

Magnetika

PERANCANGAN SISTEM Pengereman Regeneratif PADA MOBIL LISTRIK

Ignatius Iktinus Widianoro¹, I Made Wartana², Rachmadi Setiawan³

Institut Teknologi Nasional Malang, Malang, Indonesia

iktinusw@gmail.com¹, m.wartana@lecturer.itn.ac.id², rachmadi@lecturer.itn.ac.id³

Abstrak - Inovasi pengereman regeneratif pada kendaraan listrik dapat mengubah energi kinetik menjadi energi listrik yang disimpan kembali ke dalam baterai, sehingga dapat meningkatkan efisiensi energi secara keseluruhan. Pengereman regeneratif adalah mekanisme yang memungkinkan pemulihan energi saat kendaraan melambat atau berhenti, dengan mengubah energi kinetik menjadi energi listrik melalui gaya magnet yang diterapkan selama pengereman. Teknologi ini menggunakan prinsip elektromagnetik, di mana motor listrik bekerja sebagai generator saat pengemudi menginjak pedal rem. Energi listrik yang dihasilkan kemudian disalurkan kembali ke baterai atau digunakan langsung di dalam kendaraan. Penggunaan PMDC (Permanent Magnet DC Motor) dalam sistem ini memastikan bahwa energi regeneratif dioptimalkan dengan bantuan rangkaian *Boost Converter*, yang meningkatkan tegangan input sesuai kebutuhan baterai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata daya yang dihasilkan sebesar 27,02 Watt, namun terdapat kekurangan seperti waktu puncak regeneratif yang singkat. Penelitian lanjutan diharapkan dapat menyempurnakan sistem ini dengan menambahkan rangkaian superkapasitor untuk meningkatkan efisiensi penyimpanan arus selama pengereman regeneratif.

Kata Kunci - Pengereman Regeneratif, Energi Kinetik, Kendaraan Listrik

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Inovasi seperti pengereman regeneratif pada kendaraan listrik dapat mengubah energi kinetik menjadi energi listrik yang bisa disimpan kembali ke dalam baterai, sehingga dapat meningkatkan efisiensi energi secara keseluruhan. Namun, pada kendaraan konvensional yang masih menggunakan rem gesekan, tantangan ini tetap ada, dan terus mendorong penelitian serta pengembangan teknologi pengereman yang lebih efisien dan ramah lingkungan [1].

Pengereman regeneratif merupakan mekanisme yang memungkinkan pemulihan energi dengan mengubah energi kinetik menjadi bentuk energi lain, khususnya energi listrik, ketika kendaraan melambat atau berhenti. Proses ini terjadi ketika gaya magnet diterapkan selama pengereman, yang melawan putaran motor. Ini adalah teknologi yang menggunakan prinsip dasar elektromagnetik. Ketika pengemudi menginjak pedal rem pada kendaraan yang dilengkapi sistem pengereman regeneratif, motor listrik yang biasa digunakan untuk

menggerakkan kendaraan mulai bekerja sebagai generator.

Selain itu, teknologi ini juga memiliki potensi penerapan di berbagai bidang lainnya, seperti transportasi umum dan kendaraan berat, dimana pemulihan energi dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi biaya bahan bakar. Oleh karena itu, pengereman regeneratif tidak hanya mewakili kemajuan teknologi kendaraan, namun juga berpotensi memainkan peran penting dalam menciptakan sistem transportasi yang lebih berkelanjutan di masa depan.[2]

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka perumusan masalahnya adalah :

1. Bagaimana merancang sistem pengereman regeneratif pada mobil listrik?
2. Bagaimana cara menyimpan energi yang di hasilkan dari pengereman regeneratif ?
3. Bagaimana cara mengintegrasikan motor listrik sebagai penggerak utama dalam sistem pengereman regeneratif?

C. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai penulis pada penelitian ini ialah:

1. Merancang sistem pengereman regenerative pada mobil Listrik
2. Merancang dan Mengimplementasikan sistem penyimpanan energi yang di hasilkan dari sistem pengereman regeneratif
3. Memastikan motor listrik dapat berfungsi maksimal dalam perannya sebagai motor utama roda kendaraan dan sebagai generator pada sistem pengereman regeneratif

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Mobil Listrik

Mobil listrik adalah kendaraan yang digerakkan oleh motor listrik dengan energi dari baterai. Keunggulannya termasuk tidak menimbulkan polusi udara dan mengurangi

dampak gas rumah kaca, karena tidak memerlukan bahan bakar fosil. Mobil listrik juga lebih efisien dalam mengubah energi baterai menjadi tenaga gerak dibandingkan kendaraan bermesin konvensional. Dengan menggunakan mobil listrik, ketergantungan pada bahan bakar fosil dapat berkurang, yang membantu mengurangi konflik geopolitik terkait sumber daya tersebut. Selain itu, mobil listrik juga membantu mengatasi masalah keberlangsungan bahan bakar fosil yang semakin menipis [1].

B. Pengereman

Rem dirancang untuk mengurangi kecepatan dan menghentikan kendaraan, serta memungkinkan parkir di tempat yang menurun. Peralatan ini sangat penting bagi kendaraan, dan sistem pengereman dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

1. Pengereman Mekanis

Pengereman mekanis adalah pengereman yang menggunakan rem fisik untuk menghentikan putaran rotor.

2. Pengereman Elektrik

Pengereman elektrik terdapat beberapa cara yaitu :

a. Pengereman Dinamis

Pengereman yang dilakukan dengan melepaskan jangkar yang berputar dari sumber tegangan dan memasang tahanan pada terminal jangkar.

b. Pengereman plugging

Pengereman yang dilakukan mampu menghentikan motor lebih cepat dengan menggunakan metode yang disebut metode plugging. Prinsip kerjanya adalah membalikkan arus angker dengan cara membalik terminal sumber. Sehingga akan didapat kondisi motor berputar balik seiring polaritas sumber terbalik.

c. Pengereman Regeneratif

Pengereman regeneratif adalah sistem pada mobil listrik yang mengubah energi kinetik saat pengereman menjadi energi listrik. Ketika pengemudi melepas pedal gas dan menginjak pedal rem, motor listrik berfungsi sebagai generator, menghasilkan listrik dari putaran motor. Energi ini kemudian disimpan kembali dalam baterai, memperpanjang jangkauan kendaraan. Sistem ini efisien karena memanfaatkan energi yang biasanya terbuang dan mengurangi keausan komponen pengereman mekanis. Dengan demikian, pengereman regeneratif meningkatkan efisiensi dan memperpanjang umur baterai serta sistem pengereman kendaraan listrik.

Pengereman regeneratif memperpanjang jangkauan kendaraan listrik dengan mengisi ulang baterai selama pengereman dan mengurangi keausan pada komponen pengereman mekanis. Sistem ini meningkatkan efisiensi kendaraan listrik, mengurangi biaya operasional, dan memperpanjang umur sistem pengereman. Teknologi ini mendukung keberlanjutan mobil listrik dengan mengurangi dampak lingkungan dibandingkan kendaraan berbahan bakar fosil. [2]

Efisiensi suatu mesin merupakan ukuran seberapa efektif mesin tersebut mengubah energi listrik yang masuk menjadi energi mekanik yang keluar. Dengan demikian, efisiensi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut[3]:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (1)$$

$$P_{Out} = \tau \times \omega \quad (2)$$

Kecepatan mesin dalam radian per detik dapat dihitung

dengan mengkonversi RPM sebagai berikut:

$$\omega = \frac{2\pi \times RPM}{60} \quad (3)$$

Keterangan:

η = Efisiensi(%)

P_{Out} = Daya keluar(Watt)

P_{in} = Daya masuk(Watt)

τ = Torsi(N.m)

ω = Kecepatan rotasi motor(rad/s)

Adapun untuk menentukan nilai daya pengereman dibutuhkan perhitungan dengan Persamaan sebagai berikut[4]:

$$E_p = E_k \quad (4)$$

$$EK = \frac{1}{2} \times m \times v^2 \quad (5)$$

$$P \cdot t = \frac{1}{2} \times m \times (V_2^2 - V_1^2) \quad (6)$$

Keterangan :

P= Daya Pengereman (watt)

t=Waktu Pengereman

m = massa benda (kg)

v_1 = Kecepatan Sebelum Pengereman (m/dt)

v_2 =Kecepatan Setelah Pengereman (m/dt)

Dengan diketahuinya daya pengereman maka Jarak untuk melakukan pengereman dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:[5]

$$Vt = V_0 - a \cdot t \quad (7)$$

$$S = V_0 \times t - \left(\frac{1}{2} \times a \times t^2\right) \quad (8)$$

Keterangan:

S = Jarak Pengereman (m)

t = Waktu (s)

V_0 = Kecepatan Awal (m/s)

V_t = Kecepatan akhir (m/s)

a = Perlambatan (m/s^2)

Untuk menghitung Waktu melakukan pengereman dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:[5]

$$t = \frac{V_t - V_0}{-a} \quad (9)$$

Keterangan:

S = Jarak Pengereman (m)

t = Waktu (s)

V_0 = Kecepatan Awal (m/s)

V_t = Kecepatan akhir (m/s)

a = Perlambatan (m/s^2)

Setelah diketahuinya usaha pengereman dan waktu pengereman, maka daya energi regeneratif dari sisa putaran generator dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut[6]

$$P_m = EK \quad (10)$$

$$P_{reg} = \frac{P_m \times \eta}{t} \quad (11)$$

Keterangan:

P_m = Daya Mekanik (Watt/Jam)

P_{reg} = Daya Regeneratif (Watt)

η = Efisiensi Mesin Listrik (%)

t = Waktu Pengereman (s)

C Motor DC (Motor DC dan Generator DC)

Motor DC dapat berfungsi sebagai generator atau motor, mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dan sebaliknya. Ketika berfungsi sebagai generator, motor DC mengubah energi mekanik menjadi listrik melalui induksi elektromagnetik, sedangkan sebagai motor, ia mengubah energi listrik menjadi gerak rotasi. Struktur motor DC dan generator DC umumnya sama, terdiri dari stator yang diam dan rotor yang berputar, dengan pengaturan kecepatan motor dikendalikan oleh medan magnet. [8]

Motor DC memerlukan torsi besar untuk memulai pergerakannya karena harus mengatasi inersia beban dan gaya gesekan. Motor ini menghasilkan torsi awal yang tinggi, sehingga ideal untuk aplikasi seperti kendaraan listrik dan alat berat. Kecepatan motor DC mudah dikendalikan dengan mengatur intensitas medan magnet melalui perubahan arus listrik, tanpa memerlukan pengaturan kecepatan yang rumit. Ini membuat motor DC sangat fleksibel dan responsif, cocok untuk aplikasi industri dan komersial. Keunggulan ini juga menjadikannya pilihan utama dalam aplikasi yang memerlukan kontrol kecepatan halus dan presisi, seperti robotika dan mesin presisi. [9]

D Permanent Magnet DC Motor

Motor DC magnet permanen memanfaatkan magnet permanen untuk menciptakan medan magnet yang stabil, berbeda dari motor DC tradisional yang menggunakan elektromagnet. Ini menghasilkan torsi dan gerakan rotasi dengan efisiensi energi lebih tinggi dan desain yang lebih sederhana serta kompak, ideal untuk kendaraan listrik, perangkat portabel, dan elektronik konsumen. Keandalan dan daya tahan motor ini juga meningkat karena mengurangi masalah keausan dan panas berlebih serta beroperasi lebih senyap, cocok untuk perangkat medis dan peralatan rumah tangga. Sebaliknya, motor DC brushed, yang sering digunakan untuk aplikasi torsi tinggi pada kecepatan rendah, dapat mengalami penurunan efisiensi akibat keausan sikat dan komutator seiring waktu. Oleh karena itu, perawatan rutin dan penyesuaian diperlukan untuk menjaga kinerja motor DC brushed tetap optimal dalam aplikasi industri.

Oleh karena itu, pemeliharaan proaktif dan penyesuaian berkelanjutan memainkan peran penting dalam memastikan bahwa motor DC brushed terus memenuhi persyaratan aplikasi industri yang memerlukan torsi tinggi pada kecepatan rendah dan dalam meningkatkan umur panjang serta efektivitas pengoperasian motor ini. [10].



Gambar 1. Motor MY1016

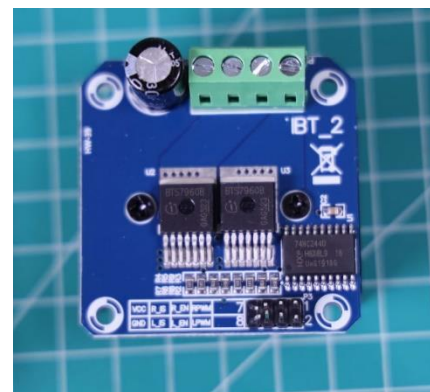
E Generator DC

Saat ini, generator arus searah sudah tidak banyak digunakan lagi seperti dulu, karena arus searah sekarang dapat dihasilkan oleh dioda penyearah solid-state. Dulu, pabrik industri kadang-kadang menggunakan perangkat motor generator untuk mengubah arus bolak-balik menjadi arus searah.

F Motor Driver

Penggerak motor adalah komponen penting yang mengontrol operasi motor listrik, memastikan motor bekerja optimal dalam berbagai kondisi. Saat pengereman regeneratif diaktifkan, penggerak motor mengubah peran motor dari penggerak utama menjadi generator, yang menghasilkan listrik dari energi kinetik yang biasanya terbuang saat pengereman. Dalam mode berkendara, penggerak motor mengatur aliran arus, kecepatan, dan torsi untuk berbagai kondisi, serta menjaga suhu motor tetap aman.

Selain itu, penggerak motor berperan dalam mengoptimalkan efisiensi energi selama pengereman regeneratif dengan mengatur parameter operasi motor secara real-time. Proses ini memaksimalkan energi listrik yang dihasilkan dan disimpan kembali dalam baterai, sekaligus menjaga kenyamanan berkendara dan kinerja sistem pengereman. Dengan kemampuannya, penggerak motor menjadi "otak" dari sistem pengereman regeneratif, yang membantu meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi ketergantungan pada sumber energi eksternal.



Gambar 2. Driver motor BTS 7960

G Boost Converter

Modul ini berperan sebagai sistem konversi energi yang banyak digunakan dalam bidang energi baru dan terbarukan. Tujuannya adalah untuk mengoptimalkan penggunaan energi yang dihasilkan dari sumber energi tersebut. Sistem ini memastikan daya yang diperoleh dapat disesuaikan dengan kebutuhan beban yang ada atau disesuaikan dengan kondisi lingkungan yang terus berubah. Selain itu modul ini dilengkapi dengan boost buck converter yang dapat mengubah tegangan arus searah (DC) dari input menjadi tegangan DC pada output. Tegangan keluaran ini dapat diatur lebih tinggi atau lebih rendah sesuai dengan kebutuhan spesifik desain sistem. Dengan demikian, sistem ini tidak hanya meningkatkan efisiensi energi tetapi juga memberikan

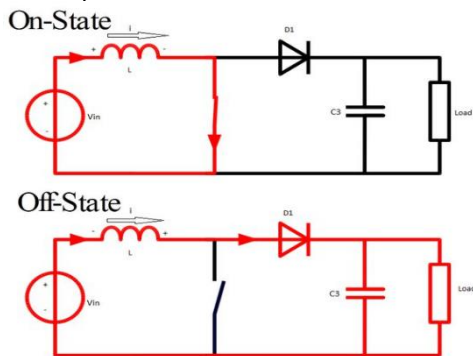
fleksibilitas dalam menyesuaikan tegangan yang diperlukan untuk situasi yang berbeda[11].



Gambar 3. Modul Boost Converter

H Prinsip Kerja Boost Konverter

Kemampuan boost converter dalam menaikkan tegangan DC tergantung pada durasi pensaklaran yaitu ton dan toff. Ketika saklar MOSFET ditutup (ton), arus mengalir dari sumber ke induktor dan menyimpan energi di induktor. Ketika saklar MOSFET dalam keadaan terbuka (toff), arus mengalir dari induktor melalui dioda ke beban sehingga mengurangi energi yang tersimpan di induktor. Gambar 2.3 menunjukkan rangkaian boost converter pada saat saklar on dan off.



Gambar 4 Prinsip Kerja Boost Converter

Gambar 4. menunjukkan bahwa dalam keadaan to off beban ditenagai oleh tegangan sumber ditambah tegangan dari induktor yang melepaskan energinya. Kondisi ini menyebabkan tegangan keluaran lebih tinggi dibandingkan tegangan masukan. Perbandingan antara tegangan keluaran dan tegangan masukan konverter ini sebanding dengan perbandingan antara periode peralihan dan waktu pembukaan sakelar, yang disebut siklus kerja. Ketika D adalah siklus kerja, hubungan antara tegangan masukan V_d dan tegangan keluaran V_o [12].

Nilai tegangan keluaran yang diperoleh dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut: [13]

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{(1-D)} \quad (12)$$

$$D = 1 - \frac{V_{in}}{V_{out}} \quad (13)$$

Keterangan:

V_{out} = Tegangan keluaran (Volt)
 V_{in} = Tegangan masukan (Volt)
 D = Duty Cycle (%)

I Rectifier

Perangkat elektronika dalam catu daya mengubah arus bolak-balik menjadi arus searah menggunakan penyearah, yang memastikan daya DC stabil untuk perangkat elektronik. Dioda pada sistem memastikan arus listrik tetap dalam polaritas yang benar saat motor DC berputar, sehingga boost converter dapat beroperasi dengan aman. Dioda dan penyearah berperan penting dalam menjaga kinerja optimal dan keamanan sistem tenaga elektronik.



Gambar 5. Dioda kiprok

J Relay DC

Relay adalah saklar listrik yang dioperasikan secara elektrik, terdiri dari koil elektromagnetik dan kontak mekanis. Dengan tegangan 12V, relay menggunakan elektromagnet untuk menggerakkan kontak saklar, memungkinkan aliran arus bertegangan tinggi dengan arus listrik kecil. Kumparan dalam relay menciptakan medan magnet yang mengubah posisi kontak dari terbuka (NO) menjadi tertutup (NC). Relay berfungsi mengontrol aliran arus dalam rangkaian dan mengaktifkan komponen lain saat pedal rem ditekan untuk mengubah mesin menjadi generator. [14]



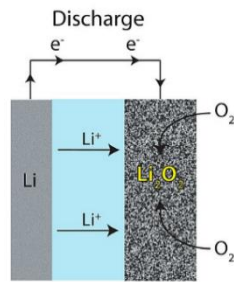
Gambar 6. Relay DC

K Baterai

Baterai atau akumulator adalah sel listrik dengan proses elektrokimia yang dapat dibalik, mengubah energi kimia menjadi listrik dan sebaliknya. Pengisian baterai dilakukan dengan mengalirkan arus listrik berlawanan arah untuk meregenerasi elektroda. Proses ini memungkinkan efisiensi tinggi dalam konversi energi.

Prinsip kerja baterai adalah:

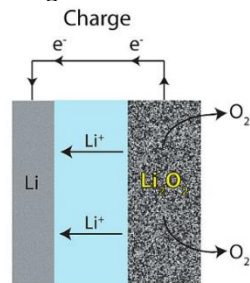
- Proses discharge pada sel berlangsung menurut skema Gambar 2.13. Bila sel dihubungkan dengan beban maka elektron mengalir dari anoda melalui beban ke katoda, kemudian ion-ion negatif mengalir ke anoda dan ion-ion positif mengalir ke katoda.



Gambar 7. Kondisi *Discharge* Baterai

- b. Pada saat pengisian, sesuai diagram pada Gambar 2.14 di bawah, ketika sel dihubungkan dengan sumber listrik, elektroda positif berperan sebagai anoda dan elektroda negatif sebagai katoda, dan terjadi proses kimia sebagai berikut:

1. Aliran elektron berbalik arah dan mengalir dari anoda melalui catu daya ke katoda.
2. Ion positif mengalir dari katoda ke anoda.
3. Ion-ion positif mengalir dari anoda ke katoda.



Gambar 8. Kondisi *Charge* Baterai

Dalam pengisian dan pengosongan baterai, ada beberapa faktor yang menjadi pertimbangan apakah sebuah baterai baik atau tidak. Faktor-faktor tersebut antara lain:

1. Kapasitas baterai
2. Tegangan
3. *State of charge* (SOC)
4. Resistansi Internal

III. METODOLOGI PENELITIAN

A Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian ini dilakukan di dua tempat yaitu Laboratorium Konversi Energi Elektrik (KEE) Teknik Elektro untuk perakitan alat yang dibuat dan di daerah depan Gedung D3 mesin kampus II ITN Malang untuk pengambilan data nya.

B Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan disini meliputi instrumen, bahan dan komponen yang dijelaskan di bawah ini.

Tabel 1. Kebutuhan Alat dan Bahan

Spesifikasi	Keterangan	Jumlah
Jenis motor	Gokart	1
Motor DC my1016 350Watt	DC Permanen Magnet	1
Controller	Motor Driver BTS 7690	1
Modul Boost Converter	A436	1

Rectifier	MDA3506	1
Baterai	12V 12Ah	4
Relay Switch	SPDT	2

Spesifikasi rinci peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Motor dc

Tabel 2. Spesifikasi Motor DC

Spesifikasi	Keterangan
Jenis motor	MY 1016
Daya	350watt
Tegangan	24Volt
RPM	2650
Torsi	1.4Nm
Arus	19.2

2. Boost Converter

Tabel 3. Spesifikasi Boost Converter

Spesifikasi	Keterangan
Input voltage	5-30V
Input Ampere	8A
Output Voltage	1-30v
Output Ampere	10A
Operating Frekuensi	150khz
Working Temperature	85

3. Mobil

Tabel 4. Spesifikasi Mobil Gokart

Spesifikasi	Keterangan
Jenis	Gokart
Lebar	0,83 m
Panjang	1,7 m
Massa	43 kg

4. Driver Motor BTS 7960

Tabel 5. Spesifikasi Driver Motor BTS 7960

Spesifikasi	Keterangan
Input Voltage	6 ~ 27Vdc.
Driver	Dual BTS7960 H Bridge Configuration.
Peak current	43-Amp.
PWM capability	25 kHz
Control Input Level	3.3~5V
Control Mode	PWM or level
Working Duty Cycle	0 ~100%.
Over-voltage	Lock Out.
Under-voltage	Shut Down.
Board Size	50mm x 50mm x 43mm.

C Perancangan Penelitian

Sistem pengereman regeneratif memanfaatkan sisa putaran PMDC saat rem ditekan untuk mengisi baterai, meningkatkan efisiensi energi. PMDC menggerakkan mobil listrik, dan saat rem ditekan, energi sisa dikirim ke rangkaian penyearah Boost Converter untuk mengoptimalkan pengisian baterai. Dengan Boost Converter, tegangan input ditingkatkan sesuai kebutuhan

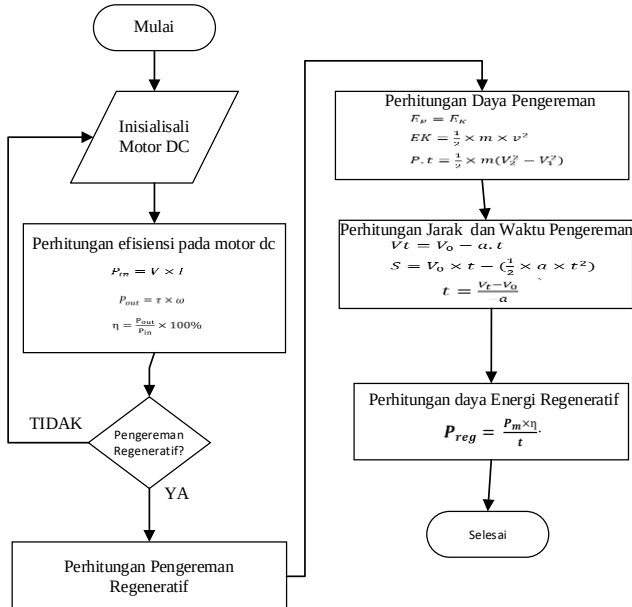
baterai, memastikan pengisian yang cepat dan efisien.

D Spesifikasi Sistem

Spesifikasi sistem yang dirancang dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Menghasilkan energi Listrik dari sisa putaran motor dc yang bisa mengisi ulang baterai.
-

E Flowchart Keseluruhan Sistem

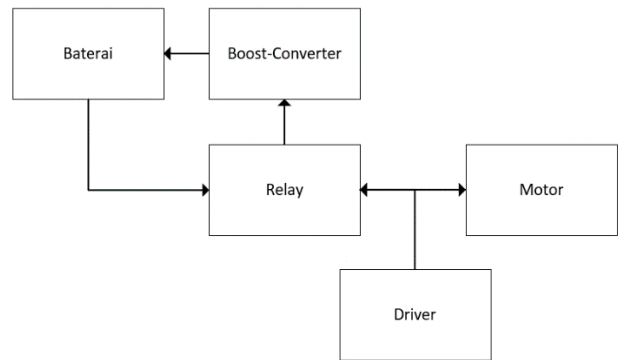


Gambar 9. Flowchart Keseluruhan Sistem

Penjelasan Flowchart Pengereman Regeneratif dengan sisa putaran PMDC (Permanent Magnet DC Motor) Pada gambar 3.1 adalah:

- Mulai: PMDC Ber-operasi
- PMDc Ber-Operasi sebagai motor
- Jika pengemudi menginjak peda rem, motor beralih ke mode generator,
- Jika pengemudi melepas pedal rem, Motor tetap beroperasi ke mode motor
- PMDc Menjadi generator
- Energi kinetik dari motor yang berputar diubah menjadi energi listrik.
- Energi listrik yang dihasilkan disimpan kembali sesuai dengan kebutuhan sistem.
- Proses pengereman regeneratif selesai.

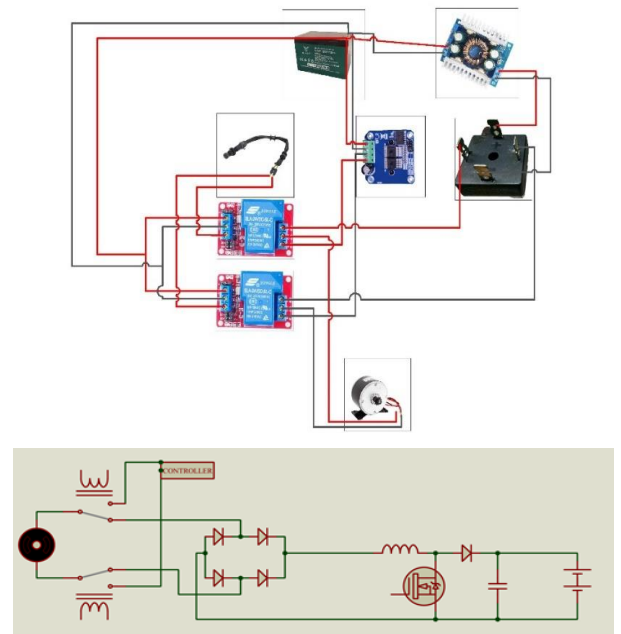
F. Blok diagram Alat



Gambar 10. Blok Diagram Alat

Sistem pengereman regeneratif meningkatkan efisiensi energi dengan memanfaatkan sisa putaran motor PMDC saat rem ditekan untuk mengisi baterai, sehingga energi yang biasanya terbuang dapat diubah menjadi listrik. Dalam sistem ini, motor PMDC menggerakkan mobil listrik saat akselerasi, dan ketika rem ditekan, sisa energi kinetik diubah kembali menjadi energi listrik yang dioptimalkan melalui rangkaian boost converter untuk mengisi baterai. Proses ini tidak hanya memperpanjang masa pakai baterai dan jangkauan kendaraan, tetapi juga meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem penggerak listrik, memastikan pengalaman berkendara yang responsif dan hemat energi.

G Perancangan Perangkat Keras



Gambar 11. Wiring Diagram Perangkat Keras

Perangkat keras pada sistem pengereman regeneratif meliputi relay, dioda kiprok, sakelar rem, konverter boost, baterai 12V 24Ah, dan driver motor, yang semuanya berperan penting dalam memastikan sistem berfungsi optimal. Relay mengatur aliran listrik, dioda kiprok mengonversi arus AC menjadi DC, dan sakelar rem mengaktifkan sistem saat pedal

ditekan. Konverter boost meningkatkan tegangan DC untuk mengisi ulang baterai, sementara driver motor mengontrol kecepatan dan torsi motor PMDC. Komponen-komponen ini bekerja bersama untuk mengoptimalkan penggunaan energi, meningkatkan efisiensi, dan memperpanjang jangkauan operasional kendaraan listrik.

IV. METODOLOGI PENELITIAN

A Perencanaan dan Perhitungan

Dalam penelitian ini, dalam perancangan sistem pengereman regeneratif, tidak hanya dibahas aspek teknis dan mekanik saja, tetapi juga perhitungan performa pengereman. Hal ini mencakup analisis komprehensif energi kinetik yang dapat diubah menjadi energi listrik selama pengereman, efisiensi sistem dalam berbagai keadaan pengoperasian. Berdasarkan data yang sudah diperoleh di lapangan didapat data-data yang dapat digunakan untuk perhitungan efisiensi motor DC, perhitungan daya pengereman, perhitungan jarak pengereman dan perhitungan waktu pengereman sebagai berikut

Tegangan = 24V
 Arus = 18,7A
 Kecepatan = 15km/jam = 4,16667 m/s
 Torsi = 1,22Nm
 Massa Total = 111kg

B Perhitungan Efisiensi Motor DC

Untuk mencari efisiensi pada motor dc dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

1. Mencari daya masuk (P_{in}) menggunakan persamaan (3) sebagai berikut:

$$P_{in} = V \times I \\ = 24 \times 18,7 \\ = 448,8 \text{ w}$$

2. Kecepatan mesin (ω) dalam radian per detik dapat dihitung dengan Persamaan (4) untuk mengkonversi RPM sebagai berikut:

$$\omega = \frac{2\pi \times RPM}{60} \\ = \frac{2 \times 3.14 \times 2500}{60} \\ = 261.6 \text{ rad/s}$$

3. Mencari daya keluar (P_{out}) menggunakan persamaan (2) sebagai berikut :

$$P_{out} = \tau \times \omega \\ = 1.22 \times 261.6 \\ = 319.1 \text{ w}$$

4. Dari perhitungan maka didapatkan perhitungan efisiensi motor menggunakan Persamaan (1) sebagai berikut:

$$P_{in} = 448,8 \text{ w} \\ P_{out} = 319.1 \text{ w} \\ \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ = \frac{319.1}{448,8} \times 100\% \\ = 71.1\%$$

C Perhitungan Daya Pengereman

Dengan Persamaan(5),(6),(7) untuk mencari daya pengereman sebagai berikut:

Untuk beban (kendaraan + 1 penumpang) sebesar 111 kg

Kecepatan 4,16667 m/s

$$E_p = E_k$$

$$EK = \frac{1}{2} \times m \times v^2$$

$$P \cdot t = \frac{1}{2} \times m(V_2^2 - V_1^2)$$

$$P \cdot t = \frac{1}{2} \times 111 \times 4,16667^2 \\ = 9,635 \text{ w}$$

D Perhitungan Jarak Pengereman

Dengan Persamaan(8),(9) untuk mencari jarak pengereman sebagai berikut:

Untuk beban (kendaraan + 1 penumpang) sebesar 111 kg

Kecepatan 4,16667 m/s

$$Vt = V_0 - a \cdot t$$

$$S = V_0 \times t - (\frac{1}{2} \times a \times t^2)$$

$$0 = 4.16667 - a \times 3$$

$$a = 1,38 \text{ m/s}^2$$

$$S = 4.16667 \times 3(\frac{1}{2} \times 1,38 \times 3^2)$$

$$S = 6,25 \text{ m}$$

E Perhitungan Waktu Pengereman

Dengan Persamaan(8),(9) untuk mencari waktu pengereman sebagai berikut:

Untuk beban (kendaraan + 1 penumpang) sebesar 111 kg

$$t = \frac{V_t - V_0}{-a} \\ = \frac{0 - 4.16667}{-1.38} \\ = 3 \text{ s}$$

F Perhitungan Daya Pengereman

Untuk menghitung Daya yang di hasilkan saat pengereman dengan persamaan (11),(12) berikut:

$$P_m = EK$$

$$P_{reg} = \frac{P_m \times \eta}{t} \\ = \frac{9,635 \times 71.1\%}{3} \\ = 2.2 \text{ w}$$

G Deskripsi Perancangan Alat

Perancangan alat ini mencakup proses pembuatan sistem pengereman regeneratif, dimulai dengan pengukuran efisiensi motor DC sebagai penggerak dan generator. Pengukuran ini mengevaluasi kinerja motor dalam berbagai kondisi untuk memastikan fungsinya optimal sebagai penggerak dan dalam mengembalikan energi saat pengereman. Data yang diperoleh digunakan untuk mengoptimalkan desain sistem agar kinerjanya andal dan efisien.



Gambar 12 Proses Pengukuran Efisiensi Motor DC

Fase kedua melibatkan penyusunan komponen kelistrikan seperti relay 12V DC, boost converter, dan diode bridge dalam kotak khusus untuk efisiensi ruang dan akses mudah. Setelah komponen terpasang, mereka disambungkan sesuai diagram rangkaian untuk memastikan aliran daya yang tepat dan operasi sistem yang aman. Sambungan dilakukan dengan teknik penyolderan hati-hati dan bahan isolasi untuk mencegah korsleting.



Gambar 13. Penataan Komponen kedalam Box

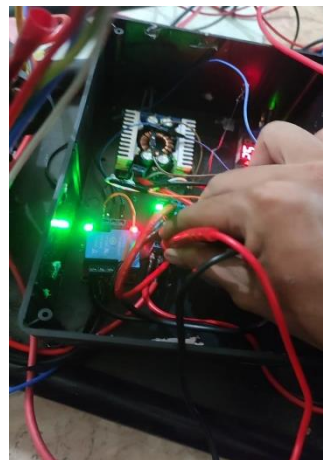
Pengujian rutin dilakukan selama penyambungan komponen untuk memastikan fungsi setiap bagian, termasuk relay dan konverter, serta seluruh rangkaian. Langkah ini membantu mengidentifikasi dan memperbaiki masalah lebih awal. Dengan pendekatan sistematis ini, perancangan sistem pengereman regeneratif memastikan kinerja, keandalan, dan keamanan yang tinggi.



Gambar 14 Proses Pemasangan Komponen

Fase ketiga melibatkan pengujian dan pemasangan relay serta sakelar rem untuk memastikan integritas dan kinerja sistem

pengereman regeneratif. Fase keempat meliputi pengukuran energi listrik pada boost converter untuk memastikan tegangan yang sesuai untuk mengisi baterai. Pengujian dilakukan dengan alat ukur yang akurat untuk memastikan semua komponen berfungsi dengan optimal.



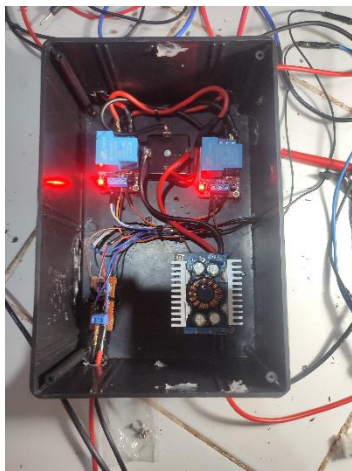
Gambar 15 Pengukuran Keluaran Boost Converter Untuk Pengisian Baterai

Fase kelima melibatkan pemasangan sistem pengereman regeneratif pada mobil listrik untuk pengujian. Proses dimulai dengan memeriksa kendaraan dan memastikan semua sistem siap diintegrasikan. Sistem kemudian dipasang sesuai desain, menghubungkan komponen mekanik dan elektrik dengan sambungan yang tepat. Setelah pemasangan, dilakukan pengecekan menyeluruh termasuk aliran arus dan respons sistem pengereman. Pengujian akhir di jalan nyata mengevaluasi kinerja sistem untuk memastikan efisiensi energi dan keandalan jangka panjang.



Gambar 16. Pemasangan Alat Pada Mobil

Setelah semua tahap selesai, maka terciptalah sistem pengereman regeneratif pada mobil listrik



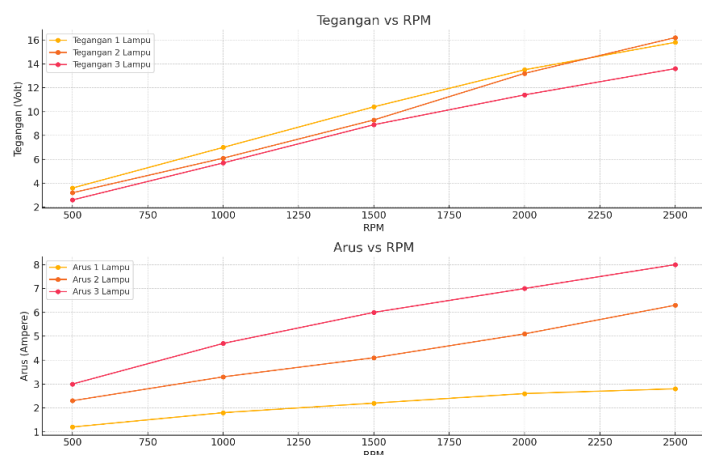
Gambar 17. Hasil Perancangan Alat

H Proses Pengukuran Tegangan dan Arus Generator

Pengujian dilakukan pengukuran tegangan keluaran motor yang di putar menggunakan mesin bor tangan.dan beban lampu 12V 2.9A Hasil dari pengukuran dapat di lihat dari tabel 4.1:

Tabel 6. Hasil Pengukuran Generator

RPM	Pengukuran					
	Beban 1 Lampu		Beban 2 Lampu		Beban 3 Lampu	
	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)
2500	15,8	2,8	16,2	6,3	13,6	8
2000	13,5	2,6	13,2	5,1	11,4	7
1500	10,4	2,2	9,3	4,1	8,9	6
1000	7	1,8	6,1	3,3	5,7	4,7
500	3,6	1,2	3,2	2,3	2,6	3



Gambar 18. Grafik Pengukuran Generator

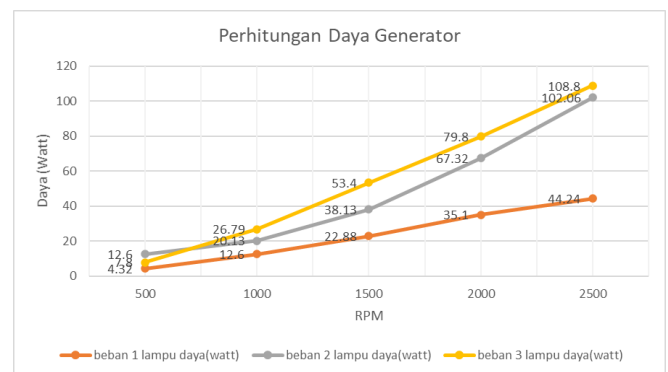
Pengujian tegangan dan arus motor menunjukkan bahwa

baik tegangan maupun arus meningkat seiring dengan peningkatan RPM untuk semua beban lampu. Tegangan pada Beban 1 meningkat dari 3.6V pada 500 RPM menjadi 15.8V pada 2500 RPM, Beban 2 dari 3.2V menjadi 16.2V, dan Beban 3 dari 2.6V menjadi 13.6V. Arus pada Beban 1 meningkat dari 1.2A menjadi 2.8A, Beban 2 dari 2.3A menjadi 6.3A, dan Beban 3 dari 3A menjadi 8A. Grafik menunjukkan bahwa motor berfungsi sebagai generator dengan peningkatan arus lebih signifikan pada beban yang lebih tinggi, relevan untuk pengereman regeneratif.

Dari hasil pengukuran diatas didapatkan perhitungan daya generator sebagi berikut:

Tabel 7. Perhitungan Daya Keluaran Generator

RPM	Pengukuran		
	Beban 1 Lampu	Beban 2 Lampu	Beban 3 Lampu
	Daya (Watt)	Daya (Watt)	Daya (Watt)
2500	44,24	102,06	108,8
2000	35,1	67,32	79,8
1500	22,88	38,13	53,4
1000	12,6	20,13	26,79
500	4,32	7,36	7,8



Gambar 19. Grafik Perhitungan daya Generator

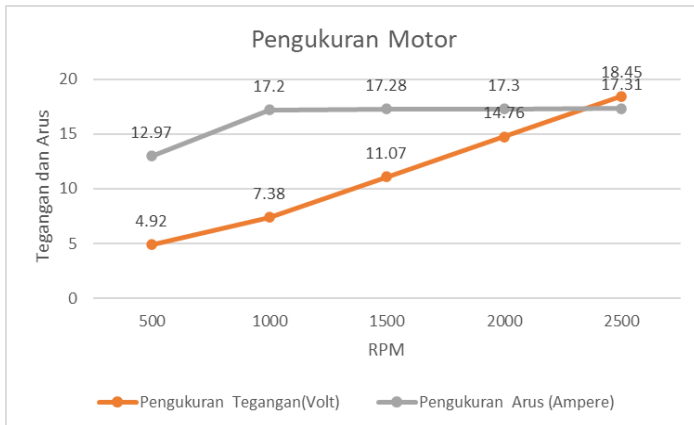
Pengujian daya motor menunjukkan bahwa daya meningkat secara linier seiring peningkatan RPM: Beban 1 dari 4.32 watt pada 500 RPM menjadi 44.24 watt pada 2500 RPM, Beban 2 dari 7.36 watt menjadi 102.06 watt, dan Beban 3 dari 12.6 watt menjadi 108.8 watt. Daya yang dihasilkan meningkat lebih signifikan pada beban yang lebih tinggi, dengan Beban 3 menghasilkan daya tertinggi pada setiap RPM. Grafik ini menunjukkan bahwa motor dapat berfungsi sebagai generator dan relevan untuk pengereman regeneratif.

I Proses Pengukuran Tegangan dan Arus Motor

Pengujian dilakukan dengan memberikan beban pada motor saat motor dc di aplikasikan pada mobil gokart. Hasil Pengukuran dapat dilihat pada tabel 4.3 :

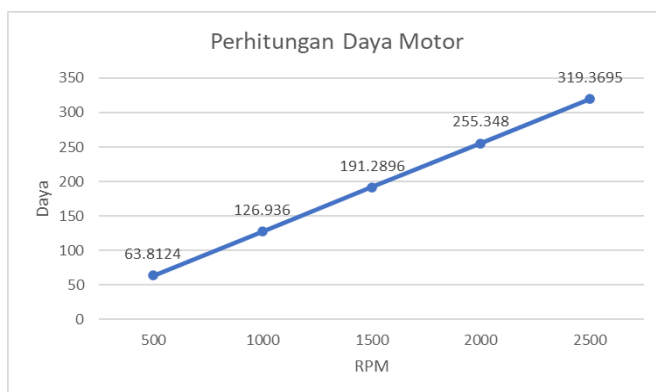
Tabel 8. Pengukuran Motor

Pengukuran		
RPM	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)
2500	18,45	17,31
2000	14,76	17,2
1500	11,07	17,3
1000	7,38	17,28
500	4,92	12,97



Gambar 20. Grafik Pengukuran Motor

Pada grafik pengujian motor DC diketahui bahwa Tegangan motor meningkat secara linear dengan kenaikan RPM, menunjukkan bahwa motor memerlukan lebih banyak tegangan untuk berputar lebih cepat. Arus meningkat tajam dari 500 RPM ke 1000 RPM, namun setelah itu peningkatannya relatif stabil dengan sedikit fluktuasi di antara 1500 RPM hingga 2500 RPM. Grafik menunjukkan bahwa pada RPM tinggi (2000 dan 2500 RPM), arus tidak meningkat sebesar tegangan, yang mungkin menunjukkan bahwa motor mencapai efisiensi operasi tertentu pada titik tersebut.



Gambar 21. Grafik Perhitungan Motor

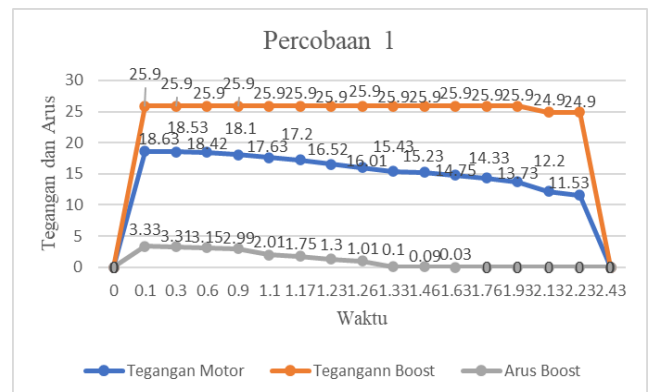
Pada grafik pengujian motor DC diketahui bahwa daya yang di perlukan motor dc meningkat secara linear dengan kenaikan RPM. Semakin tinggi RPM motor DC maka semakin besar daya yang diserap oleh motor DC

J Proses Pengukuran Tegangan dan Arus Pengereman Regeneratif

Percobaan pertama dilakukan pengukuran tegangan dan arus pada sisa putaran PMDC pada kondisi pengereman penuh. Hasil dari pengukuran dapat di lihat pada tabel 4.4:

Tabel 9. Hasil Pengujian 1 Pengereman Regeneratif

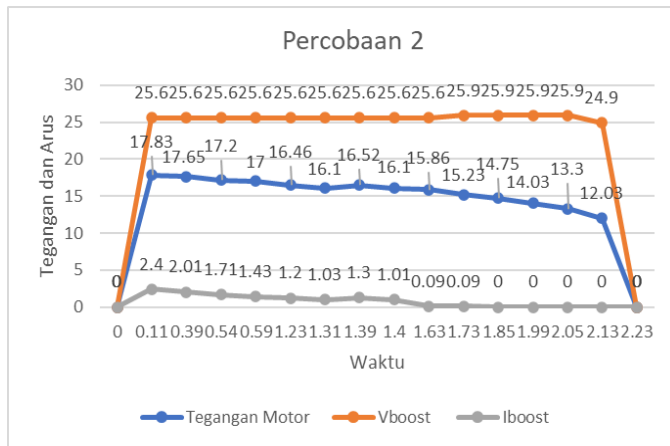
waktu (S)	Tegangan motor (V)	Tegangan Rectifier (V)	Tegangan boost (V)	Arus(A)	Duty Cycle (%)	Daya (W)	Energi (WH)
0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	18.63	13.041	25.9	3.33	50%	86.247	0.0023977
0.3	18.53	12.971	25.9	3.31	50%	85.729	0.0071498
0.6	18.42	12.894	25.9	3.15	50%	81.585	0.0136084
0.9	18.1	12.67	25.9	2.99	51%	77.441	0.0193757
1.1	17.63	12.341	25.9	2.01	52%	52.059	0.0159196
1.17	17.2	12.04	25.9	1.75	54%	45.325	0.0147424
1.23	16.52	11.564	25.9	1.3	55%	33.67	0.0115131
1.26	16.01	11.207	25.9	1.01	57%	26.159	0.009163
1.33	15.43	10.801	25.9	0.1	58%	2.59	0.0009576
1.46	15.23	10.661	25.9	0.09	59%	2.331	0.0009461
1.63	14.75	10.325	25.9	0.03	60%	0.777	0.0003521
1.76	14.33	10.031	25.9	0	61%	0	0
1.93	13.73	9.611	25.9	0	63%	0	0
2.13	12.2	8.54	24.9	0	66%	0	0
2.23	11.53	8.071	24.9	0	68%	0	0
2.43	0	0	0	0	0	0	0
Rata-rata						44.9012	0.0087387



Gambar 22. Grafik Percobaan 1 Pengereman Regeneratif

Pada pengujian 1 menggunakan pengereman secara penuh dari awal pengereman, diketahui bahwa sistem mulai melakukan regeneratif pada detik ke 0,1 dengan tegangan motor sebesar 18,63V, dengan waktu puncak regenerative pada detik 1,63 dengan tegangan 14,75V hingga waktu regenerative akhir pada detik ke 2,43 dengan tegangan sebesar 0V dengan hasil daya regenerative Rata-rata sebesar 30,869563 Watt

Percobaan kedua dilakukan pengukuran tegangan dan arus pada sisa putaran PMDC pada kondisi pengereman penuh. Hasil dari pengukuran dapat di ihat pada tabel 4.5 :



Gambar 23. Grafik Percobaan 2 Pengereman Regeneratif

Pada pengujian 2 menggunakan pengereman secara penuh dari awal pengereman, diketahui bahwa sistem mulai melakukan regeneratif pada detik ke 0,11 dengan tegangan motor sebesar 17,83V, dengan waktu puncak regenerative pada detik 1,73 dengan tegangan 15,23V hingga waktu regenerative akhir pada detik ke 2,23 dengan tegangan sebesar 0V dengan hasil daya regenerative Rata-rata sebesar 20,48 Watt.

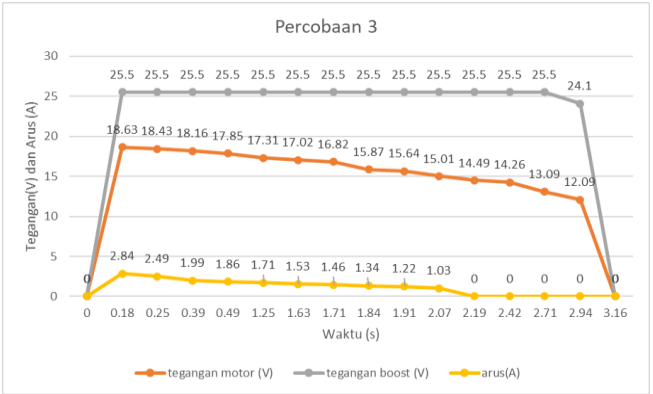
Tabel 10. Tabel Hasil Pengujian 2 pengereman regenerative

Waktu (S)	Tegangan motor (V)	Tegangan Rectifier (V)	Tegangan boost (V)	Arus (A)	Duty Cycle (%)	Daya (W)	Energi (WH)
0	0	0	0	0	0	0	0
0.11	17.83	12.481	25.6	2.4	51 %	61.44	0.00187884
0.39	17.65	12.355	25.6	2.01	52 %	51.456	0.00557886
0.54	17.2	12.04	25.6	1.71	53 %	43.776	0.00657165
0.59	17	11.9	25.6	1.43	54 %	36.608	0.00600444
1.23	16.52	11.564	25.6	1.2	55 %	30.72	0.0105044
1.31	16.46	11.522	25.6	1.03	55 %	26.368	0.0096027
1.39	16.2	11.34	25.6	1.03	56 %	26.368	0.01018912
1.4	16.01	11.207	25.6	1.01	56 %	25.856	0.01006316
1.63	15.86	11.102	25.6	0.09	57 %	2.304	0.00104403
1.73	15.23	10.661	25.6	0.09	58 %	2.304	0.00110809
1.85	14.75	10.325	25.6	0	60 %	0	0
1.99	14.43	10.101	25.6	0	61 %	0	0
2.05	13.79	9.653	25.6	0	62 %	0	0
2.13	12.63	8.841	25.6	0	65 %	0	0
2.23	12.09	8.463	25.6	0	67 %	0	0
Rata-rata						30.72	0.00568594

Percobaan ketiga dilakukan pengukuran tegangan dan arus pada sisa putaran PMDC pada kondisi pengereman penuh. Hasil dari pengukuran dapat di lihat pada tabel 4.6:

Tabel 11. Tabel Hasil Pengujian 3 Pengereman Regeneratif

Waktu (S)	Tegangan motor (V)	Tegangan Rectifier (V)	Tegangan boost (V)	Arus(A)	Duty Cycle (%)	Daya (W)	Energi (WH)
0	0	0	0	0	0	0	0
0.18	18.63	13.041	25.5	2.84	49%	72.42	0.0036239
0.25	18.43	12.901	25.5	2.49	49%	63.495	0.0044129
0.39	18.16	12.712	25.5	1.99	50%	50.745	0.0055018
0.49	17.85	12.495	25.5	1.86	51%	47.43	0.0064609
1.25	17.31	12.117	25.5	1.71	52%	43.605	0.0151527
1.63	17.02	11.914	25.5	1.53	53%	39.015	0.0176793
1.71	16.82	11.774	25.5	1.46	54%	37.23	0.0176984
1.84	15.87	11.109	25.5	1.34	56%	34.17	0.0174786
1.91	15.64	10.948	25.5	1.22	57%	31.11	0.0165188
2.07	15.01	10.507	25.5	1.03	59%	26.265	0.0151145
2.19	14.49	10.143	25.5	0	60%	0	0
2.42	14.26	9.982	25.5	0	61%	0	0
2.71	13.09	9.163	25.5	0	64%	0	0
2.94	12.09	8.463	24.1	0	65%	0	0
3.16	0	0	0	0	0	0	0
Rata-rata						44.5485	0.0108765



Gambar 24. Grafik Percobaan 3 Pengereman Regeneratif

Pada pengujian 3 menggunakan pengereman secara penuh dari awal pengereman, diketahui bahwa sistem mulai melakukan regeneratif pada detik ke 0,18 dengan tegangan motor sebesar 18,63V, dengan waktu puncak regenerative pada detik 2,07 dengan tegangan 15,01V hingga waktu regenerative akhir pada detik ke 3,16 dengan tegangan sebesar 0V dengan hasil daya regenerative Rata-rata sebesar 29,699 Watt

Tabel 12. Tabel Keluaran Daya Pada Setiap Percobaan

	Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3	Rata-rata
Waktu (s)	2,43	2,23	2,07	
Daya (W)	44.9012	30.72	44.5485	40.0565667
Energi (WH)	0.0087387	0.00568594	0.0108765	0.00843371333

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Pada pengujian 1, sistem pengereman regeneratif dimulai pada detik 0,1 dengan tegangan motor 18,63V, mencapai puncaknya pada detik 1,63 dengan tegangan 14,75V, dan berakhir pada detik 2,43 dengan tegangan 0V. Daya regeneratif rata-rata tercatat sebesar 30,87 watt.
2. Pada pengujian 2, sistem mulai melakukan regeneratif pada detik 0,11 dengan tegangan 17,83V, mencapai puncaknya pada detik 1,73 dengan tegangan 15,23V, dan berakhir pada detik 2,23 dengan tegangan 0V. Daya regeneratif rata-rata tercatat sebesar 20,48 watt.
3. Pada pengujian 3, sistem mulai regeneratif pada detik 0,18 dengan tegangan 18,63V, mencapai puncaknya pada detik 2,07 dengan tegangan 15,01V, dan berakhir pada detik 3,16 dengan tegangan 0V. Daya regeneratif rata-rata tercatat sebesar 29,70 watt.
4. Motor listrik berfungsi optimal baik sebagai penggerak roda maupun sebagai generator dalam pengereman regeneratif, memastikan kendaraan dapat beroperasi dalam berbagai kondisi.

B. Saran

Penelitian ini mengidentifikasi kekurangan pada waktu puncak regeneratif yang hanya rata-rata 1 detik, disebabkan arus yang tidak mengalir pada sistem pengisian. Penelitian selanjutnya diharapkan menambahkan superkapasitor untuk meningkatkan penyimpanan arus selama pengereman regeneratif.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Bintang Damara, A. Qurthobi, dan K. Bani Adam, "Rancang Bangun Purwarupa Pengereman Regeneratif Menggunakan Motor DC MY1016"
- [2] I. Maulana, I. P. Handayani, A. Qurthobi, P. S1, dan T. Fisika, "Rancang Bangun Mini Plant Regenerative Braking Sebagai Sumber Daya Listrik"
- [3] D. Danendra, S. Prasetya, P. Studi Teknik Konversi Energi, J. Teknik Mesin, P. Negeri Jakarta, dan J. G. A Siwabessy, "Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta (2021), p415-p424 Analisis dan Perancangan untuk Mengetahui Besaran Daya yang Dihasilkan pada Pengereman Regeneratif." [Daring]. Tersedia pada: <http://prosiding.pnj.ac.id>
- [4] "Ali Basrah Pulungan, Sukardi, Taslim Ramadhani 'Buck Converter Sebagai Regulator Aliran Daya Pada Pengereman Regeneratif'"
- [5] A. Satya Nugraha, R. A. Duyo, Z. Basri Hasanuddin, J. Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar, J. Teknik Elektro, dan P. Negeri Ujung Pandang, "Analisis Penentuan Efisiensi dan Pengaruh Motor Rewinding Terhadap Kinerja untuk Mencapai Beban Nominal".
- [6] R. P. Putra, ; Novi Kurniasih, ; Dewi, P. Sari, dan Z. Syamsuddin, "Karakteristik Pengontrolan Torka Pengereman Regeneratif Pada Kendaraan Listrik Dengan Integrasi Ultrakapasitor," vol. 12, no. 2, 2023, doi: 10.33322/kilat.v12i2.1884.
- [7] H. P. La Ode Muhammad Azdhar Baruddin, "Analisis Pengaruh Kecepatan Terhadap Jarak dan Waktu Pengereman Pada Mobil Hybrid Urban KMHE 2018," 2019.
- [8] James. Larminie dan J. Lowry, Electric vehicle technology explained. John Wiley & Sons, 2012.
- [9] S. Muttaqin, "Analisa Karakteristik Generator dan Motor DC."
- [10] N. Nugroho dan S. Agustina, "Analisa Motor dc (Direct Current) Sebagai Penggerak Mobil Listrik," 2015.
- [11] M. F. Fazdi dan P. W. Hsueh, "Parameters Identification of a Permanent Magnet DC Motor: A Review," Electronics (Switzerland), vol. 12, no. 12. MDPI, 1 Juni 2023. doi: 10.3390/electronics12122559.
- [12] L. W. J. Hendi Matalata1, "Analisa Buck Converter dan Boost Converter Pada Perubahan Duty Cycle pwm Dengan Membandingkan Frekuensi pwm 1,7 khz dan 3,3 khz," Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi, vol. 18, 2018, doi: <http://dx.doi.org/10.33087/jiubj.v18i1.431>.
- [13] H. Buntulayuk dan F. Arya Samman, "Rancangan DC-DC Converter untuk Penguatan Tegangan," Fakultas Teknik, 2017.
- [14] D. D. S. Vormes Gema Merdeka, Najwa Zahratul and N. H. Muhammad Gani Baihaqi Darussalam, Ridha Febriliana, Riska Putri Anggraini, "Analisis Dioda Pada Rangkaian Rectifier Dengan Software Electronics Workbench," *J. Ilm. Informatian Technol. d'Computare Vol. 12 Ed. Januari*, vol. 12, 2022.

- [14] A. Budiyanto, G. B. Pramudita, S. Adinandra, P. Studi, dan T. Elektro, “Kontrol Relay dan Kecepatan Kipas Angin Direct Current (DC) dengan Sensor Suhu LM35 Berbasis Internet of Things (IoT).”

VII. BIODATA PENULIS



Ignatius Iktinus Widianoro, lahir di Surabaya, 18 Desember 2001. Penulis menyelesaikan Pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA St.Louis 2 Surabaya tahun 2020, penulis melanjutkan pendidikan studi di perguruan tinggi swasta Institut Teknologi Nasional Malang program studi Teknik Elektro S-1 dengan konsentrasi Teknik Energi Listrik. Akhir kata dari sang penulis mengucapkan terima kasih dan rasa syukur yang sebanyak-banyaknya atas selesainya penelitian ini yang berjudul Perancangan Sistem Pengereman regeneratif Pada Mobil Listrik