

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan kendaraan listrik dan sistem *home charging* menuntut adanya sistem pengisian baterai yang andal, aman, dan efisien, yang tidak hanya fokus pada penyediaan daya tetapi juga pada monitoring dan manajemen pengisian secara *real-time* untuk mencegah *overcharging*, degradasi performa, dan potensi risiko keselamatan. Implementasi teknologi *Internet of Things* (IoT) pada sistem pengisian *EV* memungkinkan pemantauan kondisi pengisian secara berkelanjutan, *predictive maintenance*, dan *adaptive control* terhadap parameter pengisian baterai. Selain itu, penggunaan *real-time charging statistics* dalam manajemen pengisian terbukti mendukung optimasi operasi dan keamanan infrastruktur pengisian *EV* (Hamdare et al., 2024). Integrasi IoT dan sistem *smart charging* juga terbukti memberikan peningkatan efisiensi operasional serta pemantauan langsung terhadap status pengisian baterai dan kondisi lingkungan (Nallamothe et al., 2026).

Baterai *Valve Regulated Lead Acid* (VRLA) banyak digunakan pada sistem penyimpanan energi skala kecil hingga menengah, termasuk aplikasi rumah tangga dan sistem cadangan daya, karena karakteristiknya yang stabil, biaya relatif rendah, serta kemudahan perawatan. Namun, dalam pengoperasian jangka panjang, baterai VRLA mengalami degradasi yang berdampak pada penurunan *State of Charge* (SoC) aktual yang dapat dimanfaatkan serta penurunan *State of Health* (SoH) baterai secara keseluruhan. Penurunan SoH menyebabkan berkurangnya kapasitas efektif dan efisiensi pengisian, sehingga informasi SoC yang ditampilkan tidak lagi merepresentasikan kondisi energi baterai yang sebenarnya. Oleh karena itu, estimasi SoC yang akurat perlu dikombinasikan dengan pemantauan SoH untuk memperoleh gambaran kondisi baterai yang lebih realistis. Oleh karena itu, metode Kalman Filter dipilih dalam penelitian ini karena kemampuannya dalam meningkatkan akurasi estimasi SoC dan SoH secara *real-time* pada baterai VRLA. (Yu et al., 2023)(Shang et al., 2023).

Estimasi *State of Charge* (SoC) dan *State of Health* (SoH) tidak dapat dilakukan secara langsung melalui pengukuran fisik, sehingga diperlukan metode perhitungan berbasis model dan data pengukuran tegangan serta arus baterai.

Metode Kalman Filter dan turunannya, seperti *Extended Kalman Filter (EKF)*, banyak digunakan dalam sistem manajemen baterai karena kemampuannya dalam melakukan estimasi keadaan sistem secara *real-time* meskipun terdapat gangguan dan ketidakpastian model. Dalam penerapannya, Kalman Filter digunakan untuk memperkirakan SoC sebagai kondisi energi baterai saat ini, sementara SoH diestimasi untuk merepresentasikan tingkat degradasi dan kapasitas efektif baterai. Penelitian menunjukkan bahwa pendekatan Kalman Filter mampu meningkatkan akurasi estimasi SoC dan SoH dibandingkan metode konvensional berbasis perhitungan sederhana, serta lebih adaptif terhadap perubahan karakteristik baterai selama proses pengisian dan penggunaan jangka panjang (Xie et al., 2023);(Li et al., 2024),(Rahman, 2026). Dengan demikian, penggunaan Kalman Filter menjadi solusi yang relevan untuk mendukung sistem monitoring baterai yang andal dan akurat pada *Home Charging System*.

Perkembangan teknologi *Internet of Things (IoT)* membuka peluang untuk mengintegrasikan sistem estimasi SoC dan SoH ke dalam platform monitoring jarak jauh yang lebih fleksibel dan mudah diakses. Melalui IoT, data hasil estimasi SoC dan SoH dapat dikirimkan secara *real-time* ke *cloud server* dan ditampilkan melalui aplikasi berbasis *smartphone*, sehingga pengguna dapat memantau kondisi baterai dan proses pengisian secara berkelanjutan. Integrasi ini tidak hanya meningkatkan kenyamanan pengguna, tetapi juga mendukung deteksi dini terhadap kondisi abnormal seperti *overcharging* atau penurunan kesehatan baterai yang signifikan. Penelitian menunjukkan bahwa sistem monitoring baterai berbasis IoT mampu meningkatkan keandalan pengelolaan energi serta mendukung penerapan strategi pemeliharaan prediktif pada sistem penyimpanan energi skala kecil hingga menengah (Kumar et al., 2022). Namun demikian, sebagian besar sistem yang dikembangkan masih berfokus pada monitoring parameter dasar dan belum banyak mengintegrasikan estimasi SoC dan SoH berbasis Kalman Filter secara terpadu, khususnya pada baterai VRLA dalam konteks *Home Charging System*, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menjembatani kebutuhan tersebut (Mejjaouli & Alnourani, 2024).

Berdasarkan permasalahan dan *research gap* yang telah diuraikan pada paragraf sebelumnya, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan

mengimplementasikan sistem *estimasi State of Charge (SoC)* dan *State of Health (SoH)* baterai secara *real-time* menggunakan metode Kalman Filter yang terintegrasi dengan sistem monitoring berbasis *Internet of Things (IoT)* pada skema *Home Charging System*. Sistem yang dikembangkan diharapkan mampu memberikan estimasi yang lebih akurat dibandingkan metode konvensional, sekaligus memungkinkan pemantauan kondisi baterai dan proses pengisian melalui aplikasi *smartphone*. Kontribusi utama dari penelitian ini adalah integrasi estimasi SoC dan SoH secara simultan dalam satu sistem monitoring terpadu, yang tidak hanya meningkatkan efisiensi dan keamanan proses pengisian, tetapi juga mendukung pengambilan keputusan terkait pemeliharaan baterai secara preventif. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi praktis dan aplikatif dalam pengelolaan baterai pada sistem pengisian daya rumah tangga serta menjadi referensi bagi pengembangan sistem manajemen baterai berbasis IoT di masa mendatang (Xiong et al., 2018; Kumar et al., 2022).

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan pada sebelumnya. Maka, identifikasi masalah akan dijelaskan sebagai berikut.

1. Degradasi baterai VRLA menyebabkan penurunan SoC aktual dan SoH secara keseluruhan, dimana informasi SoC yang ditampilkan tidak lagi merepresentasikan kondisi energi baterai yang sebenarnya, sehingga diperlukan estimasi yang mengombinasikan SoC dan SoH untuk memperoleh gambaran kondisi baterai yang realistis.
2. Estimasi SoC dan SoH tidak dapat dilakukan secara langsung melalui pengukuran fisik, sehingga memerlukan metode perhitungan berbasis model yang akurat dan adaptif terhadap perubahan karakteristik baterai selama proses pengisian dan penggunaan jangka panjang.
3. Sebagian besar sistem monitoring baterai berbasis IoT masih berfokus pada parameter dasar dan belum mengintegrasikan estimasi SoC dan SoH berbasis Kalman Filter secara terpadu, khususnya pada baterai VRLA dalam konteks *Home Charging System*, sehingga diperlukan penelitian untuk menjembatani kebutuhan tersebut.

1.3 Batasan Masalah

Dalam rangka pembatasan ruang lingkup penelitian ini, beberapa aspek yang tidak menjadi fokus dari sistem yang dikembangkan adalah sebagai berikut.

1. Penelitian dibatasi pada baterai tipe *Valve Regulated Lead Acid* (VRLA) untuk aplikasi sistem penyimpanan energi rumah tangga.
2. Estimasi kondisi baterai mencakup *State of Charge* (SoC) dan *State of Health* (SoH) menggunakan metode Kalman Filter secara simultan.
3. Sistem yang dikembangkan berupa *Home Charging System* dengan monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) yang terintegrasi dengan aplikasi smartphone untuk pemantauan real-time.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada batasan masalah yang telah dijelaskan, maka permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut.

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem estimasi SoC dan SoH baterai VRLA secara bersamaan menggunakan metode Kalman Filter yang terintegrasi dengan platform IoT pada *Home Charging System*?
2. Bagaimana akurasi estimasi SoC dan SoH menggunakan Kalman Filter dibandingkan dengan metode konvensional dalam merepresentasikan kondisi energi dan kesehatan baterai VRLA yang sebenarnya?
3. Bagaimana efektivitas sistem monitoring berbasis IoT dalam memantau kondisi baterai secara real-time dan mendukung pengambilan keputusan pemeliharaan preventif melalui aplikasi smartphone pada *Home Charging System*?

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah akan dijelaskan sebagai berikut.

1. Merancang dan mengimplementasikan sistem estimasi *State of Charge* (SoC) dan *State of Health* (SoH) baterai VRLA secara bersamaan menggunakan metode Kalman Filter yang akurat dan adaptif terhadap perubahan karakteristik baterai selama proses pengisian pada *Home Charging System*.
2. Mengevaluasi kinerja dan efektivitas sistem monitoring berbasis IoT dalam meningkatkan akurasi estimasi kondisi baterai, mendukung deteksi dini

kondisi abnormal, serta pemeliharaan prediktif untuk meningkatkan keandalan dan keselamatan *Home Charging System*.

3. Menerapkan konsep *Internet of Things* (IoT) untuk memungkinkan pemantauan kondisi baterai dari jarak jauh melalui jaringan internet.

1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dari sisi pengembangan teknologi, penerapan industri, serta peningkatan wawasan akademik, antara lain sebagai berikut:

1. Menawarkan sistem yang mampu memantau kondisi baterai VRLA secara otomatis dan waktu nyata, sehingga membantu pengguna dalam menjaga performa serta efisiensi daya baterai.
2. Meminimalkan ketergantungan terhadap pemeriksaan manual yang sering kali tidak konsisten dan membutuhkan waktu lama dalam memperoleh data akurat terkait kondisi baterai.
3. Memberikan dasar pengembangan bagi penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) pada sistem manajemen energi yang lebih efisien dan adaptif, khususnya dalam mendukung kemajuan kendaraan listrik di masa mendatang.