

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, pengujian fungsional, dan pengujian akurasi sistem monitoring parameter listrik tiga fasa berbasis ESP32 dan sensor PZEM-004T, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem monitoring parameter listrik tiga fasa berhasil dirancang dan diimplementasikan menggunakan tiga sensor PZEM-004T pada fasa R, S, dan T, ESP32 sebagai pengolah data, serta IC CD4052 sebagai pemilih jalur komunikasi sensor. Sistem mampu membaca parameter tegangan, arus, daya aktif, energi, frekuensi, dan faktor daya sesuai ruang lingkup penelitian.
2. Data hasil pengukuran dapat ditampilkan pada HMI DWIN 7 inci dan dikirimkan ke Firebase Realtime Database melalui jaringan Wi-Fi. HMI berfungsi sebagai media monitoring lokal, sedangkan Firebase menyediakan penyimpanan dan akses data berbasis internet.
3. Pengujian fungsional menunjukkan bahwa catu daya utama, modul UPS, sensor PZEM-004T pada ketiga fasa, IC CD4052, HMI, koneksi Wi-Fi dan Firebase, serta kipas pendingin dapat menjalankan fungsi dasarnya sesuai rancangan. Modul UPS juga mampu mempertahankan sistem tetap menyala ketika sumber listrik utama diputus, meskipun durasi waktu cadangan belum diukur pada pengujian ini.
4. Pengujian tegangan menghasilkan error 0,38% pada fasa R, 0,67% pada fasa S, dan 0,21% pada fasa T. Rata-rata error tegangan sebesar sekitar 0,42%, sehingga tingkat kedekatan rata-rata terhadap multimeter digital pada kondisi pengujian adalah sekitar 99,58%.
5. Pengujian arus menghasilkan error sekitar 1,43% pada fasa R, 6,67% pada fasa S, dan 0,83% pada fasa T, dengan rata-rata error sekitar 2,98% pada tiga titik uji. Error terbesar terdapat pada fasa S ketika arus yang diukur hanya 0,30 A. Hasil ini menunjukkan bahwa pembacaan arus, khususnya pada beban rendah, masih perlu divalidasi melalui pengujian berulang

dengan variasi beban dan alat referensi yang terkalibrasi. Dengan demikian, sistem telah memenuhi tujuan fungsional sebagai prototipe monitoring tiga fasa, tetapi klaim akurasi dan keandalan jangka panjang masih memerlukan pengujian tambahan.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penyempurnaan dan pengembangan sistem selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Melakukan pengujian akurasi secara berulang pada beberapa tingkat beban, mulai dari beban rendah hingga beban yang lebih besar, dengan pembacaan PZEM-004T dan alat referensi dilakukan secara bersamaan. Alat pembanding sebaiknya merupakan alat ukur yang terkalibrasi atau memiliki ketelitian yang diketahui agar hasil error dapat dianalisis dengan lebih kuat.
2. Melakukan pemeriksaan khusus pada pengukuran arus beban rendah, terutama pada fasa S, melalui pengecekan posisi dan arah current transformer (CT), kualitas sambungan, kestabilan beban, serta kalibrasi masing-masing sensor PZEM-004T. Pengujian ini diperlukan untuk mengetahui apakah error yang lebih besar berasal dari karakteristik sensor, pemasangan, alat pembanding, atau perubahan beban saat pengukuran.
3. Menambahkan pengujian kuantitatif terhadap keandalan sistem, meliputi waktu pembaruan data pada HMI dan Firebase, waktu penyambungan ulang Wi-Fi, jumlah kehilangan data selama periode pengujian, suhu panel saat operasi kontinu, serta lama waktu cadangan modul UPS. Data tersebut diperlukan sebelum sistem digunakan secara permanen pada instalasi gedung.
4. Pada pengembangan berikutnya, sistem dapat dilengkapi alarm untuk kondisi tegangan di luar batas, arus berlebih, faktor daya rendah, kehilangan fasa, dan ketidakseimbangan beban, serta fitur pencatatan historis atau grafik tren.