Pengujian dan Pengembangan Driving Cycle di Area Solo untuk Simulasi Kinerja Baterai Pack Kendaraan Listrik

Mufti Reza Aulia Putra[1,*], Bagas Setiawan[1], Julian Fikri Arifwardana[2]

[1]Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
Surakarta, Jawa Tengah 57126
[2]Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret,
Surakarta, Jawa Tengah 57126
Email korespondensi: muftireza@staff.uns.ac.id

Abstrak

Pengujian driving cycle merupakan langkah krusial dalam mengukur kinerja kendaraan bermotor berbasis baterai (KBLBB), terutama dalam aspek efisiensi penggunaan energi dan pengoptimalan desain baterai. Artikel ini membahas mengenai pengujian driving cycle yang dilakukan di area Solo, Jawa Tengah, untuk memperoleh rute yang dapat digunakan dalam pengujian baterai pack. Data hasil pengujian driving cycle yang diusulkan menunjukkan hasil yang cukup baik, di mana pola rute yang dihasilkan dapat menyerupai data yang ada pada permodelan, dengan perbedaan kurang dari 3% antara data lapangan dan data simulator. Skema pengujian menggunakan beban 14,8 A telah memenuhi standar pengujian yang berlaku. Rekaman hasil data pengujian lapangan menunjukkan nilai konsumsi energi 22,3 Ah, sedangkan data hasil simulasi menunjukkan nilai 22,8 Ah, dengan selisih 2,2%. Rekaman hasil data ini memberikan data yang konsisten dan relevan untuk digunakan sebagai dasar input dalam simulator kendaraan listrik, memungkinkan simulasi yang lebih akurat mengenai kinerja baterai dalam berbagai kondisi operasional yang nyata. Dengan demikian, data driving cycle ini tidak hanya berperan sebagai alat ukur efisiensi kendaraan, tetapi juga sebagai dasar yang valid untuk evaluasi kinerja baterai dalam pengujian berbasis simulator.

Kata kunci: driving cycle, KBLBB, Pack Baterai, Load Simulator, Emulator

Abstract

Driving cycle testing is a crucial step in measuring the performance of battery electric vehicles (BEVs), especially in terms of energy efficiency and battery design optimization. This article discusses the driving cycle testing conducted in the Solo area, Central Java, to obtain a route that can be used in battery pack testing. The proposed driving cycle testing data shows good results, where the generated route pattern closely resembles the data in the model, with a difference of less than 3% between the field data and simulator data. The testing scheme using a 14.8 A load has met the applicable testing standards. Field test data recordings show an energy consumption value of 22.3 Ah, while simulation data shows a value of 22.8 Ah, with a difference of 2.2%. These recorded results provide consistent and relevant data to be used as input in electric vehicle simulators, allowing for more accurate simulations of battery performance under various real-world operational conditions. Therefore, this driving cycle data serves not only as a measure of vehicle efficiency but also as a valid basis for evaluating battery performance in simulator-based testing.

Keywords: Driving Cycle, EV, Pack Battery, Load Simulator, Emulator

1. Pendahuluan

Dalam pengujian kendaraan bermotor berbasis baterai, khususnya kendaraan listrik (EV), salah satu parameter yang sangat penting untuk diperhatikan adalah siklus pengemudi atau driving cycle. Driving cycle merupakan representasi pola perjalanan yang dilakukan oleh kendaraan dalam kondisi dunia nyata, mencakup perubahan kecepatan, akselerasi, dan deselerasi yang terjadi selama perjalanan [1]. Pengujian driving cycle yang akurat dan representatif sangat penting untuk memperoleh data yang relevan dalam evaluasi kinerja baterai kendaraan listrik. Data ini tidak hanya berfungsi untuk mengevaluasi efisiensi penggunaan energi kendaraan, tetapi juga untuk membantu pengoptimalan desain baterai yang lebih efisien dan meningkatkan daya jangkau kendaraan listrik [2].

Seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi kendaraan listrik di berbagai belahan dunia, kebutuhan akan pengujian yang lebih akurat dan sesuai dengan kondisi nyata semakin penting, khususnya untuk kendaraan yang beroperasi di perkotaan [3], [4]. Di Indonesia, kota-kota besar seperti Jakarta dan Surabaya telah menjadi fokus dalam pengembangan driving cycle yang mewakili kondisi lalu lintas perkotaan. Namun, penelitian terkait driving cycle di kota-kota dengan karakteristik lalu lintas yang berbeda, seperti Solo, masih sangat terbatas. Solo, dengan kondisi lalu lintas yang lebih variatif namun tidak sepadat kota besar lainnya,

menawarkan tantangan dan kebutuhan yang berbeda dalam hal pengujian kendaraan listrik.

Perkembangan kendaraan listrik (EV) di Indonesia semakin pesat, seiring dengan upaya pemerintah untuk mendukung pengurangan emisi karbon dan meningkatkan efisiensi energi dalam sektor transportasi [5]. Kendaraan listrik, dengan daya tahan baterai yang lebih baik, dapat menawarkan solusi yang lebih ramah lingkungan dibandingkan kendaraan bermotor berbasis bahan bakar fosil. Salah satu aspek yang sangat penting dalam pengembangan kendaraan listrik adalah pengujian yang tepat untuk menilai efisiensi baterai dan kinerja kendaraan dalam berbagai kondisi operasional. Pengujian driving cycle menjadi sangat krusial untuk mengevaluasi bagaimana kendaraan listrik beroperasi di dunia nyata, dengan memperhitungkan berbagai faktor seperti kecepatan, akselerasi, kondisi jalan, dan pola lalu lintas [6].

Pengujian driving cycle di Solo, yang memiliki karakteristik jalan dan pola lalu lintas yang berbeda dari kota besar lainnya, memberikan kesempatan untuk mengembangkan driving cycle yang lebih representatif untuk kendaraan listrik yang beroperasi di kawasan perkotaan. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada pengujian driving cycle di Solo untuk menghasilkan data yang lebih akurat mengenai kinerja kendaraan listrik, yang nantinya dapat digunakan untuk pengujian baterai pack dengan simulasi yang lebih realistis. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan driving cycle yang sesuai dengan karakteristik wilayah tertentu. Xie et al. (2019) dalam studi mereka mengembangkan urban driving cycle untuk kendaraan listrik di wilayah perkotaan China. Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi kecepatan dan akselerasi sangat berpengaruh terhadap efisiensi energi kendaraan listrik [7]. Penelitian serupa oleh di Eropa mengeksplorasi hubungan antara driving cycle dan kinerja baterai kendaraan listrik, serta memberikan kontribusi penting dalam pengembangan sistem manajemen energi untuk kendaraan listrik [7]. Meskipun banyak penelitian serupa dilakukan di wilayah lain, sedikit sekali yang fokus pada kota Solo di Indonesia. Penelitian ini diharapkan dapat menutup kesenjangan tersebut dan memberikan kontribusi penting untuk pengujian kendaraan listrik di kawasan dengan kondisi lalu lintas yang lebih bervariasi. Penelitian ini menawarkan kebaruan yang signifikan karena fokusnya pada pengujian driving cycle di Solo, yang memiliki karakteristik lalu lintas yang berbeda dibandingkan dengan kota besar lainnya. Sebelumnya, sebagian besar penelitian mengenai driving cycle lebih terfokus pada kota-kota besar dengan tingkat kepadatan lalu lintas yang tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan pendekatan baru dalam mengembangkan driving cycle yang lebih representatif untuk kendaraan listrik di kawasan perkotaan dengan lalu lintas yang tidak sepadat kota besar. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menghasilkan data yang dapat digunakan sebagai input untuk emulator pengujian baterai pack, yang memungkinkan simulasi kinerja baterai kendaraan listrik yang lebih akurat dan realistis. Inovasi ini penting untuk pengembangan standar pengujian kendaraan listrik yang lebih efektif di masa depan.

2. Metode

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengembangkan dan menguji driving cycle yang representatif untuk kendaraan listrik di area Solo. Metode yang digunakan melibatkan dua pendekatan utama: pengujian lapangan menggunakan kendaraan listrik dan perbandingan hasilnya dengan simulasi menggunakan load simulator. Pengujian lapangan dilakukan dengan berkendara menggunakan kendaraan listrik pada rute yang telah dipilih di area perkotaan sekitar Solo, yang mencakup berbagai jenis jalan dan kondisi lalu lintas, termasuk jalan utama, jalan perumahan, dan jalan sempit dengan variasi akselerasi, kecepatan, serta perubahan arah. Selama perjalanan, data yang dikumpulkan meliputi kecepatan kendaraan, akselerasi, konsumsi energi, dan jarak tempuh. Gambar 1 menunjukan rute yang digunakan.

Gambar 1. Rute hasil pengujian

Tabel 1. Properti baterai $LiFePO_4$

Parameter	Nilai	Satuan
Tegangan individu	3,2	Volt (V)
Jumlah seri	20	Seri (S)
Tegangan total	60	Volt (V)
Kapasitas total	23	Ampere hour (Ah)

Tabel 1 menunjukkan properti baterai LiFePO4 yang digunakan pada proses pengujian dilapangan. Hasil pengujian lapangan ini kemudian dianalisis untuk memperoleh driving cycle yang mencerminkan pola perjalanan kendaraan listrik di Solo. Selanjutnya, hasil dari driving cycle ini dibandingkan dengan simulasi menggunakan load simulator. Load simulator dihitung berdasarkan pendekatan jarak tempuh kendaraan, di mana simulasi mengkalkulasi

beban yang diterima oleh baterai selama perjalanan sesuai dengan pola yang dihasilkan dari pengujian lapangan. Dengan menggunakan pendekatan ini, dapat dibandingkan seberapa akurat data yang diperoleh dari driving cycle lapangan dalam mencerminkan kondisi yang ada pada simulasi, terutama dalam hal penggunaan energi baterai dan kinerja kendaraan listrik secara keseluruhan. Proses perbandingan ini penting untuk memastikan bahwa hasil yang dihasilkan dari driving cycle lapangan dapat digunakan sebagai input valid dalam emulator untuk pengujian baterai pack kendaraan listrik di masa depan.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan data yang diperoleh, terdapat perbedaan kecil antara hasil Road Test dan Simulator Test. Pada Road Test, kapasitas baterai yang digunakan adalah 22,3 Ah, sementara pada Simulator Test kapasitasnya sedikit lebih tinggi, yaitu 22,8 Ah. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh variasi kondisi lapangan dan pengaturan pada simulator. Waktu pengujian pada Road Test adalah 1,5 jam, sedangkan Simulator Test memakan waktu 1,6 jam, dengan selisih 0,1 jam. Perbedaan ini menunjukkan bahwa meskipun ada peningkatan kapasitas pada simulator, durasi pengujian hampir serupa. Arus yang digunakan pada kedua tes adalah 14,8 A, yang menunjukkan kesesuaian antara kedua metode pengujian dalam hal konsumsi daya. Secara keseluruhan, perbedaan kecil ini tidak signifikan dan menunjukkan bahwa simulator dapat merepresentasikan kinerja kendaraan listrik dengan baik.

Tabel 2. Perbandingan hasil pengujian

Parameter	Road test	Simulator test
Kapasitas	22,3 Ah	22,8 Ah
Waktu	1,5 jam	1,55 jam
Arus	14,8	14,8

Pengujian lapangan

Setelah dilakukan pengujian, diperoleh hasil yang ditunjukkan pada Gambar 2 hasil uji *road* tes. Proses pengujian dilakukan pada kendaraan listrik (EV) dengan satu siklus pengoperasian, yakni dari State of Charge (SoC) 100% hingga SoC 0%, dengan kecepatan rata-rata 30 km/jam. Hasil pengujian menunjukkan bahwa jarak tempuh yang tercatat adalah 46,31 km, dengan kapasitas baterai yang digunakan sebesar 22,3 Ah.

Berdasarkan hasil tersebut, efisiensi konsumsi kapasitas baterai dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$Efisiensi\ kapasitas = \frac{46{,}31\ km}{22{,}3\ Ah} = 2.08 \text{ km/Ah} \quad (1)$$

Gambar 2. Hasil pengujian *road test EV*

Dengan demikian, efisiensi kapasitas yang diperoleh adalah 2,08 km per Ah. Mengingat jarak tempuh 46,31 km dan kecepatan rata-rata 30 km/jam, waktu tempuh yang dibutuhkan adalah sekitar 1,5 jam. Berdasarkan kapasitas yang digunakan, maka arus rata-rata yang mengalir selama proses pengujian dapat dihitung sebagai berikut:

$$I = \frac{22{,}3\ Ah}{1{,}5\ h} = 14{,}8\ A \quad (2)$$

Hasil perhitungan menunjukkan rata – rata arus sebesar 14,8 A. Hal ini memberikan gambaran mengenai seberapa besar arus yang dibutuhkan untuk mencapai jarak tempuh tersebut dalam waktu yang telah dihitung.

Pengujian Simulator

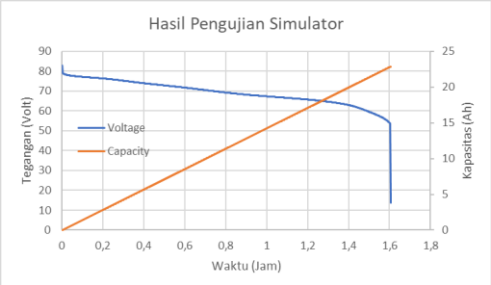
Pada Tabel 3, disajikan data hasil pengujian simulator yang menunjukkan hubungan antara waktu, kapasitas baterai, tegangan, dan arus selama proses pengujian. Data ini memberikan informasi detail tentang performa baterai dalam kondisi simulasi, yang membantu untuk memahami perubahan kapasitas dan tegangan seiring waktu.

Tabel 3. Data hasil pengujian simulator

Time (Hour)	Capacity (Ah)	Voltage (V)	Arus (A)
0,001416667	0	82,7729	14,8
0,002833333	0	82,774	14,8
0,00425	0,0202	78,9934	14,8
0,005666667	0,0404	78,8508	14,8
0,007083333	0,0606	78,7318	14,8
0,0085	0,0808	78,6485	14,8
...	...	...	...
...	...	...	...
1,603666667	22826	53,6383	14,8
1,605083333	22846,2	13,7649	14,8

Pengujian simulator dilakukan menggunakan alat Chroma 17020, yang dirancang untuk menguji performa baterai secara akurat. Pada pengujian ini, kapasitas baterai yang digunakan tercatat sebesar 22,8

Ah dengan durasi pengujian mencapai 1,6 jam. Arus yang diterapkan selama pengujian adalah 14,8 A. Meskipun terdapat perbedaan kecil dalam kapasitas dan durasi pengujian, penggunaan alat simulator ini terbukti efektif dalam mereplikasi konsumsi daya kendaraan listrik, memberikan gambaran yang tepat mengenai kinerja baterai dalam kondisi yang terkontrol. Gambar 3 menunjukkan grafik hasil pengujian simulator, yang menggambarkan perubahan kapasitas baterai dan tegangan sepanjang durasi pengujian.



Gambar 3. Grafik hasil pengujian simulator

Hasil pengujian simulator yang ditunjukkan pada grafik memperlihatkan hubungan antara tegangan dan kapasitas terhadap waktu dalam satuan jam, dimana tegangan yang ditunjukkan dengan garis biru mengalami penurunan gradual dari 80 Volt hingga mencapai 53 Volt yang menunjukkan *cut off* pada waktu 1.6 jam, dengan penurunan drastis setelah 1.4 jam. Sementara itu, kapasitas yang ditunjukkan dengan garis oranye mengalami peningkatan linear konsisten dari nilai mendekati 0 hingga mencapai maksimum sekitar 22,8 Ah pada waktu 1.6 jam, menunjukkan karakteristik tipikal dari pengujian baterai atau sistem penyimpanan energi di mana terdapat trade-off antara tegangan yang tersedia dan kapasitas yang terpakai.

4. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa pengujian kendaraan listrik menggunakan metode Road Test dan Simulator Test menghasilkan hasil yang hampir serupa, meskipun terdapat perbedaan kecil pada kapasitas baterai dan durasi pengujian. Kapasitas baterai pada Road Test adalah 22,3 Ah, sementara pada Simulator Test tercatat 22,8 Ah, dan durasi pengujian pada Road Test adalah 1,5 jam, sedangkan pada Simulator Test 1,6 jam. Perbedaan ini dapat dijelaskan oleh variasi kondisi lapangan dan pengaturan pada simulator, namun tidak signifikan. Efisiensi kapasitas pada Road Test tercatat sebesar 2,08 km per Ah, yang menunjukkan kinerja baterai yang efisien. Dengan demikian, hasil penelitian ini memberikan gambaran yang valid mengenai kinerja kendaraan listrik dalam kedua metode pengujian. Sebagai saran, penelitian lanjutan disarankan untuk menguji performa kendaraan listrik dalam kondisi lingkungan yang lebih beragam guna memperoleh data yang lebih komprehensif dan meningkatkan akurasi simulasi dalam mereplikasi kondisi lapangan yang lebih realistis, serta untuk mendukung pengembangan teknologi kendaraan listrik yang lebih efisien.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh RKAT Universitas Sebelas Maret Tahun Anggaran 2025 melalui skema Penelitian PENELITIAN FUNDAMENTAL (PF-UNS) dengan Nomor Perjanjian Penugasan Penelitian : 369/UN27.22/PT.01.03/2025.

Daftar Pustaka

[1] P. N. Shanu and S. Senthilkumar, “Performance optimization of mild hybrid passenger vehicle by dual control strategy for city driving cycle,” *Energy*, vol. 214, p. 118953, 2021, doi: 10.1016/j.energy.2020.118953.

[2] Q. Feng, X. Sun, J. Hao, and J. Li, “Predictability dynamics of multifactor-influenced installed capacity: A perspective of country clustering,” *Energy*, vol. 214, p. 118831, 2021, doi: 10.1016/j.energy.2020.118831.

[3] J. Yuan, Z. Zhou, K. Huang, Z. Han, C. Wang, and S. Lu, “Analysis and evaluation of the operation data for achieving an on-demand heating consumption prediction model of district heating substation,” *Energy*, vol. 214, p. 118872, 2021, doi: 10.1016/j.energy.2020.118872.

[4] F. A. Perdana, “Baterai Lithium,” *INKUIRI J. Pendidik. IPA*, vol. 9, no. 2, p. 113, 2021, doi: 10.20961/inkuiri.v9i2.50082.

[5] A. Das, T. R. Ashwin, and A. Barai, “Modelling and characterisation of ultrasonic joints for Li-ion batteries to evaluate the impact on electrical resistance and temperature raise,” *J. Energy Storage*, vol. 22, no. February, pp. 239–248, 2019, doi: 10.1016/j.est.2019.02.017.

[6] M. Wang, C. Yang, W. Wang, R. Chen, and Y. Li, “A power distribution strategy for heavy duty HEV with series hybrid powertrain based on model predictive control method,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 54, no. 10, pp. 72–77, 2021, doi: 10.1016/j.ifacol.2021.10.143.

[7] Y. Tian, Y. Wang, X. Xie, J. Jiao, and H. Jiao, “The impact of business-government relations on firms’ innovation: Evidence from Chinese manufacturing industry,” *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 143, no. August 2018, pp. 1–8, 2019, doi: 10.1016/j.techfore.2019.02.007.