

ABSTRAK

PENGEMBANGAN SISTEM *HYBRID SMART FARMING* BERBASIS *RESEARCH AND DEVELOPMENT SYSTEM* MELALUI INTEGRASI KALIBRASI SENSOR, IoT DAN OTOMASI LOKAL

Oleh

Dodi Yudo Setyawan

Smart Farming menghadapi berbagai tantangan seperti perubahan iklim yang tidak menentu, keterbatasan sumber daya manusia, dan efisiensi penggunaan air serta nutrisi. Penggunaan *greenhouse* menawarkan solusi terhadap tantangan tersebut, namun masih bergantung pada intervensi manusia yang intensif. Integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT) dan otomasi lokal menjanjikan peningkatan kendali mikro-lingkungan secara otomatis, namun optimalisasi integrasi keduanya masih menghadapi isu akurasi pemantauan, kecepatan respons, dan keberlanjutan operasional. Penelitian ini bertujuan mengembangkan dan mengevaluasi sistem *hybrid* pada *smart greenhouse* dengan pendekatan *research and development system* untuk meningkatkan akurasi pemantauan, mempercepat respons terhadap perubahan kondisi, dan menjaga keberlanjutan operasional meski terjadi gangguan konektivitas.

Metode penelitian mengikuti tahap yang meliputi tinjauan literatur sistematis, perancangan arsitektur *hybrid* dengan modul *edge control* Arduino Mega dan modul IoT NodeMCU ESP8266 berbasis HTTP, kalibrasi lima jenis sensor suhu udara, kelembaban udara, kelembaban tanah, pH tanah dan aliran air menggunakan regresi linier dengan pengambilan sampel berpasangan, serta pengujian performa sistem melalui simulasi kondisi *online* dan *offline*, pengukuran waktu respons kontrol *edge* dan uji reliabilitas serta *availability backend* IoT menggunakan Apache JMeter.

Kalibrasi sensor menunjukkan penurunan nilai *RMSE* dari rata rata 0,1345 menjadi 0,1176 untuk sensor suhu DHT11 sehingga akurasi meningkat 12,61%. Sensor kelembaban udara mencatat penurunan *RMSE* dari 0,1375 menjadi 0,1281 yang berarti peningkatan akurasi 6,82%. Sensor pH tanah berhasil menurunkan *RMSE* dari 0,3753 menjadi 0,0180 sehingga akurasi naik 64,26%. Sensor kelembaban tanah mengalami penurunan *RMSE* dari 1,9843 menjadi 1,7783 dengan peningkatan akurasi 10,38% dan sensor aliran air menurun dari 1,4363 menjadi 1,4362 yang setara dengan peningkatan akurasi 0,01%. Pengujian mekanisme *fallback hybrid control* melibatkan *threshold* kelembaban tanah 50%, durasi penyiraman 300 detik, siklus *heartbeat* HTTP setiap 60 detik dan *timeout* deteksi koneksi satu detik. Hasil simulasi pemutusan koneksi selama 1800 detik memperlihatkan *RMSE* kelembaban tanah 1,77, waktu deteksi *timeout* rata rata satu detik dan waktu *recovery* ke mode *online* rata-rata dua detik.

Uji beban *backend* IoT dengan 20 pengguna virtual menghasilkan *reliability* 100% dan *availability* tanpa *downtime* pada beban terbatas. Rata-rata waktu respons *endpoint* berkisar antara 235 sampai 726 milidetik untuk metode *GET* dan *throughput POST* rata rata 20,18 *hits* per detik tanpa *error*. Evaluasi di dua lokasi implementasi menegaskan fleksibilitas desain dalam menghadapi variasi jaringan dan lingkungan.

Penelitian ini menegaskan efektivitas integrasi IoT dan otomasi lokal dalam *smart greenhouse* dengan peningkatan kuantitatif akurasi pemantauan, kecepatan respons dan keandalan operasional. Sistem *hybrid* ini siap diadopsi untuk mendukung pengambilan keputusan jarak jauh sekaligus memastikan kontinuitas otomatisasi saat koneksi terputus.

Kata Kunci : *Smart Farming, greenhouse, hybrid, IoT, otomasi lokal, kalibrasi*

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF A HYBRID SMART FARMING SYSTEM USING A RESEARCH AND DEVELOPMENT SYSTEM APPROACH THROUGH INTEGRATION OF SENSOR CALIBRATION, IoT AND LOCAL AUTOMATION

By

Dodi Yudo Setyawan

Smart farming faces challenges such as unpredictable climate change, limited human resources, and the need for efficient water and nutrient management. Greenhouses offer a solution for microclimate control but still rely heavily on manual interventions. This quantitative study aims to develop and evaluate a hybrid system that integrates local automation and Internet of Things (IoT) technology to enhance monitoring accuracy, accelerate response times, and ensure operational continuity under connectivity disruptions.

The research methodology follows a systematic literature review, the design of a hybrid architecture featuring an Arduino Mega-based edge control module and an HTTP-based NodeMCU ESP8266 IoT module, calibration of five sensor types (air temperature, air humidity, soil moisture, soil pH, and water flow) using linear regression with paired sampling, and performance testing through online/offline simulations, edge control response time measurements, and reliability and availability assessments of the IoT backend using Apache JMeter.

Sensor calibration results demonstrate a reduction in root mean square error (RMSE) from 0.1345 to 0.1176 for the DHT11 temperature sensor, corresponding to a 12.61% accuracy improvement. The air humidity sensor's RMSE decreased from 0.1375 to 0.1281 (6.82% improvement), while the soil pH sensor's RMSE dropped from 0.3753 to 0.0180 (64.26% improvement). Soil moisture sensor calibration reduced RMSE from 1.9843 to 1.7783 (10.38% improvement), and the water flow sensor showed a slight RMSE decline from 1.4363 to 1.4362 (0.01% improvement). The hybrid fallback control test, configured with a 50% soil

moisture threshold, 300-second irrigation duration, 60-second HTTP heartbeat cycle, and one-second connection timeout, maintained soil moisture RMSE at 1.77 during 1,800 seconds of simulated disconnection, with average timeout detection of one second and the average recovery time to online mode is two seconds.

Load testing of the IoT backend with 20 virtual users resulted in 100% reliability and zero downtime under limited load conditions. Average endpoint response times ranged from 235 ms to 726 ms for HTTP GET requests, while POST throughput averaged 20.18 hits per second with no errors. Implementation evaluations at two different sites confirmed the design's flexibility in handling network and environmental variations.

These findings validate the effectiveness of integrating IoT and local automation in smart greenhouse applications by quantitatively improving monitoring accuracy, response speed, and operational reliability. The hybrid system is ready for adoption to support remote decision-making while maintaining automated control continuity during connectivity losses.

Keywords :Smart Farming, greenhouse, hybrid, IoT, local automation, calibration