

BAB VI PENUTUP

Bagian akhir laporan menyajikan hasil penelitian. Kesimpulan ini didasarkan pada diskusi dan temuan dari bab sebelumnya. Bab ini juga memberikan rekomendasi untuk penelitian dan pengembangan yang lebih lanjut.

6.1. Kesimpulan

Berikut adalah kesimpulan yang telah diuraikan menjadi 4 poin berdasarkan hasil penelitian dan pengembangan:

1. Penelitian ini telah berhasil merancang dan mengimplementasikan sebuah prototipe modul energy meter fungsional yang mampu beroperasi pada rentang spesifik 50-100V untuk tegangan dan 0-30A untuk arus. Modul ini mampu melakukan pengukuran dan menampilkan seluruh parameter energi esensial tegangan (V), arus (A), konsumsi baterai (Wh), kapasitas terpakai (Ah), dan durasi operasi (h) secara *real-time* melalui layar OLED yang terintegrasi.
2. Algoritma yang dikembangkan dengan metode integrasi numerik terbukti efektif dalam meningkatkan akurasi perhitungan parameter akumulatif pada kondisi beban dinamis yang menjadi karakteristik kendaraan listrik. Analisis kuantitatif terhadap akurasi sistem menunjukkan bahwa modul mampu memberikan data dengan tingkat kesalahan yang dapat diterima. Secara spesifik, hasil pengujian menunjukkan rata-rata *error* untuk pengukuran tegangan sebesar 0.41%, arus sebesar 5.83%, daya sebesar 5.94, kapasitas baterai sebesar 2.95%, dan konsumsi energi sebesar 3.05%. Metode integrasi numerik yang diimplementasikan terbukti efektif dalam mengakumulasi nilai energi dengan cukup akurat, bahkan ketika data sesaat mengalami fluktuasi.
3. Pengujian fungsional *energy meter* yang dikembangkan berhasil diintegrasikan dan dapat beroperasi secara optimal di dalam sistem kelistrikan *e-cargo bike*. Hal ini ditunjukkan oleh kemampuan modul untuk menyala dan menampilkan seluruh parameter energi secara *real-time* saat terpasang pada kendaraan. Pemetaan profil operasional yang dilakukan secara terpisah melalui aplikasi *JK*

BMS lebih lanjut memvalidasi relevansi dan kebutuhan akan modul monitoring ini untuk menghadapi kondisi beban yang dinamis pada penggunaan nyata.

4. Kebaruan utaman dari penelitian ini yaitu pengembangan modul *energy meter* yang bersifat mandiri (*standalone*), non *IoT*, dengan fokus pada akurasi perhitungan melalui integrasi numerik untuk aplikasi spesifik *e-cargo bike* telah berhasil dicapai dengan mengisi celah riset yang teridentifikasi.

6.2. Saran

Meskipun penelitian ini telah berhasil mencapai tujuannya, terdapat beberapa aspek yang dapat dikembangkan lebih lanjut untuk menyempurnakan fungsi dan memperluas kapabilitas sistem. Berikut adalah beberapa saran untuk penelitian di masa depan:

1. **Peningkatan Akurasi Pengujian:** Untuk mendapatkan hasil validasi yang lebih presisi pada pengujian selanjutnya. Hal ini akan meminimalkan faktor eksternal yang menyebabkan fluktuasi pada pengukuran arus dan memberikan gambaran akurasi sensor ACS712 dan algoritma yang lebih murni.
2. **Integrasi Fitur *IoT* (*Internet of Things*):** Pengembangan selanjutnya dapat difokuskan pada penambahan fitur konektivitas *IoT* dengan mengintegrasikan mikrokontroler seperti *ESP32* atau *ESP8266*. Hal ini akan memungkinkan pemantauan data energi secara nirkabel melalui *dashboard web* atau aplikasi *mobile*, pencatatan data historis ke *cloud*, serta pengiriman notifikasi, sehingga meningkatkan fungsionalitas dan kemudahan pemantauan.
3. **Pengembangan Desain Produk:** Desain *casing* saat ini yang menggunakan teknologi cetak 3D sudah fungsional untuk tahap prototipe. Untuk pengembangan menuju produk komersial, disarankan untuk merancang *casing* dengan material yang lebih tahan cuaca dan guncangan (misalnya dengan sertifikasi *IP rating*) serta desain yang lebih ergonomis dan mudah untuk diproduksi secara massal.
4. Untuk mendapatkan hasil validasi akurasi yang lebih presisi pada pengujian selanjutnya, disarankan untuk menggunakan *dummy load* yang lebih stabil dibandingkan larutan elektrolit. Beberapa alternatif yang dapat dipertimbangkan adalah:

- **Beban Resistif (Resistive Load):** Menggunakan rangkaian resistor daya tinggi (high-power resistors) yang mampu mendisipasikan energi dalam bentuk panas. Beban jenis ini menawarkan nilai resistansi yang sangat stabil dan dapat diprediksi, sehingga ideal untuk kalibrasi sensor arus pada sirkuit DC. Penggunaan pendingin seperti heatsink dan kipas mungkin diperlukan untuk menjaga suhu resistor tetap stabil.
- **Beban Elektronik DC (DC Electronic Load):** Ini adalah instrumen pengujian profesional yang dapat diatur untuk beroperasi dalam mode arus konstan (CC), tegangan konstan (CV), atau daya konstan (CP). Meskipun biayanya lebih tinggi, alat ini memberikan hasil yang akurat dan bisa diulang (*repeatable*) untuk kalibrasi dan pengujian kinerja.