

Perbandingan Efisiensi Energi dan Kinerja Motor Listrik dan Motor BBM Berdasarkan Jarak Tempuh, Perawatan, dan Suhu Operasional

Aas Wasri Hasanah*, & Zulfikar Manggau

Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur, Institut Teknologi PLN Jakarta, Jl. Lebak Bulus Tengah No.5 2, RT10/RW4, Cilandak Barat, Cilandak, Jakarta Selatan 12430.

Email Korespondensi: aas@itpln.ac.id

Abstrak

Penggunaan sepeda motor yang tinggi di Indonesia mendorong perlunya kajian mengenai kendaraan yang lebih efisien energi, ekonomis, dan aman dioperasikan. Penelitian ini bertujuan membandingkan efisiensi energi dan kinerja operasional satu unit motor listrik dengan satu unit motor berbahan bakar minyak (BBM) 109 cc pada rute sejauh 5 km dengan beban total 158 kg. Metode yang digunakan adalah eksperimen komparatif melalui sepuluh kali pengujian pada masing-masing kendaraan. Parameter yang diamati meliputi konsumsi energi, suhu operasional, kebutuhan perawatan, dan aspek keselamatan kerja selama pengujian. Konsumsi energi motor listrik diestimasi berdasarkan perubahan persentase kapasitas baterai, sedangkan konsumsi energi motor BBM dihitung melalui konversi volume Pertalite ke satuan energi menggunakan nilai kalor bahan bakar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa motor listrik mengonsumsi energi rata-rata sebesar 85,31 Wh per 5 km atau 17,06 Wh/km, sedangkan motor BBM memerlukan energi rata-rata sebesar 159,96 Wh/km. Suhu operasional motor BBM mencapai hampir 50°C, lebih tinggi dibandingkan motor listrik yang berada pada kisaran 42,8°C. Dari sisi perawatan rutin, motor BBM memerlukan penggantian oli, filter udara, dan komponen sistem pembakaran secara berkala, sedangkan motor listrik terutama memerlukan inspeksi baterai dan sistem kelistrikan. Ditinjau dari aspek keselamatan kerja, motor listrik menunjukkan risiko yang lebih rendah terhadap paparan permukaan panas dan penanganan bahan bakar, meskipun keselamatan kelistrikan dan pengelolaan baterai tetap perlu diperhatikan. Berdasarkan kondisi pengujian yang dilakukan, motor listrik menunjukkan konsumsi energi terestimasi dan biaya energi per kilometer yang lebih rendah dibandingkan motor BBM 109 cc. Namun, hasil penelitian ini perlu dipahami sebagai temuan awal karena hanya melibatkan satu unit kendaraan untuk masing-masing jenis, menggunakan estimasi konsumsi energi berdasarkan indikator baterai, serta dilakukan pada kondisi jalan yang belum sepenuhnya terkontrol. Penelitian lanjutan diperlukan dengan metode pengukuran energi yang lebih akurat dan jumlah sampel kendaraan yang lebih besar untuk meningkatkan validitas dan generalisasi hasil.

Kata kunci: Efisiensi Energi; Motor Listrik; Motor BBM; Perawatan; Suhu Operasional.

Comparison of Energy Efficiency and Performance of Electric Motorcycles and Conventional Motorcycles Based on Mileage, Maintenance, and Operating Temperature

Abstract

The high utilization of motorcycles in Indonesia necessitates studies on vehicles that are more energy-efficient, economical, and safe to operate. This study aims to compare the energy efficiency and operational performance of one electric motorcycle and one 109 cc internal combustion engine (ICE) motorcycle over a 5 km route with an equivalent total load of 158 kg. A comparative experimental method was employed through ten trials for each vehicle. The observed parameters included energy consumption, operating temperature, maintenance requirements, and occupational safety aspects during testing. Energy consumption of the electric motorcycle was estimated based on changes in battery percentage, while the energy consumption of the ICE motorcycle was calculated by converting Pertalite fuel volume into energy units using the fuel heating value. The results showed that the electric motorcycle consumed an average of 85.31 Wh per 5 km or 17.06 Wh/km, whereas the ICE motorcycle required an average of 159.96 Wh/km. The operating temperature of the ICE motorcycle reached nearly 50°C, which was higher than that of the electric motorcycle at approximately 42.8°C. In terms of routine maintenance, the ICE motorcycle required periodic oil changes, air filter replacements, and combustion system maintenance, whereas the electric motorcycle mainly required battery and electrical system inspections. From an occupational safety perspective, the electric motorcycle presented lower risks related to hot surface exposure and fuel handling, although electrical safety and battery management remain important considerations. Under the testing conditions applied in this study, the electric motorcycle demonstrated lower estimated energy consumption and energy cost per kilometer than the 109 cc ICE motorcycle. However, these findings should be interpreted as preliminary results because the study involved only one vehicle from each category, relied on battery-percentage-based energy estimation, and was conducted under road conditions that were not fully controlled. Further studies employing direct energy measurement methods and larger vehicle samples are required to improve the validity and generalizability of the findings.

Keywords: Energy Efficiency; Electric Motorcycle; ICE Motorcycle; Maintenance; Operating Temperature.

How to Cite: Hasanah, A. W., & Manggau, Z. (2026). Perbandingan Efisiensi Energi dan Kinerja Motor Listrik dan Motor BBM Berdasarkan Jarak Tempuh, Perawatan, dan Suhu Operasional. *Empiricism Journal*, 7(2), 1349-1359. <https://doi.org/10.36312/ej.v7i2.5330>



<https://doi.org/10.36312/ej.v7i2.5330>

Copyright© 2026, Hasanah & Manggau.

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](#) License.



PENDAHULUAN

Transportasi berkelanjutan menuntut penggunaan kendaraan yang memiliki efisiensi energi tinggi dan emisi rendah. Di Indonesia, sepeda motor masih menjadi moda transportasi utama, sehingga peningkatan jumlah kendaraan bermotor berkontribusi langsung terhadap peningkatan konsumsi energi fosil dan emisi gas buang yang berdampak pada kualitas lingkungan (Sari et al., 2021). Oleh karena itu, kajian komparatif antara motor listrik dan motor berbahan bakar minyak (BBM) perlu dilakukan untuk memperoleh gambaran kuantitatif mengenai kinerja kedua jenis kendaraan pada kondisi penggunaan nyata.

Motor listrik memiliki keunggulan pada mekanisme konversi energi karena energi listrik dapat diubah langsung menjadi energi mekanik dengan rugi-rugi yang relatif kecil. Efisiensi sistem penggerak (drivetrain) motor listrik umumnya lebih tinggi dibandingkan mesin pembakaran internal karena jumlah komponen bergerak lebih sedikit dan tidak memerlukan proses pembakaran sebagai tahapan konversi energi. Sebaliknya, motor BBM memiliki efisiensi yang lebih rendah akibat rugi-rugi energi dalam bentuk panas, gesekan, dan proses pembakaran internal (Darmana et al., 2018; Harjono & Widodo, 2021). Pada mesin pembakaran internal, sebagian besar energi kimia bahan bakar yang berasal dari nilai kalor bahan bakar tidak sepenuhnya dikonversi menjadi energi mekanik, melainkan terbuang dalam bentuk panas melalui sistem pembuangan dan pendinginan. Perbedaan karakteristik tersebut berimplikasi pada konsumsi energi, biaya operasional, dan performa termal kendaraan.

Selain efisiensi energi, aspek perawatan juga menjadi parameter penting dalam evaluasi kinerja kendaraan. Motor listrik memiliki sistem mekanis yang lebih sederhana sehingga kebutuhan perawatannya relatif lebih rendah. Sebaliknya, motor BBM memerlukan perawatan berkala pada sistem pelumasan, penyaringan udara, dan komponen pembakaran (Molęda et al., 2023). Pada motor listrik, performa kendaraan juga dipengaruhi oleh karakteristik baterai, terutama kondisi state of charge (SoC), suhu operasi, serta degradasi kapasitas baterai yang dapat memengaruhi jarak tempuh dan efisiensi penggunaan energi (Afif & Pratiwi, 2015). Dengan demikian, perbandingan kedua kendaraan perlu dilakukan tidak hanya dari aspek konsumsi energi, tetapi juga dari aspek suhu operasional dan kebutuhan perawatan.

Dalam kajian kendaraan listrik, efisiensi energi umumnya dievaluasi melalui pendekatan wall-to-wheel, yaitu efisiensi energi sejak listrik disuplai dari jaringan hingga dikonversi menjadi energi gerak kendaraan. Sebaliknya, pada kendaraan BBM digunakan pendekatan tank-to-wheel yang mengukur efisiensi energi dari bahan bakar yang tersimpan dalam tangki hingga menjadi energi mekanik pada roda. Kedua pendekatan tersebut memberikan gambaran yang berbeda mengenai pemanfaatan energi dan penting untuk dipertimbangkan dalam interpretasi hasil perbandingan kendaraan. Selain itu, konsumsi energi kendaraan dipengaruhi oleh berbagai faktor eksternal, seperti kecepatan kendaraan, tingkat kemacetan, kemiringan jalan, tekanan ban, suhu lingkungan, kondisi permukaan jalan, serta gaya berkendara pengemudi. Oleh karena itu, pengujian komparatif perlu dilakukan pada kondisi lintasan dan beban yang setara agar hasil yang diperoleh lebih representatif.

Penelitian terdahulu umumnya membahas kendaraan listrik dari sisi efisiensi energi, emisi, dan pengembangan teknologi transportasi ramah lingkungan (Tangkudung, 2024; Dinar, 2025; Badu et al., 2025). Sebagian penelitian dilakukan melalui pendekatan simulasi dan analisis teoritis untuk memprediksi konsumsi energi dan dampak lingkungan kendaraan listrik, sedangkan penelitian lainnya berfokus pada pengembangan teknologi baterai, sistem penggerak, atau analisis emisi kendaraan. Meskipun demikian, studi eksperimental yang membandingkan secara langsung motor listrik dan motor BBM pada kondisi operasi nyata dengan parameter yang beragam masih relatif terbatas (Badu et al., 2025). Sebagian besar penelitian sebelumnya lebih menitikberatkan pada aspek efisiensi energi atau emisi secara

terpisah, sementara kajian yang mengintegrasikan konsumsi energi, suhu operasional, biaya energi, kebutuhan perawatan sederhana, dan aspek keselamatan serta kesehatan kerja (K3) dalam satu desain eksperimen masih jarang dilakukan.

Selain itu, belum banyak penelitian yang mengkaji performa kedua jenis kendaraan pada lintasan pendek dengan kondisi penggunaan harian yang umum ditemui masyarakat. Penggunaan lintasan sejauh 5 km dipilih karena merepresentasikan perjalanan jarak pendek yang sering dilakukan dalam aktivitas perkotaan, seperti perjalanan menuju kampus, tempat kerja, atau pusat layanan publik. Pada jarak tersebut, karakteristik konsumsi energi dan suhu operasional kendaraan dapat diamati secara langsung tanpa dipengaruhi secara dominan oleh faktor perjalanan jarak jauh. Motor BBM 109 cc dipilih sebagai pembanding karena kapasitas tersebut merupakan salah satu kategori sepeda motor yang paling banyak digunakan masyarakat Indonesia dan memiliki karakteristik penggunaan yang relatif sebanding dengan motor listrik berdaya 1.500 W dalam aktivitas transportasi harian.

Berdasarkan uraian tersebut, terdapat kesenjangan penelitian pada terbatasnya studi eksperimental yang membandingkan secara langsung motor listrik dan motor BBM dalam kondisi operasi nyata dengan mempertimbangkan parameter teknis, ekonomi, dan keselamatan secara bersamaan. Kebaruan (novelty) penelitian ini terletak pada pengujian langsung konsumsi energi, suhu operasional, biaya energi, kebutuhan perawatan sederhana, dan aspek K3 pada motor listrik dan motor BBM dalam kondisi beban serta lintasan pendek yang sama. Meskipun kontribusi penelitian ini masih bersifat terbatas pada skala eksperimen sederhana, hasil penelitian diharapkan dapat memberikan data empiris yang lebih komprehensif mengenai perbandingan kinerja kedua jenis kendaraan pada penggunaan harian.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan melalui metode eksperimen komparatif dengan pengujian langsung pada motor listrik dan motor BBM 109 cc untuk membandingkan efisiensi energi, suhu operasional, dan kebutuhan perawatan, serta mengevaluasi aspek K3 dan implikasi etika profesi keinsinyuran pada kondisi lintasan dan beban yang setara.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen komparatif untuk membandingkan kinerja satu unit motor listrik dan satu unit motor berbahan bakar minyak (BBM) pada kondisi operasional yang setara. Motor listrik yang digunakan memiliki daya nominal 1.500 W dengan kapasitas baterai 1,5 kWh, sedangkan kendaraan pembanding adalah motor BBM berkapasitas mesin 109 cc dengan sistem transmisi otomatis. Kedua kendaraan berada dalam kondisi layak operasi dan telah melalui pemeriksaan dasar sebelum pengujian yang meliputi kondisi ban, sistem pengereman, serta sistem penggerak (drivetrain). Pengujian dilakukan pada lintasan jalan raya sejauh 5 km dengan beban total 158 kg yang terdiri atas pengendara dan beban tambahan. Pemilihan lintasan 5 km didasarkan pada representasi perjalanan jarak pendek yang umum dilakukan dalam aktivitas harian masyarakat perkotaan, sehingga hasil pengujian diharapkan dapat menggambarkan kondisi penggunaan nyata kendaraan.

Instrumen penelitian meliputi termogun inframerah untuk mengukur suhu operasional kendaraan, gelas ukur untuk mengukur volume bahan bakar Pertalite yang digunakan, serta pencatatan perubahan persentase baterai pada panel instrumen kendaraan untuk memperkirakan konsumsi energi motor listrik. Pada motor BBM, setiap pengujian menggunakan 90 ml Pertalite untuk menentukan konsumsi bahan bakar dan energi ekuivalen per kilometer.

Variabel yang diamati meliputi jarak tempuh, konsumsi energi (Wh/km), suhu operasional, dan kebutuhan perawatan. Konsumsi energi motor listrik dihitung berdasarkan perubahan persentase kapasitas baterai yang ditampilkan pada panel kendaraan dengan mengacu pada kapasitas baterai nominal sebesar 1,5 kWh. Metode ini digunakan sebagai pendekatan praktis dalam studi pendahuluan, meskipun memiliki keterbatasan karena indikator persentase baterai tidak selalu merepresentasikan energi aktual secara linear. Nilai persentase baterai dapat dipengaruhi oleh kondisi state of charge (SoC), temperatur baterai, umur baterai, karakteristik Battery Management System (BMS), serta kalibrasi indikator kendaraan. Oleh karena itu, hasil perhitungan konsumsi energi motor listrik dalam penelitian

ini digunakan sebagai estimasi operasional dan bukan sebagai pengukuran energi listrik langsung. Penelitian lanjutan disarankan menggunakan watt-hour meter, coulomb counter, battery analyzer, atau energy meter saat proses pengisian ulang untuk memperoleh data energi yang lebih akurat.

Pada motor BBM, konsumsi energi dihitung melalui konversi volume bahan bakar menjadi energi berdasarkan nilai kalor bahan bakar. Perhitungan dilakukan menggunakan pendekatan nilai kalor bawah (Lower Heating Value/LHV) Pertalite sehingga energi yang terkandung dalam bahan bakar dapat dinyatakan dalam satuan watt-hour (Wh). Selanjutnya, nilai energi total dibagi dengan jarak tempuh yang diperoleh untuk menghasilkan nilai konsumsi energi dalam satuan Wh/km. Pendekatan ini digunakan agar konsumsi energi motor listrik dan motor BBM dapat dibandingkan dalam satuan yang sama.

Untuk menjaga kesetaraan pengujian, kedua kendaraan diuji pada lintasan, beban, dan rute yang sama. Pengujian dilakukan oleh pengemudi yang sama dengan pola berkendara normal sesuai kondisi lalu lintas. Meskipun demikian, penelitian ini tidak mengontrol secara penuh variabel eksternal seperti kecepatan rata-rata, pola akselerasi, kepadatan lalu lintas, suhu lingkungan, arah angin, kemiringan jalan, dan kondisi permukaan jalan. Variabel-variabel tersebut dicatat sebagai keterbatasan penelitian karena berpotensi memengaruhi konsumsi energi dan performa kendaraan selama pengujian berlangsung.

Pengukuran suhu dilakukan menggunakan termogun inframerah pada permukaan luar komponen utama kendaraan setelah kendaraan berhenti dan berada pada kondisi stabil. Pada motor BBM, pengukuran dilakukan pada area blok mesin bagian luar, sedangkan pada motor listrik pengukuran dilakukan pada area motor penggerak atau komponen penggerak yang mudah diakses dari luar kendaraan. Pengukuran dilakukan pada jarak yang sama untuk setiap kendaraan guna menjaga konsistensi hasil pengamatan. Nilai suhu yang diperoleh digunakan sebagai indikator komparatif performa termal kedua kendaraan selama pengujian.

Data hasil pengujian dianalisis menggunakan metode deskriptif komparatif dengan membandingkan nilai rata-rata konsumsi energi, suhu operasional, dan kebutuhan perawatan masing-masing kendaraan. Hasil analisis kemudian diinterpretasikan berdasarkan karakteristik sistem penggerak kendaraan listrik dan kendaraan berbahan bakar minyak untuk memperoleh gambaran mengenai efisiensi energi dan aspek operasional kedua jenis kendaraan.

Aspek keselamatan dan kesehatan kerja (K3) diterapkan selama seluruh tahapan pengujian. Pengisian bahan bakar dilakukan pada kondisi mesin mati dan area yang memiliki ventilasi baik. Pengemudi menggunakan alat pelindung diri berupa helm, sarung tangan, dan sepatu tertutup. Pada motor listrik dilakukan pemeriksaan koneksi baterai dan kabel sebelum pengujian, sedangkan pada motor BBM diperhatikan potensi bahaya akibat permukaan panas, uap bahan bakar, serta risiko kebakaran yang mungkin terjadi selama pengoperasian kendaraan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Motor Listrik dan Motor BBM

Pengujian dilakukan sebanyak sepuluh kali pada masing-masing kendaraan. Tabel 1 dan Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian utama berupa perubahan kapasitas baterai, jarak tempuh, suhu, dan penggunaan BBM pada kondisi beban yang setara.

Tabel 1. Hasil pengujian motor listrik

No	Persen awal baterai (%)	Persen akhir baterai (%)	Selisih penggunaan baterai (%)	Jarak (km)	Beban (kg)	Suhu (°C)
1	80	73	7	5	158	42,8
2	73	66	7	5	158	42,5
3	66	59	7	5	158	41,6
4	58	52	6	5	158	41,3
5	52	46	6	5	158	40,1
6	99	94	5	5	158	38,5
7	94	88	6	5	158	39,6
8	88	82	6	5	158	39,5
9	82	76	6	5	158	39,4
10	76	70	6	5	158	39,1

Tabel 2. Hasil pengujian motor BBM

No	Awal (km)	Akhir (km)	Jarak (km)	Beban (kg)	Suhu (°C)	BBM (ml)
1	39,70	44,70	5,00	158	45,8	90
2	45,73	50,75	5,02	158	48,6	90
3	50,75	55,77	5,02	158	49,9	90
4	55,77	60,73	4,96	158	46,2	90
5	60,73	65,73	5,00	158	42,8	90
6	65,73	70,77	5,04	158	39,4	90
7	70,77	75,75	5,02	158	39,8	90
8	75,75	80,73	4,98	158	40,6	90
9	80,73	85,65	4,92	158	42,8	90
10	85,65	90,77	5,12	158	46,4	90

Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2, kedua kendaraan mampu menempuh jarak yang relatif sama, yaitu sekitar 5 km, dengan beban pengujian yang sama sebesar 158 kg. Namun, motor listrik menunjukkan pola penggunaan energi yang lebih stabil, yang terlihat dari penurunan kapasitas baterai yang hanya berada pada kisaran 5–7% untuk setiap 5 km perjalanan. Meskipun demikian, klaim stabilitas tersebut masih perlu ditinjau lebih lanjut melalui analisis statistik seperti standar deviasi, koefisien variasi, atau interval kepercayaan karena variasi data yang tampak secara visual belum tentu menunjukkan tingkat stabilitas yang lebih tinggi dibandingkan kendaraan pembanding. Selain itu, suhu operasional motor listrik juga cenderung lebih rendah dan stabil, yaitu antara 38,5°C hingga 42,8°C. Kondisi ini menunjukkan bahwa motor listrik memiliki efisiensi kerja yang lebih baik karena energi yang digunakan lebih banyak dikonversi menjadi energi gerak dan hanya sedikit yang hilang dalam bentuk panas (Darmana et al., 2018; Harjono & Widodo, 2021; Helmers & Marx, 2012).

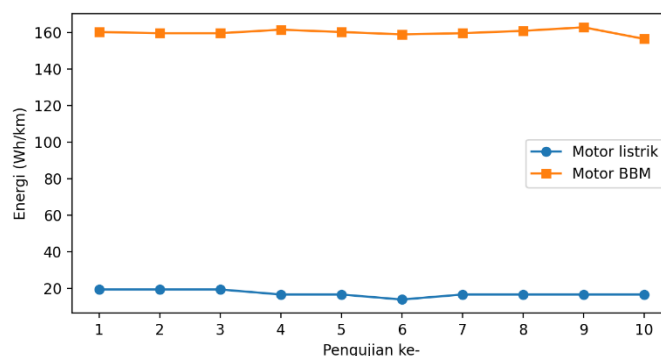
Sebaliknya, motor BBM meskipun mampu menempuh jarak yang hampir sama dengan volume bahan bakar 90 ml, menunjukkan suhu operasional yang lebih tinggi, yaitu antara 39,4°C hingga 49,9°C. Suhu yang lebih tinggi ini mengindikasikan bahwa proses pembakaran internal menghasilkan kehilangan energi panas yang lebih besar dibandingkan motor listrik (Heywood, 2018; Li et al., 2021). Dengan demikian, meskipun dari sisi jarak tempuh kedua motor tampak sebanding, motor listrik lebih unggul dalam hal efisiensi energi dan pengendalian suhu operasional. Namun demikian, perbedaan tingkat kestabilan performa antar kendaraan memerlukan verifikasi lebih lanjut menggunakan ukuran dispersi data sehingga tidak hanya didasarkan pada pengamatan deskriptif.

Perbandingan Konsumsi Energi

Rerata energi yang dibutuhkan motor listrik untuk menempuh jarak 5 km adalah 85,31 Wh atau 17,06 Wh/km. Sementara itu, motor BBM memiliki rerata konsumsi energi sebesar 159,96 Wh/km. Dengan demikian, motor listrik pada penelitian ini terbukti jauh lebih efisien secara energi dibandingkan motor BBM untuk perjalanan jarak pendek (Darmana et al., 2018; Badu et al., 2025; Helmers & Marx, 2012)..

Tabel 3. Perbandingan konsumsi energi per kilometer

Uji ke-	Energi motor listrik (Wh/km)	Energi motor BBM (Wh/km)
1	19,264	160,20
2	19,264	159,56
3	19,264	159,56
4	16,512	161,49
5	16,512	160,20
6	13,760	158,92
7	16,512	159,56
8	16,512	160,84
9	16,512	162,80
10	16,512	156,44
Rata-rata	17,062	159,96



Gambar 1. Grafik energi per kilometer motor listrik dan motor BBM

Berdasarkan Tabel 3 dan grafik perbandingan konsumsi energi per kilometer, terlihat bahwa motor listrik memiliki tingkat konsumsi energi yang jauh lebih rendah dibandingkan motor BBM pada seluruh pengujian. Nilai konsumsi energi motor listrik berada pada rentang 13,760–19,264 Wh/km dengan rata-rata 17,062 Wh/km, sedangkan motor BBM berada pada rentang 156,44–162,80 Wh/km dengan rata-rata 159,96 Wh/km. Selisih yang sangat besar ini menunjukkan bahwa untuk menempuh jarak yang sama, motor BBM membutuhkan energi hampir sepuluh kali lebih besar dibandingkan motor listrik. Kondisi tersebut menegaskan bahwa sistem penggerak motor listrik lebih efisien karena energi dari baterai dapat dikonversi lebih langsung menjadi energi gerak, sedangkan pada motor BBM sebagian energi dari bahan bakar hilang dalam bentuk panas dan gesekan selama proses pembakaran internal (Heywood, 2018; Helmers & Marx, 2012; Li et al., 2021). Apabila dilakukan uji beda statistik, perbedaan rata-rata konsumsi energi antara kedua kendaraan diperkirakan akan menunjukkan perbedaan yang signifikan karena jarak nilai rata-rata kedua kelompok sangat besar. Namun demikian, penelitian ini belum melakukan pengujian statistik inferensial sehingga interpretasi hasil masih bersifat deskriptif.

Grafik juga memperlihatkan bahwa pola konsumsi energi motor listrik cenderung lebih rendah dan relatif stabil, meskipun masih terdapat sedikit fluktuasi pada beberapa pengujian, terutama pada pengujian ke-1 sampai ke-3 yang mencapai 19,264 Wh/km dan menurun pada pengujian ke-6 menjadi 13,760 Wh/km. Fluktuasi tersebut dapat dipengaruhi oleh kondisi state of charge (SoC) baterai, variasi kondisi lalu lintas, gaya berkendara, maupun karakteristik indikator persentase baterai yang digunakan sebagai dasar perhitungan konsumsi energi (Afif & Pratiwi, 2015; Rezvanizani et al., 2014; Wang et al., 2016). Sementara itu, motor BBM menunjukkan konsumsi energi yang konsisten berada pada level tinggi di seluruh pengujian, dengan titik tertinggi pada pengujian ke-9 sebesar 162,80 Wh/km. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun performa motor BBM tampak stabil, efisiensi energinya tetap rendah karena kebutuhan energi per kilometer jauh lebih besar. Dengan demikian, hasil pada tabel dan grafik ini memperkuat bahwa motor listrik lebih unggul dalam efisiensi energi dan lebih hemat untuk penggunaan harian dibandingkan motor BBM (Darmana et al., 2018; Badu et al., 2025; Helmers & Marx, 2012).

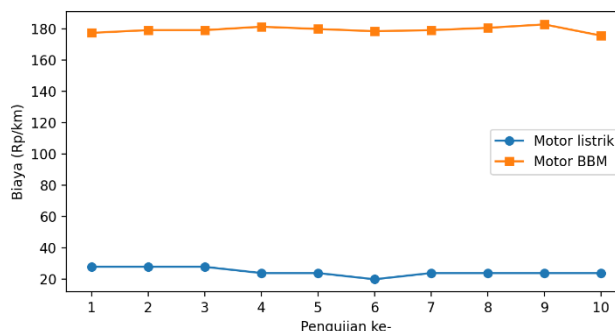
Perbandingan Biaya Operasional Energi

Berdasarkan tarif listrik Rp1.444,70/kWh dan harga Pertalite Rp10.000/liter yang digunakan dalam draft awal, biaya energi rata-rata motor listrik adalah Rp24,65/km, sedangkan motor BBM mencapai Rp179,38/km. Temuan ini menunjukkan bahwa biaya operasional harian motor listrik jauh lebih rendah dibandingkan motor BBM (Badu et al., 2025; Palmer et al., 2018).

Tabel 4. Perbandingan biaya energi per kilometer

Pengujian ke-	Motor listrik (Rp/km)	Motor BBM (Rp/km)
1	27,83	177,41
2	27,83	179,18
3	27,83	179,18
4	23,85	181,35
5	23,85	179,90
6	19,87	178,46

Pengujian ke-	Motor listrik (Rp/km)	Motor BBM (Rp/km)
7	23,85	179,18
8	23,85	180,62
9	23,85	182,82
10	23,85	175,68
Rata-rata	24,65	179,38



Gambar 2. Grafik biaya energi per kilometer motor listrik dan motor BBM

Berdasarkan Tabel 4 dan Gambar 2, biaya energi per kilometer motor listrik jauh lebih rendah dibandingkan motor BBM pada seluruh pengujian. Biaya operasional motor listrik berada pada rentang Rp19,87–Rp27,83/km dengan rata-rata Rp24,65/km, sedangkan motor BBM berada pada rentang Rp175,68–Rp182,82/km dengan rata-rata Rp179,38/km. Perbedaan ini menunjukkan bahwa untuk menempuh jarak yang sama, motor BBM membutuhkan biaya energi sekitar tujuh kali lebih besar dibandingkan motor listrik. Kondisi tersebut memperlihatkan bahwa keunggulan efisiensi energi motor listrik berimplikasi langsung pada penghematan biaya operasional, sehingga lebih ekonomis untuk penggunaan harian, khususnya pada mobilitas jarak pendek (Palmer et al., 2018).

Namun, biaya yang dihitung dalam penelitian ini hanya mencakup biaya energi berdasarkan asumsi tarif listrik Rp1.444,70/kWh dan harga Pertalite Rp10.000/liter yang berlaku pada saat penelitian dilakukan. Oleh karena itu, hasil ini belum dapat diinterpretasikan sebagai total biaya kepemilikan kendaraan (total cost of ownership) karena belum memperhitungkan harga beli kendaraan, umur baterai, biaya penggantian baterai, efisiensi pengisian daya, biaya servis jangka panjang, pajak kendaraan, maupun nilai jual kembali (Palmer et al., 2018). Dengan demikian, kesimpulan yang lebih tepat adalah bahwa motor listrik memiliki biaya energi per kilometer yang lebih rendah dibandingkan motor BBM berdasarkan asumsi harga energi yang digunakan dalam penelitian ini.

Perbandingan Kebutuhan Perawatan

Tabel 5. Perbandingan biaya perawatan

No	Komponen perawatan	Motor listrik (Rp)	Motor BBM (Rp)
1	Kampas rem	60.000	60.000
2	Ganti oli	-	50.000
3	Filter udara	-	15.000
4	CVT cleaning	50.000	50.000
Total	-	110.000	175.000

Berdasarkan Tabel 5, biaya perawatan motor listrik lebih rendah dibandingkan motor BBM. Total biaya perawatan motor listrik tercatat sebesar Rp110.000, sedangkan motor BBM mencapai Rp175.000. Perbedaan ini menunjukkan bahwa motor listrik memiliki kebutuhan perawatan yang lebih sederhana karena tidak memerlukan penggantian oli dan filter udara seperti pada motor BBM. Pada kedua kendaraan, komponen yang sama-sama memerlukan biaya perawatan adalah kampas rem dan CVT cleaning, sehingga selisih total biaya terutama disebabkan oleh adanya komponen perawatan tambahan pada motor BBM (Molęda et al., 2023).

Meskipun demikian, analisis biaya perawatan pada penelitian ini masih terbatas pada komponen perawatan rutin dasar dan belum memasukkan biaya penggantian baterai, charger, controller, maupun komponen kelistrikan lainnya yang berpotensi memengaruhi

biaya kepemilikan jangka panjang kendaraan listrik (Palmer et al., 2018; Rezvanizani et al., 2014). Selain itu, sumber biaya perawatan, interval perawatan, dan periode perhitungan biaya perlu dijelaskan secara lebih rinci agar hasil dapat dibandingkan secara lebih objektif.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa dari sisi perawatan, motor listrik lebih ekonomis dan praktis untuk penggunaan harian. Motor BBM memiliki sistem kerja yang lebih kompleks karena melibatkan proses pembakaran, sehingga membutuhkan perawatan rutin yang lebih banyak agar performanya tetap optimal. Sebaliknya, motor listrik cenderung memiliki lebih sedikit komponen yang mengalami gesekan dan keausan (Helmers & Marx, 2012). Dengan demikian, tabel ini memperkuat bahwa motor listrik tidak hanya unggul dalam efisiensi energi dan biaya operasional, tetapi juga lebih hemat dalam biaya perawatan dibandingkan motor BBM.

Pengaruh Suhu terhadap Kinerja Kendaraan

Berdasarkan data pengujian motor listrik pada Tabel 1 dan hasil perhitungan konsumsi energi, terlihat kecenderungan bahwa kenaikan suhu diikuti oleh peningkatan konsumsi energi per kilometer. Pada suhu 42,8°C, 42,5°C, dan 41,6°C, konsumsi energi tercatat sebesar 19,264 Wh/km, sedangkan pada suhu yang lebih rendah, yaitu 41,3°C dan 40,1°C, konsumsi menurun menjadi 16,512 Wh/km, bahkan mencapai 13,760 Wh/km pada suhu 38,5°C. Hal ini menunjukkan bahwa suhu operasional memengaruhi kinerja motor listrik, namun pengaruhnya masih dalam rentang yang relatif kecil sehingga performa kendaraan tetap stabil (Afif & Pratiwi, 2015; Wang et al., 2016). Akan tetapi, hubungan antara suhu dan konsumsi energi pada penelitian ini belum dapat disimpulkan sebagai hubungan sebab-akibat karena belum dilakukan analisis korelasi maupun pengendalian terhadap variabel lain yang dapat memengaruhi konsumsi energi, seperti SoC baterai, kondisi lalu lintas, urutan pengujian, dan kondisi lingkungan (Rezvanizani et al., 2014; Wang et al., 2016).

Sebaliknya, berdasarkan data pengujian motor BBM pada Tabel 2 dan hasil perhitungan konsumsi energi, motor BBM menunjukkan konsumsi energi yang jauh lebih tinggi, yaitu pada kisaran 156,44–162,80 Wh/km, dengan suhu operasional 39,4°C–49,9°C. Meskipun hubungan suhu dan konsumsi energi tidak sepenuhnya linear, temperatur yang lebih tinggi tetap menunjukkan adanya rugi-rugi panas yang besar akibat proses pembakaran internal (Heywood, 2018; Li et al., 2021). Dengan demikian, dibandingkan motor BBM, motor listrik memiliki kinerja yang lebih efisien dan lebih stabil terhadap perubahan suhu operasional.

Pembahasan Aspek K3

Ditinjau dari aspek keselamatan dan kesehatan kerja (K3), motor BBM menunjukkan tingkat risiko operasional yang lebih tinggi dibandingkan motor listrik. Hal ini disebabkan oleh adanya proses pembakaran internal, penggunaan bahan bakar cair yang mudah terbakar, serta temperatur kerja yang lebih tinggi (OSHA, 2012).

Namun demikian, pembahasan K3 dalam penelitian ini masih bersifat analisis kualitatif awal dan belum menggunakan metode formal penilaian risiko seperti Hazard Identification, Risk Assessment and Determining Control (HIRADC), Job Safety Analysis (JSA), maupun matriks risiko (International Organization for Standardization, 2018). Oleh karena itu, hasil yang diperoleh lebih tepat diposisikan sebagai identifikasi awal potensi bahaya daripada evaluasi risiko K3 yang komprehensif.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa suhu operasional motor BBM mencapai hampir 50°C, sedangkan motor listrik berada pada kisaran 42,8°C. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa motor BBM memiliki potensi bahaya yang lebih besar terhadap paparan panas, risiko kebakaran, dan kontak dengan komponen mekanis maupun bahan kimia saat pengoperasian dan perawatan (OSHA, 2012).

Sebaliknya, motor listrik memiliki profil risiko K3 yang relatif lebih rendah karena tidak melibatkan proses pembakaran dan tidak memerlukan penanganan bahan bakar cair. Selain itu, kebutuhan perawatan yang lebih sederhana menyebabkan paparan terhadap bahaya mekanis dan kimia menjadi lebih kecil. Namun demikian, motor listrik tetap memiliki risiko spesifik pada sistem kelistrikan dan baterai, seperti korsleting dan bahaya saat pengisian daya (Feng et al., 2018). Dengan demikian, secara komparatif motor listrik lebih unggul dari aspek K3 dalam operasional rutin, sedangkan motor BBM memerlukan pengendalian risiko yang lebih ketat akibat paparan bahaya termal, kimia, dan mekanis yang lebih kompleks.

Pembahasan Aspek Etika Profesi

Ditinjau dari etika profesi, hasil penelitian ini menegaskan bahwa pemilihan dan pengoperasian teknologi transportasi tidak hanya dinilai dari aspek kinerja teknis, tetapi juga dari tanggung jawab profesional untuk mengutamakan keselamatan, efisiensi, keberlanjutan, dan kepentingan masyarakat (National Society of Professional Engineers, 2019; World Federation of Engineering Organizations, 2023). Selain itu, etika profesi keinsinyuran juga menuntut peneliti untuk melaporkan data secara jujur, menyampaikan keterbatasan penelitian secara transparan, menggunakan metode pengukuran yang valid, serta menghindari klaim yang melampaui ruang lingkup data yang diperoleh (National Society of Professional Engineers, 2019). Oleh karena itu, hasil penelitian ini perlu dipahami sebagai temuan pada kondisi eksperimen yang terbatas dan masih memerlukan verifikasi lebih lanjut melalui metode pengukuran yang lebih akurat dan pengendalian variabel yang lebih ketat.

Motor listrik menunjukkan konsumsi energi yang lebih rendah, suhu operasional yang lebih terkendali, serta kebutuhan perawatan yang lebih sederhana dibandingkan motor BBM. Temuan tersebut memberikan dasar teknis bahwa insinyur perlu merekomendasikan solusi yang lebih efisien dan lebih aman secara operasional apabila data pengujian menunjukkan keunggulan yang konsisten. Dalam konteks ini, etika profesi menuntut agar penilaian teknis disampaikan secara objektif, berbasis data, dan tidak dipengaruhi oleh kepentingan di luar aspek keselamatan, efisiensi, dan kemanfaatan publik (National Society of Professional Engineers, 2019; World Federation of Engineering Organizations, 2023).

Selain itu, etika profesi juga berkaitan dengan tanggung jawab insinyur dalam menjamin bahwa setiap proses pengujian, analisis, dan penyajian hasil dilakukan secara jujur, akurat, dan dapat dipertanggungjawabkan. Pada penelitian ini, penerapan beban yang setara, lintasan yang sama, serta pengukuran parameter yang konsisten merupakan bagian dari prinsip profesionalisme dalam menghasilkan evaluasi yang adil antara motor listrik dan motor BBM. Dari sudut pandang tersebut, rekomendasi penggunaan motor listrik untuk mobilitas harian jarak pendek tidak hanya didasarkan pada keunggulan efisiensi energi dan biaya operasional, tetapi juga pada pertimbangan etis untuk mendukung teknologi yang lebih aman, lebih ramah lingkungan, dan lebih bertanggung jawab terhadap keberlanjutan. Dari perspektif etika profesi keinsinyuran, hasil ini menunjukkan pentingnya pengambilan keputusan teknis yang berbasis data, berorientasi pada keselamatan publik, dan mendukung penggunaan teknologi transportasi yang lebih efisien serta berkelanjutan (National Society of Professional Engineers, 2019; World Federation of Engineering Organizations, 2023).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian pada lintasan sejauh 5 km dengan beban total 158 kg, motor listrik menunjukkan konsumsi energi terestimasi yang lebih rendah dibandingkan motor BBM 109 cc. Konsumsi energi rata-rata motor listrik tercatat sebesar 17,06 Wh/km, sedangkan motor BBM sebesar 159,96 Wh/km. Perbedaan ini menunjukkan bahwa, pada kondisi pengujian yang dilakukan, sistem penggerak motor listrik lebih efisien dalam memanfaatkan energi untuk menghasilkan gerak kendaraan dibandingkan mesin pembakaran internal pada motor BBM.

Dari aspek biaya energi, motor listrik juga menunjukkan keunggulan dibandingkan motor BBM. Biaya energi rata-rata motor listrik sebesar Rp24,65/km, sedangkan motor BBM mencapai Rp179,38/km berdasarkan asumsi tarif listrik dan harga Pertalite yang digunakan dalam penelitian ini. Temuan ini menunjukkan bahwa motor listrik memiliki potensi penghematan biaya energi yang lebih besar untuk penggunaan harian jarak pendek. Selain itu, motor listrik menunjukkan suhu operasional yang lebih rendah, yaitu berada pada kisaran 38,5°C hingga 42,8°C, sedangkan motor BBM mencapai suhu hingga 49,9°C. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa motor BBM menghasilkan rugi-rugi panas yang lebih besar akibat proses pembakaran internal.

Dari sisi perawatan rutin, motor listrik memiliki kebutuhan perawatan yang lebih sederhana karena tidak memerlukan penggantian oli dan filter udara sebagaimana pada motor BBM. Namun, hasil ini belum mencakup biaya perawatan jangka panjang, seperti penggantian baterai, charger, controller, serta komponen kelistrikan lainnya. Ditinjau dari aspek keselamatan dan kesehatan kerja, motor listrik memiliki risiko operasional yang relatif lebih rendah karena tidak melibatkan bahan bakar cair dan proses pembakaran. Meskipun

demikian, risiko kelistrikan, korsleting, dan keselamatan baterai tetap perlu diperhatikan dalam pengoperasian motor listrik.

Secara keseluruhan, motor listrik menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan motor BBM dalam hal konsumsi energi, biaya energi, suhu operasional, kebutuhan perawatan rutin, dan aspek keselamatan operasional pada kondisi pengujian ini. Namun, hasil penelitian ini perlu dipahami sebagai temuan awal karena hanya menggunakan satu unit motor listrik dan satu unit motor BBM, pengukuran energi motor listrik masih didasarkan pada estimasi perubahan persentase baterai, serta variabel eksternal seperti kondisi lalu lintas, kecepatan kendaraan, suhu lingkungan, dan kondisi jalan belum sepenuhnya dikontrol. Oleh karena itu, penelitian lanjutan diperlukan untuk memperoleh hasil yang lebih akurat, komprehensif, dan dapat digeneralisasikan.

REKOMENDASI

Berdasarkan hasil dan keterbatasan penelitian, penelitian lanjutan disarankan menggunakan metode pengukuran energi yang lebih akurat, seperti watt-hour meter, coulomb counter, battery analyzer, atau energy meter pada proses pengisian ulang baterai. Penggunaan instrumen tersebut penting untuk memperoleh data konsumsi energi motor listrik yang lebih presisi, karena indikator persentase baterai pada panel kendaraan belum tentu merepresentasikan energi aktual secara linear. Penelitian berikutnya juga perlu melibatkan jumlah sampel kendaraan yang lebih banyak, baik untuk motor listrik maupun motor BBM, dengan variasi kapasitas mesin, kapasitas baterai, daya motor, usia kendaraan, dan kondisi teknis kendaraan. Dengan jumlah sampel yang lebih besar, hasil penelitian dapat dianalisis secara statistik sehingga perbedaan konsumsi energi, suhu operasional, biaya energi, dan kebutuhan perawatan dapat diuji secara lebih kuat dan tidak hanya berdasarkan analisis deskriptif.

Pengujian selanjutnya sebaiknya dilakukan dengan pengendalian variabel yang lebih ketat, termasuk kecepatan rata-rata, pola akselerasi, tekanan ban, suhu lingkungan, kondisi lalu lintas, kemiringan jalan, kondisi permukaan jalan, serta gaya berkendara pengemudi. Pengendalian variabel tersebut diperlukan agar perbandingan kinerja antara motor listrik dan motor BBM menjadi lebih objektif dan mengurangi potensi bias akibat faktor eksternal. Selain itu, penelitian lanjutan perlu memasukkan analisis total biaya kepemilikan kendaraan atau total cost of ownership. Analisis tersebut tidak hanya mencakup biaya energi dan perawatan rutin, tetapi juga harga beli kendaraan, umur pakai baterai, biaya penggantian baterai, efisiensi pengisian daya, biaya servis jangka panjang, pajak kendaraan, depresiasi, serta nilai jual kembali. Dengan pendekatan tersebut, perbandingan keekonomian antara motor listrik dan motor BBM dapat disajikan secara lebih menyeluruh.

Dari aspek keselamatan dan kesehatan kerja, penelitian berikutnya disarankan menggunakan metode penilaian risiko yang lebih formal, seperti Hazard Identification, Risk Assessment and Determining Control (HIRADC), Job Safety Analysis (JSA), atau matriks risiko. Pendekatan ini diperlukan agar potensi bahaya pada motor listrik dan motor BBM dapat diidentifikasi, dinilai, dan dikendalikan secara lebih sistematis, khususnya terkait risiko panas, kebakaran, bahan bakar, sistem kelistrikan, dan baterai.

DAFTAR PUSTAKA

- Afif, M. T., & Pratiwi, I. A. P. (2015). Analisis perbandingan baterai lithium-ion, lithium-polymer, lead acid, dan nickel-metal hydride pada penggunaan mobil listrik: Review. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 6(2), 95–99.
- Badu, M., Sodikin, S., & Ristanto, I. (2025). Analisis perbandingan penggunaan kendaraan bermotor dan kendaraan motor listrik di wilayah Soloraya tahun 2024 (studi kasus: Surakarta dan Sukoharjo). *Jurnal Talenta Sipil*, 8(1), 42–49.
- Darmana, T., Handayani, O., & Rusjdi, H. (2018). Analisa perbandingan unjuk kerja pemakaian bahan bakar motor konvensional dengan motor listrik ULC PLN Area Cengkareng. *Energi & Kelistrikan*, 10(1), 64–69.
- Dewadi, F. M. (2021). Efisiensi pada sepeda listrik dengan dinamo sepeda sebagai generator. *Praxis: Jurnal Sains, Teknologi, Masyarakat dan Jejaring*, 4(1), 13–23.
- Dinar, M. (2025). Proyeksi penurunan emisi CO₂ melalui konversi kendaraan konvensional ke kendaraan listrik di Jawa Barat. *Journal PEP Bandung*, 2(1), 42–61.

- Feng, X., Ouyang, M., Liu, X., Lu, L., Xia, Y., & He, X. (2018). Thermal runaway mechanism of lithium ion battery for electric vehicles: A review. *Energy Storage Materials*, 10, 246–267.
- Harjono, D., & Widodo, W. (2021). Analisis sistem penggerak motor BLDC pada mobil Listrik Ponecar. *Jurnal ELIT*, 2(1), 11–22.
- Helmers, E., & Marx, P. (2012). Electric cars: Technical characteristics and environmental impacts. *Environmental Sciences Europe*, 24, 14.
- Heywood, J. B. (2018). *Internal combustion engine fundamentals* (2nd ed.). McGraw-Hill Education.
- Hudati, I., Aji, A. P., & Nurrahma, S. (2021). Kendali posisi motor DC dengan menggunakan kendali PID. *Jurnal Listrik, Instrumentasi, dan Elektronika Terapan*, 2(2).
- International Organization for Standardization. (2018). *ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems—Requirements with guidance for use*. ISO.
- Li, Y., Jia, M., Chang, Y., Kokjohn, S. L., & Reitz, R. D. (2021). A review of energy loss reduction technologies for internal combustion engines to improve brake thermal efficiency. *Energies*, 14(20), 6656.
- Masrukhan, M. N., Mulyo, M. P., Ajiatmo, D., & Ali, M. (2016). Optimasi kecepatan motor DC menggunakan PID dengan tuning Ant Colony Optimization (ACO) controller. *SENTIA 2016* (hlm. B49–B52). Polinema.
- Melipurbowo, B. G. (2016). Pengukuran daya listrik real time dengan menggunakan sensor arus ACS712. *Orbith: Majalah Ilmiah Pengembangan Rekayasa dan Sosial*, 12(1).
- Molęda, M., Malysiak-Mrozek, B., Ding, W., Sunderam, V., & Mrozek, D. (2023). From corrective to predictive maintenance—A review of maintenance approaches for the power industry. *Sensors*, 23(13), 5970.
- National Society of Professional Engineers. (2019). *NSPE Code of Ethics for Engineers*. NSPE.
- Palmer, K., Tate, J. E., Wadud, Z., & Nellthorp, J. (2018). Total cost of ownership and market share for hybrid and electric vehicles in the UK, US and Japan. *Applied Energy*, 209, 108–119.
- Rezvanianiani, S. M., Liu, Z., Chen, Y., & Lee, J. (2014). Review and recent advances in battery health monitoring and prognostics technologies for electric vehicle safety and mobility. *Journal of Power Sources*, 256, 110–124.
- Sari, F. D. P., Hadisusanto, S., & Haryono, E. (2021). Emisi CO2 kendaraan bermotor periode kebijakan pembatasan sosial berskala besar (studi kasus: ruas jalan di Jakarta Pusat). *Ecolab*, 15(1), 31–44.
- Sofiah, S. (2019). Pengaturan kecepatan motor AC sebagai aerator untuk budidaya tambak udang dengan menggunakan solar cell. *Jurnal Ampere*, 4(1), 209–221.
- Suyatno, A. (2010). Pengaruh pemanasan bahan bakar dengan radiator sebagai upaya meningkatkan kinerja mesin bensin. *Proton*, 2(2).
- Tangkudung, A. G. (2024). Jejak sejarah mobil listrik di Indonesia: Perkembangan dan tantangan. *Syntax Idea*, 6(9), 6087–6096.
- Wang, Q., Jiang, B., Li, B., & Yan, Y. (2016). A critical review of thermal management models and solutions of lithium-ion batteries for the development of pure electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 64, 106–128.
- World Federation of Engineering Organizations. (2023). *WFEO Code of Ethics*. WFEO.