

BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pembangunan, dan pengujian sistem *Monitoring* baterai LiFePO₄ pada PLTS berbasis IoT menggunakan komunikasi LoRa yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut

1. Sistem monitoring baterai LiFePO₄ pada PLTS berbasis IoT berhasil dirancang dan dibangun menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor INA219 untuk pengukuran tegangan dan arus, sensor DS18B20 untuk pengukuran suhu, serta modul LoRa SX1278 Ra-02 sebagai media transmisi data nirkabel pada frekuensi 433 MHz. Sistem mampu mengukur dan menampilkan parameter Shunt Voltage, Battery Voltage, arus, daya, Load Voltage, suhu, State of Charge (SoC), dan State of Health (SoH) secara real-time melalui LCD I2C 16x2, Google Spreadsheet, dan platform Blynk IoT.
2. Pengujian menggunakan SCC PowMr MPPT 20A dengan mode LiFePO₄ selama dua hari menunjukkan hasil yang sangat baik. Pada hari pertama, baterai berhasil mencapai kondisi fully charged dengan Battery Voltage maksimum mencapai 14,39 V pada pukul 15:53 WIB, membuktikan kompatibilitas penuh antara SCC PowMr MPPT 20A dengan baterai LiFePO₄. Tidak terjadi BMS cut-off pada kedua hari pengujian dengan SoC akhir masing-masing 64,09% pada hari pertama dan 59,55% pada hari kedua.
3. Parameter State of Health (SoH) baterai dihitung menggunakan metode estimasi resistansi internal dengan rumus $SoH = (R_REF / R_internal) \times 100\%$, dimana R_REF ditetapkan sebesar 100 mΩ. Hasil pengujian SoH pada akhir pengujian MPPT Hari Ke-1 dan Hari Ke-2 masing-masing menunjukkan nilai 100%, yang membuktikan bahwa kondisi kesehatan baterai LiFePO₄ masih dalam keadaan sangat baik selama periode pengujian berlangsung.

4. Sistem monitoring berhasil diintegrasikan dengan platform Blynk IoT sebagai output pemantauan real-time melalui aplikasi smartphone. Data monitoring yang terdiri dari 11 parameter dikirimkan ke dashboard Blynk IoT setiap interval 1 menit melalui Virtual Pin yang telah dikonfigurasi. Sistem juga dilengkapi fitur notifikasi push otomatis yang terbukti berhasil mengirimkan peringatan ke smartphone pengguna ketika nilai SoC baterai mencapai batas kritis $\leq 20\%$ (setara Battery Voltage 10,88 V) dengan pesan " SoC Baterai Rendah! SoC = 20% | Vbatt = 10,88V", membuktikan bahwa sistem mampu memberikan peringatan dini secara real-time kepada pengguna.
5. Pengujian jangkauan komunikasi LoRa SX1278 Ra-02 pada empat arah mata angin menghasilkan jangkauan yang bervariasi: arah Utara sejauh 512,86 m (RSSI -102 dBm), arah Selatan 496,62 m (RSSI -101 dBm), arah Barat 351,67 m (RSSI -102 dBm), dan arah Timur 252,92 m (RSSI -99 dBm). Variasi jangkauan ini dipengaruhi oleh kondisi topografi dan penghalang fisik di sekitar titik pengujian.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan bahan pertimbangan untuk pengembangan sistem lebih lanjut

1. Disarankan untuk menambahkan sensor irradiansi matahari (pyranometer atau sensor cahaya) pada sistem *monitoring* agar data suhu, arus, dan daya *charging* dapat dikorelasikan langsung dengan kondisi cuaca aktual, sehingga analisis efisiensi sistem PLTS menjadi lebih komprehensif.
2. Sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan sensor arus dan tegangan pada sisi panel surya secara langsung sehingga sistem tidak hanya memantau kondisi baterai tetapi juga mampu memantau kinerja panel surya secara keseluruhan, termasuk daya input dari panel surya dan efisiensi penyimpanan energi ke baterai secara real-time.
3. Jangkauan komunikasi LoRa dapat ditingkatkan dengan menggunakan antena eksternal yang lebih baik atau menambahkan repeater LoRa di antara

unit transmitter dan receiver, sehingga sistem dapat diaplikasikan pada lokasi PLTS yang berada lebih jauh dari tempat pemantauan.

4. Sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan modul **GPS** pada unit transmitter untuk mengetahui lokasi PLTS secara akurat dan menampilkannya pada dashboard Blynk IoT, sehingga memudahkan pemantauan PLTS yang tersebar di berbagai lokasi dalam satu platform monitoring terpadu