

BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, pengujian, dan analisis sistem pengaturan dan monitoring beban listrik apartemen berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor PZEM-004T, sensor infrared, dan modul relay 4 channel, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem pengaturan beban listrik berbasis IoT dan mikrokontroler ESP32 berhasil dirancang dan diimplementasikan pada prototype miniatur apartemen 4 ruangan, mencakup Kamar Mandi (R1/lampu LED 5W), Kamar Tidur (R2/charger HP), Ruang Kerja (R3/charger laptop), dan Ruang Tamu (R4/kipas angin). Sistem mampu mengukur parameter kelistrikan berupa tegangan, arus, daya aktif, dan energi kumulatif secara independen pada setiap zona ruangan menggunakan sensor PZEM-004T, serta mengendalikan beban listrik secara otomatis melalui sensor infrared dan relay 4 channel dengan tingkat keandalan 100% dan waktu respons kurang dari 200 ms.
2. Sistem monitoring konsumsi listrik secara real-time berhasil diimplementasikan melalui platform Blynk yang menampilkan data tegangan, arus, daya, energi, dan estimasi biaya listrik secara langsung pada smartphone pengguna. Data monitoring juga dicatat secara otomatis ke Google Spreadsheet setiap 5 menit dengan keandalan logging 100%, di mana seluruh 99 baris data dan 21 kolom parameter berhasil terekam tanpa satu pun data yang hilang selama sesi pengujian berlangsung..
3. Sistem kontrol jarak jauh melalui aplikasi Blynk berhasil dikembangkan dan terbukti berfungsi dengan baik, di mana pengguna dapat menyalakan dan mematikan beban listrik per ruangan dari jarak jauh sekitar 1,7 Km melalui smartphone selama tersedia koneksi internet. Pengujian terhadap skenario kontrol menunjukkan tingkat keberhasilan 100% dengan latensi respons kurang dari 1 detik untuk operasi relay tunggal.

4. Analisis kinerja sistem dalam meningkatkan efisiensi penggunaan listrik terbukti melalui data monitoring harian yang menunjukkan pola konsumsi energi secara kuantitatif. Ruang Kerja (R3/charger laptop) teridentifikasi sebagai konsumen energi terbesar dengan porsi 45,4% (Rp 1.088,14) dari total biaya Rp 2.398,01, sementara Kamar Mandi (R1/lampu LED) hanya 6,9% (Rp 165,54). Analisis siklus waktu membuktikan beban puncak terjadi pada siklus malam (17:00–24:00) dengan total daya rata-rata 106,58 W, meningkat 2,67 kali lipat dibandingkan siklus pagi (38,38 W). Informasi ini memungkinkan penghuni untuk mengidentifikasi ruangan paling boros dan mengambil tindakan penghematan energi yang tepat sasaran.

6.2 Saran

Berdasarkan proses penelitian dan keterbatasan yang ditemukan selama pelaksanaan tugas akhir ini, terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan pertimbangan untuk pengembangan dan penyempurnaan sistem di masa mendatang:

1. Pengujian pada beban listrik nyata dan penambahan stop kontak per ruangan. Penelitian ini masih dilakukan pada skala prototype miniatur dengan beban yang merepresentasikan penggunaan listrik apartemen seperti charger laptop, charger HP, dan kipas angin. Untuk penelitian lanjutan, disarankan pengujian dilakukan pada instalasi apartemen sesungguhnya dengan beban penuh yang meliputi AC, televisi, kulkas, dan mesin cuci, serta menambahkan stop kontak pada setiap zona ruangan agar sistem lebih representatif terhadap kondisi nyata hunian apartemen.
2. Penambahan fitur monitoring kualitas daya dan notifikasi cerdas. Sistem saat ini hanya memantau tegangan, arus, daya aktif, dan energi kumulatif. Untuk penelitian lanjutan, disarankan menambahkan pemantauan faktor daya ($\cos \varphi$) dan daya reaktif (VAR) secara real-time, serta mengembangkan fitur notifikasi otomatis melalui Telegram Bot atau WhatsApp kepada penghuni apabila konsumsi energi suatu ruangan melebihi ambang batas yang ditetapkan, sehingga penghuni dapat segera mengambil tindakan penghematan.

3. Integrasi database cloud jangka panjang dan pengembangan antarmuka pengguna. Penyimpanan data saat ini menggunakan Google Spreadsheet yang memiliki keterbatasan kapasitas dan fitur analitik untuk jangka panjang. Disarankan untuk mengintegrasikan sistem dengan platform database cloud seperti Firebase atau InfluxDB dan mengembangkan aplikasi web atau mobile khusus yang menyediakan visualisasi data historis, grafik tren konsumsi energi harian dan bulanan, serta laporan estimasi biaya yang dapat diekspor dalam format PDF untuk kemudahan penghuni dalam mengelola penggunaan listrik.
4. Penerapan kecerdasan buatan untuk prediksi dan optimasi energi. Penelitian lanjutan dapat mengintegrasikan algoritma machine learning (seperti *regresi*, *LSTM*, atau *Random Forest*) untuk memprediksi pola konsumsi energi berdasarkan data historis, sehingga sistem dapat memberikan rekomendasi jadwal penggunaan alat listrik secara otomatis pada jam tarif rendah (*off-peak*) dan mengoptimalkan distribusi beban antar ruangan guna meminimalkan tagihan listrik.