

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan proses perancangan, pengujian, dan analisis sistem monitoring baterai panel DC gardu induk, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Sensor INA226 mampu mengukur tegangan dan arus DC dengan deviasi kecil dan konsisten terhadap nilai referensi, nilai error berada dalam rentang toleransi yang dapat diterima untuk aplikasi monitoring panel DC yaitu sekitar $\pm 1\%$. Stabilitas pengukuran arus menunjukkan bahwa sensor ini layak digunakan sebagai sumber data utama dalam proses estimasi State of Charge (SOC) dan Depth of Discharge (DOD) berbasis metode Coulomb Counting.
2. Modul Real Time Clock (RTC) menunjukkan kinerja pencatatan waktu yang stabil dengan drift yang kecil selama periode pengujian. Fungsi backup battery bekerja dengan baik sehingga timestamp tetap terjaga meskipun terjadi pemadaman catu daya. Dengan demikian, integritas data historis berbasis waktu dapat dipertahankan dan mendukung analisis tren pemakaian baterai.
3. Modul TFT dan SD Card yang menggunakan jalur komunikasi SPI yang sama dapat beroperasi secara simultan tanpa konflik komunikasi. Waktu refresh tampilan dan waktu penulisan data berada dalam batas yang tidak mengganggu interval sampling sistem. Data logging dalam format CSV berhasil disimpan dan dibaca kembali tanpa kehilangan atau kerusakan data, sehingga sistem mendukung monitoring langsung sekaligus analisis historis.
4. Mikrokontroler ESP32 mampu menjalankan proses akuisisi data sensor, perhitungan SOC dan DOD, pembaruan tampilan, pencatatan lokal, serta pengiriman data ke platform IoT secara bersamaan dengan deviasi waktu siklus yang kecil terhadap interval yang dirancang. Hal ini menunjukkan bahwa manajemen multitasking pada sistem telah berjalan efektif tanpa penurunan kinerja yang signifikan.
5. Integrasi dengan platform IoT Blynk memungkinkan pengiriman data secara near real-time dengan latensi yang berada di bawah interval pembaruan sistem. Mekanisme reconnect otomatis berjalan dengan baik saat terjadi gangguan

jaringan, sementara proses pencatatan lokal tetap berlangsung sehingga kontinuitas data tidak bergantung sepenuhnya pada koneksi internet.

6. Metode estimasi SOC berbasis *Coulomb Counting* dalam bentuk diskrit mampu merepresentasikan perubahan muatan baterai secara logis terhadap variasi arus dan waktu operasi. Nilai SOC yang dihasilkan menunjukkan tren yang konsisten dengan perhitungan teoritis, meskipun dipahami sebagai estimasi numerik kondisi relatif baterai dan bukan representasi absolut kondisi elektrokimia internal.

Secara keseluruhan, sistem monitoring baterai panel DC berbasis ESP32 dan IoT yang dikembangkan dalam penelitian ini berhasil direalisasikan dan mampu beroperasi secara stabil dalam kondisi pengujian. Sistem dapat memantau parameter tegangan, arus, SOC, dan DOD secara real-time, menyimpan data historis secara lokal, serta menyediakan akses pemantauan jarak jauh melalui platform IoT. Dengan performa yang berada dalam batas evaluasi yang ditetapkan, sistem ini dinilai layak sebagai prototipe implementasi monitoring baterai panel DC pada gardu induk skala kecil hingga menengah..

5.2. Saran

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian yang menunjukkan bahwa sistem monitoring baterai panel DC dapat beroperasi secara stabil dan terintegrasi dengan baik, maka beberapa pengembangan berikut disarankan untuk penelitian selanjutnya.

- 1 Metode estimasi SOC berbasis *Coulomb Counting* yang telah terbukti sesuai untuk operasi kontinu panel DC gardu induk dapat ditingkatkan akurasinya dengan penambahan mekanisme koreksi periodik berbasis kondisi operasional tertentu, tanpa mengharuskan sistem berada pada kondisi idle. Hal ini tetap sejalan dengan karakteristik gardu induk yang menuntut suplai DC selalu aktif.
- 2 Sistem monitoring yang saat ini berfokus pada parameter tegangan, arus, SOC, dan DOD dapat dikembangkan dengan penambahan parameter temperatur dan tren degradasi baterai, sehingga informasi kondisi baterai menjadi lebih komprehensif dan mendukung pemeliharaan prediktif.
- 3 Meskipun integrasi IoT telah berjalan stabil, untuk implementasi pada skala yang lebih luas disarankan adanya arsitektur komunikasi yang lebih redundan,

seperti penyimpanan data terpusat atau sistem monitoring antara, guna meningkatkan keandalan tanpa harus terintegrasi langsung dengan SCADA.

Secara keseluruhan, pengembangan sistem di masa mendatang diharapkan tetap mempertahankan prinsip monitoring non-intrusif, real-time, dan kompatibel dengan operasi panel DC gardu induk, sebagaimana telah dibuktikan pada hasil penelitian ini. perangkat.