



Perancangan Sistem IoT Untuk Smart Farming Pada Tanaman Cabai Dengan Sistem Integrasi Website

Rafa Nabil Eivandra¹, Abd. Hallim^{2*}, dan Arbansyah³

¹ Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur; Kota Samarinda, Kalimantan Timur;
e-mail : 2111102441088@umkt.ac.id

² Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur; Kota Samarinda, Kalimantan Timur;
e-mail : ah445@umkt.ac.id

³ Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur; Kota Samarinda, Kalimantan Timur;
e-mail : arb381@umkt.ac.id

* Corresponding Author : Abd. Hallim*

Abstract: The practice of chili farming in Indonesia is confronted with a number of challenges, including extreme climate conditions and limitations in irrigation management and harvest timing. The objective of this research is to design an Internet of Things (IoT) system capable of automatically and in real-time monitoring and controlling the environmental conditions of chili plants. The issues identified pertain to the suboptimal design of the manual irrigation system and the ad hoc assessment of fruit maturity. It is in Indonesia confronted with a number of challenges, including extreme climate conditions and limitations in irrigation management and harvest timing. The objective of this research is to design an Internet of Things (IoT) system capable of automatically and in real-time monitoring and controlling the environmental conditions of chili plants. The issues identified pertain to the suboptimal design of the manual irrigation system and the ad hoc assessment of fruit maturity.

Keywords: IoT; Smart Agriculture; Chili Crop; Monitoring; Automatic Irrigation; Notification.

Abstrak: Pertanian cabai di Indonesia menghadapi tantangan seperti iklim ekstrem dan keterbatasan dalam pengelolaan irigasi serta penentuan waktu panen. Penelitian ini bertujuan merancang sistem berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu memantau dan mengendalikan kondisi lingkungan tanaman cabai secara otomatis dan real-time. Permasalahan yang diangkat adalah belum optimalnya sistem irigasi manual dan penentuan kematangan buah yang masih bersifat subjektif. Untuk menjawab permasalahan tersebut, penelitian ini menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP32 yang terintegrasi dengan sensor kelembaban tanah, sensor suhu DS18B20, dan sensor warna (TCS3200) serta aktuatur berupa pompa air dan motor servo untuk mengatur sistem irigasi dan posisi paranet. Data dari sensor dikirim ke aplikasi web berbasis PHP dan disimpan dalam database MySQL, serta dikomunikasikan melalui Telegram Bot API untuk notifikasi pengguna. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menjalankan penyiraman otomatis ketika suhu >30°C atau kelembaban <60%, mengatur buka-tutup paranet secara otomatis berdasarkan suhu, serta mendeteksi tingkat kematangan cabai berdasarkan warna dengan akurasi tinggi. Sistem juga berhasil mengirimkan notifikasi melalui Telegram secara tepat waktu dan menampilkan data secara real-time melalui web. Gagasan utama dari penelitian ini adalah menciptakan ekosistem smart farming yang terintegrasi dan efisien, yang mampu meningkatkan produktivitas dan kualitas hasil panen. Kesimpulannya, sistem IoT yang dirancang terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi budidaya cabai melalui pemantauan lingkungan otomatis, kontrol berbasis data, dan pengendalian jarak jauh berbasis web dan Telegram.

Kata kunci: IoT; Pertanian Cerdas; Tanaman Cabai; Pemantauan; Irigasi Otomatis; Notifikasi.

Received: June 23, 2025

Revised: June 25, 2025

Accepted: July 327 2025

Published: July 31, 2025

Curr. Ver.: July 31, 2025



Copyright: © 2025 by the authors.
Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY SA) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)

1. Pendahuluan

Pertanian memiliki peran penting dalam memenuhi kebutuhan pangan masyarakat. Salah satu komoditas hortikultura yang banyak dibudidayakan di Indonesia adalah cabai (*Capsicum annuum L.*), yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan permintaan pasar yang stabil [3]. Namun, produksi cabai menghadapi berbagai tantangan, seperti peningkatan suhu, perubahan pola curah hujan, dan kejadian cuaca ekstrem menyebabkan penurunan produktivitas, peningkatan tekanan hama dan penyakit, serta penurunan kesuburan tanah [15]. Oleh karena itu, diperlukan inovasi dalam teknologi pertanian untuk meningkatkan produktivitas budidaya tanaman cabai.

Produksi cabai di Indonesia menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir. BPS mencatat bahwa jumlah produksi cabai besar sebesar 1,36 juta ton, cabai rawit sebesar 1,39 juta ton dan paprika sebesar 12.665 ton pada 2021 [6]. Pada tahun 2023, Produksi cabai total (cabai merah dan cabai rawit) di Indonesia sebesar 3,11 juta ton [4]. Dengan produksi yang cukup tinggi, Indonesia mempunyai potensi pasar yang bagus di perdagangan dunia [14]. Konsumsi cabai per kapita juga meningkat, dengan total kebutuhan cabai besar untuk konsumsi rumah tangga nasional pada tahun 2023 mencapai 675 ribu ton, naik 5,7% dibandingkan tahun sebelumnya [1] [10].

Salah satu faktor kunci kesuksesan budidaya cabai adalah pengelolaan kelembaban tanah yang tepat [7]. Tanah merupakan media tumbuh yang ideal bagi tanaman, sehingga tanaman akan tumbuh subur dan memiliki produktivitas yang baik jika ditanam di tanah [8]. Faktor kelembaban sangat penting bagi tanah untuk proses pelapukan mineral dan bahan organik tanah, selain itu juga sebagai media gerak unsur hara ke akar-akar tanaman [15]. Dampak dari kelembaban tanah jika tidak sesuai akan menyebabkan penurunan hasil panen dan kualitas buah yang rendah [9]. Dengan merancang bangun suatu alat untuk melakukan penyiraman tanaman secara otomatis dengan memanfaatkan sensor kelembaban tanah [10]. Sensor tersebut akan mendeteksi tingkat kelembaban dan mengaktifkan atau menonaktifkan saluran penyiraman sesuai dengan kebutuhan tanaman [30].

Saat ini, metode penyiraman yang masih dilakukan secara manual memiliki beberapa kelemahan, seperti kurang efisien dalam penggunaan waktu dan tenaga [11] [28]. Selain itu, penyiraman secara manual dapat menyebabkan pemborosan air dan meningkatkan risiko tanaman mengalami kelayuan akibat ketidaktepatan dalam pemberian air [12]. Seiring dengan perkembangan teknologi, penyiraman tanaman cabai kini dapat dikendalikan melalui sistem pengairan otomatis yang memungkinkan pemantauan serta pengoperasian dari jarak jauh dengan memanfaatkan teknologi Internet of Things (IoT), sehingga proses pengairan menjadi lebih efisien dan terkontrol [13]. Adanya IoT dapat mengubah kegiatan pertanian khususnya sistem irigasi pada tanaman, tanpa harus berada pada suatu lokasi tempat instalasi perangkat [8]. Selain itu, Sebagian besar petani masih menggunakan metode tradisional dalam menentukan tingkat kematangan cabai, yaitu dengan melakukan pengamatan visual secara langsung [14]. Namun, metode ini memiliki beberapa keterbatasan, seperti kurangnya ketepatan dalam menilai kematangan, perbedaan persepsi antar individu dalam menentukan tingkat kematangan, serta sulitnya melakukan pemantauan secara berkala dalam skala lahan yang luas [15]. Selain itu, proses pematangan cabai juga dipengaruhi oleh faktor lingkungan, seperti suhu dan kelembaban tanah [16]. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem yang mampu memantau kondisi tanaman secara otomatis dan akurat guna mendukung penentuan waktu panen yang lebih optimal.

Tanaman cabai rawit dapat tumbuh optimal pada kelembaban tanah 60%-80% dengan suhu udara Rata-rata 18°C-30°C [13]. Rata-rata suhu udara di Samarinda berkisar antara 26,4°C hingga 27,4°C. Misalnya, pada bulan Maret 2023, suhu rata-rata tercatat 26,4°C, sedangkan pada Januari 2024 mencapai 27,4°C. Sedangkan Kelembaban relatif rata-rata di Samarinda cukup tinggi, sekitar 85% hingga 89%. Pada Januari 2024, kelembaban rata-rata mencapai 85%, sementara pada Agustus 2024 mencapai 89%. Penelitian lain mencatat bahwa kelembaban tanah di Samarinda pada kedalaman 5 cm berada dalam rentang 78,5% hingga 79,4%, yang menunjukkan bahwa wilayah ini memiliki potensi yang baik untuk budidaya cabai

[20]. Pengairan merupakan proses pemberian air yang bertujuan untuk memenuhi kebutuhan akar tanaman agar dapat tumbuh secara optimal, terutama pada musim kemarau.

Kemudian, penggunaan paranet sebagai naungan dalam mengurangi intensitas cahaya matahari yang langsung mengenai tanaman, sehingga dapat menciptakan lingkungan tumbuh yang lebih kondusif [17]. Tingkat kerapatan paranet berperan dalam mengatur jumlah cahaya yang diterima tanaman, di mana cahaya yang lebih terkontrol dapat mendukung pertumbuhan vegetatif secara lebih optimal dibandingkan dengan kondisi tanpa naungan [20]. Selain itu, penggunaan paranet tidak hanya berfungsi dalam mengendalikan intensitas cahaya, tetapi juga berkontribusi dalam memperbaiki sirkulasi udara dan meningkatkan kelembaban di sekitar tanaman, yang pada akhirnya berdampak positif terhadap kesehatan dan produktivitas tanaman [21].

Teknologi Internet of Things (IoT) telah diterapkan dalam sistem pertanian modern atau smart farming [22]. IoT memungkinkan pemantauan dan pengendalian kondisi lingkungan secara real-time melalui sensor dan aktuator yang terhubung ke jaringan internet [18]. Dalam budidaya cabai, sistem IoT memungkinkan petani untuk memantau kondisi lingkungan dan tanaman secara lebih efektif dan mengambil keputusan berdasarkan data yang akurat [23] [30]. Sistem pemantauan otomatis berbasis IoT memungkinkan pengumpulan data secara real-time menggunakan sensor dan kamera untuk mendeteksi perubahan warna. Data yang dikumpulkan dapat diproses secara otomatis untuk memberikan informasi kepada petani mengenai tingkat kematangan cabai [26].

Salah satu aspek penting dalam penerapan teknologi IoT pada pertanian adalah integrasi dengan sistem berbasis web [25]. Sistem ini memungkinkan pengguna untuk mengakses data dari perangkat IoT secara jarak jauh melalui aplikasi berbasis web, sehingga pemantauan dan pengendalian dapat dilakukan dengan lebih fleksibel dan efisien [2]. Dengan adanya sistem ini, petani dapat mengatur kebutuhan air dan pupuk tanaman cabai berdasarkan data real-time yang tersedia, yang pada akhirnya dapat meningkatkan hasil panen serta mengurangi pemborosan sumber daya.

Meskipun produksi meningkat, sistem pertanian tradisional di Indonesia masih menghadapi berbagai keterbatasan yang mempengaruhi efisiensi dan produktivitas [27]. Banyak petani masih mengandalkan teknologi pertanian tradisional yang kurang efisien dan produktif [1] [29]. Selain itu, infrastruktur yang buruk, seperti jalan yang tidak memadai dan sistem irigasi yang tidak memadai, menjadi kendala besar bagi pertanian di desa [28]. Keterbatasan akses terhadap teknologi modern, seperti traktor, mesin panen, dan alat pemrosesan pascapanen, juga menghambat produktivitas. Akibatnya, petani harus melakukan pekerjaan secara manual atau mengandalkan peralatan tradisional.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang perangkat IoT yang dapat melakukan pemantauan dan pengendalian terhadap kelembaban tanah dan suhu pada tanaman cabai. Mengimplementasikan sistem berbasis web yang dapat mengintegrasikan data dari perangkat IoT agar dapat dikontrol secara jarak jauh oleh pengguna. Menganalisis kinerja dan efektivitas sistem IoT yang dirancang dalam mendukung peningkatan produktivitas tanaman cabai. Mengevaluasi kinerja sistem yang dirancang dalam berbagai kondisi lingkungan untuk memastikan akurasi dan keandalan data yang dihasilkan.

Berdasarkan permasalahan dan peluang yang telah dijelaskan, penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem IoT yang terintegrasi dengan web guna mendukung smart farming pada tanaman cabai. Sistem ini diharapkan dapat menjadi solusi dalam mengoptimalkan proses budidaya cabai secara lebih efisien dan presisi.

2. Kajian Pustaka atau Penelitian Terkait

Seiring berkembangnya teknologi Internet of Things (IoT), penerapan sistem otomatisasi dalam bidang pertanian mengalami kemajuan signifikan. Berbagai penelitian sebelumnya telah mengkaji integrasi teknologi ini untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas, terutama dalam sektor pertanian hortikultura seperti cabai.

Penelitian oleh Prasetyo dan Abdullah (2021) menunjukkan bahwa sistem monitoring berbasis IoT efektif dalam memantau suhu dan kelembaban lahan pertanian secara real-time, namun tidak mencakup fungsi pengambilan keputusan otomatis berbasis data sensor. Sementara itu, studi oleh Khoirie (2022) mengembangkan sistem irigasi otomatis untuk tanaman hortikultura, tetapi belum mengintegrasikan kontrol berbasis web maupun notifikasi real-time ke pengguna. Romadan et al. (2024) melakukan pengamatan terhadap penggunaan sensor lingkungan dalam mendeteksi kematangan buah, namun sistem mereka masih membutuhkan validasi manual tanpa notifikasi otomatis. Di sisi lain, Yudiana et al. (2024) merancang sistem penyiraman otomatis berbasis sensor kelembaban tanah, tetapi tidak menyertakan kendali melalui Telegram maupun fitur pemantauan visual berbasis sensor warna (TCS3200). Sebagian besar penelitian terdahulu menggunakan kombinasi sensor kelembaban dan suhu, serta mikrokontroler seperti Arduino atau ESP8266. Namun, penelitian ini menambahkan nilai dengan menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP32 yang memiliki konektivitas Wi-Fi yang lebih stabil, serta memanfaatkan sensor TCS3200 untuk mendeteksi tingkat kematangan buah cabai berdasarkan warna. Adapun kesenjangan (research gap) yang berhasil diidentifikasi adalah: 1) Kurangnya integrasi antara sistem IoT dengan dashboard berbasis web dan Telegram untuk kontrol jarak jauh. 2) Minimnya pemanfaatan sensor warna (TCS3200) dalam penentuan waktu panen secara otomatis. 3) Belum adanya sistem yang mampu mengontrol paranet berdasarkan suhu udara secara dinamis dan otomatis.

Penelitian ini menawarkan solusi inovatif dengan menggabungkan seluruh aspek tersebut dalam satu sistem terintegrasi. Sistem tidak hanya mampu melakukan monitoring dan penyiraman otomatis berdasarkan suhu dan kelembaban tanah, tetapi juga menginformasikan status tanaman melalui Telegram serta memungkinkan kontrol manual dan otomatis melalui antarmuka berbasis web.

Dengan pendekatan ini, penelitian ini memberikan kontribusi nyata dalam mewujudkan konsep smart farming yang lebih canggih dan aplikatif dibandingkan dengan penelitian terdahulu, khususnya pada budidaya tanaman cabai.

3. Metode yang Diusulkan

Penelitian ini berfokus pada perancangan dan penerapan sistem berbasis Internet of Things (IoT) untuk mendukung sistem smart farming pada tanaman cabai. Sistem ini dirancang untuk memantau dan mengendalikan kondisi lingkungan tanaman cabai secara otomatis melalui pengumpulan data real-time dari berbagai sensor yang terpasang di sekitar tanaman. Beberapa alat utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah NodeMCU ESP32 sebagai mikrokontroler utama, yang berfungsi untuk menghubungkan semua perangkat melalui jaringan WiFi, memungkinkan komunikasi nirkabel antar perangkat dalam sistem IoT. Mikrokontroler ini akan mengumpulkan data dari berbagai sensor, seperti sensor kelembaban tanah (Soil Moisture) dan sensor suhu (DS18B20). Data yang diperoleh dari sensor tersebut akan diproses dan dikirimkan ke aplikasi berbasis web, yang dapat diakses secara real-time oleh petani untuk pengambilan keputusan yang lebih efisien dan tepat.

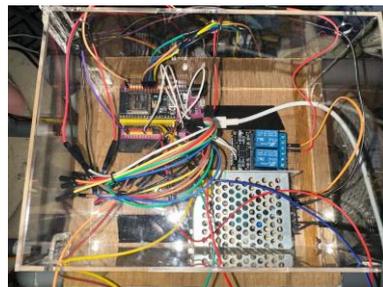
Penelitian ini menggunakan berbagai alat dan bahan untuk mendukung proses perancangan sistem IoT dan integrasi dengan website. Berikut adalah rincian alat dan bahan yang digunakan: 1) Perangkat keras (NodeMCU ESP32, Expansion Board, Sensor Soil Moisture, Sensor Suhu DS18B20, Relay Module 5V, Sensor Warna (TCS3200), Motor Servo 360, Pompa DC Mini 5V). 2) Perangkat lunak (Arduino IDE, PHP dan MySQL, Telegram BOT API, Message Queuing Telemetry Transport (MQTT), Web Server (XAMPP).

Penelitian ini dilakukan secara sistematis dengan beberapa tahapan yang dirancang untuk memastikan bahwa sistem yang dikembangkan dapat berfungsi secara optimal sesuai dengan tujuan penelitian. Tahapan penelitian ini meliputi analisis kebutuhan sistem, spesifikasi kebutuhan sistem, perancangan sistem, implementasi sistem, uji lapangan pada sistem, serta pengujian dan evaluasi akhir.

Sistem ini akan mengumpulkan data dari berbagai sensor untuk memantau kondisi tanaman cabai, seperti kelembaban tanah menggunakan sensor kelembaban tanah (soil moisture

sensor), suhu udara dengan sensor DS18B20, dan perubahan warna buah cabai menggunakan sensor TCS3200. Data yang diperoleh dari sensor-sensor tersebut akan diproses oleh mikro-kontroler NodeMCU V3 ESP32, yang kemudian mengirimkan informasi tersebut ke server atau aplikasi berbasis web. Aplikasi ini akan mengolah data untuk melakukan analisis lebih lanjut dan menentukan langkah-langkah yang perlu diambil, seperti mengaktifkan sistem irigasi otomatis jika kelembaban tanah terdeteksi rendah, atau menggerakkan motor servo untuk menyesuaikan posisi paranet apabila suhu panas matahari tidak sesuai dengan kondisi yang optimal bagi tanaman. Dengan menggunakan logika kontrol berbasis data yang diterima, sistem ini dapat mengoptimalkan pengelolaan tanaman secara otomatis dan efisien.

4. Hasil dan Pembahasan



Gambar 1. Rangkaian sistem smart farming

In Pada bagian ini, penulis perlu menjelaskan perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan, sumber dataset, analisis data awal, hasil, serta analisis atau pembahasan hasil. Penyajian hasil menggunakan gambar, grafik, dan tabel sangat dianjurkan. Selain itu, rumus atau alat ukur evaluasi juga harus disertakan di bagian ini. Harus ada diskusi atau analisis; tidak hanya menuliskan ulang hasil dalam bentuk kalimat, tetapi juga menjelaskan keterkaitannya dengan hipotesis awal. Selain itu, bagian ini harus membahas dan menguraikan temuan-temuan penting dari penelitian.

Pengujian dilaksanakan untuk menilai sejauh mana sistem pertanian cerdas yang dirancang mampu bekerja sesuai dengan rancangan teknis yang telah ditetapkan. Tahapan pengujian mencakup observasi terhadap seluruh komponen yang digunakan, termasuk sensor kelembaban tanah, sensor suhu, sensor warna (TCS3200), serta perangkat aktuator seperti pompa air dan motor servo. Selain itu, dilakukan pula penilaian terhadap kemampuan sistem dalam mengolah dan menampilkan data pada antarmuka web serta ketepatan pengiriman informasi melalui notifikasi Telegram. Evaluasi dilakukan dalam berbagai kondisi lingkungan untuk mengetahui respons sistem terhadap nilai ambang batas yang telah ditentukan serta kestabilan kerja perangkat dalam durasi waktu tertentu. Hasil dari pengujian ini menjadi acuan dalam memastikan bahwa sistem telah bekerja dengan baik dan sesuai dengan fungsinya, serta menjadi pertimbangan apabila diperlukan perbaikan atau penyempurnaan pada bagian tertentu.

4.1 Kalibrasi Sensor

Kalibrasi sensor dalam penelitian ini difokuskan pada pengamatan kestabilan tegangan output yang dihasilkan oleh masing-masing sensor. Proses ini bertujuan untuk memastikan bahwa tegangan yang dibaca dari sensor tetap berada dalam rentang yang konsisten dan tidak mengalami fluktuasi yang signifikan dalam kondisi lingkungan yang serupa. Dengan demikian, dapat diketahui apakah sensor bekerja secara normal dan dapat diandalkan sebelum digunakan dalam sistem secara keseluruhan. Kalibrasi sensor Tabel 1 dapat dilihat pada lampiran.

Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan dalam Tabel 1, diketahui bahwa ketiga jenis sensor yang digunakan memiliki tegangan keluaran yang stabil dalam berbagai kondisi. Sensor suhu DS18B20 menghasilkan tegangan sebesar 3,04 V saat suhu di bawah 30°C dengan hasil pengukuran 27,69°C, dan sebesar 3,23 V saat suhu melebihi 30°C dengan hasil pengukuran 33,19°C. Pada sensor kelembaban tanah, diperoleh tegangan sebesar 3,22 V pada tingkat kelembaban 40% (di bawah 60%) dan 3,21 V pada kelembaban 71% (di atas 60%), yang menunjukkan perbedaan tegangan yang sangat kecil. Sementara itu, sensor warna

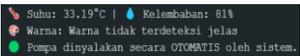
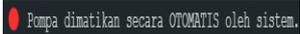
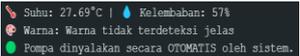
(TCS3200) menunjukkan tegangan tetap sebesar 3,25 V saat mendeteksi warna merah, kuning, dan hijau. Nilai tegangan yang konsisten tersebut menunjukkan bahwa sistem sensor telah bekerja secara stabil dan tidak ditemukan adanya gangguan tegangan selama proses pengujian, sehingga sensor dinilai layak untuk digunakan dalam sistem secara keseluruhan.

4.2 Pengujian Fungsional Sistem

4.2.1. Hasil Pengujian Penyiraman Otomatis

Data hasil pengujian penyiraman otomatis dapat dilihat pada tabel 2 :

Tabel 2. Data Hasil Pengujian Penyiraman Otomatis

NO.	KATEGORI	KELEMBABAN	STATUS	HASIL PENGUJIAN
	SUHU	TANAH	POMPA	
1	<30°C	>60%	Mati	
2	>30°C	>60%	Nyala	
3	<30°C	>60%	Mati	
4	<30°C	<60%	Nyala	

Tabel 2 menyajikan hasil pengujian sistem pengendalian pompa air otomatis yang bekerja berdasarkan parameter suhu udara dan kelembaban tanah. Sistem dirancang untuk menyalakan pompa ketika kelembaban tanah berada di bawah 60%, baik pada kondisi suhu tinggi (>30°C) maupun rendah (<30°C), karena kondisi tersebut menunjukkan tanah dalam keadaan kering. Sebaliknya, apabila kelembaban tanah melebihi 60% dan suhu berada di bawah 30°C, pompa tidak diaktifkan karena tanah dianggap cukup lembab. Namun, pada kondisi suhu tinggi dengan kelembaban tanah yang juga tinggi, pompa tetap diaktifkan, mengindikasikan bahwa suhu turut menjadi pertimbangan penting dalam pengambilan keputusan. Hasil pengujian yang ditampilkan mencakup informasi suhu, kelembaban, status warna tanaman, serta status pompa, yang menunjukkan bahwa sistem telah mampu merespons kondisi lingkungan secara otomatis dan tepat sesuai dengan parameter yang telah ditentukan.

4.2.2. Hasil Pengujian Proses Pematangan Buah

Pengujian proses pemantauan kematangan buah dilakukan dengan membaca nilai dari sensor warna (TCS3200). Sensor ini mendeteksi perubahan warna yang berkaitan dengan tingkat kematangan buah. Nilai warna yang terbaca ditampilkan pada serial monitor dalam format tertentu, seperti RGB, dan dibandingkan dengan data referensi. Apabila warna yang terdeteksi sesuai dengan indikator kematangan, sistem memberikan notifikasi bahwa buah telah mencapai tahap matang.

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Proses Pematangan Cabai

NO.	STATUS WARNA	STATUS PANEN	HASIL PENGUJIAN
1	Hijau	Belum Siap Panen	
2	Kuning	Belum Siap Panen	
3	Merah	Siap Panen	

Tahapan pengujian mencakup proses identifikasi tiga kategori warna, yaitu hijau, kuning, dan merah, yang masing-masing mewakili kondisi belum matang hingga siap panen. Sampel

cabai dengan warna yang berbeda didekatkan ke sensor warna (TCS3200), kemudian hasil pembacaan diproses oleh mikrokontroler dan ditampilkan melalui Serial Monitor pada perangkat lunak Arduino IDE. Berdasarkan pengamatan, warna hijau dan kuning diinterpretasikan sebagai kondisi “Belum Siap Dipanen”, sementara warna merah menunjukkan “Siap Dipanen”. Hasil ini mengindikasikan bahwa sistem mampu mengenali warna dengan tepat dan memberikan keluaran informasi yang sesuai terhadap kondisi kematangan cabai, sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan waktu panen yang optimal.

4.2.3. Hasil Pengujian Proses Pematangan Buah

Pengujian proses pemantauan kematangan buah dilakukan dengan membaca nilai dari sensor warna (TCS3200). Sensor ini mendeteksi perubahan warna yang berkaitan dengan tingkat kematangan buah. Nilai warna yang terbaca ditampilkan pada serial monitor dalam format tertentu, seperti RGB, dan dibandingkan dengan data referensi. Apabila warna yang terdeteksi sesuai dengan indikator kematangan, sistem memberikan notifikasi bahwa buah telah mencapai tahap matang.

Tabel 4. Data Hasil Pengujian Proses Pematangan Cabai

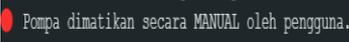
NO.	STATUS WARNA	STATUS PANEN	HASIL PENGUJIAN
1	Hijau	Belum Siap Panen	
2	Kuning	Belum Siap Panen	
3	Merah	Siap Panen	

Tahapan pengujian mencakup proses identifikasi tiga kategori warna, yaitu hijau, kuning, dan merah, yang masing-masing mewakili kondisi belum matang hingga siap panen. Sampel cabai dengan warna yang berbeda didekatkan ke sensor warna (TCS3200), kemudian hasil pembacaan diproses oleh mikrokontroler dan ditampilkan melalui Serial Monitor pada perangkat lunak Arduino IDE. Berdasarkan pengamatan, warna hijau dan kuning diinterpretasikan sebagai kondisi “Belum Siap Dipanen”, sementara warna merah menunjukkan “Siap Dipanen”. Hasil ini mengindikasikan bahwa sistem mampu mengenali warna dengan tepat dan memberikan keluaran informasi yang sesuai terhadap kondisi kematangan cabai, sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan waktu panen yang optimal.

4.2.4. Hasil Pengujian Penyiraman Manual

Fitur penyiraman manual memungkinkan pengguna melakukan penyiraman secara langsung melalui perintah dari antarmuka berbasis web. Pengujian dilakukan dengan mengirimkan perintah manual dan mengamati respons sistem pada serial monitor. Hasil yang ditampilkan menunjukkan bahwa perintah berhasil dijalankan, dan pompa air diaktifkan meskipun tingkat kelembaban tanah dan suhu masih tergolong cukup.

Tabel 5. Data Hasil Pengujian Penyiraman Manual

NO.	PERINTAH MANUAL	STATUS POMPA	HASIL PENGUJIAN
1	ON	Nyala	
2	OFF	Mati	

Pengujian fitur penyiraman manual dilakukan untuk mengevaluasi respons sistem terhadap perintah langsung dari pengguna. Uji coba ini melibatkan dua skenario, yaitu ketika pengguna memberikan perintah on untuk mengaktifkan pompa, dan off untuk memamatkannya. Pada saat perintah on dijalankan, pompa menyala dan sistem menampilkan pesan bahwa

pompa telah dinyalakan secara manual oleh pengguna, ditandai dengan indikator visual berwarna hijau. Sementara itu, saat perintah off diberikan, pompa dalam keadaan mati dan muncul keterangan bahwa pompa telah dimatikan secara manual, disertai indikator berwarna merah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menjalankan fungsi penyiraman manual dengan baik sesuai perintah yang diberikan, serta memberikan umpan balik informasi yang jelas kepada pengguna melalui tampilan *monitoring*.

4.2.5. Hasil Pengujian Kontrol Paranet

Pengujian terhadap kontrol penutup paranet dilakukan dengan mensimulasikan kondisi suhu tinggi berlebih. Ketika kondisi tersebut terdeteksi oleh sensor, sistem menggerakkan motor servo untuk membuka atau menutup paranet sesuai kebutuhan. Serial monitor menampilkan status perubahan posisi penutup serta sudut pergerakan motor servo sebagai respon terhadap data yang terbaca.

Tabel 6. Data Hasil Pengujian Kontrol Paranet

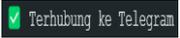
NO.	STATUS SUHU	STATUS PARANET	HASIL PENGUJIAN
1	<30°C	Terbuka	
2	>30°C	Tertutup	

Sistem dirancang agar paranet berada dalam kondisi terbuka apabila suhu berada di bawah 30°C, dan tertutup saat suhu melebihi nilai tersebut. Berdasarkan hasil pengujian, ketika suhu terdeteksi kurang dari 30°C, paranet akan terbuka dan sistem menampilkan informasi bahwa paranet dalam kondisi terbuka disertai keterangan suhu berada pada kondisi normal, lengkap dengan data suhu. Sebaliknya, saat suhu melebihi 30°C, paranet akan tertutup secara otomatis, dan sistem memberikan informasi bahwa suhu tinggi telah terdeteksi, serta menampilkan data suhu yang sama. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa sistem mampu menjalankan fungsi pengendalian paranet secara otomatis berdasarkan nilai ambang suhu yang telah ditetapkan, serta memberikan keluaran informasi yang sesuai dengan kondisi lingkungan.

4.2.6. Hasil Pengujian Koneksi Server

Stabilitas koneksi sistem dengan server diuji untuk memastikan bahwa data dari sensor dapat dikirimkan secara berkala ke platform pemantauan. Serial monitor memberikan informasi terkait status jaringan, seperti alamat IP serta notifikasi berhasil atau gagalnya koneksi ke server.

Tabel 7. Data Hasil Pengujian Status Koneksi Server

NO.	SOFTWARE	STATUS KONEKSI	HASIL PENGUJIAN
1	Telegram	Tersambung	
2	Website	Tersambung	

Pengujian koneksi server dilakukan untuk memverifikasi keberhasilan sistem dalam menjalin komunikasi dengan perangkat lunak eksternal, yaitu Telegram dan website. Pada saat pengujian, sistem menunjukkan bahwa koneksi dengan Telegram berhasil dilakukan, yang ditandai dengan munculnya pesan bahwa perangkat telah terhubung ke Telegram. Selain itu, sistem juga berhasil tersambung dengan web server, dengan indikator berupa pesan bahwa web server siap menerima data. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan koneksi secara stabil ke kedua platform yang digunakan sebagai media pemantauan dan pengiriman data, sehingga dapat mendukung fungsi pengawasan dan pengendalian jarak jauh secara efektif.

4.2.7. Hasil Pengujian Pengiriman Data ke Server

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan sistem dapat mengirim data sensor ke server lokal. Data yang dikirim meliputi suhu, kelembaban tanah, tingkat kematangan buah, dan status pompa, dalam format parameter URL. Setelah pengiriman, sistem menerima respons dari server dalam bentuk JSON yang menyatakan bahwa data berhasil disimpan. Hasil ini menunjukkan bahwa proses komunikasi antara mikrokontroler dan server berjalan dengan baik dan sesuai fungsi yang dirancang.

Tabel 8. Data Hasil Pengujian Pengiriman Data ke Server

NO.	STATUS DATA	HASIL PENGUJIAN
1	BERHASIL	

Pengujian pengiriman data bertujuan untuk memastikan bahwa sistem dapat mengirimkan hasil pembacaan sensor ke server dengan benar. Data yang dikirim mencakup informasi suhu, kelembaban, tingkat kematangan cabai, status panen, dan kondisi pompa. Proses pengiriman dilakukan melalui alamat server lokal menggunakan metode HTTP. Berdasarkan hasil pengujian, data berhasil diteruskan ke server dan sistem menerima respons berupa status "success" dengan keterangan bahwa data sensor berhasil disimpan. Hasil ini membuktikan bahwa sistem mampu melakukan proses pengiriman data secara tepat dan server mampu menerima serta menyimpan data dengan baik.

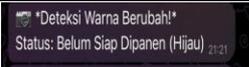
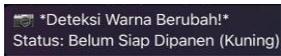
a. Pengujian Telegram

Pengujian fitur notifikasi melalui aplikasi Telegram bertujuan untuk menilai kemampuan sistem dalam menyampaikan informasi secara langsung kepada pengguna terkait kondisi tanaman cabai yang bersifat krusial, seperti tingkat kematangan buah dan kebutuhan akan penyiraman. Pengujian dilakukan berdasarkan tiga skenario utama, yakni pengiriman notifikasi saat buah cabai mencapai tingkat kematangan tertentu, pemberitahuan ketika sistem melakukan penyiraman otomatis, serta respon sistem terhadap perintah penyiraman manual yang diberikan melalui antarmuka web.

1) Hasil Pengujian Notifikasi Pematangan Cabai

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mengenali tingkat kematangan buah cabai dan menyampaikan informasi tersebut melalui notifikasi Telegram. Sensor warna (TCS3200) digunakan untuk membedakan warna buah menjadi tiga kategori, yaitu hijau (belum matang), kuning (hampir matang), dan merah (matang). Apabila sensor mendeteksi warna merah, sistem akan mengirimkan pesan otomatis ke aplikasi Telegram sebagai penanda bahwa cabai telah mencapai kematangan dan siap untuk dipanen. Pengujian dilakukan dengan mengarahkan sensor pada buah cabai dengan tingkat kematangan yang berbeda. Berdasarkan hasil pengamatan, sistem dapat mengirimkan notifikasi secara tepat sesuai kondisi buah yang terdeteksi.

Tabel 9. Hasil Pengujian Notifikasi Proses Pematangan Cabai

NO.	STATUS WARNA	STATUS PANEN	HASIL PENGUJIAN
1	Hijau	Belum Siap Panen	
2	Kuning	Belum Siap Panen	
3	Merah	Sudah Siap Panen	

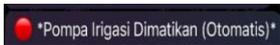
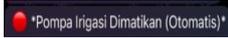
Tabel 8 memperlihatkan hasil pengujian sistem notifikasi yang terhubung dengan aplikasi Telegram dalam mendeteksi tingkat kematangan buah cabai berdasarkan warna. Warna hijau dan kuning menunjukkan bahwa cabai belum layak panen, sedangkan warna merah menandakan

bahwa cabai sudah siap untuk dipanen. Setiap perubahan warna yang terdeteksi oleh sensor akan memicu pengiriman pesan ke Telegram dengan keterangan yang sesuai, seperti "Status: Belum Siap Dipanen (Hijau)" hingga "Status: Siap Dipanen (Merah)". Berdasarkan pengujian, sistem mampu memberikan informasi yang sesuai dengan kondisi buah secara tepat waktu dan mendukung kemudahan pemantauan bagi pengguna.

2) Hasil Pengujian Notifikasi Penyiraman Otomatis

Pengujian pada fitur penyiraman otomatis dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam merespons perubahan kondisi lingkungan, khususnya suhu udara dan kelembaban tanah. Penyiraman akan diaktifkan apabila suhu melebihi 30°C atau tingkat kelembaban tanah berada di bawah 60%, sesuai dengan parameter yang telah ditetapkan. Ketika salah satu kondisi tersebut terpenuhi, sistem akan menyalakan pompa air secara otomatis dan mengirimkan pemberitahuan melalui aplikasi Telegram.

Tabel 10. Hasil Pengujian Notifikasi Penyiraman Otomatis

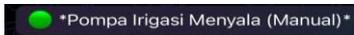
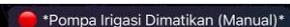
NO.	STATUS SUHU	STATUS		HASIL PENGUJIAN
		KELEMBABAN TANAH	POMPA	
1	<30°C	>60%	Mati	
2	>30°C	>60%	Nyala	
3	<30°C	>60%	Mati	
4	<30°C	<60%	Nyala	

Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan pada tabel 10, sistem penyiraman otomatis beroperasi dengan mempertimbangkan dua indikator, yaitu suhu udara dan kelembaban tanah. Pompa irigasi akan menyala apabila suhu melebihi 30°C atau kelembaban tanah berada di bawah 60%. Pada pengujian pertama dan ketiga, kondisi lingkungan masih tergolong normal karena suhu di bawah 30°C dan kelembaban tanah melebihi 60%, sehingga pompa tetap dalam keadaan tidak aktif. Sebaliknya, pada pengujian kedua, suhu tercatat lebih dari 30°C meskipun kelembaban tanah masih tinggi, sehingga sistem tetap mengaktifkan pompa. Hal serupa terjadi pada pengujian keempat, di mana suhu masih normal, namun kelembaban tanah turun di bawah ambang batas, sehingga pompa juga dinyalakan. Setiap perubahan status pompa disertai dengan pengiriman informasi melalui aplikasi Telegram, yang mencantumkan data suhu dan kelembaban pada saat itu.

3) Hasil Pengujian Notifikasi Penyiraman Manual

Pengujian ini dilakukan untuk menilai fungsionalitas penyiraman manual yang dapat dioperasikan melalui antarmuka web. Saat pengguna memberikan perintah penyiraman melalui *Dashboard Web*, sistem akan mengaktifkan pompa air dan mengirimkan notifikasi konfirmasi ke Telegram. Proses ini menunjukkan bahwa sistem tidak hanya dapat dijalankan secara otomatis, tetapi juga mendukung kontrol manual dari jarak jauh. Uji coba dilakukan beberapa kali untuk mengetahui keandalan sistem dalam merespons perintah.

Tabel 11. Hasil Pengujian Notifikasi Penyiraman Manual

NO.	STATUS	HASIL PENGUJIAN
	POMPA	
1	NYALA	
2	MATI	

Tabel 11 menjelaskan hasil pengujian terhadap fitur penyiraman manual yang dikendalikan melalui antarmuka web. Pada pengujian ini, pengguna diberi kendali langsung untuk menyalakan dan mematikan pompa irigasi tanpa dipengaruhi oleh data sensor. Saat pompa diaktifkan secara

manual, sistem mengirimkan notifikasi ke Telegram dengan pesan "Pompa Irigasi Menyala (Manual)". Sebaliknya, saat pompa dimatikan melalui perintah manual, sistem juga memberikan notifikasi yang menyatakan "Pompa Irigasi Dimatikan (Manual)". Berdasarkan hasil pengujian, fitur penyiraman manual dapat berfungsi dengan baik dan sistem mampu memberikan informasi status pompa secara akurat kepada pengguna.

b. Evaluasi Kinerja Notifikasi Telegram

Pengujian sistem Telegram dilakukan dalam tiga skenario: notifikasi pematangan cabai, penyiraman otomatis, dan penyiraman manual. Dua parameter utama dievaluasi: 1) Average Delay: waktu rata-rata dari saat kondisi dipicu hingga notifikasi diterima pengguna. 2) Success Rate: persentase notifikasi yang berhasil diterima dari total notifikasi yang dikirim.

Tabel 12. Evaluasi Kinerja Notifikasi Telegram

NO.	Jenis Notifikasi	Rata-rata Delay (detik)	Success Rate (%)
1	Pematangan Cabai	2,4	100%
2	Penyiraman Otomatis	2,7	100%
3	Penyiraman Manual	2,1	100%

Nilai delay masih berada dalam rentang respons real-time (<3 detik), dan semua notifikasi berhasil dikirim dan diterima dengan baik oleh pengguna.

c. Pengujian Website

Pengujian terhadap sistem website bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh komponen yang terintegrasi dengan teknologi *Internet of Things* (IoT) dalam proses budidaya tanaman cabai dapat beroperasi secara optimal sesuai dengan desain sistem yang telah dirancang. Website berfungsi sebagai antarmuka utama yang digunakan oleh pengguna untuk melakukan pemantauan dan pengendalian sistem secara jarak jauh. Melalui halaman web yang telah dikembangkan, pengguna dapat mengakses informasi penting yang diperoleh dari berbagai sensor secara *real-time*, seperti suhu udara, kelembaban tanah, dan tingkat kematangan buah cabai.

Selain menampilkan data pemantauan, website juga menyediakan fitur pengendalian, baik untuk penyiraman otomatis berdasarkan parameter lingkungan maupun penyiraman manual yang dapat dioperasikan langsung oleh pengguna. Dengan adanya integrasi ini, pengguna tidak hanya dapat melihat kondisi aktual tanaman, tetapi juga dapat mengambil tindakan langsung apabila diperlukan. Oleh karena itu, pengujian dilakukan untuk menilai sejauh mana sistem website mampu menampilkan data dengan akurat, mengeksekusi perintah kendali dengan tepat, serta memberikan respons yang sesuai terhadap interaksi pengguna. Hasil pengujian ini menjadi dasar untuk mengevaluasi keandalan dan efektivitas website sebagai pusat kontrol dalam sistem budidaya cabai berbasis IoT.

1) Hasil Pengujian Pemantauan Pematangan Cabai melalui Website

Pengujian ini dilakukan untuk menguji kemampuan website dalam menyajikan informasi mengenai tingkat kematangan buah cabai berdasarkan data yang diperoleh dari sensor warna (TCS3200). Ketika sensor mendeteksi perubahan warna pada permukaan buah, sistem akan memperbarui informasi tersebut pada tampilan halaman web. Warna hijau dan kuning diidentifikasi sebagai "Belum Siap Panen", warna merah sebagai "Siap Panen". Proses pengujian dilakukan dengan menyimulasikan perubahan warna secara bertahap.

Tabel 13. Hasil Pengujian Pematangan Cabai melalui Website

NO.	STATUS WARNA	STATUS PANEN	HASIL PENGUJIAN
1	Hijau	Belum Siap Panen	
2	Kuning	Belum Siap Panen	

3	Merah	Sudah Siap Panen	
---	-------	------------------	---

Tabel 12 memperlihatkan hasil pengujian tampilan status pematangan cabai pada halaman website berdasarkan pembacaan warna oleh sensor. Warna yang terdeteksi diklasifikasikan menjadi tiga kategori, yaitu hijau, kuning, dan merah, yang masing-masing menunjukkan tingkat kematangan buah. Warna hijau dan kuning menunjukkan bahwa cabai belum siap untuk dipanen, sedangkan warna merah menandakan bahwa buah telah mencapai kematangan optimal dan siap dipanen. Informasi tersebut secara otomatis ditampilkan pada halaman website dengan keterangan yang sesuai, seperti “Belum Siap Dipanen (Hijau)”, “Belum Siap Dipanen (Kuning)”, dan “Siap Dipanen (Merah)”. Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu menampilkan status panen dengan akurat sesuai data yang dikirimkan oleh sensor, sehingga mendukung kemudahan pemantauan kematangan cabai secara *real-time* melalui website.

2) Hasil Pengujian Penyiraman Otomatis melalui Website

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa fitur penyiraman otomatis yang dikendalikan berdasarkan sensor suhu dan kelembaban tanah dapat ditampilkan secara akurat pada website. Ketika suhu lingkungan melebihi 30°C atau kadar kelembaban tanah turun di bawah 60%, sistem akan mengaktifkan pompa secara otomatis. Perubahan status ini kemudian ditampilkan pada halaman web, termasuk nilai suhu dan kelembaban terkini.

Tabel 14. Hasil Pengujian Penyiraman Otomatis melalui Website

NO.	STATUS SUHU	STATUS KELEMBABAN TANAH	STATUS POMPA	HASIL PENGUJIAN			
1	<30°C	>60%	Mati	27.06	90	Warna tidak terdeteksi jelas	mati
2	>30°C	>60%	Nyala	33.19	81	Warna tidak terdeteksi jelas	Nyala (Sudah Disiram)
3	<30°C	>60%	Mati	27.69	57	Warna tidak terdeteksi jelas	Nyala (Sudah Disiram)
4	<30°C	<60%	Nyala	27.06	90	Warna tidak terdeteksi jelas	mati

Tabel 14 menyajikan hasil pengujian sistem penyiraman otomatis berdasarkan parameter suhu dan kelembaban tanah. Pada pengujian pertama dan ketiga, suhu berada di bawah 30°C dan kelembaban tanah lebih dari 60%, sehingga sistem tidak mengaktifkan pompa karena kondisi masih tergolong normal. Pengujian kedua memperlihatkan bahwa meskipun kelembaban tanah masih tinggi, suhu melebihi 30°C, sehingga sistem mengaktifkan pompa dan menampilkan status "Nyala (Sudah Disiram)". Hal serupa terjadi pada pengujian keempat, di mana suhu masih di bawah ambang batas, namun kelembaban tanah turun di bawah 60%, sehingga penyiraman tetap dijalankan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem penyiraman otomatis telah bekerja sesuai dengan kondisi yang ditentukan dan menampilkan status pompa secara tepat pada tampilan website.

3) Hasil Pengujian Penyiraman Manual melalui Website

Pengujian ini bertujuan untuk menilai keakuratan sistem dalam menjalankan perintah penyiraman secara manual melalui antarmuka web. Pengguna dapat memberikan perintah langsung untuk menyalakan atau mematikan pompa melalui tombol kendali yang tersedia. Setelah perintah dijalankan, website akan memperbarui status pompa berdasarkan tanggapan dari sistem. Status pompa yang ditampilkan pada website sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Selain itu, setiap perubahan status juga dikirimkan dalam bentuk notifikasi melalui Telegram untuk memastikan pengguna tetap memperoleh informasi yang diperlukan.

Tabel 15. Hasil Pengujian Penyiraman Manual melalui Website

NO.	STATUS POMPA	HASIL PENGUJIAN
1	NYALA	
2	MATI	

Tabel 15 menampilkan hasil pengujian terhadap fitur penyiraman manual yang dikendalikan melalui antarmuka website. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa perintah yang diberikan oleh pengguna, baik untuk menyalakan maupun mematikan pompa, dapat diproses dengan benar oleh sistem. Saat pengguna memberikan perintah untuk menyalakan pompa, sistem memberikan respon berupa pesan "Pompa berhasil diubah ke status: on", yang menunjukkan bahwa pompa telah berhasil diaktifkan. Sebaliknya, ketika perintah untuk mematikan pompa dijalankan, sistem menampilkan pesan "Pompa berhasil diubah ke status: off", sebagai penanda bahwa pompa telah dinonaktifkan. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa mekanisme kontrol manual melalui website berjalan sesuai dengan fungsinya dan mampu memberikan konfirmasi yang jelas kepada pengguna.

4.3 Implementasi Alat

Pelaksanaan implementasi alat pada penelitian ini bertujuan untuk merealisasikan rancangan sistem yang telah dibuat guna menunjang kegiatan budidaya tanaman cabai secara lebih efisien dan terpantau. Sistem ini menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP32 sebagai pusat pengendali yang terhubung dengan berbagai sensor dan komponen kendali. Sensor yang dimanfaatkan antara lain sensor kelembaban tanah untuk mengetahui kadar air dalam media tanam, sensor suhu untuk memantau kondisi suhu lingkungan, serta sensor warna (TCS3200) untuk mengidentifikasi tingkat kematangan buah cabai berdasarkan perbedaan warna yang terdeteksi. Berdasarkan data yang diperoleh dari sensor-sensor tersebut, sistem akan menjalankan fungsi secara otomatis, seperti mengaktifkan pompa air melalui modul relay apabila kadar air di dalam tanah rendah, atau mengatur penutup paranet dengan motor servo ketika suhu lingkungan tidak berada pada kisaran yang sesuai. Selain itu, hasil pembacaan warna buah juga dapat dijadikan sebagai penentu waktu panen yang tepat. Seluruh perangkat telah diterapkan langsung pada budidaya tanaman dan diuji berdasarkan parameter lingkungan yang telah ditentukan.



Gambar 2. Proses Penyiraman Otomatis Tanaman Cabai

Gambar 2. Proses penyiraman otomatis tanaman cabai berdasarkan data sensor kelembaban tanah dan suhu DS18B20. Sistem mengaktifkan pompa melalui modul relay saat kadar air rendah atau suhu tinggi, memastikan penyiraman tepat waktu dan efisien tanpa pengawasan manual.



Gambar 3. Keadaan Tanah Setelah Disiram Pompa

Gambar 3. Kondisi tanaman cabai setelah penyiraman otomatis. Tanah tampak lembab tanpa genangan, menandakan volume air yang tepat. Sensor kelembaban terus memantau kadar air, memastikan penyiraman sesuai kebutuhan dan menghindari kekeringan atau kelebihan air.



Gambar 4. Paranet dalam Keadaan Tertutup

Gambar 4. Paranet dalam posisi tertutup secara otomatis oleh motor servo 360° berdasarkan data suhu dari sensor DS18B20. Penutupan ini mengurangi intensitas sinar matahari, menjaga suhu mikro tetap stabil, serta melindungi tanaman dari cuaca ekstrem tanpa intervensi manual.



Gambar 5. Paranet dalam Keadaan Terbuka

Gambar 5. Paranet terbuka secara otomatis saat suhu udara berada dalam kisaran optimal. Sistem menggerakkan motor servo untuk memungkinkan tanaman menerima sinar matahari yang cukup guna mendukung fotosintesis dan pertumbuhan secara efisien.



Gambar 6. Pemantauan Proses Pematangan pada Cabai

Gambar 6. Proses pemantauan kematangan cabai menggunakan sensor warna TCS3200. Sensor mengklasifikasikan warna buah dan mengirim notifikasi ke Telegram saat buah siap panen, memudahkan pemantauan tanpa inspeksi manual dan meningkatkan efisiensi panen.

4.5 Implementasi Website

Implementasi website pada sistem ini berfungsi sebagai media antarmuka yang menghubungkan pengguna dengan perangkat keras yang telah dirancang untuk pemantauan dan pengendalian penyiraman tanaman cabai. Website dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman berbasis web dan diintegrasikan dengan mikrokontroler melalui koneksi jaringan. Tujuannya adalah untuk menampilkan data yang diperoleh dari sensor secara langsung serta memberikan akses kendali terhadap sistem irigasi, baik secara otomatis maupun manual. Informasi yang ditampilkan pada website berasal dari sensor-sensor yang terpasang di lapangan, seperti sensor suhu udara, sensor kelembaban tanah, dan sensor warna (TCS3200) untuk mendeteksi tingkat kematangan cabai. Data yang dikirimkan oleh mikrokontroler melalui jaringan Wi-Fi akan diolah dan disajikan dalam bentuk informasi yang dapat diakses melalui browser. Melalui website ini, pengguna dapat melakukan pemantauan kondisi tanaman dari jarak jauh dan menjalankan fungsi kontrol pompa tanpa perlu berada di lokasi secara langsung.



Gambar 7. Dashboard Website Monitoring Tanaman Cabai

Gambar 7 menunjukkan tampilan utama antarmuka website yang menjadi bagian dari sistem pemantauan tanaman cabai berbasis Internet of Things (IoT). Halaman ini dirancang sebagai dashboard pemantauan yang menyajikan informasi secara langsung berdasarkan hasil pembacaan sensor yang telah dipasang pada tanaman.

Pada bagian atas halaman, terdapat tampilan waktu dan tanggal saat data diakses. Di bagian bawahnya, terdapat empat komponen utama yang menampilkan parameter penting dalam proses pemantauan, yaitu suhu udara, kelembaban tanah, tingkat kematangan buah cabai, dan status operasional pompa irigasi. Sensor suhu mengukur suhu lingkungan dalam satuan derajat Celsius, sedangkan sensor kelembaban tanah menampilkan nilai kelembaban dalam persen. Status kematangan cabai ditentukan berdasarkan hasil pembacaan dari sensor warna (TCS3200), yang mengklasifikasikan warna buah untuk menentukan apakah cabai telah siap dipanen. Berdasarkan data pada tampilan, buah cabai yang terdeteksi berwarna merah ditampilkan dengan status "Siap Dipanen (Merah)".

Selain menampilkan data pemantauan, halaman ini juga dilengkapi dengan fitur kontrol manual yang memungkinkan pengguna mengoperasikan pompa secara langsung melalui dua tombol perintah. Tombol "Nyalakan Pompa" berwarna hijau berfungsi untuk mengaktifkan pompa, sedangkan tombol "Matikan Pompa" berwarna merah digunakan untuk memamatkannya. Informasi terkait status pompa juga ditampilkan secara jelas dalam kotak informasi di bagian kanan atas halaman.

Secara keseluruhan, tampilan dashboard ini dirancang secara sederhana dan informatif guna memudahkan pengguna dalam memantau kondisi tanaman serta menjalankan kendali sistem penyiraman. Implementasi website ini memegang peranan penting dalam mendukung

efisiensi pemantauan dan pengambilan keputusan dalam kegiatan budidaya tanaman cabai secara digital dan terintegrasi.



Waktu	Suhu (°C)	Kelembaban (%)	Pematangan	Status Pompa
2025-06-25 00:06:47	25.5	87	Siap Dipanen (Merah)	mati
2025-06-25 00:03:46	25.5	87	Siap Dipanen (Merah)	mati
2025-06-25 00:00:46	25.5	86	Siap Dipanen (Merah)	mati

Gambar 8. Tampilan Riwayat Sensor pada Dashboard Tanaman Cabai

Gambar 8 menampilkan tampilan riwayat pembacaan sensor pada website sistem pemantauan tanaman cabai. Fitur ini berfungsi untuk merekam dan menampilkan data sensor berdasarkan tanggal yang dipilih oleh pengguna. Informasi yang ditampilkan meliputi waktu pencatatan, suhu udara dalam derajat Celsius, tingkat kelembaban tanah dalam persen, status kematangan cabai berdasarkan sensor warna (TCS3200), serta kondisi pompa irigasi pada saat pembacaan dilakukan.

Pada contoh tampilan yang ditunjukkan, data yang ditampilkan berasal dari tanggal 25 Juni 2025 dengan tiga waktu pencatatan yang berbeda. Suhu udara tercatat stabil pada 25,5°C, sedangkan kelembaban tanah berkisar antara 86% hingga 87%. Sensor warna (TCS3200) mendeteksi bahwa buah cabai telah berada dalam kondisi matang, ditandai dengan status “Siap Dipanen (Merah)”. Pada ketiga waktu pencatatan tersebut, pompa irigasi berada dalam keadaan mati karena nilai kelembaban tanah masih berada di atas ambang batas penyiraman otomatis.

Dengan adanya fitur riwayat ini, pengguna dapat memantau perkembangan kondisi lingkungan dan status tanaman dalam kurun waktu tertentu. Riwayat data tersebut juga dapat dimanfaatkan sebagai referensi untuk evaluasi sistem, dokumentasi kegiatan, serta pendukung dalam proses pengambilan keputusan yang berkaitan dengan pengelolaan budidaya tanaman cabai.

4.6 Evaluasi Akurasi Sensor Warna (TCS3200)

Pengujian dilakukan dengan mengklasifikasikan warna cabai menjadi tiga kategori: hijau (belum matang), kuning (hampir matang), dan merah (matang). Sensor kemudian diuji dengan sejumlah sampel cabai yang telah ditentukan oleh pengamatan manual sebagai referensi ground truth. Untuk menghitung akurasi, digunakan rumus berikut: $\text{Akurasi} = (\text{Jumlah prediksi benar}) / (\text{Jumlah total pebujian}) \times 100\%$ dari 20 sampel: Sensor mendeteksi dengan benar 19 dari 20 warna (1 salah klasifikasi), Maka akurasi: $19/20 \times 100\% = 95\%$

5. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem *Internet of Things* (IoT) untuk mendukung praktik smart farming pada budidaya tanaman cabai. Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan mikrokontroler NodeMCU ESP32 dengan sensor suhu DS18B20, sensor kelembaban tanah, serta sensor warna (TCS3200) dan dihubungkan ke web dashboard serta aplikasi Telegram. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi kondisi suhu dan kelembaban dengan akurasi baik, menjalankan penyiraman otomatis jika ambang batas tertentu terpenuhi, serta mengenali tingkat kematangan buah cabai berdasarkan warna dengan tingkat akurasi tinggi. Sistem ini juga menunjukkan keandalan dalam pengiriman data secara real-time serta notifikasi melalui Telegram.

Temuan penelitian ini mendukung tujuan awal, yaitu menciptakan solusi pertanian presisi berbasis IoT yang mampu meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam budidaya tanaman cabai. Sistem berhasil menyelesaikan permasalahan irigasi manual yang tidak efisien dan subjektivitas

dalam penentuan waktu panen, sekaligus memberikan keleluasaan bagi petani untuk memantau dan mengendalikan sistem dari jarak jauh melalui antarmuka web.

Kontribusi utama penelitian ini adalah pada penggabungan pemantauan suhu, kelembaban, dan kematangan buah ke dalam satu sistem terintegrasi berbasis IoT, yang dapat dikendalikan secara otomatis maupun manual. Hal ini berpotensi meningkatkan produktivitas pertanian, menghemat sumber daya air, serta memberikan kenyamanan dan efisiensi waktu bagi petani, terutama di daerah yang sulit dijangkau atau dengan lahan yang luas.

Peneliti telah berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem IoT untuk mendukung praktik smart farming pada tanaman cabai dengan fitur penyiraman otomatis, kontrol paranet, serta pemantauan tingkat kematangan buah secara real-time melalui integrasi website dan Telegram. Namun, terdapat beberapa aspek yang dapat dikembangkan lebih lanjut untuk meningkatkan kinerja dan cakupan sistem secara menyeluruh.

Pengembangan selanjutnya dapat difokuskan pada perluasan cakupan pengujian sistem dalam skala yang lebih besar dan jangka waktu yang lebih panjang untuk mengetahui keandalan sistem di berbagai kondisi lingkungan. Selain itu, sistem dapat disempurnakan dengan menambahkan sensor-sensor tambahan seperti sensor pH tanah, kelembaban udara, curah hujan, dan intensitas cahaya guna memperkaya data lingkungan yang diperoleh dan mendukung pengambilan keputusan yang lebih akurat.

Integrasi kecerdasan buatan (Artificial Intelligence) seperti machine learning atau logika fuzzy juga dapat diterapkan untuk mengoptimalkan proses penyiraman, penentuan waktu panen, serta pengaturan paranet secara adaptif berdasarkan pola data historis. Penerapan teknologi cloud dan pengembangan aplikasi mobile juga menjadi langkah strategis untuk memperluas aksesibilitas sistem bagi pengguna di berbagai lokasi.

Terakhir, penggunaan sumber energi terbarukan seperti panel surya serta penerapan sistem komunikasi alternatif seperti GSM atau LoRa dapat menjadi solusi untuk pengoperasian sistem di daerah yang tidak terjangkau jaringan Wi-Fi. Dengan pengembangan-pengembangan tersebut, diharapkan sistem yang dirancang dapat memberikan kontribusi yang lebih besar dalam mewujudkan pertanian cerdas yang efisien, adaptif, dan berkelanjutan.

Namun demikian, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan. Sistem belum diuji dalam jangka panjang pada kondisi lingkungan ekstrem atau pada lahan yang lebih luas. Selain itu, sensor warna (TCS3200) masih rentan terhadap pencahayaan luar dan bayangan. Oleh karena itu, disarankan agar penelitian selanjutnya mengembangkan versi sistem yang lebih tahan terhadap gangguan lingkungan, memperluas skala pengujian di berbagai lokasi, serta mengeksplorasi penggunaan algoritma kecerdasan buatan untuk analisis data yang lebih kompleks dan prediktif.

Daftar Pustaka

- [1] A. Ahdiat, "Konsumsi cabai per kapita masyarakat Indonesia (2019–2023)," 2024. [Online]. Available: [konsumsi-cabai-per-kapita-masyarakat-indonesia-\(2019-2023\)](#)
- [2] R. Alamsyah, E. Ryansyah, A. Y. Permana, and R. Mufidah, "Sistem penyiraman tanaman otomatis menggunakan logika fuzzy dengan teknologi Internet of Things berbasis ESP8266 dan aplikasi Blynk," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terapan*, vol. 12, no. 2, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i2.4007.
- [3] E. Alfonsius et al., "Sistem monitoring dan kontroling prototype penyiram tanaman otomatis berbasis IoT (Internet of Things)," *Teknoinfo*, vol. 18, no. 1, 2024. [Online]. Available: <https://ejournal.teknokrat.ac.id/index.php/teknoinfo/index>
- [4] Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, "Analisis kinerja perdagangan cabai merah," Sekretariat Jenderal Kementerian Pertanian, 2024.
- [5] D. Anggraini, A. Fery, and R. M. Fajri, "Penyortiran buah tomat berdasarkan tingkat kematangan menggunakan sensor warna TCS3200"
- [6] A. Ayu Aulia, L. D. Samsumar, E. Suryadi, P. Studi Teknologi Informasi, and F. Utm, "Sistem monitoring kelembaban dan otomatisasi penyiraman tanaman cabai berbasis Internet of Things (IoT)," *J. Rekayasa Sistem Informasi dan Teknologi*, vol. 2, no. 2, Nov. 2024.
- [7] N. Effendi, W. Ramadhani, and F. Farida, "Perancangan sistem penyiraman tanaman otomatis menggunakan sensor kelembapan tanah berbasis IoT," *J. CoSciTech (Computer Science and Information Technology)*, vol. 3, no. 2, pp. 91–98, 2022, doi: 10.37859/coscitech.v3i2.3923.

- [8] S. Khoirie, "Penerapan IoT (Internet of Things) pada sistem irigasi sprinkler fogger tanaman selada," Laporan Tugas Akhir, Politeknik Enjiniring Pertanian Indonesia, 2022.
- [9] K. J. Komputer, I. Teknologi, and D. Elektro, "Analisis performansi protokol MQTT pada sistem pemantauan kualitas udara ruangan berbasis IoT," vol. 8, no. 3, 2023.
- [10] N. Hidayat, D. Rusda, and D. W. Prabowo, "Analisis Pemilihan Bibit Cabai Terunggul Menggunakan Metode VIKOR dan AHP," *Jurnal Teknologi Informatika dan Komputer*, vol. 10, no. 2, pp. 534–549, 2024., n.d. [Online]. Available: <https://doi.org/10.37012/jtik.v10i2.2271>
- [11] P. Lestari and F. Antony, "Sistem penyiraman budidaya tanaman cabai berdasarkan pengukuran suhu dan kelembaban tanah,"
- [12] N. E. Lim and M. Silalahi, "Rancang bangun sistem e-administrasi berbasis CodeIgniter framework di KP2A Batam," *J. COMASIE*, vol. 8, no. 1, 2023.
- [13] Z. Lubis, "Teknologi terbaru perancangan model alat penyiram tanaman dengan pengontrolan otomatis," *J. Electr. Technol.*, vol. 6, no. 2, 2021.
- [14] E. D. Putra, "Identifikasi Kematangan Cabai Menggunakan Operasi Morfologi (Opening dan Closing) dan Metode Backpropagation," *SISTEMASI*, vol. 10, no. 1, pp. 96–105, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.32520/stmsi.v10i1.1094>
- [15] I. Marina, D. Sukmawati, and M. L. Yulianti, "Analisis variabilitas iklim dan pengaruhnya terhadap produksi cabai merah di wilayah sentra hortikultura," *Orchidagri*, vol. 5, no. 1, 2025, doi: 10.35138/orchidagri.
- [16] J. Naskah Publikasi, "Halaman pengesahan naskah publikasi tugas akhir mahasiswa prototype alat pengendali dan monitoring tanaman sebagai pengembangan smart farming berbasis Internet of Things (IoT)."
- [17] J. Pipit Nomor, S. Bandara, and S. Pinang, "Buletin Cuaca dan Iklim Stasiun Meteorologi Aji Pangeran Tumenggung Pranoto Edisi Maret 2023,"
- [18] S. Prasetyo and S. Abdullah, "Rancang bangun penyiram tanaman otomatis berbasis Internet of Things menggunakan NodeMCU dan Telegram," *J. Restikom: Riset Tek. Inform. dan Komputer*, vol. 3, no. 2, pp. 51–59, 2021. [Online]. Available: <https://restikom.nusa-putra.ac.id>
- [19] E. D. Purnama, S. Auliana, B. R. S. Permana, A. Safaatulloh, and W. Cahyadi, "Penerapan framework Laravel untuk sistem informasi raport online pada SDN Saruni 2 Pandeglang," *INFOTECH J.*, vol. 10, no. 2, pp. 239–244, 2024, doi: 10.31949/in-fotech.v10i2.10869.
- [20] L. Rahmawati and S. Sumarsono, "Desain pengembangan website dengan arsitektur Model View Controller pada framework Laravel," *J. Teknol. dan Sist. Inform. Bisnis*, vol. 6, no. 4, pp. 785–790, 2024, doi: 10.47233/jteksis.v6i4.1497.
- [21] M. Y. Ridwan, L. Nurpulaela, I. A. Bangsa, S. Karawang, J. H. Ronggo Waluyo, J. Timur, and K. Karawang, "Pengaplikasian sistem OIT pada alat penyiram tanaman otomatis berbasis Arduino Nano," n.d. [Online]. Available: www.jurnalteknik@unisla.ac.id/index.php/elektronika
- [22] M. Rizal Efendi and L. Vidya Yovita, "Analisis penanganan SQL injection pada basis data MySQL dengan framework Code Igniter dan PHP," 2016.
- [23] D. P. Romadan, V. Arinal, F. M. Sarimole, and T. Tundo, "Prototipe sistem monitoring kelembapan tanah pada tanaman cabai berbasis Internet of Things dengan metode fuzzy logic menggunakan NodeMCU ESP8266, Blynk dan Thingspeak," *MALCOM: Indonesian J. Mach. Learn. Comput. Sci.*, vol. 5, no. 1, pp. 130–140, 2024, doi: 10.57152/malcom.v5i1.1600.
- [24] W. Santoso, W. Nurjannah, M. Shudhuashar, A. T. Fadilah, M. D. Junas, and D. Handayani, "The development of Telegram Bot API to maximize the dissemination process of Islamic knowledge in 4.0 era," *J. Tek. Inform.*, vol. 15, no. 1, pp. 52–62, 2022, doi: 10.15408/jti.v15i1.24915.
- [25] N. D. A. Sayekti Harits Suryawan, N. D. Adinda, S. Erlansyah, A. Damari, and M. R. Adam, "Pengembangan website sistem peng-gajian (SIMPEG) di PDAM Batiwakkal Berau," *J. Suara Pengabdian 45*, vol. 2, no. 4, pp. 77–84, 2023, doi: 10.56444/pengabdian45.v2i4.1269.
- [26] I. Surya Ramadhan, R. Sastra, and M. Iqbal, "Alat penyiram tanaman otomatis berbasis Arduino Uno dan NodeMCU," *Sains Tek. Elektro*, vol. 4, no. 1, 2023. [Online]. Available: <http://jurnal.bsi.ac.id/index.php/insantek12>
- [27] F. Susanto, N. Komang Prasiani, and P. Darmawan, "Implementasi Internet of Things dalam kehidupan sehari-hari," *J. IMAGINE*, vol. 2, no. 1, 2022. [Online]. Available: <https://jurnal.std-bali.ac.id/index.php/imagine>
- [28] P. A. Wulandari, P. Rahima, and S. Hadi, "Rancang bangun sistem penyiraman otomatis berbasis Internet of Things pada tanaman hias sirih gading," *J. Bumigora Inf. Technol. (BITe)*, vol. 2, no. 2, pp. 77–85, 2020, doi: 10.30812/bite.v2i2.886.
- [29] Y. Maulana and D. Supardi, "Sistem pengawasan kelembapan tanah dan penyiraman tanaman otomatis berbasis IoT via Telegram," *J. CoSciTech (Computer Science and Information Technology)*, vol. 3, no. 3, pp. 464–471, 2022, doi: 10.37859/coscitech.v3i3.4429.
- [30] T. T. Y. Yudiana, T. S. Patma, and M. Fauziyah, "Implementasi sensor kelembapan tanah penyiram tanaman otomatis berbasis mikrokontroler dengan IoT," *J. Elektronika dan Otomasi Industri*, vol. 11, no. 1, pp. 1–13, 2024, doi: 10.33795/elkolind.v11i1.3025.