

Pemantauan Cerdas Berbasis IoT pada Kualitas Air Hidroponik untuk Optimalisasi Pertanian Presisi

Muhammad Wira Ade Kusuma^{*}, Tengku Khairil Ahsyar, Eki Saputra, Megawati

Fakultas Sains dan Teknologi, Program Studi Sistem Informasi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, Pekanbaru, Indonesia

Email: ^{1,*}12150311480@students.uin-suska.ac.id, ²tengkukhairil@uin-suska.ac.id, ³eki.saputra@uin-suska.ac.id, ⁴megawati@uin-suska.ac.id

Email Penulis Korespondensi: 12150311480@students.uin-suska.ac.id

Submitted: 29/12/2024; Accepted: 26/02/2025; Published: 01/03/2025

Abstrak—Penelitian ini memperkenalkan sistem pemantauan kualitas air hidroponik berbasis IoT yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi, keandalan, dan aksesibilitas pengelolaan lingkungan hidroponik. Sistem ini memonitor empat parameter utama, yaitu pH, suhu, Total Dissolved Solids (TDS), dan ketinggian air, menggunakan sensor yang terhubung dengan mikrokontroler ESP8266. Data dikirim secara real-time melalui protokol MQTT dan diproses menggunakan middleware Node-RED sebelum disimpan dalam basis data MariaDB. Visualisasi data yang interaktif melalui dashboard berbasis web mendukung pengambilan keputusan berbasis data dan mempermudah pengguna dalam memantau kondisi sistem secara efisien. Metodologi Agile dan DevOps diterapkan untuk memastikan pengembangan sistem yang iteratif, responsif terhadap perubahan, dan mendukung pembaruan berkelanjutan melalui Continuous Integration/Continuous Deployment (CI/CD). Pengujian lapangan dalam lingkungan rumah kaca menunjukkan bahwa sistem ini dapat meningkatkan efisiensi operasional dan keberlanjutan, serta memiliki fleksibilitas untuk disesuaikan dengan berbagai jenis tanaman. User Acceptance Test (UAT) menghasilkan skor rata-rata 4.8 dari 5, mengindikasikan tingkat kepuasan pengguna yang tinggi terhadap fungsi dan antarmuka sistem. Penelitian ini juga mengidentifikasi peluang pengembangan lebih lanjut, termasuk integrasi sensor tambahan, mekanisme kontrol otomatis, dan analitik prediktif berbasis pembelajaran mesin untuk mengoptimalkan hasil panen dan efisiensi pengelolaan. Dengan pendekatan yang inovatif, penelitian ini tidak hanya memajukan teknologi hidroponik berbasis IoT tetapi juga memberikan kontribusi signifikan bagi pengembangan solusi pertanian cerdas yang tangguh, skalabel, dan efisien.

Kata Kunci: Agile; DevOps; Hidroponik; Internet of Things; Pemantauan Kualitas Air; Pertanian Cerdas

Abstract—This study introduces an IoT-based hydroponic water quality monitoring system designed to enhance the efficiency, reliability, and accessibility of hydroponic environment management. The system monitors four key parameters: pH, temperature, Total Dissolved Solids (TDS), and water level, using sensors connected to an ESP8266 microcontroller. Data is transmitted in real-time via the MQTT protocol, processed through the Node-RED middleware, and stored in a MariaDB database. Interactive web-based data visualization supports data-driven decision-making and simplifies user monitoring of system conditions. Agile methodology and DevOps were implemented to ensure iterative system development, responsiveness to changes, and continuous updates via Continuous Integration/Continuous Deployment (CI/CD). Field tests conducted in a greenhouse environment demonstrated that the system could improve operational efficiency and sustainability, while also being flexible enough to adapt to various types of plants. The User Acceptance Test (UAT) yielded an average score of 4.8 out of 5, indicating high user satisfaction with the system's functionality and interface. This study also identifies future development opportunities, including the integration of additional sensors, automated control mechanisms, and predictive analytics powered by machine learning to optimize crop yields and management efficiency. With its innovative approach, this research not only advances IoT-based hydroponic technology but also makes a significant contribution to developing resilient, scalable, and efficient smart farming solutions.

Keywords: Agile; DevOps; Hydroponics; IoT; Smart Farming; Water Quality Monitoring

1. PENDAHULUAN

Permintaan pangan global diproyeksikan meningkat sekitar 24% pada 2020–2050, seiring pertumbuhan populasi dunia dari 7,8 miliar menjadi 9,7 miliar [1] [2]. Industri pertanian merupakan sumber utama dari permintaan pangan [3]. Meskipun demikian, kegiatan pertanian akan menjadi tantangan karena berkurangnya lahan akibat perambahan perumahan, komersial, dan bangunan lainnya. Pertanian hidroponik saat ini menjadi solusi yang layak dalam skenario dengan lahan pertanian yang terbatas [4]. Hidroponik adalah teknik untuk membudidayakan tanaman di lingkungan berair tanpa tanah [5]. Hidroponik menggunakan media pertumbuhan, nutrisi cair, suhu air, dan air. Selain itu, sistem hidroponik modern mendukung efisiensi sumber daya air dan listrik, sehingga lebih ramah lingkungan [6]. Metode pertanian hidroponik menunjukkan potensi luar biasa dengan menghasilkan panen hingga $11 \pm 1,7$ kali lebih tinggi dibandingkan metode konvensional [7]. Kualitas air dalam praktik pertanian ini sangat penting; mengabaikannya dapat membahayakan kelangsungan hidup tanaman. Potensi Hidrogen, biasanya dikenal sebagai pH, pH yang tidak seimbang dapat menghambat penyerapan nutrisi oleh tanaman, meskipun nutrisi tersedia dalam jumlah yang memadai [8]. pH yang terlalu tinggi atau rendah dapat menyebabkan kekurangan nutrisi, terlepas dari ketersediaan nutrisi yang memadai.

Suhu air yang optimal sangat penting untuk menjaga kesehatan tanaman dan mencegah stres [9]. Suhu air yang ekstrem dapat menghambat pertumbuhan tanaman dan menyebabkan masalah kesehatan pada tanaman. *Total Dissolved Solid* (TDS) mengacu pada konsentrasi keseluruhan zat terlarut dalam air, termasuk mineral, garam, dan nutrisi lainnya [10]. TDS yang optimal menjamin bahwa tanaman mendapatkan jumlah nutrisi yang sesuai; tingkat TDS yang terlalu tinggi atau rendah dapat menyebabkan toksisitas, sementara TDS yang tidak mencukupi dapat

menyebabkan kekurangan nutrisi. Jarak antara tanaman dan sumber air dalam sistem hidroponik mempengaruhi efisiensi penyerapan nutrisi, distribusi air, pengembangan sistem akar, dan kondisi lingkungan, dengan demikian, optimasi sangat penting untuk pertumbuhan tanaman yang optimal [11].

Solusi yang diusulkan adalah sistem pemantauan kualitas air hidroponik berbasis *Internet of Things* (IoT). Teknologi ini memiliki kelebihan dan kekurangan, keuntungannya termasuk peningkatan efisiensi manajemen untuk pemberian nutrisi hidroponik, deteksi masalah yang lebih baik, dan integrasi data yang dihasilkan oleh IoT, yang dapat bermanfaat bagi data mining atau ilmu data di masa depan [12]. Meskipun demikian, metode ini memiliki banyak kekurangan, termasuk biaya awal yang cukup besar, ketergantungan pada teknologi yang digunakan untuk pemantauan kualitas air, biaya pemeliharaan sensor yang tinggi, dan pertimbangan mengenai keamanan data dan peralatan sensor [13].

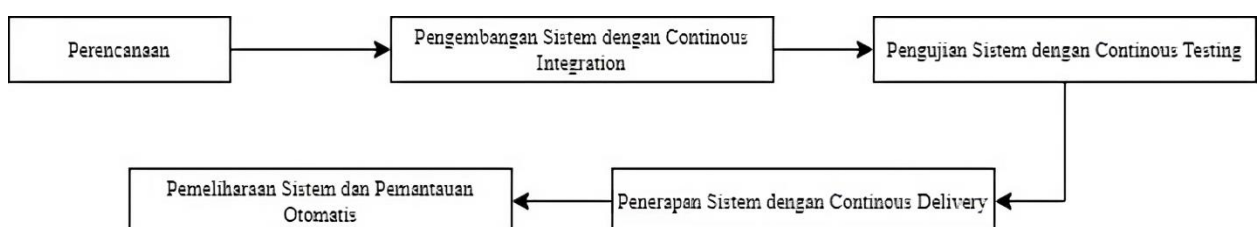
Penelitian sebelumnya telah mengusulkan berbagai sistem pemantauan kualitas air hidroponik berbasis IoT. Misalnya, sistem IoT menggunakan ESP8266, Arduino Uno, dan sensor seperti DHT-22, PH-4502c, dan TDS untuk memantau fase awal pertumbuhan tanaman secara efektif. Namun penelitian ini memiliki ruang lingkup terbatas pada tahap persemaian hidroponik di Indonesia, minim literatur relevan, kurang pengujian praktis, teknologi IoT yang diulas sederhana, tidak membahas biaya dan keberlanjutan, serta tanpa perbandingan dengan metode konvensional. [14]. Penelitian lain mengembangkan sistem hidroponik otomatis berbasis Arduino yang memonitor nutrisi, pH, dan suhu air melalui aplikasi Android menggunakan Framework 7, serta memiliki kekurangan berupa keterbatasan fitur real-time seperti video pertumbuhan, analitik prediktif, uji lapangan yang minim, ketergantungan pada cloud, kurangnya integrasi AI, dan skalabilitas sistem yang belum optimal. [15]. Ada juga penelitian yang menggunakan NodeMCU ESP8266 bersama sensor pH dan TDS untuk memfasilitasi pemantauan kualitas air secara real-time melalui aplikasi Blynk serta memiliki keterbatasan pada akurasi sensor TDS yang rendah, fokus hanya pada dua parameter (pH dan TDS), cakupan pengujian terbatas, ketergantungan pada koneksi internet, kurangnya analisis biaya operasional, keterbatasan teknologi sensor, serta minimnya integrasi dengan teknologi lain seperti AI untuk optimasi sistem. [16].

Penelitian lainnya dengan sistem berbasis IoT menggunakan NodeMCU ESP8266 yang terhubung ke Blynk Cloud, dilengkapi dengan sensor ultrasonik, solenoid valve, LED, dan buzzer, untuk memantau dan mengontrol kejernihan air serta pencahayaan akuarium secara jarak jauh melalui smartphone [17]. Penelitian serupa namun dibidang pertanian yaitu menghasilkan sistem IoT berbasis ESP32 dengan metode PID untuk mengukur pH, suhu, dan kelembapan tanah secara real-time dengan akurasi tinggi, kecuali pH (60.6%), menunjukkan tanah cenderung asam dan memerlukan pengelolaan optimal untuk meningkatkan produktivitas jagung [18]. Namun, penelitian-penelitian ini umumnya tidak menggunakan metodologi pengembangan terstruktur seperti Agile dan DevOps, yang sangat penting untuk memastikan iterasi yang cepat, efisiensi, dan keandalan sistem.

Penelitian ini bertujuan untuk menjembatani kesenjangan tersebut dengan mengintegrasikan metodologi Agile dan DevOps ke dalam pengembangan sistem pemantauan kualitas air berbasis IoT yang diterapkan di rumah kaca. Sistem yang diusulkan menggunakan perangkat ESP8266 serta sensor untuk mengukur jarak, suhu, pH, dan TDS. Inovasi utama dari penelitian ini mencakup integrasi Node-RED dan protokol komunikasi MQTT untuk pengelolaan data yang efisien. Metodologi Agile mendukung pengembangan sistem secara bertahap dengan berfokus pada umpan balik pengguna, sementara DevOps memungkinkan implementasi CI/CD untuk mempercepat proses pembaruan dan peningkatan sistem. Pendekatan ini menawarkan keunggulan dibandingkan penelitian sebelumnya. Sistem ini dirancang untuk diterapkan di rumah kaca dengan fleksibilitas untuk dikembangkan lebih lanjut pada skala pertanian hidroponik besar atau industri jika memungkinkan. Kombinasi metode Agile dan DevOps memungkinkan pengembangan sistem yang lebih iteratif, responsif terhadap perubahan, dan dapat diterapkan pada skala yang lebih luas [19]. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berkontribusi pada pengembangan teknologi hidroponik berbasis IoT di rumah kaca tetapi juga memperkenalkan inovasi metodologi yang relevan untuk masa depan pertanian hidroponik skala besar.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian untuk mengembangkan sistem pemantauan kualitas air hidroponik berbasis IoT terdiri dari lima langkah, yaitu Perencanaan, Pengembangan Sistem dengan Continuous Integration (CI), Pengujian Sistem dengan Continuous Testing (CT), Penerapan Sistem dengan Continuous Delivery (CD), Pemeliharaan Sistem dan Pemantauan Otomatis. Diagram alur kerja metodologi disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Metodologi Penelitian

2.1 Perencanaan

Pada penelitian ini, dikembangkan sistem monitoring kualitas air hidroponik berbasis IoT melalui pendekatan metodologi Agile dan DevOps. Tahap perencanaan mencakup identifikasi kebutuhan sistem, termasuk parameter-parameter penting seperti TDS, suhu, pH, dan ketinggian air. Selanjutnya, dilakukan analisis perangkat keras dan perangkat lunak untuk mendukung pengembangan. Pengembangan dirancang menggunakan prinsip Agile, yang memungkinkan iterasi kecil dan fleksibilitas dalam setiap langkah. Umpan balik pengguna dikumpulkan secara teratur untuk menyempurnakan sistem secara berkelanjutan.

2.2 Pengembangan Sistem Dengan *Continuous Integration*

Tahap pengembangan mencakup pembuatan perangkat keras dan perangkat lunak. Prototipe awal dibangun menggunakan platform *cloud*, sementara *pipeline Continuous Integration (CI)* dikembangkan menggunakan GitHub Actions. Sistem ini memastikan bahwa kode diuji dan digabungkan secara otomatis untuk mendukung pengembangan yang berkelanjutan tanpa mengorbankan stabilitas.

2.3 Pengujian Sistem Dengan *Continuous Testing*

Pengujian dilakukan untuk memastikan setiap komponen sistem berfungsi sebagaimana mestinya. Proses pengujian mencakup kalibrasi sensor dan validasi pembacaan sensor di berbagai kondisi lingkungan. Data sensor dikumpulkan setiap detik selama 24 jam dalam berbagai kondisi lingkungan, dengan kalibrasi menggunakan larutan buffer standar tersertifikasi untuk memastikan validitas pengukuran. Sensor suhu diuji dengan air pada suhu kamar dan air hangat, sensor TDS menggunakan larutan air biasa dan air kopi, serta sensor jarak divalidasi dengan penggaris. Reliabilitas diuji melalui pengujian berulang dan *cross-validation*, sedangkan pengujian perangkat lunak dilakukan dengan unit testing dan simulasi data untuk memverifikasi akurasi pengolahan. Pipeline CI/CD memastikan setiap perubahan kode terintegrasi dan diuji otomatis, dengan analisis data menggunakan statistik deskriptif dan visualisasi grafik untuk mempermudah interpretasi.

2.4 Penerapan Sistem Dengan *Continuous Delivery*

Setelah pengujian selesai, sistem dipindahkan ke lingkungan produksi melalui pendekatan *Continuous Delivery (CD)*. Infrastruktur *cloud* dikonfigurasi untuk mendukung penyimpanan dan analisis data secara real-time. Sistem diuji dalam lingkungan hidroponik untuk memastikan kinerja yang optimal dalam kondisi nyata. Sebagai studi kasus awal, sistem diuji pada rumah kaca kecil dengan 20 tanaman hidroponik. Pipeline CD memastikan bahwa setiap pembaruan atau fitur baru diterapkan secara otomatis ke lingkungan produksi.

2.5 Pemeliharaan Sistem Dan Pemantauan Otomatis

Terakhir, pemeliharaan dan pemantauan otomatis, dasbor digunakan untuk memantau parameter kualitas air secara real-time. Selain itu, sistem ini juga dilengkapi dengan fitur notifikasi otomatis yang memberikan peringatan jika ada parameter yang berada di luar ambang batas yang telah ditentukan. Kalibrasi sensor dilakukan setiap dua minggu untuk memastikan keakuratan pembacaan data. Perangkat keras diperiksa setiap bulan untuk mendeteksi potensi kerusakan atau keausan. Perawatan dilakukan secara berkala, termasuk versi perangkat lunak, dan kalibrasi sensor untuk menjaga keakuratan pembacaan data. Data yang telah dikumpulkan dapat digunakan sebagai umpan balik yang dapat digunakan dalam pengembangan lebih lanjut. Pendekatan ini telah menghasilkan sistem pemantauan hidroponik yang inovatif, efisien, dan presisi yang memberikan solusi praktis untuk hidroponik modern.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Merancang Arsitektur Sistem Pemantauan Kualitas Air Hidroponik

Penelitian dimulai dengan perencanaan sistem, mencakup studi literatur dan observasi awal di lokasi uji coba, yaitu Green House Hidroponik yang berada di gedung al-Maidah Fakultas Pertanian dan Peternakan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, seperti terlihat pada Gambar 2. Berdasarkan observasi ini, fitur-fitur utama sistem pemantauan kualitas air hidroponik diidentifikasi, termasuk kemampuan untuk memonitor parameter penting (pH, suhu, TDS, dan jarak air) secara real-time, memberikan notifikasi jika parameter melampaui ambang batas, dan menyediakan laporan data secara berkala.



Gambar 2. Lokasi Uji Coba

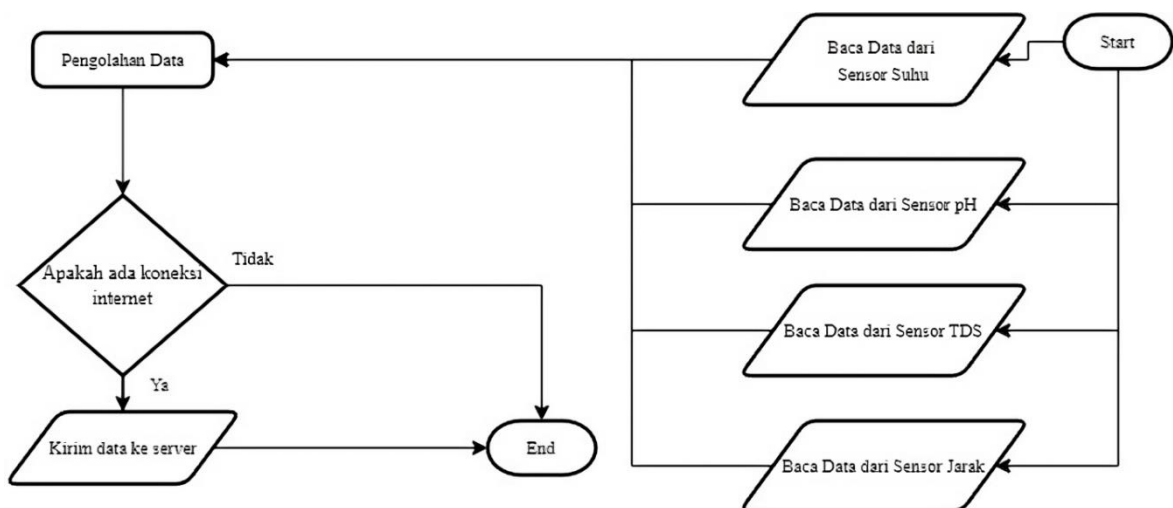


Gambar 3. Arsitektur Sistem

Setelah mendefinisikan spesifikasi perangkat keras dan perangkat lunak, peneliti merancang arsitektur sistem yang ditunjukkan pada Gambar 3. Arsitektur ini dirancang untuk efisiensi dan keberlanjutan, dengan mempertimbangkan penggunaan protokol komunikasi rendah daya *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT), perangkat IoT hemat energi, dan Node-RED dengan *middleware* guna mendukung pembersihan data sebelum penyimpanan. Sistem ini juga dirancang agar kedepannya data yang dikumpulkan dapat diintegrasikan ke dalam sistem data mining untuk analisis lebih lanjut. Hal ini mendukung optimalisasi berkelanjutan pada sistem hidroponik, baik dalam hal penghematan energi maupun pengurangan biaya operasional.

3.2 Mengembangkan Sistem Pemantauan Kualitas Air Hidroponik

Sistem pemantauan kualitas air hidroponik dikembangkan menggunakan pendekatan *Continuous Integration* (CI) untuk memastikan efisiensi pengembangan dan stabilitas sistem. Diagram alur perangkat pada Gambar 4 menunjukkan aliran data sensor mulai dari pengukuran, pengiriman ke server cloud melalui protokol *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT), hingga penyimpanan di database. Sensor yang digunakan meliputi DS18B20 (suhu), PH-4502c (pH), TDS sensor, dan HC-SR04 (jarak). Semua sensor telah dikonfigurasi untuk memastikan akurasi pengukuran.



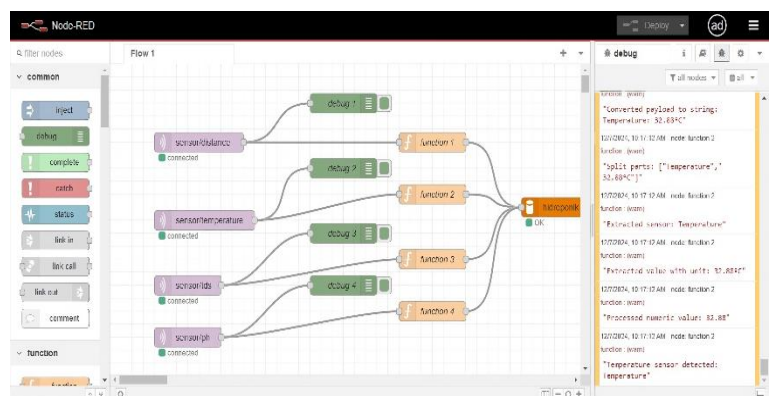
Gambar 4. Aliran Data

3.3 Penggunaan Protokol Mqtt Dan Middleware Node-Red

Protokol MQTT dipilih karena ringan dan mampu mengirimkan data secara real-time meskipun kondisi jaringan kurang optimal [20]. MQTT adalah salah satu yang paling protokol yang paling banyak digunakan dalam IoT [21]. Middleware Node-RED memproses data dari perangkat IoT sebelum disimpan ke database MariaDB. Gambar 5 menunjukkan perangkat IoT yang dirancang untuk memantau parameter kualitas air, yang terhubung langsung dengan penampungan air nutrisi. Data yang dikumpulkan ditampilkan melalui dashboard interaktif berbasis Laravel untuk memberikan antarmuka yang responsif dan terstruktur. MQTT digunakan sebagai protokol komunikasi utama karena lebih efisien dibandingkan HTTP, yang sebelumnya diuji tetapi mengalami keterbatasan seperti keterlambatan pengiriman data saat jaringan buruk. Dengan integrasi MQTT dengan Node-RED, menjadikannya solusi optimal dalam aplikasi IoT. Node-RED dapat diandalkan sebagai pendukung IoT yang murah dan terjangkau [22] [23]. Penggunaan Node-RED dan alur node dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 5. Kotak Perangkat Alat IoT



Gambar 6. Node-RED

3.4 Implementasi Ci Dan Pengujian Sistem

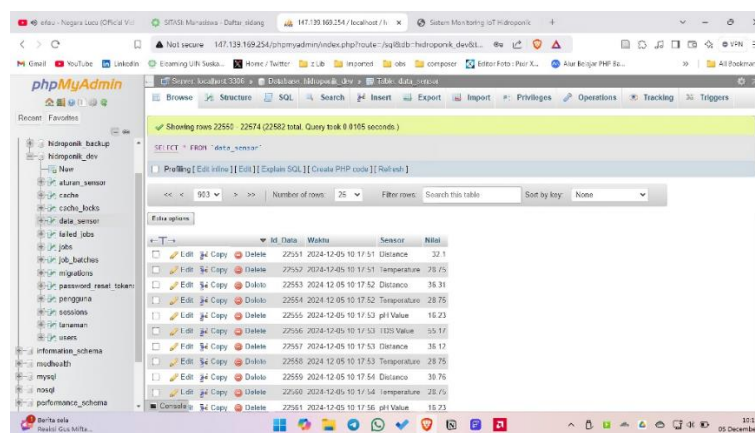
Sistem pemantauan kualitas air hidroponik dikembangkan dengan menggunakan Continuous Integration (CI). Jadi peneliti mengimplementasikan kode yang awalnya di-debug langsung diujicobakan ke server produksi menggunakan Github. Hal ini memungkinkan untuk lebih mudah mengidentifikasi bug atau masalah yang muncul di awal pengembangan. Peneliti juga melakukan pengujian terhadap sistem monitoring kualitas hidroponik dengan menggunakan pengujian Blackbox. Hal ini dilakukan agar permasalahan yang muncul dapat segera diatasi. Setelah sistem monitoring kualitas air hidroponik selesai dibuat, maka akan dikirimkan kepada pengguna akhir. Sehingga pengguna tetap mendapatkan sistem yang fungsional yang paling baru.

3.5 Monitoring Dan Optimalisasi Sistem

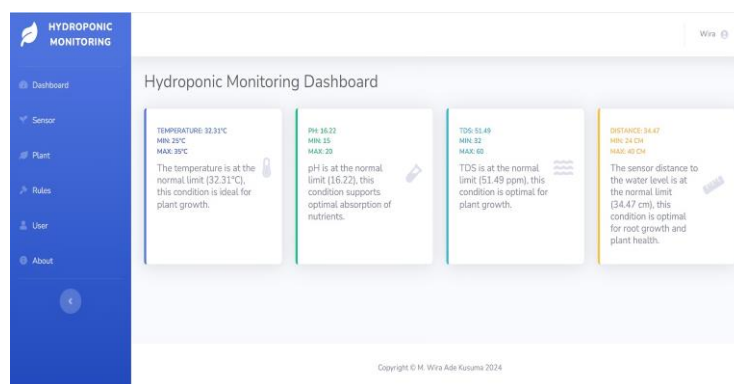
Monitoring berkala dilakukan untuk menjaga kinerja sistem meskipun menyimpan banyak data sensor. Node-RED digunakan sebagai middleware utama yang menghubungkan ESP8266 dengan protokol MQTT dan database. Node-RED tidak hanya mempermudah aliran data tetapi juga membantu debugging pengiriman data dari perangkat IoT.

3.6 Basis Data Dan Framework Laravel

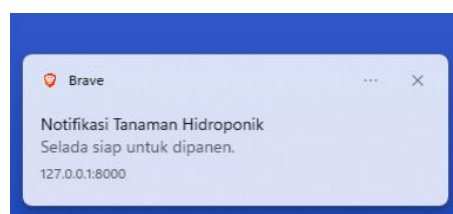
MariaDB dipilih sebagai basis data karena performa tinggi, biaya rendah, dan kemampuannya untuk mendukung integrasi dengan Node-RED. Basis data ini menyimpan semua data sensor dari perangkat IoT dan menyediakan fitur unduhan untuk pengguna. Framework Laravel dipilih untuk pengembangan sistem karena mendukung arsitektur terstruktur, keamanan tinggi, dan efisiensi manajemen basis data [24]. Hasil akhir sistem dapat dilihat pada Gambar 8, sementara data sensor yang telah diproses oleh Node-RED dan disimpan di database ditampilkan pada Gambar 9. Contoh notifikasi pada sistem dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 7. Implementasi MariaDB



Gambar 8. Halaman Dashboard



Gambar 9. Notifikasi Pada Sistem



Gambar 10. Halaman Sensor

3.7 Pengujian Sistem Dengan Tanaman Hidroponik

Sistem diuji dengan menggunakan tanaman hidroponik seperti selada dan pak choi, yang memiliki kebutuhan air konsisten terkait pH, suhu, TDS, dan volume air. Hal ini dilakukan untuk memastikan kevalidan dan keakuratan pengujian. Gambar 11 menunjukkan tanaman yang digunakan selama pengujian. Perangkat IoT dilengkapi sensor untuk memantau kualitas air dan ditempatkan dekat penampungan air nutrisi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12. Lokasi ini dipilih karena dekat dengan sumber listrik, mempermudah pengoperasian perangkat Gambar 13.



Gambar 11. Tanaman yang Ditanam



Gambar 12. Peletakan Alat IoT



Gambar 13. Bak Penampungan Air Nutrisi Hidroponik



Blackbox testing adalah metode pengujian fungsionalitas dari sebuah sistem tanpa melihat kode yang membangunnya [25]. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa sistem pemantauan kualitas air hidroponik ini sesuai dengan analisis di awal tahap perencanaan dan menghasilkan output yang diharapkan. Pada penelitian ini, pengujian blackbox diterapkan untuk menguji fitur-fitur penting pada sistem pemantauan kualitas air, seperti grafik parameter suhu, ph, tds, dan jarak. Selain perangkat IoT ini dipasang di lokasi pengujian, pengujian awal dilakukan pada proses kalibrasi dan penyesuaian sensor. Dengan pengujian blackbox yang dilakukan, sistem berfungsi dengan baik. Sesuai dengan kondisi air yang dimonitoring tanpa mempengaruhi kualitas atau keakuratan data yang disajikan kepada pengguna. Hasil dari pengujian Blackbox dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Daftar Pengujian Blackbox

No	Fitur yang Diuji	Skenario Uji	Langkah Pengujian	Data Masukan	Ekspektasi Hasil
1	Autentikasi Pengguna (Login)	Login Berhasil	Masukkan Email dan password yang valid. Klik tombol "Login".	Email: test@example.com, Password: admin123	Sistem mengarahkan pengguna ke halaman dashboard utama.
2	Pemantauan Parameter Air Hidroponik	Tampilan Data Parameter Air Hidroponik	Buka halaman monitoring. Periksa tampilan data yang diterima dari sensor.	-	Data ditampilkan secara real-time dengan nilai yang sesuai dari sensor.
3	Notifikasi Kondisi Tidak Normal	Notifikasi Sensor	Sesuaikan parameter sensor (misal pH) di luar batas yang telah ditentukan. Cek notifikasi.	pH: di luar batas normal	Muncul notifikasi peringatan kondisi pH di luar batas normal dengan pesan yang jelas.

Sistem berhasil menampilkan data suhu dan TDS air secara real-time dengan akurasi tinggi berdasarkan input dari sensor. Tampilan antarmuka monitoring yang responsif dan intuitif membantu pengguna memantau kondisi lingkungan secara efisien. Dengan performa ini, fitur pemantauan menjadi nilai tambah utama, meskipun optimalisasi visualisasi data masih diperlukan. Pengujian menunjukkan bahwa data jarak antara akar dan air dapat ditampilkan dengan akurat. Fitur ini mempermudah pengguna dalam mengelola sistem secara proaktif. Namun, ada rekomendasi untuk menambahkan visualisasi grafis untuk memperjelas perubahan jarak secara dinamis.

Proses ekspor data ke format CSV berjalan dengan baik. Data yang dihasilkan sesuai dengan rentang waktu yang dipilih dan formatnya memudahkan pengguna untuk analisis lanjutan. Meski demikian, beberapa pengguna menyarankan opsi format tambahan, seperti PDF, untuk mempermudah dokumentasi laporan. Secara keseluruhan, fitur unggulan seperti autentikasi pengguna, pemantauan pH, dan notifikasi kondisi tidak normal menunjukkan performa yang sangat baik. Fitur-fitur lainnya, seperti pemantauan suhu, TDS, dan jarak air, serta kemampuan ekspor laporan, telah mendukung kebutuhan pengguna dengan efektif meskipun masih ada ruang untuk pengembangan lebih lanjut.

User Acceptance Testing (UAT) dilakukan untuk memastikan bahwa sebuah sistem telah memenuhi kebutuhan pengguna akhir [26]. Pengujian melibatkan *User Acceptance Test* (UAT) dengan empat partisipan asisten green house. Para responden memberikan skor rata-rata 4.8 dari 5 untuk antarmuka dan fungsi sistem. Hasil analisis UAT berdasarkan tanggapan partisipan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Analisis *User Acceptance Test*

No	Variabel	Pertanyaan	Skor Total	Skor/Responden	Rata-Rata	Keterangan
1	Functionality	P1	16	4	3.375	Sangat Setuju (SS)
		P2	18	4.5		
		P3	8	2		
		P4	12	3		
2	Usability	P5	16	4	3	Setuju (S)
		P6	4	1		
		P7	16	4		
3	Reliability	P8	4	1	3	Ragu-Ragu (RR)
		P9	16	4		
		P10	12	3		
		P11	16	4		
4	Efficiency	P12	12	3	4.125	Sangat Setuju (SS)
		P13	17	4.25		
		P14	17	4.25		
		P15	20	5		

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 2, setiap variabel dalam pengujian memberikan gambaran menarik mengenai performa sistem. Pada variabel Functionality, rata-rata skor 3.375 menunjukkan bahwa sistem telah berhasil memenuhi fungsi-fungsi yang sesuai dengan spesifikasi awal. Hal ini menjadi indikasi bahwa pengembangan berjalan sesuai rencana dan fitur-fitur utama berfungsi dengan baik. Namun, pada variabel Usability, ditemukan beberapa catatan yang perlu menjadi perhatian. Salah satu pertanyaan, yaitu P6, memperoleh skor rendah, yang menunjukkan adanya kelemahan pada aspek antarmuka pengguna. Hal ini mengisyaratkan bahwa meskipun sistem sudah berfungsi sesuai spesifikasi, ada kebutuhan untuk meningkatkan kenyamanan dan kemudahan penggunaan, terutama bagi pengguna yang baru pertama kali mencoba sistem.

Pada variabel Reliability, hasil menunjukkan mayoritas responden memberikan tanggapan positif, meskipun terdapat satu pertanyaan, yaitu P8, yang mendapat respon "Ragu-Ragu." Kendati demikian, secara keseluruhan, sistem dinilai cukup andal dalam memenuhi ekspektasi pengguna di sebagian besar skenario pengujian. Sementara itu, variabel Efficiency mencatat skor tertinggi dengan rata-rata 4.125, menunjukkan bahwa sistem bekerja dengan sangat efisien. Hal ini menunjukkan keunggulan sistem dalam memberikan performa optimal, seperti respons cepat dan pengolahan data yang efektif, yang menjadi salah satu daya tarik utama bagi pengguna. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki performa yang baik, terutama dalam aspek Functionality dan Efficiency. Namun, ada ruang untuk perbaikan pada variabel Usability, terutama dalam meningkatkan pengalaman pengguna agar sistem tidak hanya berfungsi dengan baik tetapi juga nyaman dan mudah digunakan.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem pemantauan kualitas air hidroponik berbasis IoT dengan memanfaatkan metodologi Agile dan DevOps untuk meningkatkan efisiensi pengembangan, iterasi cepat, serta keandalan sistem. Sistem yang dihasilkan mampu memonitor empat parameter utama, yaitu ketinggian air, suhu, pH, dan TDS, secara real-time menggunakan protokol komunikasi MQTT dan middleware Node-RED. Integrasi teknologi cloud memungkinkan aksesibilitas data dari lokasi mana pun, memberikan keuntungan signifikan dibandingkan pendekatan berbasis jaringan lokal. Dashboard interaktif yang dirancang memberikan kemudahan bagi pengguna untuk memantau dan menganalisis data, meskipun penambahan fitur visualisasi prediktif dan analitik jangka panjang akan semakin meningkatkan kemampuan sistem. Pengujian menunjukkan bahwa sistem ini andal dan fleksibel, dengan kemampuan untuk disesuaikan dengan berbagai jenis tanaman hidroponik. Selain itu, User Acceptance Test (UAT) yang melibatkan pengguna dari sektor pertanian memberikan skor rata-rata 4.8 dari 5, menegaskan bahwa sistem telah memenuhi kebutuhan pengguna akhir dalam hal fungsi dan antarmuka. Namun, penelitian ini juga mengidentifikasi beberapa keterbatasan yang dapat menjadi peluang untuk pengembangan lebih lanjut. Ketergantungan pada koneksi internet menjadi tantangan utama, terutama di daerah dengan infrastruktur jaringan yang kurang memadai. Selain itu, integrasi sensor tambahan seperti sensor cahaya, serta penerapan mekanisme kontrol otomatis seperti pengaktifan pompa berbasis ambang batas, dapat meningkatkan fungsionalitas sistem. Analisis data jangka panjang menggunakan pembelajaran mesin juga menjadi potensi yang dapat dieksplorasi untuk mengoptimalkan hasil panen dan efisiensi pengelolaan. Dalam cakupan yang lebih luas, sistem ini dapat diadaptasi untuk aplikasi IoT lain di bidang pertanian, seperti pengelolaan irigasi otomatis atau prediksi panen, sehingga memberikan dampak praktis yang signifikan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berkontribusi pada pengembangan teknologi hidroponik berbasis IoT, tetapi juga menghadirkan pendekatan pengembangan perangkat lunak modern yang inovatif untuk mendukung kemajuan sektor pertanian di masa depan.

REFERENCES

- [1] D. Gu, K. Andreev, and M. E. Dupre, "Major Trends in Population Growth Around the World," *China CDC Wkly.*, vol. 3, no. 28, pp. 604–613, Jul. 2021, doi: 10.46234/ccdcw2021.160.
- [2] E. Ganivet, "Growth in human population and consumption both need to be addressed to reach an ecologically sustainable future," *Environ. Dev. Sustain.*, vol. 22, no. 6, pp. 4979–4998, 2020, doi: 10.1007/s10668-019-00446-w.
- [3] E. Fukase and W. Martin, "Economic growth, convergence, and world food demand and supply," *World Dev.*, vol. 132, p. 104954, 2020, doi: 10.1016/j.worlddev.2020.104954.
- [4] L. Casey *et al.*, "Comparative environmental footprints of lettuce supplied by hydroponic controlled-environment agriculture and field-based supply chains," *J. Clean. Prod.*, vol. 369, p. 133214, 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.133214.
- [5] M. Majid, J. N. Khan, Q. M. A. Shah, K. Z. Masoodi, B. Afroza, and S. Parvaze, "Evaluation of hydroponic systems for the cultivation of Lettuce (*Lactuca sativa* L., var. Longifolia) and comparison with protected soil-based cultivation," *Agric. Water Manag.*, vol. 245, p. 106572, 2021, doi: 10.1016/j.agwat.2020.106572.
- [6] S. Wang, A. Adekunle, and V. Raghavan, "Exploring the integration of bioelectrochemical systems and hydroponics: Possibilities, challenges, and innovations," *J. Clean. Prod.*, vol. 366, p. 132855, 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.132855.
- [7] M. Farvardin, M. Taki, S. Gorjian, E. Shabani, and J. C. Sosa-Savedra, "Assessing the Physical and Environmental Aspects of Greenhouse Cultivation: A Comprehensive Review of Conventional and Hydroponic Methods," *Sustainability*, vol. 16, no. 3, Art. no. 3, Jan. 2024, doi: 10.3390/su16031273.
- [8] N. J. Langenfeld, D. F. Pinto, J. E. Faust, R. Heins, and B. Bugbee, "Principles of nutrient and water management for indoor agriculture," *Sustainability*, vol. 14, no. 16, p. 10204, 2022, doi: 10.3390/su141610204.
- [9] R. M. Rivero, R. Mittler, E. Blumwald, and S. I. Zandalinas, "Developing climate-resilient crops: improving plant tolerance to stress combination," *Plant J.*, vol. 109, no. 2, pp. 373–389, 2022, doi: 10.1111/tbj.15483.



- [10] G. E. Adjovu, H. Stephen, D. James, and S. Ahmad, "Measurement of total dissolved solids and total suspended solids in water systems: A review of the issues, conventional, and remote sensing techniques," *Remote Sens.*, vol. 15, no. 14, p. 3534, 2023, doi: 10.3390/rs15143534.
- [11] B. Baiyin *et al.*, "Effect of nutrient solution flow rate on hydroponic plant growth and root morphology," *Plants*, vol. 10, no. 9, p. 1840, 2021, doi: 10.3390/plants10091840.
- [12] S. De Alwis, Z. Hou, Y. Zhang, M. H. Na, B. Ofoghi, and A. Sajjanhar, "A survey on smart farming data, applications and techniques," *Comput. Ind.*, vol. 138, p. 103624, 2022, doi: 10.1016/j.compind.2022.103624.
- [13] S. Ragaveena, A. Shirly Edward, and U. Surendran, "Smart controlled environment agriculture methods: A holistic review," *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.*, vol. 20, no. 4, pp. 887–913, 2021, doi: 10.1007/s11157-021-09591-z.
- [14] S. Fuada, E. Setyowati, G. I. Aulia, and D. W. Riani, "Narative Review Pemanfaatan Internet-Of-Things Untuk Aplikasi Seed Monitoring And Management System Pada Media Tanaman Hidroponik Di Indonesia," *INFOTECH J.*, vol. 9, no. 1, pp. 38–45, 2023, doi: 10.31949/infotech.v9i1.4439.
- [15] T. Hariono and L. F. Fajriyah, "Monitoring Sistem Otomatisasi Hidroponik Berbasis Mobile," *Exact Pap. Compil. EPiC*, vol. 3, no. 2, pp. 347–352, 2021, doi: 10.32764/epic.v3i1.535.
- [16] M. N. Hamidah, N. I. Safitri, D. W. Akbar, O. S. I. Uly, D. Kurnianto, and others, "Prototype Sistem Monitoring Nutrisi dan Tingkat pH Air pada Budidaya Hidroponik Sayur Pakcoy Menggunakan Teknologi Internet of Things (IoT)," *Elektron J. Ilm.*, pp. 13–20, 2023, doi: 10.30630/eji.15.1.336.
- [17] M. Mira, K. Kusnanto, and O. Oscarito, "Sistem Pengukuran pH, Suhu, dan Kelembaban Tanah Pada Tanaman Jagung Menggunakan Metode Proportional-Integral-Derivative Berbasis Internet of things," *Build. Inform. Technol. Sci. BITS*, vol. 6, no. 3, Art. no. 3, Dec. 2024, doi: 10.47065/bits.v6i3.5993.
- [18] D. Hidayat and R. Ramli, "Sistem Kontrol Air dan Pencahayaan pada Akuarium Berbasis Internet of Things (IoT)," *Build. Inform. Technol. Sci. BITS*, vol. 6, no. 2, Art. no. 2, Sep. 2024, doi: 10.47065/bits.v6i2.5775.
- [19] F. Almeida, J. Simões, and S. Lopes, "Exploring the benefits of combining DevOps and agile," *Future Internet*, vol. 14, no. 2, p. 63, 2022, doi: 10.3390/fi14020063.
- [20] X. Liu, T. Zhang, N. Hu, P. Zhang, and Y. Zhang, "The method of Internet of Things access and network communication based on MQTT," *Comput. Commun.*, vol. 153, pp. 169–176, 2020, doi: 10.1016/j.comcom.2020.01.044.
- [21] B. Mishra and A. Kertesz, "The use of MQTT in M2M and IoT systems: A survey," *Ieee Access*, vol. 8, pp. 201071–201086, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3035849.
- [22] I.-V. Nițulescu and A. Korodi, "Supervisory control and data acquisition approach in node-RED: Application and discussions," *IoT*, vol. 1, no. 1, p. 5, 2020, doi: 10.3390/iot1010005.
- [23] T. Domínguez-Bolaño, O. Campos, V. Barral, C. J. Escudero, and J. A. García-Naya, "An overview of IoT architectures, technologies, and existing open-source projects," *Internet Things*, vol. 20, p. 100626, 2022, doi: 10.1016/j.iot.2022.100626.
- [24] J. Adamu, R. Hamzah, and M. M. Rosli, "Security issues and framework of electronic medical record: A review," *Bull. Electr. Eng. Inform.*, vol. 9, no. 2, pp. 565–572, 2020, doi: 10.11591/eei.v9i2.2064.
- [25] M. J. Ibarra-Cabrera, I. Estrada Torres, M. Aquino Cruz, R. A. Rentería Ayquipa, S. F. Ochoa, and J. M. Ochoa, "Tomato Urban Gardening Supported by an IoT-Based System: A Latin American Experience Report on Technology Adoption," *Sensors*, vol. 24, no. 23, p. 7620, 2024, doi: 10.3390/s24237620.
- [26] S. Gordon *et al.*, "Best practice recommendations: user acceptance testing for systems designed to collect clinical outcome assessment data electronically," *Ther. Innov. Regul. Sci.*, vol. 56, no. 3, pp. 442–453, 2022, doi: 10.1007/s43441-021-00363-z.