

# Electric Vehicle Battery and Motor Sizing for Yogyakarta Tourism Spots

I.M. Miasa<sup>1</sup>, A. Widyaparaga<sup>1</sup>, Sucipto<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical and Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Gadjah Mada

<sup>2</sup>Pusat Studi Energi, Universitas Gadjah Mada

\*E-mail: [sucipto1007@gmail.com](mailto:sucipto1007@gmail.com)

## Abstrak

Pertumbuhan pariwisata di Daerah Istimewa Yogyakarta telah mendorong kebutuhan terhadap transportasi ramah lingkungan. Kendaraan listrik (EV) menjadi solusi untuk mengurangi emisi karbon dan meningkatkan kenyamanan wisatawan. Studi ini dilakukan untuk menentukan spesifikasi optimal EV untuk rute tujuan wisata lokal di Provinsi Yogyakarta melalui survei lapangan dan preferensi wisatawan. Analisis mencakup perhitungan daya dan torsi motor listrik berdasarkan hambatan gerak serta kebutuhan energi untuk menentukan kapasitas baterai optimal dalam dua skenario: tanpa dan dengan stasiun pengisian daya. Hasil kajian menunjukkan bahwa rute wisata di Mangunan, dengan elevasi signifikan, memerlukan daya lebih besar dibandingkan rute datar seperti Kraton–Gumuk Pasir. Kapasitas baterai bervariasi tergantung skenario pengisian, mempertimbangkan konsumsi daya motor, pendingin udara, dan sistem keselamatan. Studi ini memberikan dasar untuk pengembangan EV wisata berkelanjutan di Yogyakarta.

**Kata kunci**: kendaraan listrik, transportasi wisata, konsumsi energi, perencanaan baterai, motor listrik.

## Abstract

*The growth of tourism in Yogyakarta has increased the demand for environmentally friendly transportation. Electric vehicles (EVs) offer a solution to reduce carbon emissions and enhance tourist convenience. This study determines the optimal EV specifications for tourism routes in Yogyakarta through field surveys and tourist preference analysis. The analysis includes calculating the motor power and torque based on motion resistance and assessing energy requirements to determine the optimal battery capacity under two scenarios: without and with charging stations. The results indicate that the Mangunan tourist route, with significant elevation changes, requires higher power than flat routes such as Kraton–Gumuk Pasir. Battery capacity varies depending on the charging scenario, considering motor power consumption, air conditioning, and safety systems. This study provides a foundation for the development of sustainable EV tourism in Yogyakarta.*

**Keywords**: electric vehicle, tourism transportation, energy consumption, battery, electric motor.

## 1. PENDAHULUAN

Peranan moda transportasi dalam memenuhi kebutuhan manusia dalam berpindah dari satu tempat ke tempat lainnya menjadi sangat penting pada saat ini. Keperluan dan terpenuhinya moda transportasi ini seringkali menjadi salah satu faktor utama berkembangnya sebuah daerah wisata. Peningkatan aksesibilitas ke tempat-tempat pariwisata melalui infrastruktur transportasi yang baik dapat memudahkan turis untuk berwisata dan juga meningkatkan jumlah kunjungannya (Raharjo dkk, 2023). Yogyakarta, yang menurut Ayunda dkk. (2024) merupakan kota dengan perpaduan wisata perkotaan dan budaya, didatangi hingga 22,5 juta wisatawan nusantara dan tercatat setidaknya 11 ribu kunjungan dari wisatawan mancanegara dalam periode bulan Januari hingga Juli tahun 2024 (BPS, 2024). Dengan banyaknya wisatawan yang datang ke Yogyakarta, hal tersebut akan menimbulkan permintaan terhadap transportasi di dalam kota maupun ke luar kota sehingga akan memerlukan energi untuk memenuhi kebutuhan transportasi. Transformasi daerah wisata sebagai sebuah respons terhadap perubahan iklim tidak lagi terelakkan dan merupakan tanggung jawab bersama termasuk pembuatan kebijakan, reformasi institusi, perubahan kebiasaan, dan aksi untuk perubahan iklim (Song, 2022).

Mayoritas dari transportasi yang tersedia saat ini masih menggunakan teknologi *internal combustion engine* (seterusnya akan disebut ICE) yang menggunakan bahan bakar fosil sebagai sumber energi. Penggunaan bahan bakar fosil sebagai sumber energi akan mengeluarkan emisi gas karbon dioksida yang akan berdampak ke lingkungan. Sektor transportasi merupakan sektor yang mengeluarkan emisi kedua terbesar setelah sektor energi, sehingga transisi yang cepat menuju ke penyediaan mobilitas yang berkelanjutan menjadi sangat penting (Bollenbach, 2025). Gas buang yang dihasilkan oleh kendaraan dengan teknologi ICE masih mengeluarkan emisi gas buang yang berakibat langsung pada polusi di lokasi moda transportasi tersebut digunakan. Dengan berkembangnya teknologi hybrid yang juga mengkombinasikan teknologi ICE dengan EV, namun kendaraan tersebut masih tetap menghasilkan emisi gas buang yang berkontribusi pada perbaikan kualitas udara. Lebih lanjut, salah satu terobosan yang kerap kali dibicarakan dan dapat menjadi solusi terkait permasalahan ini adalah penggunaan teknologi listrik pada moda transportasi. Perkembangan teknologi menunjukkan bahwa *electrified vehicle* (EV) dapat memberikan peningkatan efisiensi energi secara signifikan yang akan berdampak pada penurunan permintaan terhadap bahan bakar minyak yang dapat berimplikasi pada penurunan tingkat emisi gas buang dengan bonus peningkatan kenyamanan moda transportasi. Oleh karena itu, kendaraan tanpa emisi gas buang dipandang sebagai upaya yang menjanjikan untuk mengurangi jejak karbon dari sektor transportasi (García-Afonso dan González-Díaz, 2023). Pada jangka panjang, *indirect carbon footprint* dari penggunaan EV akan terus turun seiring dengan perpindahan pembangkit listrik berbasis batu bara dan bahan bakar fosil ke energi yang lebih bersih dan terbarukan (McKercher & Tkaczynski, 2024).

Lebih lanjut, Soomauroo dkk (2020) mempelajari mengenai kontribusi negara kepulauan kecil berkembang (*small islands developing states*) terhadap proporsi emisi gas rumah kaca dan konsumsi energi. Kondisi geografis dan tantangan ekonomi dimana jaringan jalan yang terbatas, biaya impor bahan bakar yang tinggi, relevansi kuat dengan sektor pariwisata menjadikan transisi cepat ke sistem dengan karbon rendah menjadi sebuah kesempatan menarik dalam rencana dekarbonisasi sektor transportasi. Eksplorasi yang dilakukan oleh Abdelhady dan Shaban (2023) mengenai permodelan simulasi terkait kinerja stasiun pengisian daya listrik yang didukung oleh energi terbarukan untuk melayani suatu kawasan untuk mendukung kendaraan listrik mendapatkan hasil yang positif dari perspektif teknis, ekonomi dan lingkungan. Semakin menurunnya harga energi terbarukan dan bertambahnya penetrasi kendaraan listrik membuka peluang baru dalam dekarbonisasi sistem energi yang berimplikasi pada penyediaan energi bersih bagi moda transportasi (Kobashi dkk, 2020). EV memiliki karakteristik yang unik dibandingkan dengan ICE. Baterai yang menyuplai energi kepada motor listrik menjadi penggerak utama pada kendaraan listrik. Kebutuhan energi listrik untuk memenuhi baterai umumnya disediakan melalui stasiun pengisian daya listrik. Untuk menentukan ukuran motor listrik secara tepat, diperlukan analisis kebutuhan daya dan torsi. Mengingat kendaraan akan dioperasikan untuk mengangkut material daur ulang dalam jumlah besar di sepanjang rute yang memiliki banyak tanjakan dan kondisi jalan yang tidak rata, maka perlu dilakukan identifikasi terhadap kondisi-kondisi kritis serta skenario terburuk. Hal ini penting agar proses perhitungan ukuran motor dapat dilakukan dengan tingkat akurasi yang tinggi (Veiga dkk, 2012). Oleh karena itu, rancangan dan spesifikasi kendaraan listrik yang optimal untuk melayani kebutuhan wisatawan di Yogyakarta dalam beroperasi pada rute-rute tertentu untuk mengunjungi lokasi-lokasi wisata menjadi penting dan mendesak untuk pemangku kebijakan serta pelaku bisnis untuk dapat memberikan data teknis mendasar dari pengambilan data primer yang mendukung upaya penyediaan moda transportasi rendah karbon.

## 2. METODE PENELITIAN

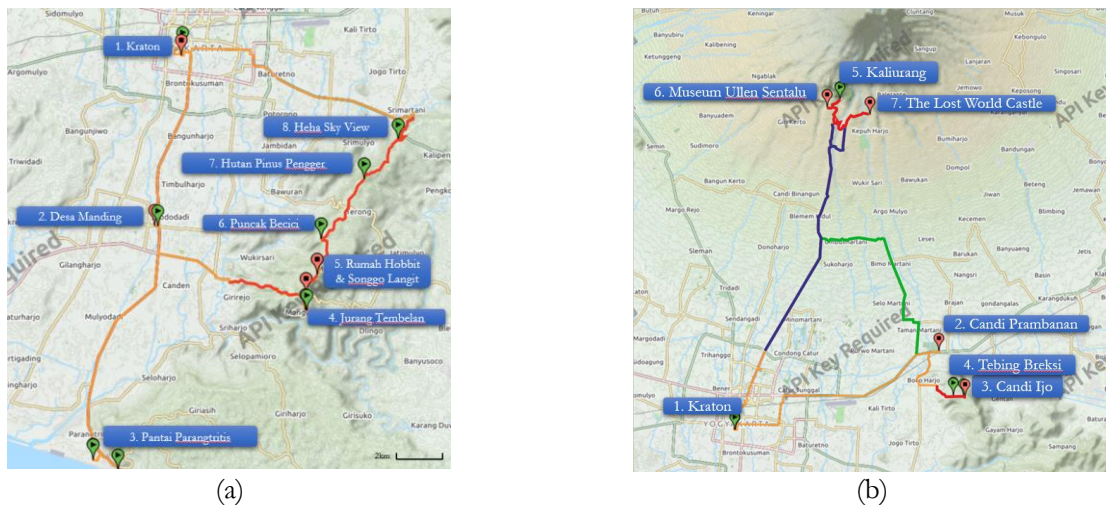
Kajian ini dilakukan dengan mengumpulkan data langsung dari lapangan melalui pemantauan langsung. Data-data yang didapatkan dari survei lapangan meliputi jarak tempuh, waktu tempuh dan elevasi tiap rute yang telah

direncanakan sebelumnya dengan menggunakan aplikasi GeoTracker yang diaktifkan secara *real-time*. Kendaraan dikemudikan dengan mode *ecodriving* sehingga tidak terjadi perubahan akselerasi/deselerasi yang terlalu signifikan (percepatan/perlambatan konstan) untuk meningkatkan akurasi pengambilan data.

Perhitungan bertujuan untuk mendapatkan spesifikasi kendaraan meliputi kebutuhan daya dan torsi motor listrik, keperluan total energi untuk mencapai lokasi wisata. Total kebutuhan energi yang dibutuhkan untuk melakukan perjalanan meliputi energi listrik untuk memutar motor listrik, keperluan energi untuk pendingin udara, keperluan energi untuk aspek-aspek keselamatan seperti penggunaan lampu utama mobil, lampu sein dan lain-lain digunakan untuk merumuskan kapasitas baterai yang dibutuhkan oleh kendaraan listrik tersebut apabila digunakan untuk berkomuter dan memprakirakan lokasi-lokasi strategis untuk membangun stasiun pengisian daya.

### 2.1. Survei Lapangan

Urutan tempat wisata yang dituju dari survei ini seperti terlihat pada Gambar 1 (a) untuk rute 1 dan (b) untuk rute 2 dengan rincian tujuan wisata sebagai tertampil di Tabel 1



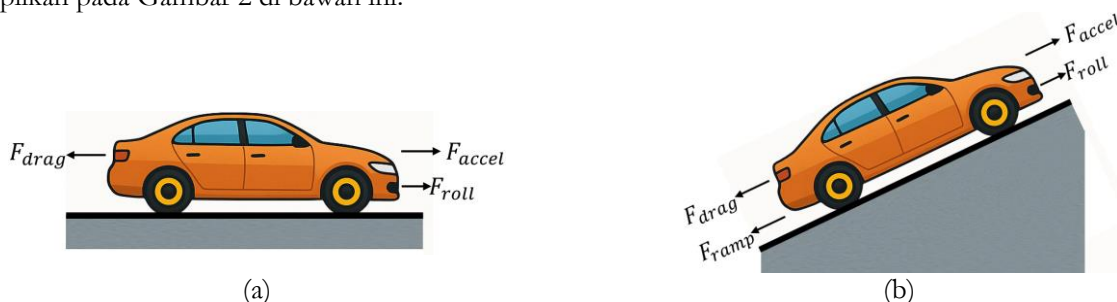
Gambar 1. Peta jalur survei lokasi wisata Daerah Istimewa Yogyakarta

Tabel 1. Survei lokasi wisata

No.	Rute 1	Rute 2
1	Kraton	Kraton
2	Desa Wisata Manding	Candi Prambanan
3	Pantai Parangtritis	Candi Ijo
4	Jurang Tembelan	Tebing Breksi
5	Seribu Batu Songgo Langgit/Rumah Hobbit	Kaliurang
6	Pinus Penger	Museum Ullen Sentalu
7	Puncak Becici	The Lost World Castle
8	Heha Sky View	

### 2.2. Battery and motor sizing

Pemilihan motor listrik dilakukan dengan mempertimbangkan tenaga (*power*), torsi (*torque*), dan durabilitas (*durability*). Hasil survei preferensi dan kondisi rute perjalanan terkait elevasi, jarak dan kebutuhan energi lainnya digunakan untuk menentukan spesifikasi dari ketiga aspek tersebut dengan mengacu pada formula matematis untuk perhitungan daya dan torsi pada kajian yang dilakukan oleh Veiga dkk. (2012) dengan gaya-gaya seperti yang ditampilkan pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Ilustrasi gaya yang terjadi ketika kendaraan bergerak pada (a) jalan lurus (perhitungan P1) dan (b) tanjakan (perhitungan P2).

Perhitungan kapasitas motor listrik yang diperlukan dilakukan dengan 2 skema yaitu percepatan maksimum pada jalan landai dan percepatan tertentu pada jalan menanjak. Dua skema tersebut akan menampilkan perbedaan pada percepatan dan *ramp angle* sehingga mempengaruhi kebutuhan daya dan torsi dari motor listrik yang dibutuhkan. Untuk menentukan daya dan torsi tersebut, perhitungan dari gaya-gaya yang diterapkan pada kendaraan listrik, dengan mempertimbangkan *drag resistance*, *rolling resistance*, dan berat total dari kendaraan sehingga ada 4 gaya utama yang akan dipertimbangkan yaitu *rolling resistance force*, *drag resistance force*, *acceleration force*, dan *dynamic force* untuk menaiki tanjakan diperhitungkan sebagai berikut:

$$F_{roll} = m * g * c_{re} \text{ (N)} \quad (1)$$

$$F_{drag} = 0,5 * \rho_{udara} * A_{front} * c_d * v^2 \text{ (N)} \quad (2)$$

$$F_{accel} = m * a \text{ (N)} \quad (3)$$

$$F_{ramp} = 0,5 * m * g * \sin (\theta . \pi / 180) \text{ (N)} \quad (4)$$

Dimana,  $m$  adalah massa kendaraan (kg),  $g$  adalah percepatan gravitasi ( $m/s^2$ ),  $c_{re}$  adalah koefisien resistansi terhadap *roll*,  $\rho_{udara}$  adalah massa jenis udara ( $kg/m^3$ ),  $A_{front}$  adalah luas frontral depan kendaraan ( $m^2$ ),  $v$  adalah kecepatan kendaraan ( $m/s$ ), dan  $a$  adalah akselerasi kendaraan ( $m/s^2$ ).  $F_{roll}$ ,  $F_{drag}$ ,  $F_{accel}$  dan  $F_{ramp}$  selanjutnya akan digunakan untuk perhitungan daya ideal untuk P1 dan  $F_{roll}$ ,  $F_{drag}$  dan  $F_{accel}$  akan digunakan untuk perhitungan P2 yang menguraikan perhitungan daya tanpa faktor tanjakan.

Kemudian, untuk menghitung daya maksimum yang dibutuhkan oleh motor listrik dengan menggunakan persamaan (5) di bawah ini dimana digunakan gaya-gaya maksimum yang dialami oleh kendaraan:

$$P1 = v * (F_{roll} + F_{drag} + F_{accel} + F_{ramp}) \text{ (N)} \quad (5)$$

Lebih lanjut, dikarenakan tiap motor listrik tidak memiliki efisiensi 100%, sehingga perhitungan daya motor listrik aktual mengikutsertakan efisiensinya ke dalam perhitungan, dengan mengikuti persamaan (6) di bawah ini:

$$P_{motor} = \frac{P1}{\eta_{motor}} \text{ (N)} \quad (6)$$

Pada *battery pack sizing*, perhitungan kebutuhan energi yang dibutuhkan untuk perjalanan satu rute akan menggunakan rute spesifik dan parameter berdasarkan data yang telah diambil. Dengan menentukan kebutuhan energi, perhitungan penyimpanan energi yang dibutuhkan untuk beroperasi dilakukan dengan metode sebagai berikut:

1. Menggunakan karakteristik kendaraan, berat dan kekuatan motor listrik.
2. Menghitung kecepatan menggunakan GPS dengan memasukkannya ke grafik kecepatan dibandingkan dengan waktu.
3. Memasukkan hasil data ke dalam formula perhitungan.

Parameter kendaraan yang digunakan mengikuti 2 skenario yang diasumsikan yaitu skenario pertama dimana tidak ada *charging station* di tempat wisata selain di titik awal perjalanan dan skenario kedua adalah dengan mengasumsikan ada 2 tempat *charging station* pada setiap rute dan memungkinkan untuk dilakukan pengisian energi listrik ke baterai selama 2 jam sebanyak 2 kali dengan *charging rate* 6 kWh/2jam. *Charging rate* sebesar 6 kWh/2jam dipilih berdasarkan penelitian sebelumnya yang menggunakan mobil PHEV Toyota Prius generasi ke dua (XW50) dengan baterai Lithium-ion berkapasitas 8.8 kWh dengan *plug-in charging 3.3 kW type 2 connector* yang membutuhkan waktu 2 jam untuk mengisi daya sebesar 6 kWh (Toyota UK Media Site, 2017). Dengan rute yang berbeda, maka kebutuhan energi yang dibutuhkan akan bervariasi tergantung pada medan perjalanan. Oleh karena itu diperlukan kapasitas baterai yang berbeda karena kebutuhan seluruh energi listrik yang berbeda. Untuk memvalidasi asumsi yang telah dilakukan, kapasitas baterai yang digunakan pakai kedua skenario tidak boleh lebih kecil dibandingkan dengan kapasitas baterai minimal yang dibutuhkan untuk setiap trip.

Dari perhitungan kecepatan dibandingkan dengan waktu, dan mempertimbangkan gaya traksi, maka dapat dilakukan perhitungan kebutuhan daya setiap waktunya. Mengintegrasikan hasil kebutuhan daya dengan energi yang digunakan dalam satu rute akan digunakan untuk memilih kapasitas baterai yang dibutuhkan. Kebutuhan daya dihitung dengan persamaan (7):

$$P2 = v * F_{trac} \text{ (W)} \quad (7)$$

Dimana  $P2$  adalah daya,  $v$  adalah kecepatan dan  $F_{trac}$  adalah gaya traksi. Perhitungan gaya traksi dilakukan dengan persamaan (8) dengan gaya-gaya maksimum yang dialami oleh kendaraan:

$$F_{trac} = (F_{roll} + F_{drag} + F_{accel}) \text{ (N)} \quad (8)$$

Sehingga apabila digabungkan, perhitungan daya menjadi persamaan (9) ini

$$P2 = v * (F_{roll} + F_{drag} + F_{accel}) \text{ (W)} \quad (9)$$

Perlu menjadi catatan bahwa  $P2$  berbeda dengan  $P1$  karena  $P1$  menggunakan gaya yang dihasilkan dari kemiringan jalan. Istilah ini diabaikan di sini karena, selama perjalanan, kemiringan jalan memiliki kecenderungan sudah termasuk dalam data kecepatan versus waktu. Kemudian torsi didefinisikan sebagai persamaan (10) di bawah ini:

$$T = (F_{trac} * r_{wheel})/G \text{ (N.m)} \quad (10)$$

Dimana  $T$  adalah torsi,  $r_{wheel}$  adalah jari-jari roda, dan  $G$  adalah rasio roda gigi.

Pada akhirnya, energi yang digunakan didefinisikan dengan persamaan (11) yaitu:

$$E = \int P_2 . dt \text{ (Wh)} \quad (11)$$

Dimana  $E$  adalah energi dalam Wh, dan dapat dihitung menggunakan luas area dari grafik Daya dibandingkan dengan Waktu.

Setelah dilakukan perhitungan energi yang dibutuhkan untuk satu kali perjalanan dengan melakukan perhitungan di atas, maka energi yang terhitung hanya 60% dari energi total yang dikeluarkan karena 40% lainnya merupakan energi yang digunakan untuk keperluan *air conditioning* (Subiantoro, 2014). Maka energi total dihitung dengan persamaan (12) berikut:

$$E_{tot} = E/0,6 \text{ (Wh)} \quad (12)$$

Lebih lanjut, *buffer* dan *safety margin* dari baterai harus selalu di atas 20 persen dan 10 persen secara berurutan yang umum digunakan berdasarkan *best practice*. Hal tersebut dibutuhkan untuk mendukung pengoperasian baterai dan kendaraan yang optimal sehingga kebutuhan baterai yang sesungguhnya didapatkan dengan formula (13) sebagai berikut:

$$E_{req} = E_{tot}/0,7 \text{ (Wh)} \quad (13)$$

Parameter kendaraan serta hasil survei yang digunakan pada perhitungan ini dirangkum dalam Tabel 2 dan Tabel 3 dengan mempertimbangkan skenario dari kapasitas baterai.

Tabel 2. Parameter kendaraan yang digunakan

Vehicle Parameter	Skenario 1	Skenario 2
Unloaded Vehicle Mass (kg)	990	
Maximum Vehicle Load (kg) (4 passengers @70kg, 30 kg luggage)	310	310
Battery Mass (Skenario 1: 25kWh   Skenario 2: 8,8 kWh)	250	120
Loaded Vehicle Mass (kg)	1550	1420
Drag Coefficient (assumption)	0,35*	
Vehicle Frontal Area (assumption) (m <sup>2</sup> )	3	
Rolling Resistance Coefficient	0,0131**	
Motor Efficiency (%)	92***	
Wheel Radius 175/65 14R (m)	0,29	

\* Azmi dkk. (2017)

\*\* Reithmaier dan Salzinger (2012)

\*\*\* Szénásy and Csikor (2024)

Tabel 3. Parameter operasional kendaraan yang digunakan

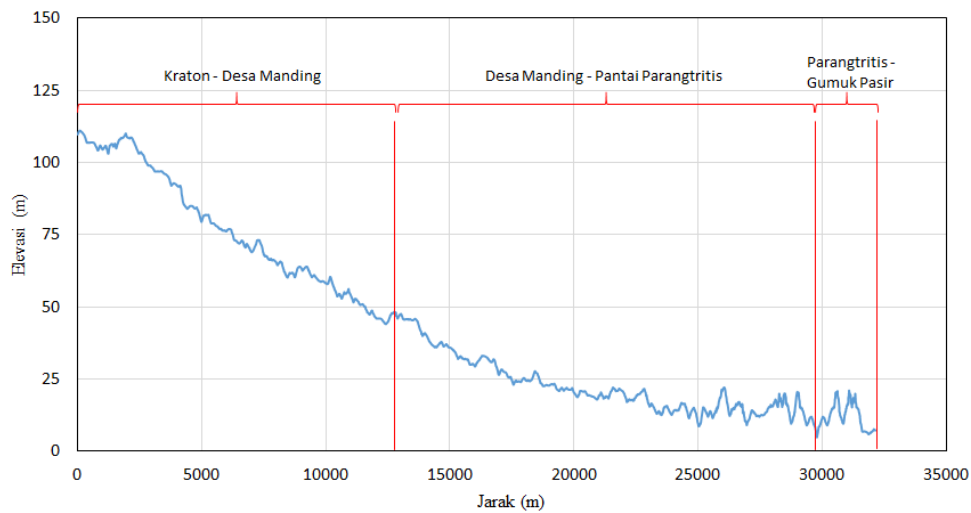
<i>Trip Parameter</i>	Rute 1	Rute 2	Unit
<i>Total Distance</i>	93,92	102,61	km
<i>Max Inclination</i>	9,47	7,22	Derajat
<i>Average Velocity</i>	13,56	12,44	m/detik
<i>Average Velocity</i>	48,81	44,78	km/jam
<i>Max Velocity</i>	27,78	24,44	m/detik
<i>Max Velocity</i>	100,01	88	km/jam
<i>RMS Acceleration</i>	0,65	0,6	m/detik <sup>2</sup>
<i>Max Acceleration</i>	1,62	1,87	m/detik <sup>2</sup>
Waktu Tempuh	2,08	2,42	jam
Persentase akselerasi selama perjalanan	49,20	48,77	%

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

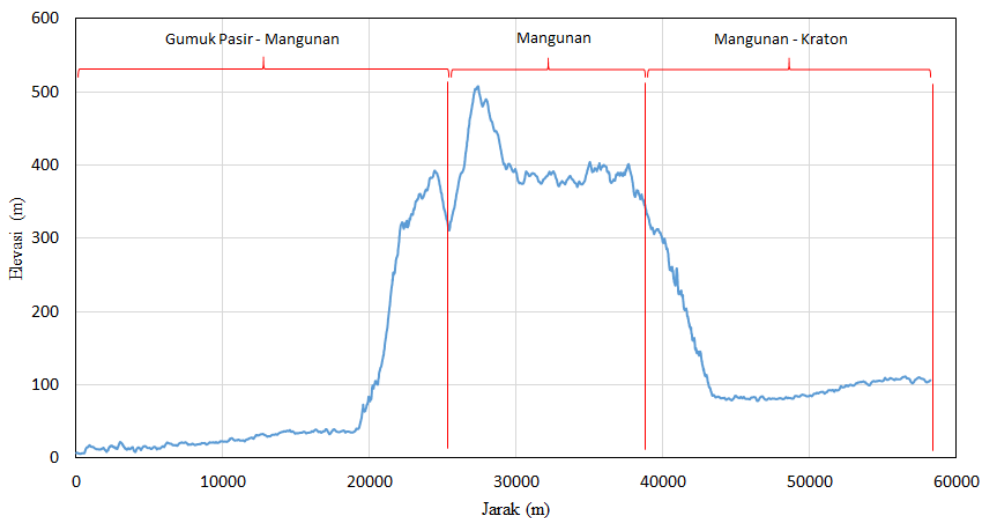
#### 3.1. Survei Lapangan

##### a) Rute 1

Elevasi dari Kraton ke Desa Wisata Manding terlihat menurun namun tidak terlalu ekstrim dari sekitar 100 mdpl menjadi 50 mdpl. Begitu juga terlihat pada rute perjalanan dari Desa Wisata Manding ke Pantai Parangtritis maupun ke Gumuk Pasir Parangkusumo karena sudah mendekati bibir pantai. Secara keseluruhan, perubahan elevasi dari Kraton hingga gumuk pasir Parangkusumo terlihat tidak signifikan seperti pada Gambar 3.

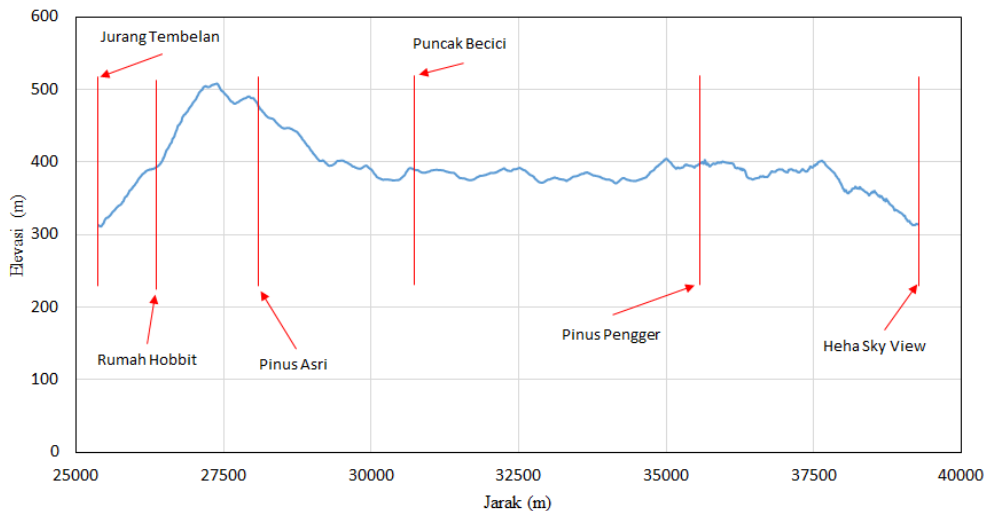


Gambar 3. Grafik elevasi terhadap jarak jalur Kraton – Gumuk Pasir Parangkusumo.



Gambar 4. Grafik elevasi terhadap jarak jalur Gumuk Pasir Parangkusumo – Mangunan - Kraton.

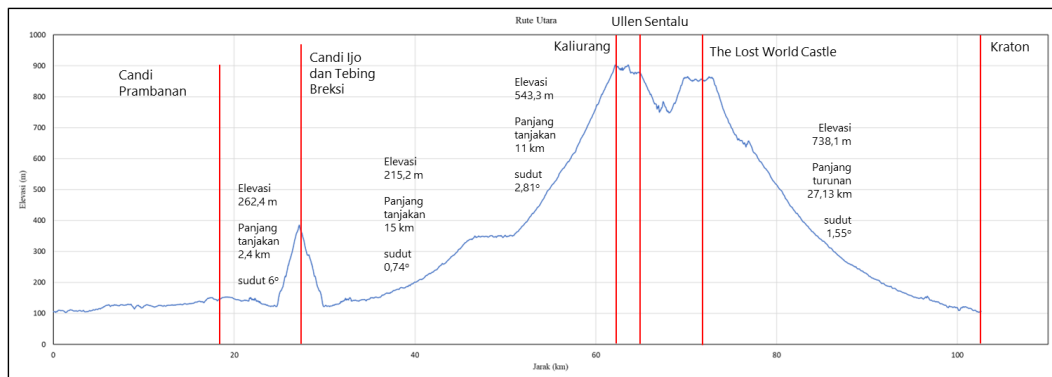
Elevasi yang ekstrim terlihat pada rute gumuk pasir Parangkusumo menuju ke kawasan wisata Mangunan dengan peningkatan elevasi dari sekitar 35 mdpl hingga 500 mdpl seperti yang terlihat pada Gambar 4. Hal ini merupakan tantangan tersendiri bagi penggunaan mobil listrik karena peningkatan elevasi yang cukup ekstrim ini membutuhkan energi listrik yang lebih tinggi dibanding perubahan elevasi dari Kraton ke gumuk pasir Parangkusumo. Pada rute kawasan wisata Mangunan ini, elevasi dari Jurang Tembelan ke Rumah Hobbit hingga Hutan Pinus Asri cenderung meningkat dari sekitar 300 mdpl hingga mencapai 500 mdpl. Setelah melewati Hutan Pinus Asri, perjalanan menuju Puncak Becici dan Hutan Pinus Pengger cenderung datar hingga akhirnya elevasinya menurun ketika menuju ke Heha Sky View, yaitu pada sekitar 300 mdpl seperti yang terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik elevasi terhadap jarak di Daerah Wisata Mangunan.

#### b) Rute 2

Pada rute utara, jalur dimulai dari menyusuri Jalan Malioboro dengan pemetaan titik awal pada Titik Nol Kilometer Yogyakarta, dan lanjutkan perjalanan menuju Candi Prambanan. Pada bagian ini didapatkan elevasi yang relatif masih belum terlalu tinggi, karena pada perjalanan menuju candi prambanan dilalui jalur yang datar. Pada bagian ini, didapatkan jarak tempuh sejauh 18,49 kilometer seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik elevasi terhadap jarak di Rute 2

Setelah dari Candi Prambanan, dilanjutkan perjalanan menuju daerah Candi Ijo, Kalasan. Pada perjalanan menuju Candi Ijo, didapatkan elevasi yang lebih tinggi, sesuai dengan kondisi geografis setempat. Di Candi Ijo, diperoleh elevasi tertinggi 385,3 meter. Total jarak tempuh dari candi prambanan menuju Candi Ijo adalah 7,75 kilometer. Dalam jalur ini ditempuh kecepatan rata rata sebesar 40 km/jam dan ditempuh selama kurang lebih 13 menit.

Selanjutnya perjalanan dilanjutkan menuju tebing breksi. Di tebing breksi, elevasi yang diperoleh tidak terlalu meningkat, justru malah turun sampai 287 meter, dan jarak tempuh sekitar 1 kilometer. Selanjutnya perjalanan dilanjutkan menuju utara yaitu daerah kaliurang, untuk memperoleh data profil elevasi yang lebih meningkat lagi, mencapai 902,4 meter. Perjalanan mencapai ujung jalan Kaliurang, yaitu volcano tour Merapi. Perjalanan ditempuh selama 45 menit dan menempuh jarak sekitar 33 kilometer. Perjalanan dilanjutkan masih di daerah utara, menuju The Lost World Castle dan Museum Ullen Sentalu. Total jarak tempuh yang diperoleh adalah 9 kilometer, elevasi turun sampai 750 meter, dan total waktu tempuh dua lokasi ini adalah 15 menit. Setelah melalui rute tersebut di

atas, kendaraan survey kembali ke titik awal yaitu kilometer nol Yogyakarta, dan elevasi kembali turun sampai 103 meter. Jarak tempuh kembali ke daerah keraton Yogyakarta hampir mencapai 30 kilometer dan dilalui selama 49 menit. Secara keseluruhan, total jarak perjalanan survei rute 2 adalah 102,6 kilometer.

### 3.2. Battery and Motor Sizing

Dengan menggunakan parameter-parameter yang ada, didapatkan konsumsi energi untuk tiap rute dan skenario. Perhitungan energi yang digunakan setiap trip ini dilakukan untuk menjadi acuan perhitungan kapasitas minimum baterai yang diperlukan hingga skenario *charging* dan *charging stationnya*. Dengan menggunakan parameter-parameter yang ada, didapatkan konsumsi energi untuk rute 2 terbesar adalah 21,10 kWh seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Kebutuhan energi dan kapasitas baterai minimal untuk operasional kendaraan

Trip	Jarak (km)	Kebutuhan Energi (kWh)		Kapasitas Baterai (kWh)	
		Skenario 1 – Tanpa <i>charging</i>	Skenario 2 – dengan <i>charging</i>	Skenario 1 – Tanpa <i>charging</i>	Skenario 2 – dengan <i>charging</i>
Rute 1	93,92	14,16	13,00	20,23	6,58
Rute 2	102,61	14,77	13,56	21,10	7,37

Tabel 5. Kebutuhan tenaga minimum motor listrik untuk rute dan skenario

Trip	Skenario	Sudut kemiringan	Akselerasi	Skenario 1 – Tanpa <i>charging</i> (kW)	Skenario 2 – dengan <i>charging</i> (kW)
Rute 1	1	9,47	0,65	54,80	42,25
	2	0	1,62	40,28	33,86
Rute 2	1	7,22	0,60	41,34	37,89
	2	0	1,87	42,08	38,58

Tabel 5 menunjukkan perhitungan dengan 2 skema seperti pada bagian sebelumnya dengan skenario 2. Rute yang ditentukan akan membutuhkan tenaga motor listrik yang lebih tinggi pada skenario yaitu 54,8 kW. Karena kebutuhan motor pada skenario ke 2 lebih rendah dari skenario 1, maka data perhitungan spesifikasi minimum motor skenario 1 yang digunakan selanjutnya.

Tabel 6. Komparasi hasil perhitungan skenario 1 dan 2.

Trip	Jarak (km)	Kapasitas Baterai Min. (kWh)		Tenaga Motor Listrik (kW)	
		Skenario 1	Skenario 2	Skema	Minimum
Rute 1	93,92	20,23	6,58	1	54,80
				2	40,25
Rute 2	102,61	21,10	7,37	1	41,34
				2	42,08

Dari hasil perhitungan ini maka untuk skenario 1 dari rute Kraton – Desa Manding – Pantai Parangtritis – Jurang Tembelan – Hutan Pinus – Puncak Becici – Hutan Pinus Pengger – Heha Sky View dengan jarak 93,92 km dengan maksimum inklinasi sebesar 9,47 derajat membutuhkan kapasitas baterai minimum 21,10 kWh dan 7,37 pada skenario 2. Maka, penggunaan asumsi baterai 25 kWh pada skenario 1 dan 8,8 kWh pada skenario 2 memenuhi kapasitas baterai minimum yang dibutuhkan. Tenaga dari motor listrik sebesar 54,8 kW dibutuhkan untuk mengoperasikan kendaraan dengan karakteristik medan jalan pada rute yang ditentukan.

## 4. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan, didapatkan bahwa untuk skenario 1 dimana tidak ada *charging station* sepanjang rute maka membutuhkan 21,10 kWh dan 7,37 kWh untuk skenario 2 yang mengasumsikan 2 *charging station* dalam rute perjalanannya. Selanjutnya, tenaga motor listrik yang dibutuhkan minimal 54,8 kW untuk beroperasi pada medan perjalanan mendatar dan menanjak. Kedepannya, perhitungan sensitivitas serta pembuatan kendaraan untuk validasi model ini akan dilakukan serta bekerja sama dengan pemerintah daerah setempat untuk stasiun pengisian daya listrik.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- Abdelhady, S. and Shaban, A., "A Simulation Modeling Approach for the Techno-Economic Analysis of the Integration of Electric Vehicle Charging Stations and Hybrid Renewable Energy Systems in Tourism Districts," *Applied Sciences*, 14(11), p.4525, 2024.
- Ayudya, D., Nuryanti, W. and Roychansyah, M.S., "The morphology of urban tourism space (case: Malioboro Main Street as cosmological Axis of Yogyakarta city, Indonesia)," *International Journal of Tourism Cities*, 10(4), pp.1266-1290, 2024.
- Azmi, M.F.M., Marzuki, M.A.B. and Bakar, M.A.A., "Vehicle aerodynamics analysis of a multi-purpose vehicle using CFD," *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(7), pp.2345-2350, 2017.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, "Perkembangan Pariwisata Daerah Istimewa Yogyakarta Juli 2024," <https://yogyakarta.bps.go.id/id/pressrelease/2024/09/02/1570/perkembangan-pariwisata-daerah-istimewa-yogyakarta-juli-2024.html>. Diakses tanggal 24 Februari 2025, 2024.
- Bollenbach, J., "Enabling Sustainable Personal Mobility through Digitalization Aligned with Transportation Needs (Doctoral dissertation), 2025. McKercher, B. and Tkaczynski, A., "Will electric vehicles decarbonise drive tourism?," *Annals of Tourism Research Empirical Insights*, 5(2), p.100133, 2024.
- García-Afonso, Ó. and González-Díaz, B., "Effectiveness of zero tailpipe vehicles to reduce CO2 emissions in isolated power systems, a realistic perspective: Tenerife Island test case," *Energy*, 273, p.127211, 2023.
- Kobashi, T., Say, K., Wang, J., Yarime, M., Wang, D., Yoshida, T. and Yamagata, Y., "Techno-economic assessment of photovoltaics plus electric vehicles towards household-sector decarbonization in Kyoto and Shenzhen by the year 2030," *Journal of Cleaner Production*, 253, p.119933, 2020.
- Raharjo, E.P., Adidana, I.K.S.P., Candrarahayu, A.M. and Fitasari, Y., "Pengaruh Pembangunan Infrastruktur Transportasi dalam Mendukung Kunjungan Wisatawan Mancanegara di Provinsi Bali," *Jurnal Teknologi Transportasi Dan Logistik*, 4(1), pp.1-10. Diakses tanggal 10 Mei 2025, 2023.
- Reithmayer, W., Salzinger, T., "Determination of the state -of-the-art concerning rolling noise, rolling-resistance and safety properties of modern passenger car tyres," *TÜV Automotive GmbH*. <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3163.pdf>. Diakses tanggal 27 Februari 2025, 2012.
- Song, W., "Climate change and tourism sustainability in Jeju Island landscape," *Sustainability*, 15(1), p.88, 2022.
- Soomauroo, Z., Blechinger, P. and Creutzig, F., "Unique opportunities of island states to transition to a low-carbon mobility system," *Sustainability*, 12(4), p.1435, 2020.
- Subiantoro, A., Ooi, K.T. and Stimming, U., "Energy saving measures for automotive air conditioning (AC) system in the tropics," 2014.
- Szénásy, I. and Csikor, D., "Induction Motor Energy Efficiency Investigation," *Engineering Proceedings*, 79(1), p.75. 2024.
- Toyota UK Media Site, "2017 Toyota Prius Plug-In Hybrid press pack. <https://media.toyota.co.uk/wp-content/uploads/sites/5/pdf/Prius-Plug-in-Gen2-archive-press-pack.pdf>. Dikutip pada 15 Mei 2025, 2017.
- Veiga, I.V.A., Zymler, R., Shayani, R.A., Viana, D.M. and Orrico, M.V.M., "September. Sizing of motor and battery pack for an automotive electric vehicle given a specific route," In *2012 Sixth IEEE/PES Transmission and Distribution: Latin America Conference and Exposition (T&D-LA)* (pp. 1-8). IEEE, 2012.