

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN PENGENDALIAN PENYIRAMAN TANAMAN CABAI BERBASIS WEB MENGGUNAKAN INTERNET OF THINGS

Lutfan Hadi^{*1}, Agus Bahtiar²

¹Program Studi Teknik Informatika, STMIK IKMI Cirebon, Cirebon, Indonesia

²Program Studi Sistem Informasi, STMIK IKMI Cirebon, Cirebon, Indonesia

Penulis korespondensi: Lutfan Hadi (lutfannhadi@gmail.com)

Proses penyiraman tanaman cabai yang masih dilakukan secara manual berpotensi menyebabkan ketidaksesuaian pemberian air sehingga memengaruhi pertumbuhan tanaman. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem monitoring serta pengendalian penyiraman tanaman cabai berbasis web menggunakan Internet of Things. Sistem dikembangkan menggunakan ESP8266, sensor DHT22, Capacitive Soil Moisture Sensor, sensor LDR, Supabase sebagai basis data berbasis cloud, dan React sebagai antarmuka web. Sistem mampu melakukan monitoring suhu udara, kelembapan udara, kelembapan tanah, dan intensitas cahaya dengan interval pembaruan data setiap 60 detik, serta menyediakan pengendalian penyiraman pada mode manual maupun otomatis. Hasil implementasi menunjukkan bahwa komponen sistem berfungsi sesuai rancangan dan berhasil menghasilkan 4.469 data hasil monitoring yang mendukung evaluasi kondisi lingkungan tanaman secara berkelanjutan. Sistem juga mampu mengintegrasikan fungsi monitoring, pengendalian penyiraman, dan pengaturan parameter melalui satu dashboard berbasis web. Sistem yang dikembangkan mampu mendukung monitoring kondisi lingkungan tanaman dan pengendalian penyiraman secara lebih efektif melalui dashboard berbasis web yang terintegrasi.

Kata Kunci — Internet of Things (IoT), monitoring tanaman cabai, dashboard berbasis web, pengendalian penyiraman, smart agriculture.

I. PENDAHULUAN

Pemanfaatan teknologi Internet of Things (IoT) menjadi salah satu pendekatan yang banyak diterapkan dalam konsep smart agriculture yang berorientasi pada peningkatan efisiensi penggunaan sumber daya, pengurangan intervensi manual, serta mendukung peningkatan produktivitas tanaman melalui pemantauan kondisi lingkungan secara real-time dan otomatisasi penyiraman [1], [2]. Seiring meningkatnya kebutuhan

akan sistem pertanian yang lebih efisien dan adaptif, teknologi IoT terus berkembang untuk mendukung proses monitoring kondisi lingkungan tanaman secara real-time dan berkelanjutan. Selain itu, implementasi dashboard berbasis web juga dinilai mampu meningkatkan kemudahan akses informasi dan pengelolaan data pertanian secara lebih fleksibel sebagai bagian dari penerapan konsep smart agriculture [3], [4], [5].

Tanaman cabai keriting (*Capsicum annuum* L.) merupakan salah satu komoditas hortikultura yang memiliki nilai ekonomi tinggi di Indonesia dan banyak dibudidayakan oleh masyarakat, baik pada skala pertanian maupun pekarangan rumah. Keberhasilan budidayanya sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, seperti suhu udara, kelembapan udara, kelembapan tanah, dan intensitas cahaya yang berperan penting dalam mendukung pertumbuhan serta perkembangan tanaman [6]. Penyiraman yang masih dilakukan secara manual sering kali bergantung pada ketersediaan waktu pemilik tanaman sehingga berpotensi menyebabkan keterlambatan penyiraman atau pemberian air yang tidak sesuai dengan kebutuhan tanaman. Kondisi tersebut dapat mengakibatkan tanaman mengalami stres akibat kekurangan maupun kelebihan air yang berdampak pada penurunan kualitas pertumbuhan. Oleh karena itu, sistem monitoring kondisi lingkungan tanaman secara real-time yang dipadukan dengan pengendalian penyiraman otomatis menjadi salah satu solusi yang dapat membantu pengguna dalam menjaga kondisi pertumbuhan tanaman secara lebih efektif [7], [8].

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penerapan Internet of Things (IoT) telah mendorong perkembangan sistem monitoring dan penyiraman tanaman menuju pengelolaan yang lebih efisien melalui pemantauan kondisi lingkungan serta pengendalian penyiraman secara otomatis. Sebagian besar sistem memanfaatkan sensor kelembapan tanah sebagai parameter utama dalam menentukan kebutuhan penyiraman, yang kemudian dipadukan dengan sensor suhu dan kelembapan udara untuk meningkatkan kemampuan sistem dalam memantau kondisi lingkungan tanaman secara real-time [2], [7], [8].

Perkembangan tersebut juga diikuti dengan penggunaan berbagai platform monitoring, mulai dari platform IoT seperti Blynk dan ThingSpeak hingga dashboard berbasis web yang memungkinkan pengguna memantau kondisi tanaman dari berbagai perangkat secara daring [2], [7], [9]. Secara umum, hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan teknologi IoT mampu meningkatkan efektivitas proses monitoring, mengurangi ketergantungan terhadap penyiraman manual, serta meningkatkan efisiensi penggunaan air dalam budidaya tanaman. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada implementasi perangkat keras dan otomatisasi penyiraman, sementara pengembangan platform monitoring berbasis web yang lebih fleksibel, terintegrasi, dan mudah dikembangkan masih relatif terbatas [9].

Meskipun berbagai penelitian telah berhasil mengembangkan sistem monitoring dan penyiraman tanaman berbasis Internet of Things (IoT), masih terdapat peluang untuk melakukan pengembangan lebih lanjut, terutama pada aspek integrasi sistem monitoring berbasis web. Perkembangan terbaru menunjukkan bahwa dashboard monitoring kondisi lingkungan tanaman berbasis web dengan integrasi data sensor mulai banyak diterapkan untuk mendukung konsep precision agriculture, termasuk pada sistem monitoring kondisi lingkungan tanaman cabai [9]. Namun, sebagian besar penelitian masih memanfaatkan platform IoT pihak ketiga, seperti ThingSpeak dan Blynk, sebagai media monitoring dan pengendalian sehingga fleksibilitas dalam pengembangan fitur maupun pengelolaan sistem sangat bergantung pada kemampuan platform yang digunakan [2], [7]. Penelitian lain juga telah mengembangkan aplikasi berbasis web sebagai media pemantauan, namun umumnya masih berfokus pada penyajian informasi hasil pembacaan sensor sehingga pembahasan mengenai integrasi berbagai fungsi sistem, seperti monitoring, pengendalian penyiraman, pengaturan parameter, dan pengelolaan data dalam satu platform masih relatif terbatas [3], [10]. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya sistem monitoring dan pengendalian berbasis web yang lebih terintegrasi agar pengelolaan sistem menjadi lebih fleksibel dan efisien.

Berdasarkan hasil sintesis terhadap penelitian-penelitian terdahulu, dapat diidentifikasi bahwa pengembangan sistem monitoring dan penyiraman tanaman berbasis Internet of Things (IoT) telah mengalami perkembangan yang signifikan, baik melalui penerapan otomatisasi penyiraman maupun pemanfaatan berbagai platform monitoring. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada aspek implementasi perangkat keras atau penggunaan platform monitoring tertentu, sedangkan pembahasan mengenai integrasi berbagai fungsi sistem seperti dashboard berbasis web masih relatif terbatas. Perkembangan terbaru menunjukkan penerapan dashboard monitoring berbasis web untuk mendukung precision agriculture. Namun, dashboard tersebut umumnya masih berfokus pada penyajian data hasil pemantauan sehingga integrasi fungsi monitoring, pengendalian penyiraman, pengaturan parameter, dan pengelolaan histori data dalam satu platform masih terbatas [9]. Oleh karena itu, penelitian ini

mengembangkan sistem monitoring dan pengendalian berbasis web yang mengintegrasikan fungsi monitoring, pengendalian penyiraman, pengaturan parameter, dan pengelolaan data dalam satu platform [1], [5].

Berdasarkan research gap tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem monitoring dan pengendalian penyiraman tanaman cabai keriting (*Capsicum annuum* L.) berbasis web menggunakan Internet of Things (IoT) yang mengintegrasikan proses monitoring kondisi lingkungan tanaman, pengendalian penyiraman pada mode manual maupun otomatis, pengelolaan histori data sensor, serta pengaturan parameter operasional dalam satu dashboard berbasis web. Kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan dashboard berbasis web mandiri yang tidak hanya berfungsi sebagai media visualisasi data sensor, tetapi juga sebagai pusat pengelolaan seluruh fungsi sistem secara terintegrasi. Dashboard berbasis web yang dikembangkan memungkinkan proses monitoring, pengendalian penyiraman, konfigurasi parameter, dan pengelolaan data dilakukan melalui satu platform yang lebih fleksibel. Selain itu, pemanfaatan Supabase sebagai basis data berbasis cloud mendukung sinkronisasi dan penyajian data sensor sehingga sistem lebih mudah dikembangkan serta mampu mendukung proses pengambilan keputusan dalam pengelolaan penyiraman tanaman.

Berdasarkan permasalahan dan research gap yang telah diidentifikasi, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem monitoring dan pengendalian penyiraman tanaman cabai keriting (*Capsicum annuum* L.) berbasis web menggunakan Internet of Things (IoT). Sistem yang dikembangkan mampu memantau kondisi suhu udara, kelembapan udara, kelembapan tanah, dan intensitas cahaya melalui dashboard berbasis web, serta menyediakan pengendalian penyiraman secara manual maupun otomatis melalui satu platform yang terintegrasi. Selain itu, sistem dirancang untuk membantu pengguna dalam memantau kondisi lingkungan tanaman, mengoptimalkan proses penyiraman sesuai kondisi lingkungan, serta meningkatkan kemudahan pengelolaan sistem melalui antarmuka web yang fleksibel dan dapat diakses dari berbagai perangkat.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode rancang bangun sistem untuk mengembangkan sistem monitoring dan pengendalian penyiraman tanaman cabai keriting berbasis web menggunakan Internet of Things (IoT). Proses penelitian meliputi tahapan identifikasi permasalahan, analisis kebutuhan sistem, perancangan, implementasi, hingga pengujian sistem untuk memastikan seluruh komponen perangkat keras maupun perangkat lunak dapat berfungsi sesuai dengan tujuan penelitian. Setiap tahapan dilaksanakan secara sistematis dan saling berkaitan sehingga proses pengembangan sistem dapat berjalan sesuai dengan rancangan yang telah ditetapkan sejak awal penelitian. Penentuan parameter operasional sistem, termasuk nilai ambang kelembapan tanah pada mode otomatis, dilakukan pada tahap perancangan berdasarkan studi literatur mengenai respons tanaman cabai terhadap

defisit air serta kebutuhan implementasi sistem penyiraman otomatis berbasis Internet of Things. Adapun tahapan penelitian, perancangan sistem, implementasi, serta metode pengujian yang digunakan dijelaskan pada subbab berikut.

A. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan yang disusun secara sistematis untuk mengembangkan sistem monitoring dan pengendalian penyiraman tanaman cabai keriting berbasis web menggunakan Internet of Things (IoT) [11]. Tahapan penelitian dimulai dari identifikasi permasalahan, studi literatur, analisis kebutuhan sistem, perancangan sistem, implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, integrasi sistem, hingga pengujian dan analisis hasil. Alur tahapan penelitian secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Tahapan Penelitian

Berdasarkan Gambar 1, penelitian diawali dengan identifikasi permasalahan untuk mengetahui kendala pada proses penyiraman tanaman cabai keriting secara manual. Selanjutnya dilakukan studi literatur sebagai dasar dalam menentukan teknologi, perangkat, dan pendekatan yang digunakan [11]. Tahap berikutnya adalah analisis kebutuhan sistem yang meliputi identifikasi kebutuhan perangkat keras, perangkat lunak, serta kebutuhan fungsional sistem.

Setelah kebutuhan sistem ditentukan, dilakukan perancangan sistem yang mencakup penyusunan arsitektur sistem, komunikasi data, dan rancangan antarmuka website. Rancangan tersebut kemudian diimplementasikan melalui pembangunan perangkat keras berbasis ESP8266 beserta sensor yang digunakan, serta pengembangan dashboard berbasis web menggunakan React dan Supabase. Seluruh komponen selanjutnya diintegrasikan sehingga sistem mampu melakukan monitoring kondisi lingkungan tanaman dan pengendalian penyiraman secara terpadu. Integrasi tersebut

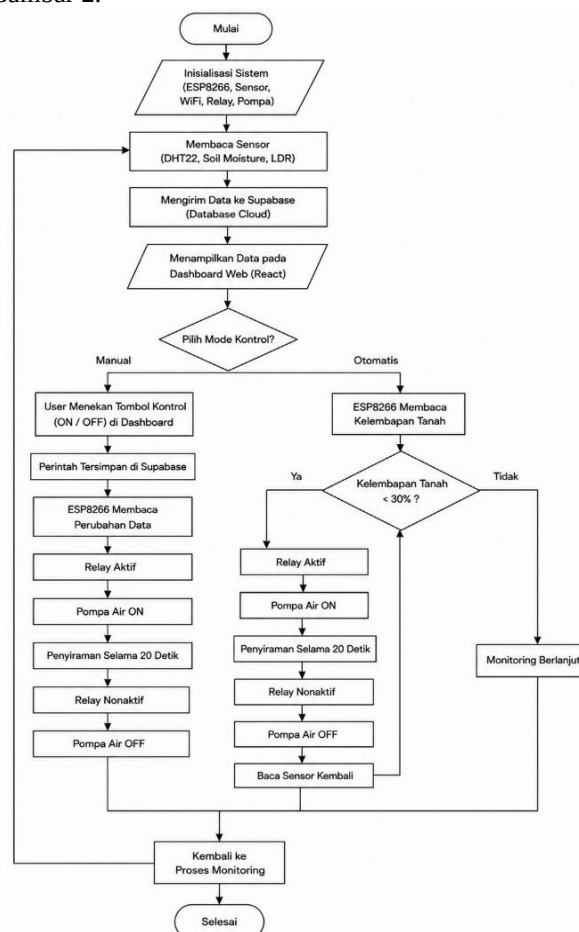
menghasilkan prototipe sistem yang selanjutnya digunakan pada tahap pengujian untuk mengevaluasi kinerja seluruh fungsi yang telah dirancang.

Tahap terakhir adalah pengujian sistem untuk memastikan seluruh fungsi perangkat keras, komunikasi data, dan dashboard berbasis web berjalan sesuai dengan rancangan. Hasil pengujian kemudian dianalisis sebagai dasar dalam mengevaluasi kinerja sistem yang dikembangkan.

B. Perancangan Sistem

Perancangan sistem merupakan tahapan setelah proses analisis kebutuhan sebagai dasar pengembangan sistem monitoring dan pengendalian penyiraman tanaman cabai keriting berbasis Internet of Things (IoT). Pada tahap ini disusun arsitektur sistem, mekanisme komunikasi data, serta alur kerja untuk memastikan seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak saling terintegrasi dan berfungsi dengan baik. Rancangan tersebut menjadi acuan dalam proses implementasi dan pengujian sistem.

Perancangan sistem dilakukan untuk mengintegrasikan perangkat keras dan perangkat lunak dalam mendukung proses monitoring kondisi lingkungan tanaman serta pengendalian penyiraman berbasis Internet of Things (IoT). Sistem dirancang agar mampu melakukan akuisisi data sensor, mengirimkan data ke basis data berbasis cloud, menampilkan informasi melalui dashboard berbasis web, serta menyediakan mekanisme pengendalian penyiraman secara manual maupun otomatis. Mekanisme kerja sistem yang dikembangkan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Flowchart Mekanisme Kerja Sistem

Berdasarkan Gambar 2, sistem diawali dengan proses inisialisasi ESP8266 NodeMCU beserta sensor DHT22, Capacitive Soil Moisture Sensor, dan LDR. Selanjutnya ESP8266 membaca data suhu udara, kelembapan udara, kelembapan tanah, serta intensitas cahaya, kemudian mengirimkan data hasil pembacaan sensor ke Supabase melalui koneksi WiFi menggunakan REST API. Data yang tersimpan pada basis data selanjutnya ditampilkan pada dashboard berbasis web yang dikembangkan menggunakan React sehingga pengguna dapat memantau kondisi tanaman dengan pembaruan data secara berkala [12].

Sistem menyediakan dua mekanisme pengendalian penyiraman, yaitu mode manual dan mode otomatis. Pada mode manual, pengguna memberikan perintah melalui dashboard berbasis web, kemudian perintah tersebut disimpan pada Supabase dan dibaca oleh ESP8266 untuk mengaktifkan relay sehingga pompa melakukan penyiraman selama 20 detik sebelum dimatikan kembali. Setelah proses penyiraman selesai, sistem kembali melakukan monitoring kondisi lingkungan tanaman.

Pada mode otomatis, ESP8266 membaca nilai kelembapan tanah dan membandingkannya dengan nilai ambang operasional sebesar 30% yang digunakan sebagai parameter aktivasi penyiraman otomatis. Apabila nilai kelembapan tanah berada di bawah ambang tersebut, relay akan diaktifkan sehingga pompa melakukan penyiraman selama 20 detik. Setelah pompa berhenti, ESP8266 kembali membaca nilai kelembapan tanah untuk mengevaluasi apakah kondisi kelembapan telah memenuhi nilai ambang yang ditetapkan. Jika kelembapan tanah masih berada di bawah nilai ambang operasional, proses penyiraman akan diulangi hingga kelembapan tanah mencapai atau melebihi nilai ambang tersebut. Apabila nilai kelembapan tanah telah mencapai atau melebihi ambang operasional, sistem kembali melakukan proses monitoring tanpa penyiraman.

Penetapan ambang operasional sebesar 30% pada penelitian ini bertujuan agar sistem melakukan penyiraman sebelum tanaman mengalami kondisi cekaman kekeringan yang lebih berat. Nilai tersebut tidak dimaksudkan sebagai batas agronomis yang bersifat universal, melainkan sebagai parameter operasional pada sistem otomatis. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penurunan ketersediaan air hingga di bawah 50% kapasitas lapang menyebabkan penurunan pertumbuhan tanaman cabai [13], sedangkan kondisi 25% kapasitas lapang mengakibatkan cekaman kekeringan yang lebih berat [14]. Selain itu, sistem irigasi berbasis Internet of Things memanfaatkan data kelembapan tanah sebagai dasar pengambilan keputusan penyiraman otomatis [15]. Oleh karena itu, penelitian ini menetapkan nilai ambang operasional sebesar 30% sebagai parameter aktivasi penyiraman otomatis. Nilai tersebut dipilih sebagai keputusan desain sistem (engineering decision) yang mengacu pada konsep penyiraman preventif berdasarkan hasil penelitian sebelumnya mengenai respons tanaman cabai terhadap defisit air.

Komponen perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan dalam pengembangan sistem ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Perangkat Keras

No.	Komponen	Fungsi
1	ESP8266 NodeMCU	Mikrokontroler utama sistem
2	DHT22	Mengukur suhu dan kelembapan udara
3	Capacitive Soil Moisture Sensor	Mengukur kelembapan tanah
4	LDR	Mengukur intensitas cahaya
5	Relay 1 Channel	Mengendalikan pompa air
6	Mini Water Pump	Melakukan penyiraman tanaman
7	Step Down LM2596	Menurunkan tegangan catu daya
8	Aki 12 V	Sumber daya sistem
9	Switch	Menghubungkan dan memutus sumber daya

Tabel 2. Perangkat Lunak

No.	Perangkat Lunak	Fungsi
1	Arduino IDE	Pemrograman ESP8266 NodeMCU
2	Visual Studio Code	Pengembangan dashboard berbasis web
3	React	Membangun antarmuka website
4	Tailwind CSS	Mendesain antarmuka website
5	Supabase	Basis data dan sinkronisasi data sensor secara berkala

C. Rancangan Implementasi Sistem

Implementasi sistem dilakukan berdasarkan rancangan yang telah disusun pada tahap sebelumnya dengan mengintegrasikan perangkat keras dan perangkat lunak menjadi satu kesatuan sistem monitoring dan pengendalian penyiraman tanaman cabai keriting berbasis Internet of Things (IoT). Perangkat keras dibangun menggunakan ESP8266 NodeMCU sebagai pusat pengendali yang terhubung dengan sensor DHT22, Capacitive Soil Moisture Sensor, sensor LDR, relay, mini water pump, step-down LM2596, aki 12 V, serta switch sebagai saklar utama. Seluruh komponen dirancang agar bekerja terpadu dalam melakukan pembacaan data sensor, pengolahan data, pengiriman informasi ke basis data, hingga mengendalikan proses penyiraman sesuai kondisi lingkungan tanaman maupun perintah pengguna.

Perangkat lunak dikembangkan dalam bentuk dashboard berbasis web menggunakan React sebagai frontend dan Supabase sebagai basis data berbasis cloud untuk mendukung penyimpanan serta sinkronisasi data sensor secara berkala. ESP8266 mengirimkan data hasil pembacaan sensor ke Supabase melalui jaringan WiFi menggunakan REST API, kemudian data ditampilkan pada dashboard sehingga pengguna dapat memantau kondisi tanaman melalui pembaruan data secara berkala. Mekanisme komunikasi ini juga memungkinkan dashboard mengirimkan perintah pengendalian pompa kepada ESP8266 pada mode manual maupun menyimpan parameter operasional sebagai acuan mode otomatis.

Dashboard berbasis web menampilkan informasi suhu udara, kelembapan udara, kelembapan tanah, dan intensitas cahaya dengan pembaruan data setiap 60 detik, serta mendukung pengendalian penyiraman melalui mode manual dan otomatis. Selain itu, dashboard dilengkapi fitur login sebagai mekanisme autentikasi pengguna, halaman analisis untuk menampilkan ringkasan kondisi lingkungan berdasarkan data hasil monitoring, penyimpanan histori data sensor, serta halaman pengaturan yang memungkinkan pengguna mengubah parameter operasional, seperti durasi penyiraman, interval pengiriman data, dan nilai ambang kelembapan tanah. Integrasi seluruh komponen tersebut mendukung proses

monitoring dan pengendalian penyiraman secara terpusat melalui dashboard berbasis web sesuai dengan rancangan sistem pada penelitian ini.

D. Metode Pengujian

Metode pengujian dilakukan untuk memastikan seluruh fungsi sistem monitoring dan pengendalian penyiraman tanaman cabai keriting berbasis Internet of Things (IoT) berjalan sesuai rancangan. Pengujian dilakukan terhadap setiap komponen utama sistem, meliputi sensor, komunikasi data, dashboard berbasis web, serta mekanisme pengendalian penyiraman secara manual maupun otomatis. Seluruh pengujian dilakukan dengan mengamati kesesuaian antara masukan (input) dengan

keluaran (output) yang dihasilkan sistem [16]. Melalui tahapan tersebut, kinerja setiap komponen dievaluasi secara sistematis untuk memastikan seluruh fungsi sistem bekerja secara terintegrasi, stabil, dan sesuai tujuan penelitian. Selain itu, hasil pengujian digunakan untuk memverifikasi bahwa proses akuisisi data, penyimpanan pada basis data, komunikasi antarkomponen, serta pengendalian penyiraman dapat berlangsung secara konsisten sesuai mekanisme kerja sistem yang telah dirancang pada setiap kondisi pengujian sistem. Kriteria dan skenario pengujian yang digunakan penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Skenario Pengujian Sistem

No	Komponen/Fitur yang Diuji	Skenario Pengujian	Indikator Keberhasilan
1	Sensor DHT22	Membaca suhu dan kelembapan udara	Nilai suhu dan kelembapan udara berhasil ditampilkan pada dashboard sesuai interval pengiriman data
2	Capacitive Soil Moisture Sensor	Membaca kelembapan tanah	Nilai kelembapan tanah berhasil ditampilkan pada dashboard dan dapat digunakan sebagai acuan pengendalian otomatis
3	Sensor LDR	Membaca intensitas cahaya	Nilai intensitas cahaya berhasil ditampilkan pada dashboard sesuai hasil pembacaan sensor
4	ESP8266-Supabase	Mengirim data sensor ke basis data	Seluruh data sensor berhasil dikirim dan tersimpan pada Supabase
5	Dashboard Monitoring	Menampilkan data hasil monitoring	Dashboard berhasil memperbarui data sensor secara berkala setiap 60 detik serta menampilkan grafik dan riwayat monitoring
6	Login	Memverifikasi autentikasi pengguna	Pengguna berhasil masuk ke dashboard menggunakan akun yang telah terdaftar
7	Logout	Mengakhiri sesi pengguna	Sistem berhasil mengakhiri sesi pengguna dan mengarahkan kembali ke halaman login
8	Kontrol Pompa Manual	Mengaktifkan pompa melalui dashboard	Pompa berhasil menyala sesuai perintah pengguna dan berhenti setelah durasi penyiraman yang ditentukan
9	Kontrol Pompa Otomatis	Menguji penyiraman berdasarkan nilai kelembapan tanah	Pompa aktif secara otomatis ketika kelembapan tanah berada di bawah nilai ambang kemudian melakukan pembacaan ulang sensor
10	Pengaturan Sistem	Mengubah parameter operasional	Perubahan durasi penyiraman, interval pengiriman data, dan nilai ambang (threshold) berhasil diterapkan pada sistem

Pengujian dilakukan secara bertahap pada setiap komponen sebelum dilakukan pengujian sistem secara keseluruhan. Hasil dari setiap skenario pengujian selanjutnya dianalisis untuk mengevaluasi keberhasilan implementasi sistem dan dibahas pada bagian hasil penelitian.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil implementasi dan pengujian sistem monitoring serta pengendalian penyiraman tanaman cabai keriting berbasis Internet of Things (IoT) yang telah dikembangkan. Pembahasan diawali dengan implementasi perangkat keras dan dashboard berbasis web sebagai hasil realisasi rancangan sistem, kemudian dilanjutkan dengan penyajian hasil monitoring kondisi lingkungan tanaman yang diperoleh selama proses implementasi sistem. Selanjutnya, dilakukan pengujian terhadap setiap komponen dan fitur sistem untuk mengevaluasi kinerja perangkat keras, komunikasi data, serta fungsi dashboard berbasis web dalam mendukung proses monitoring dan pengendalian penyiraman sesuai dengan rancangan sistem serta memastikan seluruh fungsi sistem berjalan secara terintegrasi dan sesuai kebutuhan.

E. Implementasi Sistem

Subbab ini menyajikan hasil implementasi sistem monitoring dan pengendalian penyiraman tanaman cabai keriting berbasis Internet of Things (IoT) yang telah dikembangkan. Implementasi dilakukan dengan

merealisasikan rancangan perangkat keras dan dashboard berbasis web menjadi satu sistem yang terintegrasi sehingga mampu mendukung proses monitoring kondisi lingkungan tanaman serta pengendalian penyiraman secara manual maupun otomatis.

1. Implementasi Perangkat Keras

Implementasi perangkat keras dilakukan berdasarkan rancangan sistem pada bagian Metode Penelitian dengan mengintegrasikan komponen menjadi sistem monitoring dan pengendalian penyiraman tanaman cabai keriting berbasis Internet of Things (IoT). Komponen dirakit sesuai fungsinya sehingga mampu melakukan pembacaan data sensor, pengiriman data ke basis data, serta pengendalian pompa secara manual maupun otomatis sesuai mekanisme kerja yang telah dirancang. Integrasi tersebut memastikan seluruh komponen bekerja terpadu untuk mendukung operasional sistem.



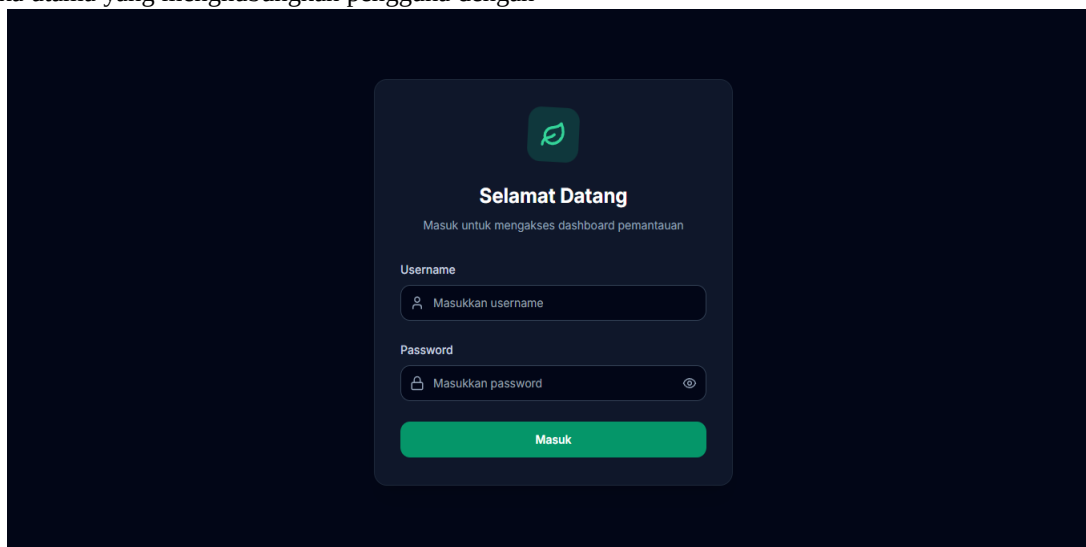
Gambar 3. Implementasi Perangkat Keras

Berdasarkan Gambar 3, perangkat keras terdiri atas ESP8266 NodeMCU sebagai pusat pengendali yang terhubung dengan sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembapan udara, Capacitive Soil Moisture Sensor untuk mengukur kelembapan tanah, serta LDR untuk mendeteksi intensitas cahaya. Selain itu, sistem juga dilengkapi relay sebagai pengendali mini water pump, step-down LM2596 sebagai penurun tegangan, aki 12 V sebagai sumber daya, serta switch sebagai saklar utama. Seluruh komponen berhasil diintegrasikan sehingga membentuk satu sistem yang mampu melakukan monitoring kondisi lingkungan tanaman dan pengendalian penyiraman sesuai dengan mekanisme kerja yang telah dirancang. Integrasi tersebut memungkinkan setiap komponen bekerja secara saling terhubung dalam mendukung proses akuisisi data sensor, komunikasi data, serta pengendalian aktuator secara berkelanjutan.

2. Implementasi Dashboard Berbasis Web

Dashboard berbasis web dikembangkan sebagai antarmuka utama yang menghubungkan pengguna dengan

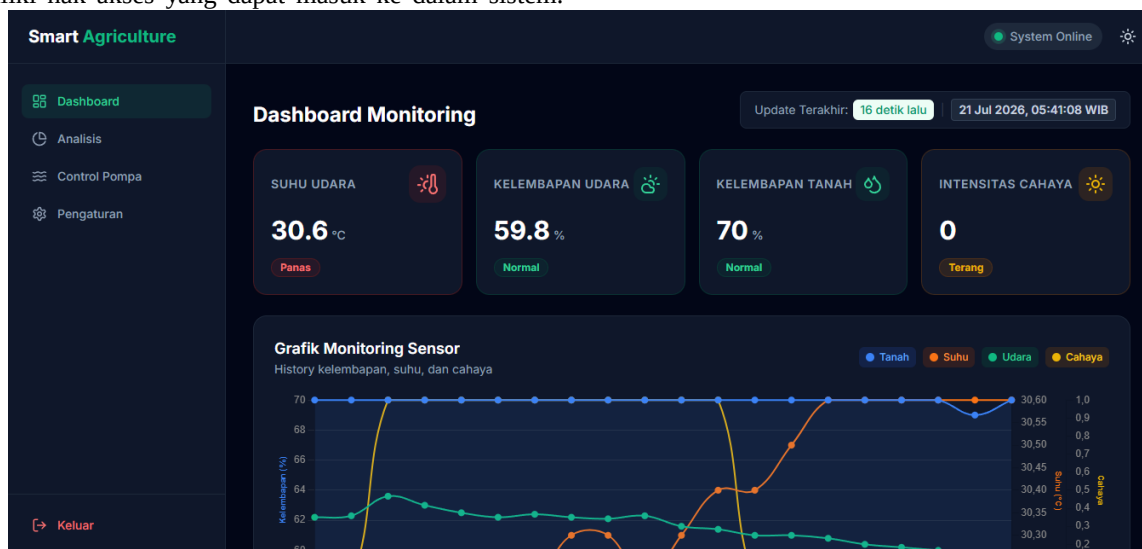
sistem monitoring dan pengendalian penyiraman tanaman cabai keriting berbasis Internet of Things (IoT). Dashboard dibangun menggunakan React sebagai frontend dan terintegrasi dengan Supabase sehingga mampu menampilkan data sensor dengan pembaruan secara berkala setiap 60 detik, menyimpan histori data, serta mendukung pengendalian penyiraman melalui satu platform yang terpusat. Selain berfungsi sebagai media visualisasi data sensor, dashboard juga menjadi pusat interaksi pengguna dalam melakukan monitoring kondisi lingkungan tanaman, pengendalian penyiraman, serta pengelolaan parameter operasional sistem. Implementasi dashboard dirancang agar seluruh fungsi sistem dapat diakses melalui antarmuka yang mudah digunakan dan terintegrasi dalam satu platform berbasis web. Implementasi dashboard terdiri atas beberapa halaman, yaitu halaman login, dashboard, analisis, kontrol pompa, pengaturan, dan logout.



Gambar 4. Halaman Login

Halaman login merupakan gerbang awal untuk mengakses dashboard sistem. Halaman ini berfungsi sebagai mekanisme autentikasi sehingga hanya pengguna yang memiliki hak akses yang dapat masuk ke dalam sistem.

Setelah proses login berhasil, pengguna dapat mengakses seluruh fitur monitoring dan pengendalian penyiraman melalui dashboard berbasis web secara aman dan mudah.



Gambar 4. Tampilan Dashboard Monitoring

Dashboard monitoring menyajikan informasi kondisi lingkungan tanaman dengan pembaruan data secara berkala setiap 60 detik yang meliputi suhu udara, kelembapan udara, kelembapan tanah, dan intensitas cahaya. Informasi tersebut diperbarui secara berkala berdasarkan data sensor yang dikirimkan oleh ESP8266 ke Supabase sehingga pengguna dapat memantau

perubahan kondisi lingkungan tanaman tanpa melakukan pengukuran secara langsung. Selain itu, ketersediaan informasi waktu pembaruan (update) terakhir membantu pengguna memastikan bahwa data yang ditampilkan merupakan hasil pembacaan sensor terbaru sehingga proses monitoring dapat dilakukan secara lebih akurat dan mendukung pengambilan keputusan pengguna.



Gambar 5. Tampilan Grafik Monitoring dan Status Pompa

Dashboard juga menyediakan visualisasi histori data sensor dalam bentuk grafik untuk menampilkan perubahan kondisi lingkungan tanaman dari waktu ke waktu. Penyajian data secara visual memudahkan pengguna mengamati pola perubahan suhu, kelembapan udara, kelembapan tanah, dan intensitas cahaya sehingga kondisi lingkungan tanaman dapat dievaluasi dengan

lebih mudah. Selain itu, dashboard menampilkan status pompa berdasarkan pembaruan data setiap 60 detik sehingga pengguna dapat mengetahui apakah proses penyiraman sedang berlangsung atau telah selesai. Informasi tersebut membantu pengguna melakukan pemantauan sistem secara lebih efektif serta mendukung pengambilan keputusan dalam pengendalian penyiraman.



Gambar 6. Halaman Analisis Kondisi Lingkungan

Halaman analisis menyajikan ringkasan kondisi lingkungan tanaman berdasarkan data hasil monitoring yang telah tersimpan pada basis data. Melalui proses pengelompokan ke dalam kategori Kering, Normal, dan Lembab, sistem membantu pengguna memahami kondisi lingkungan tanaman secara lebih cepat tanpa harus menafsirkan setiap data sensor secara manual. Selain itu,

penyajian insight analisis beserta kriteria setiap kategori memberikan informasi yang lebih mudah dipahami sehingga pengguna dapat menentukan tindakan penyiraman yang sesuai berdasarkan kondisi lingkungan yang teridentifikasi. Visualisasi hasil analisis juga mendukung proses pemantauan secara lebih sistematis karena informasi penting telah dirangkum dalam bentuk

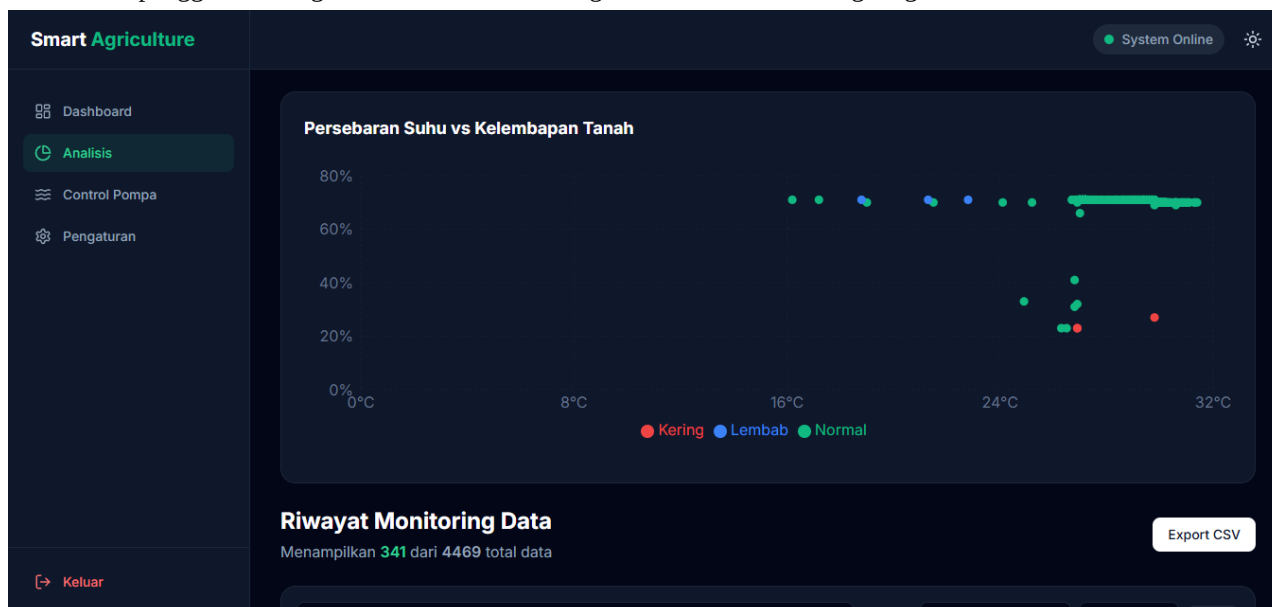
yang mudah dipahami oleh pengguna untuk mendukung proses pengambilan keputusan penyiraman.



Gambar 7. Visualisasi Distribusi Kondisi Lingkungan

Visualisasi hasil analisis disajikan dalam bentuk diagram lingkaran dan diagram batang untuk mempermudah interpretasi data hasil monitoring. Diagram lingkaran memberikan gambaran proporsi distribusi kondisi lingkungan tanaman pada setiap kategori, sedangkan diagram batang memudahkan pengguna membandingkan jumlah data pada masing-masing kategori. Penyajian informasi dalam bentuk visual membantu pengguna mengidentifikasi kecenderungan

kondisi lingkungan tanaman secara lebih cepat dibandingkan hanya melihat data dalam bentuk tabel, sehingga proses evaluasi dan pengambilan keputusan terkait penyiraman dapat dilakukan dengan lebih efektif, akurat, serta mendukung pemantauan kondisi lingkungan tanaman secara berkelanjutan berdasarkan data hasil monitoring yang tersimpan pada sistem untuk mendukung pengelolaan penyiraman yang lebih tepat dan efisien sesuai kondisi lingkungan tanaman.



Gambar 8. Visualisasi Persebaran Data Sensor

Visualisasi persebaran data dalam bentuk scatter plot digunakan untuk memperlihatkan hubungan antara suhu udara dan kelembapan tanah berdasarkan hasil monitoring. Penyajian data dalam bentuk scatter plot memudahkan pengguna mengidentifikasi pola distribusi pada kategori Kering, Normal, dan Lembab sehingga hubungan antarparameter lingkungan dapat diamati secara

lebih jelas. Informasi tersebut membantu pengguna mengevaluasi kondisi lingkungan tanaman secara lebih komprehensif dan menjadi pendukung dalam proses pengambilan keputusan terkait penyiraman tanaman, serta memudahkan identifikasi kecenderungan perubahan kondisi lingkungan berdasarkan pola distribusi data hasil monitoring yang ditampilkan secara visual.

No	Waktu (WIB)	Suhu	Kel. Udara	Kel. Tanah	Cahaya	Status
1	21 Jul 2026, 05:41:08	30.6°C	59.8%	70%	0	NORMAL
2	21 Jul 2026, 05:40:13	30.6°C	59.8%	69%	0	NORMAL
3	21 Jul 2026, 05:39:08	30.6°C	60%	70%	0	NORMAL
4	21 Jul 2026, 05:38:07	30.6°C	60.2%	70%	0	NORMAL
5	21 Jul 2026, 05:37:06	30.6°C	60.4%	70%	0	NORMAL

Gambar 9. Halaman Riwayat Monitoring Data

Halaman riwayat monitoring menyajikan seluruh data hasil pembacaan sensor yang telah tersimpan pada basis data sebagai dokumentasi proses monitoring secara berkelanjutan. Fitur pencarian, penyaringan berdasarkan tanggal, pagination, dan ekspor data dalam format CSV memudahkan pengguna dalam menelusuri, mengelola, serta mendokumentasikan data hasil monitoring sesuai kebutuhan. Ketersediaan riwayat data tersebut juga mendukung proses evaluasi kondisi lingkungan tanaman dari waktu ke waktu sehingga hasil monitoring tidak

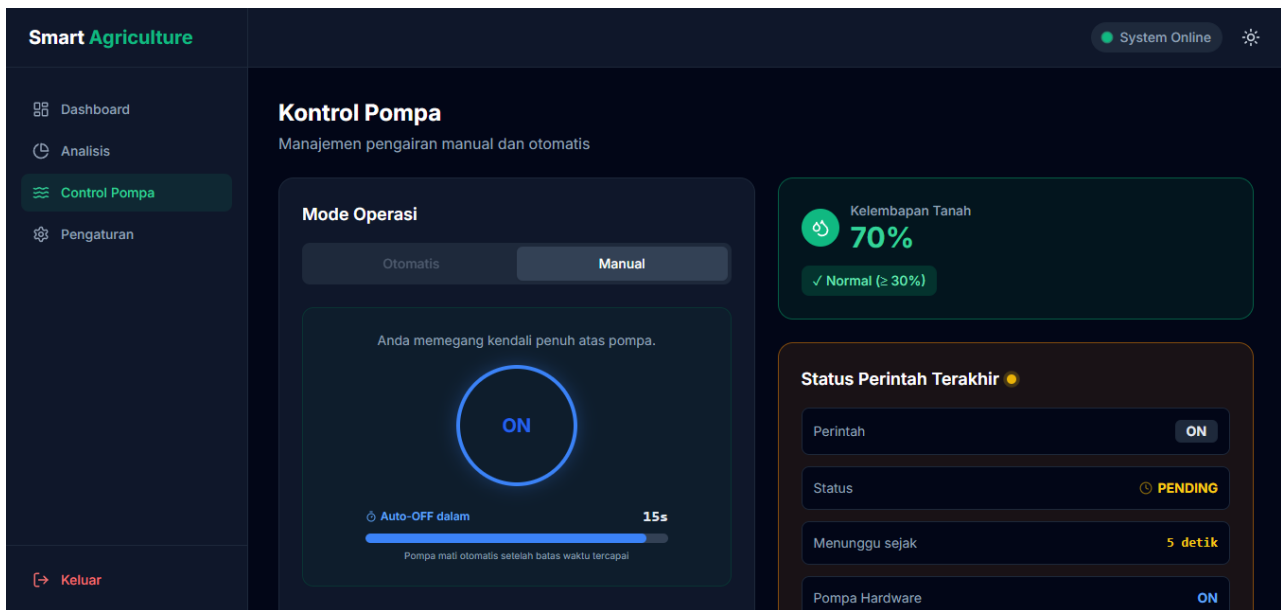
hanya dapat diamati melalui pembaruan data secara berkala, tetapi juga dianalisis berdasarkan data yang telah tersimpan. Selain itu, penyimpanan data secara terstruktur memudahkan pengguna melakukan penelusuran kembali terhadap hasil monitoring pada periode tertentu, membandingkan perubahan kondisi lingkungan tanaman, serta mendukung penyusunan dokumentasi hasil monitoring untuk kebutuhan evaluasi sistem secara berkelanjutan dan pengambilan keputusan berdasarkan histori data yang terdokumentasi dengan baik.

Mode Operasi	Status Perintah Terakhir
Otomatis	Perintah: ON
Manual	Status: SUCCESS
Mode Otomatis Aktif	Pompa Hardware: ON
Kelembapan Tanah: 23%	Waktu Perintah: 21 Jul, 05:50:33

Gambar 10. Halaman Kontrol Pompa Mode Otomatis

Halaman Kontrol Pompa pada mode otomatis memungkinkan pengguna memantau proses penyiraman yang dijalankan secara mandiri oleh ESP8266 berdasarkan nilai kelembapan tanah. Ketika kelembapan tanah berada di bawah ambang operasional sebesar 30%, sistem secara otomatis mengaktifkan pompa selama 20 detik, kemudian melakukan pembacaan ulang sensor untuk menentukan apakah penyiraman perlu dilanjutkan atau dihentikan. Nilai ambang tersebut digunakan sebagai

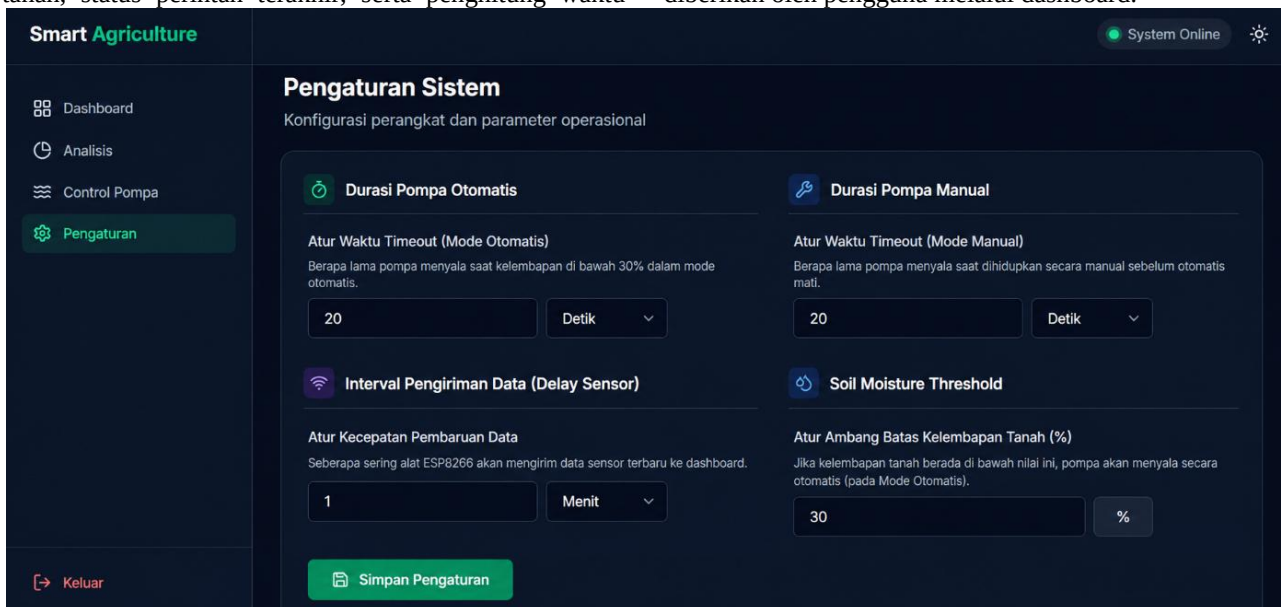
parameter aktivasi penyiraman otomatis sesuai dengan rancangan sistem yang telah ditetapkan pada tahap perancangan. Selama proses berlangsung, dashboard menampilkan status pompa, jumlah siklus penyiraman, nilai kelembapan tanah, serta hasil pembacaan sensor terbaru sehingga pengguna dapat memantau seluruh proses penyiraman otomatis secara berkala tanpa melakukan intervensi secara langsung.



Gambar 11. Halaman Kontrol Pompa Mode Manual

Halaman Kontrol Pompa pada mode manual memungkinkan pengguna mengendalikan proses penyiraman secara langsung melalui dashboard berbasis web. Setiap perintah yang diberikan pengguna berhasil diteruskan ke ESP8266 untuk mengaktifkan atau menonaktifkan pompa sesuai dengan kondisi yang diinginkan. Selain menyediakan kontrol penyiraman, halaman ini juga menampilkan informasi kelembapan tanah, status perintah terakhir, serta penghitung waktu

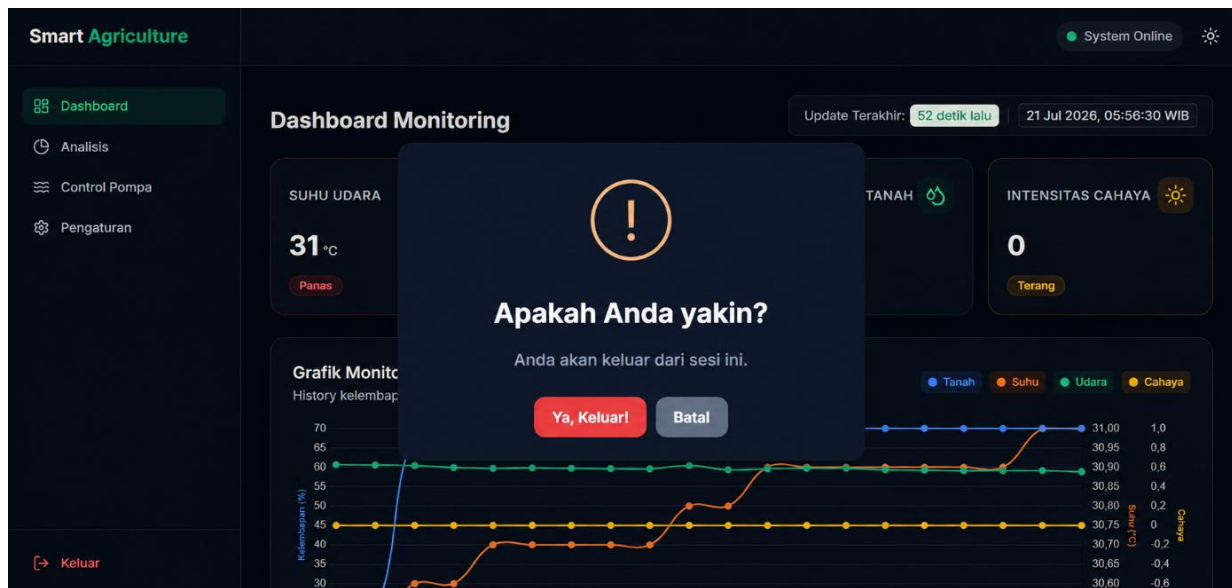
(countdown) penyiraman selama 20 detik hingga pompa berhenti secara otomatis. Implementasi mode manual memberikan fleksibilitas kepada pengguna untuk melakukan penyiraman sesuai kebutuhan tanpa menghilangkan mekanisme pembatasan durasi penyiraman, sehingga risiko penyiraman berlebihan tetap dapat diminimalkan serta memastikan proses pengendalian pompa berlangsung sesuai perintah yang diberikan oleh pengguna melalui dashboard.



Gambar 12. Halaman Pengaturan Sistem

Halaman Pengaturan Sistem digunakan untuk mengelola parameter operasional sistem melalui dashboard berbasis web. Pengguna dapat mengubah durasi penyiraman pada mode manual maupun otomatis, interval pengiriman data sensor, serta nilai ambang (threshold) kelembapan tanah sebagai acuan aktivasi

penyiraman otomatis. Pada implementasi penelitian ini digunakan nilai awal sebesar 30% sebagai ambang operasional sistem. Nilai tersebut masih dapat disesuaikan oleh pengguna sesuai kondisi tanaman maupun lingkungan sehingga sistem lebih fleksibel untuk diterapkan pada berbagai kondisi budidaya.



Gambar 13. Halaman Logout

Halaman logout berfungsi untuk mengakhiri sesi pengguna pada dashboard berbasis web secara aman. Setelah pengguna mengonfirmasi proses logout, sistem menghapus sesi autentikasi dan mengarahkan pengguna kembali ke halaman login. Implementasi mekanisme ini membantu menjaga keamanan akses dashboard sehingga hanya pengguna yang telah terautentikasi yang dapat melakukan monitoring maupun pengendalian penyiraman.

Secara keseluruhan, dashboard berbasis web yang dikembangkan berhasil mengintegrasikan fungsi monitoring, analisis, pengendalian penyiraman, serta pengelolaan parameter sistem ke dalam satu platform yang terpusat. Seluruh fitur dapat diakses melalui satu antarmuka sehingga memudahkan pengguna dalam memantau kondisi lingkungan tanaman, mengendalikan proses penyiraman, serta menyesuaikan konfigurasi sistem tanpa perlu melakukan pemrograman ulang pada mikrokontroler. Hasil implementasi ini menunjukkan bahwa dashboard tidak hanya berfungsi sebagai media visualisasi data, tetapi juga sebagai pusat pengelolaan sistem monitoring dan pengendalian penyiraman berbasis Internet of Things (IoT), sejalan dengan penerapan

dashboard terintegrasi pada sistem irigasi presisi yang mendukung proses monitoring dan pengambilan keputusan berbasis data [17]. Selanjutnya, untuk mengevaluasi kinerja sistem yang telah diimplementasikan, dilakukan analisis terhadap hasil monitoring kondisi lingkungan tanaman sebagaimana dijelaskan pada subbab berikutnya.

F. Hasil Monitoring

Subbab ini menyajikan hasil monitoring kondisi lingkungan tanaman yang diperoleh dari sensor DHT22, Capacitive Soil Moisture Sensor, dan LDR selama proses implementasi sistem. Monitoring dilakukan secara kontinu selama beberapa hari sehingga menghasilkan 4.469 data yang berhasil tersimpan pada Supabase. Data tersebut menjadi dasar dalam proses pemantauan kondisi lingkungan tanaman sekaligus mendukung pengendalian penyiraman pada mode manual maupun otomatis, serta memudahkan evaluasi perubahan kondisi lingkungan tanaman berdasarkan data hasil monitoring yang tersimpan.

Riwayat Monitoring Data
Menampilkan 341 dari 4469 total data

Export CSV

Cari data... (suhu, kelembapan, Kering, Normal, Lembab) Waktu: 21/07/2026 --,-- Reset

No	Waktu (WIB)	Suhu	Kel. Udara	Kel. Tanah	Cahaya	Status
1	21 Jul 2026, 05:41:08	30.6°C	59.8%	70%	0	NORMAL
2	21 Jul 2026, 05:40:13	30.6°C	59.8%	69%	0	NORMAL
3	21 Jul 2026, 05:39:08	30.6°C	60%	70%	0	NORMAL
4	21 Jul 2026, 05:38:07	30.6°C	60.2%	70%	0	NORMAL
5	21 Jul 2026, 05:37:06	30.6°C	60.4%	70%	0	NORMAL

Tampilkan 5 data

Hal 1 / 69

Gambar 14. Hasil Monitoring Kondisi Lingkungan Tanaman

Hasil monitoring ditampilkan dalam bentuk tabel riwayat data yang memuat informasi waktu pencatatan, suhu udara, kelembapan udara, kelembapan tanah, intensitas cahaya, serta status kondisi lingkungan tanaman. Penyajian data secara terstruktur memudahkan pengguna menelusuri perubahan kondisi lingkungan berdasarkan waktu pencatatan sehingga perkembangan kondisi tanaman dapat dipantau secara lebih sistematis.

Selama proses implementasi, sistem berhasil melakukan monitoring secara kontinu selama beberapa hari dan menghasilkan 4.469 data yang tersimpan pada Supabase. Data hasil monitoring dapat dicari berdasarkan kata kunci, difilter berdasarkan tanggal, serta diekspor dalam format CSV melalui dashboard berbasis web. Jumlah data yang berhasil direkam menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan akuisisi dan penyimpanan data secara berkelanjutan tanpa kehilangan informasi selama periode pengamatan. Hasil tersebut mengonfirmasi bahwa mekanisme komunikasi, penyimpanan pada basis data, serta penyajian informasi kepada pengguna telah berjalan secara stabil sesuai dengan rancangan sistem.

Berdasarkan hasil monitoring yang diperoleh, sistem mampu melakukan akuisisi, penyimpanan, dan penyajian data sensor melalui dashboard berbasis web dengan pembaruan data secara berkala setiap 60 detik. Keberhasilan sistem dalam merekam ribuan data hasil monitoring menunjukkan bahwa integrasi antara perangkat keras, Supabase, dan dashboard berbasis web mampu mendukung proses monitoring secara berkelanjutan.

Selain menunjukkan keberhasilan proses akuisisi data, hasil monitoring yang menghasilkan sebanyak 4.469 data

memberikan informasi mengenai perubahan kondisi lingkungan tanaman secara kontinu. Data yang tersimpan pada dashboard memungkinkan pengguna mengamati pola perubahan suhu udara, kelembapan udara, kelembapan tanah, dan intensitas cahaya berdasarkan waktu pengamatan. Ketersediaan data historis tersebut tidak hanya berfungsi sebagai dokumentasi hasil monitoring, tetapi juga mendukung proses evaluasi kondisi lingkungan tanaman dari waktu ke waktu. Dengan demikian, pengguna dapat memanfaatkan data hasil monitoring sebagai dasar dalam menentukan tindakan penyiraman maupun penyesuaian parameter operasional sesuai kondisi lingkungan yang terpantau.

Selanjutnya, untuk memastikan seluruh fungsi sistem bekerja sesuai dengan rancangan, dilakukan pengujian terhadap setiap komponen dan fitur sebagaimana dijelaskan pada subbab berikutnya.

C. Hasil Pengujian Sistem

Untuk mengetahui kinerja sistem yang telah dikembangkan, dilakukan serangkaian pengujian terhadap perangkat keras maupun fitur pada dashboard berbasis web. Pengujian dilakukan berdasarkan skenario yang telah dijelaskan pada bagian Metode Penelitian untuk memastikan setiap komponen mampu menjalankan fungsinya sesuai dengan rancangan. Aspek yang diuji meliputi pembacaan sensor, komunikasi data antara ESP8266 dan Supabase, proses monitoring pada dashboard, autentikasi pengguna, pengendalian pompa pada mode manual dan otomatis, serta pengaturan parameter sistem guna memastikan seluruh fungsi sistem bekerja secara terpadu sesuai rancangan dan memenuhi kebutuhan pengguna sistem.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sistem

No	Komponen/Fitur	Skenario Pengujian	Indikator Keberhasilan (Hasil Pengujian)	Status
1	Sensor DHT22	Membaca suhu dan kelembapan udara	Nilai suhu dan kelembapan udara berhasil terbaca dan diperbarui pada dashboard setiap 60 detik sesuai interval pengiriman data	Berhasil
2	Capacitive Soil Moisture Sensor	Membaca kelembapan tanah	Nilai kelembapan tanah berhasil ditampilkan pada dashboard dan digunakan sebagai acuan kontrol otomatis menggunakan ambang operasional sebesar 30%	Berhasil
3	Sensor LDR	Membaca intensitas cahaya	Nilai intensitas cahaya berhasil dikirim dan ditampilkan pada dashboard dengan pembaruan data setiap 60 detik	Berhasil
4	ESP8266 – Supabase	Mengirim data sensor ke basis data	Seluruh data sensor berhasil tersimpan pada Supabase dengan total 4.469 data selama proses monitoring	Berhasil
5	Dashboard Monitoring	Menampilkan data hasil monitoring	Dashboard berhasil memperbarui data sensor secara berkala setiap 60 detik serta menampilkan grafik dan riwayat monitoring	Berhasil
6	Login	Memverifikasi autentikasi pengguna	Pengguna berhasil masuk ke dashboard menggunakan akun yang telah terdaftar	Berhasil
7	Logout	Mengakhiri sesi pengguna	Sistem berhasil mengakhiri sesi pengguna dan mengarahkan kembali ke halaman <i>login</i>	Berhasil
8	Kontrol Pompa Manual	Mengaktifkan pompa melalui dashboard	Pompa berhasil menyala sesuai perintah pengguna selama 20 detik, kemudian berhenti secara otomatis	Berhasil
9	Kontrol Pompa Otomatis	Kelembapan tanah berada di bawah ambang operasional 30%	ESP8266 berhasil mengaktifkan pompa selama 20 detik, kemudian melakukan pembacaan ulang sensor untuk menentukan siklus penyiraman berikutnya	Berhasil
10	Pengaturan Sistem	Mengubah parameter operasional	Perubahan durasi penyiraman, interval pengiriman data, dan nilai ambang (threshold) berhasil diterapkan tanpa melakukan pemrograman ulang ESP8266	Berhasil

1. Pengujian Sensor dan Monitoring

Berdasarkan hasil pengujian pada sensor DHT22, Capacitive Soil Moisture Sensor, dan LDR, seluruh sensor mampu membaca kondisi lingkungan tanaman dengan baik. Data hasil pembacaan sensor berhasil dikirim oleh ESP8266 ke Supabase dan selanjutnya ditampilkan pada dashboard berbasis web dengan pembaruan data setiap 60 detik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa proses akuisisi data, komunikasi, serta visualisasi data berjalan sesuai dengan rancangan sistem. Integrasi ketiga proses tersebut memungkinkan pengguna memperoleh informasi kondisi lingkungan tanaman secara berkelanjutan melalui satu platform, sehingga aktivitas monitoring dapat dilakukan dengan lebih mudah tanpa harus melakukan pengamatan langsung di lokasi tanaman.

2. Pengujian Komunikasi Sistem

Pengujian komunikasi dilakukan untuk memastikan proses pertukaran data antara ESP8266, Supabase, dan dashboard berbasis web berlangsung dengan baik. Berdasarkan hasil pengujian, data sensor berhasil disimpan pada basis data dan dapat ditampilkan kembali melalui halaman monitoring maupun riwayat data tanpa kehilangan informasi selama proses pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme komunikasi data yang diterapkan mampu mendukung proses monitoring secara berkelanjutan. Keberhasilan proses sinkronisasi tersebut memastikan informasi yang ditampilkan pada dashboard tetap konsisten dengan data hasil pembacaan sensor, sehingga pengguna dapat memantau kondisi tanaman berdasarkan data yang tersimpan pada basis data secara lebih andal.

3. Pengujian Pengendalian Pompa

Pengujian dilakukan pada mode manual dan mode otomatis. Pada mode manual, pompa berhasil diaktifkan melalui dashboard sesuai perintah pengguna dan berhenti secara otomatis setelah durasi penyiraman selama 20 detik tercapai. Sementara itu, pada mode otomatis, ESP8266 berhasil mengaktifkan pompa ketika nilai kelembapan tanah berada di bawah ambang operasional sebesar 30%. Setelah durasi penyiraman selesai, ESP8266 melakukan pembacaan ulang sensor untuk menentukan apakah penyiraman perlu dilanjutkan atau dihentikan berdasarkan nilai kelembapan tanah yang terdeteksi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mekanisme pengendalian pompa telah berjalan sesuai dengan flowchart sistem yang dirancang pada bagian Metode Penelitian. Mekanisme tersebut mampu mengaktifkan penyiraman secara otomatis sesuai parameter yang telah ditetapkan, menyesuaikan proses penyiraman dengan kondisi kelembapan tanah, serta mengurangi kebutuhan intervensi pengguna selama proses penyiraman berlangsung.

4. Pengujian Dashboard Berbasis Web

Dashboard berbasis web berhasil menjalankan seluruh fungsi utama sistem, meliputi autentikasi pengguna, monitoring kondisi lingkungan tanaman, analisis data sensor, pengendalian pompa, pengaturan parameter sistem, hingga proses logout. Seluruh fitur dapat diakses melalui satu platform yang terintegrasi sehingga memudahkan pengguna dalam melakukan monitoring maupun pengendalian sistem. Integrasi seluruh fungsi

tersebut menunjukkan bahwa dashboard tidak hanya berperan sebagai media visualisasi data, tetapi juga sebagai pusat pengelolaan sistem yang mendukung proses monitoring, pengendalian, dan konfigurasi parameter secara terpadu melalui satu antarmuka berbasis web.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, seluruh komponen perangkat keras dan fitur dashboard berbasis web berhasil berfungsi sesuai dengan rancangan sistem. Sistem mampu melakukan monitoring kondisi lingkungan tanaman dengan pembaruan data secara berkala setiap 60 detik, menyimpan hasil monitoring sebanyak 4.469 data pada Supabase, serta mendukung pengendalian penyiraman melalui mode manual maupun otomatis dengan durasi penyiraman 20 detik dan ambang operasional kelembapan tanah sebesar 30% yang digunakan sebagai parameter aktivasi penyiraman otomatis pada sistem. Hasil tersebut menunjukkan bahwa integrasi antara perangkat keras, komunikasi data, basis data berbasis cloud, dan dashboard berbasis web telah berjalan secara terpadu sehingga proses monitoring, pengendalian penyiraman, serta pengelolaan parameter sistem dapat dilakukan melalui satu platform yang terintegrasi.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil merancang dan membangun sistem monitoring dan pengendalian penyiraman tanaman cabai keriting berbasis web menggunakan Internet of Things (IoT). Sistem yang dikembangkan mampu mengintegrasikan proses pembacaan data sensor suhu udara, kelembapan udara, kelembapan tanah, dan intensitas cahaya dengan dashboard berbasis web melalui Supabase sebagai basis data berbasis cloud. Hasil implementasi dan pengujian menunjukkan bahwa seluruh komponen sistem dapat berfungsi sesuai dengan rancangan, meliputi monitoring kondisi lingkungan tanaman dengan pembaruan data secara berkala setiap 60 detik, penyimpanan data hasil monitoring sebanyak 4.469 data, pengendalian penyiraman melalui mode manual maupun otomatis menggunakan ambang operasional kelembapan tanah sebesar 30% sebagai parameter aktivasi penyiraman otomatis yang diterapkan pada sistem, autentikasi pengguna, serta pengelolaan parameter operasional melalui dashboard berbasis web. Kemampuan tersebut memudahkan pengguna dalam memantau kondisi lingkungan tanaman dan melakukan penyiraman secara lebih efektif sesuai kondisi yang terdeteksi oleh sistem.

Pengembangan sistem selanjutnya dapat diarahkan pada penerapan algoritma kecerdasan buatan (Artificial Intelligence) atau Machine Learning untuk memprediksi kebutuhan penyiraman berdasarkan pola historis kondisi lingkungan. Selain itu, sistem juga dapat dikembangkan dengan menambahkan sensor lingkungan lainnya, seperti sensor pH tanah, curah hujan, atau nutrisi tanah, sehingga informasi yang diperoleh menjadi lebih komprehensif. Pengujian pada skala lahan yang lebih luas serta integrasi dengan layanan prediksi cuaca juga dapat dilakukan untuk meningkatkan kemampuan sistem dalam mendukung penerapan smart agriculture secara lebih adaptif dan efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. Ramachandran *et al.*, "Exploiting IoT and Its Enabled Technologies for Irrigation Needs in Agriculture," *Water (Switzerland)*, vol. 14, no. 5, pp. 1–20, 2022, doi: 10.3390/w14050719.
- [2] J. N. Ndunagu, K. E. Ukhurebor, M. Akaaza, and R. B. Onyancha, "Development of a Wireless Sensor Network and IoT-based Smart Irrigation System," *Appl. Environ. Soil Sci.*, vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/7678570.
- [3] K. Spandana and S. Pabboju, "IoT Enabled Smart Agriculture using Digital Dashboard," *Indian J. Sci. Technol.*, vol. 16, no. 1, pp. 1–11, Jan. 2023, doi: 10.17485/IJST/v16i1.1680.
- [4] Supriyanto and Rohmat, "Plant Monitoring Using a Web-View-Based Android Application as a Realization of the Implementation of the Smart Agriculture Concept," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 19, no. 2, pp. 78–85, 2023, doi: 10.17529/jre.v19i2.31711.
- [5] K. Koteish, H. Harb, M. Dbouk, C. Zaki, and C. Abou Jaoude, "AGRO: A smart sensing and decision-making mechanism for real-time agriculture monitoring," *J. King Saud Univ. - Comput. Inf. Sci.*, vol. 34, no. 9, pp. 7059–7069, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.jksuci.2022.06.017.
- [6] R. Tang *et al.*, "Modelling growth of chili pepper (*Capsicum annum* L.) with the Wofost model," *Agric. Syst.*, vol. 209, no. May, p. 103688, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.agsy.2023.103688.
- [7] Muh. Owen M., I. Suhardi, M. Iswal Burhan, A. Imran, and D. Ana Laila Sari, "Design Of A Prototype For Soil Moisture Monitoring And Watering Control Of Chili Plants Based On Iot (Internet Of Things) Using Blynk," *J. Electr. Eng. Informatics*, vol. 2, no. 2, pp. 99–107, Mar. 2025, doi: 10.59562/jeeni.v2i2.6800.
- [8] N. Khairunisa, H. Sunardi, and F. Antony, "Implementasi Sistem Alarm Dan Monitoring Kelembaban Tanah Dan Suhu Terhadap Tanaman Cabai Berbasis Internet of Things (Iot) Menggunakan Logika Fuzzy," *J. Intell. Networks IoT Glob.*, vol. 2, no. 1, pp. 18–29, 2024, doi: 10.36982/jinig.v2i1.4437.
- [9] A. F. Wirasena, H. Fakhrurroja, D. Pramesti, and W. Java, "Back-End Development of an Interactive Dashboard with Real- Time API Integration for Chili Plant Monitoring in Precision Agriculture," *journal.uinjkt*, vol. 18, no. 2, pp. 236–247, 2025, doi: 10.15408/jti.v18i2.46450.
- [10] A. P. Merdekawan and P. Sari, "Studi Awal Rancang Bangun Indoor Farming Monitoring System Berbasis IoT dengan Protokol Websocket," *J. Ilmu Komput. dan Agri-Informatika*, vol. 9, no. 2, pp. 189–198, 2022, doi: 10.29244/jika.9.2.189-198.
- [11] V. R. Pathmudi, N. Khatri, S. Kumar, A. S. H. Abdul-Qawy, and A. K. Vyas, "A systematic review of IoT technologies and their constituents for smart and sustainable agriculture applications," *Sci. African*, vol. 19, p. e01577, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.sciaf.2023.e01577.
- [12] E. E. K. Senoo, E. Akansah, I. Mendonça, and M. Aritsugi, "Monitoring and Control Framework for IoT, Implemented for Smart Agriculture," in *Encyclopedia of Digital Agricultural Technologies*, Cham: Springer International Publishing, 2023, pp. 1276–1276. doi: 10.1007/978-3-031-24861-0_300057.
- [13] G. Camoglu, K. Demirel, F. Kahriman, A. Akcal, and H. Nar, "Plant-based monitoring techniques to detect yield and physiological responses in water-stressed pepper," *Agric. Water Manag.*, vol. 291, no. November 2023, p. 108628, 2024, doi: 10.1016/j.agwat.2023.108628.
- [14] T. Budiyantri *et al.*, "The effect of several levels of drought stress on the growth of curly chili plants (*Capsicum annum* L.) in the early generative phase The effect of several levels of drought stress on the growth of curly chili plants (*Capsicum annum* L.) in the early ge," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1584, no. 1, pp. 1–8, 2026, doi: 10.1088/1755-1315/1584/1/012024.
- [15] A. D. Susila, K. Suketi, and M. Pratama, "Penggunaan Sensor Kelembaban Tanah untuk Penetapan Jadwal Penyiraman Tanaman Cabai melalui Irigasi Tetes Use of Soil Moisture Sensors to Determine Chili Irrigation Scheduling through Drip Irrigation," *J. Hortik. Indones.*, vol. 14, no. 200, pp. 126–132, 2023, doi: http://doi.org/10.29244/jhi.14.3.126-132.
- [16] J. B. Minani *et al.*, "IoT systems testing: Taxonomy, empirical findings, and recommendations," *J. Syst. Softw.*, vol. 226, no. January, p. 112408, Aug. 2025, doi: 10.1016/j.jss.2025.112408.
- [17] Y. Dong, B. Werling, Z. Cao, and G. Li, "Implementation of an in-field IoT system for precision irrigation management," *Front. Water*, vol. 6, no., p. 1353597, 2024, doi: 10.3389/frwa.2024.1353597.