

PENGEMBANGAN PURWARUPA SISTEM *SMART FARMING* BERBASIS *INTERNET OF THINGS* UNTUK Mendukung PERTANIAN HORTIKULTURA (STUDI KASUS: DESA PITURUH)

Faizal Riza

Program Studi Teknik Informatika, Institut Teknologi Budi Utomo Jakarta,
faizalriza@itbu.ac.id

Abstrak

Efisiensi operasional dan peningkatan produktivitas merupakan aspek krusial dalam sektor pertanian. Namun, hingga saat ini sebagian besar petani masih melakukan proses penyiraman dan pemantauan kondisi lahan secara manual. Integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT) ke dalam praktik pertanian diharapkan dapat meningkatkan efektivitas kerja dan hasil panen secara signifikan. Berdasarkan identifikasi permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem otomatisasi penyiraman dan monitoring berbasis smart farming serta mengevaluasi hasil pengujian sistem yang dikembangkan. Pendekatan penelitian yang digunakan adalah metode kualitatif melalui observasi dan studi kasus. Hasil dari pendekatan ini diwujudkan dalam bentuk purwarupa sistem *smart farming*. Perangkat keras yang digunakan meliputi mikrokontroler ESP8266, sensor kelembapan tanah (*Soil Moisture*), sensor suhu dan kelembapan (DHT11), sensor suhu tanah (DS18B20), relay satu kanal, pompa air mini submersible, serta modul LCD I2C 16x2 sebagai tampilan lokal. Sistem ini terhubung ke platform monitoring berbasis web yang dikembangkan menggunakan framework Laravel versi 11. Hasil analisis dan pengujian menunjukkan bahwa seluruh sensor berfungsi secara stabil, sistem penyiraman otomatis berjalan sesuai logika kontrol yang ditentukan, dan data sensor dapat ditampilkan secara real-time melalui antarmuka web..

Kata Kunci : Internet of Things (IoT), Laravel, monitoring pertanian, otomasi penyiraman, smart farming.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan jumlah penduduk terbesar di dunia, yakni mencapai 278 juta jiwa pada tahun 2023 (Badan Pusat Statistik [BPS], 2023). Pertumbuhan populasi yang pesat secara langsung berdampak pada meningkatnya kebutuhan pangan nasional. Dalam konteks ini, sektor pertanian, khususnya subsektor hortikultura, memiliki peran strategis dalam menjamin ketahanan pangan nasional dan mengurangi ketergantungan terhadap impor bahan pangan yang dapat memperburuk neraca perdagangan serta kondisi ekonomi negara secara umum.

Istilah "hortikultura" pertama kali digunakan pada awal tahun 1600-an, berasal dari bahasa Latin: hortus yang berarti taman, dan cultura yang berarti budidaya. Secara umum, hortikultura merujuk pada praktik budidaya tanaman kebun seperti sayuran, buah-buahan, tanaman hias, dan tanaman obat (Apriyani, M. E., Prasetyo, A., & Aldila, N., 2022).

Desa Pituruh, yang terletak di Kabupaten Purworejo, Provinsi Jawa Tengah, merupakan

contoh wilayah agraris di mana sebagian besar penduduknya menggantungkan hidup dari sektor pertanian. Namun, praktik pertanian di desa ini masih didominasi oleh metode konvensional yang minim teknologi. Ketergantungan pada proses manual menyebabkan efisiensi produksi menjadi rendah dan hasil panen kurang optimal. Kondisi ini mencerminkan tantangan yang lebih luas di sektor pertanian nasional, yakni rendahnya adopsi teknologi modern oleh petani kecil (Ambarwari, A., Widyawati, D. K., & Wahyudi, A., 2021).

Penerapan teknologi pertanian berbasis Internet of Things (IoT) atau yang dikenal dengan konsep smart farming menjadi salah satu solusi inovatif dalam menjawab tantangan tersebut. Teknologi ini memungkinkan integrasi berbagai sensor untuk memantau parameter penting pertanian seperti kelembapan tanah, pH tanah, dan kualitas udara secara real-time. Melalui sistem otomasi seperti penyiraman otomatis dan pemantauan berbasis web, petani dapat melakukan pengambilan keputusan yang

lebih tepat, efisien, dan berbasis data (Gubbi et al., 2023).

Meskipun berbagai sistem smart farming telah dikembangkan di pasar, masih terdapat berbagai kendala yang menghambat implementasinya secara luas. Beberapa di antaranya adalah keterbatasan dalam pemilihan sensor yang sesuai, kurangnya metode pengumpulan data yang efisien, serta desain antarmuka platform web yang tidak ramah pengguna, khususnya bagi petani di pedesaan (Amane, A. P. O., Sos, S., Febriana, R. W., Kom, S., Kom, M., Artiyasa, I. M., ... & Hut, S., 2023).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang, mengembangkan, dan menguji purwarupa sistem smart farming berbasis IoT yang mampu menjawab tantangan-tantangan tersebut. Fokus utama dari penelitian ini meliputi pemilihan sensor yang tepat, metode pengolahan dan transmisi data, serta pengembangan antarmuka web yang sederhana dan mudah diakses oleh pengguna. Diharapkan, hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi nyata dalam peningkatan efisiensi dan produktivitas pertanian di Indonesia, serta mendukung proses pengambilan keputusan yang lebih baik bagi para petani (Thoriq, A., Pratopo, L. H., Sampurno, R. M., & Shafiyullah, S. H., 2022).

2. METODOLOGI

Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang bersifat kualitatif dengan pendekatan studi kasus. Objek penelitian difokuskan pada pengembangan prototipe smart farming hortikultura berbasis IoT di Desa Pituruh, Jawa Tengah. Pendekatan studi kasus tunggal dipilih untuk menguji prototipe secara mendalam pada lingkungan riil (lahan pertanian hortikultura di lokasi tersebut). Dengan metode ini, peneliti merancang dan menguji suatu sistem secara langsung di lapangan untuk memahami efektivitasnya dalam konteks spesifik tersebut. Seluruh proses dilakukan secara sistematis sesuai kaidah metode ilmiah agar hasil penelitian dapat dipertanggungjawabkan validitasnya.

Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan adalah observasi lapangan langsung dan studi literatur. Pada tahap observasi, peneliti terjun ke lokasi pertanian hortikultura di Desa Pituruh untuk mengamati kondisi nyata di lapangan. Observasi dilakukan terhadap tanaman hortikultura (khususnya tanaman cabai sebagai objek utama) dan lingkungan pertaniannya, termasuk cara petani melakukan monitoring lahan serta kebutuhan akan otomatisasi penyiraman. Data primer dikumpulkan dari hasil pengamatan ini, seperti mengukur atau mencatat parameter lingkungan (suhu udara, kelembapan tanah) dan mencermati kendala yang dihadapi petani. Selanjutnya, studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan data sekunder dari sumber-sumber tertulis yang kredibel. Peneliti menelaah jurnal ilmiah, buku, dan laporan instansi terkait untuk mendukung perancangan sistem. Salah satu sumber data penting adalah situs web BPS (Badan Pusat Statistik) setempat, yang menyediakan informasi jenis dan produksi tanaman hortikultura di Desa Pituruh. Melalui studi literatur ini, peneliti memperoleh wawasan tentang teknologi smart farming terkini, kebutuhan ideal tanaman (misalnya rentang suhu dan kelembapan optimal), serta menentukan tanaman fokus (diketahui bahwa cabai merupakan komoditas hortikultura utama di desa tersebut). Kombinasi observasi dan studi literatur memastikan bahwa perancangan sistem didasarkan pada data lapangan aktual serta teori/temuan penelitian relevan sebelumnya.

Metode Analisis Data

Data yang terkumpul dianalisis dengan metode analisis kualitatif. Setelah seluruh data primer dan sekunder diperoleh, peneliti melakukan interpretasi dan penarikan makna secara sistematis terhadap data tersebut. Analisis kualitatif dimulai dengan menelaah hasil observasi lapangan untuk mengidentifikasi kebutuhan dan permasalahan utama yang harus diatasi oleh sistem smart farming. Parameter-parameter kunci seperti kelembapan tanah, suhu, dan waktu penyiraman dianalisis guna merumuskan spesifikasi fungsional sistem (misalnya, menentukan ambang batas sensor kelembapan untuk pemicu penyiraman otomatis). Selanjutnya, data sekunder dari studi literatur dianalisis untuk melengkapi

pemahaman konteks. Informasi tentang jenis tanaman yang dominan (cabai) dan praktik pertanian setempat digunakan sebagai dasar memilih skenario pengujian prototipe. Peneliti tidak menggunakan teknik statistik inferensial, melainkan melakukan penalaran logis dari temuan kualitatif untuk menyimpulkan apakah rancangan sistem dapat menjawab permasalahan. Hasil analisis data inilah yang kemudian menjadi landasan dalam tahap desain sistem dan eksperimen pengujian prototipe. Ketepatan dan kedalaman analisis data dijaga agar kesimpulan penelitian valid dan sesuai dengan kondisi nyata di lapangan.

Alur Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui serangkaian tahapan terstruktur sesuai kerangka pemikiran ilmiah yang dirancang sebelumnya. Secara umum, alur atau langkah-langkah penelitian dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Tahap awal berupa pengumpulan informasi dan teori dari berbagai referensi (jurnal, buku, laporan) yang relevan dengan topik smart farming dan pertanian hortikultura. Tahap ini bertujuan membangun landasan teori, memahami masalah secara mendalam, serta memetakan solusi yang telah ada sehingga membantu perumusan penelitian.

2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan studi literatur dan observasi awal, peneliti merumuskan pokok-pokok permasalahan yang akan dipecahkan. Pada konteks penelitian ini, masalah yang diidentifikasi antara lain: sulitnya memonitor kondisi lahan (kelembaban tanah, pH tanah, kualitas udara) secara kontinu, serta kebutuhan akan otomatisasi penyiraman tanaman agar operasional lebih efisien. Identifikasi masalah yang jelas mencegah penelitian menyimpang dari tujuan.

3. Perumusan Data

Peneliti menentukan data apa saja yang dibutuhkan untuk menjawab masalah penelitian. Pada tahap ini ditetapkan pengumpulan data primer (melalui observasi langsung di lapangan, seperti mencatat kondisi lingkungan dan praktik pertanian) dan data sekunder (melalui

literatur, misalnya data jenis tanaman hortikultura unggulan di lokasi studi dan parameter lingkungan ideal). Perumusan data memastikan peneliti mengumpulkan informasi yang tepat dan relevan dengan masalah.

4. Pengolahan dan Analisis Data.

Data yang terkumpul kemudian diolah dan dianalisis (sebagaimana dijelaskan pada bagian sebelumnya). Data primer dari lapangan digabungkan dengan data sekunder dari literatur untuk mendapatkan insight komprehensif. Tahap ini menghasilkan pemahaman mendalam terhadap kebutuhan sistem serta konteks lingkungan pertanian yang akan menjadi tempat implementasi prototipe.

5. Perancangan Sistem

Berdasarkan hasil analisis, dilakukan perancangan prototipe sistem smart farming. Peneliti menyusun desain sistem mencakup identifikasi kebutuhan perangkat keras (sensor, mikrokontroler, aktuator) dan perangkat lunak, perancangan arsitektur sistem, serta perencanaan mekanisme kerja (misalnya, bagaimana sensor membaca data dan memicu aktuator pompa). Diagram alir (flowchart) sistem dan rancangan skematik perangkat disusun pada tahap ini sebagai blueprint pembangunan prototipe.

6. Implementasi dan Pengujian

Setelah desain matang, dilakukan pembangunan purwarupa (prototype) sistem sesuai rancangan. Komponen-komponen hardware dirakit dan diintegrasikan dengan software. Prototipe yang telah dibangun kemudian diuji fungsinya di lapangan. Pengujian bertujuan mengevaluasi apakah sistem bekerja sesuai harapan: sensor dapat membaca parameter lingkungan dengan akurat, data berhasil dikirim ke platform web, dan mekanisme penyiraman otomatis berfungsi pada kondisi yang ditentukan. Jika ditemukan kendala atau hasil belum memenuhi kriteria, dilakukan penyesuaian atau perbaikan terhadap prototipe.

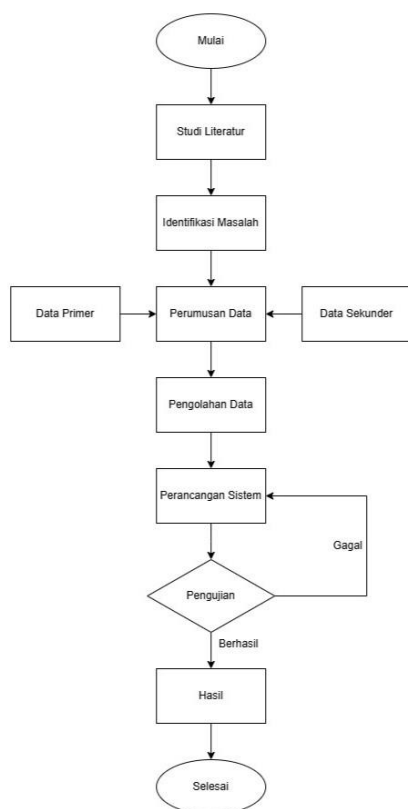
7. Hasil (Output) dan Evaluasi

Tahap akhir, peneliti mengevaluasi keluaran dari sistem yang telah diuji. Hasil akhir berupa sebuah prototipe

smart farming yang siap digunakan, beserta data kinerja dan temuan selama pengujian. Evaluasi dilakukan dengan

membandingkan hasil pengujian terhadap tujuan penelitian. Apabila prototipe telah berfungsi sesuai kriteria (misal mampu memonitor dan menyiram otomatis dengan andal), maka penelitian dinyatakan berhasil mencapai tujuan. Temuan penting dan implikasi hasil juga dicatat sebagai bahan pembahasan lanjutan.

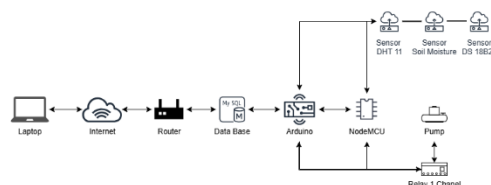
Alur penelitian divisualisasikan pada gambar 1. Setiap tahapan berkesinambungan secara sistematis, memastikan penelitian berjalan terstruktur dari perencanaan hingga memperoleh hasil yang diinginkan.



Gambar 2. Kerangka Penelitian
Sumber : Data olahan penelitian

Metode pengembangan sistem yang diterapkan dalam penelitian ini menggunakan model prototyping. Model prototyping dipilih agar peneliti dapat membangun dan mengevaluasi prototype sistem secara iteratif sebelum menghasilkan versi final. Prototipe smart farming ditunjukkan pada gambar 2.

Penelitian dilaksanakan dalam kurun waktu April - Juli 2025. Kegiatan penelitian terbagi dalam beberapa tahap sesuai alur yang telah dijelaskan, mulai dari studi literatur, pengumpulan data lapangan, perancangan dan pembangunan prototipe, hingga pengujian serta evaluasi hasil. Setiap tahap direncanakan dengan jadwal terperinci untuk memastikan penelitian selesai tepat waktu. Adapun lokasi penelitian ini berada di Desa Pituruh, Kabupaten Purworejo, Provinsi Jawa Tengah, khususnya pada lahan pertanian hortikultura milik warga setempat yang menjadi studi kasus. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada relevansi kasus (banyaknya budidaya cabai dan tanaman hortikultura lain di desa tersebut) serta dukungan akses untuk melakukan observasi dan uji coba alat di lapangan. Selama periode penelitian April–Juli 2025, peneliti beberapa kali melakukan kunjungan lapang ke Desa Pituruh untuk pengambilan data dan implementasi prototipe *smart farming*. Dengan demikian, konteks waktu dan lokasi ini memastikan bahwa penelitian dilakukan dalam kondisi musim dan lingkungan yang nyata, sehingga hasil pengujian prototipe mencerminkan situasi



Gambar 1. Protipe Sistem Smart Farming

sesungguhnya di lapangan.

Sumber : Data olahan penelitian

3. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian sensor menunjukkan bahwa prototipe sistem smart farming dapat memantau kondisi lingkungan tanaman secara real-time dengan akurat. Penelitian mencatat nilai kelembaban tanah (soil moisture) pada pagi hari sekitar pukul 07.00 – 07.45 WIB berada dalam rentang 77–84%, sedangkan suhu tanah (sensor DS18B20) berkisar 27,45–27,75°C dan kelembaban udara (sensor DHT11) sekitar 66–69%. Nilai-nilai ini mencerminkan kondisi lahan yang cukup lembab di pagi hari dengan suhu yang relatif stabil. Kelembaban tanah sebesar ~80% menandakan kondisi media tanam yang basah setelah penyiraman atau hujan malam,

sementara kelembaban udara ~66% menunjukkan tingkat kelembapan lingkungan yang masih tergolong normal untuk pagi hari. Adapun suhu tanah sekitar 27°C berada dalam batas optimal bagi pertumbuhan tanaman cabai, mengingat literatur menyebutkan kisaran suhu udara ideal sekitar 18–30°C untuk budidaya cabai. Dengan kata lain, sensor berhasil mendeteksi bahwa tanah berada dalam kondisi lembab dan suhu lingkungan berada di zona nyaman bagi tanaman. Konsistensi data sensor dari waktu ke waktu (perubahan nilai yang relatif kecil) mengindikasikan kinerja sensor yang stabil tanpa fluktuasi liar, sehingga data yang ditampilkan dapat dipercaya sebagai representasi kondisi aktual di lapangan. Dari hasil tersebut dapat diinterpretasikan bahwa sistem sensor mampu membedakan kondisi normal dan abnormal sesuai parameter yang telah ditentukan. Pada prototipe ini, ambang kelembaban tanah >40% dan <80% didefinisikan sebagai normal, ditandai dengan tampilan teks berwarna hijau di antarmuka. Sementara itu, pembacaan <40% dianggap rendah (di bawah normal) dan >80% dianggap tinggi berlebih, yang masing-masing diberi penanda warna berbeda untuk kemudahan pemantauan. Hasil uji menunjukkan seluruh pembacaan sensor berada dalam rentang normal: kelembaban tanah ~80% (teks hijau), kelembaban udara ~66% (teks hijau), dan suhu ~27°C (teks hijau), sesuai kriteria pada Tabel 4.5. Hal ini menegaskan bahwa lingkungan tumbuh berada dalam kondisi ideal atau mendekati ideal. Sebagai perbandingan, tingkat kelembaban tanah ideal bagi tanaman cabai umumnya 60–80%, dan kelembaban udara optimum sekitar 70–80%. Jadi, pembacaan ~80% untuk tanah dan ~66% untuk udara pada pagi hari sudah mendekati kisaran tersebut, menandakan tanaman berada pada kondisi yang baik. Sensor DHT11 juga menunjukkan respons yang peka terhadap perubahan kelembaban udara; ketika diuji dengan sumber panas (api) yang didekatkan secara berulang, terjadi perubahan nilai kelembaban yang terukur, mengindikasikan sensor dapat mendeteksi fluktuasi lingkungan. Demikian pula, sensor suhu DS18B20 yang ditanam dekat akar memberikan bacaan suhu tanah yang konsisten, menandakan sensor berfungsi andal. Secara keseluruhan, interpretasi data

sensor mengonfirmasi keberhasilan sistem dalam memantau kelembaban tanah, suhu, dan kelembaban udara secara real-time sesuai ekspektasi. Data yang dihasilkan tidak hanya berada dalam rentang wajar, tetapi juga selaras dengan kebutuhan fisiologis tanaman hortikultura (cabai) menurut literatur, sehingga sistem pemantauan ini dapat membantu petani memastikan kondisi lahan tetap optimal..

Evaluasi Performa Penyiraman Otomatis

Pengujian performa penyiraman otomatis menunjukkan sistem irigasi bekerja dengan akurat sesuai ambang batas yang ditetapkan. Sistem ini memanfaatkan sensor kelembaban tanah untuk memicu pompa air secara otomatis: jika kelembaban tanah turun di bawah ambang yang ditentukan (50%), maka pompa akan hidup, dan akan mati ketika kelembaban mencapai atau melebihi ambang tersebut. Hasil pengujian memperlihatkan akurasi respon sistem yang baik terhadap nilai ambang batas 50%. Pada skenario tanah kering (simulasi kelembaban <50%), relay secara otomatis beralih ke posisi ON tepat ketika nilai sensor melewati bawah 50%, dan pompa mini submersible langsung aktif untuk mulai menyiram tanaman. Sebaliknya, pada skenario tanah basah dengan kelembaban di atas 50%, pompa tetap berada pada kondisi OFF sebagaimana mestinya (lihat Tabel 4.4; seluruh entri dengan kelembaban 77–84% menunjukkan status Pompa OFF). Pola respon ini konsisten dengan logika yang diinginkan dan sesuai dengan temuan penelitian serupa yang menggunakan ambang 50% sebagai kriteria penyiraman otomatis. Artinya, tidak ditemukan keterlambatan maupun kegagalan sistem dalam mendeteksi kondisi kering dan mengambil aksi penyiraman, menandakan akurasi dan keandalan mekanisme kontrol yang tinggi. Durasi aktif pompa pada mode otomatis bergantung pada seberapa kering media tanam saat pemicu terjadi. Dalam pengujian, setelah pompa menyala pada kondisi tanah kering, proses penyiraman berlangsung hingga sensor mendeteksi kelembaban tanah mencapai ~100% (kondisi jenuh penuh). Hal ini menunjukkan bahwa sistem secara efektif menyiram hingga tanah benar-benar basah untuk memastikan kebutuhan air terpenuhi sebelum pompa dimatikan otomatis.

Efektivitas proses ini tampak pada perubahan nilai sensor sebelum dan sesudah penyiraman. Sebagai ilustrasi, pada pengujian manual di mana pompa diaktifkan lewat antarmuka web, kelembaban tanah meningkat dari 62% menjadi 79% pada uji coba pertama, dan dari 81% menjadi 88% pada uji kedua, yang semuanya dinyatakan Sesuai (berhasil) dengan ekspektasi. Kenaikan signifikan pada kelembaban tanah tersebut mengindikasikan bahwa volume air yang diberikan pompa cukup untuk menaikkan kadar air tanah ke tingkat optimal. Dengan kata lain, pompa efektif dalam mendistribusikan air ke media tanam sehingga sensor membaca peningkatan kelembaban sesuai yang diharapkan. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kelembaban optimal relatif singkat; teramati bahwa setelah pompa otomatis menyala, dalam hitungan puluhan detik tanah sudah mencapai kondisi sangat basah. Hal ini sesuai catatan pengujian bahwa terdapat delay sekitar 10 detik pada respons pompa manual, yang utamanya disebabkan waktu propagasi sinyal NodeMCU ESP8266 dan proses eksekusi perintah. Delay ini tergolong kecil dan tidak memengaruhi efektivitas penyiraman, mengingat penyiraman tanaman tidak membutuhkan presisi waktu dalam hitungan detik. Efektivitas sistem penyiraman otomatis ini dapat dinilai dari kemampuannya menjaga kelembaban tanah dalam rentang yang dibutuhkan tanaman. Dengan ambang pemicu 50%, sistem baru akan menyiram ketika tanah sudah mulai mengering di bawah ambang optimal (di bawah ~60% kelembaban tanah, yang bagi tanaman cabai sudah termasuk tanda kekurangan air). Penyiraman dihentikan ketika tanah sangat basah (~100%), sehingga tanaman terhindar dari kekurangan air. Strategi ini memastikan tanaman tidak dibiarkan kering terlalu lama, namun juga tidak disiram secara berlebihan dalam frekuensi tinggi. Meskipun tanah jenuh 100% sedikit di atas kisaran kelembaban ideal (optimalnya sekitar 60–80%), hal ini merupakan pendekatan konservatif untuk menjamin ketersediaan air: setelah jenuh, butuh waktu cukup lama bagi tanah untuk turun kembali di bawah 50%, sehingga penyiraman tidak akan terlalu sering. Dengan demikian, risiko overwatering dapat diminimalkan karena sistem tidak menyala lagi hingga tanah benar-benar mulai kering. Hasil pengujian ini sejalan dengan laporan

literatur yang menyatakan otomatisasi irigasi IoT mampu menjaga kelembaban tanah cabai di kisaran optimal 60–80% dengan kontrol berbasis ambang batas. Secara keseluruhan, performa penyiraman otomatis prototipe terbukti andal: sensor soil moisture bekerja sensitif, kontrol relay-pompa akurat, dan tanaman menerima air sesuai kebutuhan. Hal ini membuktikan bahwa rancangan sistem berhasil mencapai tujuannya dalam mengotomatisasi penyiraman untuk mendukung pertanian holtikultura yang lebih efisien.

Respons dan Kinerja Antarmuka Web untuk Monitoring

Antarmuka web monitoring yang dikembangkan menunjukkan kinerja respons yang baik dan mendukung pemantauan real-time. Pengujian fungsionalitas website (Tabel 4.3) menyimpulkan setiap komponen bekerja sesuai harapan – mulai dari fitur login (admin/user) hingga pengaturan ambang sensor dan kontrol pompa – semuanya mendapatkan hasil “Sesuai”. Secara khusus, refresh data sensor pada dashboard web berjalan nyaris seketika dengan interval pembaruan yang dapat diatur. Dalam pengujian, interval pengambilan data dari database sempat diubah-ubah untuk melihat pengaruhnya terhadap load dan keterbacaan real-time. Hasilnya, pembaruan data berlangsung lancar tanpa lag signifikan pada interval refresh yang ditetapkan (misalnya tiap 5 detik). Data dari sensor yang dikirim NodeMCU ESP8266 berhasil ditampilkan di web dengan waktu tunda sangat kecil, hanya berkisar hitungan detik sejak sensor membaca hingga muncul di dashboard. Hal ini berarti petani sebagai pengguna dapat memperoleh informasi kondisi terkini hampir secara real-time, sehingga potensi masalah (misalnya penurunan kelembaban drastis atau kenaikan suhu ekstrim) dapat segera terpantau. Dari sisi responsiveness antarmuka, loading halaman dashboard dan navigasi menu juga tergolong cepat mengingat sistem dihosting pada jaringan lokal (localhost dengan XAMPP). Setelah dilakukan konfigurasi tambahan pada server lokal (XAMPP) untuk mengatasi error koneksi (kode HTTP 404 pada serial monitor), konektivitas perangkat ke web terpantau stabil. Indikator konektivitas menunjukkan kode 200 (OK) secara

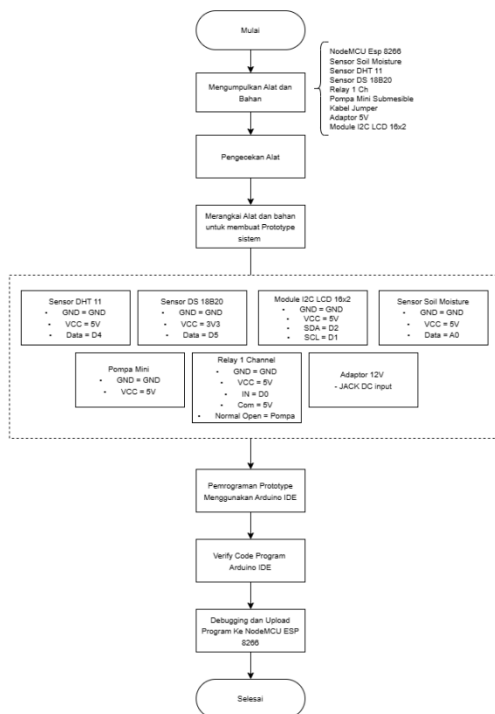
konsisten, menandakan data sensor berhasil dikirim dan diterima tanpa kehilangan paket. Kestabilan koneksi ini sangat krusial untuk sistem IoT; hasil pengujian mengonfirmasi bahwa prototipe mampu mempertahankan koneksi data yang handal selama monitoring berlangsung. Dari aspek keterbacaan data secara real-time, antarmuka web dirancang dengan tampilan yang informatif dan mudah dipahami. Setiap pembacaan sensor ditampilkan beserta satuan dan status warnanya, sehingga memudahkan pengguna dalam menafsirkan kondisi sekilas pandang. Sebagai contoh, nilai suhu, kelembaban udara, dan kelembaban tanah akan muncul dengan label “Normal” berwarna hijau jika berada dalam rentang ideal (lihat Tabel 4.5), atau berwarna merah dengan label “Abnormal” jika di luar batas wajar. Hasil pengujian mendapati bahwa perubahan warna dan status ini berfungsi dengan baik secara dinamis – ketika sensor soil moisture mendeteksi tanah kering ($<40\%$), teks status di web otomatis berubah menjadi merah (peringatan) sehingga pengguna segera tahu bahwa tanaman butuh air. Begitu pula jika suhu melampaui ambang yang diset (misal $>40^{\circ}\text{C}$) akan langsung terindikasi sebagai Abnormal. Semua elemen visual tersebut muncul tanpa kendala selama uji pemantauan berlangsung. Dengan demikian, antar-muka web dinilai efektif dalam menyajikan data secara jelas dan real-time, meningkatkan pengalaman pengguna dalam memantau kondisi lahan. Selain itu, fitur kontrol manual pompa via web berfungsi sesuai harapan, meskipun terdapat sedikit jeda sekitar 10 detik hingga pompa benar-benar aktif setelah tombol di web diklik. Jeda ini disebabkan proses komunikasi perintah dari web ke NodeMCU dan dianggap wajar. Pentingnya hal ini adalah bahwa pengguna (petani) dapat melakukan intervensi manual dari jarak jauh apabila diperlukan – misalnya menyalakan pompa secara override saat akan memupuk atau menyemprot, atau mematikan pompa dalam situasi darurat – semua dapat dilakukan melalui dashboard dengan respons sistem yang cukup cepat dan reliabel. Secara keseluruhan, hasil pengujian antarmuka web menunjukkan kinerja yang memuaskan dari segi waktu respons, keterbacaan, dan kestabilan koneksi. Platform monitoring yang dibangun berbasis web ini mampu menjadi jembatan antara petani dan perangkat IoT di

lapangan: petani memperoleh data lingkungan secara real-time dengan tampilan informatif, dan dapat mengendalikan aktuator (pompa) dengan mudah. Temuan ini konsisten dengan tujuan sistem IoT pertanian pada umumnya, yaitu menghadirkan kemudahan akses informasi dan kontrol jarak jauh bagi pengguna. Dengan kata lain, prototipe antarmuka yang diuji sudah memenuhi standar fungsional dan usability yang diharapkan dalam mendukung kegiatan smart farming di lapangan.

Analisis Hasil Pengujian dan Penyajian

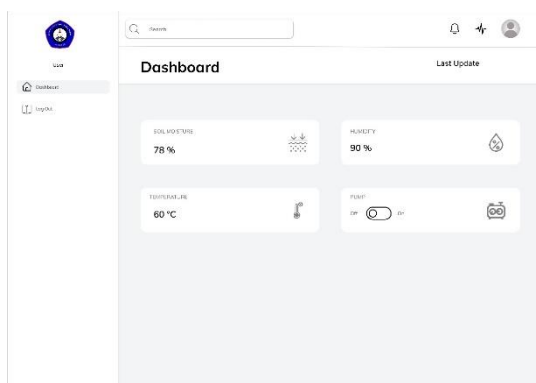
Tabel

Berbagai tabel pengujian yang disajikan telah membantu memperjelas kinerja sistem secara kuantitatif, dan analisis terhadap data tersebut memberikan insight penting. Pemelitian menunjukkan tren bahwa kelembaban tanah cenderung tinggi di pagi hari (77–84%) sehingga pompa tetap OFF, sementara suhu sedikit menurun seiring waktu ($27,75^{\circ}\text{C}$ menjadi $27,45^{\circ}\text{C}$) dan kelembaban udara menurun perlahan (69% menjadi 66%) seiring matahari meninggi. Analisis terhadap tren ini mengindikasikan proses alami: tanah masih basah (mungkin sisa penyiraman dini hari), kemudian sedikit mengering (kelembaban turun dari 84% ke 80% dalam 30 menit) namun masih jauh di atas ambang, sehingga pompa wajar tidak aktif. Penurunan kelembaban udara dan suhu yang stabil menunjukkan kondisi cuaca cerah pagi hari dimana udara mengering sedikit. Konsistensi output sensor dan status pompa pada tabel tersebut menegaskan bahwa sistem kontrol bekerja sesuai skenario – tidak ada anomali seperti pompa menyala padahal tanah basah, atau data sensor melonjak/turun drastis tanpa sebab. Dengan demikian, analisis data memperkuat kesimpulan bahwa logika otomatisasi penyiraman berbasis sensor berjalan benar.



Gambar 3. Alur Pengujian Prototype
Sumber : Data olahan penelitian

Hasil pengujian pompa manual, yang memperlihatkan kondisi kelembaban tanah sebelum dan sesudah penyiraman secara manual melalui web. Dari tabel itu tampak jelas bahwa setiap aksi penyiraman memberikan peningkatan kelembaban tanah yang signifikan (misal 62% menjadi 79%, dan 81% menjadi 88%). Analisis angka-angka ini mengkonfirmasi efektifnya proses penyiraman: tanah yang semula kurang lembab dapat mencapai kondisi lebih basah setelah pompa dinyalakan.



Gambar 4. Dashboard User Interface
Sumber : Data olahan penelitian

Hasil ini sesuai dengan ekspektasi, ditandai kolom “Hasil” yang bernilai Sesuai untuk setiap kasus uji. Selain itu, tabel juga

mengungkap bahwa even ketika tanah sudah cukup basah (81%), penyiraman manual tetap menambah kelembaban (menjadi 88%). Ini memberi gambaran bahwa sensor mampu menangkap perubahan kelembaban meski dalam rentang atas, dan sistem pompa dapat menaikkan kadar air tanah mendekati jenuh.

Satu hal yang dicatat pada analisis ini adalah adanya waktu tunda (delay) sekitar 10 detik sebelum perubahan kondisi tercatat penuh pasca tombol pompa manual diaktifkan. Delay ini telah dibahas sebelumnya sebagai konsekuensi proses komunikasi, namun penting dicatat dalam analisis tabel karena muncul sebagai selang antara input (perintah ON) dan output (kenaikan kelembaban). Meski demikian, interval 10 detik ini masih dalam batas wajar dan tidak memengaruhi status akhir (Hasil tetap Sesuai). Dari penyajian kedua tabel kunci tersebut, dapat ditarik benang merah bahwa semua hasil pengujian mendukung kinerja sistem yang dirancang. Tidak ditemukan kasus kegagalan pada skenario-skenario uji yang didesain penulis. Misalnya, Tabel 4.3 (skenario pengujian website) menunjukkan setiap test case berhasil (“Sesuai”), menandakan seluruh fungsi web (login, input data, kontrol perangkat) lolos uji tanpa error. Demikian pula, konfigurasi ambang sensor pada Tabel 4.5 memastikan interpretasi data di web sesuai kondisi lapangan (warna/status tepat). Dengan demikian, analisis terhadap tabel-tabel pengujian ini memberikan landasan kuat untuk menyimpulkan bahwa sistem smart farming IoT yang dibangun telah berfungsi sesuai spesifikasi. Setiap komponen – sensor, mikrokontroler, modul WiFi, pompa, dan web monitoring – telah diuji dan terbukti bekerja selaras dalam satu kesatuan sistem. Penyajian tabel-tabel tersebut juga memudahkan untuk mengkomunikasikan performa sistem secara terstruktur dan terukur, yang mana sangat penting dalam konteks laporan ilmiah.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian sistem, dapat disimpulkan bahwa perancangan alat prototipe sistem monitoring smart farming berhasil direalisasikan dengan baik. Sistem ini mengintegrasikan berbagai sensor lingkungan dengan mikrokontroler yang sesuai, disertai pemrograman logika

kontrol serta konektivitas berbasis website yang memungkinkan pengguna memantau kondisi tanaman secara real-time. Sensor-sensor yang digunakan menunjukkan sensitivitas yang baik dalam membaca dan mengolah data, kemudian menampilkan informasi melalui antarmuka web berdasarkan rentang waktu yang telah diatur dalam skrip pemrograman. Prototipe alat terbukti mampu memberikan respons yang cepat terhadap perubahan parameter lingkungan, seperti kelembaban tanah, suhu tanah, dan temperatur udara. Secara keseluruhan, sistem monitoring dan perangkat keras yang dirancang telah berjalan dengan stabil dan dapat digunakan secara fungsional oleh pengguna.

Sensor kelembaban tanah (soil moisture) pada sistem telah berfungsi sebagaimana mestinya dengan memberikan sinyal kepada mikrokontroler untuk mengaktifkan pompa penyiraman secara otomatis saat nilai kelembaban turun di bawah ambang batas tertentu. Mekanisme ini berhasil diuji dengan baik, menunjukkan bahwa logika kontrol dalam sistem telah bekerja sesuai yang diharapkan. Selain itu, fitur penyiraman manual melalui antarmuka web juga menunjukkan kinerja yang memuaskan, di mana mikrokontroler merespons dengan baik ketika pengguna mengubah status tombol kendali pompa ke posisi aktif (ON) pada dashboard website monitoring. Hal ini membuktikan bahwa sistem tidak hanya mampu bekerja secara otomatis, tetapi juga memberikan keleluasaan kepada pengguna untuk melakukan intervensi manual jika diperlukan.

Meskipun penelitian ini telah mencapai tujuan yang direncanakan, masih terdapat ruang untuk pengembangan lebih lanjut di masa mendatang. Salah satu arah pengembangan yang direkomendasikan adalah pemanfaatan mikrokontroler dan sensor versi terbaru yang memiliki akurasi dan efisiensi energi lebih tinggi, guna meningkatkan reliabilitas sistem secara keseluruhan. Selain itu, perbaikan pada aspek antarmuka pengguna (user interface) dan pengalaman pengguna (user experience) juga sangat penting, terutama dalam hal tampilan, navigasi, dan kemudahan akses platform monitoring agar sistem ini benar-benar ramah pengguna, khususnya bagi kalangan petani. Potensi pengembangan sistem smart farming

ini juga cukup besar untuk diterapkan dalam skala yang lebih luas dan nyata, sehingga dapat menjadi solusi nyata bagi peningkatan efisiensi operasional serta produktivitas petani di berbagai wilayah, khususnya dalam menghadapi tantangan pertanian modern yang menuntut pengelolaan berbasis data dan teknologi..

DAFTAR PUSTAKA

- Amane, A. P. O., Sos, S., Febriana, R. W., Kom, S., Kom, M., Artiyasa, I. M., ... & Hut, S. (2023). Pemanfaatan dan penerapan Internet of Things (IoT) di berbagai bidang. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Ambarwari, A., Widyawati, D. K., & Wahyudi, A. (2021). Sistem pemantau kondisi lingkungan pertanian tanaman pangan dengan NodeMCU ESP8266 dan Raspberry Pi berbasis IoT. *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, 5(3), 496–503.
- Apriyani, M. E., Prasetyo, A., & Aldila, N. (2022). Smart farming optimization of Phalaenopsis orchids growth by utilizing fuzzy logic control on IoT architecture. *Telematika: Jurnal Informatika dan Teknologi Informasi*, 19(1), 1–18.
- Arumingtyas, E. L., Mastuti, R., & Hakim, L. (2021). *Biologi tanaman hortikultura*. Universitas Brawijaya Press.
- Aulia, F. (2024). Mengenal bahasa pemrograman pada algoritma pemrograman. *Journal of Informatics and Business*, 1(4), 223–228.
- Bachhaqi, M., Rosyid, A., Siswanto, A., & Subiyanta, E. (2023). Performance testing of DHT11 and DS18B20 sensors as server room temperature sensors. *Mestro*, 5(02), 6–11.
- Budi, T. S. (2022). Penyiraman dan pemupukan tanaman bawang merah secara otomatis pada greenhouse menggunakan Internet of Things (IoT). *Jurnal Portal Data*, 2(6).
- Fathulrohman, Y. N. I., & Saepulloh, A. (2019). Alat monitoring suhu dan kelembaban menggunakan Arduino Uno. *Jurnal Manajemen dan Teknik Informatika (JUMANTAKA)*, 2(1).
- Gunawan, I. K. W. (2021). Pemantauan kelembaban padi dengan memanfaatkan

- sensor kelembaban berbasis mikrokontroler. *Jurnal Portal Data*, 1(3).
- Hermiati, R., Asnawati, A., & Kanedi, I. (2021). Pembuatan e-commerce pada Raja Komputer menggunakan bahasa pemrograman PHP dan database MySQL. *Jurnal Media Infotama*, 17(1).
- Muliono, R. (2021). Web-based library information system design at SDN 056004 Basilam. *Journal of Research Computer Science*, 1(1), 14–26.
- Pamungkas, S. (2019). Smart greenhouse system on paprican plants based on Internet of Things. *Telekontran: Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali dan Elektronika Terapan*, 7(2), 197–207.
- Priyanga, A. (2022). Sistem penyiraman otomatis pada kangkung darat sebagai optimalisasi pemeliharaan berbasis Internet of Things (IoT). *Jurnal Portal Data*, 2(7).
- Purba, S., Hariri, M., Banjarnahor, R. J., & Siregar, S. N. (2023). LED control system using Arduino Wemos D1 R1 based on web server communication via Internet of Things (IoT). *Formosa Journal of Science and Technology*, 2(6), 1397–1408.
- Satria, B. (2022). IoT monitoring suhu dan kelembaban udara dengan NodeMCU ESP8266. *sudo Jurnal Teknik Informatika*, 1(3), 136–144.
- Setiawan, M. A., & Sulistyasni, S. (2024). Sistem pertanian hidroponik padi cerdas berbasis Internet of Things pada lahan perkotaan guna menambah ketahanan pangan masyarakat: Smart Internet of Things based hydroponic rice farming system in urban areas to enhance food security for the community. *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 4(1), 118–129.
- Surapati, U., & Anwar, P. (2022). Implementasi sistem pemeliharaan tanaman hias berbasis Internet of Things di Dira Plants Bumi Flora Semanan Jakarta Barat. *Jurnal Pendidikan dan Konseling (JPDK)*, 4(5), 834–851.
- Syahaddan, M. M., Hakiki, R., Sulaeman, H., & Sahria, Y. (2023). Perancangan sistem monitoring dan controlling tanaman menggunakan IoT. *JRIIN: Jurnal Riset Informatika dan Inovasi*, 1(7), 1015–1021.
- Tando, E. (2019). Pemanfaatan teknologi greenhouse dan hidroponik sebagai solusi menghadapi perubahan iklim dalam budidaya tanaman hortikultura. *Buana Sains*, 19(1), 91–102.
- Thoriq, A., Pratopo, L. H., Sampurno, R. M., & Shafiyullah, S. H. (2022). Rancang bangun sistem monitoring suhu dan kelembaban tanah berbasis Internet of Things. *Jurnal Keteknikan Pertanian*, 10(3), 268–280.
- Triyanto, D., & Nirmala, I. (2024). Penerapan jaringan sensor nirkabel dan Internet of Things (IoT) pada pertanian terpadu. *KLIK: Kajian Ilmiah Informatika dan Komputer*, 4(5), 2506–2517.
- Ulfada, E., Nurfiana, N., & Handayani, R. D. (2022, August). Perancangan desain UI/UX pada implementasi sistem kontrol smart farming berbasis Internet of Things (IoT). In *Prosiding Seminar Nasional Darmajaya* (Vol. 1, pp. 145–155).