

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Permasalahan

Dalam konteks kendaraan listrik, laporan dari *International Energy Agency* (IEA) dalam *Global EV Outlook 2021* menunjukkan bahwa lebih dari 10 juta mobil listrik telah terdaftar di seluruh dunia pada tahun 2020, dengan pertumbuhan yang signifikan di pasar Eropa dan China. Eropa, yang mencatat 1,4 juta pendaftaran mobil listrik baru, menjadi pasar terbesar, mengalahkan China untuk pertama kalinya. Ini menunjukkan bahwa ada kebutuhan mendesak untuk mengembangkan sistem penyimpanan energi yang dapat mendukung pertumbuhan kendaraan listrik yang berkelanjutan [1].

Battery Energy Storage (BES) atau sistem penyimpanan energi baterai memainkan peran kunci dalam mendukung transisi menuju energi terbarukan, termasuk integrasi sumber energi terbarukan seperti tenaga surya dan angin. Baterai *lithium* menjadi salah satu solusi unggulan karena karakteristiknya yang ringan, kepadatan energi yang tinggi, dan kemampuan pengisian cepat. Baterai ini telah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk *electric vehicle* (EV) atau kendaraan listrik, yang semakin populer sebagai alternatif transportasi yang ramah lingkungan [2].

Elemen utama dari EV dan sistem listrik pada umumnya adalah baterai. Elemen ini menyimpan sejumlah besar energi untuk dilepaskan saat diperlukan [3]. Untuk melindungi baterai pada EV digunakan suatu perangkat perlindungan dengan nama *Battery Management System* (BMS). BMS merupakan unit kontrol utama untuk pengoperasian baterai yang terdiri dari lima parameter penting, yaitu *State of Charge* (SOC), *State of health* (SOH), *thermal management*, *control unit*, dan *cell monitoring* [4]. BMS memiliki dua aliran pendekatan yang telah muncul dari waktu ke waktu; satu memodelkan baterai melalui model rangkaian ekuivalen listrik dan melalui model elektrokimia. Sebagian besar, sistem praktis mengadopsi pendekatan berbasis model *Equivalent Circuit Model* (ECM) atau model rangkaian ekuivalen karena kesederhanaannya [5]. *Battery Management System* (BMS) bekerja dalam model rangkaian ekuivalen listrik dengan cara yang efisien dan terstruktur. BMS memantau tegangan dan arus di setiap sel baterai untuk menghitung *State of Charge* (SOC), yang menunjukkan seberapa banyak energi yang tersisa. Dengan menggunakan model ECM, BMS mensimulasikan perilaku baterai melalui elemen-elemen seperti resistor dan kapasitor, yang merepresentasikan resistansi internal dan kapasitas.

Mengidentifikasi model baterai dan memperkirakan parameternya merupakan langkah penting untuk semua aspek sistem manajemen baterai, mulai dari estimasi status pengisian daya hingga mencapai keadaan optimal dan keseimbangan termal [2]. Pemodelan dan validasi sistem baterai yang efektif

menjadi sangat penting seiring dengan meningkatnya permintaan untuk kendaraan listrik dan penyimpanan energi terbarukan,. Agar aplikasi baterai dapat beroperasi dengan aman dan efektif, pemodelan baterai menjadi hal sangat krusial [6].

Salah satu tantangan utama dalam pengembangan sistem penyimpanan energi adalah akurasi pemodelan parameter baterai. Pendekatan konvensional untuk ekstraksi parameter sering kali terpapar pada kesalahan manusia, yang dapat menghasilkan model yang tidak akurat. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang lebih sistematis dan andal untuk menentukan parameter model baterai. Dalam penelitian ini, penulis akan menerapkan model rangkaian ekuivalen untuk baterai LiFePO₄ dengan kapasitas 15Ah dan 6Ah serta menggunakan *typical charge/discharge characteristic curve* sebagai dasar untuk validasi parameter [7]. Penggunaan data pabrikan memberikan keunggulan dalam hal akurasi, karena data tersebut mencerminkan karakteristik nyata dari baterai yang digunakan, sehingga mengurangi ketidakpastian yang sering muncul dari metode manual.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan memvalidasi model rangkaian ekuivalen untuk *battery pack* dalam sistem penyimpanan energi 12V dan 24V. Dengan menggunakan data pabrikan untuk parameterisasi, model yang dihasilkan diharapkan dapat memberikan representasi yang akurat dari performa baterai dalam kondisi nyata. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan sistem penyimpanan energi yang efisien dan dapat diandalkan, serta mendukung peningkatan kinerja kendaraan listrik di masa depan [2].

Akhirnya, dengan meningkatnya ketertarikan terhadap kendaraan listrik yang menggunakan baterai sebagai sumber energi, penelitian ini berusaha untuk memberikan solusi yang lebih baik dan efisien untuk pemodelan baterai. Dengan demikian, hasil penelitian diharapkan dapat mendukung pengembangan teknologi kendaraan listrik dan sistem penyimpanan energi yang lebih baik di masa depan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana memodelkan model rangkaian ekuivalen untuk baterai LiFePO₄ 15 Ah 24V dan 6 Ah 12V?
2. Bagaimana menentukan parameter-parameter pada model rangkaian ekuivalen, seperti tegangan rangkaian terbuka atau *Open Circuit Voltage* (OCV), resistansi internal, parameter zona eksponensial (A dan B), dan konstanta polarisasi (K), berdasarkan data *charge* dan *discharge* hasil pengujian untuk baterai LiFePO₄ 15 Ah dan 6 Ah?
3. Bagaimana memvalidasi model rangkaian ekuivalen untuk memastikan akurasi prediksi terhadap performa baterai dalam sistem penyimpanan energi dengan konfigurasi tegangan nominal 12V dan 24V?

4. Bagaimana model ekuivalen baterai menentukan *State of Charge* (SOC) baterai atau *Fuel Gauge* pada kendaraan listrik?

1.3. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Memodelkan model rangkaian ekuivalen untuk baterai LiFePO₄ 15 Ah dan 6 Ah.
2. Mengidentifikasi parameter-parameter model baterai.
3. Memvalidasi model rangkaian ekuivalen untuk konfigurasi penyimpanan energi 12V dan 24V agar sesuai dengan kebutuhan aplikasi energi terbarukan dan kendaraan listrik dengan pendekatan berbasis data pabrikan.
4. Memberikan analisis model ekuivalen baterai dalam menentukan *State of Charge* (SOC) baterai atau *Fuel Gauge* pada kendaraan listrik.

1.4. Batasan Masalah

Agar penelitian ini terarah dan fokus, beberapa batasan masalah yang ditetapkan adalah sebagai berikut:

1. Jenis baterai yang digunakan adalah baterai LiFePO₄ dengan kapasitas 15 Ah dan 6 Ah.
2. Tegangan nominal yang dianalisis terbatas pada konfigurasi 12V dan 24V.
3. Pemodelan hanya menggunakan Model Rangkaian Ekuivalen tanpa membandingkan dengan model lainnya.
4. Validasi model dilakukan dengan membandingkan hasil pengujian model dengan data *charge* dan *discharge* pabrikan.
5. Pendekatan berbasis optimasi seperti PSO atau GA tidak diterapkan, tetapi dapat menjadi rekomendasi untuk penelitian lebih lanjut.

1.5. Manfaat

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Bagi Akademisi: Menyediakan referensi terkait pemodelan dan validasi baterai menggunakan model rangkaian ekuivalen, khususnya untuk baterai LiFePO₄.
2. Bagi Industri: Membantu pengembangan sistem penyimpanan energi yang lebih efisien dan stabil untuk aplikasi energi terbarukan dan kendaraan listrik.
3. Bagi Peneliti Lain: Memberikan dasar untuk pengembangan model baterai yang lebih akurat dengan pendekatan berbasis optimasi atau eksperimen tambahan.
4. Bagi Mahasiswa: Sebagai referensi praktis untuk memahami proses pemodelan, validasi, dan analisis performa baterai dalam sistem penyimpanan energi.

1.6. Sistematika Penulisan

Laporan penelitian ini disusun dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penyusunan laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tinjauan teori untuk menyelesaikan permasalahan dan tinjauan penelitian untuk mengetahui *state of the art* dari penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi mengenai langkah-langkah yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan.

BAB IV HASIL DAN ANALISA

Bagian ini memuat informasi hasil pengujian yang dilakukan dalam penelitian dan analisis terhadap hasil penelitian.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bagian ini memuat informasi terkait kesimpulan yang didapatkan berdasarkan penelitian yang dilakukan dan saran yang diberikan sebagai rekomendasi pengembangan lebih lanjut terhadap bahasan penelitian.

