

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem manajemen energi PLTS off-grid untuk charging station alat pertanian, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem manajemen energi pada PLTS off-grid berhasil dirancang dan diimplementasikan untuk mengatur hubungan kerja antara panel surya, baterai, dan beban secara otomatis berdasarkan kondisi operasional sistem. Sistem ini menggunakan ESP32 sebagai pusat kendali, sensor PZEM-017 untuk membaca parameter DC pada sisi panel surya dan baterai, sensor PZEM-004T untuk membaca parameter AC pada sisi beban, serta sensor DS18B20 untuk membaca suhu baterai. Data hasil pembacaan sensor dapat ditampilkan melalui media monitoring secara real-time, sehingga kondisi daya PV, daya baterai, daya beban, SoC, dan suhu baterai dapat dipantau setiap saat.
2. Fuzzy Logic Controller tipe Mamdani berhasil diterapkan untuk menentukan level beban aktif berdasarkan tiga variabel input, yaitu State of Charge (SoC), daya PV, dan daya beban, dengan fungsi keanggotaan dan basis aturan yang ditetapkan berdasarkan data hasil pengukuran di lapangan. Keluaran fuzzy berupa Level 1, Level 2, dan Level 3 digunakan sebagai dasar pengendalian relay beban sesuai prioritas, sedangkan mode operasi sistem ditentukan secara terpisah berdasarkan selisih daya antara daya PV dan daya beban, yaitu mode Discharge ketika daya PV lebih kecil dari daya beban, mode Charge ketika daya PV lebih besar dari daya beban dan SoC belum penuh, serta mode Supply ketika daya PV lebih besar dari daya beban dan SoC sudah tinggi. Implementasi Fuzzy Logic Controller pada ESP32 juga telah diverifikasi terhadap model acuan menggunakan MATLAB, dengan selisih nilai keluaran yang sangat kecil dan keputusan level yang identik, sehingga implementasi terbukti sesuai dengan rancangan.

3. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu membaca parameter utama PLTS, menentukan mode operasi, menghasilkan level beban aktif, serta mengendalikan relay sesuai kondisi energi yang tersedia. Validasi sensor menunjukkan nilai error yang relatif kecil, yaitu error maksimum PZEM-017 sebesar 0,80%, PZEM-004T sebesar 0,84%, dan DS18B20 sebesar 2,74%. Keputusan fuzzy yang dihasilkan bervariasi sesuai kondisi energi, yaitu mengaktifkan Rule 19, Rule 20, Rule 21, dan Rule 23 dengan keluaran Level 2 dan Level 3. Ketika daya beban ringan dan SoC tinggi, sistem menghasilkan Level 3 sehingga seluruh relay aktif dan semua beban disuplai; sebaliknya ketika daya beban meningkat, misalnya saat mesin penggiling padi beroperasi, sistem menghasilkan Level 2 sehingga relay beban prioritas rendah (R3 dan R4) dilepas. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan pengaturan beban secara adaptif berdasarkan prioritas.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat digunakan untuk pengembangan sistem selanjutnya, yaitu:

1. Pengujian sistem sebaiknya dilakukan dalam waktu yang lebih panjang dan pada kondisi cuaca yang lebih bervariasi (cerah, mendung, hujan), termasuk pada kondisi SoC baterai rendah, agar daya PV dapat mencapai rentang yang lebih tinggi sehingga seluruh kategori fungsi keanggotaan daya PV (sedang dan tinggi) dapat teruji secara menyeluruh.
2. Penggunaan sensor arus dua arah pada sisi baterai disarankan agar sistem dapat membedakan arus charge dan discharge secara lebih akurat, sehingga estimasi State of Charge (SoC) menggunakan metode Coulomb Counting menjadi lebih presisi.
3. Mengingat kapasitas pembangkitan panel surya jauh melebihi kebutuhan beban saat ini (pemanfaatan energi hanya sekitar 31%), pengembangan selanjutnya dapat diarahkan untuk memanfaatkan surplus energi secara lebih optimal, misalnya dengan menambah jumlah atau kapasitas beban pada charging station.