

Implementasi Battery Management System pada Monitoring Patok Perbatasan Berbasis Solar Panel Menggunakan Artificial Neural Network

Abstrak

Pengawasan terhadap patok perbatasan negara memiliki peranan krusial dalam memelihara kedaulatan dan keamanan wilayah perbatasan nasional. Namun, sistem pemantauan konvensional sering terkendala oleh keterbatasan infrastruktur listrik dan jaringan komunikasi di lokasi-lokasi terpencil. Penelitian ini mengusulkan penerapan Battery Management System (BMS) yang didukung oleh panel surya dan diintegrasikan dengan algoritma Artificial Neural Network (ANN) guna memprediksi State of Charge (SoC) pada baterai LiFePO₄. Arsitektur ini menggabungkan panel surya, Solar Charge Controller (SCC) PWM, baterai LiFePO₄ 4S 15 Ah, sensor arus dan tegangan INA219, mikrokontroler ESP32, serta modul komunikasi LoRa. Model ANN dilatih menggunakan variabel tegangan dan arus baterai sebagai input untuk memprediksi persentase SoC sebagai output. Data Ground-Truth SoC diperoleh secara independen melalui pengujian Coulomb Counting terkalibrasi. Guna menghindari data leakage, dataset dibagi berbasis siklus utuh (cycle-based splitting) dengan mengisolasi 4 siklus terpisah (1.875 sampel data) sebagai independent test set. Berdasarkan hasil pengujian pada independent test set, algoritma ANN mencatatkan rata-rata galat Mean Absolute Percentage Error (MAPE) sebesar 4,86% dengan waktu inferensi komputasi pada ESP32 sebesar 1,8 ms, jauh melampaui metode konvensional berbasis tegangan yang menghasilkan galat 12,16%. Subsistem catu daya mencatatkan efisiensi konversi pengisian sebesar 68,4% dan memiliki estimasi ketahanan operasional teoretis (theoretical battery autonomy) hingga 9,6 hari tanpa sinar matahari. Temuan ini menegaskan keunggulan sistem dalam beroperasi secara otonom, presisi, dengan kemampuan inferensi real-time untuk aplikasi pemantauan patok batas jangka panjang di wilayah terpencil.