

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian alat pengujian kapasitas riil baterai berbasis ESP32-S3, dapat disimpulkan:

1. Keandalan Sistem Otomatis: Alat berhasil mengintegrasikan proses charge dan discharge secara mandiri menggunakan kontrol mikrokontroler untuk memutuskan arus tepat pada tegangan cut-off 4,2V (penuh) dan 3,0V (kosong), sehingga keamanan sel baterai tetap terjaga.
2. Validitas Data Kapasitas: Pengujian menunjukkan bahwa alat mampu mengukur penurunan kapasitas riil secara akurat seiring dengan bertambahnya usia pakai baterai (angka hasil pengujian):

- Baterai Baru:

Memiliki kapasitas tertinggi sebesar 2.969,67 mAh atau 98,99% dari kapasitas nominal (Kategori Good, $\geq 80\%$).

- Baterai Usia 1 Tahun:

Mengalami degradasi menjadi 1.997,37 mAh atau 66,58% dari kapasitas nominal (Kategori Fair, 50–80%).

- Baterai Usia 2 Tahun:

Menunjukkan kapasitas terendah sebesar 601,61 mAh atau 20,05% dari kapasitas nominal (Kategori Poor, $< 50\%$).

Kategorisasi ditetapkan berdasarkan persentase kapasitas tersisa terhadap kapasitas nominal 3000 mAh: Good ($\geq 80\%$), Fair (50–80%), dan Poor ($< 50\%$).

3. Analisis Karakteristik Discharge: Melalui grafik stabilitas arus dan kurva tegangan, terlihat bahwa baterai dalam kondisi sehat (baru) mampu mempertahankan tegangan pada level nominal dalam durasi yang lebih lama. Sebaliknya, baterai yang sudah mengalami degradasi berat menunjukkan penurunan kurva tegangan yang sangat drastis sejak awal proses pengosongan, yang menjadi indikator utama penurunan performa sel.
4. Efektivitas Metode: Penggunaan metode Coulomb Counting (integrasi arus terhadap waktu) yang diimplementasikan pada kode program terbukti efektif

untuk menghasilkan data kapasitas riil yang objektif dibandingkan pengukuran manual, sehingga meminimalisir potensi human error selama pengujian.

5.2 Saran

1. Pengembangan Alat

Untuk meningkatkan fungsionalitas, alat dapat dikembangkan dengan menambahkan sistem penyimpanan data uji ke modul kartu SD atau database berbasis cloud, sehingga riwayat pengujian dapat diakses kapan saja. Penerapan algoritma prediksi sisa usia baterai (State of Health estimation) berbasis data historis juga perlu dipertimbangkan. Selain itu, rangkaian proteksi perlu diperkuat dengan penambahan modul fuse dan proteksi arus lebih untuk mencegah kerusakan akibat overcharge atau overdischarge yang tidak tertangani oleh BMS.

2. Penelitian Lanjutan

Penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan validasi akurasi alat dengan membandingkan hasil pengukuran INA219 terhadap alat ukur standar komersial (misalnya battery analyzer). Uji statistik dengan pengukuran berulang minimal tiga kali untuk setiap kondisi baterai perlu dilakukan untuk menghitung nilai rata-rata dan standar deviasi yang lebih representatif. Penelitian juga dapat diperluas pada jenis baterai lain seperti LiFePO₄ atau Ni-MH untuk menguji fleksibilitas alat.

3. Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diakui. Pertama, pengujian hanya dilakukan pada tiga kondisi baterai (baru, usia 1 tahun, usia 2 tahun) dengan masing-masing satu sampel, sehingga hasil belum dapat digeneralisasi secara statistik. Kedua, sensor INA219 memiliki keterbatasan resolusi pengukuran resistansi internal pada kisaran m Ω yang sangat rendah, sehingga nilai IR yang sangat kecil dapat terbaca sebagai 0 m Ω . Ketiga, implementasi sistem monitoring jarak jauh (remote monitoring) belum diterapkan dalam penelitian ini dan menjadi peluang pengembangan ke depan