

## ANALISA SISTEM MOTOR PENGGERAK PADA MOBIL LISTRIK TERHADAP VARIASI BOBOT PENGEMUDI

*Analysis of the Electric Vehicle Drive Motor System with Respect to Variations in Driver Weight*

Merpatih<sup>1</sup>, Simon Petrus<sup>2</sup>, Satria Aldi Armanda<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Dosen Prodi. Perawatan dan Perbaikan Mesin, Politeknik Negeri Samarinda

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Mesin, Mahasiswa Prodi. Perawatan dan Perbaikan Mesin, Politeknik Negeri Samarinda  
Jl.Dr.Ciptomangunkusumo Kampus Gunung Lipan, Samarinda Seberang, Kota Samarinda

e-mail: <sup>1</sup>merpatih1966@yahoo.com, <sup>2</sup>s\_pet66@yahoo.com, <sup>3</sup>satriaaldi123@yahoo.com

### Info Artikel

Riwayat Artikel:

Diterima: 06/11/2025

Diterima dalam bentuk revisi:

11/11/2025

Diteima/publis: 13/11/2025

### Kata Kunci :

*Electric car, speed, driving motor, weight variation*

### Abstrak

Pada tahun 2023, Tim Kyra untuk pertama kalinya mengikuti Kompetisi Mobil Listrik Indonesia di Politeknik Negeri Bandung yang melombakan beberapa kategori *dynamic event* seperti percepatan, pengereman, daya tanjak, slalom, dan *endurance*. Mobil listrik pertama kali diperkenalkan oleh Robert Anderson pada tahun 1832–1839 di Skotlandia, namun perkembangannya terhambat oleh murahnya bahan bakar minyak dan dominasi mesin pembakaran dalam. Penelitian ini bertujuan menganalisis kebutuhan arus dan daya pada motor listrik sebagai sistem penggerak mobil listrik terhadap variasi bobot pengemudi. Metode eksperimen digunakan dengan tiga kali pengambilan data pada setiap variasi beban, menempuh jarak 2.000 meter dengan kecepatan konstan 40 km/jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya yang dibutuhkan meningkat seiring bertambahnya bobot pengemudi: 1.113,84 W untuk 50 kg, 1.176,56 W untuk 60 kg, dan 1.224,60 W untuk 80 kg. Hasil ini menjadi acuan dalam perancangan sistem penggerak dan efisiensi energi kendaraan listrik.

### Abstract

*In 2023, the Kyra Team participated for the first time in the Indonesian Electric Vehicle Competition held at Bandung State Polytechnic. The competition comprised several dynamic events, including acceleration, braking, hill climb, slalom, and endurance. Electric vehicles were first introduced by Robert Anderson between 1832 and 1839 in Scotland, yet their development declined due to cheap fossil fuels and the dominance of internal-combustion engines. This study aims to analyze the current and power demand of the electric motor used as the propulsion system of an electric vehicle under varying driver weights. An experimental method was applied with three data-collection trials for each load variation over 2,000 meters at a constant speed of 40 km/h. The results show that required power increases with driver mass: 1,113.84 W (50 kg), 1,176.56 W (60 kg), and 1,224.60 W (80 kg). These findings demonstrate that driver weight significantly affects energy consumption and can serve as a reference for optimizing powertrain design and energy efficiency in future electric vehicles.*

## PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi kendaraan listrik saat ini menjadi fokus global dalam upaya mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan menekan emisi karbon yang berkontribusi terhadap perubahan iklim. Menurut *International Energy Agency (IEA, 2023)*, jumlah kendaraan listrik di dunia telah meningkat lebih dari 40% setiap tahun selama dekade terakhir, sejalan dengan dorongan menuju energi bersih dan keberlanjutan sektor transportasi. Mobil listrik dinilai lebih efisien dibandingkan kendaraan bermesin pembakaran dalam karena konversi energi listrik ke energi mekanik dapat mencapai efisiensi di atas 85%, jauh lebih tinggi dari efisiensi termal mesin konvensional yang hanya berkisar antara 25–35% [1], [2].

Motor listrik merupakan komponen utama dalam sistem penggerak kendaraan listrik, di mana performa dan efisiensinya sangat dipengaruhi oleh parameter operasional seperti torsi, arus, tegangan, dan massa kendaraan. Studi oleh Brylysty et al. (2022) menunjukkan bahwa peningkatan beban kendaraan secara signifikan meningkatkan torsi dan arus yang diserap motor, sehingga mengakibatkan kenaikan konsumsi energi dan suhu operasi motor. Hasil ini diperkuat oleh penelitian Popescu dan Craiu (2023) yang menganalisis konsumsi energi pada sistem penggerak kendaraan listrik berbasis motor BLDC ganda, dan menemukan bahwa distribusi beban serta karakteristik torsi berbanding lurus dengan efisiensi daya total sistem. Sementara itu, Sinuraya et al. (2020) menegaskan bahwa hubungan linier antara torsi beban dan arus input menjadi indikator utama performa motor listrik dalam kendaraan ringan. Oleh karena itu, analisis variasi beban terhadap daya motor listrik menjadi penting untuk merumuskan strategi optimasi efisiensi energi dan desain sistem penggerak kendaraan listrik masa depan [3], [4], [5].

Kendaraan listrik generasi modern dirancang untuk efisiensi maksimum melalui kombinasi desain aerodinamis, sistem manajemen baterai cerdas, dan

kontrol torsi adaptif [6]. Namun, beberapa penelitian eksperimental menunjukkan bahwa faktor eksternal seperti bobot pengemudi dan beban tambahan memiliki dampak signifikan terhadap konsumsi energi total kendaraan, terutama pada kondisi percepatan dan kecepatan konstan [7]. Peningkatan bobot kendaraan menyebabkan peningkatan gaya traksi yang dibutuhkan dan memperbesar arus beban motor, sehingga memengaruhi efisiensi energi secara keseluruhan [8].

Berbagai penelitian telah membahas strategi optimasi sistem penggerak kendaraan listrik, seperti pengendalian kecepatan berbasis *field-oriented control (FOC)* dan pemilihan material ringan untuk mengurangi massa total kendaraan [9]. Namun, studi yang secara spesifik meneliti pengaruh variasi bobot pengemudi terhadap kebutuhan arus dan daya motor listrik pada kendaraan ringan masih sangat terbatas [7]. Padahal, dalam kondisi nyata di lapangan, variasi bobot pengemudi dapat menyebabkan fluktuasi energi yang signifikan, terutama pada tahap akselerasi dan stabilisasi kecepatan [10].

Paradigma efisiensi sistem propulsi kendaraan listrik pada beban yang meningkat telah ditinjau dalam studi-terkini. Sebagai contoh, penelitian oleh Energy-efficiency trade-offs in small to large electric vehicles menunjukkan bahwa konsumsi energi kendaraan listrik meningkat secara signifikan dengan kenaikan massa kendaraan seperti kenaikan 46–60% ketika massa kendaraan menggandakan beratnya [11]. Selain itu, studi Research of Load Impact on Energy Consumption in an Electric Delivery Vehicle Based on Real Driving Conditions mengungkapkan bahwa tambahan beban pada kendaraan komersial ringan secara nyata meningkatkan kebutuhan daya dan arus motor listrik di kondisi jalan nyata [7]. Temuan-temuan ini menegaskan bahwa karakterisasi performa motor listrik terhadap variasi bobot, terutama dalam konteks beban tambahan atau massa pengemudi, sangat penting untuk optimasi

sistem kontrol dan desain energi kendaraan listrik.

Mobil listrik pertama kali dikembangkan oleh Robert Anderson di antara tahun 1832–1839 — beliau membangun sebuah kereta listrik primitif yang digerakkan oleh baterai non-isi ulang (rechargeable) di Skotlandia. Kemajuan teknologi mesin pembakaran dalam serta harga bahan bakar minyak yang rendah kemudian menghambat pengembangan kendaraan listrik selama beberapa dekade [12]. Seiring dengan peningkatan kesadaran global terhadap isu lingkungan dan perubahan iklim, pengembangan kendaraan listrik kembali mendapat perhatian — mencakup desain motor listrik, sistem baterai yang lebih baik, dan upaya peningkatan efisiensi penggunaan energi.

Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kebutuhan arus dan daya motor listrik terhadap variasi bobot pengemudi pada kendaraan listrik ringan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan sistem propulsi kendaraan listrik yang lebih efisien melalui pemahaman empiris mengenai hubungan antara massa pengemudi, konsumsi energi, dan performa motor listrik [13].

## TINJAUAN PUSTAKA

Kendaraan listrik (electric vehicle, EV) merupakan inovasi utama dalam transisi menuju sistem transportasi berkelanjutan, karena menghasilkan efisiensi energi yang lebih tinggi dan emisi yang jauh lebih rendah dibandingkan kendaraan berbasis bahan bakar fosil. Efisiensi energi pada EV dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk desain sistem motor penggerak, berat total kendaraan, kondisi jalan, gaya aerodinamika, serta strategi pengendalian daya (power management system) [11], [14].

Motor listrik berfungsi mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dan menjadi komponen paling krusial dalam sistem propulsi kendaraan. Kinerja motor ini sangat dipengaruhi oleh besar arus dan torsi yang dihasilkan, yang bergantung pada

beban mekanis serta kondisi operasi. Peningkatan beban pada kendaraan menyebabkan kenaikan arus beban, sehingga konsumsi energi total bertambah dan efisiensi menurun [15], [16].

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji pengaruh massa kendaraan terhadap efisiensi energi. Sebagai contoh, studi oleh Energy efficiency trade-offs in small to large electric vehicles menunjukkan bahwa konsumsi energi kendaraan listrik meningkat secara signifikan dengan bertambahnya massa kendaraan — sekitar 0,6 kWh/100 km untuk setiap tambahan 100 kg massa [11]. Selain itu, penelitian Research of Load Impact on Energy Consumption in an Electric Delivery Vehicle Based on Real Driving Conditions melaporkan bahwa kendaraan listrik dengan beban tambahan menunjukkan peningkatan konsumsi energi hingga hampir 20% dalam kondisi pengemudian kota dibandingkan tanpa beban [7]. Temuan-temuan ini menegaskan bahwa beban ekstra (massa kendaraan atau pengemudi) dapat secara nyata meningkatkan konsumsi energi dan harus dipertimbangkan dalam desain dan analisis efisiensi kendaraan listrik..

Selain faktor beban, strategi kontrol motor turut memengaruhi performa energi kendaraan listrik. Sebagai contoh, penelitian oleh Soliman (2016) membandingkan kontrol Field-Oriented Control (FOC) dan Direct Torque Control (DTC) pada motor induksi dan menunjukkan bahwa FOC memiliki keunggulan dalam menurunkan distorsi arus dan getaran torsi dibanding DTC [17].

Faktor lingkungan dan kondisi jalan turut berperan penting dalam konsumsi daya kendaraan. studi oleh Ciešlik dan Antczak (2023) menunjukkan bahwa peningkatan beban kendaraan listrik ringan secara nyata meningkatkan konsumsi energi dalam kondisi pengemudian nyata; beban tambahan meningkatkan arus yang diperlukan untuk menjaga kecepatan dan memperbesar kehilangan energi terutama saat tanjakan dan permukaan jalan kasar [7]. Selain itu, penelitian oleh Brüll dan Wilke

(2023) dalam Exploring the impact of vehicle lightweighting in terms of energy consumption menemukan bahwa pengurangan massa kendaraan secara signifikan mengurangi konsumsi energi—menunjukkan bahwa bobot tambahan (termasuk pengemudi/penumpang) memiliki kontribusi nyata terhadap beban berlebih pada sistem penggerak [18]. Dengan demikian, bobot pengemudi dapat dipandang sebagai bagian dari total beban kendaraan yang memengaruhi arus motor dan daya yang dikonsumsi, terutama ketika kondisi jalan dan lingkungan (tan rempah, tanjakan, serta resistansi gulir) memperkuat efek beban tambahan tersebut.

Dalam aspek desain motor listrik untuk kendaraan, beberapa studi menunjukkan bahwa peningkatan beban linier atau variasi massa berpengaruh signifikan terhadap rugi-rugi tembaga dan efisiensi motor. Sebagai contoh, penelitian oleh Du et al. (2022) pada mesin magnet permanen kecepatan tinggi mengidentifikasi bahwa rugi tembaga AC meningkat secara signifikan dengan peningkatan frekuensi dan arus operasi, sehingga mengurangi efisiensi total mesin [19]. Studi lain yang lebih aplikatif pada sistem penggerak kendaraan listrik menyebutkan bahwa optimasi gulungan dan arus motor sangat penting untuk menekan rugi-rugi tembaga agar efisiensi tetap tinggi pada beban nyata [20].

Selain dari sisi motor, pemilihan material rangka dan bodi kendaraan juga menjadi aspek penting dalam mengurangi beban total. Sebagai contoh, penelitian oleh Exploring the Impact of Vehicle Lightweighting in Terms of Energy Consumption: Analysis and Simulation (Energies, 2023) menemukan bahwa pengurangan massa kendaraan listrik melalui desain ringan berdampak langsung pada penurunan konsumsi energi dan memperpanjang jangkauan kendaraan terisi penuh [18]. Sementara itu, studi lain oleh On the Use of a Hybrid Metallic-Composite Design to Increase Mechanical Performance of an Automotive Chassis (Journal of Materials Engineering and Performance,

2023) menunjukkan bahwa penggunaan struktur campuran logam-komposit (hybrid metallic-composite) untuk rangka bodi kendaraan listrik dapat menurunkan bobot hingga 28 % dan meningkatkan jangkauan berkendara hingga sekitar 38 % [21].

Analisis optimasi efisiensi sistem melalui siklus mengemudi (driving cycle analysis) menunjukkan bahwa variasi bobot kendaraan berpengaruh signifikan terhadap konsumsi daya. Sebagai contoh, penelitian oleh Research of Load Impact on Energy Consumption in an Electric Delivery Vehicle Based on Real Driving Conditions: Guidance for Electrification of Light-Duty Vehicle Fleet (Cieřlik & Antczak, 2023) menunjukkan bahwa peningkatan beban kendaraan listrik ringan secara nyata meningkatkan konsumsi energi dalam kondisi pengemudian nyata [7]. Demikian pula, studi oleh Automotive Lightweight Design: Simulation Modeling of Mass-Related Consumption for Electric Vehicles (2023) yang menggunakan simulasi siklus mengemudi, menemukan bahwa pengurangan massa kendaraan memiliki dampak yang lebih besar pada konsumsi energi dalam fase akselerasi mendadak dan siklus dinamis [22].

Berdasarkan tinjauan tersebut, dapat disimpulkan bahwa massa kendaraan dan variasi beban pengemudi memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi daya motor listrik. Namun, masih sedikit penelitian eksperimental yang secara khusus menganalisis hubungan antara variasi bobot pengemudi dan kebutuhan arus motor listrik pada kendaraan listrik ringan dalam kondisi pengujian nyata (real-world test). Oleh karena itu, penelitian ini berupaya mengisi kesenjangan tersebut dengan melakukan analisis eksperimental untuk menentukan kebutuhan arus dan daya motor terhadap variasi bobot pengemudi pada kecepatan konstan.

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental untuk menganalisis pengaruh variasi bobot pengemudi terhadap konsumsi daya motor listrik tipe Brushless Direct

Current (BLDC) pada kendaraan listrik ringan. Pendekatan eksperimental dipilih untuk memperoleh hubungan empiris antara beban kendaraan dengan kebutuhan daya aktual saat kendaraan beroperasi dalam kondisi kecepatan konstan. Desain penelitian ini mengacu pada pendekatan eksperimental terapan yang banyak digunakan dalam studi efisiensi sistem propulsi listrik.

### Lokasi dan Waktu Penelitian

Eksperimen dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin, Politeknik Negeri Samarinda. Lingkungan pengujian disesuaikan agar menyerupai kondisi lintasan datar, guna meminimalkan variabel eksternal seperti hambatan aerodinamika dan gradien jalan.

### Alat dan Instrumen Penelitian

Pengambilan data dilakukan menggunakan instrumen terkalibrasi, meliputi:

1. Multimeter
2. Tachometer
3. Timbangan
4. Data logger

Akurasi pengukuran dipastikan melalui kalibrasi awal sesuai standar IEEE Std 112-2017 tentang pengujian performa motor listrik.

### Prosedur Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan sebagai berikut:

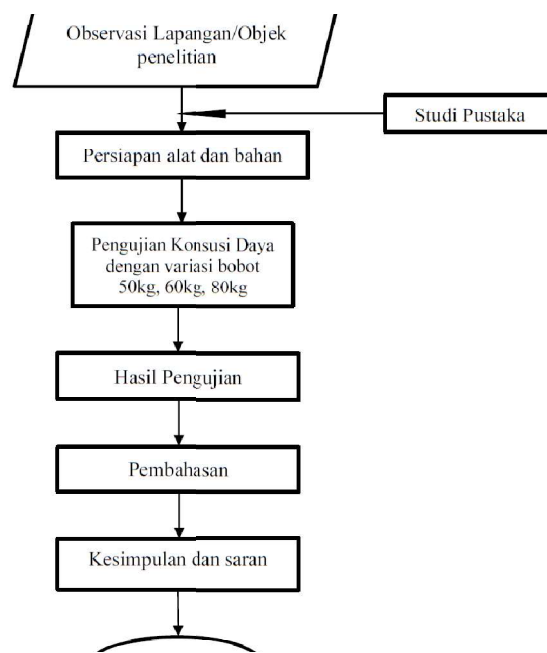
1. Persiapan alat dan kendaraan: memastikan motor, baterai, dan sistem kontrol bekerja dengan baik.
2. Pengujian awal tanpa beban, untuk memastikan sistem propulsi dalam kondisi normal.
3. Pengujian dengan variasi bobot: masing-masing bobot diuji sebanyak tiga kali pada jarak 2000 meter dengan kecepatan konstan 40 km/jam.
4. Pencatatan data arus dan tegangan secara real-time selama kendaraan beroperasi.

5. Perhitungan daya rata-rata ( $P = V \times I$ ) untuk setiap variasi bobot.

Metodologi ini sejalan dengan pendekatan yang digunakan dalam penelitian eksperimental efisiensi energi kendaraan listrik ringan oleh Awal et al. (2021) dan Nguyen et al. (2020), di mana parameter beban dinamis dianalisis terhadap konsumsi energi sistem propulsi.

### Teknik Analisis Data

Data hasil eksperimen dianalisis secara kuantitatif menggunakan metode analisis regresi linier sederhana untuk menentukan pengaruh bobot pengemudi terhadap konsumsi daya. Hubungan antara bobot dan daya divisualisasikan dalam bentuk grafik serta diuji menggunakan koefisien determinasi ( $R^2$ ). Nilai  $R^2$  digunakan untuk menilai seberapa kuat variabel beban mempengaruhi daya motor.



### HASIL PEMBAHASAN

#### Hasil Pengujian

Penelitian dilakukan dengan menguji kendaraan listrik ringan yang menggunakan motor Brushless Direct Current (BLDC) berdaya 2000 W dan sistem baterai  $\text{LiFePO}_4$  72 V. Pengujian dilakukan pada lintasan sejauh 2000 meter dengan kecepatan konstan 40 km/jam. Variasi beban dilakukan terhadap tiga massa pengemudi, yaitu 50 kg, 60 kg, dan 80 kg.

Dari hasil pengukuran arus dan tegangan selama pengujian, diperoleh rata-rata konsumsi daya sebagai berikut:

1. Bobot pengemudi 50 kg → daya rata-rata 1.113,84 W
2. Bobot pengemudi 60 kg → daya rata-rata 1.176,56 W
3. Bobot pengemudi 80 kg → daya rata-rata 1.224,60 W

Data tersebut menunjukkan bahwa peningkatan bobot pengemudi berbanding lurus dengan peningkatan konsumsi daya motor. Semakin besar beban yang ditanggung oleh sistem penggerak, semakin besar arus yang mengalir ke motor, sehingga kebutuhan energi meningkat.

**Tabel.1** Pengujian jarak 2000 meter dan beban 50 kg

Pengujian dengan jarak tempuh 2000 meter Dengan kecepatan 40 km/jam						
Percobaan	Jarak (meter)	Massa (kg)	Waktu (menit)	Arus (ampere)	Tegangan (volt)	Daya (watt)
1	2000	50	3	14,3	76,6	1.095,38
2				14,6	76,5	1.116,9
3				14,8	76,3	1.129,24
Rata-rata				14,5	76,4	1.113,84

**Tabel.2** Pengujian jarak 2000 meter dan beban 60 kg

Pengujian dengan jarak tempuh 2000 meter Dengan kecepatan 40 km/jam						
Percobaan	Jarak (meter)	Massa (kg)	Waktu (menit)	Arus (ampere)	Tegangan (volt)	Daya (watt)
1	2000	60	3	15,2	76,7	1.165,84
2				15,4	76,6	1.179,64
3				15,5	76,4	1.184,2
Rata-rata				15,3	76,5	1.176,56

**Tabel.3** Pengujian jarak 2000 meter dan beban 80 kg

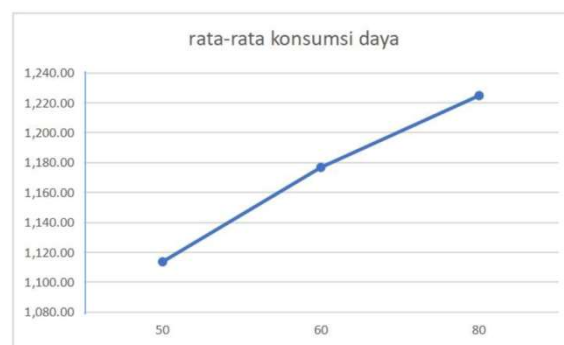
Pengujian dengan jarak tempuh 2000 meter Dengan kecepatan 40 km/jam						
Percobaan	Jarak (meter)	Massa (kg)	Waktu (menit)	Arus (ampere)	Tegangan (volt)	Daya (watt)
1	2000	80	3	15,7	76,9	1.207,33
2				15,9	76,7	1.219,53
3				16,3	76,5	1.246,95
Rata-rata				15,9	76,7	1.224,60

### Analisis Perbandingan Daya

Kecenderungan peningkatan konsumsi daya menunjukkan adanya hubungan linier

positif antara beban dan daya. Perbedaan daya antara beban 50 kg dan 80 kg mencapai 110,76 W, yang setara dengan peningkatan sekitar 9,9% terhadap daya rata-rata. Kenaikan ini disebabkan oleh peningkatan gaya traksi yang dibutuhkan untuk mempertahankan kecepatan konstan saat massa total kendaraan bertambah.

Fenomena ini menjelaskan bahwa beban tambahan meningkatkan torsi kerja motor, sehingga arus input ke motor bertambah. Pada sistem BLDC, arus input berbanding lurus dengan torsi keluaran, sehingga konsumsi energi akan meningkat secara proporsional terhadap beban mekanis yang diterima.



**Gambar 2.** Grafik rata-rata konsumsi daya

### Pengaruh Beban terhadap Efisiensi Energi

Efisiensi energi kendaraan listrik sangat dipengaruhi oleh interaksi antara massa kendaraan, kondisi jalan, dan strategi kontrol motor. Pada kondisi uji kecepatan tetap, peningkatan bobot pengemudi menyebabkan motor bekerja lebih berat untuk mempertahankan kecepatan, yang pada akhirnya menurunkan efisiensi konversi energi listrik menjadi energi mekanik.

Jika dihitung berdasarkan daya maksimum motor 2000 W, maka konsumsi daya rata-rata pada pengujian dengan beban 80 kg mencapai sekitar 61,2% dari kapasitas motor maksimum, sedangkan pada beban 50 kg hanya 55,7%. Hal ini menunjukkan bahwa tambahan beban sebesar 30 kg meningkatkan kebutuhan daya sekitar 5,5% dari kapasitas nominal motor.

## Implikasi terhadap Desain dan Operasional Kendaraan Listrik

Hasil ini memberikan implikasi penting terhadap desain dan pengoperasian kendaraan listrik ringan. Untuk menjaga efisiensi sistem propulsi, kendaraan harus dirancang dengan memperhatikan rasio daya terhadap berat (power-to-weight ratio) yang optimal. Desain rangka dan bodi yang ringan, serta distribusi beban yang seimbang antara bagian depan dan belakang kendaraan, dapat mengurangi beban torsi pada motor.

Selain itu, sistem kontrol motor yang mampu menyesuaikan suplai arus secara adaptif terhadap perubahan beban juga menjadi kunci untuk meningkatkan efisiensi energi. Dengan demikian, kombinasi antara desain ringan dan pengendalian daya yang presisi dapat mengoptimalkan performa kendaraan sekaligus memperpanjang umur pakai baterai.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan terhadap sistem motor penggerak Brushless Direct Current (BLDC) pada kendaraan listrik ringan dengan variasi bobot pengemudi, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi bobot pengemudi berpengaruh langsung terhadap konsumsi daya motor listrik. Semakin besar bobot pengemudi, maka semakin besar pula daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan kendaraan pada kecepatan dan jarak yang sama.
2. Hubungan antara bobot kendaraan dan daya bersifat linier positif. Peningkatan beban mengakibatkan kenaikan arus kerja motor, sehingga konsumsi energi listrik meningkat seiring pertambahan massa pengemudi.
3. Efisiensi motor BLDC menurun dengan bertambahnya beban mekanis. Hal ini menunjukkan bahwa pembebanan berlebih dapat

mengurangi performa sistem propulsi dan mempercepat penurunan daya baterai.

4. Desain kendaraan listrik ringan perlu mempertimbangkan distribusi beban dan efisiensi sistem penggerak. Pemilihan material rangka yang ringan dan sistem kontrol motor yang responsif terhadap beban menjadi faktor penting untuk menjaga efisiensi energi kendaraan.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa beban pengemudi merupakan parameter utama yang mempengaruhi kinerja dan efisiensi daya motor listrik, sehingga perlu menjadi perhatian dalam perancangan dan pengembangan kendaraan listrik di masa mendatang.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Tetik and Y. Karagoz, "Remarkable results of energy consumption and CO2 emissions for gasoline and electric powered vehicle," *Sci. Prog.*, vol. 108, no. 1, p. 00368504241305897, 2025.
- [2] J. A. Sanguesa, V. Torres-Sanz, P. Garrido, F. J. Martinez, and J. M. Marquez-Barja, "A review on electric vehicles: Technologies and challenges," *Smart Cities*, vol. 4, no. 1, pp. 372–404, 2021.
- [3] V. Brylysty, O. S. Nazarova, and V. Osadchyy, "Torque measurement for researching the energy characteristics of electric vehicle drives," *Electr. Eng. Power Eng.*, no. 4, pp. 36–44, Apr. 2021, doi: 10.15588/1607-6761-2021-4-4.
- [4] L. Popescu and O. Craiu, "Energy consumption analysis for an EV powertrain using three BLDC identical motors," *Rev. Roum. des Sci. Tech. Électrotechnique Énergétique*, vol. 68, no. 2, pp. 152–157, 2023.
- [5] Denis *et al.*, "Power and Torque Analysis in Electric Vehicle

- Prototype Design,” *Int. J. Adv. Sci. Res. Eng. (IJASRE)*, ISSN2454-8006, DOI 10.31695/IJASRE, vol. 6, no. 11, pp. 20–30, Nov. 2020, doi: 10.31695/IJASRE.2020.33928.
- [6] H. Zhang, C. Zhou, C. Wang, and W. Zhao, “An energy efficient control strategy for electric vehicle driven by in-wheel-motors based on discrete adaptive sliding mode control,” *Chinese J. Mech. Eng.*, vol. 36, no. 1, p. 58, 2023.
- [7] W. Cieslik and W. Antczak, “Research of load impact on energy consumption in an electric delivery vehicle based on real driving conditions: guidance for electrification of light-duty vehicle fleet,” *Energies*, vol. 16, no. 2, p. 775, 2023.
- [8] R. Bima and I. M. Mara, “The Effect Of Gear Ratio Variations And Vehicle Weight On Energy Efficiency In Electric Prototype Vehicles Of The Engineering Faculty Of Mataram University,” *ROTASI*, vol. 27, no. 1, pp. 23–28.
- [9] Z. Gmyrek, “Optimal Electric Motor Designs of Light Electric Vehicles: A Review,” *Energies*, vol. 17, no. 14, p. 3462, 2024.
- [10] M. Choi, J. Cha, and J. Song, “Impact of lightweighting and driving conditions on electric vehicle energy consumption: In-depth analysis using real-world testing and simulation,” *Energy*, vol. 323, p. 135746, 2025.
- [11] M. Weiss, K. C. Cloos, and E. Helmers, “Energy efficiency trade-offs in small to large electric vehicles,” *Environ. Sci. Eur.*, vol. 32, no. 1, p. 46, 2020.
- [12] R. K. Nanwatkar, S. Joshi, P. Jawale, A. Warade, and N. Andhale, “Design and Simulation of Self Charging Electric Bicycle,” *J. Sci. Technol.*, vol. 06, no. 01, pp. 524–530, 2021.
- [13] J. P. F. Trovao and M. C. Ta, “Electric Vehicle Efficient Power and Propulsion Systems,” 2022, MDPI.
- [14] G. Saly, F. Szauter, and S. Kocsis Szürke, “Comprehensive Analysis of the Factors Affecting the Energy Efficiency of Electric Vehicles and Methods to Reduce Consumption: A Review,” *Eng. Proc.*, vol. 79, no. 1, p. 79, 2024.
- [15] S. Salamone, B. Lenzo, G. Lutzemberger, F. Bucchi, and L. Sani, “On the investigation of energy efficient torque distribution strategies through a comprehensive powertrain model,” *Sustainability*, vol. 13, no. 8, p. 4549, 2021.
- [16] N. G. M. Thao, N. Denis, Y. Wu, S. Odawara, and K. Fujisaki, “Study of the effect of load torque on the iron losses of permanent magnet motors by using finite element analysis,” *IEEJ J. Ind. Appl.*, vol. 8, no. 3, pp. 522–531, 2019.
- [17] H. M. Soliman, “Performance Characteristics of Induction Motor with Field Oriented Control Compared to Direct Torque Control,” *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, vol. 7, no. 4, pp. 1125–1133, Dec. 2016, doi: 10.11591/IJPEDS.V7.I4.PP1125-1133.
- [18] G. Sandrini, M. Gadola, D. Chindamo, A. Candela, and P. Magri, “Exploring the impact of vehicle lightweighting in terms of energy consumption: analysis and simulation,” *Energies*, vol. 16, no. 13, p. 5157, 2023.
- [19] G. Du, W. Ye, Y. Zhang, L. Wang, and T. Pu, “Comprehensive analysis of influencing factors of AC copper loss for high-speed permanent magnet machine with round copper wire windings,” *Machines*, vol. 10, no. 9, p. 731, 2022.
- [20] A. Hebala, S. Nuzzo, P. H. Connor, G. Volpe, C. Gerada, and M. Galea, “Analysis and mitigation of AC losses in high performance propulsion motors,” *Machines*, vol. 10, no. 9, p. 780, 2022.

- [21] A. Garofano, V. Acanfora, F. Fittipaldi, and A. Riccio, “On the use of a hybrid metallic-composite design to increase mechanical performance of an automotive chassis,” *J. Mater. Eng. Perform.*, vol. 32, no. 9, pp. 3853–3870, 2023.
- [22] F. Del Pero, L. Berzi, A. Antonacci, and M. Delogu, “Automotive lightweight design: simulation modeling of mass-related consumption for electric vehicles,” *Machines*, vol. 8, no. 3, p. 51, 2020.