

BAB 4. PENUTUP

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan yang selaras dengan permasalahan penelitian sebagai berikut:

1. Permasalahan ketiadaan antarmuka *mobile* untuk *monitoring* dan kendali jarak jauh berhasil diatasi dengan dibangunnya aplikasi *mobile* berbasis Flutter menggunakan arsitektur *MVVM (Model-View-ViewModel)* dan *Provider State Management*. Aplikasi ini menyediakan antarmuka *real-time* berbasis WebSocket untuk memantau data sensor lingkungan dan mengendalikan aktuator (pompa, katup solenoid 1–6, dan slider) dengan mekanisme *three-phase feedback (pending, success, failure)* yang memberikan respons cepat.
2. Permasalahan keterbatasan *monitoring real-time* dan kontrol otomatis pada sistem irigasi berhasil diatasi melalui pengembangan sistem berbasis *Internet of Things (IoT)* yang mampu melakukan pemantauan kondisi lingkungan secara *real-time* serta menyediakan kendali aktuator jarak jauh. Integrasi sensor, *backend*, dan aplikasi *mobile* memungkinkan pengguna memperoleh data aktual serta melakukan kontrol sistem secara efisien dan terpusat.
3. Permasalahan ketiadaan mekanisme penyiraman adaptif berhasil diatasi dengan implementasi metode *Fuzzy Inference System* yang mampu menentukan durasi penyiraman berdasarkan kondisi lingkungan aktual. Sistem ini menghasilkan keputusan penyiraman yang lebih proporsional dibandingkan metode konvensional, sehingga mengurangi risiko *overwatering* maupun *underwatering* pada tanaman.
4. Permasalahan keterbatasan arsitektur IoT yang rentan terhadap gangguan konektivitas berhasil diatasi melalui penerapan pendekatan *edge-cloud computing*. Pemrosesan lokal pada *edge (Raspberry Pi)* memungkinkan sistem tetap menjalankan fungsi utama meskipun terjadi gangguan jaringan, sementara mekanisme sinkronisasi data memastikan tidak terjadi kehilangan data setelah koneksi kembali normal.

Dengan demikian, sistem yang dikembangkan telah mampu menjawab seluruh permasalahan utama yang diidentifikasi serta memenuhi tujuan penelitian yang telah ditetapkan.

4.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran pengembangan yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kualitas sistem di masa mendatang, yang disesuaikan dengan permasalahan utama penelitian:

1. Pada aspek pengembangan aplikasi *mobile*, sistem yang telah dibangun dapat ditingkatkan lebih lanjut dengan menambahkan fitur notifikasi berbasis *real-time* untuk memberikan peringatan dini kepada pengguna terkait kondisi kritis, seperti kelembapan tanah di bawah ambang batas atau kegagalan sistem aktuator. Selain itu, optimalisasi performa aplikasi dalam menangani data *real-time* serta peningkatan pengalaman pengguna (*user experience*) melalui penyempurnaan navigasi dan respons antarmuka juga dapat dilakukan guna mendukung penggunaan sistem secara lebih efektif dalam jangka panjang.
2. Pada aspek monitoring dan kontrol real-time, sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan parameter sensor lain seperti pH tanah, nutrisi, atau kualitas air agar informasi yang diperoleh menjadi lebih komprehensif. Selain itu, fitur visualisasi data historis berupa grafik dan notifikasi otomatis juga dapat ditambahkan untuk meningkatkan efektivitas pemantauan oleh pengguna.
3. Pada aspek penyiraman adaptif, metode Fuzzy Inference System yang digunakan saat ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan pendekatan berbasis data seperti Machine Learning agar sistem mampu mempelajari pola kebutuhan air tanaman secara dinamis. Integrasi dengan data eksternal seperti prakiraan cuaca juga dapat meningkatkan akurasi pengambilan keputusan penyiraman.
4. Pada aspek arsitektur sistem IoT, peningkatan keandalan dapat dilakukan dengan menambahkan mekanisme redundansi komunikasi seperti jaringan seluler atau LoRa sebagai cadangan ketika koneksi utama terputus. Selain itu, penerapan keamanan komunikasi seperti enkripsi TLS serta pengelolaan sistem skala besar juga dapat dipertimbangkan untuk implementasi di lingkungan produksi.

Dengan pengembangan lebih lanjut pada ketiga aspek tersebut, sistem diharapkan dapat menjadi solusi yang lebih optimal, skalabel, dan adaptif dalam mendukung pertanian presisi berbasis teknologi.