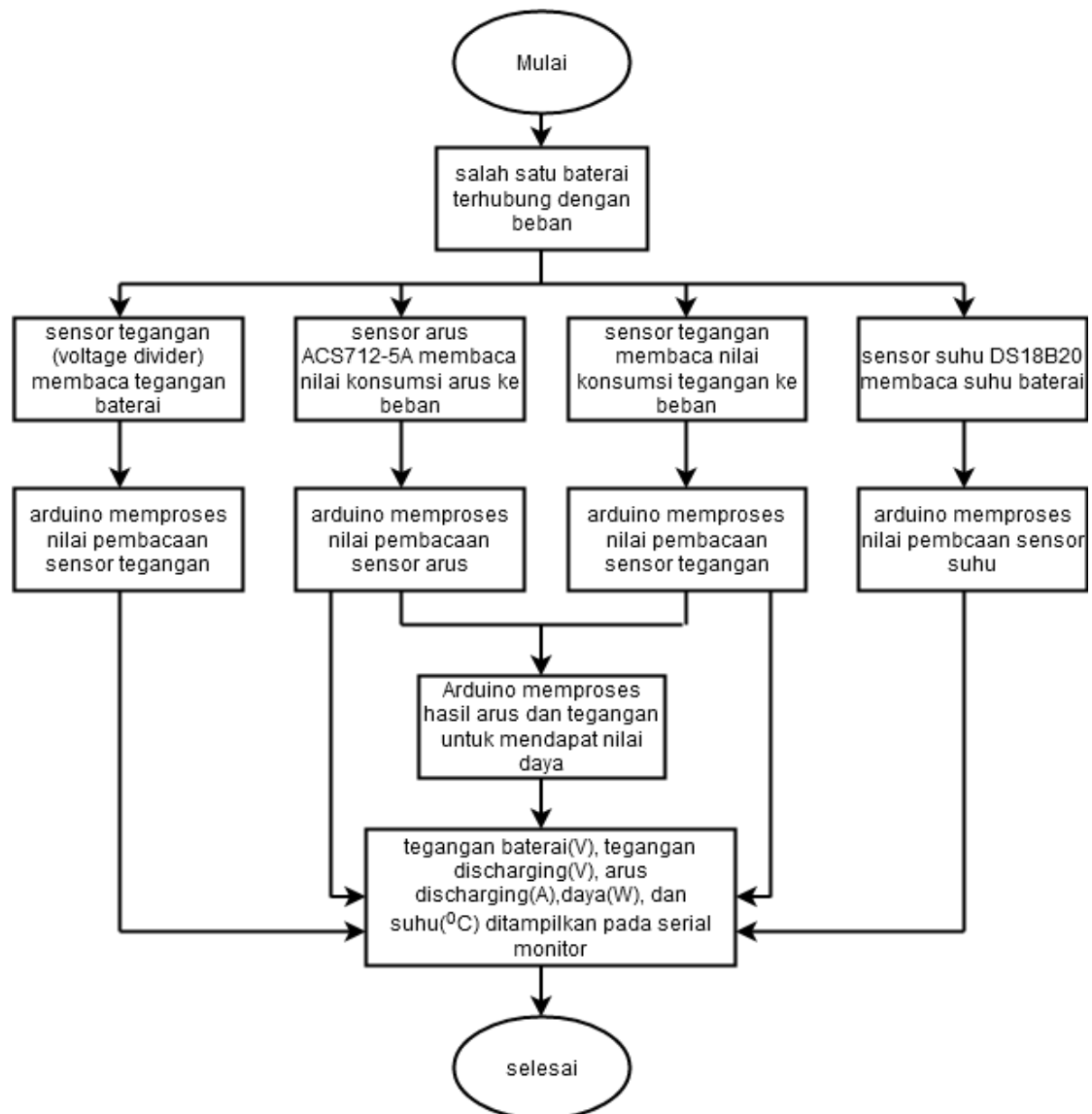
11.	Socket IC 8 pin DIP	1
12.	Kabel <i>Jumper</i>	10
13.	PCB Polos	1

3.4 Perancangan Perangkat Keras

Pada perancangan perangkat keras terbagi menjadi dua bagian yaitu perancangan perangkat keras *switching* dan perangkat keras *monitoring*.

3.4.1 Perancangan Perangkat Keras Sistem *Monitoring*

Pada perancangan perangkat keras sistem *monitoring* memerlukan beberapa sensor untuk pembacaan nilai konsumsi arus (Ampere), konsumsi tegangan (Volt), Daya (Watt), kapasitas tegangan baterai (Volt) dan suhu ($^{\circ}\text{C}$). Peran sensor diperlukan untuk mengetahui besar nilai pengukuran kerja sistem dimana akan diproses oleh mikrokontroler. Nilai pembacaan sensor juga digunakan sebagai *feedback* dalam menentukan proses *switching* dual baterai sesuai dengan skenario sistem. Berikut ini diagram alir dari perancangan sistem *monitoring*

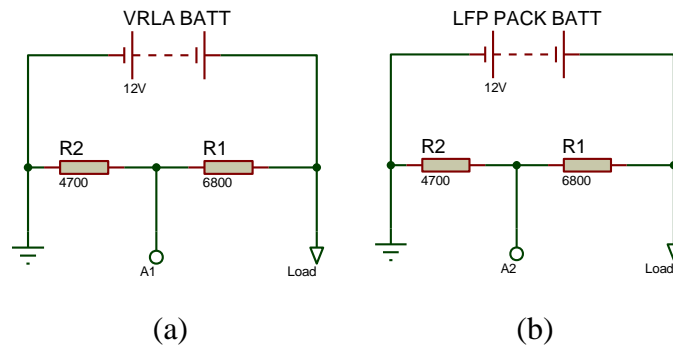


Gambar 3. 5 Diagram Alir Sistem *Monitoring*

Terlihat pada gambar 3.5 Diagram alir sistem *monitoring* memerlukan beberapa perancangan sensor yang terpisah yaitu sensor tegangan kapasitas tegangan baterai VRLA dan LFP, sensor arus ACS712, sensor konsumsi tegangan beban, sensor konsumsi arus beban dan sensor suhu untuk pembacaan suhu baterai.

3.4.1.1 Perancangan Sensor Tegangan Baterai

Berikut ini rangkaian sensor tegangan dengan pembagi tegangan untuk mencari nilai kapasitas tegangan baterai. Pembacaan tegangan baterai diketahui linear terhadap nilai SOC sehingga besaran nilai tegangan dari sebuah baterai dapat dituliskan dan dimodelkan dalam sebuah fungsi persamaan dari besar kecilnya SOC [29].



Gambar 3. 6 Rangkaian Sensor Tegangan Baterai (a) Baterai VRLA (b) Baterai LFP

Pada perancangan sensor tegangan penulis menggunakan rangkaian pembagi tegangan dengan perhitungan nilai resistor 1 dan resistor 2 sebagai berikut

$$V_{OUT} = V_{IN} \cdot \frac{R2}{R1+R2}$$

$$V_{OUT} = 12 \cdot \frac{(4700)}{(6800)+(4700)}$$

$$V_{OUT} = 12 \times \frac{4700}{11500}$$

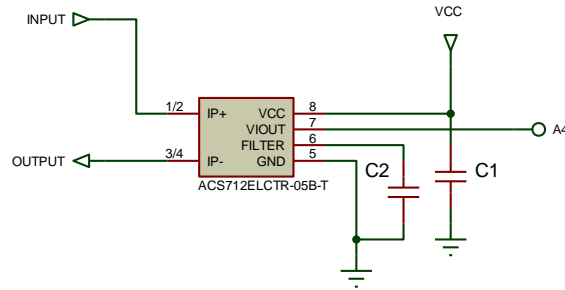
$$V_{OUT} = 12 \times 0.408$$

$$V_{OUT} = 4.896 \text{ V}$$

Hasil dari tegangan (V_{out}) yang didapat masuk ke analog arduino untuk dirubah menjadi nilai ADC yaitu 0-5 V. Nilai yang terbaca oleh analogRead/ADC akan dilakukan kalibrasi untuk menyesuaikan dengan nilai regresi perubahan tegangan per bit ke nilai sebenarnya (0-12 V) yang terbaca pada sensor tegangan. Pada nilai regresi baterai VRLA memiliki nilai intercept -0,230398976 dan nilai slope 1,011576903 sedangkan pada baterai LFP memiliki nilai intercept -0,203829539 dan nilai slope 1,006817844.

3.4.1.2 Perancangan Sensor Arus ACS712-5A

Berikut ini rangkaian sensor arus ACS712-5A



Gambar 3.7 Rangkaian Sensor Arus ACS712-5A

Terlihat pada rangkaian gambar 3.7 sensor arus ACS712-5A memiliki beberapa pin yaitu pin IP+ yang terhubung dengan input, pin IP- terhubung dengan output, pin Vcc terhubung pada pin suplai 5 V, pin Vout terhubung pada pin analog dari arduino, pin filter yang terhubung dengan pin ground. Tipe sensor arus yang digunakan merupakan tipe range 5 A dimana memiliki sensitivitas pembacaan sebesar 185 mV/A, sehingga perhitungan rumus komputasi pada program sebagai berikut

$$I = \frac{\left(\frac{V_{ref}}{ADC_{Max}}\right) \times ADC - \left(\frac{1}{2} \times V_{ref}\right)}{S}$$

$$I = \frac{\left(\frac{5V}{1023}\right) \times ADC - \left(\frac{1}{2} \times 5V\right)}{0.185 V/A}$$

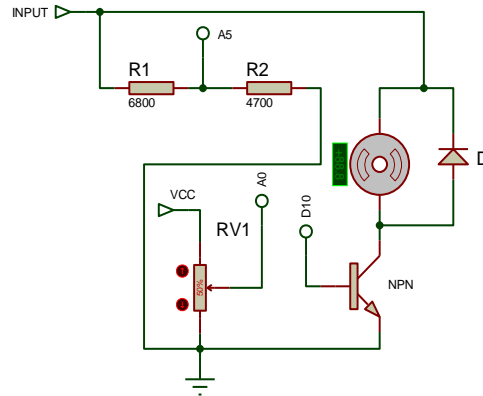
$$I = \frac{(0.0049) \times ADC - (2.5)}{0.185}$$

$$I = 0.0264 \times ADC - 13.513$$

Formula yang didapat digunakan pada program pembacaan sensor arus. Dengan ADC merupakan analogRead dari pembacaan pin Vout sensor arus.

3.4.1.3 Perancangan Sensor Tegangan pada Beban

Berikut ini rangkaian sensor tegangan (pembagi tegangan) pada beban

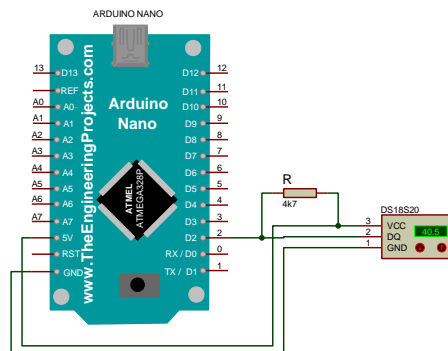


Gambar 3.8 Rangkaian sensor tegangan pada beban motor

Terlihat pada gambar 3.8 Rangkaian sensor tegangan pada beban motor, sensor tegangan berbentuk pembagi tegangan dimana menggunakan resistansi resistor 1 sebesar 6800 ohm dan resistor 2 sebesar 4700 ohm untuk mendapatkan nilai V_{out} dibawah 5 V. Selanjutnya nilai V_{out} diproses oleh pin analog A5 arduino untuk mendapatkan nilai tegangan sebenarnya. Sensor tegangan ini bertujuan dalam membaca nilai konsumsi tegangan ketika motor bekerja sesuai dengan variasi bukaan potensiometer.

3.4.1.4 Perancangan Sensor Suhu DS18B20

Berikut ini rangkaian sensor suhu DS18B20

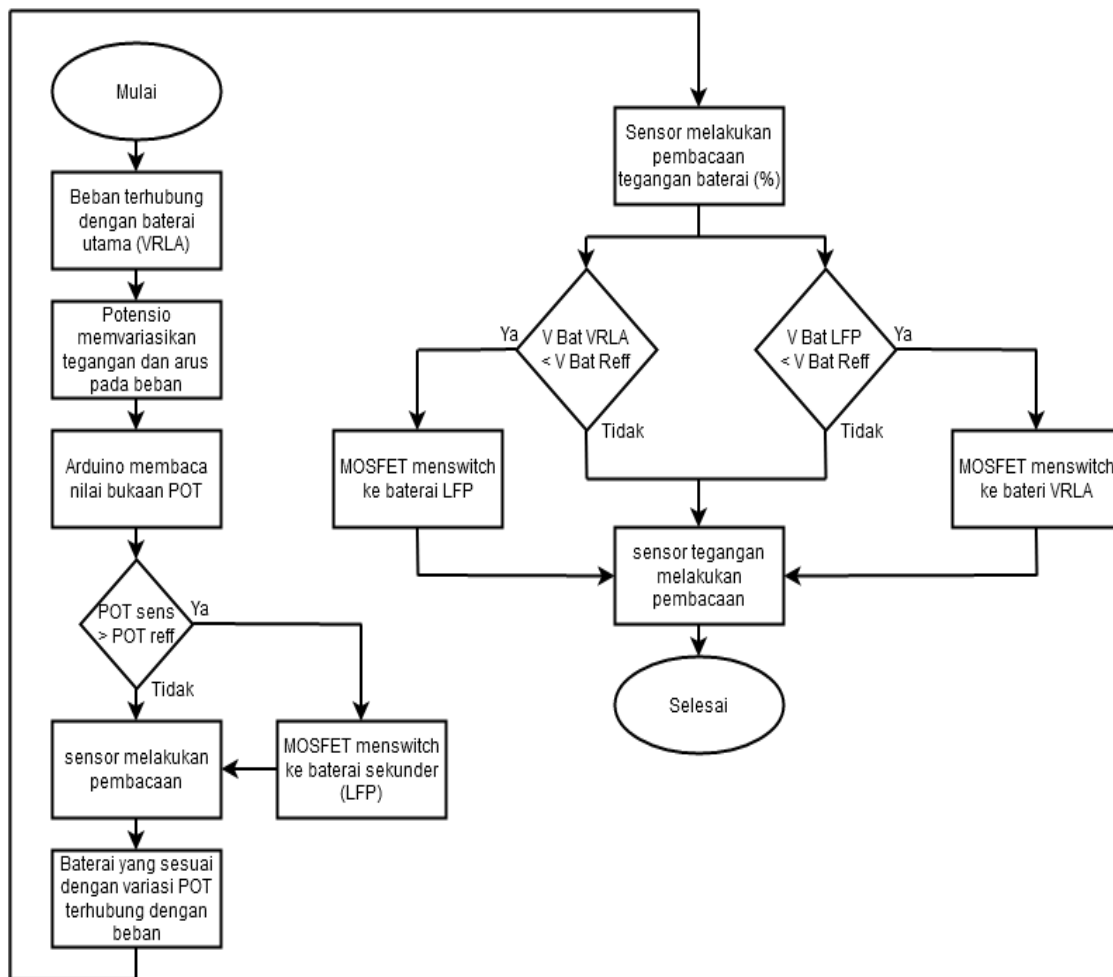


Gambar 3. 9 Rangkaian Sensor Suhu DS18B20 pada Mikrokontroler

Pada gambar 3.9 terlihat bahwa rangkaian sensor suhu DS18B20 memiliki 3 pin input yaitu pin V_{CC} yang terhubung pada suplai 5 V arduino nano, pin GND yang terhubung pada ground arduino nano dan pin data terhubung pada pin 2 digital arduino nano. Sensor suhu ini berfungsi sebagai *feedback* pembacaan suhu agar mengetahui apakah sesuai dengan batas operasional suhu produk baterai.

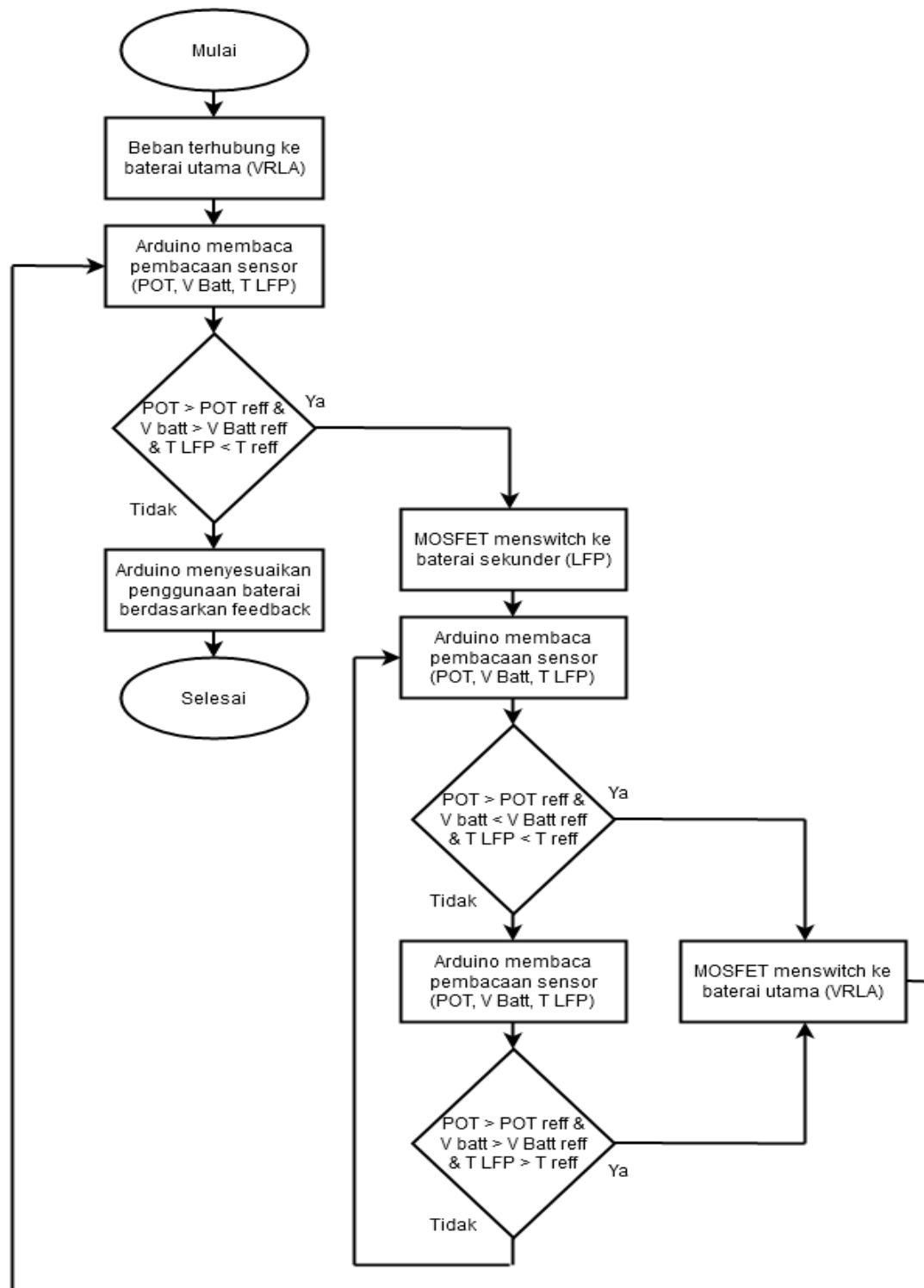
3.4.2 Perancangan Perangkat Keras Sistem *Switching*

Perancangan bagian yang ketiga yaitu sistem *switching* dual baterai. Sistem *switching* ini berfungsi dalam memutus dan menyambung arus dan tegangan baterai ke beban. Dengan adanya dual baterai, *switching* disini bertugas dalam menentukan penggunaan salah satu baterai ke beban sesuai dengan skenario atau algoritma yang dibuat. Algoritma ini disesuaikan parameter bukaan *Throttle Gas*/Potensiometer (POT reff), suhu (T reff), dan Tegangan Baterai (V Bat reff) sesuai dengan spesifikasi operasional produk baterai. Komponen *switching* menggunakan MOSFET daya IRF4905 P-Channel yang dapat menswitch dari On ke Off dengan menggunakan PWM. Penggunaan MOSFET daya tipe P-Channel memiliki frekuensi *switching* cepat dan berkerja berdasarkan tegangan yang diberikan, dengan tegangan gate yang tidak terlalu besar ($V_{gate} < V_{source}$). Berikut ini algoritma *switching* baterai



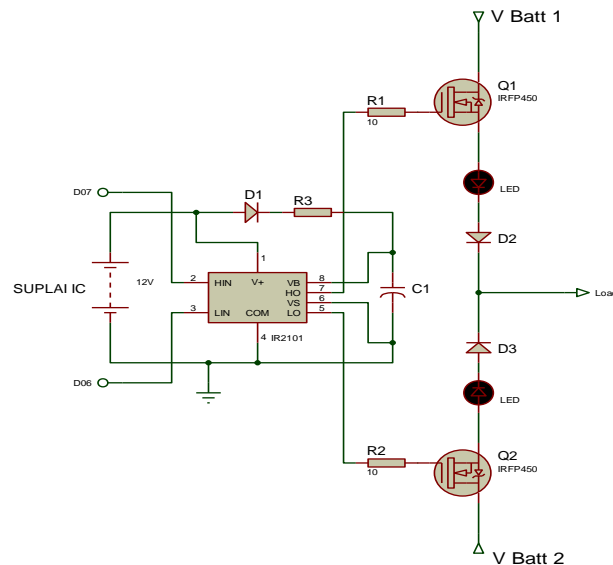
Gambar 3. 10 Diagram Alir Sistem *Switching* Dual Baterai

Terlihat pada gambar 3.10 diatas merupakan skenario penggunaan baterai yang akan digunakan sebagai suplai daya. Terlihat peran utama *switching* ditentukan oleh bukaan *throttle handle gas* dimana pada penelitian ini diganti dengan potensiometer (POT) dalam menentukan penggunaan baterai. Dari beberapa keadaan yang terjadi, sistem *switching* dipengaruhi tiga parameter yaitu bukaan POT, tegangan baterai dan suhu baterai. Diantara tiga keadaan tersebut diurutkan berdasarkan batas kritikal produk baterai yang digunakan, sehingga berikut ini diagram alir prioritas antara tiga keadaan ketika bersamaan



Gambar 3. 11 Prioritas Tiga Keadaan Bersamaan *switching* baterai

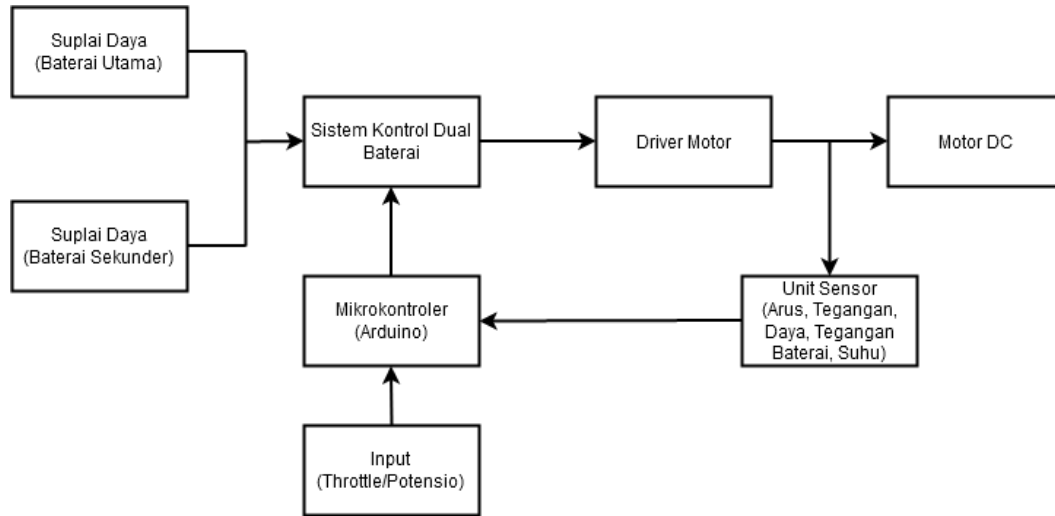
Berikut ini rangkaian *gate driver* MOSFET IC IR2101 setelah dilakukan modifikasi



Gambar 3.12 *Gate Driver* IR2101

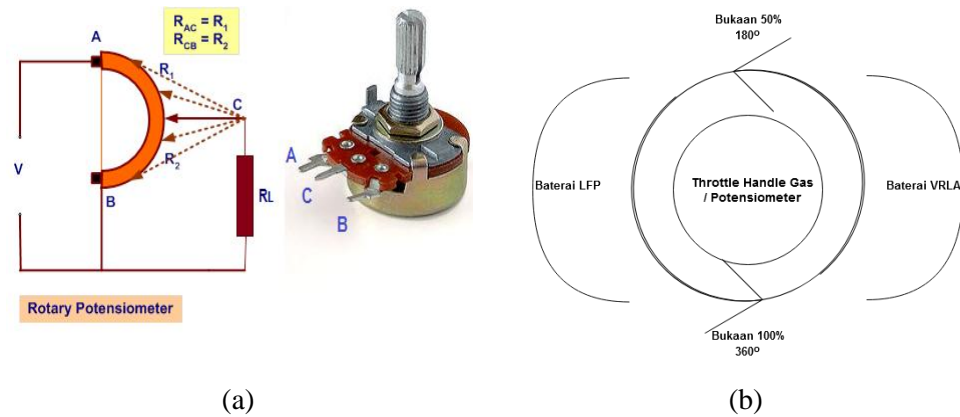
Terlihat pada gambar 3.12 IC IR2101 memiliki beberapa pin masukan dan keluaran. Pada sisi kiri IC merupakan sisi input dimana terdapat pin HIN yang terhubung dengan pin digital D7 arduino, pin LIN terhubung dengan pin pwm D6 arduino, pin V+ terhubung pada suplai daya tegangan 12 V, pin COM terhubung dengan beban. IC IR2101 merupakan *non isolated gate driver* sehingga grounding terhubung dari sisi input maupun output. Sedangkan pada sisi output terdapat pin Vb yang terhubung ke kutub positif suplai IC, pin Vs terhubung pada kutub negatif suplai IC, pin HO terhubung pada sisi *gate* mosfet baterai satu (baterai utama) dan pin LO terhubung pada sisi *gate* mosfet baterai dua (baterai kedua). Pada rangkaian diatas merupakan modifikasi sedikit dari koneksi *gate driver* IR 2101 dimana pada sistem kontrol dual baterai hanya memerlukan sisi HIGH saja dengan menghubungkan antara dua pin source MOSFET.

3.4.3 Perancangan Sistem Keseluruhan



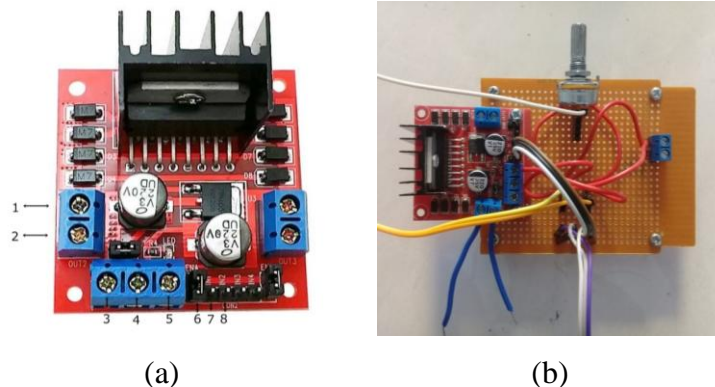
Gambar 3.13 Blok diagram permodelan sistem keadaran listrik sederhana

Pada gambar 3.13 diatas merupakan blok diagram dari sistem kendaraan sederhana meliputi suplai daya, kontrol, dan penggerak. Baterai disini bertindak sebagai sumber energi dalam menyalurkan tenaga listrik ke sistem. Pada blok berikutnya terdapat sistem kontrol dual baterai. Kontroler disini mengatur kerja sistem berdasarkan algoritma pemrograman yang telah di buat pada perangkat. Kontroler tersebut mendapat input perintah dari *Throttle gas* dimana pada permodelan disini menggunakan potensiometer. *Throttle gas* merupakan salah satu komponen pada kendaraan listrik terutama pada sepeda listrik dalam mengatur bukaan suplai daya ke beban. *Throttle gas* bekerja berdasarkan resistansi sama halnya dengan potensiometer, dimana ketika diputar, resistansi variabel yang terhubung dengan kontroler akan berubah sehingga mempengaruhi masukan daya pada *driver* dan motor listrik. Berikut ini gambar sederhana dari prinsip kerja potensiometer



Gambar 3. 14 (a) Sistem Resistansi pada Potensiometer (b) Skenario bukaan Potensiometer

Pada gambar 3.14 (a) terlihat skema sederhana putaran potensiometer. Potensiometer memiliki 3 pin yaitu pin ground / 0 V, pin Vcc sebesar 5 Volt, dan pin analog/sinyal. Pada pin sinyal terhubung dengan wiper / gagang yang terkoneksi pada resistansi yang berbeda. Sedangkan pada gambar (b) merupakan konfigurasi bukaan potensiometer berdasarkan skenario switching penggunaan baterai. *Driver motor* diperlukan dalam permodelan sistem kendaraan listrik dimana dapat kita atur masukan berupa kecepatan dengan mengatur pada sisi potensiometer *driver* motor. *Driver* motor yang digunakan pada penelitian ini yaitu driver l298N. Berikut ini konfigurasi pin dari driver L298N dan instalasinya dengan potensiometer



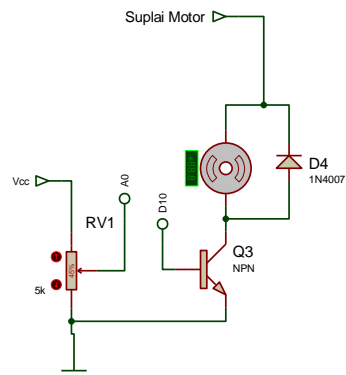
Gambar 3.15 (a) Konfigurasi Pin *Driver* Motor l298N (b) Instalasi *Driver* Motor Dengan Potensiometer

Keterangan :

Tabel 3.5 Konfigurasi *Driver* Motor l298N

No	Fungsi
1	Terhubung dengan kutub positif motor DC
2	Terhubung dengan kutub negatif motor DC
3	Terhubung dengan suplai, working voltage 12 V
4	Terhubung dengan grounding
5	Terhubung dengan Vcc 5 V
6	Pin enable untuk mengatur kecepatan motor, menggunakan potensiometer, pin enable terhubung pada pin PWM arduino
7	Pin INT 1 (pin kontrol) terhubung dengan pin digital arduino
8	Pin INT 2 (pin kontrol) terhubung dengan pin digital arduino

Berikut ini rangkaian *driver* motor pada simulasi proteus ISIS



Gambar 3.16 Rangkaian *driver* motor pada simulasi Proteus ISIS

Pada rangkaian *driver* motor simulasi memerlukan beberapa komponen yaitu transistor jenis NPN dimana memiliki 3 pin yaitu *basis*, *collector* dan *emitter*. Pin basis terhubung dengan pin PWM D10 arduino, pin basis yang akan mengatur arus tegangan yang mengalir dari *collector* ke *emitter*. Agar basis transistor dapat bekerja, diperlukan tegangan masukan. Tegangan masukan ke basis di atur oleh potensiometer yang terhubung ke pin A0 analog arduino. Jenis motor yang digunakan merupakan motor DC dengan tegangan kerja sebesar 12 V.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab IV berisi tentang hasil uji coba rangkaian alat secara keseluruhan baik percobaan ketika simulasi menggunakan Proteus ISIS maupun percobaan prototipe. Pada tahap percobaan akan dilakukan pengambilan data pada sisi gelombang *switching* serta melakukan validasi pembacaan sensor dengan alat ukur yang telah terkalibrasi.

4.1 Pengujian Simulasi

Berikut ini set poin/batas kritikal referensi bukaan potensio, tegangan baterai dan suhu yang digunakan dalam algoritma/skenario pemilihan baterai

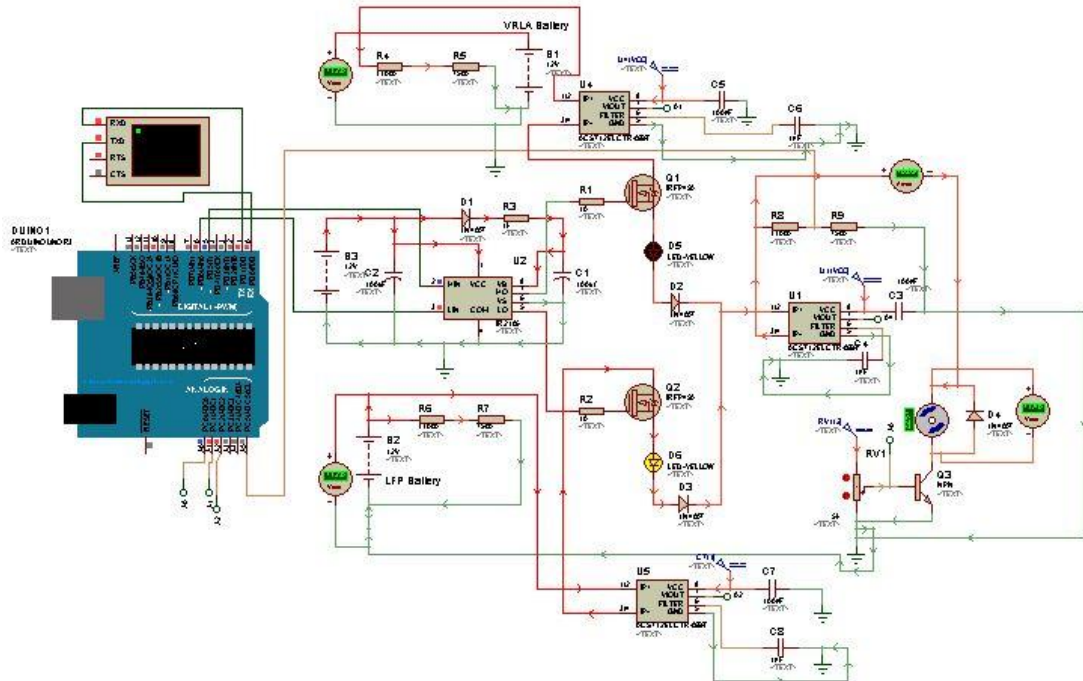
Tabel 4.1 Batas Referensi *Switching* Dual Baterai

Parameter	<i>Primary battery</i> <i>(valve regulated lead acid)</i>	<i>Secondary battery</i> <i>(lithium ferro phosphate)</i>
Potensiometer (POT reff)	< 50 %	> 50 %
Kapasitas Tegangan Baterai (V Bat reff)	>6 V	>9.9 V
Suhu (T reff)	<50 ° C	<40 ° C

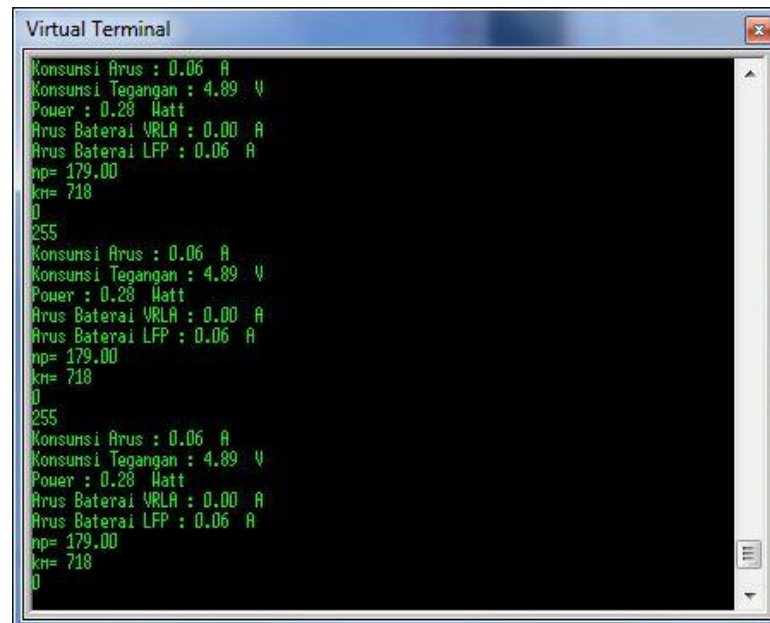
Referensi/set point yang digunakan disesuaikan dengan kondisi motor pada simulasi dimana bekerja secara ideal tanpa gangguan dan tanpa beban.

4.1.1 Pengujian Switching Simulasi

Pengujian *switching* merupakan pengujian yang dilakukan dengan melakukan simulasi perubahan variasi beban motor dari bukaan potensiometer 60%, bukaan potensiometer 40% dan bukaan potensiometer 100% pada software Proteus. Pengujian ini dilakukan dengan memperhatikan animasi dari simulasi rangkaian dengan mempertimbangkan konsumsi arus baterai, arah mengalir arus serta jalur yang mengalirkan tegangan. Pengamatan dari pengujian ini juga dibuktikan dengan nilai pembacaan sensor pada serial monitor virtual. Berikut ini gambar simulasi dari bukaan potensiometer 60 %, 40% dan 100%

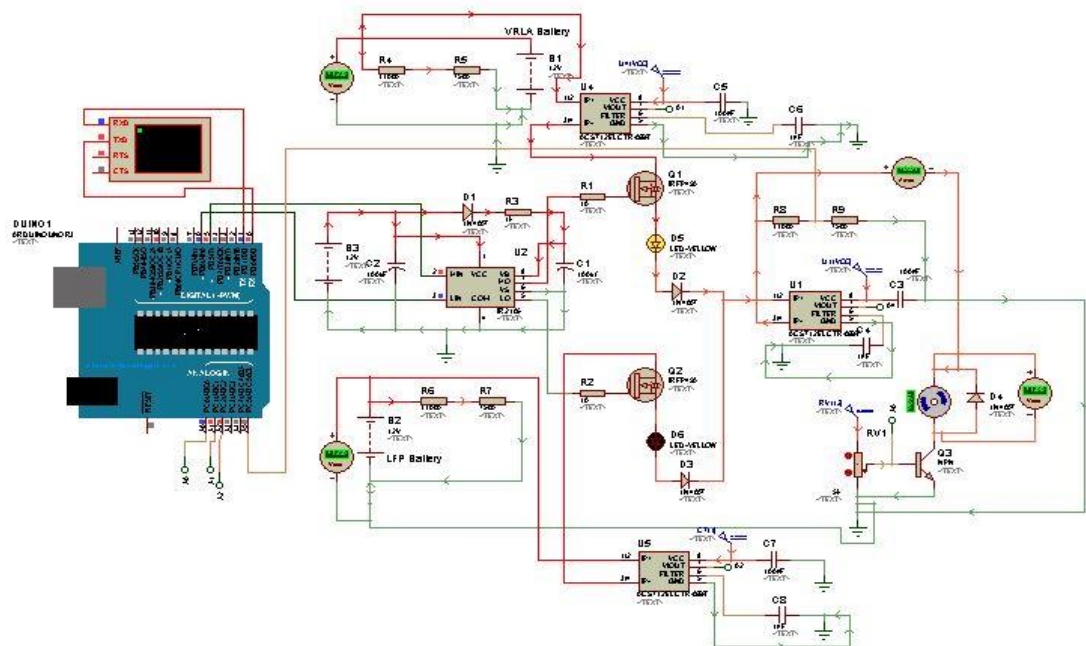


Gambar 4.1 Hasil Simulasi rangkaian pada Proteus dengan bukaan potensiometer 60%



Gambar 4. 2 Hasil Pembacaan sensor pada serial monitor virtual ketika bukaan potensiometer 60%

Terlihat pada hasil simulasi diatas bahwa ketika bukaan potensiometer 60% baterai yang akan terhubung dengan beban yaitu baterai LFP. Hal ini dipengaruhi oleh program dan skenario *switching* yang telah dibuat dalam mengatur pemilihan baterai. Didapatkan nilai konsumsi arus beban sebesar 0.06A, nilai konsumsi tegangan beban sebesar 4,89 V, nilai daya beban sebesar 0,28 Watt, dan nilai konsumsi baterai LFP 0,06A dan konsumsi arus baterai VRLA 0 A karena tidak terhubung dengan beban. berikut ini hasil simulasi ketika bukaan potensiometer 40%



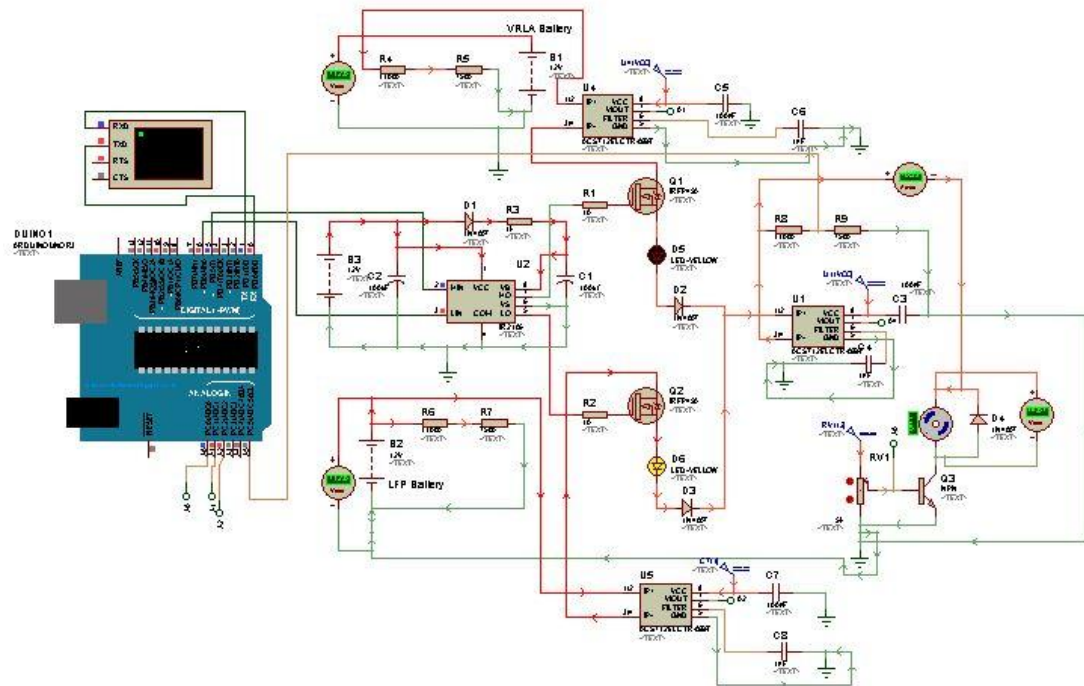
Gambar 4.3 Hasil Simulasi rangkaian pada Proteus dengan bukaan potensiometer 40%



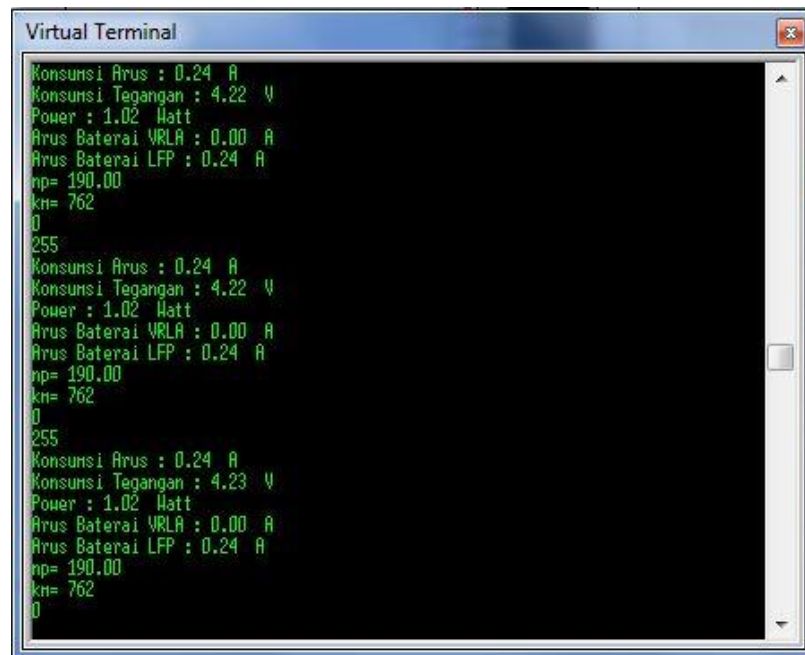
Gambar 4. 4 Hasil Pembacaan sensor pada serial monitor virtual ketika bukaan potensiometer 40%

Terlihat pada hasil simulasi diatas bahwa ketika bukaan potensiometer 40% baterai yang akan terhubung dengan beban yaitu baterai VRLA. Hal ini dipengaruhi

oleh program dan skenario *switching* yang telah dibuat dalam mengatur pemilihan baterai. Didapatkan nilai konsumsi arus beban sebesar 0,03 A, nilai konsumsi tegangan beban sebesar 4,59 V, nilai konsumsi daya beban sebesar 0,14 Watt, nilai konsumsi arus baterai VRLA sebesar 0,03 A dan nilai konsumsi arus baterai LFP 0 A karena tidak terhubung dengan beban. berikut ini hasil simulasi ketika bukaan potensiometer 100%



Gambar 4. 5 Hasil Simulasi rangkaian pada Proteus dengan bukaan potensiometer 100%



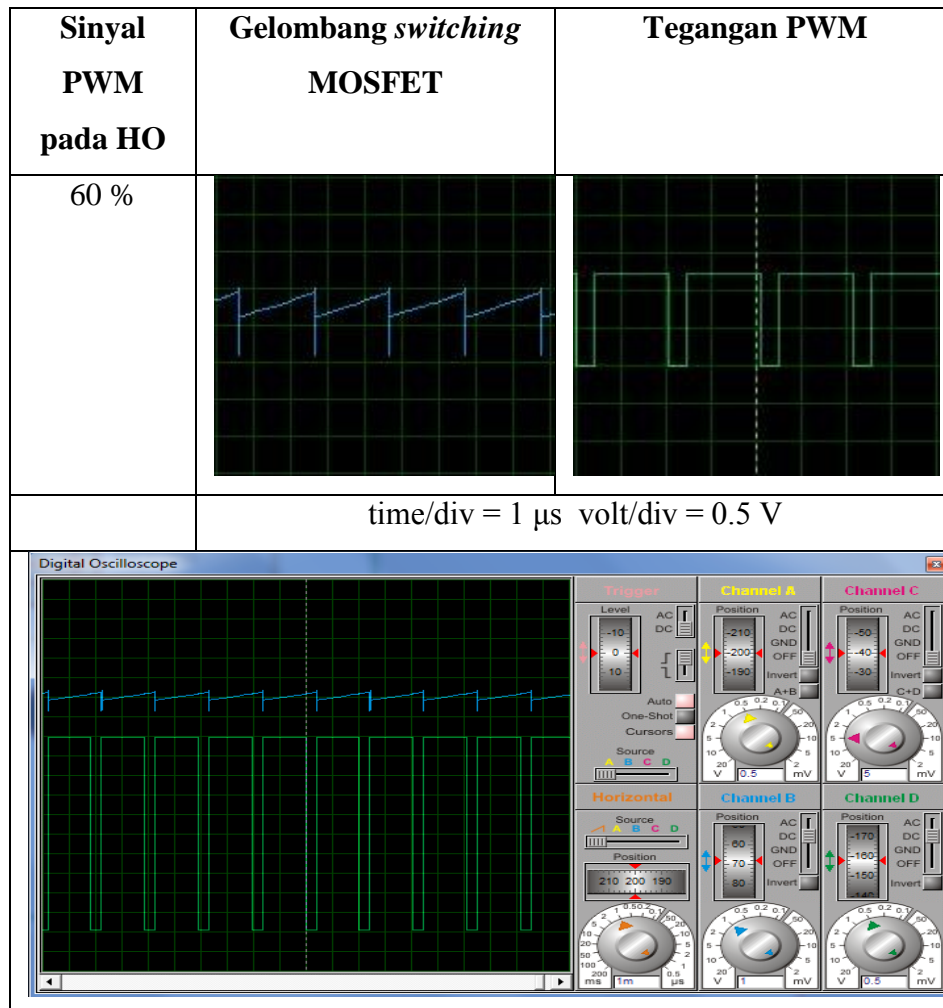
Gambar 4. 6 Hasil Pembacaan sensor pada serial monitor virtual ketika bukaan potensiometer 100%

Terlihat pada hasil simulasi diatas bahwa ketika bukaan potensiometer 100% baterai yang akan terhubung dengan beban yaitu baterai LFP. Hal ini dipengaruhi oleh program dan skenario *switching* yang telah dibuat dalam mengatur pemilihan baterai. Didapatkan nilai konsumsi arus beban sebesar 0,24 A, nilai konsumsi tegangan beban sebesar 4,23 V, nilai konsumsi daya beban sebesar 1,02 Watt dan nilai konsumsi arus LFP sebesar 0,24 A dan nilai konsumsi arus VRLA 0 A karena tidak terhubung dengan beban.

4.1.2 Pengujian Gelombang *Switching* pada Simulasi

Pengujian gelombang *switching* dilakukan untuk menguji apakah alat sudah berkerja atau tidak. Pengujian gelombang *switching* mosfet diambil dari virtual oscilloscope dengan memberikan variasi PWM pada potensiometer 0 – 100 % agar terjadi *switching*. Sinyal pembacaan potensiometer yaitu bernilai 0-5 dengan rincian untuk bukaan 0-2.5 menggunakan baterai VRLA dan ketika bukaan 2.6-5 menggunakan baterai LFP. Ketika terjadi *switching* nilai PWM dari High Output yang terhubung ke gate MOSFET akan berubah dari 255-0 ataupun sebaliknya. Berikut ini hasil pengujian gelombang *switching* berdasarkan keadaan tertentu

Tabel 4.2 Hasil Gelombang *Switching* Pada Virtual Oscilloscope Ketika Sinyal PWM HO 60%

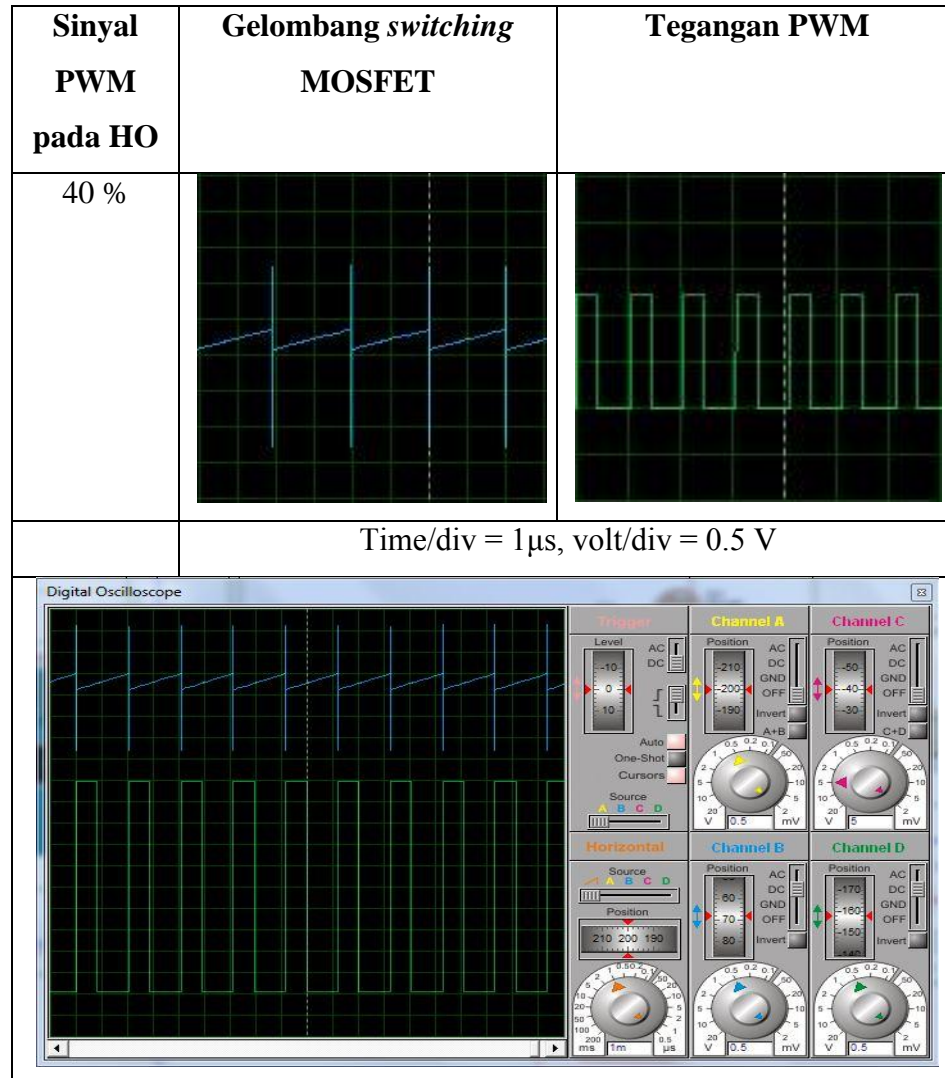


Pada hasil gelombang *switching* dengan perubahan PWM bernilai 60% menghasilkan gelombang *softswitching* dimana gelombang tidak berbentuk kotak (High Low) dengan nilai periode satu gelombangnya yaitu 2 μs dan memiliki nilai amplitudo sebesar 1 V. Dari nilai periode dapat kita hitung besar frekuensinya sebagai berikut

$$F \text{ (Frekuensi)} = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\mu} = 500.000 \text{ Hz} = 500\text{kHz}$$

Terlihat kenaikan dari low ke high gelombang sedikit landai karena bukan *switching* pada mosfet yang diberi inputan PWM.

Tabel 4. 3 Hasil Gelombang *Switching* Pada Virtual Oscilloscope Ketika Sinyal PWM HO 40%



Pada hasil gelombang *switching* dengan sinyal input PWM pada High output 40% menghasilkan gelombang dengan nilai periode satu gelombangnya yaitu 2 μs dan memiliki nilai amplitudo sebesar 2.5 V. Karena memiliki nilai periode pulsa gelombang yang sama sehingga memiliki frekuensi yang sama yaitu 500kHz. Terlihat kenaikan dari low ke high gelombang sedikit landai karena bukaan *switching* pada mosfet yang diberi inputan PWM.

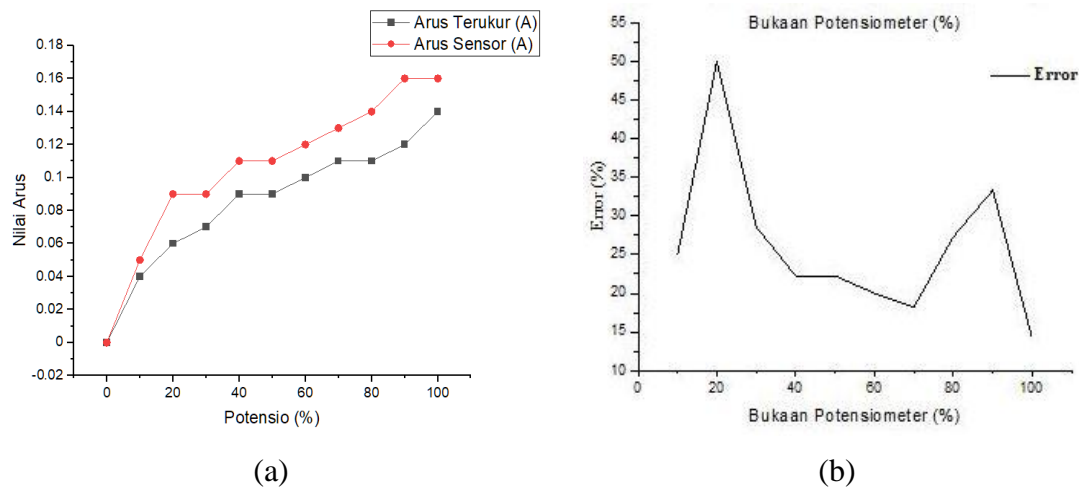
4.1.3 Pengujian Akurasi Nilai Pembacaan Sensor

Pengujian Akurasi dilakukan untuk mengetahui besar nilai *error* dan keakuratan nilai pembacaan sensor arus dan tegangan yang digunakan. Pada rangkaian simulasi menggunakan jenis sensor arus ACS712-5A dan sensor pembagi tegangan dengan nilai resistor 1 sebesar 6800 Ohm dan resistor 2 sebesar 4700 Ohm. Pengujian akurasi dilakukan dengan melakukan variasi bukaan potensiometer dari bukaan 10% sampai 100% (terdapat 10 variasi percobaan) dengan membandingkan nilai sensor dengan nilai pengukuran pada virtual alat ukur Proteus. Berikut ini tabel pengujian akurasi pada sensor arus ACS712-5A simulasi

Tabel 4. 4 Nilai Akurasi Sensor Arus Acs712-5a Pada Simulasi

No	Bukaan Potensio	Sensor	Alat ukur	Error(%)
1	100%	0,16	0,14	14,2857
2	90%	0,16	0,12	33,3333
3	80%	0,14	0,11	27,2727
4	70%	0,13	0,11	18,1818
5	60%	0,12	0,1	20
6	50%	0,11	0,09	22,2222
7	40%	0,11	0,09	22,2222
8	30%	0,09	0,07	28,5714
9	20%	0,09	0,06	50
10	10%	0,05	0,04	25
Rata-rata error				26,1089
Akurasi Arus Simulasi				73,8911

Terlihat dari hasil pengujian akurasi sensor arus ACS712-5A simulasi memiliki nilai akurasi sebesar 73,8911 %. Berikut ini konversi data nilai akurasi pada pembacaan sensor arus ACS712-5A kedalam bentuk grafik



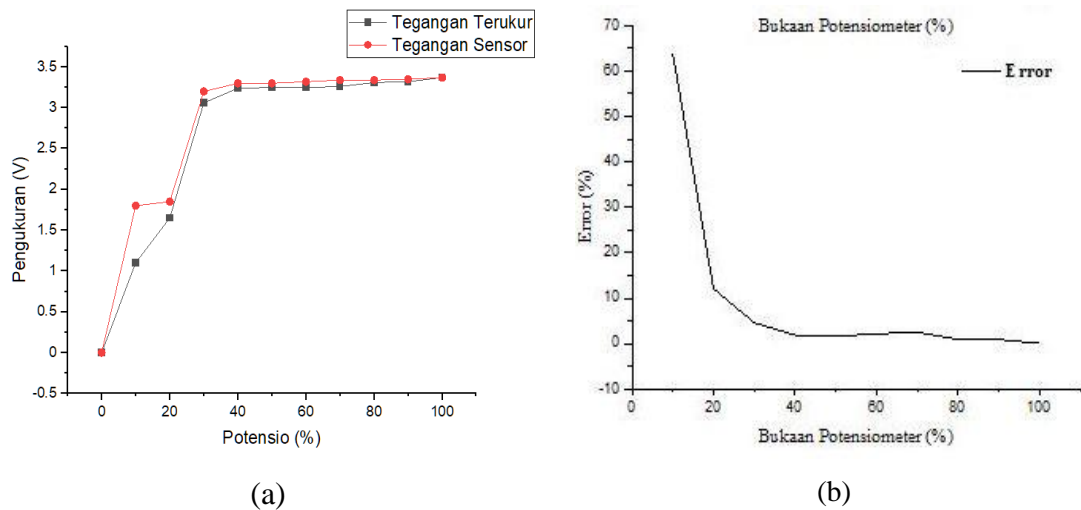
Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan (a) Pembacaan Nilai Arus Dan (b) Besar *Error*

Terlihat pada gambar 4.7 diatas bahwa nilai arus sama-sama mengalami peningkatan. Nilai arus awal mengalami lonjakan yang cukup tinggi, dan selanjutnya mengalami perubahan yang tidak begitu jauh. Selisih perbedaan pembacaan sensor dengan pengukuran berada dibawah nilai 0,08 A. Berikut ini tabel pengujian akurasi pada sensor tegangan simulasi.

Tabel 4. 5 Nilai Akurasi Sensor Tegangan Pada Simulasi

No	Bukaan Potensio	Sensor	Alat ukur	Error(%)
1	100%	3,37	3,37	0
2	90%	3,35	3,32	0,90361
3	80%	3,34	3,31	0,90634
4	70%	3,34	3,26	2,45399
5	60%	3,32	3,25	2,15385
6	50%	3,3	3,25	1,53846
7	40%	3,3	3,24	1,85185
8	30%	3,2	3,06	4,57516
9	20%	1,85	1,65	12,1212
10	10%	1,8	1,1	63,6364
Rata-rata error				9,01408
Akurasi Tegangan Simulasi				90,9859

Terlihat dari hasil pengujian akurasi sensor tegangan simulasi memiliki nilai akurasi sebesar 90,9859 %. Berikut ini konversi data sensor tegangan simulasi dalam bentuk grafik

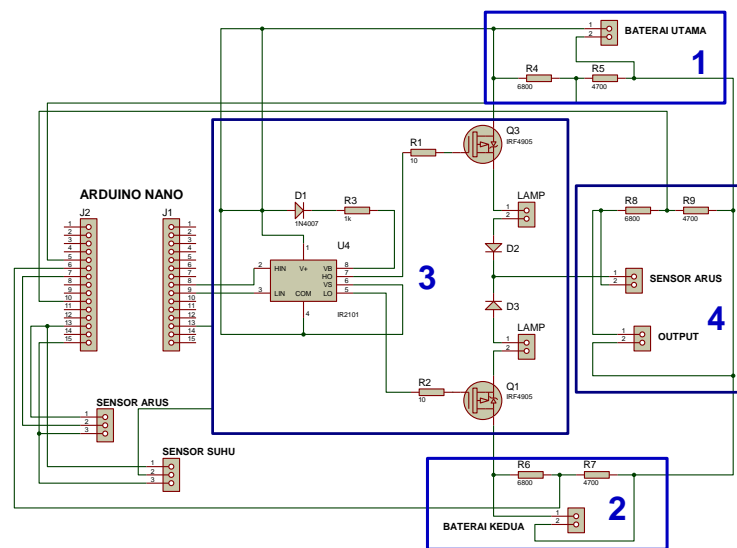


Gambar 4. 8 Grafik Perbandingan (a) Pembacaan Nilai Tegangan Dan (b) Besar *Error*

Terlihat pada gambar 4.8 diatas bahwa pembacaan tegangan mengalami perbedaan dengan selisih <0.07 V, dimana lonjakan tegangan terbesar pada nilai bukaan potensiometer 0-30% dan selanjutnya hanya mengalami kenaikan tegangan kecil karena putaran motor sudah mulai stabil. Pada bukaan potensiometer yang semakin besar serta pembacaan tegangan yang semakin besar nilai *error* menjadi semakin kecil.

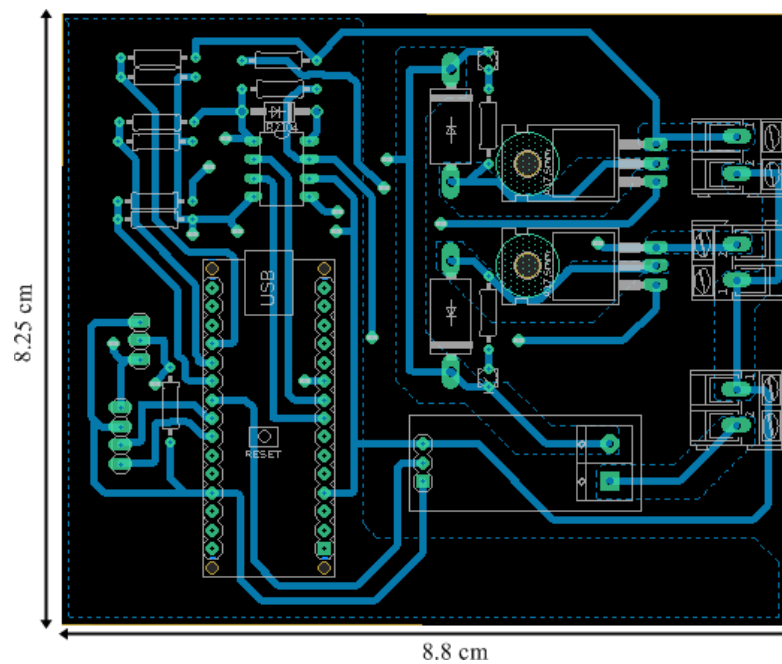
4.1.4 Pembuatan Hardware

Setelah simulasi pada *software* Proteus berhasil dijalankan, berikutnya yaitu tahap pembuatan alat. Pada tahap ini dimulai dengan membuat skematik rangkaian pada *software* proteus. Rangkaian skematik merupakan hasil modifikasi dari beberapa rangkaian referensi yang digunakan. Selanjutnya membuat desain PCB (*Printed Circuit Board*). Setelah desain PCB berhasil dicetak berikutnya tahap perakitan komponen meliputi *drilling dan soldering*. Berikut ini desain skematik rangkaian dan desain PCB yang telah dibuat



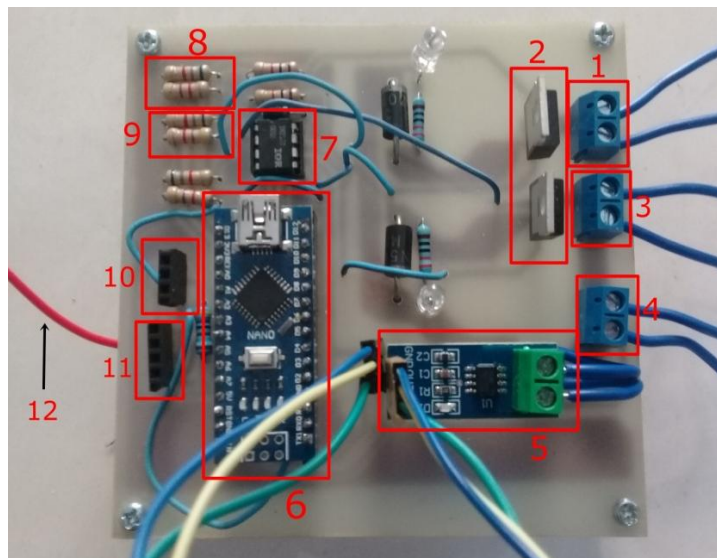
Gambar 4.9 Rangkaian Skematik Sistem Kontrol Dual Baterai

Pada gambar 4.9 terdapat beberapa blok sensor dan gate driver. Blok nomer 1 merupakan blok pengukuran sensor tegangan untuk baterai VRLA. Pada blok nomor 2 merupakan blok pengukuran sensor tegangan pada baterai LFP. Pada blok nomor 3 merupakan blok *gate driver* dengan *driver* mosfet IR2101 dan dua mosfet daya IRF4905. Yang terakhir blok nomor 4 merupakan blok pengukuran tegangan dan arus konsumsi oleh beban. Berikut ini desain PCB yang telah dibuat



Gambar 4.10 Desain PCB dari Skematik Rangkaian

Desain PCB memiliki ukuran panjang 8.8 cm dan lebar 8.25 cm. Berikut ini perakitan komponen pada papan PCB



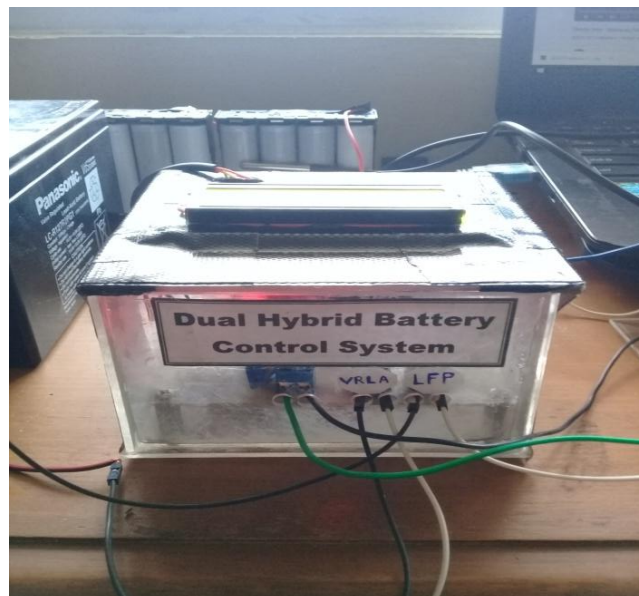
Gambar 4. 11 Hardware Alat pada board PCB

Berikut ini keterangan dari beberapa penomoran pada papan PCB yang telah dirakit

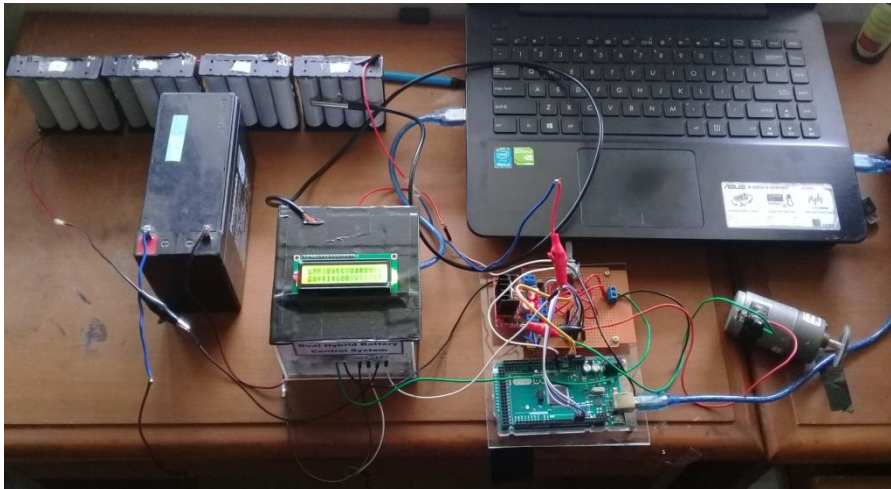
- Nomor 1 Terminal blok, input dari baterai sekunder, baterai LFP.
- Nomor 2 MOSFET Daya irf4905, berfungsi dalam *switching* daya ke beban.

- Nomor 3 Terminal blok, input dari baterai utama, baterai VRLA.
- Nomor 4 Terminal blok, output dari rangkaian kontrol dual baterai terhubung pada *driver* motor.
- Nomor 5 Modul sensor arus ACS712-5A dalam pembacaan nilai konsumsi arus ke beban.
- Nomor 6 Mikrokontroler arduino nano dalam memproses seluruh sistem kontrol.
- Nomor 7 *Gate driver* IR2101
- Nomor 8 Rangkaian pembagi tegangan sebagai sensor tegangan baterai sekunder, baterai LFP.
- Nomor 9 Rangkaian pembagi tegangan sebagai sensor tegangan baterai utama, baterai VRLA.
- Nomor 10 Pin Header sebagai konektor dengan sensor suhu DS18B20
- Nomor 11 Pin Header sebagai konektor dengan LCD 16x2 Display
- Nomor 12 Kabel sensor pembacaan bukaan Potensiometer

Berikut ini purwarupa *hardware* setelah melalui tahap *packaging* dan keseluruhan rangkaian *hardware*



Gambar 4. 12 *Hardware* Setelah Dilakukan *Packaging*



Gambar 4. 13 *Hardware Sistem Keseluruhan*

4.2 Pengujian Hardware

Pada pengujian *hardware* dilakukan beberapa pengujian yaitu pengujian nilai akurasi, nilai presisi, pengujian baterai tunggal VRLA dan LFP, pengujian baterai ganda, Pengujian gelombang switching dan pengujian optimasi baterai ganda.

4.2.1 Pengujian Akurasi Nilai Pembacaan Sensor

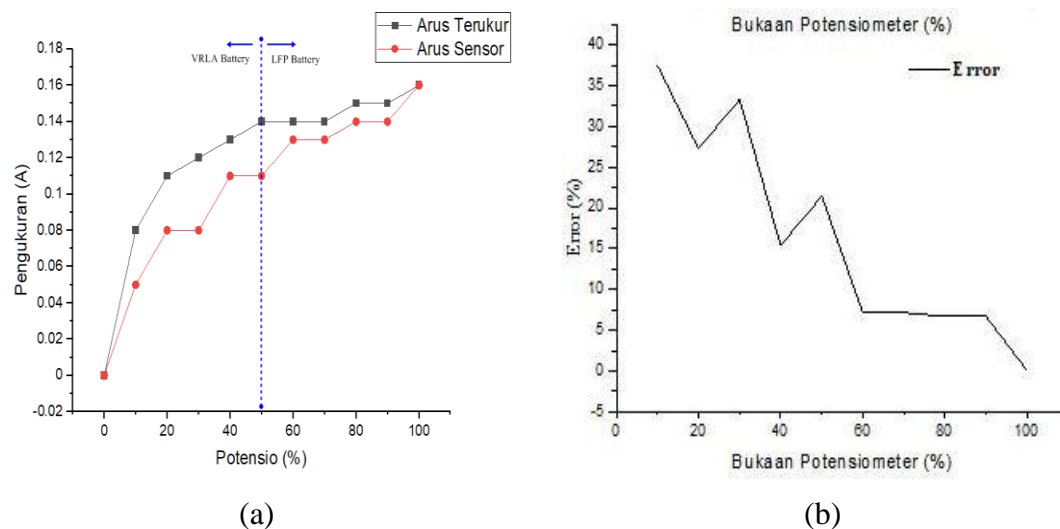
Pengujian Akurasi dilakukan untuk mengetahui besar nilai *error* dan keakuratan nilai pembacaan sensor arus dan tegangan yang digunakan. Pada *hardware* menggunakan jenis sensor ACS712-5A dan sensor pembagi tegangan dengan nilai resistor 1 sebesar 6800 Ohm dan resistor 2 sebesar 4700 Ohm. Pengujian akurasi dilakukan dengan melakukan variasi bukaan potensiometer dari bukaan 10% sampai 100% (terdapat 10 variasi percobaan) dengan membandingkan nilai sensor dengan nilai pengukuran alat ukur. Alat ukur yang digunakan merupakan multimeter jenis digital. Berikut ini tabel pengujian akurasi pada sensor arus ACS712-5A perancangan *hardware*

Tabel 4. 6 Nilai Akurasi Sensor Arus Acs712-5a Pada *Hardware*

No	Bukaan Potensio	Sensor	Alat ukur	Error(%)
1	100%	0,16	0,16	0,00
2	90%	0,14	0,15	6,66
3	80%	0,14	0,15	6,66

4	70%	0,13	0,14	7,14
5	60%	0,13	0,14	7,14
6	50%	0,11	0,14	21,42
7	40%	0,11	0,13	15,38
8	30%	0,08	0,12	33,33
9	20%	0,08	0,11	27,27
10	10%	0,05	0,08	37,50
Rata-rata error				16,25
Akurasi arus percobaan				83,74

Terlihat dari hasil pengujian akurasi sensor arus ACS712-5A *hardware* memiliki nilai akurasi sebesar 83,7462 %. Berikut ini konversi nilai akurasi pada pembacaan sensor arus ACS712-5A dalam bentuk grafik.



Gambar 4. 14 Grafik Perbandingan (a) Pembacaan Nilai Arus Dan (b) Besar *Error*

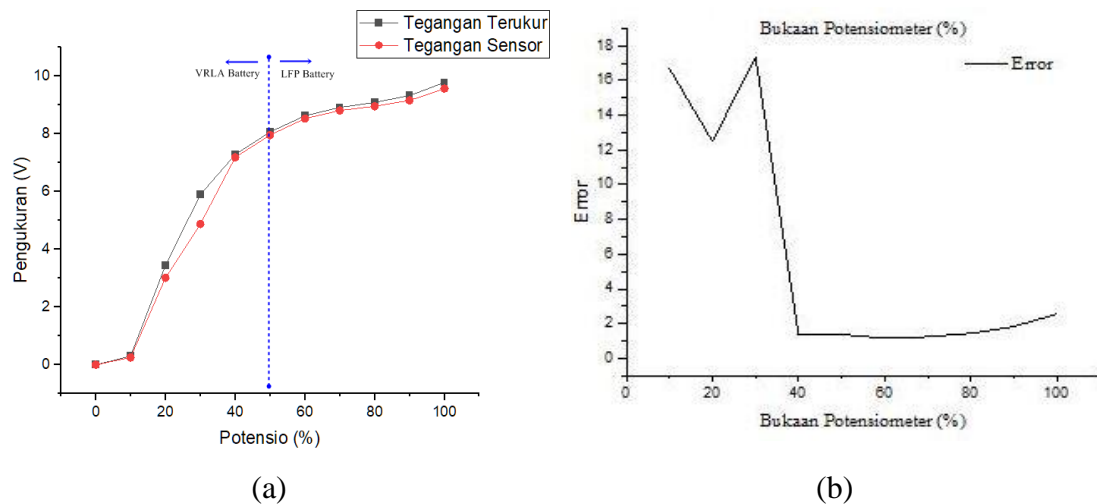
Terlihat pada gambar 4.14 terjadi lonjakan yang tinggi ketika bukaan potensiometer dari 0-10%. Nilai pembacaan sensor arus mengalami kenaikan yang tidak stabil dimana dipengaruhi oleh sensitivitas sensor tersebut dan kecilnya nilai arus yang dikonsumsi oleh beban. Berikut ini grafik perbandingan tegangan sensor dan tegangan pengukuran

Tabel 4. 7 Nilai Akurasi Sensor Tegangan Pada *Hardware*

No	Bukaan Potensio	Sensor	Alat ukur	<i>Error</i> (%)
1	100%	9,52	9,77	2,55
2	90%	9,15	9,32	1,82

3	80%	8,95	9,08	1,43
4	70%	8,8	8,91	1,23
5	60%	8,52	8,62	1,16
6	50%	7,95	8,06	1,36
7	40%	7,18	7,28	1,37
8	30%	4,87	5,89	17,31
9	20%	3,01	3,44	12,50
10	10%	0,25	0,30	16,66
Rata-rata error				5,74
Akurasi tegangan percobaan				94,25

Terlihat dari Tabel 4.8 hasil pengujian akurasi sensor tegangan *hardware* memiliki nilai akurasi sebesar 90,9859 %. Berikut ini data sensor tegangan *hardware* pada bentuk grafik.



Gambar 4. 15 Grafik Perbandingan Pembacaan Nilai Tegangan Dan Besar Error

Terlihat pada gambar 4.15 nilai dari perubahan tegangan mengalami peningkatan yang teratur, dimana semakin besar nilai bukaan potensio tegangan konsumsi beban semakin besar. Begitu pula ketika nilai tegangan yang terbaca semakin besar nilai *error* yang didapat semakin kecil.

4.2.2 Pengujian Presisi Nilai Pembacaan Sensor

Pengujian Presisi dilakukan untuk mengetahui seberapa dekat nilai pembacaan ketika dilakukan beberapa kali pengujian. Pada *hardware* menggunakan jenis sensor ACS712-5A dan sensor pembagi tegangan dengan nilai resistor 1 sebesar

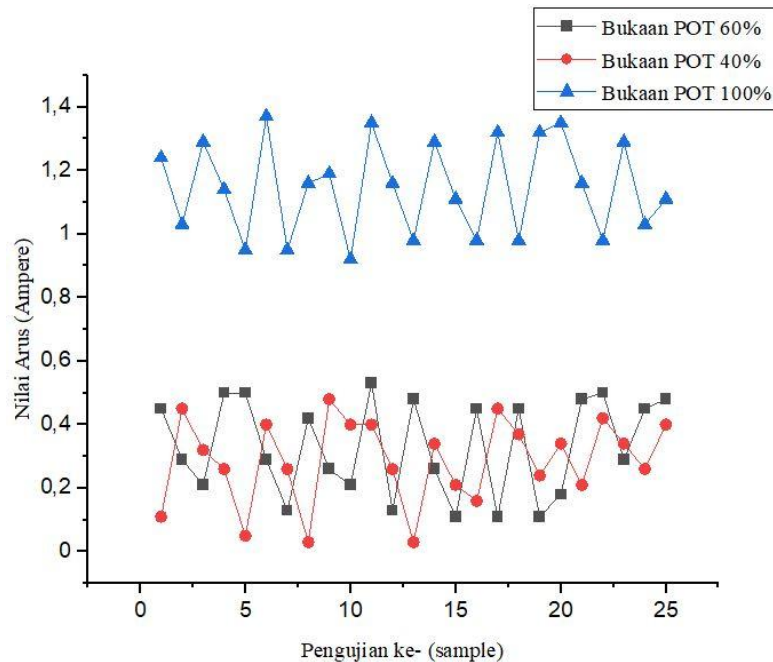
6800 Ohm dan resistor 2 sebesar 4700 Ohm. Pengujian presisi dilakukan dengan melakukan pembacaan sensor berulang sebanyak 25 kali dalam keadaan yang sama (beban sama). Berikut ini tabel pengujian presisi pada sensor arus ACS712-5A *hardware* dengan variasi beban bukaan Potensio 100%, 40% dan 60%

Tabel 4. 8 Nilai Presisi Sensor Arus ACS712-5A *Hardware*

Pengujian ke	bukaan 100%	bukaan 40%	Bukaan 60%
1	1,24	0,11	0,45
2	1,03	0,45	0,29
3	1,29	0,32	0,21
4	1,14	0,26	0,50
5	0,95	0,05	0,50
6	1,37	0,40	0,29
7	0,95	0,26	0,13
8	1,16	0,03	0,42
9	1,19	0,48	0,26
10	0,92	0,40	0,21
11	1,35	0,40	0,53
12	1,16	0,26	0,13
13	0,98	0,03	0,48
14	1,29	0,34	0,26
15	1,11	0,21	0,11
16	0,98	0,16	0,45
17	1,32	0,45	0,11
18	0,98	0,37	0,45
19	1,32	0,24	0,11
20	1,35	0,34	0,18
21	1,16	0,21	0,48
22	0,98	0,42	0,50
23	1,29	0,34	0,29
24	1,03	0,26	0,45
25	1,11	0,40	0,48
SD	0,14	0,13	0,15
Rata-Rata	1,14	0,28	0,33
RSD	13,03	46,44	45,80
Presisi Arus	86,96	53,55	54,19
MRSD	35,09		

Presisi sistem	64,90
-----------------------	--------------

Terlihat dari Tabel 4.8 hasil pengujian presisi sensor arus *hardware* memiliki nilai akurasi sebesar 64,90629208 %. Sensor arus ACS712-5A memiliki presisi yang buruk dimana dipengaruhi oleh nilai arus beban yang kecil $<2A$ dan range sensitivitas sensor arus yang cukup besar yaitu 5A. Berikut ini data presisi sensor arus *hardware* dalam bentuk grafik



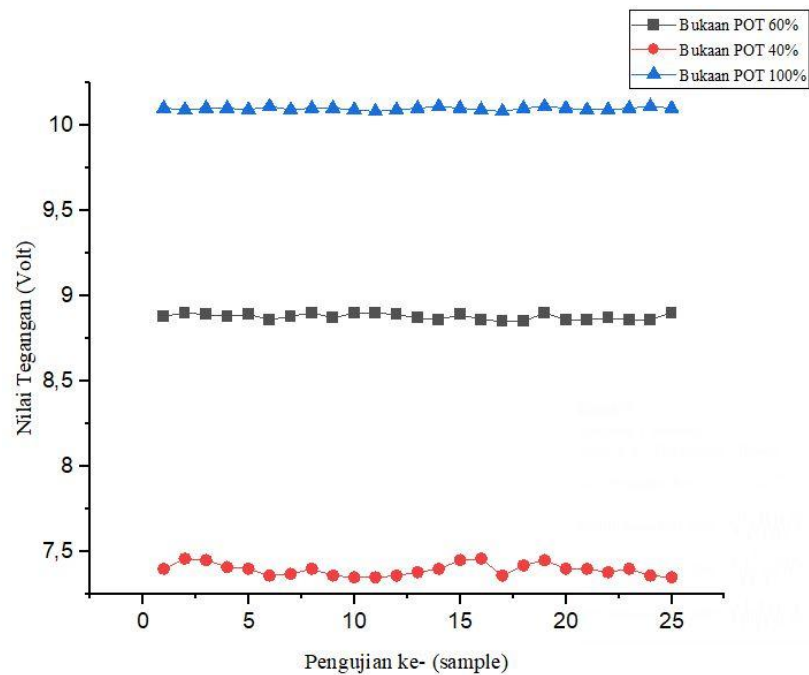
Gambar 4. 16 Grafik Nilai Presisi Sensor Arus Acs712-5a Hardware

Tabel 4. 9 Nilai Presisi Sensor Tegangan *Hardware*

Pengujian ke	Bukaan 100%	bukaan 40%	Bukaan 60%
1	10,10	7,40	8,88
2	10,09	7,46	8,90
3	10,10	7,45	8,89
4	10,10	7,41	8,88
5	10,09	7,40	8,89
6	10,11	7,36	8,86
7	10,09	7,37	8,88
8	10,10	7,40	8,90
9	10,10	7,36	8,87
10	10,09	7,35	8,90
11	10,08	7,35	8,90

12	10,09	7,36	8,89
13	10,10	7,38	8,87
14	10,11	7,40	8,86
15	10,10	7,45	8,89
16	10,09	7,46	8,86
17	10,08	7,36	8,85
18	10,10	7,42	8,85
19	10,11	7,45	8,90
20	10,10	7,40	8,86
21	10,09	7,40	8,86
22	10,09	7,38	8,87
23	10,10	7,40	8,86
24	10,11	7,36	8,86
25	10,10	7,35	8,90
SD	0,0085	0,0364	0,0176
Rata-Rata	10,0968	7,3952	8,8772
RSD	0,0844	0,4924	0,1991
Presisi Tegangan	99,9155	99,5075	99,8008
MRSD	0,2586		
Presisi sistem	99,7413		

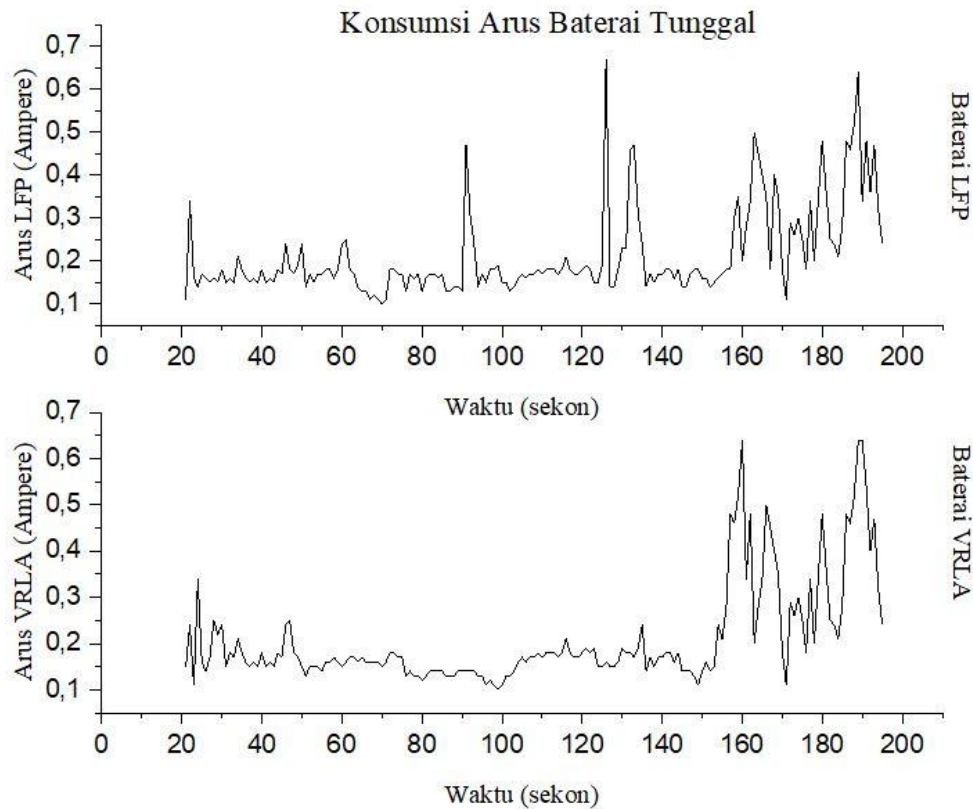
Terlihat dari Tabel 4.10 hasil pengujian presisi sensor tegangan *hardware* memiliki nilai akurasi sebesar 99,74132649 %. Sensor tegangan memiliki presisi yang sangat baik dimana dipengaruhi oleh kalibrasi sensor terlebih dahulu serta keadaan komponen resistor (pembagi tegangan) yang baik. Berikut ini data presisi sensor tegangan *hardware* dalam bentuk grafik



Gambar 4. 17 Grafik Nilai Presisi Sensor Tegangan *Hardware*

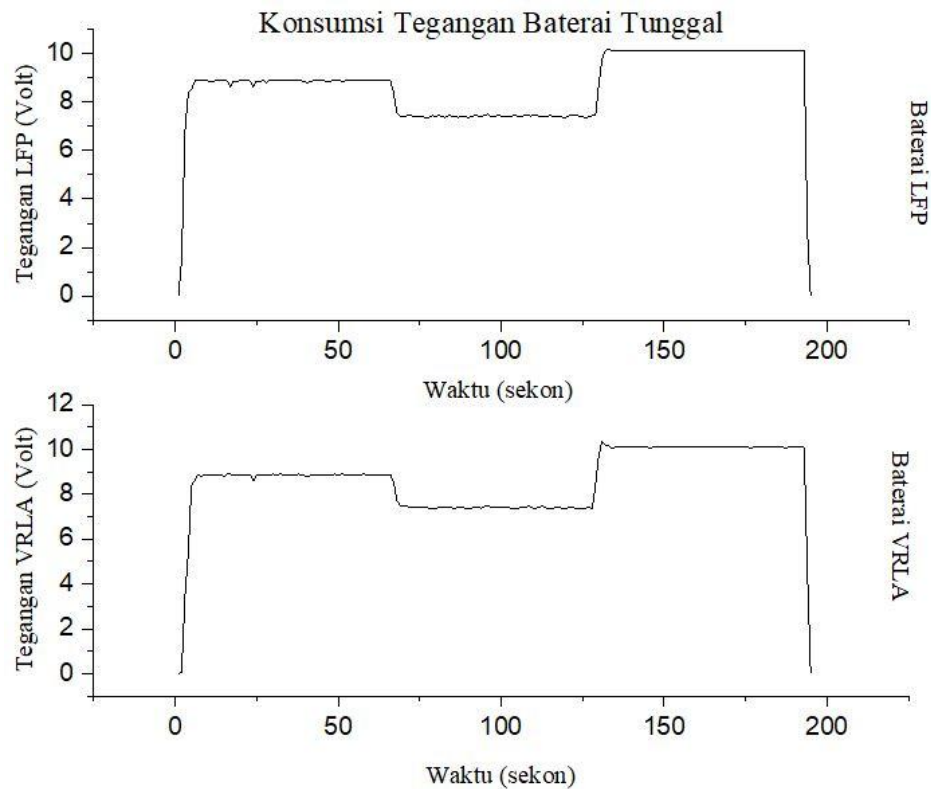
4.2.3 Pengujian Baterai Tunggal VRLA dan LFP

Pengujina baterai tunggal dilakukan untuk mengetahui besar konsumsi tegangan, arus, daya serta energi ketika hanya menggunakan satu baterai saja. Pengujian ini nantinya akan dibandingkan dengan penggunaan dual baterai sehingga dapat ditentukan optimasi yang didapatkan. Pengujian baterai tunggal dilakukan dengan bervariasi beban yaitu dari bukaan potensiometer 0%-60%-40%-100%-0%. Berikut ini data grafik konsumsi arus, tegangan dan daya dari pengujian masing-masing baterai



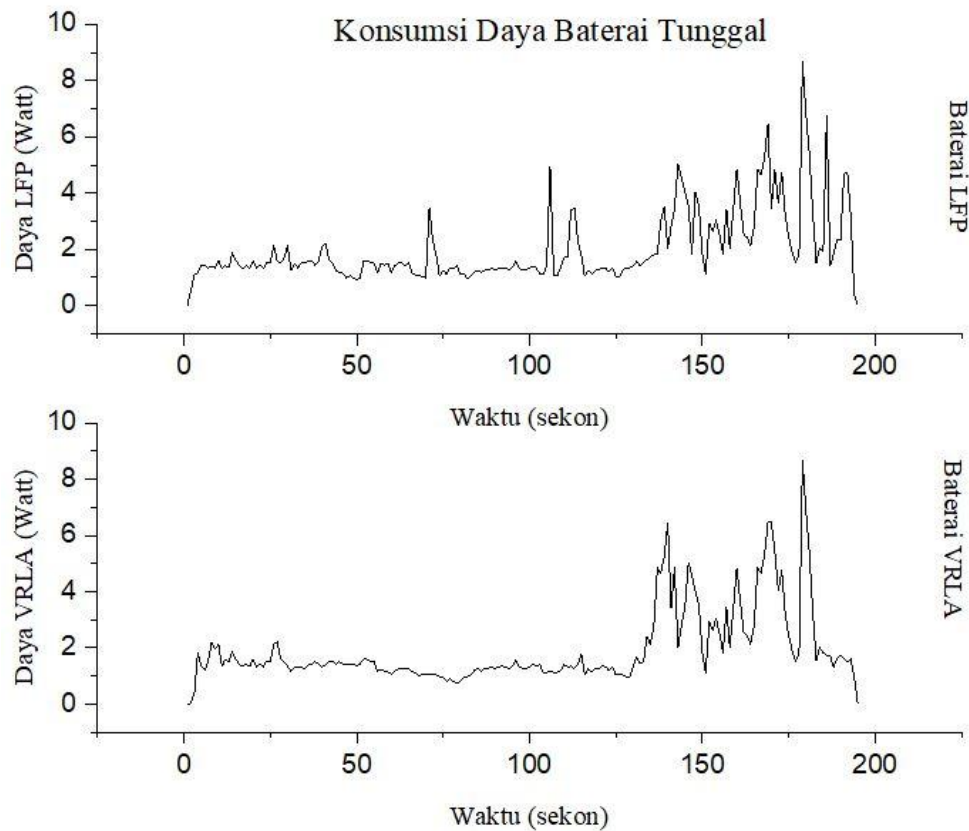
Gambar 4. 18 Grafik Konsumsi Arus Pengujian Baterai Tunggal

Terlihat pada grafik 4.18 nilai konsumsi arus pada baterai tunggal VRLA dan LFP. Nilai konsumsi arus dari baterai VRLA dan LFP tidak begitu jauh berbeda karena kapasitas beban yang sama yaitu motor DC 12 V. Pada pembacaan arus baterai VRLA memiliki I_{maks} sebesar 0,86 A pada bukaan potensiometer 100% sedangkan pada pembacaan arus LFP memiliki I_{maks} sebesar 0,82 A pada bukaan potensiometer 100%. Terlihat nilai arus tidak beraturan karena kurang akuratnya dan presisinya sensor arus.



Gambar 4. 19 Grafik Konsumsi Tegangan Pengujian Baterai Tunggal

Terlihat pada gambar 4.19 nilai konsumsi tegangan pada baterai tunggal baik baterai VRLA dan baterai LFP. Nilai pembacaan tegangan tidak begitu jauh berbeda karena kapasitas beban yang sama yaitu motor DC 12 V. Nilai pada sensor tegangan sangat dipengaruhi oleh simulasi yang ditetapkan yaitu mengalami penurunan ketika bukaan potensio diturunkan dari nilai 60% ke nilai 40% dan naik kembali pada bukaan 100%. Pembacaan konsumsi tegangan baterai VRLA memiliki V_{maks} sebesar 10,34 V ketika bukaan potensiometer 100% sedangkan pembacaan konsumsi tegangan baterai LFP memiliki V_{maks} sebesar 10,18 V ketika bukaan potensiometer 100%.



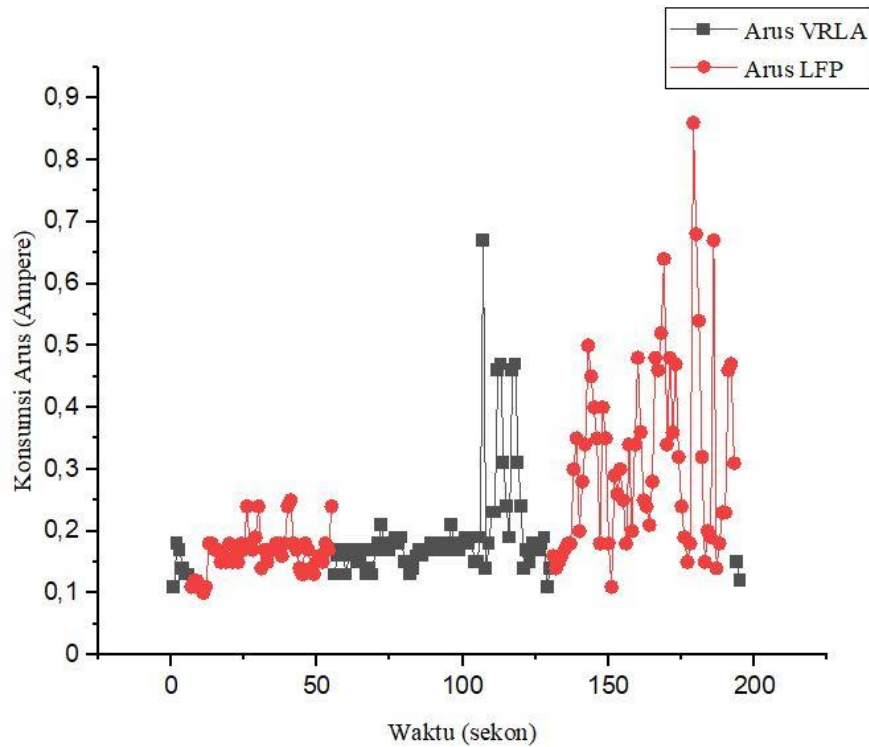
Gambar 4. 20 Grafik Konsumsi Daya Pengujian Baterai Tunggal

Terlihat pada gambar 4.20 nilai konsumsi daya pada baterai tunggal VRLA dan LFP. Nilai daya tidak begitu jauh berbeda karena kapasitas beban yang sama yaitu motor DC 12 V. Nilai daya akan mengalami beban tinggi pada bukaan potensiometer 100% dengan nilai P_{maks} baterai VRLA sebesar 8,868 Watt dan P_{maks} baterai LFP sebesar 8,682 Watt.

4.2.4 Pengujian Baterai Ganda Hibrida VRLA dan LFP

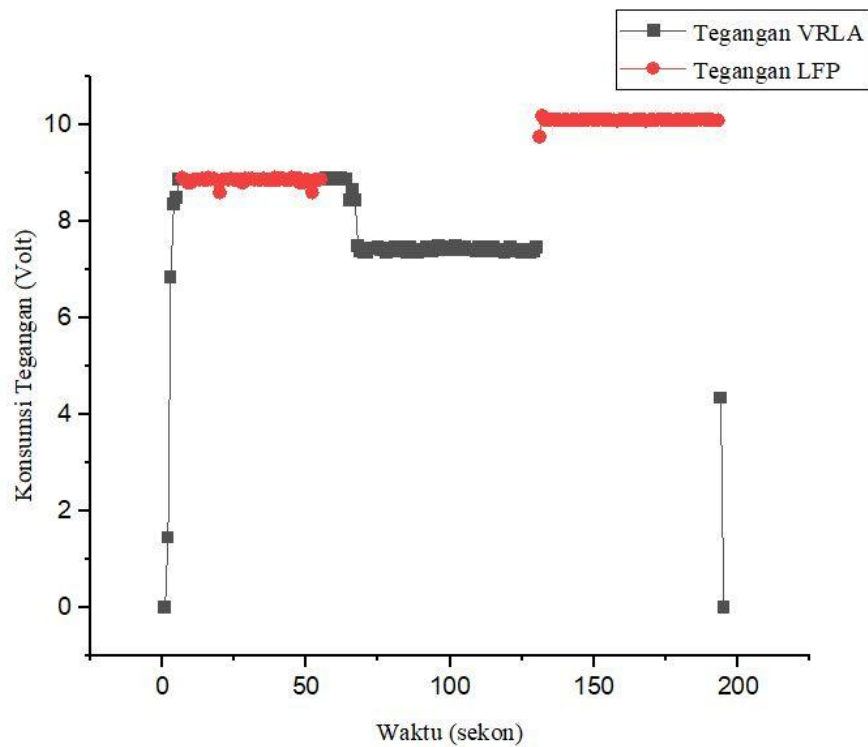
Pengujian baterai ganda hibrida dilakukan dengan mengamati konsumsi arus, tegangan, dan daya dari penggunaan baterai. Sistem kontrol dual baterai memiliki peran dalam menentukan pemilihan baterai sesuai dengan variasi beban dan keadaan beban. Dimana dalam pengujian ini dilakukan variasi beban dari bukaan potensiometer 0%-60%-40%-100%-0%. Dalam skenario *switching* dimana bukaan potensiometer 0%-50% beban akan terhubung dengan baterai VRLA dan 51%-100%

beban terhubung dengan baterai LFP. Berikut ini grafik konsumsi arus, tegangan, dan daya pada pengujian baterai ganda hibrida



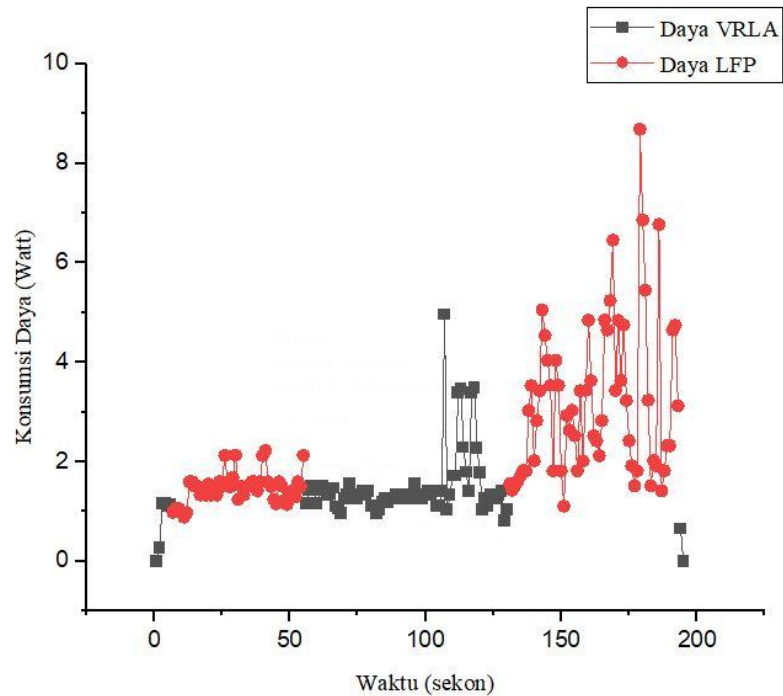
Gambar 4. 21 Grafik Konsumsi Arus Pengujian Baterai Ganda Hibrida

Gambar 4.21 diatas merupakan konsumsi arus pada baterai ganda ketika pengujian. Terlihat pada grafik bahwa nilai I_{maks} sebesar 0,68 A terbebankan pada baterai LFP dan untuk $I_{average}$ sistem sebesar 0,225 A terbebankan pada baterai VRLA. Disebabkan pembacaan nilai arus yang kurang akurat karena nilai arus yang begitu kecil sehingga tidak begitu jelas klasifikasinya mana beban rendah dan beban tinggi.



Gambar 4. 22 Grafik Konsumsi Tegangan Pengujian Baterai Ganda Hibrida

Gambar 4.22 diatas merupakan nilai konsumsi tegangan pada dual baterai. Terlihat pada grafik, tegangan yang dikonsumsi disesuaikan oleh skenario *switching* baterai sehingga masing baterai hanya digunakan ketika keadaan tertentu saja. V_{maks} sistem sebesar 10,18 V terbebankan pada baterai LFP dan $V_{average}$ sebesar 8,61 V terbebankan pada baterai VRLA. Dari grafik dapat kita simpukan untuk beban besar terbebankan pada baterai LFP dan beban rendah terbebankan pada baterai VRLA dengan sekenario bukaan POT <50% ke VRLA dan >50% ke LFP

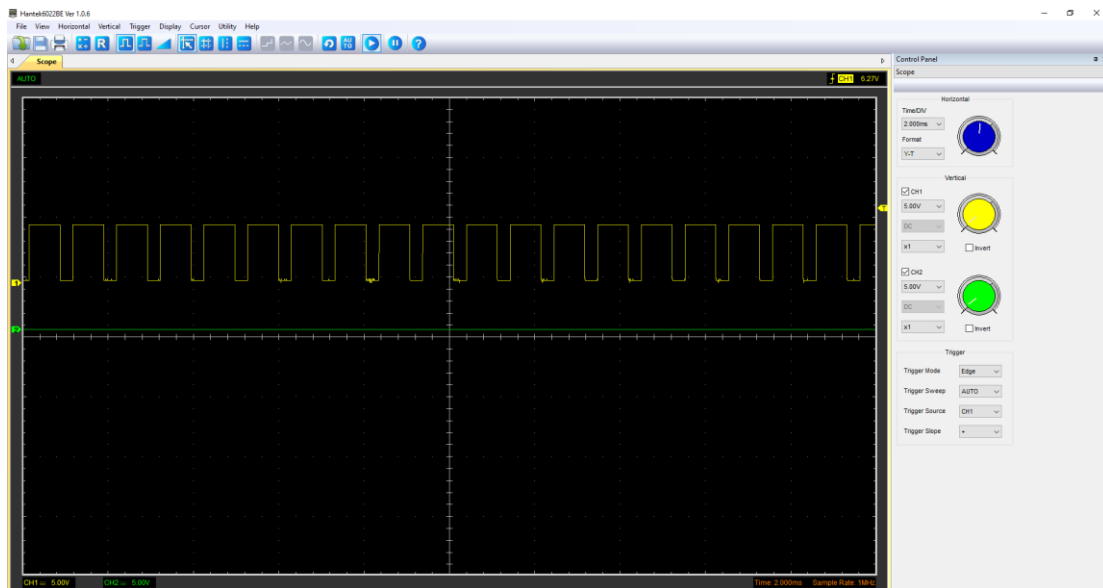


Gambar 4. 23 Grafik Konsumsi Daya Pengujian Baterai Ganda Hibrida

Gambar 4.23 diatas merupakan nilai daya pada dual baterai hibrida. Terlihat distribusi penyerapan daya dilakukan pada dual baterai sesuai dengan skenario *switching* yaitu bukaan potensio $< 50\%$ terbebankan ke baterai VRLA dan bukaan potensio $> 50\%$ terbebankan ke baterai LFP dengan rincian P_{maks} sebesar 6,681 Watt pada baterai LFP dan $P_{average}$ sebesar 2,003 Watt pada baterai VRLA.

4.2.5 Pengujian Gelombang *Switching*

Pengujian gelombang *switching* dilakukan dengan menggunakan Oscilloscope Hantek 6022BE Version 1.0.6 melalui *software* Hantek di Laptop dengan melihat gelombang PWM dari high output arduino serta *switching* pada pin *source* MOSFET. Berikut ini hasil dari pengujian gelombang.

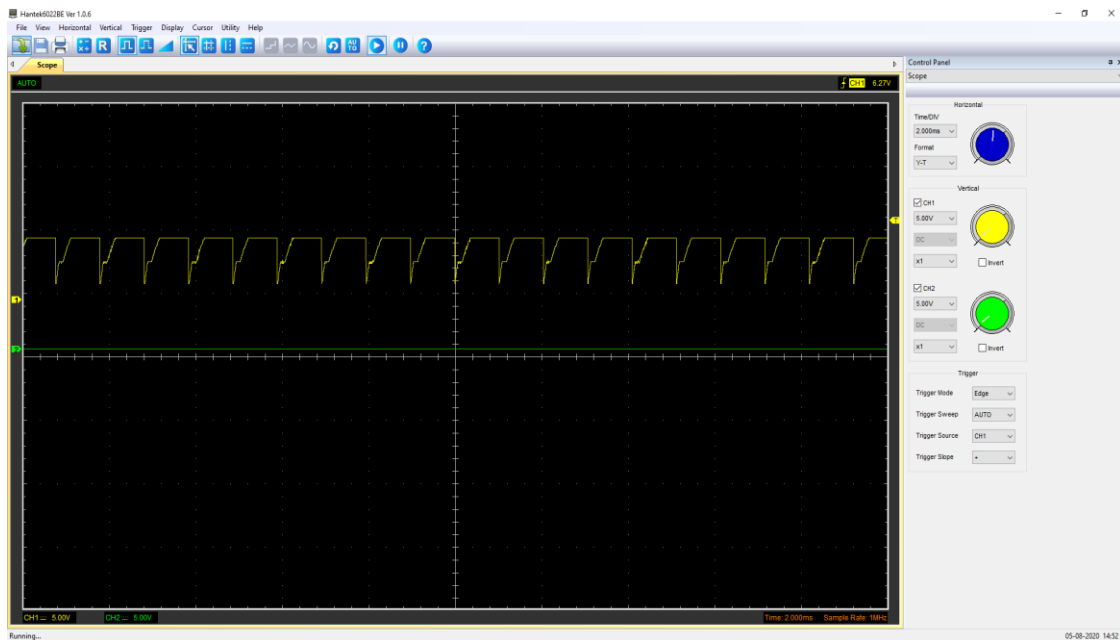


Gambar 4. 24 Gelombang PWM Pada Sisi Input High Dengan Nilai 80%

Terlihat pada gambar 4.15 diatas, nilai masukan PWM 80% pada sisi High Ouput yang terhubung ke Gate MOSFET. Gelombang memiliki time/div 2 ms dan volt/div 5 V. Dapat kita hitung nilai periode dari gelombang PWM yaitu 6 ms dan nilai amplitudo gelombang sebesar 25 V. Dari nilai periode dapat kita hitung frekuensi yang dihasilkan adalah sebagai berikut

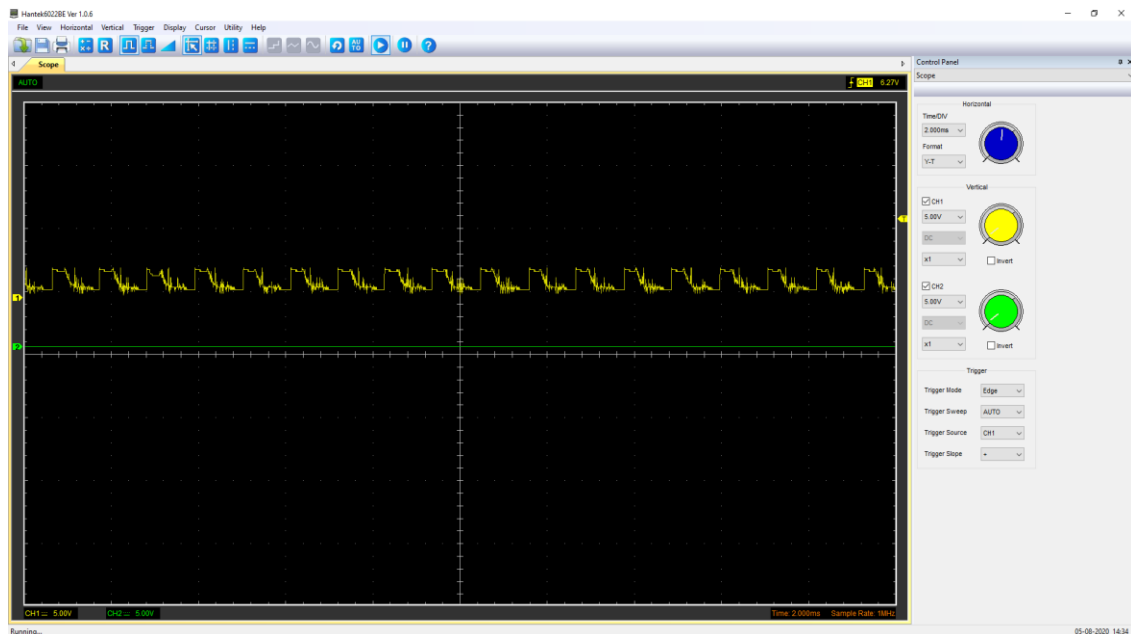
$$F (\text{Frekuensi}) = \frac{1}{T} = \frac{1}{6\mu} = 166.666 \text{ Hz} = 166 \text{ kHz}$$

Nilai PWM akan mengalami penambahan atau pengurangan ketika terjadi *switching* yaitu nilai PWM High Ouput akan menurun dari High ke Low dan sebaliknya. Berikut ini gelombang *switching* yang dihasilkan pada pin source MOSFET dengan masukan PWM high ouput berubah dari Low ke High



Gambar 4. 25 Gelombang *Switching* Pada Source Mosfet Ketika Transisi Low Ke High

Terlihat pada gambar 4.16 diatas, gelombang terbentuk ketika nilai masukan PWM 80% pada sisi *high* output. Gelombang memiliki time/div 2 ms dan volt/div 5 V. Dapat kita hitung nilai periode dari gelombang PWM yaitu 6 ms dan nilai amplitudonya sebesar 20 V. Terlihat gelombang ketika naik dari titik *low* ke titik *high* sedikit landai disebabkan oleh bukaan MOSFET yang dipengaruhi oleh perubahan PWM dari nilai 0 sampai 255. Berikut ini gelombang *switching* dari source MOSFET pada posisi nilai *High* ke *Low*

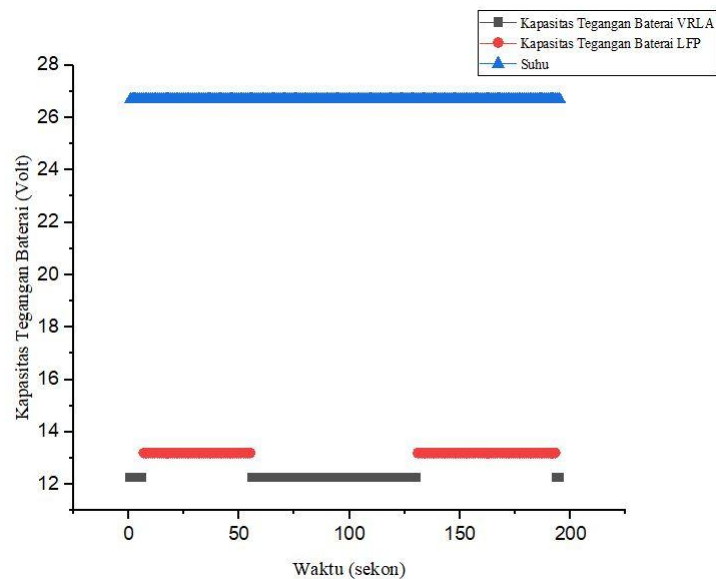


Gambar 4. 26 Gelombang *Switching* pada source MOSFET ketika transisi High ke Low

Terlihat pada gambar 4.17 diatas, ketika nilai masukan PWM 80% pada sisi High output. Gelombang memiliki time/div 2ms dan volt/div 5 V. Dapat kita hitung nilai periode dari gelombang PWM yaitu 6 ms dan nilai amplitudonya sebesar 10 V dengan nilai frekuensi yang sama karena memiliki nilai periode pulsa gelombang yang sama.

4.2.6 Pengujian Kapasitas Baterai dan Suhu

Pengujian kapasitas tegangan baterai dan suhu dilakukan dengan melakukan *discharge* baterai ganda hibrida dengan beban berupa motor DC 12 V Prated 0,096 Watt, Irated 0,18 A dan variasi bukaan potensiometer 40% selama 1 menit, bukaan potensiometer 60% selama 1 menit dan bukaan potensiometer 100% selama 1 menit. Berikut ini grafik kapasitas baterai dan perubahan suhu yang terjadi



Gambar 4. 27 Grafik Kapasitas Baterai dan Suhu Baterai Ketika *Discharge*

Pada gambar 4.27 terlihat nilai kapasitas tegangan yang berubah ketika *switching* dengan rincian bukaan potensiometer 60%, sensor tegangan membaca tegangan baterai LFP yait sebesar 13,20 V, bukaan potensiometer 40% sensor tegangan membaca tegangan baterai VRLA sebesar 12,25 V dan bukaan potensiometer 100% sensor tegangan membaca tegangan baterai LFP sebesar 13,2 V. Dari *discharge* yang dilakukan berdasarkan variasi beban tersebut terlihat tidak mempengaruhi perubahan suhu yang terjadi karena waktu *discharge* yang singkat dan beban yang berdaya kecil.

4.2.7 Pengujian Optimasi Baterai Ganda Hibrida

Pengujian Optimasi dilakukan dengan membandingkan penggunaan beban pada baterai tunggal dan baterai ganda serta konsumsi arus, tegangan daya pada operasional baterai. Berikut ini tabel penggunaan energi pada baterai ganda dan baterai tunggal. Hasil dari nilai energi didapatkan dari nilai daya dikalikan dengan waktu, berikut ini perhitungan nilai daya dari salah satu hasil yang terbaca oleh sensor

$$P = V \times I$$

$$P = 1.45 \times 0.18$$

$$P = 0.26 \text{ Watt}$$

Nilai daya diitung berdasarkan nilai yang terbaca sensor setiap detiknya sehingga dapat kita hitung nilai energi setiap detik yaitu

$$E = P \times t$$

$$E = 0.26 \times 1 \text{ detik}$$

$$E = 0.26 \text{ Ws}$$

Dari hasil perhitungan energi setiap detik pembacaan sensor, selanjutnya dijumlahkan seluruh nilai energi pada setiap detik pembacaan sensor hingga didapatkan nilai total konsumsi energi total sebagai berikut

Tabel 4. 10 Tabel Perbandingan Konsumsi Energi Total

No	Baterai Tunggal VRLA	Baterai Tunggal LFP	Baterai Ganda	
			VRLA	LFP
1	373,49	387,79	117,20	273,48
2	373,49	387,79	390,69	

Pada nilai konsumsi energi baterai ganda dapat dihitung nilai dari persentase penggunaan keseluruhan sistem kontrol dual baterai sebagai berikut

$$\text{Baterai VRLA \%} = \frac{117,20}{390,69} \times 100 \%$$

$$\text{Baterai VRLA \%} = 0,29 \times 100 \%$$

$$\text{Baterai VRLA \%} = 0,29 \% \approx 30 \%$$

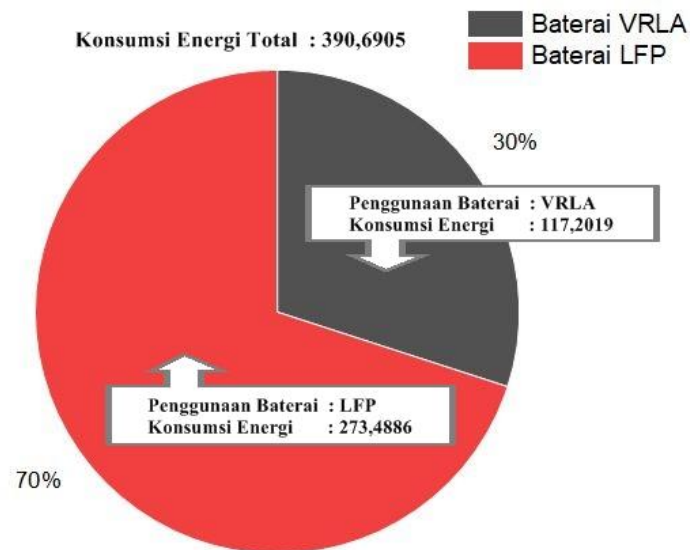
Pada perhitungan diatas diperoleh nilai persentase penggunaan baterai VRLA pada sistem dual baterai sebesar 29 % atau dapat dibulatkan menjadi 30% penggunaan.

$$\text{Baterai LFP \%} = \frac{273,48}{390,69} \times 100 \%$$

$$\text{Baterai LFP \%} = 0,69 \times 100 \%$$

$$\text{Baterai LFP \%} = 0,69 \approx 70 \%$$

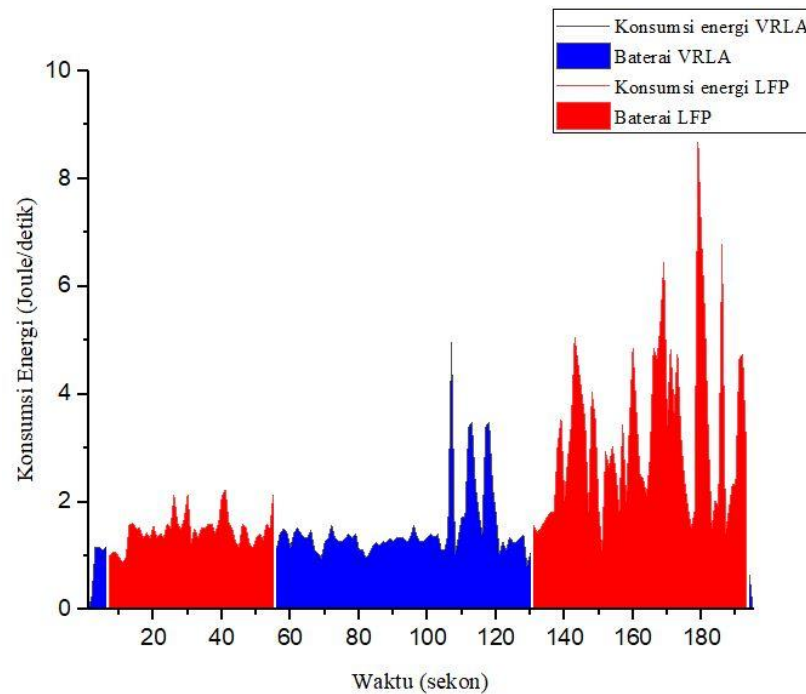
Pada perhitungan diatas diperoleh nilai persentase penggunaan baterai LFP pada sistem dual baterai sebesar 69 % atau dapat dibulatkan menjadi 70 % penggunaan. Berikut ini nilai konsumsi masing-masing baterai dalam bentuk pie chart.



Gambar 4. 28 Persentase Penggunaan Energi Masing-masing Baterai pada Baterai Ganda Hibrida

Pada gambar 4.12 merupakan distribusi penggunaan energi pada baterai ganda. Terlihat setelah dilakukan pengujian variasi beban didapatkan nilai konsumsi energi baterai VRLA sebesar 117, 20 Ws dan nilai konsumsi energi LFP sebesar 273,48 Ws dengan persentase penggunaan ketika pengujian yaitu baterai VRLA 30% dan baterai LFP 70%. Pada penggunaan baterai ganda beban pada salah satu baterai dapat dibagi berdasarkan skenario *switching* yang dijalankan.

Pada tabel 4.11 terlihat konsumsi energi pada baterai terbebaskan pada satu baterai secara penuh dengan nilai konsumsi energi total baterai VRLA sebesar 373,4946 Ws dan nilai konsumsi energi total baterai LFP sebesar 387,7937 Ws. Dari hasil konsumsi energi diatas dapat dihitung nilai dari penghematan energi masing-masing baterai ketika dalam model baterai ganda. Berikut ini grafik konsumsi energi pada baterai ganda



Gambar 4. 29 Grafik Konsumsi Energi Pada Pengujian Baterai Ganda Hibrida

Gambar 4.29 merupakan energi yang dikonsumsi oleh masing-masing baterai yaitu warna biru untuk baterai VRLA dan warna merah untuk baterai LFP. Terlihat distribusi penggunaan energi disesuaikan dengan skenario *switching*.

Dari hasil penggunaan energi baterai pada sistem dual baterai dapat kita hitung nilai penghematan masing-masing baterai dengan membandingkan nilai baterai tunggal dan baterai ganda.

$$\text{Baterai VRLA \%} = \frac{\text{Baterai VRLA Ganda}}{\text{Baterai VRLA Tunggal}} \times 100 \%$$

$$\text{Baterai VRLA} = \frac{117,20}{387,49} \times 100 \%$$

$$\text{Baterai VRLA} = 0,30 \times 100 \%$$

$$\text{Baterai VRLA} = 30 \%$$

Dari hasil perhitungan diatas didapatkan nilai besar persentase penggunaan baterai VRLA pada sistem baterai ganda terhadap baterai VRLA pada sistem baterai tunggal yaitu sebesar 30 %, sehingga nilai penghematan baterai VRLA yang dapat dilakukan yaitu $100\% - 30\% = 70\%$.

$$\text{Baterai LFP \%} = \frac{\text{Baterai LFP Ganda}}{\text{Baterai LFP Tunggal}} \times 100 \%$$

$$\text{Baterai LFP \%} = \frac{273,48}{387,79} \times 100 \%$$

$$\text{Baterai LFP \%} = 0,70 \times 100 \%$$

$$\text{Baterai LFP \%} = 70\%$$

Dari hasil perhitungan diatas didapatkan nilai besar persentase penggunaan baterai LFP pada sistem baterai ganda terhadap baterai LFP pada sistem baterai tunggal yaitu sebesar 70 %, sehingga nilai penghematan baterai VRLA yang dapat dilakukan yaitu $100\% - 70\% = 30\%$. Berikut hasil perhitungan dalam bentuk tabel

Tabel 4. 11 Perbandingan Penggunaan energi baterai dan Penghematan Energi

Baterai VRLA (Baterai Tunggal)	Baterai VRLA (Baterai Ganda)	Nilai Persentase Penghemtan Energi (%)
387,49	117,20	69,75
Baterai LFP (Baterai Tunggal)	Baterai LFP (Baterai Ganda)	Nilai Persentase Penghemtan Energi (%)
387,79	273,48	29,47

Dari tabel 4.12 didapatkan nilai persentase penghematan energi baterai tunggal ketika menggunakan model baterai ganda. Pada penggunaan baterai VRLA dapat menghemat hingga $69,75392\% \approx 70\%$ konsumsi energi dibandingkan dengan penggunaan penuh baterai tunggal VRLA dan pada penggunaan baterai LFP dapat menghemat hingga $29,47564\% \approx 30\%$ konsumsi energi dibandingkan dengan penggunaan penuh baterai tunggal LFP.

BAB V

PENUTUP

Pada bab ini membahas tentang kesimpulan dari analisis data percobaan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya meliputi hasil perancangan dan hasil pengujian. Kesimpulan disusun berdasarkan rumusan masalah dan tujuan yang dipaparkan pada bab pertama.

5.1 Kesimpulan

Dalam penelitian ini telah dirancang sistem kontrol dual baterai hibrida *valve regulated lead acid* (VRLA) dan *lithium ferro phosphate* (LFP) menggunakan teknik *switching*. Metode *switching* ditentukan berdasarkan operasional baterai yang digunakan. Referensi *switching* meliputi bukaan Potensiometer, tegangan baterai dan suhu baterai. Setelah dilakukan analisis hasil data percobaan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan menggunakan pembacaan bukaan potensiometer sebagai sensor umpan balik *switching* baterai dengan set poin bukaan potensio <50% menggunakan baterai utama VRLA sebagai baterai beban rendah dan set poin bukaan potensio >50% menggunakan baterai sekunder LFP sebagai baterai beban tinggi.
2. Pada Pengujian akurasi, pembacaan konsumsi arus pada sistem memiliki akurasi sebesar 83,74 % dan pembacaan konsumsi tegangan memiliki akurasi sebesar 94,25 %, Sedangkan Pengujian presisi, pembacaan konsumsi arus pada sistem memiliki presisi sebesar 64,90 % dan pembacaan konsumsi tegangan memiliki presisi sebesar 99,74 %.
3. Pada pengujian optimasi penggunaan dual baterai terhadap single baterai didapatkan persentase penghematan energi sebesar 69,75 % dari baterai VRLA dan persentase penghematan energi sebesar 29,47 % dari baterai LFP.

5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa saran untuk penyempurnaan dan pengembangan penelitian selanjutnya yaitu sebagai berikut

1. Dapat melakukan hibridisasi dual jenis baterai lain dengan mengkombinasikan baterai daya tinggi dengan baterai berdaya tinggi pula

agar hibridisasi keduanya dapat lebih fungsional dan memanfaatkan karakteristik atau spesifikasi masing-masing jenis.

2. Dapat melakukan hibridisasi dual penyimpanan energi hibrida lain seperti *supercapacitor* atau *flywheel* untuk saling menutupi kelemahan masing-masing dan memanfaatkan keunggulan masing-masing.
3. Melakukan pengujian secara nyata pada sepeda listrik dengan melakukan pengujian seperti performa ketika berjalan di jalan menanjak atau di jalan mendatar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Investor Daily, "Roadmap Kendaraan Listrik" investor, 14 Desember 2019.[Online]. Available : <https://investor.id/editorial/roadmap-kendaraan-listrik>. [Diakses 2 September 2020].
- [2] Afif, Muhammad Thowil, and Ilham Ayu Putri Pratiwi. "Analisis Perbandingan Baterai Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid dan Nickel-Metal Hydride pada Penggunaan Mobil Listrik-Review." *Rekayasa Mesin* 6.2 (2015): 95-99.
- [3] H.Venkatesetty and Y. Jeong, "Recent advances in lithium-ion and lithiumpolymer batteries," Seventeenth Annual Battery Conference on Applications and Advances. Proceedings of Conference IEEE, pp. 173-178, 2002.
- [4] Renner, D., Dietz, M., Werner, J., Frei, S., Jansen, P., & Vergossen, D."Predictive Power Estimation of Dual Battery Systems in Mild-Hybrid Vehicles". *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)* (pp. 1-6). IEEE. 2016
- [5] H. Jamahori and H. Rahman, "Hybrid energy storage system for life cycle improvement", *2017 IEEE Conference on Energy Conversion (CENCON)*, 2017.
- [6] Chung, Steven, and Olivier Trescases. "Hybrid energy storage system with active power-mix control in a dual-chemistry battery pack for light electric vehicles." *IEEE Transactions on Transportation Electrification* 3.3 (2017): 600-617
- [7] M. Rade, "Design and Development of Hybrid Energy Storage System for Electric Vehicle", *2018 International Conference on Information, Communication, Engineering and Technology (ICICET)*, 2018.
- [8] P. Vishnu, R. Ajaykrishna and S. Thirumalini, "Cost effective energy solution with dual battery for plug-in hybrid electric vehicle (PHEV) in a public transportation system", *2012 7th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, 2012.
- [9] Keshan, Hardik, Jesse Thornburg, and Taha Selim Ustun. "Comparison of lead-acid and lithium ion batteries for stationary storage in off-grid energy systems." 2016: 30-7.
- [10] Kurniawan, Ekki, et al. "Data analysis of Li-Ion and lead acid batteries discharge parameters with Simulink-MATLAB." *2016 4th International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT)*. IEEE, 2016.

- [11] Zhang, Yong, et al. "A Soft-Switching Bidirectional DC–DC Converter for the Battery Super-Capacitor Hybrid Energy Storage System." *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 65.10 (2018): 7856-7865.
- [12] P. Neto, O. Saavedra and L. de Souza Ribeiro, "A Dual-Battery Storage Bank Configuration for Isolated Microgrids Based on Renewable Sources", *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 9, no. 4, pp. 1618-1626, 2018.
- [13] M. Nizam, H. Maghfiroh, R. Rosadi and K. Kusumaputri, "Design of Battery Management System (BMS) for Lithium Iron Phosphate (LFP) Battery", *2019 6th International Conference on Electric Vehicular Technology (ICEVT)*, 2019.
- [14] A. Zhang, S. Song, C. Wang, J. Zhang, K. Wang and L. Li, "Research of battery management system for integrated power supply", *2017 Chinese Automation Congress (CAC)*, 2017.
- [15] M. Hannan, M. Hoque, A. Hussain, Y. Yusof and P. Ker, "State-of-the-Art and Energy Management System of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicle Applications: Issues and Recommendations", *IEEE Access*, vol. 6, pp. 19362-19378, 2018.
- [16] GARCHE, Jurgen, et al. (ed.). *Lead-acid batteries for future automobiles*. Elsevier, 2017.
- [17] Putra, Hermawan Permana. "Studi Karakteristik Pelepasan Muatan Baterai Lead Acid terhadap Variasi Beban RLC." *Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro. UI. Depok*. 2010.
- [18] Mustaqim, Abid Alim. 2018. Kontrol Tertutup pada Battery Charge Regulator Lead-Acid yang Aman Menggunakan Teknik Switching. Skripsi. Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret.
- [19] J. Loukil, F. Masmoudi and N. Derbel, "Modeling of internal parameters of a lead acid battery with experimental validation", *2016 13th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD)*, 2016.
- [20] R. Xiong, J. Cao, Q. Yu, H. He and F. Sun, "Critical Review on the Battery State of Charge Estimation Methods for Electric Vehicles", *IEEE Access*, vol. 6, pp. 1832-1843, 2018.
- [21] R. Xiong, Y. Zhang, J. Wang, H. He, S. Peng and M. Pecht, "Lithium-Ion Battery Health Prognosis Based on a Real Battery Management System Used

- in Electric Vehicles", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 68, no. 5, pp. 4110-4121, 2019.
- [22] Bocklisch, Thilo. "Hybrid energy storage systems for renewable energy applications." *Energy Procedia* 73.2015 (2015): 103-111.
- [23] *Panasonic Batteries VRLA for Professionals Interactive*. Handbook. Panasonic Industry Europe GMBH.
- [24] Alibaba [Online]. Available: <https://indonesian.alibaba.com/product-detail/ifr-18650-3-2v-1500mah-lithium-li-ion-li-ion-lifepo4-rechargeable> [Diakses 28 Juli 2020]
- [25] Honcell [Online]. Available : <http://www.honcell.com/products/plist/id/35.html> [Diakses 28 Juli 2020]
- [26] Circuits Today [Online]. Available : <https://www.circuitstoday.com/arduino-nano-tutorial-pinout-schematics> [Diakses 24 Juli 2020].
- [27] Nyebarilmu [Online]. Available : <https://www.nyebarilmu.com/tutorial-arduino-mengakses-sensor-arus/> [Diakses 20 Juli 2020]
- [28] International Rectifier, "IR2101 Datasheet". [Online]. Available : <https://www.alldatasheet.com/view.datasheet> [Diakses 21 Juni 2020]
- [29] Udin, M., Kaloko, B. S., & Hardianto, T. (2017). Peramalan Kapasitas Baterai Lead Acid pada Mobil Listrik Berbasis Levenberg Marquardt Neural Network. *BERKALA SAINSTEK*, 5(2), 112-117.

LAMPIRAN

Lampiran Coding Program

// Sistem Kontrol Dual Baterai Hibrida VRLA dan LFP Menggunakan Teknik Switching

// Fuad Nur Kuncoro/I0716014/Tugas Akhir/Teknik Elektro UNS

```
#include "ACS712.h" //Library Sensor Arus ACS712-5A
```

```
#include <DallasTemperature.h> // Library Sensor Suhu Versi Dallas
```

```
#include <OneWire.h> // Library Sensor Suhu
```

```
#define ONE_WIRE_BUS 3
```

```
OneWire oneWire (ONE_WIRE_BUS);
```

```
DallasTemperature DS18B20 (&oneWire); //library Sensor Suhu DS18B20
```

```
ACS712 sensor(ACS712_05B,A3);
```

```
float Vvrla;
```

```
float Vbat1;
```

```
float Vlfp;
```

```
float Vbat2;
```

```
float Vload;
```

```
float Vout;
```

```
float I;
```

```
float P;
```

```
float suhu;
```

```
int Hin=6;
```

```
int Lin=5;
```

```
float pot;
```

```
float potreff=2.5;
```

```
int pwmHin = 254;
```

```

int pwmLin = 0;
int pwmreff = 1;
float Vbatlfp = 12;
float Vbatlfpref = 10;
float Tlfp;
float Tlfpref = 40;

void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
    Serial.begin(9600);
    pinMode(Hin,OUTPUT);
    pinMode(Lin,OUTPUT);
    sensor.calibrate();
    analogWrite(Hin,pwmHin);
    analogWrite(Lin,pwmLin);
    DS18B20.begin();
    DS18B20.setResolution(3);

}

void loop() {
    // put your main code here, to run repeatedly:
    readsens();

    sw1();
    sw2();
    sw3();
    sw4();
    sw5();
    sw6();

```

```

analogWrite(Hin,pwmHin);
analogWrite(Lin,pwmLin);
}

void readsens(){
    // Membaca bukaan Potensiometer
    float bitpot = analogRead(A6);
    pot = bitpot*5.0/1023.0;

    // Membaca nilai Tegangan Baterai Utama (VRLA)
    float bitVvrla = analogRead(A1);
    Vvrla = bitVvrla*5.0/1023.0;
    Vbat1 = -0,230398976 + 1,011576903*Vvrla

    // Membaca nilai Tegangan Baterai Sekunder (LFP)
    float bitVlfp = analogRead(A0);
    Vlfp = bitVlfp*5.0/1023.0;
    Vbat2 = -0,203829539 + 1,006817844*Vlfp

    // Membaca konsumsi Tegangan beban motor
    float bitVout = analogRead(A2);
    Vout = bitVout*5.0/1023.0;
    Vload = -0,148994073 + 1,002421328*Vout

    // Membaca konsumsi Arus beban motor
    I = sensor.getCurrentDC();

    // Membaca nilai Daya konsumsi beban motor
    P=I*Vload;

    // Membaca nilai suhu pada baterai LFP
    DS18B20.requestTemperatures();
    suhu = DS18B20.getTempCByIndex(0);
}

void sw1(){
    if (pot>potreff&&Vbatlfp>Vbatlfpreff&&Tlfp<Tlfpreff&&pwmLin<255){
        pwmHin=pwmHin - pwmreff;
        pwmLin=pwmLin + pwmreff;
    }
}

void sw2(){
    if (pot>potreff&&Vbatlfp<Vbatlfpreff&&Tlfp<Tlfpreff&&pwmHin<255){

```



```

    pwmHin=pwmHin + pwmreff;
    pwmLin=pwmLin - pwmreff;
}
}

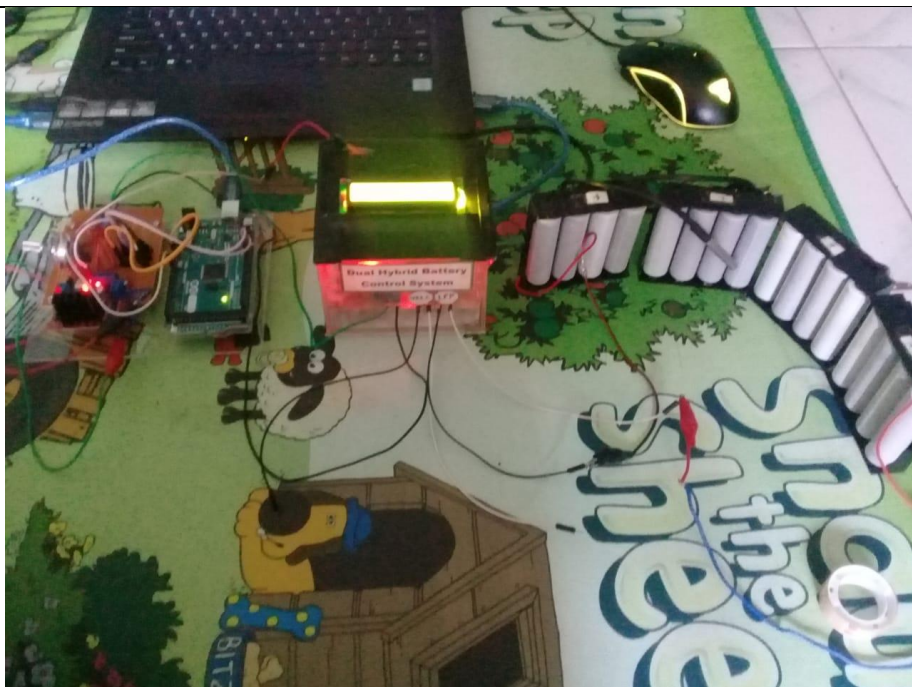
void sw3(){
    if (pot>potreff&&Vbatlfp>Vbatlfpref&&Tlfp>Tlfpref&&pwmHin<255){
        pwmHin=pwmHin + pwmreff;
        pwmLin=pwmLin - pwmreff;
    }
}

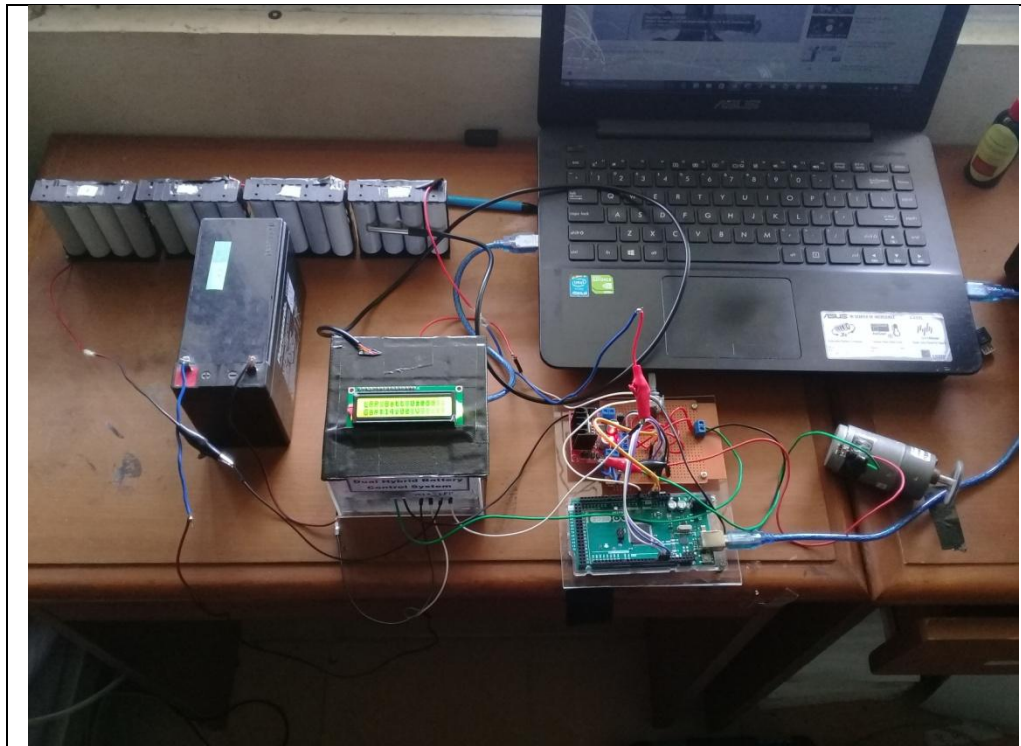
void sw4(){
    if (pot<potreff&&Vbatlfp>Vbatlfpref&&Tlfp<Tlfpref&&pwmHin<255){
        pwmHin=pwmHin + pwmreff;
        pwmLin=pwmLin - pwmreff;
    }
}

void sw5(){
    if (pot<potreff&&Vbatlfp<Vbatlfpref&&Tlfp<Tlfpref&&pwmHin<255){
        pwmHin=pwmHin + pwmreff;
        pwmLin=pwmLin - pwmreff;
    }
}

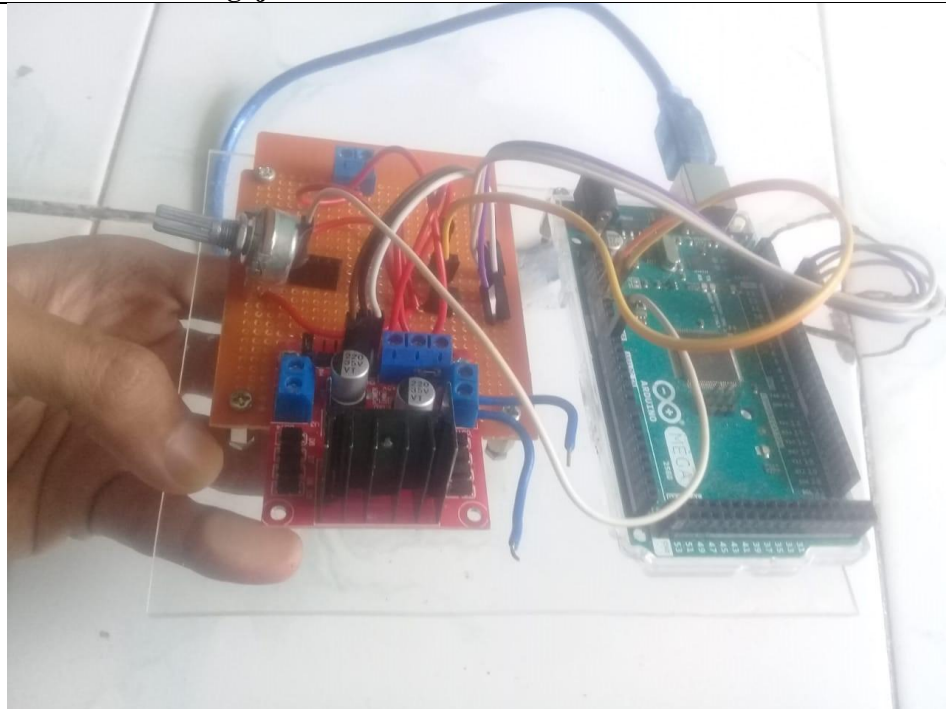
void sw6(){
    if (pot<potreff&&Vbatlfp>Vbatlfpref&&Tlfp>Tlfpref&&pwmHin<255){
        pwmHin=pwmHin + pwmreff;
        pwmLin=pwmLin - pwmreff;
    }
}

```

Lampiran Dokumentasi Alat**Pengujian Baterai Tunggal LFP****Pengujian Baterai Tunggal VRLA**



Pengujian Baterai Ganda VRLA dan LFP Pack



Instalasi Driver Motor dan Arduino Mega