

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan proses perancangan, pembuatan, pengujian, dan analisis alat, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Prototipe sistem monitoring beban transformator distribusi telah dibangun menggunakan unit transmitter dan receiver. Unit transmitter mengintegrasikan ESP32, PZEM-004T, PZCT-02, LCD I2C, push button, dan LoRa Ra-02 SX1278. Unit receiver mengintegrasikan ESP32, LoRa Ra-02 SX1278, WiFi, NTP, Google Spreadsheet, dan Telegram Bot.
2. Mekanisme polling LoRa telah diterapkan dengan receiver mengirimkan identitas TRAFO1 kepada transmitter. Transmitter hanya mengirimkan data setelah menerima identitas yang sesuai. Mekanisme ini membuat proses pengiriman data berlangsung berdasarkan permintaan receiver.
3. PZEM-004T menghasilkan rata-rata error tegangan sebesar 0,24% dan akurasi sebesar 99,76%. Pengujian arus menghasilkan rata-rata error sebesar 1,57% dan akurasi sebesar 98,43%. Pengujian frekuensi menghasilkan rata-rata error sebesar 0,03% dan akurasi sebesar 99,97%. Hasil tersebut diperoleh dari tiga kondisi pembebanan pada setiap parameter.
4. Perhitungan persentase pembebanan menghasilkan rata-rata error sebesar 1,57% dan akurasi sebesar 98,43%. Nilai error tersebut mengikuti error pembacaan arus karena perhitungan menggunakan arus nominal transformator yang sama. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rumus pembebanan telah diterapkan sesuai konfigurasi program.
5. Komunikasi LoRa masih dapat menerima data pada jarak 600 m dengan RSSI sebesar -116 dBm. Receiver tidak memperoleh data pada jarak 650 m. Jarak komunikasi maksimum yang dibuktikan pada lokasi dan kondisi pengujian adalah 600 m.
6. Pengujian success rate selama lima jam menghasilkan 59 penerimaan dari 60 polling teoritis. Nilai success rate diperoleh sebesar 98,33%, sedangkan error

rate sebesar 1,67%. Satu kegagalan dikenali melalui gap timestamp selama 11 menit 4 detik.

7. Receiver dapat menyimpan data monitoring secara otomatis pada Google Spreadsheet. Data yang disimpan meliputi timestamp, identitas transformator, tegangan, arus, daya, frekuensi, faktor daya, persentase pembebanan, dan RSSI. Setiap data baru ditambahkan pada baris berikutnya setelah paket diterima oleh receiver.
8. Telegram Bot dapat menampilkan data monitoring melalui perintah /cek. Notifikasi overvoltage diterima pada tegangan 247,20 V. Notifikasi undervoltage diterima pada tegangan 114,20 V. Notifikasi beban tinggi diterima pada pembebanan 106,20%. Ketiga notifikasi dikirim sesuai ambang program, yaitu 231 V, 198 V, dan 80%.
9. Pengujian selama 24 jam menghasilkan 283 data tersimpan dari 288 polling teoritis. Persentase data tersimpan diperoleh sebesar 98,26%. Sebanyak 5 siklus tidak menghasilkan data, sehingga persentase data tidak tersimpan mencapai 1,74%.
10. Sistem dapat menjalankan alur monitoring mulai dari pengukuran, pengiriman LoRa, penerimaan data, pemberian timestamp, penyimpanan, hingga penyampaian informasi melalui Telegram Bot. Hasil tersebut berlaku pada pengujian skala laboratorium, konfigurasi satu transmitter dan satu receiver, serta kondisi operasi yang diterapkan.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil pengujian dan keterbatasan sistem, beberapa saran pengembangan dapat diberikan sebagai berikut:

1. Sistem dapat dikembangkan menggunakan beberapa transmitter untuk menguji mekanisme polling pada konfigurasi multi-transformator. Pengujian tersebut diperlukan untuk mengevaluasi penjadwalan, waktu respons, dan potensi tabrakan paket.
2. Komunikasi LoRa perlu diuji pada kondisi non-line-of-sight dan lingkungan yang berbeda. Variasi pengujian dapat mencakup bangunan, pepohonan, kendaraan, dan perbedaan ketinggian antena.

3. Mekanisme pengulangan otomatis perlu ditambahkan ketika receiver tidak memperoleh respons dari transmitter. Jumlah percobaan ulang perlu dibatasi agar tidak mengganggu interval polling berikutnya.
4. Penyimpanan lokal dapat ditambahkan pada receiver. Data lokal dapat digunakan sebagai cadangan ketika WiFi atau Google Spreadsheet tidak dapat diakses.
5. Sistem perlu dilengkapi dengan mekanisme antrean data. Data yang gagal dikirim ke Google Spreadsheet dapat disimpan sementara dan dikirim kembali setelah koneksi internet tersedia.
6. Pencatatan status kegagalan perlu dikembangkan agar penyebab kehilangan data dapat dibedakan. Sistem perlu mencatat kegagalan LoRa, gangguan WiFi, dan kegagalan penyimpanan Google Spreadsheet secara terpisah.
7. Pengujian operasi sistem perlu dilakukan dalam durasi lebih panjang. Pengujian selama beberapa hari atau minggu diperlukan untuk mengevaluasi kestabilan memori, koneksi jaringan, dan operasi ESP32.
8. Pengujian akurasi daya dan faktor daya perlu dilakukan menggunakan power analyzer sebagai alat referensi. Pengujian tersebut diperlukan karena kedua parameter belum dianalisis akurasinya pada penelitian ini.
9. Pengujian lapangan perlu dilakukan pada transformator distribusi dengan mempertimbangkan keselamatan dan prosedur instalasi. Pengujian tersebut diperlukan sebelum sistem digunakan pada lingkungan operasional sebenarnya.