

ANALISA DAYA MOTOR PENGGERAK DC DENGAN VARIASI RPM PADA ALAT SIMULASI SISTEM PERLAMBATAN REGENERATIF

Analysis Of Dc Drive Motor Power With Rpm Variations In A Regenerative Deceleration System Simulation Device

Surianto¹, Mimin Rihotimawati², Azhar Jando³

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin, Dosen Prodi. Perawatan dan Perbaikan Mesin, Politeknik Negeri Samarinda

³Jurusan Teknik Mesin, Mahasiswa Prodi. Perawatan dan Perbaikan Mesin, Politeknik Negeri Samarinda

e-mail:¹surianto@polnes.ac.id,²miminrihotimawati@polnes.ac.id,³ azhar4321@gmail.com

Info Artikel

Riwayat Artikel:

Diterima: 06/11/2025

Diterima dalam bentuk revisi:

11/11/2025

Diteima/publis: 13/11/2025

Kata Kunci

Simulasi Regeneratif, Motor Penggerak, Putaran RPM, Analisa daya

Abstrak

Simulasi Perlambatan Regeneratif adalah suatu perangkat simulator yang dirancang untuk mensimulasikan sistem pengereman regeneratif pada kendaraan listrik. Dalam penelitian ini penulis akan membahas tentang daya masuk ke motor penggerak yang digunakan di simulasi perlambatan regeneratif terhadap putaran kecepatan RPM yang berbeda metode observasi merupakan teknik pengumpulan data yang dilakukan melalui sesuatu pengamatan, dengan disertai pencatatan-pencatatan terhadap keadaan atau perilaku objek sasaran. Hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa dimana penelitian motor penggerak menggunakan tiga kecepatan putaran RPM. Putaran pertama, kedua, dan ketiga menggunakan pengukuran tegangan dan ampere lalu di hitung menggunakan rumus agar mendapatkan nilai daya. Di putaran 700Rpm mendapatkan daya yang masuk ke motor penggerak sebesar 247,6 watt lalu diputaran kedua 900Rpm mendapatkan daya sebesar 438,3 watt dan diputaran ketiga 1100Rpm mendapatkan daya sebesar 779,5 watt.

Abstract

Regenerative Deceleration Simulation is a simulator device designed to simulate the regenerative braking system in electric vehicles. In this study, the author will discuss the input power to the drive motor used in the regenerative deceleration simulation against different RPM rotation speeds. The observation method is a data collection technique carried out through observation, accompanied by recordings of the condition or behavior of the target object. The results of this study can be concluded that where the drive motor research uses three RPM rotation speeds. The first, second, and third rotations use voltage and amperage measurements then calculated using a formula to obtain the power value. At 700Rpm rotation, the power entering the drive motor is 247.6 watts, then at the second rotation of 900Rpm, the power is 438.3 watts, and the third rotation of 1100Rpm, the power is 779.5 watts...

PENDAHULUAN

Dalam era transisi menuju sistem transportasi berkelanjutan dan efisiensi energi yang lebih tinggi, konsep *regenerative braking system* atau sistem perlambatan regeneratif menjadi salah satu inovasi penting dalam teknologi kendaraan listrik dan sistem penggerak motor modern. Teknologi ini memungkinkan konversi energi kinetik yang dihasilkan selama proses perlambatan menjadi energi listrik yang dapat disimpan dan digunakan kembali, sehingga meningkatkan efisiensi energi keseluruhan kendaraan (Teasdale et al., 2024) [1]. Sistem tersebut tidak hanya mengurangi pemborosan energi, tetapi juga memperpanjang umur pakai komponen baterai dan menurunkan konsumsi energi total kendaraan (Fanoro ., 2022) [2].

Motor DC (Direct Current) sebagai komponen utama dalam sistem regeneratif memiliki kemampuan ganda, yaitu berfungsi sebagai aktuator penggerak saat kendaraan berakselerasi dan sebagai generator saat perlambatan (Long 2013 ; Nian 2014) [3], [4]. Karakteristik torsi-kecepatan yang hampir linier dan kemudahan pengontrolannya menjadikan motor DC pilihan yang sesuai untuk aplikasi sistem regeneratif [5]. Selain itu, variasi kecepatan putaran motor (RPM) berpengaruh signifikan terhadap konsumsi daya dan efisiensi sistem. Pada kecepatan rendah, torsi yang dihasilkan memang tinggi, namun efisiensi energi menurun karena kerugian elektromagnetik dan kerugian arus tembaga menjadi lebih dominan [6], [7]. Sebaliknya, pada kecepatan tinggi, rugi-gesekan mekanik dan arus eddy cenderung meningkat, sehingga mengakibatkan kebutuhan daya yang lebih besar [8]. Oleh karena itu, pemahaman mendalam terhadap hubungan antara variasi kecepatan putar motor DC, daya listrik yang dikonsumsi, dan potensi energi regeneratif menjadi penting untuk optimalisasi sistem simulasi dan kendaraan listrik [1].

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa integrasi sistem regeneratif pada kendaraan listrik dapat meningkatkan efisiensi energi

antara 8 % hingga 25 % tergantung pada desain motor dan algoritma kontrol yang digunakan. Penelitian lain menegaskan bahwa penggunaan motor sebagai generator dalam sistem pengereman regeneratif dapat meningkatkan pemulihan energi secara signifikan. Selain itu, sistem kontrol berbasis kecepatan dan torsi adaptif terbukti mampu menstabilkan arus balik ke baterai, menghindari over-charging dan mempertahankan efisiensi konversi energi (Yang 2020;Li 2023) [9], [10].

Meski demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya berfokus pada sistem regeneratif di tingkat kendaraan nyata, dengan variabel yang dikontrol secara simulatif melalui perangkat lunak seperti MATLAB/Simulink (Zhou 2022) [11]. Studi eksperimental yang melibatkan variasi RPM motor DC pada alat simulasi regeneratif masih relatif terbatas. Penelitian semacam ini penting karena dapat memberikan data empiris mengenai daya aktual yang dibutuhkan pada berbagai kecepatan putaran motor, serta menilai sejauh mana efisiensi sistem simulasi mendekati kondisi operasi kendaraan nyata (Kivanc 2021) [12].

Dengan demikian, penelitian ini difokuskan untuk menganalisis daya listrik yang dibutuhkan motor penggerak DC dengan variasi kecepatan putaran (RPM) berbeda pada alat simulasi sistem perlambatan regeneratif. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan pemahaman empiris mengenai hubungan antara RPM dan daya masukan motor, serta menjadi dasar pengembangan sistem regeneratif yang lebih efisien, baik untuk aplikasi laboratorium maupun implementasi kendaraan listrik di masa depan (Teasdale 2024) [1].

TINJAUAN PUSTAKA

Sistem perlambatan regeneratif merupakan metode pengereman yang memanfaatkan energi kinetik kendaraan untuk menghasilkan arus listrik melalui kerja balik motor sebagai generator. Prinsip ini telah digunakan secara luas pada

kendaraan listrik modern, terutama dalam sistem berbasis motor DC dan *brushless DC* (BLDC) (Ajmal 2015) [13]. Menurut Zhang, Liu, dan Peng (2023), distribusi torsi regeneratif yang disesuaikan dengan kondisi kecepatan dan gaya rem dapat meningkatkan efisiensi pemulihan energi hingga lebih dari 20% pada kendaraan listrik dual-motor, sekaligus menjaga kestabilan pengereman kendaraan [10]. Hasil serupa juga dilaporkan oleh Pusztai et al. (2023) yang menekankan pentingnya strategi pengereman adaptif berbasis algoritma optimasi untuk mengurangi kehilangan energi selama perlambatan dan memperpanjang umur baterai [14]. Penelitian oleh Zhao et al. (2021) dalam Chinese Journal of Mechanical Engineering menunjukkan bahwa kontrol regeneratif yang dioptimalkan berdasarkan lintasan dan profil percepatan kendaraan mampu meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem pengereman hingga 18,7% dibandingkan metode konvensional. Temuan-temuan tersebut menegaskan bahwa pengaturan torsi dan distribusi gaya rem secara cerdas menjadi kunci untuk mencapai efisiensi energi yang maksimal dalam sistem regeneratif kendaraan listrik [15].

Motor DC juga unggul dalam aplikasi sistem regeneratif berkat desainnya yang sederhana, kemudahan dalam pengontrolan kecepatan, dan kemampuan menghasilkan torsi yang relatif tinggi pada arus rendah. Sebagai contoh, penelitian kuantitatif terbaru menyebut bahwa motor DC memiliki karakteristik torsi-kecepatan yang lebih menguntungkan dibandingkan motor AC dalam kondisi beban dinamis [16]. Dalam hal kontrol, penerapan teknik modulasi lebar pulsa (PWM) pada motor DC telah terbukti efektif tidak hanya dalam mengatur kecepatan tetapi juga dalam mengoptimalkan konsumsi energi. Sebagai contoh, studi oleh Kuczmann (2024) menggambarkan pemodelan motor DC dan

kontrol liniernya yang memungkinkan peningkatan efisiensi sistem dengan akurasi tinggi [17].

Penelitian menunjukkan bahwa terdapat korelasi yang signifikan antara kecepatan putaran motor dan konsumsi daya listriknya. Saat motor beroperasi pada kecepatan lebih tinggi, beban gesekan dan rugi-rugi elektromagnetik cenderung naik, yang kemudian menyebabkan peningkatan konsumsi listrik meskipun torsi yang dihasilkan mungkin tidak bertambah proporsional. Oleh karena itu, pemetaan karakteristik kecepatan-daya menjadi penting untuk merancang sistem yang efisien [18].

Analisis eksperimental menunjukkan bahwa hubungan antara kecepatan motor dan konsumsi daya tidak bersifat monoton sederhana—setelah kecepatan tertentu tercapai, efisiensi sistem mulai menurun karena rugi-rugi mekanis dan elektromagnetik. Sebagai contoh, studi pada motor penggerak kendaraan listrik menemukan bahwa efisiensi maksimum berada pada rentang kecepatan optimal sebelum menurun pada kecepatan yang lebih tinggi [19].

Tinjauan literatur menunjukkan bahwa kecepatan putaran motor memiliki pengaruh signifikan terhadap konsumsi daya dan efisiensi konversi energi dalam sistem regeneratif. Namun demikian, masih terdapat kekurangan riset eksperimental yang secara spesifik menguji motor DC pada simulasi dengan variasi RPM berbeda dan menyajikan data empiris yang dapat diaplikasikan pada pengembangan sistem regeneratif nyata. Dengan demikian, penelitian ini dimaksudkan untuk menjembatani gap tersebut dengan menyajikan hasil empiris yang dapat menjadi acuan untuk sistem simulasi dan implementasi aplikasi kendaraan listrik [1], [9].

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental deskriptif yang bertujuan untuk menganalisis hubungan antara variasi kecepatan putaran motor (RPM) terhadap

daya listrik yang dibutuhkan oleh motor penggerak DC pada alat simulasi sistem perlambatan regeneratif. Pendekatan eksperimental dipilih untuk memperoleh hubungan empiris antara kecepatan putar dan kebutuhan daya aktual yang diukur secara langsung melalui parameter listrik (tegangan dan arus).

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan Laboratorium Teknik Mesin Politeknik Negeri Samarinda. Waktu pelaksanaan pengujian disesuaikan agar memperoleh hasil yang stabil pada kondisi arus listrik dan temperatur lingkungan yang konstan.

Obyek Penelitian dan Variabel

Objek penelitian ini adalah alat simulasi sistem perlambatan regeneratif yang terdiri dari motor penggerak DC, alternator, travo, dimmer, dan sistem transmisi mekanis menggunakan V-belt dan pulley.

Variabel dalam penelitian meliputi:

1. Variabel bebas: Kecepatan putaran motor penggerak (700, 900, dan 1100 RPM).
2. Variabel terikat: Daya listrik yang dibutuhkan motor (Watt).
3. Variabel kontrol: Tegangan suplai, waktu pengujian, serta kondisi beban alternator.

Alat dan Instrumen Penelitian

Beberapa alat ukur digunakan untuk memperoleh data secara akurat, antara lain:

1. Clamp Meter
2. Multimeter Digital (Avometer)
3. Tachometer
4. Stopwatch
5. Voltmeter Panel

Setiap alat kalibrasi dilakukan sebelum pengambilan data untuk menjamin validitas pengukuran.

Bahan dan Komponen Penelitian

Bahan utama yang digunakan terdiri dari:

1. Motor penggerak DC satu fasa, 3 HP dengan putaran maksimum 4600 RPM.
2. Alternator 12V, 80A sebagai konverter energi mekanik menjadi listrik.
3. Dimmer kontrol 220V, 2000W untuk mengatur kecepatan putar motor.
4. Travo 10A, 2200W sebagai pengubah arus AC ke DC.
5. Baterai 12V 70Ah, lampu indikator LED, serta kopling FCL untuk transmisi daya mekanik. Konstruksi alat disusun pada rangka baja siku berukuran 110 cm × 60 cm × 85 cm.

Prosedur Penelitian

Langkah-langkah penelitian dilaksanakan secara sistematis sebagai berikut:

1. Persiapan dan Kalibrasi: Semua alat ukur diperiksa dan dikalibrasi untuk memastikan akurasi pengukuran tegangan, arus, dan RPM.
2. Penyambungan Sistem: Kabel utama alat simulasi dihubungkan ke sumber listrik PLN 220V melalui travo dan dimmer sebagai pengatur kecepatan.
3. Penentuan Variasi RPM: Kecepatan motor diatur menggunakan dimmer pada tiga nilai putaran, yaitu 700, 900, dan 1100 RPM.
4. Pengukuran Tegangan dan Arus:
 - Tegangan diukur menggunakan multimeter digital pada sambungan keluaran travo ke motor.
 - Arus diukur menggunakan clamp meter pada kabel positif (fase) menuju motor.
5. Pencatatan Data: Pengambilan data dilakukan selama 5 menit pada setiap tingkat RPM, kemudian nilai tegangan dan arus dicatat untuk tiga kali pengulangan.
6. Perhitungan Daya: Data yang diperoleh dihitung menggunakan persamaan:

$$P=V \times I$$

dengan P = daya (Watt), V = tegangan (Volt), dan I = arus (Ampere).

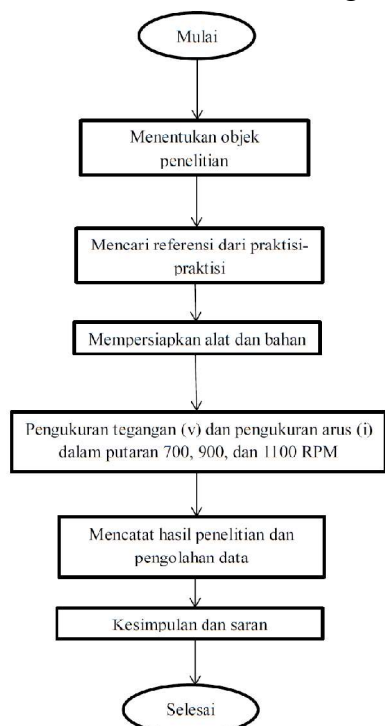
7. Analisis Data: Nilai rata-rata tegangan dan arus dihitung untuk memperoleh rata-rata daya listrik yang dibutuhkan pada setiap kecepatan putaran.
8. Evaluasi Efisiensi: Hasil daya dibandingkan antar variasi RPM untuk menentukan hubungan antara kecepatan motor dan konsumsi daya.

Teknik Analisis Data

Data hasil pengujian dianalisis menggunakan pendekatan analisis kuantitatif deskriptif. Nilai daya listrik pada tiap kecepatan dibandingkan untuk melihat kecenderungan peningkatan atau penurunan seiring bertambahnya RPM.

Analisis dilakukan dalam dua tahap:

1. Perhitungan matematis untuk memperoleh daya listrik rata-rata dari setiap percobaan.
2. Penyajian grafis dalam bentuk kurva hubungan antara kecepatan putaran (RPM) dan daya motor (Watt) guna menggambarkan tren konsumsi energi.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bersifat kuantitatif dimana data yang di hasilkan akan berbentuk angka. Data yang didapat dilakukan analisis menggunakan rumus perhitungan daya motor penggerak. Penelitian ini memiliki tujuan untuk menganalisis daya yang masuk ke motor penggerak dengan menggunakan variasi putaran yang telah ditentukan dengan dimer pada alat simulasi regeneratif. Data ini dikumpulkan dengan melakukan pengujian terhadap putaran motor penggerak 700, 900, dan 1100 Rpm.

Hasil Penelitian Putaran 700 Rpm

Data hasil penelitian motor penggerak di alat simulasi regeneratif dengan menggunakan kecepatan putaran motor di 700Rpm dan waktu yang diberikan 5 menit.

Tabel 1. Penelitian menggunakan kecepatan 700 Rpm

Pengujian pada kecepatan putaran motor penggerak menggunakan 700Rpm			
Dengan waktu yang diberikan 5 menit			
Percobaan	Tegangan (v)	Arus (i)	Waktu
1	51,2	4,8	5 Menit
2	51,7	4,7	
3	51,9	4,9	
Rata-rata	51,6	4,8	

Perhitungan dengan dengan kecepatan motor penggerak menggunakan 700Rpm.

Persamaan

$$\text{Daya (P)} = \text{Tegangan} \cdot \text{Ampere}$$

$$\text{Daya (P)} = V \cdot i$$

$$\text{Tegangan (v)} = 51,6 \text{ Volt}$$

$$\text{Arus (i)} = 4,8 \text{ Ampere}$$

$$\text{Daya (P)} = 51,6 \text{ Volt} \times 4,8 \text{ Ampere} = 247,6 \text{ Watt}$$

Jadi hasil dari kecepatan 700 Rpm motor penggerak di alat simulasi perlambatan regeneratif membutuhkan daya sebesar 247,6 Watt.

Hasil Penelitian Putaran 900 Rpm

Data hasil penelitian motor penggerak di alat simulasi regeneratif dengan menggunakan kecepatan putaran motor di 900 Rpm dan waktu yang diberikan 5 menit.

Tabel 2. Penelitian menggunakan kecepatan 900Rpm

Pengujian pada kecepatan putaran motor penggerak menggunakan 900Rpm Dengan waktu yang diberikan 5 menit			
Percobaan	Tegangan (v)	Arus (i)	Waktu
1	70,2	6,4	5 menit
2	70,9	6,2	
3	71,0	6,1	
Rata-rata	70,7	6,2	

Perhitungan dengan dengan kecepatan motor penggerak menggunakan 900Rpm.
 Persamaan

$$\begin{aligned} \text{Daya (P)} &= \text{Tegangan} \cdot \text{Ampere} \\ \text{Daya (P)} &= V \cdot i \\ \text{Tegangan (v)} &= 70,7 \text{ Volt} \\ \text{Arus (i)} &= 6,2 \text{ Ampere} \\ \text{Daya (P)} &= 70,7 \text{ Volt} \times 6,2 \text{ Ampere} = \\ &438,3 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Jadi hasil dari kecepatan 900Rpm motor penggerak di alat simulasi perlambatan regeneratif membutuhkan daya sebesar 438,3 Watt.

Hasil Penelitian Menggunakan Kecepatan Putaran 1100Rpm

Data hasil penelitian motor penggerak di alat simulasi regeneratif dengan menggunakan kecepatan putaran motor di 1100Rpm dan waktu yang diberikan 5 menit.

Tabel 3. Penelitian menggunakan kecepatan 1100Rpm

Pengujian pada kecepatan putaran motor penggerak menggunakan 1100Rpm Dengan waktu yang diberikan 5 menit			
Percobaan	Tegangan (v)	Arus (i)	Waktu
1	92,7	8,6	5 menit
2	93,0	8,4	
3	92,9	8,3	
Rata-rata	92,8	8,4	

Perhitungan dengan dengan kecepatan motor penggerak menggunakan 1100Rpm.
 Persamaan

$$\begin{aligned} \text{Daya (P)} &= \text{Tegangan} \cdot \text{Ampere} \\ \text{Daya (P)} &= V \cdot i \\ \text{Tegangan (v)} &= 92,8 \text{ Volt} \\ \text{Arus (i)} &= 8,4 \text{ Ampere} \\ \text{Daya (P)} &= 92,8 \text{ Volt} \times 8,4 \text{ Ampere} = \\ &779,5 \text{ Watt} \end{aligned}$$

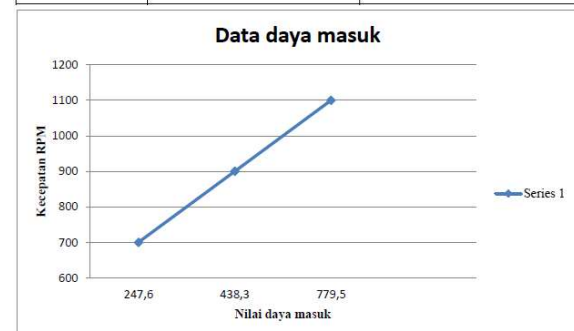
Jadi hasil dari kecepatan 1100Rpm motor penggerak di alat simulasi perlambatan regenerative membutuhkan daya sebesar 779,5 Watt.

Hasil daya yang di butuhkan motor penggerak

Hasil data daya yang di butuhkan motor penggerak di alat simulasi regenerative terhadap tiga kecepatan putaran 700, 900, dan 1100Rpm dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 4. Hasil daya masuk ke motor penggerak

Hasil daya yang di butuhkan motor penggerak terhadap tiga kecepatan putaran 700, 900, dan 1100Rpm		
Percobaan	RPM	Daya
1	700	247,6 Watt
2	900	438,3 Watt
3	1100	779,5 Watt



Gambar 2. Grafik hasil daya yang masuk ke motor penggerak

Dari grafik di atas dapat dilihat sesuai dengan kecepatan putaran yang di pakai yaitu 700, 900, dan 1100Rpm. Dari hasil putaran yang pertama daya yang di dapat dan dibutuhkan motor penggerak terhadap kecepatan 700Rpm sebesar 247,6 Watt, lalu di putaran yang kedua daya yang di dapat dan dibutuhkan motor penggerak terhadap kecepatan 900Rpm sebesar 438,3 Watt, dan di putaran ketiga daya yang di dapat dan dibutuhkan oleh motor penggerak terhadap kecepatan 1100Rpm sebesar 779,5 Watt.

Hasil Nilai Harga Tarif Listrik yang Dipakai oleh Motor Penggerak DC

Perhitungan nilai tarif listrik yang di pakai oleh motor penggerak DC pada alat simulasi regeneratif selama proses

penelitian di putaran 700, 900, dan 1100Rpm. Perhitungan nilai tarif listrik dari tiga putaran RPM 700, 900, dan 1100. Persamaan

$$\frac{247,6}{1000} \times 0,0833 \text{ (jam)} = 0,0205 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 1,352 = \text{Rp } 27,162$$

Dari perhitungan harga tarif listrik di atas dapat di lihat, untuk mendapatkan nilai kWh yaitu nilai daya yang di dapat 247,6 watt di bagi dengan nilai 1000 lalu di kali dengan nilai jam yang di dapat 0,083(jam), jadi nilai kWh yang di dapat dari perhitungan di atas yaitu 0,020 5 kWh. Agar mendapatkan nilai harga tarif yang di pakai pada motor penggerak, 0,020 5 kWh di kali dengan nilai tarif dasar perKWh yaitu Rp 1,325, (0,020 5 kWh × Rp 1,325 = Rp 27,162).

Jadi nilai harga tarif listrik yang di dapat pada putaran 700Rpm dengan daya 247,6 watt adalah Rp 27,162

$$\frac{438,6}{1000} \times 0,083 \text{ (jam)} = 0,0364 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 1,352 = \text{Rp } 49,212$$

Dari perhitungan harga tarif listrik di atas dapat di lihat, untuk mendapatkan nilai kWh yaitu nilai daya yang di dapat 438,6 watt di bagi dengan nilai 1000 lalu di kali dengan nilai jam yang di dapat 0,083(jam), jadi nilai kWh yang di dapat dari perhitungan di atas yaitu 0,036 4 kWh. Agar mendapatkan nilai harga tarif yang di pakai pada motor penggerak, 0,036 4 kWh di kali dengan nilai tarif dasar perKWh yaitu Rp 1,325, (0,036 4 kWh × Rp 1,325 = Rp 49,212).

Jadi nilai harga tarif listrik yang di dapat pada putaran 900Rpm dengan daya 438,6 watt adalah Rp 49,212

$$\frac{779,5}{1000} \times 0,083 \text{ (jam)} = 0,0646 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 1,352 = \text{Rp } 87,339$$

Dari perhitungan harga tarif listrik di atas dapat di lihat, untuk mendapatkan nilai kWh yaitu nilai daya yang di dapat 779,5 watt di bagi dengan nilai 1000 lalu di kali dengan nilai jam yang di dapat 0,083(jam),

jadi nilai kWh yang di dapat dari perhitungan di atas yaitu 0,064 6 kWh. Agar mendapatkan nilai harga tarif yang di pakai pada motor penggerak, 0,064 6 kWh di kali dengan nilai tarif dasar perKWh yaitu Rp 1,325, (0,064 6 kWh × Rp 1,325 = Rp 87,339).

Jadi nilai harga tarif listrik yang di dapat pada putaran 1100Rpm dengan daya 779,5 watt adalah Rp 87,339

Cara mengkonversikan menit ke jam

$$\frac{5}{60} = 0.083$$

Jadi 5 menit di bagi dengan 60 menit jadi hasilnya 0.083 jam

$$\frac{300}{3600} = 0.083$$

Jadi 300 detik = 5 menit di bagi dengan 3600 detik = 60 menit, jadi hasilnya 0.083 jam

Tabel 5. Hasil nilai harga tarif yang di pakai motor penggerak

Hasil Nilai Harga Tarif Listrik yang Dipakai Motor Penggerak DC terhadap Putaran RPM				
RPM	Daya	Kilowatt hour	Tarif dasar	Harga Tarif Listrik
700	247,6 watt	0,020 5 kWh	Rp. 1,352	Rp. 27,885
900	438,3 watt	0,036 4 kWh		Rp. 49,348
1100	779,5 watt	0,064 6 kWh		Rp. 87,774

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis terhadap daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan motor penggerak DC pada alat simulasi sistem perlambatan regeneratif, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kecepatan putaran motor (RPM) berpengaruh signifikan terhadap kebutuhan daya listrik motor penggerak. Semakin tinggi kecepatan putaran, semakin besar pula tegangan dan arus yang dibutuhkan untuk mempertahankan kinerja motor.
2. Nilai daya listrik meningkat secara proporsional terhadap kenaikan RPM.

- Pada kecepatan 700 RPM diperoleh daya sebesar 247,6 Watt, pada 900 RPM sebesar 438,3 Watt, dan pada 1100 RPM sebesar 779,5 Watt. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan daya naik lebih dari dua kali lipat saat kecepatan meningkat dari rendah ke tinggi.
3. Kinerja sistem simulasi perlambatan regeneratif menunjukkan kestabilan arus dan tegangan selama pengujian. Hal ini menandakan bahwa rangkaian kelistrikan, termasuk travo, dimmer, dan kopling mekanik, berfungsi dengan efisien dan mampu mendistribusikan daya secara merata pada berbagai tingkat kecepatan.
 4. Hubungan antara kecepatan, arus, dan daya bersifat linier positif. Peningkatan kecepatan motor menyebabkan arus beban meningkat, sehingga energi listrik yang dikonversi menjadi energi mekanik juga bertambah seiring dengan peningkatan gaya inersia pada sistem.
 5. Secara praktis, hasil ini menunjukkan pentingnya pengaturan kecepatan dan beban dalam sistem regeneratif. Dengan memahami kebutuhan daya pada setiap tingkat RPM, sistem kontrol dapat dirancang untuk mengoptimalkan efisiensi konversi energi saat proses perlambatan atau regenerasi berlangsung.

Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa motor penggerak DC dengan sistem perlambatan regeneratif memiliki karakteristik konsumsi daya yang meningkat secara linier terhadap kecepatan putar, dan informasi ini dapat menjadi dasar perancangan sistem penggerak efisien pada kendaraan listrik maupun simulator energi regeneratif di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Teasdale, L. Ishaku, C. V. Amaechi, I. Adelusi, and A. Abdelazim, "A study on an energy-regenerative braking model using supercapacitors and DC motors," *World Electr. Veh. J.*, vol. 15, no. 7, p. 326, 2024.
- [2] M. Fanoro, M. Božanić, and S. Sinha, "A review of the impact of battery degradation on energy management systems with a special emphasis on electric vehicles," *Energies*, vol. 15, no. 16, p. 5889, 2022.
- [3] B. Long, S. T. Lim, J. H. Ryu, and K. T. Chong, "Energy-regenerative braking control of electric vehicles using three-phase brushless direct-current motors," *Energies*, vol. 7, no. 1, pp. 99–114, 2013.
- [4] X. Nian, F. Peng, and H. Zhang, "Regenerative braking system of electric vehicle driven by brushless DC motor," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 61, no. 10, pp. 5798–5808, 2014.
- [5] M. Kuczmann, "Review of DC motor modeling and linear control: Theory with laboratory tests," *Electronics*, vol. 13, no. 11, p. 2225, 2024.
- [6] I. Shchur, Y. Biletskyi, and B. Kopchak, "Efficiency Analysis and Optimization of Two-Speed-Region Operation of Permanent Magnet Synchronous Motor Taking into Account Iron Loss Based on Linear Non-Equilibrium Thermodynamics," *Machines*, vol. 12, no. 11, p. 826, 2024.
- [7] V. Kazakbaev, V. Prakht, V. Dmitrievskii, M. N. Ibrahim, S. Oshurbekov, and S. Sarapulov, "Efficiency analysis of low electric power drives employing induction and synchronous reluctance motors in pump applications," *Energies*, vol. 12, no. 6, p. 1144, 2019.
- [8] J. Du *et al.*, "Investigation of Eddy Current Loss and Structure Design with Magnetic-Thermal Coupling for Toothless BLDC High-Speed PM Motor," *Mach. 2022, Vol. 10, Page 118*, vol. 10, no. 2, p. 118, Feb. 2022, doi: 10.3390/MACHINES10020118.
- [9] Y. Yang, Q. He, Y. Chen, and C. Fu, "Efficiency Optimization and Control Strategy of Regenerative Braking System with Dual Motor," *Energies 2020, Vol. 13, Page 711*, vol. 13, no. 3, p. 711, Feb. 2020, doi: 10.3390/EN13030711.
- [10] Y. Li *et al.*, "Regenerative Braking Strategy of Dual-Motor EV Considering Energy Recovery and Brake Stability," *World Electr. Veh. J. 2023, Vol. 14, Page 19*, vol. 14, no. 1, p. 19, Jan. 2023,

- doi: 10.3390/WEVJ14010019.
- [11] S. Zhou, Q. Wang, and J. Liu, "Control Strategy and Simulation of the Regenerative Braking of an Electric Vehicle Based on an Electromechanical Brake," *Trans. FAMENA*, vol. 46, no. 1, pp. 23–40, Apr. 2022, doi: 10.21278/TOF.461019420.
- [12] O. C. Kivanc and O. Ustun, "Investigation of Regenerative Braking Performance of Brushless Direct Current Machine Drive System," *Appl. Sci. 2021, Vol. 11, Page 1029*, vol. 11, no. 3, p. 1029, Jan. 2021, doi: 10.3390/APP11031029.
- [13] A. M. Ajmal and V. K. Ramachandaramurthy, "Regenerative Braking of Electric Vehicle with Brushless DC Motor," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 785, pp. 280–284, 2015.
- [14] Z. Puszta, P. Kőrös, F. Szauter, and F. Friedler, "Implementation of Optimized Regenerative Braking in Energy Efficient Driving Strategies," *Energies 2023, Vol. 16, Page 2682*, vol. 16, no. 6, p. 2682, Mar. 2023, doi: 10.3390/EN16062682.
- [15] H. Dong *et al.*, "Energy-Optimal Braking Control Using a Double-Layer Scheme for Trajectory Planning and Tracking of Connected Electric Vehicles," *Chinese J. Mech. Eng. 2021 341*, vol. 34, no. 1, pp. 1–12, Aug. 2021, doi: 10.1186/S10033-021-00601-3.
- [16] Y. L. Correa, I. F. Muñoz, F. Franco Obando, and M. Bueno Lopez, "Computational Comparison of AC and DC Motors to Hydrodynamic Changes in Marine Fishing Vessels," *TecnoLógicas*, vol. 26, no. 56, p. e2442, Mar. 2023, doi: 10.22430/22565337.2442.
- [17] M. Kuczmann, "Review of DC Motor Modeling and Linear Control: Theory with Laboratory Tests," *Electron. 2024, Vol. 13, Page 2225*, vol. 13, no. 11, p. 2225, Jun. 2024, doi: 10.3390/ELECTRONICS13112225.
- [18] D. Kwon, D. V. Ahn, J. G. Kim, and Y. J. Park, "Effect Analysis of Motor Power Characteristics on the Energy Consumption of Dual Motor Driven Powertrain for Electric Tractor," *J. Biosyst. Eng. 2024 494*, vol. 49, no. 4, pp. 465–475, Dec. 2024, doi: 10.1007/S42853-024-00245-W.
- [19] P. Spanoudakis, N. C. Tsurveloudis, L. Doitsidis, and E. S. Karapidakis, "Experimental research of transmissions on electric vehicles' energy consumption," *Energies*, vol. 12, no. 3, p. 388, 2019.