

Analisis Performa Sepeda Listrik Roda Tiga (*E-Trike*) Aviator AT 230 Pada Mode Normal menggunakan *Chassis Dynamometer*

Chaska Akhila Ade Diandra^{1*}, Ferly Isnomo Abdi², Sudirman Rizki Ariyanto³, Aji Nugroho⁴

¹Mechanical Engineering, Faculty of Vocational Studies, Universitas Negeri Surabaya, 60231 Surabaya, Indonesia

²Automotive Engineering Technology, Faculty of Vocational Studies, Universitas Negeri Surabaya, 60231 Surabaya, Indonesia

³Automotive Engineering Technology, Faculty of Vocational Studies, Universitas Negeri Surabaya, 60231 Surabaya, Indonesia

⁴Mechanical Engineering, Faculty of Vocational Studies, Universitas Negeri Surabaya, 60231 Surabaya, Indonesia

* All affiliations should be indicated with a lower-case or roman number as a superscript letter directly after the author's name and in front of the corresponding address. Please provide the complete postal address of each affiliation (with the country name)

ABSTRACT – Sepeda listrik roda tiga (*e-trike*) semakin berkembang sebagai solusi transportasi berkelanjutan di Indonesia, namun penelitian terukur mengenai performa mode operasi komersial masih terbatas. Masih terbatas studi kuantitatif yang membandingkan performa mode normal dengan variasi beban menggunakan *chassis dynamometer* di Indonesia. Oleh karena itu, melalui paper ini akan dilakukan pengujian laboratorium menggunakan *chassis dynamometer single-roller*. Pengukuran dilakukan pada mode Normal dengan tiga variasi beban pengguna (70 kg, 90 kg, 110 kg) untuk mengevaluasi torsi, daya mekanik, dan efisiensi sistem penggerak. Data torsi dan RPM akan direkam oleh sistem dinamometer, sedangkan arus dan tegangan akan diambil dari pembacaan *power analyzer*, kemudian data akan digunakan untuk perhitungan daya mekanik dan efisiensi. Temuan penelitian ini menunjukkan hasil sebagai berikut: pada beban 70 kg menghasilkan torsi 1,00 N·m dengan daya mekanik 474,8 W dan efisiensi 90,9%, pada beban 90 kg torsi meningkat menjadi 1,08 N·m dengan daya 455,0 W dan efisiensi 83,3%, namun pada beban 110 kg menurun drastis menjadi torsi 0,86 N·m dengan daya 422,0 W dan efisiensi 73,6%. Penurunan tersebut disebabkan aktivasi pembatasan arus (*current limiting*) oleh controller pada beban 110 kg untuk penghematan daya. Mode Normal terbukti memiliki zona operasi optimal pada rentang beban 70–90 kg dengan responsivitas torsi yang stabil, menjadikannya pilihan operasi terbaik untuk penggunaan harian pada berbagai kondisi beban tanpa perlu switching mode

ARTICLE HISTORY

Received: 21 Januari 2026

Revised: 27 Januari 2026

Accepted: 11 Februari 2026

Published: 31 Maret 2026

KEYWORDS

Sepeda listrik roda tiga, Aviator AT 230, motor BLDC, efisiensi, kurva torsi, daya mekanik

1.0 PENDAHULUAN

Kendaraan listrik ringan menjadi solusi transportasi berkelanjutan di Asia Tenggara, khususnya sepeda listrik roda tiga (*e-trike*) yang menawarkan stabilitas dan kapasitas angkut lebih besar dibanding roda dua. Di Indonesia, regulasi Permenhub Nomor 45 Tahun 2020 mendukung transisi ini, namun penelitian terukur mengenai performa operasional *e-trike* komersial pada berbagai mode kecepatan masih terbatas.

Sepeda listrik Aviator AT 230 dipilih karena dapat mewakili *e-trike* di pasaran, Aviator AT 230 memiliki tiga mode operasi: Eco, Normal, dan Sport. Mode Normal dirancang sebagai mode standar untuk penggunaan harian dengan keseimbangan optimal antara performa dan efisiensi energi. Penelitian terdahulu banyak berfokus pada optimalisasi topologi motor dan kepadatan daya [1], serta pendekatan kontrol berbasis *fuzzy logic* untuk sistem bantuan tenaga [2], tanpa membandingkan performa antarmode operasi dan efisiensi pada kondisi variasi beban nyata, khususnya pada *e-trike* komersial di Indonesia. Belum ada studi yang secara kuantitatif membandingkan performa mode Normal dengan variasi beban (70–110 kg) menggunakan *chassis dynamometer* [3] sebagai dasar analisis efisiensi dan rekomendasi pemilihan mode operasional pada penggunaan harian.

Penelitian ini bertujuan untuk menyajikan data kuantitatif performa mode Normal pada Aviator AT 230 menggunakan *chassis dynamometer* pada tiga variasi beban di kondisi laboratorium terkendali. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan rekomendasi berbasis bukti bagi pengguna berdasarkan beban yang dimuat pada kendaraan untuk optimalisasi performa dan efisiensi energi.

2.0 INSTRUMEN DAN METODE

2.1 Instrumen Penelitian

Pada subbab ini menyajikan tentang spesifikasi kendaraan yang akan di uji, serta peralatan yang digunakan ketika pengujian dilaksanakan.

2.1.1 Spesifikasi Objek Penelitian

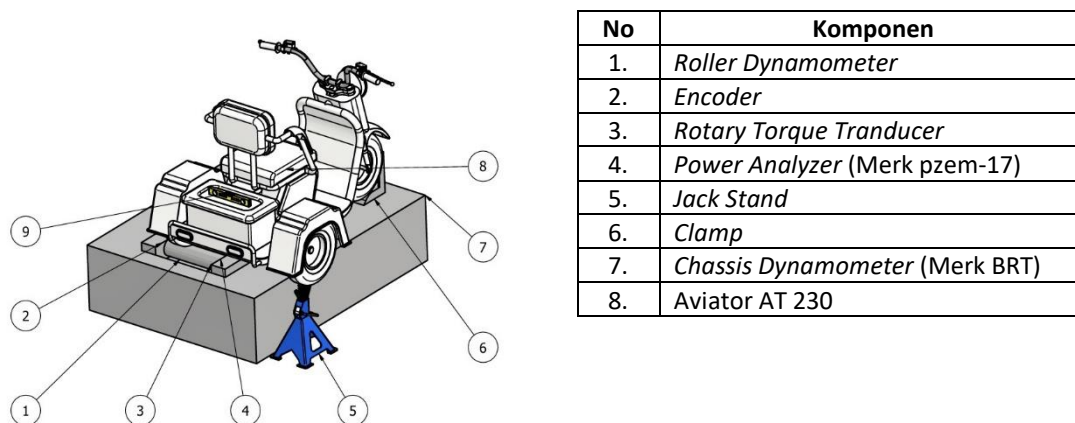
Penelitian ini menggunakan sepeda listrik Aviator AT 230 sebagai objek uji dengan spesifikasi kendaran, sebagaimana disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Sepeda Listrik Aviator AT 230

Komponen	Spesifikasi
Tipe Kendaraan	Sepeda listrik roda tiga (e-trike)
Motor	BLDC ± 650 W
Baterai	48 V / 20 Ah (Lithium-Ion)
Mode Kecepatan	Eco, Normal, Sport, Reverse
Sistem Penggerak	Roda belakang
Kapasitas Angkut	± 150 kg (termasuk pengendara)
Kecepatan Maksimum	± 33 km/jam
Dimensi Kendaraan	$\pm 1480 \times 740 \times 1030$ mm
Massa Kendaraan	± 96 kg (tanpa pengendara)
Fitur Tambahan	Rem cakram, lampu LED, indikator baterai

2.1.2 Komponen Penelitian

Komponen penelitian yang digunakan dalam penelitian ini disajikan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Komponen Penelitian Dyno Test

2.2 Metode Penelitian

2.2.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan eksperimental laboratorium menggunakan *chassis dynamometer single-roller*. Pengukuran dilakukan pada tiga variasi beban pengguna (70 kg, 90 kg, 110 kg) untuk mengevaluasi respons mode Normal terhadap kondisi beban berbeda. Menurut

[3] pendekatan laboratorium dapat memudahkan kontrol beban, sehingga dapat menghasilkan data performa yang repeatable dan dapat dibandingkan lintas studi.

2.2.2 Teknik Pengujian

Kendaraan diposisikan pada roller *dynamometer* dengan roda penggerak satu ditekan ke roller, roda yang lain disangga *jack stand* untuk menjaga stabilitas. *Waterpass* digunakan untuk memverifikasi keselarasan, agar beban terbagi secara merata. *Power analyzer* dipasang untuk merekam arus dan tegangan input secara real-time. Pengujian dilakukan pada mode Normal dengan durasi maksimal 10 menit per sesi pada setiap roda penggerak (kanan dan kiri) untuk setiap beban. Untuk memastikan repeatability pengujian, setiap kondisi beban (70 kg, 90 kg, dan 110 kg) diuji sebanyak dua kali pada masing-masing roda penggerak (kanan dan kiri) dengan prosedur dan parameter yang sama. Hasil pengujian dinyatakan repeatable apabila selisih nilai torsi dan daya mekanik antar pengulangan berada dalam batas toleransi $\pm 5\%$, sedangkan selisih arus dan tegangan berada dalam batas $\pm 3\%$. Apabila selisih data melebihi batas toleransi tersebut, pengujian diulang hingga diperoleh kurva torsi dan daya yang stabil. Pendekatan ini mengacu pada praktik pengujian chassis dynamometer kendaraan listrik ringan untuk meminimalkan pengaruh slip ban-roller dan fluktuasi termal selama pengujian [4], [5]. Sebelum pelaksanaan pengujian, seluruh instrumen pengukuran dilakukan proses validasi dan kalibrasi fungsional untuk memastikan akurasi data. Sensor torsi dan kecepatan pada *chassis dynamometer* diperiksa melalui prosedur *no-load test* untuk memastikan tidak terdapat kesalahan baca saat kendaraan tidak dibebani. *Power analyzer* yang digunakan untuk mengukur arus dan tegangan masukan dari baterai. Selain itu, konsistensi data antar roda kanan dan kiri digunakan sebagai validasi tambahan untuk memastikan sistem pengukuran bekerja dengan baik. Pendekatan validasi ini biasa digunakan pada pengujian kendaraan listrik ringan berbasis *chassis dynamometer* ketika kalibrasi laboratorium penuh tidak dilaporkan secara terpisah [4], [5]. Data dari kedua roda penggerak kemudian dirata-ratakan untuk memperoleh nilai akhir yang digunakan dalam analisis performa.



Gambar 2. Komponen Penelitian Dyno Test

2.3 Teknik Analisis Data

Daya mekanik dihitung menggunakan rumus [6]:

$$P_{out} = T \times \omega$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

Dengan:

P = Daya mekanik (W)

T = Torsi (N·m)

ω = Kecepatan Sudut (rad/s)

n = putaran roda (rpm)

Sedangkan daya masukan listrik diperoleh dari hasil pengukuran power analyzer:

$$P_{in} = V \times I$$

Dengan:

P = Daya Input

V = Tegangan input (Volt),

I = Arus input (Ampere).

Efisiensi sistem [6] dihitung menggunakan rumus:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \%$$

Dengan:

η = efisiensi (%),

P_{out} = daya keluaran mekanik (W),

P_{in} = daya masukan listrik (W).

3.0 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Penelitian

Subbab ini menyajikan hasil pengukuran performa Aviator AT 230 yang diperoleh melalui pengujian *chassis dynamometer*. Pengujian dilakukan pada mode Normal dengan beban variasi yang dimulai dari 70 kg, 90 kg, hingga 110 kg. Data torsi, RPM, arus, dan tegangan direkam dari pengujian pada *roller dynamometer* untuk mengevaluasi performa mode Normal pada setiap kondisi beban. Hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Performa Mode Normal pada Variasi Beban

Mode Uji	Beban (kg)	Torsi (N·m)	Putaran (rpm)	Kecepatan (km/jam)	Daya Mekanik (W)	Arus (A)	Tegangan (V)	Daya Input (W)	Efisiensi η (%)
Normal L	70	1,02	4.670	26,25	469,7	13,15	39,82	523,6	89,7
Normal R	70	0,98	4.675	26,74	480,0	12,87	40,48	521,0	89,7
Rata-rata	70	1,00	4.673	26,50	474,8	13,01	40,15	522,3	90,9
Normal L	90	1,10	4.680	25,18	447,0	13,68	39,98	546,8	81,7
Normal R	90	1,06	4.685	25,21	463,0	13,42	40,62	545,1	84,9
Rata-rata	90	1,08	4.683	25,20	455,0	13,55	40,30	546,0	83,3
Normal L	110	0,84	4.695	24,16	411,0	14,72	39,05	574,9	71,5

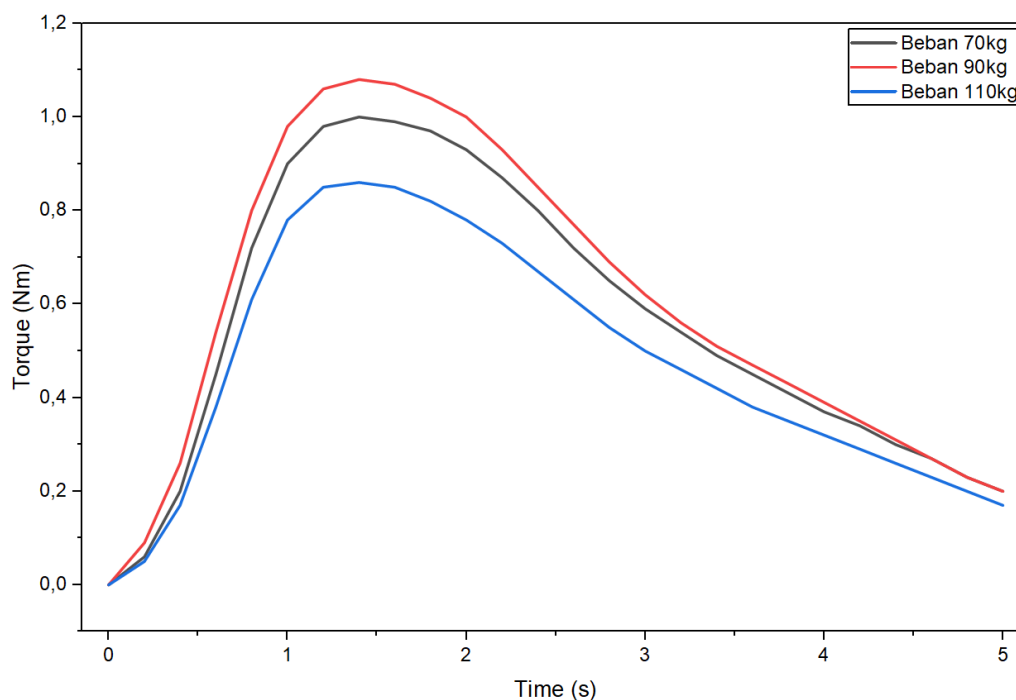
Normal R	110	0,88	4.705	24,53	433,0	14,42	39,69	572,4	75,6
Rata-rata	110	0,86	4.700	24,35	422,0	14,57	39,37	573,7	73,6

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh data mengenai performa daya mekanik dan efisiensi mode Normal pada tiga beban. Pada beban 70 kg (ringan), daya mekanik yang dihasilkan adalah 474,8 W dengan efisiensi tertinggi 90,9%. Pada beban 90 kg (sedang), daya mekanik menurun menjadi 455,0 W dengan efisiensi 83,3%. Pada beban 110 kg (berat), daya mekanik menurun menjadi 422,0 W dengan efisiensi terendah 73,6%.

3.2 Pembahasan

3.2.1 Analisis Kurva Torsi Mode Normal pada Variasi Beban

Kurva torsi mode Normal terhadap variasi beban pada Gambar 3 menunjukkan *nonlinear torque response*. Pada beban 70 kg, torsi sebesar 1,00 N·m menjadi titik referensi awal. Ketika beban meningkat ke 90 kg (penambahan 20 kg dari beban ringan), torsi meningkat menjadi 1,08 N·m. Ini menunjukkan bahwa motor pada mode Normal masih mampu merespons peningkatan beban dengan menaikkan output torsi. Namun pada beban 110 kg, terjadi penurunan signifikan torsi menjadi 0,86 N·m. Pola berlawanan arah [7] torsi naik pada beban 90 kg kemudian turun pada beban 110 kg mengindikasikan adanya mekanisme pembatasan yang diaktifkan oleh controller pada beban tertentu.



Gambar 3. Kurva Torsi Mode Normal pada Variasi Beban (70 kg, 90 kg, 110 kg)

Pola kurva torsi mode Normal mengungkap bahwa pada beban 110 kg, arus motor meningkat hingga 14,57 A, melampaui threshold yang ditetapkan oleh desain sistem kontrol [8]. Sebagai respons protektif, controller menerapkan pembatasan arus (*current limiting*) [4] untuk mencegah pemborosan baterai sehingga masa pakai yang dihasilkan dapat lebih lama, serta jarak tempuh yang jauh, mengutamakan hemat daya meski berarti mengorbankan torsi output pada beban berat.

3.2.2 Analisis Efisiensi Sistem Penggerak

Efisiensi mode Normal menurun secara bertahap seiring kenaikan beban: 90,9% (70 kg) → 83,3% (90 kg) → 73,6% (110 kg). Penurunan ini mencerminkan peningkatan rugi-rugi energi dalam sistem

motor, khususnya rugi-rugi tembaga (I^2R losses) pada belitan stator. Analisis perhitungan menunjukkan bahwa dari 13,01 A (70 kg) ke 14,57 A (110 kg), faktor I^2 meningkat sebesar 25,3%, sehingga rugi tembaga proporsional meningkat dengan kuadrat arus. Transformasi energi pada setiap beban menunjukkan pola yang konsisten: daya masukan listrik meningkat (522,3 W \rightarrow 546,0 W \rightarrow 573,7 W) sedangkan daya keluaran mekanik menurun (474,8 W \rightarrow 455,0 W \rightarrow 422,0 W). Selisih energi yang tidak terkonversi mencapai 151,7 W pada beban 110 kg. Energi yang hilang ini terdistribusi dalam bentuk panas pada belitan motor (*copper losses*), gesekan pada bearing (*friction losses*), dan losses pada elektronik kontrol [7].

Untuk memberikan konteks yang lebih luas, hasil pengujian mode Normal pada Aviator AT 230 dibandingkan dengan temuan studi terdahulu pada kendaraan listrik ringan. Penelitian oleh Treeyakarn et al. (2021) [3] melaporkan bahwa pengujian kendaraan listrik menggunakan *chassis dynamometer* menunjukkan tren penurunan efisiensi seiring peningkatan beban dan kebutuhan daya, yang konsisten dengan hasil penelitian ini, di mana efisiensi mode Normal menurun dari 90,9% pada beban 70 kg menjadi 73,6% pada beban 110 kg. Studi lain pada sepeda listrik roda dua dan sistem transmisi daya e-bike juga menunjukkan bahwa zona efisiensi optimal umumnya berada pada beban ringan hingga sedang, sementara peningkatan beban menyebabkan peningkatan rugi-rugi tembaga dan penurunan efisiensi sistem penggerak [9]. Temuan tersebut sejalan dengan hasil penelitian ini, di mana mode Normal menunjukkan performa paling stabil pada rentang beban 70–90 kg sebelum terjadi penurunan torsi dan efisiensi pada beban yang lebih berat.

Selain itu, kajian klasik oleh Muetze dan Tan (2007) [10] menunjukkan bahwa kebutuhan daya sepeda listrik meningkat secara signifikan seiring bertambahnya beban dan resistansi, yang menjelaskan peningkatan daya input dari 522,3 W menjadi 573,7 W pada penelitian ini meskipun daya mekanik keluaran justru menurun. Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya konsisten dengan tren yang dilaporkan dalam literatur terdahulu, tetapi juga memperkuat bukti bahwa mode Normal pada *e-trike* komersial memiliki karakteristik operasi optimal pada beban ringan hingga sedang untuk penggunaan harian.

4.0 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Performa daya mekanik mode Normal pada beban 70 kg menghasilkan 474,8 W dengan efisiensi tertinggi 90,9%, sedangkan pada beban 110 kg menghasilkan daya 422,0 W dengan efisiensi 73,6%, menunjukkan penurunan efisiensi seiring peningkatan beban.
2. Kurva torsi mode Normal menunjukkan *nonlinear torque response* terhadap beban dengan torsi maksimal 1,08 N·m pada beban 90 kg, kemudian turun menjadi 0,86 N·m pada beban 110 kg. Penurunan torsi pada beban berat disebabkan aktivasi pembatasan arus oleh *controller* untuk penghematan daya, mengindikasikan zona operasi optimal mode Normal berada pada rentang beban 70–90 kg.
3. Penurunan efisiensi bertahap pada beban berat disebabkan meningkatnya rugi-rugi tembaga seiring kenaikan arus input motor, dengan kehilangan energi total mencapai 151,7 W pada beban maksimal.
4. Pada beban 110 kg, meskipun mengalami penurunan efisiensi, mode Normal tetap dapat digunakan untuk keperluan harian dengan pemahaman bahwa akselerasi akan berkurang dan konsumsi energi meningkat. Mode Normal direkomendasikan untuk pengguna yang membutuhkan konsistensi performa pada berbagai kondisi beban tanpa perlu *switching mode*.

Sebagai arah penelitian lanjutan, studi berikutnya disarankan untuk mengombinasikan pengujian laboratorium berbasis chassis dynamometer dengan pengujian jalan nyata (real-world driving test) guna mengevaluasi konsistensi performa dan efisiensi mode Normal pada berbagai kondisi jalan, kemiringan, dan pola penggunaan pengguna. Selain itu, pengukuran parameter termal motor dan controller dapat dipertimbangkan untuk memperdalam analisis pengaruh pembatasan arus terhadap kinerja dan efisiensi sistem penggerak.

Dari sisi aplikatif, hasil penelitian ini dapat menjadi acuan awal bagi produsen sepeda listrik roda tiga dalam menyempurnakan strategi pengaturan mode operasi agar lebih adaptif terhadap variasi beban pengguna. Bagi regulator dan pemangku kebijakan, temuan ini memberikan indikasi bahwa karakteristik efisiensi kendaraan listrik ringan perlu dipertimbangkan dalam penyusunan pedoman teknis dan standar uji performa e-trike, khususnya untuk penggunaan harian di lingkungan perkotaan.

5.0 REFERENCES

- [1] Z. Gmyrek, "Optimal Electric Motor Designs of Light Electric Vehicles: A Review," *Energies*, vol. 17, no. 14, 2024, doi: 10.3390/en17143462.
- [2] J. S. Lee, Z. H. Chen, dan Y. Hong, "Enhancing Urban Mobility with Self-Tuning Fuzzy Logic Controllers for Power-Assisted Bicycles in Smart Cities," *Sensors*, vol. 24, no. 5, 2024, doi: 10.3390/s24051552.
- [3] P. Treeyakarn, M. Sooklamai, S. Jiracheewanun, dan J. Meearsa, "Performance Analysis of an Electric Car When Using Different Battery Types," *J. Res. Appl. Mech. Eng.*, vol. 9, no. 2, hal. 1–11, 2021, doi: 10.14456/jrame.2021.12.
- [4] M. Alhanouti dan F. Gauterin, "Thorough analysis of the reliability of measurements on chassis roller dynamometer and accurate energy consumption estimation for electric vehicles," *Energies*, vol. 16, no. 24, hal. 7994, 2023, doi: 10.3390/en16247994.
- [5] R. Noval *et al.*, "Performance Evaluation and Accuracy Analysis of a Chassis Dynamometer for Light Electric Vehicles," *World Electr. Veh. J.*, vol. 16, no. 3, hal. 1–17, 2025, doi: 10.3390/wevj16030170.
- [6] P. C. and W. Krause O. and Sudhoff, S. D. and Pekarek, S. D., *Analysis of Electric Machinery and Drive Systems*, 4 ed. Wiley-IEEE Press, 2025.
- [7] I. Boldea dan S. A. Nasar, *Electric Drives*. CRC Press/Taylor & Francis, 2016. doi: 10.1201/9781315374343.
- [8] Texas Instruments, "Brushless-DC Motor Driver Considerations and Selection Guide slvaes1a," no. June 2020, hal. 1–19, 2022, [Daring]. Tersedia pada: www.ti.com
- [9] S. P. Zhang dan T. O. Tak, "Efficiency evaluation of electric bicycle power transmission systems," *Sustain.*, vol. 13, no. 19, 2021, doi: 10.3390/su131910988.
- [10] B. Y. A. Muetze dan Y. C. Tan, "ELECTRIC BICYCLES," 2007.