



TUGAS AKHIR – LI 1956404

**RANCANG BANGUN DINAMIKA
CHARGING AND DISCHARGING
SUPERKAPASITOR DENGAN SISTEM
REGENERATIVE BRAKING MOTOR DC**

Oleh:

Fathul Rosi

NRP. 33112301030

Dosen Pembimbing:

Achmad Afandi, S.Tr.T., M.Tr.T. Pembimbing I

Bayu Praharsena, S.ST., M.T. Pembimbing II

**PROGRAM STUDI DIII TEKNIK LISTRIK INDUSTRI
JURUSAN TEKNOLOGI ELEKTRO**

POLITEKNIK NEGERI MADURA

SAMPANG

2026



TUGAS AKHIR – LI 1956404

**RANCANG BANGUN DINAMIKA
CHARGING AND DISCHARGING
SUPERKAPASITOR DENGAN SISTEM
REGENERATIVE BRAKING MOTOR DC**

Oleh:

Fathul Rosi

NRP. 33112301030

Dosen Pembimbing:

Achmad Afandi, S.Tr.T., M.Tr.T. Pembimbing I

Bayu Praharsena, S.ST., M.T. Pembimbing II

PROGRAM STUDI DIII TEKNIK LISTRIK INDUSTRI

JURUSAN TEKNOLOGI ELEKTRO

POLITEKNIK NEGERI MADURA

SAMPANG

2026

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN

Saya mahasiswa Politeknik Negeri Madura, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi:

Nama : Fathul Rosi
NRP : 33112301030
Program Studi : D3 Teknik Listrik Industri
Jurusan : Teknologi Elektro

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang saya buat dengan judul “Rancang Bangun Dinamika Charging and Discharging Supercapacitor Dengan Sistem Regenerative Braking Motor DC”:

- Dibuat dan diselesaikan sendiri dengan menggunakan literatur hasil kuliah, survei lapangan, bimbingan dengan dosen pembimbing dan pembimbing penelitian, melalui tanya jawab maupun asistensi serta buku-buku jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada Tugas Akhir ini.
- Bukan merupakan duplikasi yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas/Perguruan Tinggi lain, kecuali

pada bagian-bagian tertentu digunakan referensi pendukung untuk melengkapi informasi dan sumber informasi dengan dicantumkan melalui referensi yang semestinya.

- Bukan merupakan karya tulis terjemahan dari kumpulan buku atau jurnal acuan yang tertera dalam referensi pada Tugas Akhir ini.

Jika terbukti saya tidak memenuhi apa yang telah saya nyatakan seperti apa yang di atas, maka Tugas Akhir saya ini dibatalkan.

Sampang, 1 Juli 2026



LEMBAR PENGESAHAN

RANCANG BANGUN DINAMIKA SUPERKAPASITOR CHARGING AND DISCHARGING SUPERKASITOR DENGAN SISTEM REGENERATIVE BRAKING MOTOR DC

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelara Ahli Madya Teknik (A.Md.T.)**

**Pada,
Jurusan teknologi Elektro
Politeknik Negeri Madura**

**Oleh:
FATHUL ROSI
NRP. 33112301030**

**Tugas Akhir ini telah disidangkan pada tanggal, 5 Agustus 2026
dan telah sesuai dengan ketentuan.**

Disetujui Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Achmad Afandi, S.Tr.T., M.Tr.T.(Pembimbing I)
2. Bayu Praharsena, S.ST., M.T.(Pembimbing II)
3. Ibrahim Saiful Millah, S.T., M.Sc.(Penguji I)
4. Muhammad Furqon, M.T.(Penguji II)
5. Dimas Panji Eka Jala Putra, S.Kom., M.Kom.(Penguji III)

Sampang

5 Agustus 2026

LEMBAR PERSETUJUAN SIDANG TUGAS AKHIR

Judul Tugas Akhir : Pemodelan Dinamika Pengisian dan Pengosongan
Superkapasitor Dengan Sistem *Regerative Braiking*
Motor DC

Penulis : Fathul Rosi

NRP : 33112301030

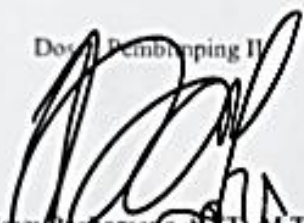
Program Studi : DIII Teknik Listrik Industri

Jurusan : Teknologi Elektro

Tugas Akhir ini telah diperiksa dan disetujui untuk disidangkan.
Ditandatangani di Gedung A, Politeknik Negeri Madura.

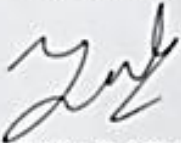
Menyetujui,

Dosen Pembimbing II



Bayu Purnamasena, S.T., M.T.
NIP. 199405312019031009

Dosen Pembimbing I



Achmad Afandi, S.Tr.T., M.Tr.T.
NIP. 199710252024061001

Koordinator Program Studi
Teknik Listrik Industri



Bayu Purnamasena, S.T., M.T.
NIP. 199405312019031009

Ketua Jurusan
Teknologi Elektro



Mohammad Nur, S.Si., M.T.
NIP. 198605082019031007



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



RANCANG BANGUN DINAMIKA CHARGING AND DISCHARGING SUPERKAPASITOR DENGAN SISTEM REGENERATIVE BRAKING MOTOR DC

Nama : Fathul Rosi
NRP : 33112301030
Dosen Pembimbing I : Achmad Afandi, S.Tr.T., M.Tr.T.
Dosen Pembimbing II : Bayu Praharsena, S.ST., M.T.

ABSTRAK

Perkembangan kendaraan Listrik mendorong akan kebutuhan penyimpanan energi yang efisien dan memiliki umur pakai Panjang. Namun selama ini, baterai masih menjadi penyimpanan energi utama, namun memiliki keterbatasan waktu pengisian yang lama dan umur siklus yang terbatas. Superkapasitor hadir sebagai alternatif penyimpanan energi karena mampu melakukan *charging and discharging* dengan sangat cepat dan memiliki siklus daya tahan yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun dinamika *charging and discharging* superkapasitor dengan system *regenerative braking* motor DC. Pada system ini, motor DC sebagai penggerak dan generator sebagai penghasil daya saat proses pengereman, sehingga mengubah energi Gerak menjadi Listrik melalui prinsip elektromagnetik dan di simpan ke dalam superkapasitor. Penelitian

ini diharapkan dapat memberikan Gambaran kinerja superkapasitor dengan system *regenerative braking* motor DC serta menjadi media pembelajaran dan refrensi penerapan superkapasitor sebagai penyimpanan energi pada kendaraan Listrik.

Kata Kunci: Superkapasitor, *Charging*, *Discharging*, *Regenarative Braking*, Motor DC.



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



***DESIGN AND DEVELOPMENT OF
SUPERCAPASITOR CHARGING AND DISCHARGING
DYNAMICS USING A DC REGENERATIVE BRAKING
SYSTEM***

Nama : Fathul Rosi
NRP : 33112301030
Dosen Pembimbing I : Achmad Afandi, S.Tr.T., M.Tr.T.
Dosen Pembimbing II : Bayu Praharsena, S.ST., M.T.

ABSTRACT

The development of electric vehicles has driven the need for energy storage systems that are efficient and have a long service life. Currently, batteries are still the main energy storage medium; however, they have limitations such as long charging times and limited cycle life. Supercapacitors emerge as an alternative energy storage solution because they are capable of very fast charging and discharging processes and have high cycle durability. This study aims to design and develop the charging and discharging dynamics of a supercapacitor using a DC motor regenerative braking system. In this system, the DC motor functions as a drive, while the generator produces electrical power during the braking process, converting kinetic energy into electrical energy through

electromagnetic principles and storing it in the supercapacitor. This research is expected to provide an overview of supercapacitor performance in a DC motor regenerative braking system and to serve as a learning medium and reference for the application of supercapacitors as energy storage in electric vehicles.

Keywords: Supercapacitor, Charging, Discharging, Regenerative Braking, DC Motor.



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji syukur kepada Allah Yang Maha Esa yang telah memberi kekuatan, kemampuan, dan kesabaran kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan tugas akhir yang berjudul **“Rancang Bangun Dinamika Charging and Discharging Superkapasitor Dengan Sistem Regenerative Braking Motor DC”**. Penyusunan laporan tugas akhir ini dibuat untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan tugas akhir Program Studi D3 Teknik Listrik Industri Jurusan Teknologi Elektro di Politeknik Negeri Madura untuk memperoleh gelar Ahli Madya.

Dalam tugas akhir ini, penulis berperan sebagai editor telah menyunting karya produk buku informasi anak tentang otomasi industri. Berdasarkan karya tersebut, penulis menyusun laporan TA berjudul **“Rancang Bangun Dinamika Charging and Discharging Superkapasitor Dengan Sistem Regenerative Braking Motor DC”**.

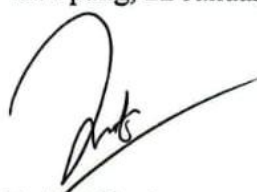
Laporan TA ini tidak akan selesai dengan baik tanpa bantuan, bimbingan, dan dorongan dari orang-orang yang berada di sekitar penulis. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih banyak kepada:

1. Kedua orang tua Ibu dan Bapak yang menjadi dasar semangat bagi penulis untuk bisa menyelesaikan pendidikan ini dengan sukses, dan terimakasih atas semua perjuangan dan usaha yang diberikan.
2. Ibu Laily Ulfiyah, M.T., Selaku Direktur Politeknik Negeri Madura, atas dukungan dan fasilitas yang diberikan selama menempuh Pendidikan
3. Bapak M. Musta'in, M.T., Selaku Wakil Direktur I Bidang Akademik dan Kemahasiswaan, atas dukungan dan fasilitas yang diberikan selama menempuh Pendidikan
4. Ibu Tristiandinda Permata, S.T.,M.T. Selaku Wakil Direktur II Bidang Perencanaan Keuangan dan umum, atas dukungan dan fasilitas yang diberikan selama menempuh Pendidikan
5. Bapak Ir. Akhmad Arif Kurdianto, S.ST., M.T. Selaku Wakil Direktur III Bidang Kemahasiswaan Kerjasama Dan Sistem Informasi, , atas dukungan dan fasilitas yang diberikan selama menempuh Pendidikan
6. Mohammad Nur, S.Si., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknologi Elektro, atas fasilitas dan dukungan yang diberikan
7. Bapak Ibrahim Saiful Millah, S.T., M.Sc. selaku Sekretaris Jurusan Teknologi Elektro, atas fasilitas dan dukungan yang diberikan
8. Bayu Praharsena, S.ST., M.T, Koordinator Program Studi Teknik Listrik industri, atas fasilitas dan dukungan yang diberikan
9. Achmad Afandi, M.Tr.T., Pembimbing I, atas bimbingan, arahan, solusi yang diberikan selama proses penelitian

10. Bayu Praharsena, S.ST., M.T Pembimbing 2, atas bimbingan, arahan, solusi yang diberikan selama proses penelitian
11. Seluruh dosen JTE yang sudah memberikan pelajaran dalam hidup yang sangat berkesan bagi saya
12. Seluruh dosen dan tenaga kependidikan Politeknik Negeri Madura yang telah memberikan ilmu, fasilitas, pelayanan, dan pendidikan bantuan selama menempuh
13. Kakak alumni Teknik Listrik Industri, yang memberikan Pengalaman mulai dari Organisasi, Project, Perlombaan, Event dan lain lain yang tak terlupakan.
14. Teman-teman angkatan 12 Viking yang sudah memberikan semangat, ilmu dan menemani selama perjuangan ini

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam tugas akhir ini. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun untuk tugas akhir ini.

Sampang, 22 Januari 2026



Fathul Rosi
NRP. 33112301030



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 Landasan Teori	10
2.2.1 Superkapasitor	10
2.2.2 Baterai	11
2.2.3 Motor DC	12
2.2.4 Generator DC	13

2.2.5	PWM DC Motor.....	14
2.2.6	Display	15
2.2.7	Sensor Arus	15
2.2.8	Sensor Tegangan	16
2.2.9	Modul Relay 2 Chanel.....	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		19
3.1	Tahapan Penelitian	19
3.2	Diagram Alir Penelitian.....	20
3.3	Flowchart Sistem Keseluruhan	22
3.3.1	Flowchart Sistem Kerja Alat	22
3.3.2	Desain Elektrik.....	24
3.3.3	Desain 3D Mekanik.....	25
3.4	Blok Diagram Sistem.....	27
3.5	Spesifikasi Alat dan Bahan.....	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		29
4.1	Pengujian Charging Superkapasitor	29
4.2	Pengujian Discharging Superkapasitor.....	31
4.3	Analisis Dinamika Charging Superkapasitor	33
4.4	Analisis Dinamika Discharging Superkapasitor..	34
4.5	Analisis Sistem Monitoring	35
4.6	Pembahasan	36
4.7	Datasheet Superkapasitor	38
4.8	Tabel Perbandingan Hasil Perhitungan dan Data Charging	38
4.9	Tabel Perbandingan Hasil Perhitungan dan Data	

Discharging.....	42
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	46
5.1 Kesimpulan	46
5.2 Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN.....	54
BIODATA PENULIS.....	55



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTER



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTER



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTER



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Perbedaan penelitian dengan sebelumnya	8
Tabel 3. 1	Spesifikasi komponen.....	28
Tabel 4. 1	Data Saat Proses Charging	30
Tabel 4. 2	Data Saat Proses Discharging.....	32
Tabel 4. 3	Perhitungan dan Data Charging.....	39
Tabel 4. 4	Perhitungan dan Data Discharging.....	43



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Superkapasitor	11
Gambar 2. 2	Lithium polymer (LI_PO).....	12
Gambar 2. 3	Motor DC	12
Gambar 2. 4	Generator DC	13
Gambar 2. 5	PWM DC Motor	14
Gambar 2. 6	Display	15
Gambar 2. 7	Sensor Arus.....	16
Gambar 2. 8	Sensor Tegangan.....	17
Gambar 2. 9	Modul Relay 2 Chanel	18
Gambar 3. 1	Diagram Alir Penelitian	20
Gambar 3. 2	Flowchart system keseluruhan.....	22
Gambar 3. 3	Flowchart Sistem Kerja Alat.....	23
Gambar 3. 4	Elektrik diagram	24
Gambar 3. 5	Desain 3D	25
Gambar 3. 6	Detail desain alat.....	25
Gambar 3. 7	Daftar detail alat.....	26
Gambar 3. 8	Blok diagram sistem	27
Gambar 4. 1	Grafik Data Charging.....	33
Gambar 4. 2	Grafik Data Discharging	34
Gambar 4. 3	Datasheet Superkapasitor.....	38



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

ADC	: Analog to Digital Converter
ACS712	: Hall Effect Current Sensor
CSV	: Comma Separated Values
DC	: Direct Current
LCD	: Liquid Crystal Display
LED	: Light Emitting Diode
PCB	: Printed Circuit Board
PWM	: Pulse Width Modulation
RPM	: Revolutions Per Minute
SCL	: Serial Clock Line
SDA	: Serial Data Line
SD	: Card Secure Digital Card
SOC	: State of Charge
V	: Tegangan
I	: Arus
P	: Daya

R	: Hambatan
t	: Waktu
η	: Efisiensi
Δ	: Perubahan
Ω	: Ohm
$\%$	: Persentase



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



DAFTAR LAMPIRAN

Lapiran 1. 1	QR Code Akses Manual Book	54
Lapiran 1. 2	QR Code Akses Dokumintasi Pengerjaan....	54



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energy storage atau penyimpanan energi merupakan system penyimpanan yang biasa digunakan pada kendaraan listrik. Jenis penyimpanan energi yang sering digunakan adalah baterai dan superkapasitor. Namun yang paling sering digunakan oleh Masyarakat adalah baterai. Padahal baterai memiliki beberapa kekurangan yang mana kekurangan tersebut telah dijawab oleh superkapasitor. Superkapasitor ialah perangkat penyimpan energi yang posisinya berada di antara kapasitor biasa dan baterai. Alat ini menyimpan energi secara elektrostatis melalui pemisahan muatan di permukaan elektroda, sehingga memiliki daya pengisian dan pengosongan yang sangat cepat. Kepadatan dayanya jauh lebih tinggi dari kapasitor biasa dan memiliki stabilitas siklus yang lebih baik daripada baterai.

Namun superkapasitor memiliki beberapa kendala yaitu harga yang mahal serta minimnya referensi tentang penggunaan superkapasitor pada kendaraan Listrik. Berdasarkan permasalahan di atas, maka penulis

mengusulkan sebuah Solusi tentang penggunaan teknologi superkapasitor pada *electric vehicle* dengan judul “**Rancang Bangun Dinamika Charging and Discharging Superkapasitor Pada Sistem Regenerative Braking Motor DC**”. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk memperkenalkan penggunaan superkapasitor sebagai media penyimpanan energi untuk kendaraan listrik selain baterai.

Manfaat yang diharapkan adalah memberikan pengetahuan baru tentang sistem *charging and discharging* superkapasitor dengan pengereman regeneratif. Luaran yang diharapkan pada penelitian ini adalah terciptanya sebuah modul pembelajaran tentang penggunaan superkapasitor pada kendaraan listrik dengan menggunakan motor dc sebagai bebannya.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang sistem *Regenerative Braking Motor DC*?
2. Bagaimana memodelkan *charging and discharging* superkapasitor dengan system *regenerative braking*?

1.3 Batasan Masalah

1. Jenis motor yang digunakan adalah motor DC.

2. Tidak mempertimbangkan power balancing pada sistem penyimpanan.
3. Jenis superkapasitor *EDLC* dan baterai *Lithium polymer (LI_PO)*.

1.4 Tujuan

1. Merancang sistem *Regenerative Braking* Motor DC.
2. Memodelkan *charging and discharging* superkapasitor dengan *system regenerative braking*.

1.5 Manfaat

1. Merancang sistem *Regenerative Braking* Motor DC.
2. Memodelkan *charging and discharging* superkapasitor dengan *system regenerative braking*.



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian yang dilakukan oleh Achmad Afandi dkk, dengan judul “ESTIMASI STATE OF CHARGE (SOC) ULTRAKAPASITOR MENGGUNAKAN EXTENDED KALMAN FILTER BERBASIS LADDER EQUIVALENT CIRCUIT MODEL” peneliti sebelumnya melakukan penelitian mengenai Penggunaan perangkat penyimpan energi semakin lama semakin meningkat pada peralatan berdaya kecil maupun besar. Baterai selama ini menjadi pilihan utama sebagai penyimpan energi. Namun akhir-akhir ini ultrakapasitor menjadi pilihan alternatif karena *lifetime* lebih panjang dan respon daya sesaat yang jauh lebih besar dari baterai. Hasil pengujian menunjukkan, kinerja metode dibandingkan antara data simulasi dan percobaan dengan perbedaan hasil sebesar 6% [1].

Pada penelitian yang dilakukan oleh Setyadi Tri Yoga, dengan judul “OPTIMASI PEMANFAATAN SUPER KAPASITOR SEBAGAI PENGUAT TEGANGAN BATERAI UNTUK SISTEM PLTS OFF-GRID BERBASIS AUTOMATIC HYBRID” peneliti sebelumnya melakukan

penelitian mengenai Optimasi Pemanfaatan Superkapasitor Sebagai Penguat Tegangan Baterai. Pemakaian baterai dengan beban arus searah dengan daya yang tinggi dapat menyebabkan terjadinya penurunan kapasitas energi baterai yang membuat arus beban menjadi bertambah secara konstan dan membuat nilai tegangan bus yang disalurkan dari baterai mengalami penurunan secara mutlak, Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan rangkaian Superkapasitor dan DC-DC konverter sebagai perangkat untuk mempertahankan kinerja baterai untuk segi tegangan menggunakan mode Automatic Hybrid [2].

Pada penelitian yang dilakukan oleh Rayhaan Ramadhan dkk, dengan judul “RANGKAIAN SUPERKAPASITOR 100F SEBAGAI ENERGY STORAGE GENERATOR DC-24V” peneliti sebelumnya melakukan penelitian Superkapasitor mulai banyak diaplikasikan sebagai main *energy storage* pada suatu sistem turbin angin, turbin air, dan regenerative braking menggantikan peran baterai lithium-ion. Karakteristik superkapasitor dalam menyimpan energi listrik tidak membutuhkan reaksi kimia menyebabkan karakteristik pengisian arus listrik yang tidak konstan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan besarnya torsi terhadap kuat

arus pada setiap konstan waktu dalam kapasitor 100F sebagai *main energy storage* [3].

Pada penelitian yang dilakukan oleh Raffi Fuad Elpriza dkk, dengan judul “PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI Pengereman Regeneratif Pada Simulator Mobil Listrik Berbasis Motor Arus Searah” peneliti sebelumnya melakukan penelitian salah satu bidang yang membutuhkan listrik yaitu pada mobil listrik. Namun saat ini salah satu kendala pada mobil listrik yaitu ketersediaan stasiun pengisian listrik dan juga pengisian baterai yang membutuhkan waktu cukup lama. Pengereman regeneratif dapat menjadi penyedia energi listrik bagi kendaraan listrik karena pengereman membuang banyak energi gerak menjadi panas, Oleh karena itu, superkapasitor sering digunakan sebagai sumber tenaga tambahan pada kendaraan listrik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa skema pengisian superkapasitor dapat diimplementasikan pada simulator mobil listrik yang telah dibangun [4].

Pada penelitian yang dilakukan oleh Vita Lystianingrum, dengan judul “SUPERKAPASITOR SEBAGAI ALTERNATIF PENYIMPAN ENERGI UNTUK BUS

LISTRIK DI INDONESIA: POTENSI DAN TANTANGAN” peneliti sebelumnya melakukan penelitian baterai adalah media penyimpanan energi yang paling populer digunakan untuk kendaraan listrik. Walaupun begitu, sebenarnya terdapat beberapa kelemahan baterai, di antaranya kerapatan daya yang secara umum tidak tinggi, kecepatan pengisian (charging) yang lama, Superkapasitor adalah suatu media penyimpan yang memiliki karakteristik berbeda dengan baterai. Kerapatan dayanya tinggi, durasi pengisian pendek. Hasil pengujian menunjukkan bahwa Superkapasitor menjadi sangat berpotensi untuk aplikasi bus Listrik, di mana kapasitas energinya dapat memenuhi jarak rute yang dilayani [5].

Tabel 2. 1 Perbedaan penelitian dengan sebelumnya

No	Judul Penelitianan	Pengujian		Regenerative Braking	Motor	Parameter Uji
		Charging	Dis charging			
1.	Estimasi <i>State Of Charge</i> (Soc) Ultrakapasitor Menggunakan Extended Kalman Filter Berbasis Ladder Equivalent Circuit Model	Yes	No	No	No	SoC
2.	Optimasi Pemanfaatan Super Kapasitor Sebagai Penguat Tegangan Baterai Untuk Sistem Plts <i>Off-Grid</i> Berbasis <i>Automatic Hybri</i>	Yes	Yes	No	Yes	SoC
3.	Rangkaian Supercapacitor 100f Sebagai <i>Energy Storage</i> Generator Dc-24v	Yes	No	No	No	-
4.	Perancangan Dan Implementasi Pengereman <i>Regeneratif</i> Pada Simulator Mobil Listrik Berbasis Motor Arus Searah	Yes	Yes	Yes	Yes	Kecepatan, Tegangan

5.	Superkapasitor Sebagai Alternatif Penyimpan Energi Untuk Bus Listrik Di Indonesia: Potensi Dan Tantangan	Yes	No	No	No	-
6.	Rancang bangun Dinamika <i>Charging And Dischargin</i> Superkapasitor Pada Sistem <i>Regenerative Braking</i> Motor DC	Yes	Yes	Yes	Yes	Kecepatan, Tegangan

2.2 Landasan Teori

Motor DC merupakan mesin listrik yang dapat berfungsi sebagai motor maupun generator sehingga memungkinkan penerapan sistem regenerative braking, yaitu proses mengubah energi kinetik saat pengereman menjadi energi listrik. Energi ini kemudian disimpan pada media penyimpanan seperti superkapasitor, sebuah perangkat penyimpan energi berkapasitas besar yang bekerja secara elektrostatik, memiliki daya tinggi, waktu pengisian cepat, serta umur siklus panjang dibanding baterai. Dalam proses *charging* dan *discharging*, superkapasitor mengikuti karakteristik rangkaian RC (Resistor-Kapasitor) dengan perubahan tegangan dan arus yang bersifat dinamis. Penggunaan konverter DC–DC diperlukan untuk mengatur aliran daya antara motor dan superkapasitor agar proses penyimpanan energi berjalan optimal.

2.2.1 Superkapasitor

Superkapasitor (atau ultrakapasitor/kapasitor elektrokimia) adalah perangkat penyimpanan energi listrik yang menjembatani celah antara kapasitor konvensional dan baterai, menyimpan energi secara elektrostatik dengan sangat cepat melalui pemisahan muatan (bukan reaksi kimia),

menawarkan kepadatan daya tinggi dan siklus hidup sangat panjang, menjadikannya ideal untuk penyimpanan energi cepat dan aplikasi daya cadangan.



Gambar 2. 1 Superkapasitor

(Sumber : <https://www.lazada.co.id/products/super-capacitor-super-kapasitor>)

2.2.2 Baterai

Baterai adalah sebuah sel elektrokimia yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Komponen utama baterai yaitu anoda, katode, elektrolit, dan separator. Dalam kehidupan sehari-hari dapat dijumpai 2 jenis baterai, yaitu baterai primer dan baterai sekunder, baterai primer hanya dapat digunakan satu kali saja baterai jenis ini tidak memiliki sifat *reversibel* ketika dilepaskan seperti baterai Alkaline, Zing-Carbon, Silver-Oxide. Kemudian baterai sekunder mempunyai sifat *reversible* sehingga baterai dapat di gunakan berulang dengan *charging* dan *discharging* seperti baterai Lithium-Ion.

2.2.4 Generator DC

Generator DC (Arus Searah) adalah mesin listrik yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dalam bentuk arus searah (DC) atau searah, bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, di mana kumparan kawat diputar dalam medan magnet untuk menghasilkan GGL yang kemudian disearahkan oleh komutator menjadi arus searah. Komponen utamanya meliputi stator, rotor, komutator, dan sikat, serta digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan listrik DC seperti mobil listrik dan pengisian baterai.



Gambar 2. 4 Generator DC

(Sumber : <https://cdn.ready-market.com.tw/2192d186/Templates/pic/P-HN250.jpg?v=932ed75d>)

2.2.5 PWM DC Motor

PWM untuk motor DC adalah teknik mengendalikan kecepatan motor dengan cara sangat cepat menghidupkan dan mematikan daya (pulsa), bukan mengubah tegangan secara linier; rasio "waktu hidup" terhadap total waktu (disebut *duty cycle*) menentukan tegangan rata-rata yang masuk ke motor, sehingga motor berputar lebih cepat saat *duty cycle* tinggi (tegangan rata-rata lebih besar) dan lebih lambat saat *duty cycle* rendah, menjadikannya metode efisien dan umum untuk kontrol kecepatan presisi tanpa banyak panas terbuang seperti resistor.



Gambar 2. 5 PWM DC Motor

(Sumber : https://jogjarobotika.com/6597-large_default/12v-40v-10a-pwm-dc-motor-speed-controller.jpg)

2.2.6 Display

Display adalah alat atau fitur yang menunjukkan sisa daya atau energi yang tersimpan dalam baterai, biasanya ditampilkan dalam bentuk persentase, ikon batang (grafik), atau lampu LED pada perangkat elektronik seperti HP, motor listrik, dan mobil, serta mengukur kemampuan baterai melepaskan daya dalam satuan seperti miliampere-jam (mAh) atau watt-jam (Wh) untuk memperkirakan berapa lama daya akan bertahan sebelum perlu diisi ulang atau mengalami masalah.



Gambar 2. 6 Display

(Sumber :

https://www.buydisplay.com/media/catalog/product/cache/3/522febec4c826ac515a9baffa3a57a5/e/r/erm1604syg-1_top_view.jpg)

2.2.7 Sensor Arus

ACS758 merupakan sensor untuk mendeteksi arus dengan prinsip *Hall effect* dimana medan magnetik disekitar arus tembaga dikonversi menjadi tegangan yang linier

dengan perubahan arus yang digunakan sebagai input mikrokontroler melalui konduktor internal. ACS758 memiliki kelebihan yaitu keakuratan dalam proses sensing, karena dalam sensor ini terdapat rangkaian *low-offset linear hall* yang satu lintasan dengan tembaga. Sensor ini akan digunakan untuk mengukur arus pada motor DC yang akan di uji dengan 3 mode, data yang dihasilkan nantinya akan diproses oleh mikrokontroler untuk analisis pada parameter-parameter uji.



Gambar 2. 7 Sensor Arus

(Sumber: <https://sl.bing.net/c5adjbGOWjA>)

2.2.8 Sensor Tegangan

Voltage sensor divider merupakan sensor untuk mendeteksi atau mengukur tegangan menggunakan prinsip pembagi tegangan dengan dua resistor yang tersusun seri yang dapat membaca tegangan 0-12V dengan cara mengurangi sinyal tegangan sebesar 5 kali dan menghasilkan *output* tegangan analog yang sesuai, misalnya tegangan yang

akan diukur ada 30V maka *output* dari sensor ini $30/5=6$, hasil pembacaan sensor ini disambungkan dengan pin analog pada mikrokontroler. Pada penelitian ini sensor divider digunakan untuk mendeteksi atau membaca tegangan pada motor pada saat melakukan pengujian parameter yang sudah ditentukan sebelumnya.



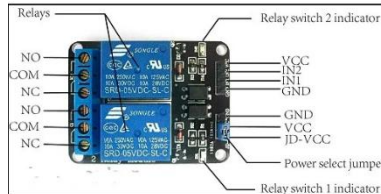
Gambar 2. 8 Sensor Tegangan

(Sumber: <https://share.google/oA3ikHJJauTSKQbPC>)

2.2.9 Modul Relay 2 Chanel

Modul relay adalah perangkat yang berfungsi sebagai saklar listrik yang bekerja berdasarkan sinyal kendali. Ketika sinyal logika HIGH diberikan pada pin kontrol, arus akan mengalir pada kumparan elektromagnet sehingga menimbulkan medan magnet. Medan magnet ini menyebabkan kontak relay berpindah posisi dengan cara menarik atau melepaskannya, sehingga relay dapat bekerja sesuai perintah. Pin kontrol relay umumnya dihubungkan ke pin *input/output* (I/O) *mikrokontroler*. Dalam penelitian ini, relay digunakan sebagai pendeteksi secara otomatis untuk

mengetahui proses *charging* dan *discharging* pada superkapasitor.



Gambar 2. 9 Modul Relay 2 Chanel

(Sumber: <https://store.dafatech.id/wp-content/uploads/2024/10/relay-2-channel>)



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

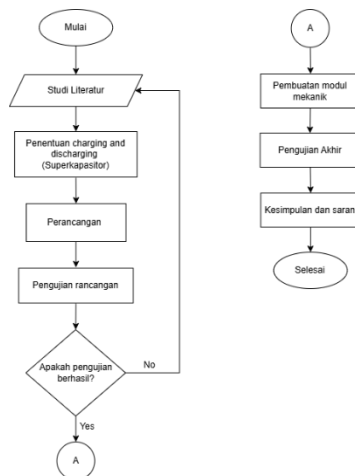
Penelitian ini diawali dengan studi literatur dimana dilakukan pengumpulan jurnal yang relevan dengan penelitian ini guna menentukan parameter uji, pemahaman teori tentang media penyimpanan energi superkapasitor dan sebagai pembandingan penelitian ini dengan sebelumnya. Setelah dilakukan studi literatur dilakukan parameter uji guna mengetahui *charging and discharging* superkapasitor dengan *system regenerative braking*.

Penelitian ini dibangun dengan metode eksperimental guna merancang sistem pengujian *charging and discharging* superkapasitor dengan *system regenerative braking*. Metode penelitian dilakukan secara langsung pada sistem yang sudah dibuat. Merancang sistem uji setiap *charging and discharging* superkapasitor dengan komponen pendukung seperti. Motor DC sebagai penggerak utama roda, Generator DC sebagai penghasil energi Listrik, PWM DC Motor sebagai pengatur kecepatan motor, komponen tersebut untuk mendukung pengujian *charging and discharging* superkapasitor.

Dengan pendekatan ini akan melakukan pengujian *charging and discharging* superkapasitor dengan *system regenerative braking* motor DC. Hasil dari pengujian memberikan piranti penyimpanan energi masa depan dengan beberapa kelebihanannya dibandingkan baterai.

3.2 Diagram Alir Penelitian

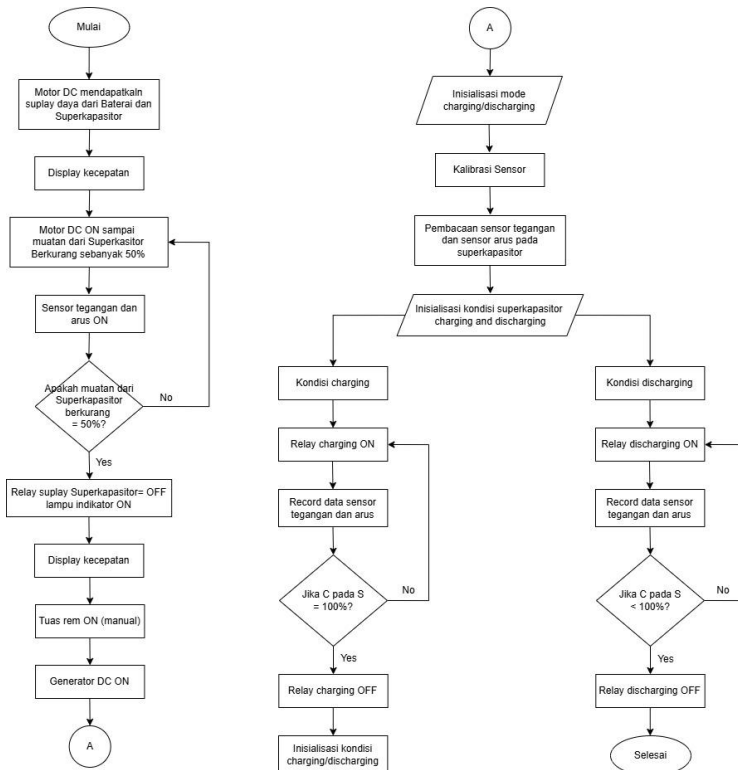
Berdasarkan gambar 3.2 yaitu *flowchart* dari penelitian alat yang penulis buat dengan judul “Rancang Bangun Dinamika *Charging and Discharging* Superkapasitor Dengan *System Regenerative Braking* Motor DC” yang mana menggambarkan mengenai tahapan proses mulai dari awal hingga akhir penelitian,



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

Proses penelitian ini diawali dengan studi literatur dimana dilakukan pengumpulan jurnal yang relevan dengan penelitian ini guna menentukan *charging and discharging* superkapasitor, tahapan pengerjaan, pemahaman teori tentang media penyimpanan energi superkapasitor dan sebagai pembanding penelitian ini dengan sebelumnya. Setelah melakukan studi literatur dengan pemahaman yang cukup dilakukan penentuan *charging and discharging* superkapasitor dengan *system regenerative braking*. Perancangan rangkaian superkapasitor dilakukan sketsa 2d dan dilanjutkan dengan perancangan secara *hardware*. Tahapan pengujian dilakukan secara berkala, jika tahapan pengujian selesai, kemudian tahapan kesimpulan dan saran.

3.3 Flowchart Sistem Keseluruhan

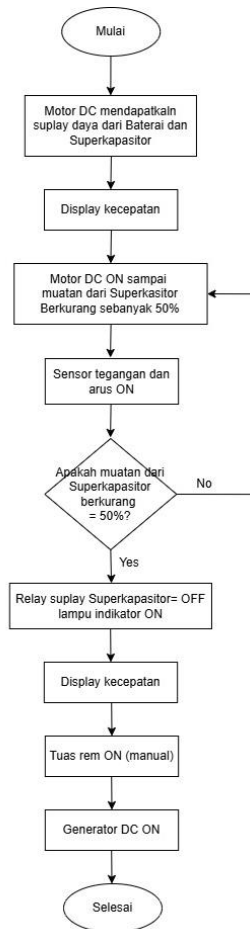


Gambar 3. 2 Flowchart system keseluruhan

3.3.1 Flowchart Sistem Kerja Alat

Berdasarkan gambar 3.2 yaitu *flowchart* dari penelitian alat yang penulis buat dengan judul “Pemodelan Dinamika *Charging and Discharging* Superkapasitor Dengan *System Regenerative Braking* Motor DC” yang mana menggambarkan mengenai tahapan proses mulai dari awal

hingga akhir penelitian,

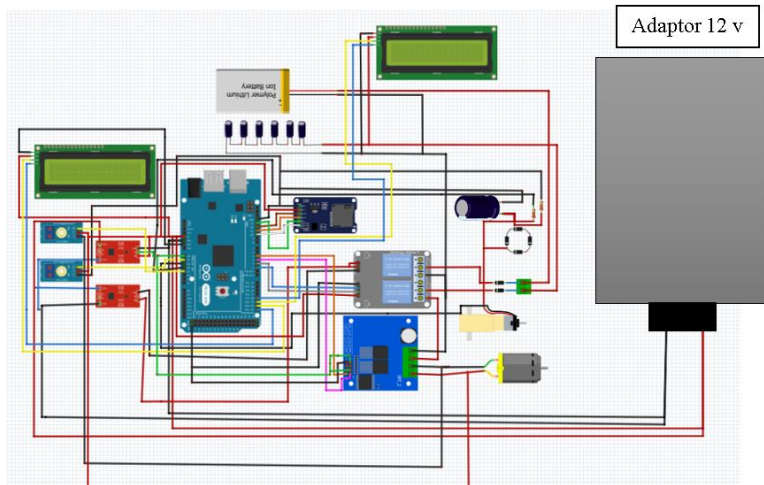


Gambar 3. 3 Flowchart Sistem Kerja Alat

Flowhart atau diagram alir diatas menunjukan sistem kerja dari *charging and discharging* superkapasitor dengan *system regenerative braking* motor DC. Tahapan pertama

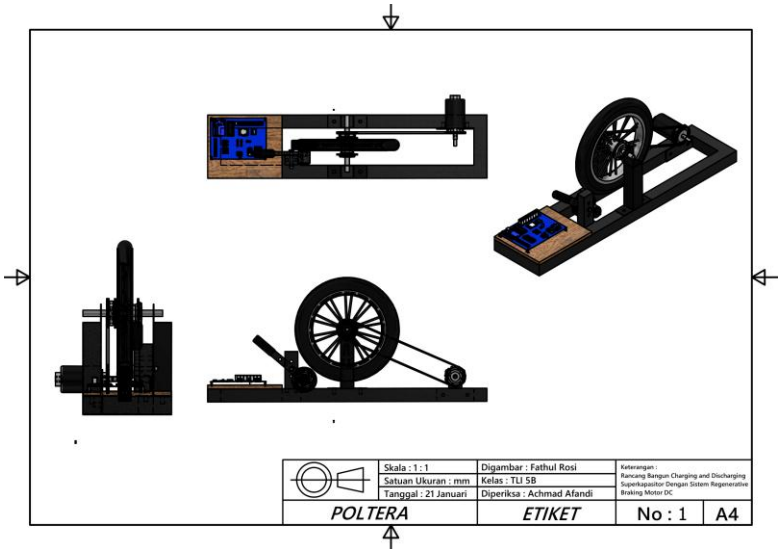
yaitu mulai motor DC jalan dan mengatur kecepatan dengan PWM, setelah itu tua REM di tarik dan generator menghasilkan daya, jika tidak maka akan kembali ke tuas REM. Jika iya *charging and discharging* display akan aktif, setelah itu *charging and discharging* superkapasitor dan sistem kerja alat selesai.

3.3.2 Desain Elektrik

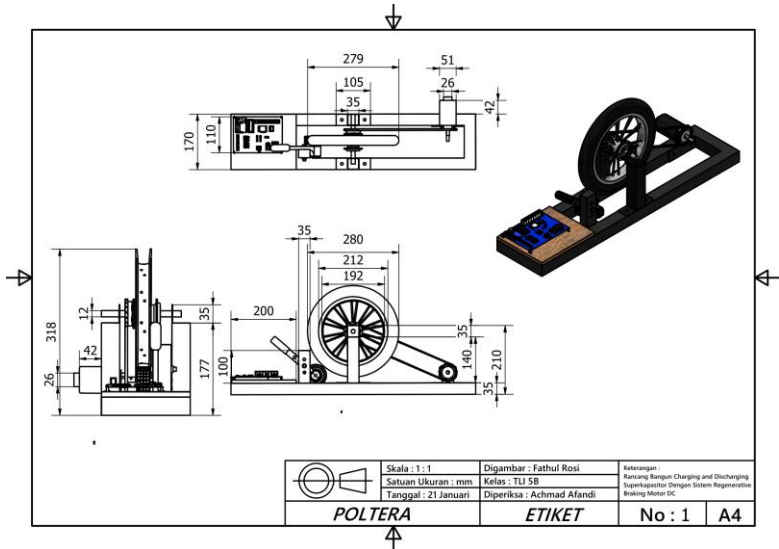


Gambar 3. 4 Elektrik diagram

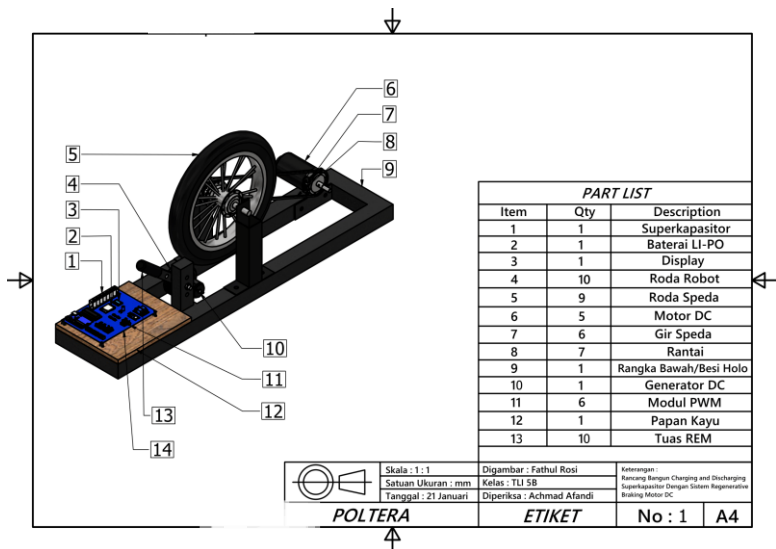
3.3.3 Desain 3D Mekanik



Gambar 3. 5 Desain 3D



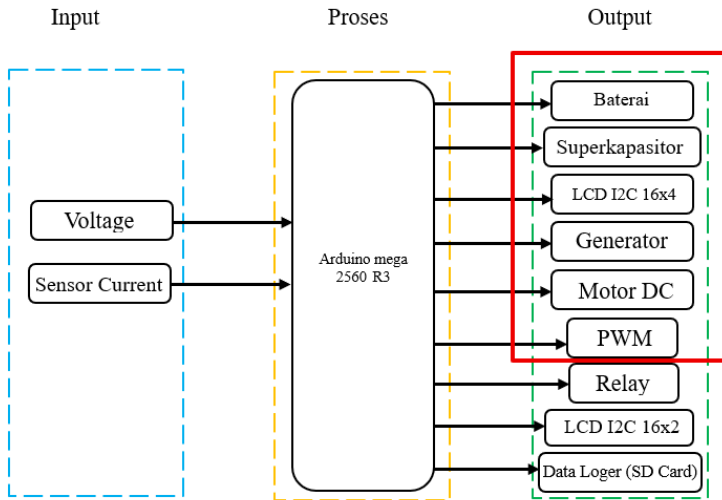
Gambar 3. 6 Detail desain alat



Gambar 3. 7 Daftar detail alat

Dalam merancang *hardware* suatu alat di butuhkan desain sebagai acuan, supaya ketika membuat sesuatu mekanik sesuai dengan apa yang kita inginkan.

3.4 Blok Diagram Sistem



Gambar 3. 8 Blok diagram sistem

Blok diagram di atas yang di beri kotak merah merupakan proses pengereman motor DC, *Output* baterai dan superkapasitor sebagai sumber untuk menguprasi motor DC, LCD untuk menampilkan *display* superkapasitor, generator digunakan untuk menghasilkan daya dari proses pengereman, dan PWM berfungsi untuk mengatur putaran motor DC.

3.5 Spesifikasi Alat dan Bahan

Adapun komponen-komponen yang digunakan pada penelitian ini. *List* komponen yang tertera pada tabel sudah

dilakukan klasifikasi by data sheet guna mendukung penelitian ini.

Tabel 3. 1 Spesifikasi komponen

No	Komponen	Spesifikasi	
1.	Superkapasitor	Tegangan / cell	2.7V
		Kapasitansi / cell	100F
		Arus	6.48A
		Densitas daya	
2.	Baterai Lithium-Ion	Tegangan	11.1vDC
		Arus	1500mAh
		Cell	3
		Port	T-plug
		Berat	112g
		PxTxL	8x2x8.3
3.	Motor DC XD 3420	Tegangan	12V
		RPM	3,500
		Daya	30W
		Diameter shaft	8mm
		Torsi maksimum	2Kg.cm
4.	Generator DC	Tegangan	12V
		Arus maksimum	1,2-1,8A
		RPM	18.000-22.000
		Daya	2-4W
		Torsi maksimum	30-50g.cm
5.	PWM DC Motor	Tegangan suplay	6-28V DC
		Arus	$\leq 3A$
		Daya keluaran max	80W
		Kecepatan	0-100%
6.	Display	Tegangan	DC 7-55V
		Arus	$\leq 20mA$
		Dimensi	46 x 15 x3 mm



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



POLTERA



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab IV dijelaskan tentang hasil dan pembahasan data dari hasil pengujian sistem. Dalam pengujian sistem ini terdapat beberapa macam jenis pengujian yang dilakukan, antara lain:

1. Pengujian *Charging* Suprkapasitor
2. Pengujian *Discharging* Superkapasitor
3. Analisis Dinamika *Charging* Superkapasitor
4. Analisis Dinamika *Discharging* Superkapasitor
5. Analisis Sistem Monitoring
6. Pembahasan

4.1 Pengujian Charging Superkapasitor

Pengujian *charging* merupakan tahap awal untuk mengetahui karakteristik pengisian energi pada superkapasitor. Pada pengujian ini sumber energi berasal dari power supply DC yang dihubungkan langsung ke modul superkapasitor melalui rangkaian konverter dan sistem monitoring. Pengujian dilakukan mulai dari kondisi tegangan awal superkapasitor sebesar sekitar **2,25 V** hingga mencapai tegangan maksimum **12,00 V**.

Selama proses pengisian berlangsung, sistem monitoring secara otomatis membaca beberapa parameter yaitu tegangan input dari *power supply*, tegangan superkapasitor, arus *charging*, waktu pengisian, serta persentase *State of Charge* (SOC). Seluruh data ditampilkan pada LCD *Charging* dan direkam ke dalam SD Card dengan interval pembacaan setiap satu detik.

Tabel 4. 1 Data Saat Proses *Charging*

Waktu (S)	Tegangan Charging (V)	Arus Charging (A)	Tegangan Superkap (V)	SOC (%)
78	10.98V	3.20A	10.95V	94%
82	11.03V	2.98A	11.00V	95%
83	11.09V	2.71A	11.05V	96%
87	11.14V	2.46A	11.10V	97%
91	11.19V	2.19A	11.16V	98%

Berdasarkan hasil pengujian terlihat bahwa tegangan superkapasitor mengalami peningkatan secara bertahap sejak proses *charging* dimulai. Pada kondisi awal, arus *charging* memiliki nilai yang relatif besar karena perbedaan potensial antara *power supply* dan superkapasitor masih tinggi. Seiring bertambahnya waktu pengisian, tegangan superkapasitor meningkat mendekati tegangan sumber sehingga arus *charging* mulai menurun secara perlahan.

Nilai SOC juga mengalami peningkatan mengikuti perubahan tegangan superkapasitor. Hal ini menunjukkan bahwa metode perhitungan SOC berdasarkan tegangan mampu menggambarkan tingkat energi yang tersimpan pada superkapasitor. Ketika tegangan mendekati nilai maksimum, kenaikan SOC menjadi lebih lambat hingga mencapai kondisi penuh sebesar 100%.

4.2 Pengujian Discharging Superkapasitor

Pengujian *discharging* dilakukan untuk mengetahui karakteristik pelepasan energi dari superkapasitor ketika digunakan sebagai sumber daya motor DC. Pada tahap ini *power supply* dilepas sehingga motor memperoleh suplai energi sepenuhnya dari superkapasitor.

Motor DC dihubungkan sebagai beban dan sensor *Hall Effect* digunakan untuk mengukur putaran motor (RPM). Selama proses *discharging* sistem monitoring membaca tegangan superkapasitor, arus yang mengalir menuju motor, RPM motor, waktu pengujian, dan persentase SOC.

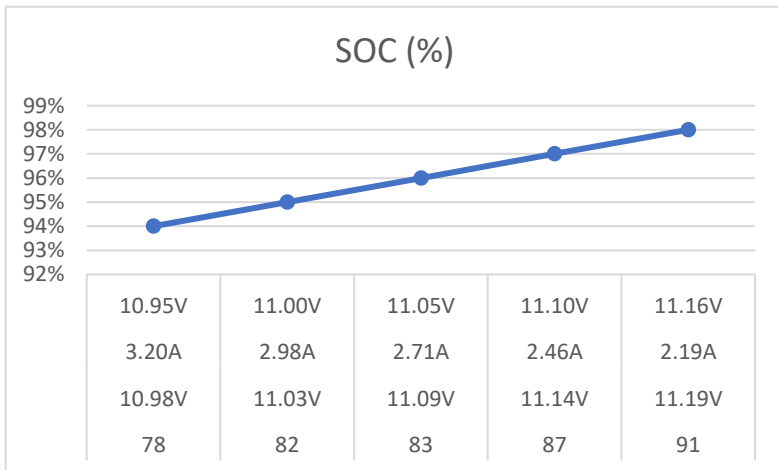
Tabel 4. 2 Data Saat Proses *Discharging*

NO	Waktu (S)	Tegangan Superkap (V)	Arus Discharging (A)	RPM
1	99	7.38V	4.86A	120
2	101	7.19V	4.64A	180
3	102	7.41V	3.50A	600
4	106	8.09V	3.08A	1080
5	107	8.01V	3.87A	1200

Hasil pengujian menunjukkan bahwa selama motor bekerja, tegangan superkapasitor mengalami penurunan secara bertahap. Penurunan tegangan tersebut menyebabkan energi yang tersedia semakin berkurang sehingga putaran motor juga mengalami penurunan.

Pada awal pengujian motor berputar dengan RPM maksimum karena tegangan superkapasitor masih tinggi. Setelah beberapa waktu, tegangan menurun sehingga arus yang mengalir menuju motor berubah dan kecepatan putaran motor ikut menurun. Nilai SOC juga mengalami penurunan hingga mendekati nol ketika energi superkapasitor hampir habis.

4.3 Analisis Dinamika Charging Superkapasitor



Gambar 4. 1 Grafik Data *Charging*

Berdasarkan hasil pengujian, grafik tegangan menunjukkan pola kenaikan yang berlangsung secara kontinu dari tegangan awal hingga mencapai tegangan maksimum. Kenaikan tegangan tersebut diikuti oleh peningkatan nilai SOC yang menunjukkan bertambahnya energi yang tersimpan di dalam superkapasitor.

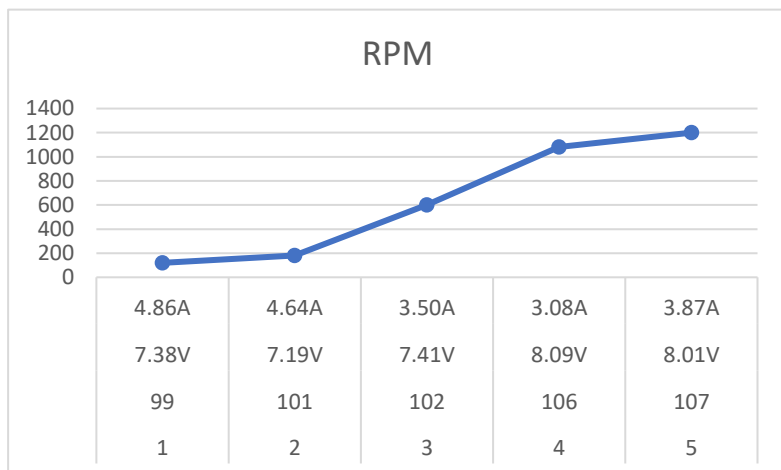
Sementara itu, arus *charging* memiliki karakteristik yang berbeda. Pada awal proses pengisian arus bernilai relatif tinggi karena perbedaan tegangan antara sumber dan superkapasitor masih besar. Ketika tegangan superkapasitor semakin mendekati tegangan power supply, arus charging

mulai berkurang hingga mencapai nilai minimum ketika kondisi penuh tercapai.

Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa proses *charging* superkapasitor berlangsung secara bertahap dan dipengaruhi oleh perubahan beda potensial antara sumber daya dan superkapasitor.

4.4 Analisis Dinamika Discharging Superkapasitor

Selama proses *discharging*, tegangan superkapasitor mengalami penurunan karena energi digunakan untuk menggerakkan motor. Penurunan tegangan menyebabkan daya yang diberikan kepada motor semakin kecil sehingga kecepatan putaran motor ikut mengalami penurunan.



Gambar 4. 2 Grafik Data *Discharging*

Grafik RPM menunjukkan hubungan yang searah

dengan tegangan superkapasitor. Ketika tegangan masih tinggi, motor mampu berputar pada kecepatan maksimum. Namun ketika tegangan semakin rendah, RPM menurun secara bertahap hingga akhirnya motor berhenti berputar.

Nilai SOC juga mengalami penurunan mengikuti karakteristik pelepasan energi superkapasitor. Dengan demikian, perubahan RPM dapat dijadikan indikator bahwa energi pada superkapasitor semakin berkurang.

4.5 Analisis Sistem Monitoring

Pengujian sistem monitoring bertujuan untuk memastikan seluruh sensor dan perangkat monitoring mampu bekerja secara bersamaan selama proses *charging* maupun *discharging*.

Sistem monitoring terdiri atas sensor tegangan, sensor arus ACS712, sensor Hall Effect, LCD 20×4, *buzzer*, LED indikator, dan SD Card.

Selama pengujian berlangsung, sensor tegangan berhasil membaca perubahan tegangan superkapasitor secara *real-time*. Sensor ACS712 mampu membaca perubahan arus baik pada saat *charging* maupun *discharging*. Sensor *Hall Effect* dapat menghitung jumlah putaran motor sehingga nilai RPM dapat ditampilkan pada LCD.

LCD *Charging* digunakan untuk menampilkan informasi tegangan input, tegangan superkapasitor, arus *charging*, dan SOC. LCD *Discharging* menampilkan tegangan superkapasitor, arus *discharging*, RPM motor, dan SOC. Selain itu, SD Card berfungsi menyimpan seluruh data hasil pengukuran sehingga dapat digunakan sebagai data penelitian.

LED hijau menyala ketika SOC mencapai kondisi penuh, sedangkan LED merah dan *buzzer* aktif ketika SOC berada pada kondisi rendah sebagai indikator bahwa energi superkapasitor hampir habis.

4.6 Pembahasan

Secara keseluruhan sistem yang *dirancang* mampu menjalankan fungsi monitoring selama proses *charging* dan *discharging* superkapasitor. Seluruh parameter utama berupa tegangan, arus, RPM, dan SOC dapat dibaca secara *real-time* dan direkam ke dalam SD Card.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa karakteristik *charging* ditandai dengan meningkatnya tegangan superkapasitor disertai kenaikan nilai SOC, sedangkan karakteristik *discharging* ditandai dengan penurunan tegangan, penurunan SOC, serta menurunnya putaran motor

DC. Hubungan antara tegangan superkapasitor dan RPM menunjukkan bahwa semakin besar energi yang tersimpan maka semakin tinggi putaran motor yang dihasilkan.

Sistem monitoring yang dikembangkan mampu memberikan informasi kondisi superkapasitor secara langsung sehingga memudahkan proses pengamatan dan analisis data. Dengan demikian, alat yang dirancang telah memenuhi tujuan penelitian yaitu mampu memonitor dinamika *charging* dan *discharging* superkapasitor pada sistem *regenerative braking* motor DC.

4.7 Datasheet Superkapasitor

Berikut adalah *datasheet* superkapasitor yang digunakan.

DATA SHEET		Green-Cap
PRODUCT CHARACTERISTIC		
CAPACITANCE		
Nominal Capacitance	500 F	
Capacitance tolerance	-5 ~ +30 %	
VOLTAGE		
Rated voltage	2.7 V	
Surge voltage	2.85 V	
TEMPERATURE		
Operating temperature range	-40~+65 °C	
Storage temperature range	-40~+65 °C	
Temperature characteristics		
Capacitance change	±5 % (at 20 °C)	
Internal resistance	±150 % (at 20 °C)	
RESISTANCE		
AC ESR (1kHz)	3.2 mΩ	
DC ESR	3.8 mΩ	
CURRENT		
Leakage current After 72hr at 25 °C. Initial leakage current can be higher.	1.35 mA	
Maximum continuous current	26 A	
Maximum peak current (1 sec.)	233 A	
ENDURANCE		
Endurance After 1,500hr application of rated voltage at 65 °C:		
Capacitance change	Within ±30% of initial specified value	
Internal resistance	Within 100% of initial specified value	
Life test After 10 years at rated voltage and 25 °C		
Capacitance change	< 30 %	
Internal resistance	< 200 %	
CYCLES		
Capacitors cycles between rated voltage under constant current at 25 °C		
Capacitance change	< 30 %	
Internal resistance	< 200 %	
MARKING		
SAMWHA trade mark & series identification		
Rated voltage	2.7V	Green-Cap 500F 2.7V 500 F
Capacitance value (Marking)		
Sleeve color : Clear blue		
Print color : Silver		Green-Cap Product
• Product dimensions and specifications may change without notice.		
SAMWHA ELECTRIC CO.,LTD.		www.samwha.com

Gambar 4. 3 Datasheet Superkapasitor

4.8 Tabel Perbandingan Hasil Perhitungan dan Data Charging

Pengujian charging dilakukan untuk mengetahui proses pengisian energi listrik dari *power supply* menuju superkapasitor. Pada proses ini dilakukan pengamatan terhadap perubahan tegangan dan arus selama proses *charging*. Data yang diperoleh dari sistem monitoring

digunakan untuk mengetahui kondisi *charging* pada beberapa waktu pengujian.

Parameter yang dicatat meliputi waktu pengujian, tegangan *charging*, arus hasil pengukuran, arus hasil perhitungan, dan nilai selisih arus. Arus pengukuran merupakan nilai yang diperoleh secara langsung dari sensor arus pada rangkaian, sedangkan arus perhitungan merupakan nilai yang diperoleh berdasarkan perhitungan rangkaian listrik. Nilai selisih kemudian digunakan untuk mengetahui perbedaan antara hasil pengukuran dengan hasil perhitungan.

Tabel 4. 3 Perhitungan dan Data *Charging*

Waktu (S)	Tegangan Charging (V)	Arus Pengukuran (A)	Arus Perhitungan (A)	Selisih (A)
78	10.98	3,20	2,93	0,27
82	11.03	2,98	2,94	0,04
83	11.09	2,71	2,96	0,25
87	11.14	2,46	2,97	0,51

Berdasarkan Tabel 4.3, diperoleh lima titik data hasil pengujian *charging*. Data tersebut menunjukkan perubahan nilai arus pengukuran dan arus perhitungan pada saat tegangan *charging* mengalami perubahan. Untuk memperjelas cara memperoleh nilai pada kolom selisih (A), dilakukan satu contoh perhitungan menggunakan data pada

waktu 78 detik. Perhitungan ini digunakan sebagai contoh untuk menunjukkan proses penentuan nilai selisih antara arus pengukuran dan arus perhitungan.

Nilai selisih dihitung berdasarkan perbedaan antara arus yang diperoleh dari hasil pengukuran sensor dengan arus yang diperoleh dari hasil perhitungan. Karena yang diperhatikan adalah besar perbedaannya, maka digunakan tanda nilai mutlak sehingga hasil selisih selalu bernilai positif.

Rumus yang digunakan adalah:

$$\Delta I = \left| I_{\text{pengukuran}} - I_{\text{perhitungan}} \right|$$

- ΔI = nilai selisih arus (A)
- $I_{\text{pengukuran}}$ = arus hasil pengukuran sensor (A)
- $I_{\text{perhitungan}}$ = arus hasil perhitungan (A)
- $| |$ = nilai mutlak, digunakan agar hasil selisih tidak bernilai negatif.

Sebagai contoh digunakan data pada waktu 78 detik dari Tabel 4.3.

Diketahui :

$$I_{\text{pengukuran}} = 3,20\text{A}$$

$$I_{\text{perhitungan}} = 2,93\text{A}$$

Ditanyakan :

$$\Delta I = ?$$

Penyelesaian :

$$\Delta I = | I_{\text{pengukuran}} - I_{\text{perhitungan}} |$$

$$\Delta I = | 3,20 - 2,93 |$$

$$= 3,20 - 2,93 = 0,27$$

$$\underline{\Delta I = 0,27 \text{ A}}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, diperoleh nilai selisih antara arus pengukuran dan arus perhitungan sebesar 0,27 A. Nilai tersebut sesuai dengan nilai yang tercantum pada kolom selisih (A) pada Tabel 4.3.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa selama proses charging terdapat perbedaan antara arus yang diperoleh dari pengukuran sensor dengan arus hasil perhitungan. Pada waktu 78 detik, arus pengukuran sebesar 3,20 A, sedangkan arus perhitungan sebesar 2,93 A, sehingga diperoleh selisih sebesar 0,27 A.

Nilai selisih pada masing-masing titik pengujian menunjukkan adanya perbedaan antara kondisi aktual rangkaian dengan nilai yang diperoleh dari perhitungan.

Perbedaan tersebut dapat dipengaruhi oleh kondisi aktual komponen dan rangkaian, karakteristik sensor arus, hambatan kabel dan konektor, serta kondisi superkapasitor selama proses pengisian.

4.9 Tabel Perbandingan Hasil Perhitungan dan Data Discharging

Pengujian *discharging* dilakukan untuk mengetahui proses pelepasan energi listrik yang tersimpan pada superkapasitor untuk digunakan sebagai sumber energi pada motor DC. Pada proses ini dilakukan pengamatan terhadap perubahan tegangan superkapasitor, arus yang mengalir pada rangkaian, serta putaran motor DC yang dihasilkan.

Parameter yang diamati meliputi waktu pengujian, tegangan superkapasitor, arus hasil pengukuran, arus hasil perhitungan, nilai selisih arus, dan putaran motor DC (RPM). Arus pengukuran merupakan nilai yang diperoleh secara langsung dari sensor arus, sedangkan arus perhitungan merupakan nilai yang diperoleh berdasarkan perhitungan rangkaian. Nilai selisih digunakan untuk mengetahui perbedaan antara arus pengukuran dengan arus perhitungan pada setiap titik pengujian.

Tabel 4. 4 Perhitungan dan Data *Discharging*

NO	Waktu (S)	Tegangan Superkap (V)	Arus Pengukuran (A)	Arus Perhitungan (A)	Selisih (A)	RPM
1	99	7.38	4,86	1,97	2,89	120
2	101	7.19	4,64	1,92	2,72	180
3	102	7.41	3,50	1,98	1,52	600
4	106	8.09	3,08	2,16	0,92	1080
5	107	8.01	3,87	2,14	1,73	1200

Berdasarkan Tabel 4.4, diperoleh lima titik data hasil pengujian *discharging* superkapasitor. Data tersebut menunjukkan nilai tegangan superkapasitor, arus pengukuran, arus perhitungan, selisih arus, serta putaran motor DC pada setiap waktu pengujian. Untuk memperjelas cara memperoleh nilai pada kolom selisih (A), dilakukan satu contoh perhitungan menggunakan data pada waktu 99 detik.

Nilai selisih digunakan untuk mengetahui perbedaan antara arus yang diperoleh dari hasil pengukuran sensor dengan arus hasil perhitungan. Perhitungan dilakukan menggunakan nilai mutlak agar hasil selisih menunjukkan besar perbedaan tanpa memperhatikan arah perbedaannya.

Rumus yang digunakan adalah:

$$\Delta I = | I_{\text{pengukuran}} - I_{\text{perhitungan}} |$$

- ΔI = nilai selisih arus (A)
- $I_{\text{pengukuran}}$ = arus hasil pengukuran sensor (A)
- $I_{\text{perhitungan}}$ = arus hasil perhitungan (A)
- $| |$ = nilai mutlak.

Sebagai contoh digunakan data nomor 1 pada waktu 99 detik.

Diketahui :

$$I_{\text{pengukuran}} = 4,86\text{A}$$

$$I_{\text{perhitungan}} = 1,97\text{A}$$

Ditanyakan :

$$\Delta I = ?$$

Penyelesaian :

$$\Delta I = | I_{\text{pengukuran}} - I_{\text{perhitungan}} |$$

$$\begin{aligned}\Delta I &= | 4,86 - 1,97 | \\ &= 4,86 - 1,97 = 2,89\end{aligned}$$

$$\underline{\underline{\Delta I = 2,89\text{A}}}$$

Hasil perhitungan tersebut sama dengan nilai Selisih (A) pada Tabel 4.4, yaitu sebesar 2,89 A.

Berdasarkan hasil pengujian *discharging*, tegangan superkapasitor yang tercatat berada pada rentang 7,19–8,09 V. Arus hasil pengukuran berada pada rentang 3,08–4,86 A, sedangkan arus hasil perhitungan berada pada rentang 1,92–2,16 A.

Nilai selisih arus pada lima titik pengujian berada pada rentang 0,92–2,89 A. Selisih terbesar terdapat pada waktu 99 detik sebesar 2,89 A, sedangkan selisih terkecil terdapat pada waktu 106 detik sebesar 0,92 A.

Selain parameter listrik, pengujian juga menunjukkan perubahan putaran motor DC. Pada waktu 99 detik motor berputar sebesar 120 RPM, kemudian meningkat hingga 1.200 RPM pada waktu 107 detik. Data RPM tersebut menunjukkan kondisi putaran motor yang tercatat selama proses *discharging*.

Perbedaan antara arus pengukuran dan arus perhitungan dapat dipengaruhi oleh kondisi aktual rangkaian, karakteristik motor DC, karakteristik sensor arus, hambatan kabel dan konektor, serta perubahan kondisi beban dan putaran motor selama proses *discharging*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, serta analisis terhadap sistem **Rancang Bangun Dinamika Charging dan Discharging Superkapasitor pada Sistem Regenerative Braking Motor DC**, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Sistem monitoring berhasil dirancang

Sistem monitoring berbasis Arduino Mega 2560 berhasil dirancang untuk melakukan pembacaan parameter utama berupa tegangan *charging*, tegangan superkapasitor, arus *charging*, arus *discharging*, serta putaran motor DC (RPM). Seluruh data hasil pengukuran dapat ditampilkan secara *real-time* pada LCD *Charging* dan LCD *Discharging*.

Selain ditampilkan pada LCD, data hasil pengukuran juga berhasil direkam ke dalam media penyimpanan MicroSD sehingga dapat digunakan sebagai bahan analisis karakteristik *charging* dan *discharging* superkapasitor.

2. Proses *charging* superkapasitor berjalan dengan baik

Pada proses *charging* digunakan *power supply* DC sebagai sumber tegangan pengisian superkapasitor.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa selama proses *charging*:

- Tegangan superkapasitor meningkat secara bertahap hingga mendekati tegangan maksimum.
- Arus *charging* cenderung tinggi pada awal pengisian kemudian menurun ketika tegangan superkapasitor semakin mendekati kondisi penuh.
- Nilai *State of Charge* (SOC) mengalami peningkatan mengikuti kenaikan tegangan superkapasitor.

Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa proses pengisian superkapasitor memiliki respon yang cepat serta stabil.

3. Proses *discharging* mampu menggerakkan motor DC

Pada proses *discharging*, energi yang tersimpan pada superkapasitor digunakan sebagai sumber energi motor DC.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa:

- Tegangan superkapasitor menurun secara bertahap selama motor bekerja.
- Arus *discharging* meningkat sesuai dengan beban motor.
- Putaran motor (RPM) meningkat ketika motor mulai beroperasi kemudian menurun seiring berkurangnya energi yang tersimpan pada superkapasitor.

Hal tersebut menunjukkan bahwa energi listrik yang tersimpan pada superkapasitor berhasil dikonversi menjadi energi mekanik pada motor DC.

4. Dinamika *charging* dan *discharging* dapat diamati dengan baik

Berdasarkan data hasil pengujian, karakteristik *charging* dan *discharging* memiliki perilaku yang berbeda.

Pada proses *charging*:

- Tegangan meningkat.
- Arus *charging* semakin kecil.
- SOC meningkat.

Sedangkan pada proses *discharging*:

- Tegangan menurun.
- Arus *discharge* berubah mengikuti beban motor.
- RPM berubah sesuai energi yang tersedia pada superkapasitor.

Dengan demikian sistem yang dirancang mampu menunjukkan dinamika perubahan energi pada superkapasitor secara *real time*.

5. Sistem monitoring masih memiliki beberapa keterbatasan

Selama proses pengujian masih ditemukan beberapa kendala, antara lain:

- Nilai SOC masih mengalami fluktuasi pada kondisi tertentu sehingga memerlukan kalibrasi lebih lanjut.
- Sensor *Hall Effect* belum selalu memberikan pembacaan RPM yang stabil pada seluruh kondisi putaran motor.
- Gangguan *elektromagnetik (noise)* dari motor DC menyebabkan komunikasi *I2C* LCD terkadang mengalami gangguan sehingga diperlukan proses inisialisasi ulang LCD.

- Penyimpanan data ke MicroSD masih dipengaruhi kestabilan catu daya sehingga diperlukan peningkatan kualitas sistem penyimpanan data.

Meskipun demikian, sistem secara keseluruhan telah mampu menjalankan fungsi monitoring sesuai tujuan penelitian.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Melakukan kalibrasi ulang terhadap sensor tegangan dan sensor arus agar hasil pembacaan lebih akurat sehingga nilai SOC yang dihitung mendekati kondisi sebenarnya.
2. Menambahkan rangkaian filter atau isolasi terhadap sensor *Hall Effect* agar pembacaan RPM lebih stabil ketika motor beroperasi pada putaran tinggi.
3. Menggunakan modul penyimpanan data yang memiliki sistem *buffering* lebih baik sehingga proses pencatatan data pada MicroSD menjadi lebih stabil dan mengurangi kemungkinan kehilangan data.

4. Mengembangkan metode perhitungan *State of Charge* (SOC) menggunakan kombinasi metode tegangan dan metode *Coulomb Counting* sehingga hasil estimasi kapasitas superkapasitor menjadi lebih akurat.
5. Pada penelitian selanjutnya, system *regenerative braking* dapat dikembangkan menggunakan generator atau motor BLDC sebagai sumber energi pengisian superkapasitor sehingga sistem lebih mendekati kondisi kendaraan listrik yang sebenarnya.
6. Menambahkan sistem komunikasi nirkabel seperti ESP32 atau IoT sehingga proses monitoring dapat dilakukan secara *real time* melalui komputer maupun *smartphone*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. AFANDI, N. A. WINDARKO, B. SUMANTRI, dan H. H. FAKHRUDDIN, “Estimasi State of Charge (SoC) Ultrakapasitor menggunakan Extended Kalman Filter Berbasis Ladder Equivalent Circuit Model,” *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 10, no. 1, hal. 61, 2022, doi: 10.26760/elkomika.v10i1.61.
- [2] P. Tegangan, B. Untuk, dan S. Plts, “Optimasi pemanfaatan super kapasitor sebagai penguat tegangan baterai untuk sistem plts off-grid berbasis,” 2022.
- [3] R. Ramadhan, D. Mustofa, dan I. Assagaf, “Rangkaian Superkapasitor 100F sebagai Energy Storage Generator DC-24V,” *J. SNIV*, vol. 1, no. 1, hal. 30–39, 2022.
- [4] R. F. Elpriza, A. R. Al Tahtawi, dan S. Yahya, “Perancangan dan Implementasi Pengereman Regeneratif pada Simulator Mobil Listrik Berbasis Motor Arus Searah,” *IRWNS Pros. 13th Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, hal. 13–14, 2022.
- [5] V. Lystianingrum, “Superkapasitor Sebagai Alternatif Penyimpan Energi

Untuk Bus Listrik Di Indonesia : Potensi Dan Tantangan,” *Researchgate*, no. November 2019, hal. 1–11, 2019, [Daring]. Tersedia pada:
<https://www.youtube.com/EV->

LAMPIRAN

Lapiran 1. 1 QR Code Akses Manual Book



S

Lapiran 1. 2 QR Code Akses Dokumintasi Pengerjaan



BIODATA PENULIS



Fathul Rosi lahir di Sampang, Jawa Timur. 5 Juni 2000. Penulis bertempat tinggal di Tobai Barat, Sokobanah, Sampang. Penulis merupakan anak 1 dari Ibu Mukimah dan Bapak Kiman.

Riwayat pendidikan penulis dimulai dari MI Yayasan Annahrawiyah LPI Miftahul Ulum II pada tahun 2010, kemudian melanjutkan MTS Yayasan Annahrawiyah LPI Miftahul Ulum II pada tahun 2016, dan menyelesaikan pendidikan menengah di SMK Darul Ulum Banyuwangi jurusan Teknik Komputer dan Jaringan (TKJ) pada tahun 2022. Pada tahun 2023 penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Politeknik Negeri Madura, Program Studi Diploma III Teknik Listrik Industri.

Selama menempuh pendidikan di Politeknik Negeri Madura, penulis aktif mengikuti berbagai organisasi kemahasiswaan, di antaranya **Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM)**, **UKM Jurnalistik**, **UKM Kerohanian**, serta **Mahasiswa Pecinta Alam (MAPALA)** dan pernah menjabat sebagai Ketua Umum MAPALA periode 2024–2025.

Dalam menempuh pendidikan ini penulis dapat

menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul **"Rancang Bangun Dinamika Charging dan Discharging Superkapasitor pada Sistem Regenerative Braking Motor DC."**