

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perubahan iklim global yang disebabkan oleh peningkatan emisi gas rumah kaca menjadi isu yang semakin mendesak di seluruh dunia. Salah satu penyumbang utama polusi udara dan emisi gas rumah kaca adalah sektor transportasi, yang sebagian besar didominasi oleh kendaraan bermotor berbahan bakar fosil. Di Indonesia, jumlah kendaraan bermotor terus meningkat setiap tahun, yang mengakibatkan peningkatan emisi karbon dan polusi udara, terutama di daerah perkotaan yang padat. Menurut data dari Badan Pusat Statistik (BPS), jumlah kendaraan bermotor di Indonesia pada 2022 tercatat lebih dari 130 juta unit, dengan sepeda motor sebagai kontributor terbesar dalam sektor transportasi. Meningkatnya jumlah kendaraan bermotor ini berkontribusi besar terhadap tingginya emisi karbon yang berbahaya bagi kesehatan manusia dan kualitas udara, serta memperburuk dampak perubahan iklim global. Gambar 1 menunjukkan kendaraan yang digunakan di perkotaan.



Gambar 1. Kenaikan jumlah pengguna kendaraan bermotor di Indonesia

Sebagai respons terhadap tantangan tersebut, berbagai negara, termasuk Indonesia, mulai mendorong pengembangan dan adopsi kendaraan listrik (*electric vehicle*, EV) sebagai alternatif yang lebih ramah lingkungan. Kendaraan listrik, khususnya sepeda motor listrik, menawarkan sejumlah keuntungan dalam hal

pengurangan emisi karbon, penghematan biaya operasional, dan pengurangan ketergantungan pada energi fosil. Sepeda motor listrik dianggap lebih efisien, dengan biaya operasional yang lebih rendah dan pemeliharaan yang lebih sederhana dibandingkan dengan sepeda motor konvensional berbahan bakar bensin atau solar. Selain itu, sepeda motor listrik menghasilkan lebih sedikit polusi suara dan tidak mengeluarkan emisi gas berbahaya seperti CO₂ dan NO_x, yang berkontribusi pada kualitas udara yang lebih baik di kawasan perkotaan (Sundararajan et al., 2017).

Meskipun sepeda motor listrik menawarkan berbagai keuntungan, teknologi ini masih dihadapkan pada sejumlah tantangan teknis yang harus diatasi agar dapat digunakan secara lebih luas, terutama terkait dengan efisiensi konsumsi daya dan daya tahan baterai. Baterai lithium-ion, yang umumnya digunakan sebagai sumber energi utama pada sepeda motor listrik, memiliki kapasitas yang terbatas dan waktu pengisian yang cukup lama. Salah satu masalah utama yang dihadapi oleh pengendara sepeda motor listrik adalah bagaimana memaksimalkan kapasitas baterai agar dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama tanpa harus sering mengisi daya, terutama untuk perjalanan jarak jauh. Penelitian oleh Hasan et al. (2019) menunjukkan bahwa konsumsi daya baterai pada sepeda motor listrik dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti kecepatan, medan jalan, serta mode penggunaan kendaraan. Penelitian ini mengungkapkan bahwa semakin tinggi kecepatan dan semakin berat medan jalan yang dilalui, konsumsi daya baterai akan meningkat secara signifikan, yang mengurangi jarak tempuh sepeda motor listrik dalam sekali pengisian daya.

Salah satu faktor yang sangat mempengaruhi kinerja baterai adalah cara penggunaannya. Penelitian yang dilakukan oleh Setiawan et al. (2020) mengungkapkan bahwa sepeda motor listrik yang digunakan pada jalan yang bergelombang atau rusak cenderung mengkonsumsi lebih banyak daya dibandingkan dengan yang digunakan pada jalanan yang rata dan halus. Hal ini terjadi karena medan jalan yang berat membutuhkan daya tambahan untuk menjaga kendaraan agar tetap berjalan, yang mengarah pada pengurangan efisiensi energi dan menurunkan daya tahan baterai. Tantangan ini semakin penting mengingat banyaknya wilayah di Indonesia yang memiliki infrastruktur jalan yang masih belum optimal, sehingga sepeda motor listrik perlu menghadapi medan jalan yang

buruk atau berbatu. Oleh karena itu, penting untuk menganalisis lebih dalam bagaimana kecepatan dan medan jalan mempengaruhi kinerja baterai serta jarak tempuh sepeda motor listrik.

Seiring dengan perkembangan teknologi, solusi baru yang mengintegrasikan sepeda motor listrik dengan sumber energi terbarukan seperti panel surya dan sistem *hybrid* menjadi alternatif yang menjanjikan. Penelitian oleh Liu et al. (2019) menunjukkan bahwa integrasi sistem penyimpanan energi *hybrid* yang menggabungkan baterai dan superkapasitor dapat meningkatkan efisiensi energi pada sepeda motor listrik. Sistem *hybrid* ini memungkinkan kendaraan untuk mengurangi ketergantungan pada baterai, memperpanjang umur baterai, serta meningkatkan efisiensi dalam penggunaan daya, terutama pada kondisi jalan yang tidak terduga atau medan yang berat. Dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan seperti panel surya, sepeda motor listrik dapat mengurangi pemborosan daya dan mengoptimalkan penggunaan energi yang ada. Teknologi ini sangat relevan dalam upaya untuk mengurangi ketergantungan pada jaringan listrik konvensional dan meningkatkan keberlanjutan transportasi.

Salah satu solusi terbaru yang semakin populer adalah penggunaan sepeda motor listrik *hybrid off-grid*. Sistem ini menggabungkan energi baterai dengan sumber energi alternatif, seperti panel surya, untuk meningkatkan efisiensi energi sepeda motor listrik, terutama pada kondisi jalan yang sulit atau medan yang berat. Penelitian oleh Wang et al. (2021) menunjukkan bahwa sistem *hybrid off-grid* dapat mengoptimalkan penggunaan energi terbarukan pada sepeda motor listrik, khususnya dalam kondisi pengoperasian yang tidak dapat diprediksi atau medan yang berat. Meskipun teknologi ini menawarkan banyak keuntungan, tantangan utama yang perlu diatasi adalah pengelolaan energi yang efisien agar sepeda motor listrik dapat beroperasi dengan optimal. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengembangkan sistem manajemen energi yang dapat memaksimalkan efisiensi sepeda motor listrik dengan sistem *hybrid* ini.

Di Indonesia, adopsi sepeda motor listrik semakin mendapatkan perhatian, namun masih ada banyak tantangan yang perlu diatasi. Salah satu kendala terbesar adalah infrastruktur pengisian daya yang terbatas, yang mempengaruhi efisiensi penggunaan sepeda motor listrik. Fajar et al. (2020) mencatat bahwa jumlah stasiun

pengisian daya yang terbatas di Indonesia menjadi hambatan utama dalam operasional sepeda motor listrik. Pengendara sepeda motor listrik harus merencanakan perjalanan mereka berdasarkan lokasi pengisian daya yang tersedia, yang sering kali tidak tersebar merata. Selain itu, pengelolaan baterai yang efisien juga menjadi faktor penting yang perlu diperhatikan untuk memastikan kendaraan listrik dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama dan dengan efisiensi yang optimal.

Penelitian oleh Soolany & Azzizzah (2025) mengenai pengaruh kecepatan terhadap efisiensi energi dan jarak tempuh pada sepeda listrik dengan baterai lithium-ion 18650 60V 15Ah memberikan kontribusi penting dalam memahami bagaimana kecepatan mempengaruhi konsumsi daya pada sepeda listrik. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada kecepatan rendah (20 km/jam), sepeda motor listrik dapat menempuh jarak yang lebih jauh dengan konsumsi energi yang lebih efisien. Namun, pada kecepatan tinggi (40 km/jam), jarak tempuh menurun drastis karena konsumsi daya meningkat secara signifikan. Temuan ini menegaskan bahwa pengaturan kecepatan yang tepat sangat penting untuk memaksimalkan efisiensi energi dan memperpanjang jarak tempuh sepeda motor listrik. Gambar 2 menunjukkan hasil penelitian yang menganalisis penggunaan baterai namun pada sepeda listrik.



Gambar 2. Hasil penelitian pengujian kinerja baterai pada sepeda listrik

Penelitian yang dilakukan oleh Rokhim et al. (2025) mengenai perakitan sepeda listrik dengan motor BLDC 1000 watt menunjukkan bahwa efisiensi energi dan kinerja kendaraan dapat dicapai dengan perakitan yang tepat. Sepeda motor listrik yang dirakit dengan motor BLDC mencapai kecepatan maksimum 40,2

km/jam dan jarak tempuh per pengisian baterai sebesar 65 km. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan motor BLDC yang efisien dan perakitan yang tepat sangat penting untuk mencapai performa tinggi pada sepeda motor listrik.

Salah satu solusi yang diusulkan adalah konversi sepeda motor bensin menjadi sepeda motor listrik. Penelitian oleh Soolany et al. (2025) menunjukkan bahwa konversi sepeda motor bensin manual menjadi sepeda motor listrik yang ramah lingkungan dapat dilakukan dengan mengganti mesin bensin dengan motor listrik BLDC 2 kW, baterai 72V 20Ah, dan *controller* Junken 10 kapasitas 3 kW. Hasil pengujian menunjukkan torsi maksimum pada gigi 1 sebesar 13,96 Nm, gigi 2 sebesar 12,87 Nm, gigi 3 sebesar 11,35 Nm, dan gigi 4 sebesar 9,55 Nm. Konversi ini tidak hanya mengurangi emisi karbon tetapi juga memberikan alternatif transportasi yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Gambar 3 menunjukkan hasil penelitian mengenai konversi sepeda motor manual dari konvensional menjadi listrik.



Gambar 3. Hasil penelitian konversi motor manual menjadi motor listrik

Sebagai bagian dari upaya nasional untuk mengurangi emisi karbon dan meningkatkan efisiensi energi, pemerintah Indonesia telah mengeluarkan regulasi yang mendukung konversi sepeda motor berbahan bakar minyak menjadi sepeda motor listrik berbasis baterai. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 13 Tahun 2023, yang merupakan pembaruan dari Peraturan Menteri ESDM Nomor 3 Tahun 2023, menetapkan pedoman umum bantuan pemerintah dalam program konversi sepeda motor dengan penggerak motor bakar menjadi sepeda motor listrik berbasis baterai. Selain itu, Peraturan Menteri

Perhubungan Nomor 39 Tahun 2023 mengatur teknis konversi sepeda motor dengan penggerak motor bakar menjadi sepeda motor listrik berbasis baterai, termasuk persyaratan teknis dan sertifikasi bengkel konversi. Regulasi ini mencakup pemberian bantuan biaya konversi sebesar Rp10 juta per unit dan menetapkan biaya maksimal konversi sebesar Rp17 juta. Hal ini menunjukkan komitmen pemerintah untuk mendukung transisi ke kendaraan listrik di Indonesia, yang akan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil serta mempromosikan keberlanjutan transportasi (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2020).

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis konsumsi daya dan daya tahan baterai pada sepeda motor listrik *hybrid off-grid* dalam berbagai kondisi pengoperasian. Penelitian ini juga bertujuan untuk memberikan rekomendasi teknis yang dapat mendukung pengembangan sepeda motor listrik yang lebih efisien dan tahan lama. Data empiris yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam merancang sistem penyimpanan energi yang lebih baik dan membantu pengguna sepeda motor listrik dalam memaksimalkan kinerja kendaraan mereka.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, penelitian ini bertujuan untuk memberikan pemahaman yang lebih mendalam terkait dengan kinerja konsumsi daya dan durasi daya tahan baterai pada sepeda motor listrik *hybrid off-grid*. Oleh karena itu, rumusan masalah yang diajukan dalam penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana pengaruh kecepatan dan medan jalan terhadap konsumsi daya baterai pada sepeda motor listrik *hybrid off grid* dalam kondisi pengoperasian yang berbeda?
2. Bagaimana daya tahan baterai sepeda motor listrik *hybrid off grid* pada jenis medan datar?
3. Bagaimana penerapan teknologi *hybrid off grid* dapat meningkatkan efisien penggunaan energi?

1.3. Batasan Penelitian

Batasan penelitian digunakan untuk lebih fokus kepada penelitian yang dilakukan. Adapun batasan masalah pada Penelitian ini adalah:

1. Menggunakan Motor Listrik *Hybrid Off Grid* Rancangan Soolany et al (2025).
2. Pengujian lapangan dilakukan pada kondisi jalan datar.
3. Sepeda motor listrik diuji pada tiga variasi kecepatan target, yaitu kecepatan rendah, sedang, dan tinggi (30 km/jam, 60 km/jam, dan 80 km/jam atau disesuaikan dengan batas aman kendaraan saat uji).
4. Pengujian dilakukan dengan skenario beban bertingkat (pengendara saja dan pengendara ditambahkan beban tambahan) untuk melihat pengaruh beban terhadap konsumsi daya dan daya tahan baterai.
5. Pengamatan tambahan meliputi suhu baterai, arus kerja baterai, dan indikasi ketidakstabilan arus selama pengoperasian sebagai pembeda dari penelitian sebelumnya yang berfokus pada konsumsi energi dan jarak tempuh.
6. Pengujian pengisian baterai dibandingkan pada kondisi cuaca berbeda (periode cerah/musim kemarau dan periode hujan/musim penghujan) sesuai ketersediaan data lapangan untuk mengevaluasi pengaruh kondisi lingkungan terhadap kinerja pengisian panel surya
7. Penelitian difokuskan pada parameter performa teknis baterai dan efisiensi energi, serta tidak membahas analisis ekonomi rinci maupun analisis umur pakai baterai jangka panjang berbasis siklus penuh.

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang akan dikaji pada penelitian ini, maka tujuan dari penelitian ini yang menjawab rumusan masalah adalah sebagai berikut ini :

1. Untuk menganalisis pengaruh kecepatan terhadap konsumsi daya baterai pada sepeda motor listrik *hybrid off-grid* dalam kondisi pengoperasian yang berbeda.
2. Untuk menguji daya tahan baterai sepeda motor listrik *hybrid off-grid* pada jenis medan datar.
3. Untuk mengevaluasi penerapan teknologi *hybrid off-grid* dalam meningkatkan efisiensi penggunaan energi pada sepeda motor listrik.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi positif kepada 3 (tiga) aspek yaitu, Peneliti (Mahasiswa), Universitas (Program Studi Teknik Mesin), dan Lingkungan. Berikut ini penjabaran dari masing – masing :

- 1) Bagi Peneliti (Mahasiswa)
 - a) Penelitian ini akan memberikan peneliti (mahasiswa) kesempatan untuk mengembangkan pemahaman mendalam tentang teknologi kendaraan listrik, khususnya sepeda motor listrik hybrid off-grid. Peneliti akan memperoleh pengetahuan praktis terkait dengan kinerja baterai, sistem hybrid, dan pengoperasian sepeda motor listrik dalam berbagai kondisi pengujian.
 - b) Penelitian ini memberikan peneliti kesempatan untuk berkontribusi dalam pengembangan teknologi kendaraan listrik yang ramah lingkungan, yang relevan dengan isu-isu global terkait perubahan iklim dan pengurangan emisi karbon. Peneliti akan merasa terlibat dalam solusi inovatif yang berpotensi meningkatkan keberlanjutan transportasi di Indonesia.
- 2) Bagi Universitas (Program Studi Teknik Mesin)
 - a) Penelitian ini dapat memperkuat reputasi universitas dalam bidang penelitian teknik dan energi terbarukan, khususnya dalam pengembangan teknologi kendaraan listrik. Universitas akan diakui sebagai lembaga yang mendukung riset yang berdampak langsung pada solusi keberlanjutan dalam sektor transportasi.
 - b) Penelitian ini dapat menjadi bahan ajar dan sumber referensi dalam kurikulum yang terkait dengan energi terbarukan, kendaraan listrik, dan teknologi baterai di universitas. Ini akan memberikan mahasiswa lain kesempatan untuk mempelajari topik-topik yang relevan dengan kebutuhan industri dan masyarakat.
- 3) Bagi Lingkungan
 - a) Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan teknologi kendaraan listrik yang ramah lingkungan, yang akan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi emisi gas

rumah kaca. Ini adalah langkah penting dalam mengatasi perubahan iklim dan meningkatkan kualitas udara di kawasan perkotaan.

- b) Hasil penelitian ini dapat memberikan rekomendasi teknis bagi produsen sepeda motor listrik dan pembuat kebijakan terkait dengan pengembangan kendaraan listrik di Indonesia. Dengan demikian, penelitian ini dapat mendukung transisi menuju transportasi yang lebih hijau dan berkelanjutan di Indonesia.