

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Baterai *lithium-ion* telah menjadi pilihan utama dalam berbagai aplikasi, termasuk elektronik portabel, kendaraan listrik, dan sistem penyimpanan energi. Baterai *lithium-ion* memiliki potensi aplikasi pasar yang lebih luas dibandingkan dengan baterai lain, karena teknologi canggih dan karakteristik unggulnya, yang terdiri dari kepadatan energi tertinggi, masa pakai lebih lama, efisiensi yang lebih tinggi, voltase yang lebih tinggi, dan tingkat *self-discharge* lebih rendah [1]. Karena alasan ini, baterai jenis ini dapat digunakan untuk sumber energi primer atau sekunder.

Pada sisi lain, baterai *lithium-ion* memiliki banyak kegagalan yang membuat kondisi keandalannya menurun seperti kegagalan kinerja yang membuat kapasitas menyusut, siklus hidup menurun, tegangan abnormal, arus abnormal, resistansi internal terlalu besar, *self-discharge*, dan suhu abnormal, lalu ada kegagalan keamanan yang mengakibatkan korsleting, kebocoran, baterai kembung, presipitasi *lithium* [2]. *Battery Management System* (BMS) atau biasa dikenal dengan Sistem Manajemen Baterai adalah salah satu komponen utama sistem penyimpanan energi yang memerlukan manajemen efektif untuk memperpanjang masa pakai dan meningkatkan keandalan dan keselamatan.

BMS adalah perangkat yang dibangun dengan perangkat keras dan perangkat lunak yang mengontrol kondisi operasional baterai untuk memperpanjang masa pakainya, menjamin keamanannya, dan memberikan perkiraan akurat tentang berbagai kondisi baterai untuk modul manajemen energi [3]. BMS memiliki beberapa fitur utama, antara lain untuk memantau *different battery cell*, *battery module*, *battery pack level* [4]. Namun BMS tidak hanya memeriksa kondisi operasional baterai dan memastikan baterai berfungsi ideal, tetapi juga harus mampu memprediksi fitur penting lainnya seperti *State of Charge* (SoC), *State of Health* (SoH), *Remaining Useful Life* (RUL), *End of Life* (EoL), kapasitas dan daya yang tersedia, untuk meningkatkan efisiensi dan keamanan baterai.

SoC Baterai melakukan pengoperasian serupa seperti pengukur bahan bakar pada kendaraan berbahan bakar bensin yang menunjukkan seberapa banyak energi yang tersisa di dalam baterai untuk menjalankan beban [5]. Monitoring SoC yang akurat sangat penting untuk memastikan kinerja optimal, umur panjang, dan keselamatan baterai *lithium-ion*. Kesalahan dalam memperkirakan SoC dapat mengakibatkan berbagai masalah, seperti pengisian berlebih, pengosongan berlebih, dan degradasi cepat dari kapasitas baterai yang dipengaruhi penuaan, variasi suhu, siklus pengisian/pengosongan [6]. Namun, mengukur SoC secara tepat sangat menantang, karena tidak dapat diamati secara langsung karena karakteristik non-linier, perubahan waktu, dan reaksi elektrokimia [7].

Metode estimasi SoC konvensional seperti *Coulomb counting* dan model *Equivalent Circuit* yang berbasis tegangan dan arus memiliki keterbatasan dalam hal akurasi, terutama di bawah kondisi operasional yang dinamis dan kompleks, sehingga diperlukan pendekatan yang lebih canggih seperti penggunaan jaringan saraf tiruan (*neural network*) [8]. *Neural network* menawarkan solusi yang lebih adaptif dan akurat untuk estimasi SoC dengan kemampuannya untuk memodelkan hubungan non-linear yang kompleks antara berbagai parameter baterai seperti tegangan, arus, dan suhu. *Neural network* dapat dilatih menggunakan data historis untuk mengenali pola dan memberikan estimasi SoC yang lebih akurat dan *real-time* [8].

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, penelitian ini berfokus pada penggunaan *Back Propagation Neural Network* (BPNN) untuk mengoptimalkan estimasi SoC dan prediksi lama sisa pengisian baterai *lithium-ion* karena memiliki kecepatan pembelajaran dalam jaringan saraf propagasi balik dan menawarkan solusi waktu konvergensi yang lebih cepat untuk melatih *neural network*, selain itu nilai optimasi BPNN kerap menjadi acuan disaat metode yang paling terkini tengah dikembangkan [9]. Penelitian ini dimulai dengan pengumpulan data historis tegangan dan arus dari baterai menggunakan sensor INA219, yang diproses dan disimpan oleh ESP32 menggunakan *PLX-DAQ*. Data ini kemudian dioptimasi menggunakan BPNN di *python* untuk menghasilkan model estimasi SoC yang sesuai. Model ini kemudian diimplementasikan kembali pada ESP32 untuk

memantau SoC secara *real-time* dan memprediksi sisa waktu pengisian baterai, yang ditampilkan pada LCD. Penelitian ini diharapkan memberikan solusi yang sesuai dalam monitoring pengisian baterai *lithium-ion*, sehingga dapat meningkatkan akurasi pembacaan isi baterai.

1.2. Penelitian Terdahulu

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penelitian yang diajukan ini berbeda dari penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti lain. Tabel 1.1 merangkum penelitian-penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik ini.

Tabel 1.1 Penelitian terdahulu.

No	JUDUL	PENELITI	TAHUN
1	<i>Machine Learning Applied to Electrified Vehicle Battery State of Charge and State of Health Estimation: State-of-the-Art</i> [10]	Vidal, Carlos dan Malysz, Pawel dan Kollmeyer, Phillip dan Emadi, Ali	2020
2	<i>Application of Machine Learning in Battery: State of Charge Estimation Using Feed Forward Neural Network for Sodium-Ion Battery</i> [8]	Darbar, Devendrasinh dan Bhattacharya, Indranil	2022
3	<i>State-of-Charge Estimation of Li-ion Battery in Electric Vehicles: A Deep Neural Network Approach</i> [11]	How, Dickshon NT dan Hannan, Mahammad A dan Lipu, Molla S Hossain dan Sahari, Khairul SM dan Ker, Pin Jern dan Muttaqi, Kashem M	2020
4	<i>Modeling Of Lithium-Ion Battery and State Of Charge Estimation Using Matlab/Simulink</i> [12]	Khafaji, Hasan Neamah Abbas	2022

Penelitian [10] mengulas berbagai pendekatan pembelajaran mesin, termasuk *Long Short Term Memory* (LSTM) dan *Radial Basis Function* (RBF), untuk memperkirakan *State of Charge* (SoC) dan *State of Health* (SoH) pada kendaraan listrik. Makalah ini menekankan pentingnya kualitas dan persiapan data dalam melatih algoritma dan membandingkan metode dalam hal akurasi, yang menunjukkan bahwa SoC dan SoH dapat diperkirakan dengan kesalahan sekitar 1% menggunakan pendekatan pembelajaran mesin ini. Penelitian ini juga membahas pentingnya kumpulan data berkualitas tinggi, pedoman untuk melatih dan membandingkan algoritma pembelajaran mesin, dan variabilitas dalam akurasi *neural network*.

Penelitian [8] bertujuan mengembangkan model prediksi *State of Charge* (SoC) baterai *lithium-ion* yang lebih efisien dan akurat menggunakan metode *Feed Forward Neural Network* (FFNN). Data baterai dikumpulkan dan digunakan untuk melatih model FFNN untuk memprediksi SoC berdasarkan berbagai parameter operasional baterai. Hasilnya menunjukkan bahwa model ini memberikan estimasi SoC yang lebih akurat dibandingkan metode konvensional. FFNN terbukti efektif dalam prediksi SoC dan berpotensi diterapkan dalam sistem manajemen baterai komersial untuk meningkatkan efisiensi energi dan memperpanjang umur baterai.

Penelitian [11] mengembangkan sistem prediksi SoC baterai *lithium-ion* pada kendaraan listrik menggunakan *Deep Neural Network* (DNN). Penelitian ini menggunakan pendekatan DNN untuk estimasi SoC, di mana model dilatih menggunakan data historis dari kinerja baterai *lithium-ion*. DNN dipilih karena kemampuannya menangkap hubungan non-linear antara variabel *input* dan *output*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model DNN memberikan estimasi SoC yang sangat akurat, unggul dalam berbagai kondisi operasional, dan degradasi baterai, juga menunjukkan potensi besar dalam manajemen baterai pada kendaraan listrik. Pembahasan ini juga mencakup analisis terhadap faktor-faktor yang memengaruhi akurasi model, termasuk kualitas data dan arsitektur jaringan yang digunakan. DNN dinyatakan efektif meningkatkan akurasi estimasi SoC, yang dapat meningkatkan efisiensi energi dan keselamatan kendaraan listrik.

Penelitian [12] mengoptimalkan kinerja baterai dengan mengontrol proses pengisian dan pengosongan melalui BMS. Faktor-faktor seperti suhu, stabilitas sensor, dan fluktuasi arus serta tegangan mempengaruhi akurasi prediksi SoC. Model baterai menggunakan *Equivalent Circuit Model* (ECM) dikembangkan dengan data eksperimen dari baterai LiFePO₄. Algoritma *Unscented Kalman Filter* (UKF) digunakan untuk estimasi SoC dan dibandingkan dengan metode *Coulomb Counting* (CC) serta *Extended Kalman Filter* (EKF). Hasil menunjukkan bahwa karakteristik dinamis baterai dapat diidentifikasi melalui pengujian *Pulse Discharge Test* (PDT), *Constant Discharge Test* (CDT), dan *Random Charge and Discharge Test* (RCDT). Algoritma UKF terbukti lebih akurat dalam estimasi SoC dibandingkan EKF.

Berdasarkan telaah literatur terhadap sejumlah penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan estimasi *State of Charge* Baterai, serta pemanfaatan metode pendukung lainnya, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model *back propagation neural network* sebagai model prediksi yang sesuai dengan kondisi operasional nyata baterai. Metode-metode yang telah diusulkan sebelumnya memberikan pemahaman tentang berbagai pendekatan yang dapat digunakan sebagai bahan referensi penelitian.

1.3. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dimuat sebelumnya, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana rancang bangun sistem estimasi SoC baterai *lithium-ion*?
2. Bagaimana mengimplementasikan model *back-propagation neural network* tersebut pada ESP32 untuk estimasi SoC secara *real-time*?
3. Bagaimana kinerja model dan kinerja sistem estimasi SoC dan prediksi waktu pengisian baterai menggunakan model yang diimplementasikan pada ESP32 dalam kondisi operasional nyata?

1.4 Tujuan dan Manfaat

1.4.1 Tujuan

Dengan mempertimbangkan latar belakang dan rumusan masalah, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan mengimplementasikan sistem estimasi SoC baterai *lithium-ion* untuk menggunakan *back-propagation neural network*.
2. Mengimplementasikan model *back-propagation neural network* pada ESP32 untuk estimasi SoC secara *real-time* berdasarkan data sensor.
3. Mengevaluasi model menggunakan metrik evaluasi dan mengevaluasi kinerja sistem *real-time* dengan membandingkan hasil prediksi waktu pengisian dengan waktu aktual pengisian baterai hingga penuh untuk menilai akurasi dan eror sistem.

1.4.2 Manfaat

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat Akademis
Menambah pengetahuan dalam bidang *machine learning*, khususnya dalam penerapan *neural network* untuk estimasi SoC baterai *lithium-ion*.
2. Manfaat Praktis
Memberikan solusi yang lebih akurat untuk estimasi SoC pada sistem *embedded*, yang dapat diaplikasikan pada perangkat elektronik portabel.

1.5. Batasan Masalah

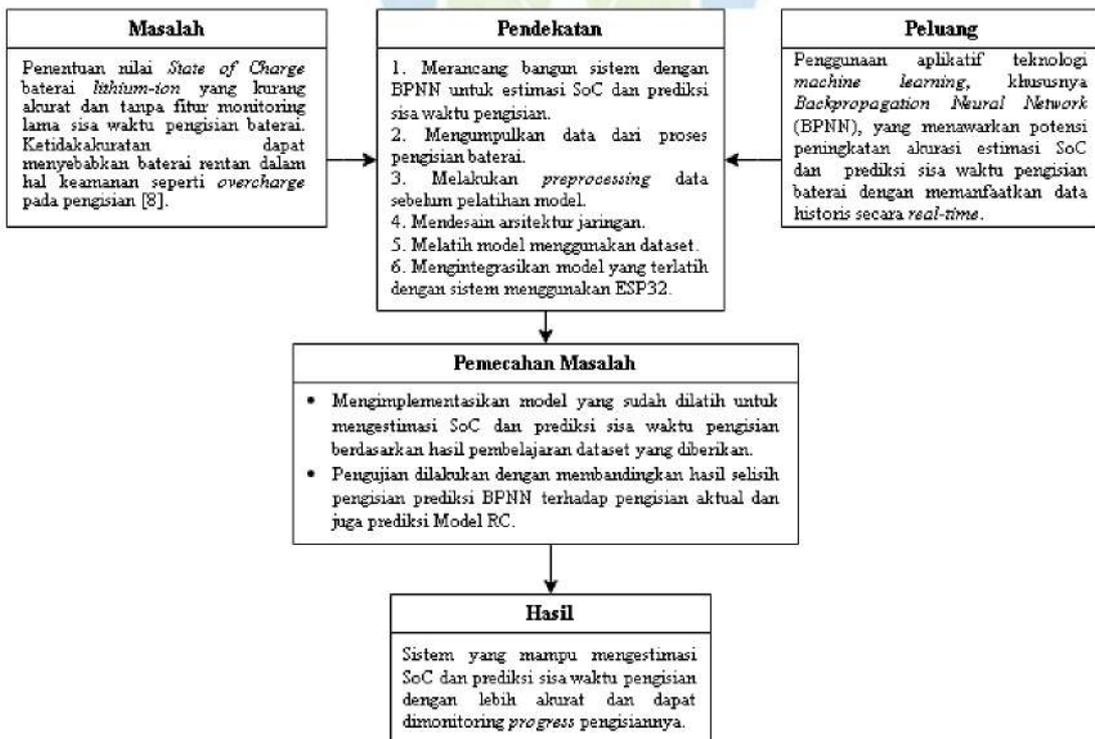
Agar penelitian ini tetap terfokus dan dapat diselesaikan dalam waktu yang terbatas, beberapa batasan masalah yang ditetapkan adalah:

1. Hanya memonitoring estimasi SoC, dan prediksi waktu pengisian.
2. SoC yang ditampilkan merupakan estimasi model BPNN, dari data tegangan dan arus sebagai masukan dan pemrosesan pola data historis yang dilatih untuk merepresentasikan kondisi keterisian baterai.
3. Baterai yang digunakan adalah *lithium-ion* NCR18650B sebanyak 3 buah yang dirangkai seri.
4. Sistem dapat memonitoring tegangan baterai melalui tampilan LCD namun tidak dengan arus dan daya.
5. Dataset yang digunakan untuk melatih *back-propagation neural network* terbatas pada data tegangan, arus, dan SoC kumulatif.

6. Implementasi *back-propagation neural network* dilakukan pada mikrokontroler ESP32.
7. Penelitian berfokus pada model *back-propagation neural network*, tidak mencakup metode *deep learning* yang lebih kompleks.
8. Penelitian berfokus pada pengisian baterai dan estimasi SoC, tidak mencakup proses pengosongan atau penggunaan baterai dalam aplikasi tertentu.

1.6. Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir mencakup alur pemikiran sistematis mengenai hasil rumusan masalah yang dapat diselesaikan melalui pendekatan yang diperlukan untuk sistem estimasi SoC baterai *lithium-ion*. Gambar 1.1 menunjukkan alur kerangka pemikiran penelitian ini.



Gambar 1.1 Kerangka berpikir.

1.7. Sistematika Penulisan

Penulisan penelitian tugas akhir ini terdiri dari enam bab dengan masing-masing isi sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini mencakup latar belakang, penelitian terdahulu, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah, kerangka berpikir, dan sistematika penulisan.

BAB II TEORI DASAR

Bab ini menjelaskan konsep dasar yang diperlukan sebelum melakukan penelitian. Penjelasan ini mencakup teori-teori yang relevan dan mendukung penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menguraikan diagram alir atau langkah-langkah yang dilaksanakan dalam penelitian.

BAB IV PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Bab ini menguraikan deskripsi perancangan sistem, perancangan *hardware* dan *software* dan implementasi sistem yang dilakukan dalam penelitian.

BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS

Bab ini meliputi pengujian awal, pengujian akurasi sistem, pengujian model estimasi dan pengujian aplikasi *real-time*.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan yang telah dibahas pada bab sebelumnya, serta berisi saran terkait kekurangan dan potensi pengembangan sistem.