



RESEARCH ARTICLE

Sistem Irigasi Otomatis Berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk Tanaman Cabai Menggunakan ESP32 dengan Kendali Kelembapan dan Suhu Tanah di Desa Boja

Muhamad Arjun Naja^{1*} | Priyadi² | Candra Supriadi³

^{1*2,3} Program Studi Sistem Komputer, Fakultas Studi Akademik, Universitas Sains dan Teknologi Komputer, Kota Semarang, Jawa Tengah, Indonesia.

Correspondence

¹ Program Studi Sistem Komputer, Fakultas Studi Akademik, Universitas Sains dan Teknologi Komputer, Kota Semarang, Jawa Tengah, Indonesia.
Email: muhamadarjunnaja377@gmail.com

Funding information

Universitas Sains dan Teknologi Komputer.

Abstract

Chili pepper (*Capsicum annuum* L.) requires controlled soil moisture to support proper growth, while soil temperature can serve as a supporting environmental parameter. This study aims to design and develop an Internet of Things (IoT)-based automatic irrigation system using an ESP32 microcontroller for chili cultivation in Boja Village. The system employs a soil moisture sensor as the primary parameter to determine irrigation needs, and a DS18B20 sensor as a supporting parameter to determine irrigation duration. Sensor data are displayed on a 16×2 I2C LCD and transmitted to the Blynk application via Wi-Fi for real-time monitoring, with both automatic and manual operating modes. Functional testing was conducted using 600-gram soil samples in small pots under six combinations of soil moisture and temperature conditions, followed by connectivity and manual-control tests. Product validation used a four-point Likert questionnaire with one internal validator (the supervising lecturer) and one external validator (the user). Both validations produced a score of 37 out of 40 (92.5%). The prototype successfully performs all tested functional scenarios according to the designed control logic, while quantitative sensor accuracy, response time, and water-use efficiency still require further evaluation.

Keywords

ESP32; Internet of Things; Blynk; Automatic Irrigation.

Abstrak

Tanaman cabai (*Capsicum annuum* L.) memerlukan kelembapan tanah yang terkontrol untuk mendukung pertumbuhan yang optimal, sedangkan suhu tanah dapat berfungsi sebagai parameter lingkungan pendukung. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem irigasi otomatis berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32 untuk budidaya cabai di Desa Boja. Sistem ini menggunakan sensor kelembapan tanah sebagai parameter utama dalam menentukan kebutuhan penyiraman, serta sensor DS18B20 sebagai parameter pendukung untuk menentukan durasi penyiraman. Data sensor ditampilkan pada LCD 16×2 I2C dan dikirimkan ke aplikasi Blynk melalui Wi-Fi untuk pemantauan real-time, dengan mode operasi otomatis dan manual. Pengujian fungsional dilakukan menggunakan sampel tanah seberat 600 gram dalam pot kecil pada enam kombinasi kondisi kelembapan dan suhu tanah, yang kemudian dilanjutkan dengan uji konektivitas dan kendali manual. Validasi produk menggunakan angket skala Likert empat tingkat dengan satu validator internal (dosen pembimbing) dan satu validator eksternal (pengguna). Hasil validasi menunjukkan skor 37 dari 40 (92,5%). Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh skenario uji fungsional bekerja sesuai logika kendali yang dirancang, namun akurasi sensor secara kuantitatif, waktu respons, serta efisiensi penggunaan air masih memerlukan evaluasi lebih lanjut.

Kata Kunci

ESP32; Internet of Things; Blynk; Irigasi Otomatis.

1 | PENDAHULUAN

Tanaman cabai (*Capsicum annum* L.) merupakan salah satu komoditas hortikultura yang memiliki nilai ekonomi tinggi di Indonesia. Pertumbuhan tanaman cabai dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya ketersediaan air, kelembapan tanah, dan suhu media tanam. Kelembapan tanah yang terlalu rendah dapat menyebabkan tanaman mengalami kekurangan air, sedangkan kelembapan yang berlebihan dapat meningkatkan risiko pembusukan akar. Selain itu, suhu tanah merupakan salah satu faktor lingkungan yang dapat memengaruhi kondisi media tanam dan proses penyerapan air oleh akar. Oleh karena itu, kondisi kelembapan dan suhu tanah perlu dipantau sebagai dasar dalam menentukan kebutuhan serta pengaturan penyiraman tanaman cabai (Martani *dkk.*, 2025; Mahendra & Ihsan, 2026; Munawaroh *dkk.*, 2025). Berdasarkan hasil observasi di kebun cabai milik Bapak Miftah di Desa Boja, Kecamatan Tersono, Kabupaten Batang, proses penyiraman masih dilakukan berdasarkan pengamatan visual terhadap kondisi media tanam tanpa menggunakan pengukuran kelembapan dan suhu tanah. Kondisi tersebut menyebabkan penentuan waktu dan kebutuhan penyiraman menjadi kurang akurat karena tidak didasarkan pada data kondisi tanah yang terukur. Akibatnya, penyiraman dapat dilakukan ketika tanah sudah terlalu kering atau ketika kondisi tanah masih cukup lembap sehingga penggunaan air menjadi kurang efisien. Kondisi kelembapan media tanam yang tidak terkontrol juga dapat menyebabkan ketersediaan air bagi tanaman menjadi kurang optimal. Selain itu, pemilik kebun memiliki pekerjaan utama sebagai pekerja konstruksi sehingga tidak dapat melakukan pemantauan dan penyiraman tanaman secara rutin setiap hari; dengan demikian, diperlukan suatu sistem yang dapat membantu melakukan pemantauan dan penyiraman secara otomatis (Rumondor *dkk.*, 2025; Istiyono *dkk.*, 2026; Mahendra & Ihsan, 2026). Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) memberikan peluang untuk mengembangkan sistem irigasi yang mampu melakukan pemantauan kondisi media tanam secara real-time melalui jaringan internet. Salah satu mikrokontroler yang dapat digunakan dalam pengembangan sistem tersebut adalah ESP32 karena telah dilengkapi modul Wi-Fi dan mampu berkomunikasi dengan berbagai sensor. ESP32 juga dapat diintegrasikan dengan platform IoT seperti Blynk untuk mengirimkan data hasil pembacaan sensor dan menampilkan kondisi sistem kepada pengguna. Integrasi antara mikrokontroler, sensor, dan aplikasi IoT memungkinkan kondisi media tanam dipantau tanpa harus melakukan pengamatan langsung di lokasi. Dengan demikian, penerapan IoT pada sistem irigasi dapat menjadi salah satu solusi untuk meningkatkan kemudahan pemantauan dan pengendalian penyiraman tanaman (Espressif Systems, 2025; Mahendra & Ihsan, 2026; Rumondor *dkk.*, 2025).

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa pendekatan irigasi cerdas berbasis IoT semakin diarahkan pada pemantauan kelembapan tanah secara real-time, otomatisasi pengendalian pompa, serta integrasi platform pemantauan jarak jauh. Tinjauan Anoop & Bala (2024) membahas penggunaan IoT, sensor kelembapan tanah, teknologi komunikasi, serta komputasi awan dalam sistem irigasi otomatis. Dong *et al.* menunjukkan bahwa sensor kelembapan yang dikalibrasi dan pemantauan berbasis IoT dapat mendukung pengambilan keputusan irigasi presisi di lapangan (Dong *dkk.*, 2024). Hammouch *et al.* memetakan penelitian sistem irigasi cerdas ke dalam pendekatan pengukuran berbasis IoT, penginderaan jauh, dan kecerdasan buatan (Hammouch *dkk.*, 2024). Morchid *et al.* mengembangkan arsitektur yang mengintegrasikan perangkat IoT, cloud, dan dashboard untuk pemantauan parameter lingkungan secara real-time (Morchid *dkk.*, 2024). Jaiswal *et al.* juga menegaskan pentingnya sensor kelembapan dan suhu serta pemantauan real-time dalam pengembangan irigasi cerdas berbasis IoT (Jaiswal *dkk.*, 2025). Nilai ambang kelembapan pada penelitian ini mengacu pada Hartono *dkk.* (2024) yang menerapkan nilai 60% sebagai set point kelembapan tanah pada sistem irigasi tanaman cabai dan mengaktifkan penyiraman ketika kelembapan berada di bawah 60%. Wahjuni *dkk.* (2022) juga menunjukkan bahwa kelembapan tanah pada tanaman cabai dapat dipertahankan pada rentang 60%–80% setelah penyiraman. Berdasarkan referensi tersebut, nilai 60% ditetapkan sebagai ambang operasional prototipe untuk membedakan kondisi yang membutuhkan penyiraman dan kondisi yang tidak membutuhkan penyiraman. Nilai tersebut tidak diposisikan sebagai nilai kelembapan absolut atau batas universal untuk seluruh jenis tanah, sensor, dan kondisi budidaya, karena pembacaan sensor dipengaruhi oleh karakteristik sensor dan media tanam. Dong *et al.* menunjukkan pentingnya kalibrasi sensor kelembapan terhadap media tanah sebelum digunakan untuk rekomendasi irigasi (Dong *dkk.*, 2024). Sensor DS18B20 kemudian digunakan setelah keputusan penyiraman terpenuhi untuk menentukan durasi berdasarkan kategori suhu yang telah diprogramkan. Secara konseptual, smart agriculture memanfaatkan sensor sebagai sumber data, pengendali untuk memproses data dan membandingkannya dengan batas keputusan, serta aktuator untuk menjalankan tindakan berdasarkan hasil pengolahan tersebut. Pada sistem irigasi berbasis sensor, kelembapan tanah dapat digunakan sebagai variabel umpan balik utama, sedangkan suhu tanah dapat menjadi variabel pendukung untuk menyesuaikan keputusan pengairan. Literatur sistem irigasi cerdas menunjukkan bahwa pengambilan keputusan berbasis data sensor dan pemantauan real-time merupakan bagian penting dari arsitektur smart irrigation (Dong *dkk.*, 2024; Hammouch *dkk.*, 2024; Jaiswal *dkk.*, 2025). Dibandingkan penelitian terdahulu, terdapat perbedaan pada strategi pengendalian yang digunakan. Pamungkas *dkk.* (2025) menggunakan ESP32, sensor kelembapan tanah, dan logika fuzzy, sedangkan Roziqin *dkk.* (2025) berfokus pada penyiraman cabai otomatis berbasis ESP32 dan sensor kelembapan tanah. Ella *dkk.* (2026) menekankan monitoring kelembapan berbasis ESP32 dan IoT, sementara Istiyono *dkk.* (2026) menggunakan ambang kelembapan untuk kendali irigasi otomatis dengan dukungan Wi-Fi, Blynk, LCD, dan pompa. Aisyah

dkk. (2025) juga menggunakan ESP32, sensor kelembapan, dan Blynk untuk monitoring irigasi. Posisi penelitian ini adalah menggabungkan kelembapan tanah sebagai pemicu utama penyiraman dengan suhu tanah dari DS18B20 sebagai parameter pendukung untuk menentukan durasi pompa. Dengan demikian, perbedaan penelitian terletak pada kombinasi dua parameter tersebut dalam logika kendali prototipe, bukan pada klaim bahwa setiap komponennya merupakan teknologi baru. Sistem yang dikembangkan pada penelitian ini menggunakan sensor Soil Moisture sebagai parameter utama untuk menentukan kebutuhan penyiraman, sedangkan sensor DS18B20 digunakan sebagai parameter pendukung untuk menentukan durasi penyiraman berdasarkan suhu media tanam. Pada mode otomatis, pompa air akan aktif apabila kelembapan tanah berada di bawah 60% berdasarkan nilai ambang operasional yang mengacu pada Hartono *dkk.* (2024) dan diterapkan dalam logika kontrol prototipe. Setelah pompa aktif, durasi penyiraman ditentukan berdasarkan suhu tanah, yaitu 5 detik pada suhu di bawah 25°C, 10 detik pada suhu 25–30°C, dan 15 detik pada suhu di atas 30°C. Penggunaan suhu tanah sebagai dasar penentuan durasi dimaksudkan untuk memberikan durasi penyiraman yang berbeda sesuai kondisi suhu media tanam, dengan pertimbangan bahwa suhu yang lebih tinggi dapat meningkatkan kehilangan air melalui penguapan. Setelah durasi penyiraman selesai, pompa berhenti secara otomatis, kemudian sistem kembali melakukan pembacaan sensor pada siklus berikutnya. Data kelembapan tanah, suhu tanah, status pompa, serta durasi penyiraman ditampilkan pada LCD 16×2 I2C dan dikirimkan ke aplikasi Blynk melalui jaringan Wi-Fi (Mahendra & Ihsan, 2026; Rumondor *dkk.*, 2025; Aisyah *dkk.*, 2025).

Pada penelitian di Indonesia, beberapa studi terbaru juga menunjukkan penerapan ESP32, sensor kelembapan tanah, dan platform IoT untuk mendukung penyiraman otomatis. Pamungkas *dkk.* (2025) menerapkan ESP32 dan sensor kelembapan tanah dengan logika fuzzy untuk pengelolaan irigasi otomatis. Roziqin *dkk.* (2025) mengembangkan sistem penyiraman tanaman cabai otomatis menggunakan ESP32 dan sensor kelembapan tanah yang dilengkapi LCD dan Blynk. Ella *dkk.* (2026) mengembangkan SMARTSOIL untuk monitoring kelembapan tanah berbasis ESP32 dan IoT. Istiyono *dkk.* (2026) mengembangkan sistem monitoring pertanian dan irigasi otomatis menggunakan sensor kelembapan, Wi-Fi, Blynk, LCD 16×2, serta pompa yang dikendalikan berdasarkan ambang kelembapan. Aisyah *dkk.* (2025) juga merancang sistem irigasi cerdas berbasis ESP32, sensor kelembapan, dan Blynk untuk pengelolaan kelembapan secara real-time. Penelitian-penelitian tersebut memperkuat posisi penelitian ini, dengan perbedaan utama pada penggunaan sensor DS18B20 sebagai parameter pendukung untuk menentukan durasi penyiraman berdasarkan suhu media tanam. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji sistem irigasi otomatis berbasis IoT untuk tanaman cabai menggunakan ESP32. Sistem dirancang untuk melakukan pembacaan kelembapan dan suhu tanah secara berkala serta mengendalikan pompa berdasarkan kondisi media tanam dan durasi penyiraman yang telah ditentukan. Pengujian dilakukan menggunakan media tanah seberat 600 gram dalam pot kecil dengan variasi kondisi kelembapan dan suhu tanah untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mengaktifkan serta menghentikan pompa secara otomatis. Selain itu, data hasil pembacaan sensor dan status sistem diamati melalui LCD dan aplikasi Blynk untuk mengetahui kemampuan sistem dalam melakukan pemantauan secara real-time. Hasil penelitian diharapkan dapat membantu meningkatkan efisiensi penggunaan air serta mempermudah pemantauan dan pengelolaan penyiraman tanaman cabai (Mahendra & Ihsan, 2026; Martani *dkk.*, 2025).

2 | LANDASAN TEORI

Tanaman cabai (*Capsicum annum* L.) memerlukan pengelolaan kondisi lingkungan tumbuh, terutama ketersediaan air, kelembapan tanah, serta suhu media tanam. Kelembapan tanah yang tidak sesuai dapat menghambat penyerapan air dan unsur hara, sedangkan kelembapan berlebihan berpotensi meningkatkan risiko gangguan pada akar. Selain itu, suhu tanah memengaruhi kondisi media tanam dan proses penyerapan air oleh akar. Karena itu, pemantauan kelembapan dan suhu tanah menjadi dasar penting dalam penentuan kebutuhan penyiraman (misalnya pada sistem irigasi otomatis yang memanfaatkan sensor tanah sebagai dasar keputusan, seperti Aisyah *dkk.*, 2025 dan Mahendra & Ihsan, 2026). Perkembangan *Internet of Things* (IoT) memungkinkan sistem irigasi melakukan pemantauan secara real-time melalui jaringan internet. IoT bekerja melalui integrasi sensor, mikrokontroler sebagai pengolah data dan pengendali, serta aplikasi yang menampilkan status sistem kepada pengguna. ESP32 banyak digunakan karena mampu memproses data dan terhubung ke Wi-Fi untuk komunikasi dengan platform IoT, sebagaimana ditunjukkan pada beberapa rancangan sistem monitoring dan irigasi otomatis berbasis ESP32 dan IoT (misalnya Ella *dkk.*, 2026; Istiyono *dkk.*, 2026). Dalam pengendalian irigasi otomatis, kelembapan tanah dapat digunakan sebagai variabel utama dengan pendekatan ambang (*threshold-based control*). Pada penelitian irigasi tanaman cabai, nilai ambang kelembapan sering digunakan sebagai set point untuk menentukan kapan pompa harus aktif. Penetapan ambang kelembapan pada prototipe ini mengacu pada Hartono *dkk.* (2024) yang menerapkan 60% sebagai set point kelembapan tanah untuk mengaktifkan penyiraman. Penelitian Wahjuni *dkk.* (2022) juga menunjukkan bahwa setelah penyiraman, kelembapan tanah pada tanaman cabai dapat dipertahankan dalam rentang tertentu, sehingga pendekatan berbasis ambang relevan untuk menjaga kondisi media tanam. Untuk meningkatkan adaptivitas penyiraman, suhu tanah dapat digunakan sebagai parameter pendukung

dalam menentukan durasi pompa. Penggunaan sensor suhu sebagai penyesuaian durasi penyiraman sejalan dengan prinsip bahwa kondisi lingkungan memengaruhi efektivitas penyiraman melalui mekanisme seperti laju penguapan (arah ini selaras dengan konsep sistem irigasi cerdas yang mengintegrasikan beberapa parameter lingkungan, sebagaimana dibahas pada tinjauan smart irrigation oleh Dong *dkk.*, 2024 dan Jaiswal *dkk.*, 2025). Dengan demikian, kelembapan berperan sebagai pemicu utama penyiraman, sedangkan suhu membantu menyesuaikan lama operasi pompa agar penyiraman lebih sesuai dengan kondisi media tanam. Komponen sistem seperti LCD dan aplikasi monitoring (misalnya Blynk) digunakan untuk menampilkan data sensor serta status pompa secara real-time, sehingga pengguna dapat memantau kondisi media tanam tanpa harus berada di lokasi. Konsep integrasi pemantauan melalui antarmuka aplikasi juga umum pada sistem IoT pertanian (misalnya Rumondor *dkk.*, 2025 dan Aisyah *dkk.*, 2025). Selain mode otomatis, sistem biasanya dilengkapi kendali manual untuk memberi fleksibilitas saat dibutuhkan, sebagaimana praktik umum pada pengendalian berbasis mikrokontroler dan IoT (misalnya Istiyono *dkk.*, 2026).

3 | METODE

3.1 Jenis Penelitian

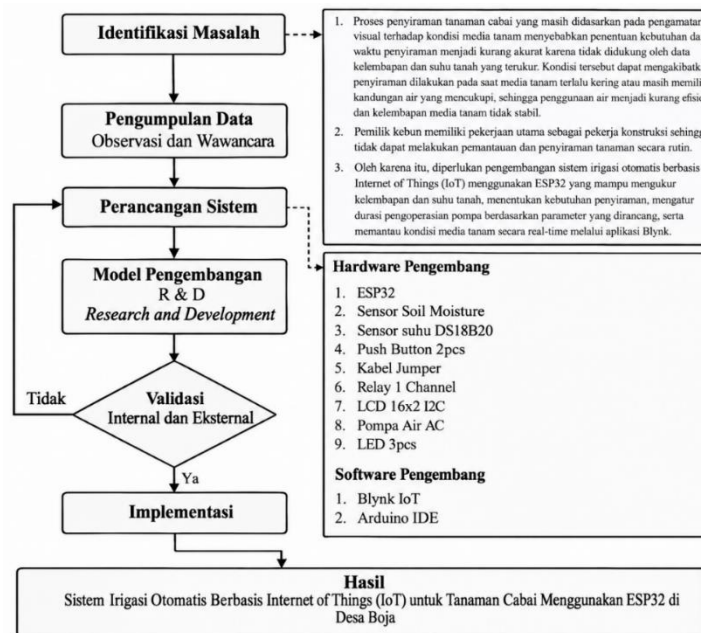
Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) yang bertujuan untuk merancang, mengembangkan, serta menguji kelayakan suatu produk. Produk yang dikembangkan berupa sistem irigasi otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk tanaman cabai menggunakan ESP32. Model pengembangan mengacu pada Borg and Gall yang disederhanakan menjadi beberapa tahapan, yaitu identifikasi masalah, analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, pengujian sistem, validasi produk, serta evaluasi hasil pengembangan. Kelayakan produk dievaluasi melalui validasi internal oleh dosen sebagai ahli dan validasi eksternal oleh pengguna untuk mengetahui tingkat kesesuaian fungsi sistem terhadap kebutuhan pengguna. Metode ini dipilih karena tidak hanya menghasilkan produk yang berfungsi, tetapi juga memastikan produk telah memenuhi aspek kelayakan sebelum diterapkan.

3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di kebun cabai milik Bapak Miftah yang berlokasi di Desa Boja RT 02 RW 02, Kecamatan Tersono, Kabupaten Batang, Jawa Tengah. Pengujian sistem dilakukan di lokasi tersebut menggunakan media tanam berupa tanah yang ditempatkan pada pot kecil sebagai sampel penelitian. Setiap pot diisi media tanam sebanyak 600 gram untuk menjaga keseragaman kondisi pengujian sehingga hasil pembacaan sensor dapat dibandingkan secara lebih objektif. Variasi volume air dan kondisi suhu tanah diberikan pada media tanam untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam menentukan durasi penyiraman otomatis berdasarkan kombinasi nilai kelembapan dan suhu tanah. Lokasi penelitian dipilih karena merupakan tempat budidaya tanaman cabai yang masih menerapkan penyiraman berdasarkan pengamatan visual sehingga sesuai dengan tujuan pengembangan sistem yang diusulkan.

3.3 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis agar proses pengembangan sistem dapat berjalan dengan baik. Penelitian diawali dengan mengidentifikasi permasalahan pada proses penyiraman tanaman cabai yang masih dilakukan berdasarkan pengamatan visual terhadap kondisi media tanam tanpa pengukuran kelembapan dan suhu tanah. Permasalahan tersebut menjadi dasar dalam menentukan kebutuhan sistem yang akan dikembangkan. Tahap berikutnya adalah melakukan pengumpulan data melalui observasi dan wawancara dengan pemilik kebun untuk memperoleh informasi mengenai kondisi penyiraman di lapangan. Selanjutnya, dilakukan analisis kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak sebagai dasar perancangan sistem irigasi otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT). Setelah proses perancangan selesai, dilakukan perakitan perangkat keras serta pengembangan perangkat lunak menggunakan Arduino IDE pada mikrokontroler ESP32. Tahap ini mencakup integrasi sensor Soil Moisture, sensor DS18B20, relay, pompa air, LCD, serta modul komunikasi dengan aplikasi Blynk. Program kemudian diunggah ke mikrokontroler untuk mengimplementasikan logika pengendalian penyiraman otomatis. Selanjutnya, sistem diuji untuk memastikan seluruh komponen dapat berfungsi sesuai dengan rancangan. Hasil pengujian digunakan untuk mengetahui apakah sistem mampu membaca data sensor, mengendalikan pompa, dan menampilkan informasi secara *real-time*. Produk yang telah dikembangkan kemudian divalidasi secara internal oleh dosen pembimbing dan secara eksternal oleh pengguna untuk menilai kelayakan sistem. Proses validasi bertujuan memperoleh masukan terhadap aspek fungsi, tampilan, dan kinerja sistem yang telah dirancang. Apabila ditemukan kekurangan, sistem akan disempurnakan berdasarkan hasil evaluasi tersebut. Tahap berikutnya adalah melakukan analisis terhadap hasil pengujian dan validasi untuk menilai tingkat keberhasilan sistem. Melalui tahapan tersebut, diharapkan diperoleh produk yang sesuai dengan tujuan penelitian dan dapat diterapkan pada proses penyiraman tanaman cabai.



Gambar 1. Diagram alur penelitian

3.4 Metode Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem irigasi otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk tanaman cabai menggunakan ESP32. Pengujian utama difokuskan pada mode otomatis dengan mengamati respons sistem terhadap perubahan nilai kelembapan tanah dan suhu tanah sebagai parameter pengendalian penyiraman. Selain itu, dilakukan pengujian terhadap konektivitas Wi-Fi dan Blynk, indikator sistem, serta fungsi push button sebagai fitur manual override. Pengujian dilakukan untuk memastikan setiap komponen dapat bekerja sesuai dengan fungsi yang telah dirancang. Hasil pengujian digunakan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam melakukan pemantauan dan pengendalian pompa secara otomatis maupun manual. Kalibrasi sensor kelembapan dalam penelitian ini belum dilakukan menggunakan instrumen pembanding seperti metode gravimetrik atau sensor referensi. Penetapan ambang 60% mengacu pada penelitian Hartono *et al.* yang menggunakan 60% sebagai set point kelembapan tanah pada sistem irigasi tanaman cabai dan melakukan penyiraman ketika kelembapan berada di bawah nilai tersebut. Penelitian Wahjuni *et al.* juga melaporkan kondisi kelembapan tanah 60%–80% setelah penyiraman pada sistem irigasi tanaman cabai. Dalam penelitian ini, nilai 60% selanjutnya digunakan sebagai batas operasional pada prototipe untuk memisahkan kondisi uji yang membutuhkan penyiraman dan kondisi yang tidak membutuhkan penyiraman. Verifikasi operasional dilakukan melalui media uji kering dan lembap, dengan media kering menghasilkan pembacaan sekitar 0%, sedangkan setelah penambahan 200 mL air pembacaan berada di atas 60%. Dengan demikian, angka 60% digunakan sebagai parameter kendali yang mengacu pada penelitian terdahulu, bukan sebagai nilai kelembapan absolut atau batas universal untuk lahan cabai. Penelitian lanjutan perlu melakukan kalibrasi terhadap kadar air acuan dan melaporkan galat pengukuran sensor.

Tabel 1. Kondisi pengujian sistem

Kondisi	Mode	Kelembapan tanah	Suhu Tanah	Pompa Air	Lampu LED	LCD	Blynk IoT	Hasil
Tanah kering	Auto/Manual	<60%	Derajat Celsius (°C)	Menyala (durasi sesuai nilai suhu tanah)	LED merah menyala	Tampil kelembapan tanah (%), suhu tanah (°C), dan durasi penyiraman	Tampil kelembapan tanah (%), suhu tanah (°C), status mode, status pompa, dan durasi penyiraman	Berhasil/Tidak
Tanah	Auto/Manual	>60%	Derajat	Mati	LED	Tampil	Tampil	Berhasil/Tidak

lembap			Celsius (°C)		merah mati	kelemba pan tanah (%), suhu tanah (°C), dan durasi penyira man	kelembap an tanah (%), suhu tanah (°C), status mode, status pompa, dan durasi penyiram an	
Suhu tanah rendah	Auto/Manual	Persen (%)	<25°C	Menyala /Mati	LED merah menyala /mati	Tampil kelemba pan tanah (%), suhu tanah (°C), dan durasi penyira man	Tampil kelembap an tanah (%), suhu tanah (°C), status mode, status pompa, dan durasi penyiram an	Berhasil/Tidak
Suhu tanah normal	Auto/Manual	Persen (%)	25°C- 30°C	Menyala /Mati	LED merah menyala /mati	Tampil kelemba pan tanah (%), suhu tanah (°C), dan durasi penyira man	Tampil kelembap an tanah (%), suhu tanah (°C), status mode, status pompa, dan durasi penyiram an	Berhasil/Tidak
Suhu tanah tinggi	Auto/Manual	Persen (%)	>30°C	Menyala /Mati	LED merah menyala /mati	Tampil kelemba pan tanah (%), suhu tanah (°C), dan durasi penyira man	Tampil kelembap an tanah (%), suhu tanah (°C), status mode, status pompa, dan durasi penyiram an	Berhasil/Tidak
Tanah kering dan suhu tanah rendah	Auto	<60%	<25°C	Menyala 5 detik	LED kuning menyala dan LED Merah menyala	Tampil kelemba pan tanah (%), suhu tanah (°C), dan durasi penyira man	Tampil kelembap an tanah (%), suhu tanah (°C), status mode, status pompa, dan durasi penyiram an	Berhasil/Tidak

Tanah kering dan suhu tanah normal	Auto	<60%	25°C-30°C	Menyala 10 detik	LED kuning menyala dan LED Merah menyala	Tampil kelembapan tanah (%), suhu tanah (°C), dan durasi penyiraman	an Tampil kelembapan tanah (%), suhu tanah (°C), status mode, status pompa, dan durasi penyiraman	Berhasil/Tidak
Tanah kering dan suhu tanah tinggi	Auto	<60%	>30°C	Menyala 15 detik	LED kuning menyala dan LED Merah menyala	Tampil kelembapan tanah (%), suhu tanah (°C), dan durasi penyiraman	Tampil kelembapan tanah (%), suhu tanah (°C), status mode, status pompa, dan durasi penyiraman	Berhasil/Tidak
Tanah lembap dan suhu tanah rendah	Auto	>60%	<25°C	Mati	LED kuning menyala dan LED Merah mati	Tampil kelembapan tanah (%), suhu tanah (°C), dan durasi penyiraman	Tampil kelembapan tanah (%), suhu tanah (°C), status mode, status pompa, dan durasi penyiraman	Berhasil/Tidak
Tanah lembap dan suhu tanah normal	Auto	>60%	25°C-30°C	Mati	LED kuning menyala dan LED Merah mati	Tampil kelembapan tanah (%), suhu tanah (°C), dan durasi penyiraman	Tampil kelembapan tanah (%), suhu tanah (°C), status mode, status pompa, dan durasi penyiraman	Berhasil/Tidak
Tanah lembap dan suhu tanah tinggi	Auto	>60%	>30°C	Mati	LED kuning menyala dan LED Merah mati	Tampil kelembapan tanah (%), suhu tanah (°C), dan durasi	Tampil kelembapan tanah (%), suhu tanah (°C), status mode, status pompa,	Berhasil/Tidak

Sistem terkoneksi internet	Auto/Manual	Persen (%)	Derajat Celsius (°C)	Menyala /Mati	LED hijau menyala	penyiraman Tampil kelembapan tanah (%), suhu tanah (°C), dan durasi penyiraman	dan durasi penyiraman Tampil kelembapan tanah (%), suhu tanah (°C), status mode, status pompa, dan durasi penyiraman	Berhasil/Tidak
Sistem tidak terkoneksi internet	Auto/Manual	Persen (%)	Derajat Celsius (°C)	Menyala /Mati	LED hijau mati	Tampil kelembapan tanah (%), suhu tanah (°C), dan durasi penyiraman	Tampil kelembapan tanah (%), suhu tanah (°C), status mode, status pompa, dan durasi penyiraman	Berhasil/Tidak
Button mode ditekan selama 1 detik	Switch dari auto ke manual maupun sebaliknya	Persen (%)	Derajat Celsius (°C)	Menyala /Mati	LED kuning menyala /mati	Tampil kelembapan tanah (%), suhu tanah (°C), dan durasi penyiraman	Tampil kelembapan tanah (%), suhu tanah (°C), status mode, status pompa, dan durasi penyiraman	Berhasil/Tidak
Button pump ditekan selama 1 detik	Manual	Persen (%)	Derajat Celsius (°C)	Menyala /Mati	LED merah menyala /mati	Tampil kelembapan tanah (%), suhu tanah (°C), dan durasi penyiraman	Tampil kelembapan tanah (%), suhu tanah (°C), status mode, status pompa, dan durasi penyiraman	Berhasil/Tidak
Tombol mode pada aplikasi Blynk ditekan	Switch dari auto ke manual maupun sebaliknya	Persen (%)	Derajat Celsius (°C)	Menyala /Mati	LED kuning menyala /mati	Tampil kelembapan tanah (%), suhu tanah	Tampil kelembapan tanah (%), suhu tanah (°C), status mode,	Berhasil/Tidak

						(°C), dan durasi penyiraman	status pompa, dan durasi penyiraman	
Tombol pompa air pada aplikasi Blynk ditekan	Manual	Persen (%)	Derajat Celsius (°C)	Menyala /Mati	LED merah menyala /mati	Tampil kelembapan tanah (%), suhu tanah (°C), dan durasi penyiraman	Tampil kelembapan tanah (%), suhu tanah (°C), status mode, status pompa, dan durasi penyiraman	Berhasil/Tidak

Pengujian sistem dilakukan menggunakan media tanah dalam pot dengan berat 600 gram. Kondisi tanah lembap diperoleh dengan menambahkan air sebanyak 200 mL ke dalam media tanah, sedangkan kondisi tanah kering digunakan sebagai kondisi awal untuk menguji respons penyiraman otomatis. Pengujian suhu tanah dilakukan dengan memberikan perlakuan berupa penambahan 100 mL air dingin untuk menghasilkan suhu tanah rendah, yaitu kurang dari 25°C, dan penambahan 100 mL air hangat untuk menghasilkan suhu tanah tinggi, yaitu lebih dari 30°C. Kondisi suhu normal pada rentang 25°C–30°C diperoleh dari media tanah tanpa perlakuan khusus terhadap suhu. Setiap kondisi pengujian diamati melalui pembacaan sensor, status pompa, indikator LED, LCD, dan aplikasi Blynk. Pada kondisi kelembapan tanah di bawah 60%, sistem mode otomatis akan menentukan bahwa penyiraman diperlukan dan ESP32 mengaktifkan relay untuk menyalakan pompa air. Setelah pompa aktif, sensor DS18B20 digunakan untuk menentukan durasi penyiraman berdasarkan suhu tanah yang terukur. Durasi penyiraman ditetapkan selama 5 detik apabila suhu tanah kurang dari 25°C, 10 detik apabila suhu berada pada rentang 25°C–30°C, dan 15 detik apabila suhu tanah lebih dari 30°C. Setelah durasi yang telah ditentukan selesai, ESP32 mematikan relay sehingga pompa berhenti secara otomatis. Selama proses tersebut, LED merah menyala sebagai indikator pompa aktif, sedangkan nilai kelembapan, suhu, dan durasi penyiraman ditampilkan pada LCD 16×2 I2C serta dikirimkan ke aplikasi Blynk. Sebaliknya, pada kondisi kelembapan tanah mencapai atau melebihi 60%, pompa tidak diaktifkan pada mode otomatis karena kondisi media tanam belum memenuhi kriteria untuk dilakukan penyiraman. Kondisi tanah lembap dapat diperoleh melalui penambahan air sebanyak 200 mL sesuai perlakuan pengujian yang telah ditentukan. Pada kondisi tersebut, LED merah berada dalam keadaan mati sebagai indikator bahwa pompa tidak bekerja. Meskipun pompa tidak aktif, sistem tetap melakukan pembacaan sensor secara berkala untuk memantau perubahan kondisi media tanam. Data hasil pembacaan tetap ditampilkan pada LCD 16×2 I2C dan dikirimkan ke aplikasi Blynk sehingga proses pemantauan dapat berlangsung secara real-time.

Pengujian variasi suhu tanah dilakukan pada tiga kondisi, yaitu suhu rendah kurang dari 25°C, suhu normal 25°C–30°C, dan suhu tinggi lebih dari 30°C. Setiap variasi suhu diuji pada kondisi kelembapan tanah di bawah 60% agar sensor DS18B20 dapat berperan dalam menentukan durasi penyiraman. Pada suhu kurang dari 25°C, sistem memberikan durasi penyiraman selama 5 detik. Pada suhu 25°C–30°C, sistem memberikan durasi penyiraman selama 10 detik, sedangkan pada suhu lebih dari 30°C sistem memberikan durasi penyiraman selama 15 detik. Variasi durasi tersebut merupakan logika kontrol yang dirancang dalam penelitian dengan mempertimbangkan bahwa peningkatan suhu dapat meningkatkan laju penguapan air dari media tanam. Pengujian indikator sistem dilakukan untuk memastikan setiap LED memberikan informasi sesuai dengan kondisi sistem. LED hijau digunakan sebagai indikator koneksi Wi-Fi dan Blynk, yaitu menyala ketika ESP32 berhasil terhubung dan mati ketika koneksi terputus. LED kuning digunakan sebagai indikator mode operasi dan menyala ketika sistem berada pada mode otomatis. LED merah digunakan sebagai indikator status pompa, yaitu menyala ketika pompa aktif dan mati ketika pompa tidak bekerja. Hasil pengujian indikator dibandingkan dengan kondisi aktual sistem untuk memastikan informasi yang diberikan kepada pengguna sesuai dengan keadaan perangkat. Pengujian fungsi push button dilakukan untuk memastikan fitur manual override dapat digunakan sesuai dengan rancangan. Tombol Mode ditekan selama 1 detik untuk mengubah mode operasi dari otomatis ke manual maupun sebaliknya. Ketika sistem berada pada mode manual, tombol Pump ditekan selama 1 detik untuk mengaktifkan atau menonaktifkan pompa tanpa mengikuti keputusan penyiraman berdasarkan sensor. Selain menggunakan push button, pengguna dapat mengubah mode operasi dan mengendalikan pompa melalui aplikasi Blynk. Pengujian ini dilakukan sebagai pengujian fungsi tambahan, sedangkan pengendalian berdasarkan kelembapan dan suhu pada mode otomatis menjadi fokus utama pengujian sistem.

3.5 Validasi Produk dan Teknik Analisis Data

Produk yang dikembangkan divalidasi melalui dua tahapan, yaitu validasi internal dan validasi eksternal. Validasi internal dilakukan oleh dosen pembimbing untuk menilai aspek desain sistem, fungsi perangkat keras, perangkat lunak, serta kesesuaian sistem dengan tujuan penelitian. Validasi eksternal dilakukan oleh pengguna untuk menilai aspek kemudahan penggunaan, tampilan sistem, dan kinerja sistem secara keseluruhan. Proses validasi bertujuan untuk memperoleh penilaian dan masukan terhadap produk yang telah dikembangkan sebelum digunakan dalam pengujian. Hasil validasi selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk mengetahui kelayakan sistem serta melakukan perbaikan apabila masih terdapat kekurangan. Instrumen validasi menggunakan angket dengan skala Likert empat tingkat, yaitu skor 1 untuk kategori Belum/Kurang, skor 2 untuk kategori Antara Ya dan Tidak, skor 3 untuk kategori Cukup Baik, dan skor 4 untuk kategori Baik/Sesuai. Setiap indikator pada instrumen diberikan skor sesuai dengan penilaian validator terhadap aspek yang dinilai. Data yang diperoleh dari angket kemudian dianalisis menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif. Nilai rata-rata setiap aspek penilaian dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\mu = \frac{\sum x}{n}$$

Keterangan:

μ = Rata-rata
 $\sum x$ = Jumlah skor total
 n = Jumlah indikator yang dinilai

Nilai rata-rata yang diperoleh kemudian dikonversikan ke dalam kategori kelayakan untuk menentukan tingkat validitas sistem yang telah dikembangkan. Kategori kelayakan digunakan sebagai acuan dalam menentukan apakah sistem telah memenuhi kriteria yang ditetapkan. Untuk pengujian fungsional, analisis dilakukan secara deskriptif dengan menghitung jumlah skenario yang berhasil dibandingkan dengan seluruh skenario yang diuji, kemudian memeriksa kesesuaian keluaran terhadap logika kontrol, kelembapan di bawah 60% harus mengaktifkan pompa pada mode otomatis, kelembapan mencapai atau melebihi 60% harus mempertahankan pompa mati, dan ketika pompa aktif, kategori suhu harus menghasilkan durasi yang telah diprogram. Analisis juga mencakup keberhasilan koneksi, tampilan LCD/Blynk, dan fungsi kendali manual. Akurasi sensor, nilai kesalahan pembacaan, waktu respons, serta konsumsi air dibandingkan metode manual tidak dihitung karena penelitian ini tidak menggunakan alat referensi, pencatatan waktu respons yang terukur, atau pengukuran volume air kumulatif sebagai data pembanding. Keterbatasan tersebut dicatat sebagai ruang pengembangan penelitian berikutnya.

Tabel 2. Indikator Penilaian

Skor	Nilai
$1 \leq n \leq 10$	Tidak Baik
$11 \leq n \leq 20$	Cukup
$21 \leq n \leq 30$	Baik
$31 \leq n \leq 40$	Sangat Baik

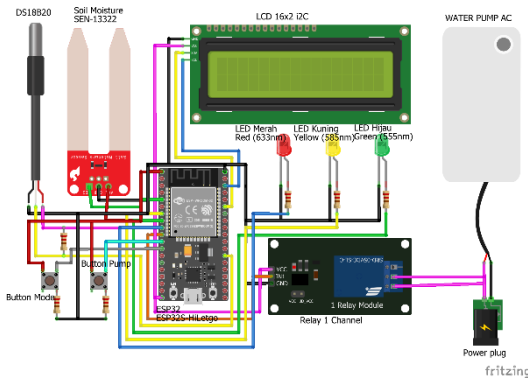
4 | HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian terdiri atas mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali, sensor Soil Moisture, sensor suhu DS18B20, modul relay 1 channel, pompa air AC, LCD 16×2 I2C, tiga buah LED indikator, dua push button, serta catu daya. ESP32 berfungsi sebagai pengolah data sensor dan pengendali komponen keluaran berdasarkan logika sistem yang telah dirancang. Sensor Soil Moisture digunakan untuk mengukur kelembapan tanah sebagai parameter utama dalam menentukan kebutuhan penyiraman. Sensor DS18B20 digunakan untuk mengukur suhu media tanam sebagai parameter pendukung dalam menentukan durasi penyiraman. Relay 1 channel berfungsi sebagai penghubung antara ESP32 dengan pompa air AC sehingga pompa dapat dikendalikan secara otomatis maupun manual. Sensor Soil Moisture dihubungkan ke pin analog ESP32 untuk menghasilkan nilai kelembapan tanah yang digunakan dalam menentukan kondisi penyiraman. Apabila nilai kelembapan tanah berada di bawah 60%, ESP32 akan memberikan perintah kepada relay untuk mengaktifkan pompa pada mode otomatis. Sensor DS18B20 menggunakan komunikasi One-Wire untuk mengukur suhu media tanam yang selanjutnya digunakan untuk menentukan durasi penyiraman. Durasi penyiraman ditetapkan selama 5 detik pada suhu tanah kurang dari 25°C, 10 detik pada suhu 25°C–30°C, dan 15 detik pada suhu lebih dari 30°C. Dengan demikian, kelembapan tanah berperan sebagai parameter utama untuk menentukan

apakah penyiraman diperlukan, sedangkan suhu tanah berperan sebagai parameter pendukung untuk menentukan lama pompa beroperasi. LCD 16×2 I2C digunakan untuk menampilkan informasi hasil pembacaan kelembapan tanah, suhu tanah, dan durasi penyiraman sehingga kondisi sistem dapat diketahui secara langsung. Sistem juga dilengkapi tiga buah LED indikator untuk memberikan informasi mengenai status operasional sistem kepada pengguna. LED hijau digunakan sebagai indikator koneksi Wi-Fi, LED kuning sebagai indikator bahwa sistem berada pada mode otomatis, dan LED merah sebagai indikator bahwa pompa sedang aktif. Dua buah push button digunakan sebagai pengendali manual override, yaitu untuk mengubah mode operasi antara otomatis dan manual serta mengendalikan pompa ketika sistem berada pada mode manual. Selain melalui push button, pengendalian pada mode manual juga dapat dilakukan melalui aplikasi Blynk sesuai fungsi yang telah diprogramkan pada ESP32.



Gambar 2. Rangkaian alat



Gambar 3. Hasil alat setelah dirangkai

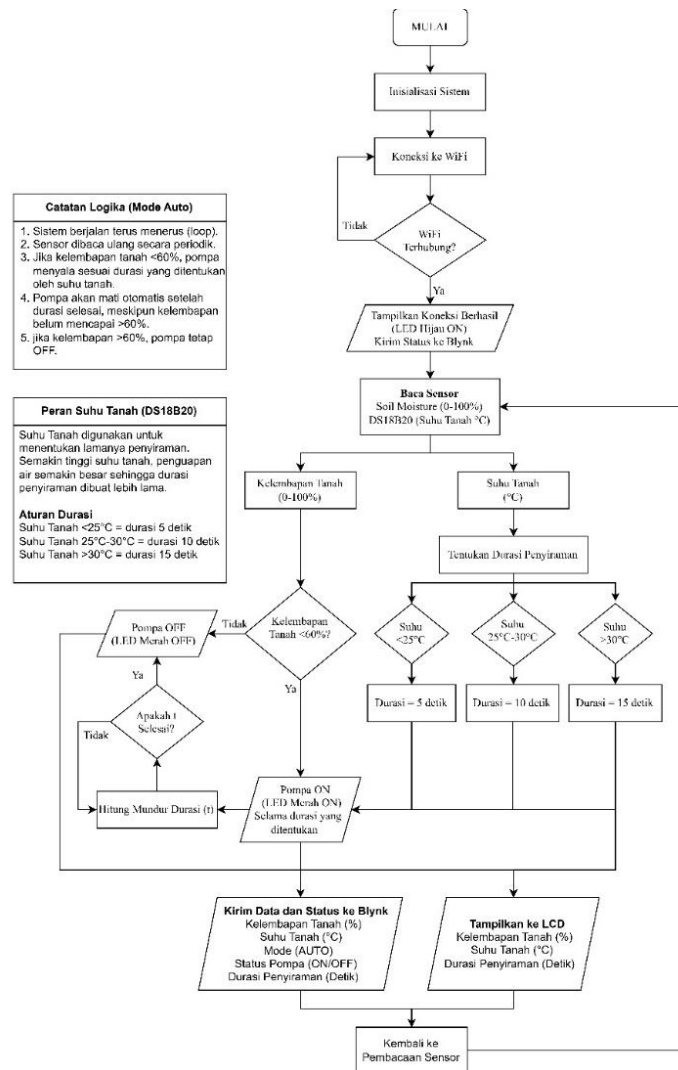
4.1.2 Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak sistem dikembangkan menggunakan Arduino IDE dengan bahasa pemrograman C++. Program memanfaatkan beberapa pustaka (*library*), yaitu WiFi, BlynkSimpleEsp32, OneWire, DallasTemperature, dan LiquidCrystal_I2C untuk mendukung komunikasi dan pengoperasian antara ESP32, sensor, LCD, serta aplikasi Blynk. Library WiFi digunakan untuk menghubungkan ESP32 dengan jaringan internet, sedangkan BlynkSimpleEsp32 digunakan untuk komunikasi antara ESP32 dan aplikasi Blynk. Library OneWire dan DallasTemperature digunakan untuk membaca data suhu dari sensor DS18B20. Sementara itu, library LiquidCrystal_I2C digunakan untuk mengendalikan LCD 16×2 I2C sebagai media tampilan informasi sistem. Program diawali dengan proses inisialisasi pin, sensor, LCD, relay, LED indikator, dan push button yang digunakan pada sistem. Setelah proses inisialisasi selesai, ESP32 mencoba menghubungkan perangkat ke jaringan Wi-Fi dan server Blynk. Apabila koneksi berhasil, sistem mulai melakukan pembacaan data kelembapan tanah dari sensor Soil Moisture dan suhu media tanam dari sensor DS18B20 secara berkala. Data hasil pembacaan kemudian diproses oleh ESP32 untuk menentukan kondisi penyiraman dan durasi pengoperasian pompa. Selanjutnya, nilai kelembapan tanah, suhu tanah, status pompa, dan durasi penyiraman ditampilkan pada LCD 16×2 I2C serta dikirimkan ke aplikasi Blynk untuk mendukung pemantauan kondisi sistem secara real-time.

Pada mode otomatis, program terlebih dahulu memeriksa nilai kelembapan tanah sebagai parameter utama dalam menentukan kebutuhan penyiraman. Apabila kelembapan tanah berada di bawah 60%, ESP32 akan mengaktifkan relay untuk menyalakan pompa air, sedangkan apabila kelembapan tanah mencapai atau melebihi 60%, pompa tetap dalam kondisi mati. Setelah pompa diaktifkan, program menentukan durasi penyiraman berdasarkan suhu media tanam yang dibaca oleh sensor DS18B20, yaitu 5 detik pada suhu di bawah 25°C, 10 detik pada suhu 25°C–30°C, dan 15 detik pada suhu di atas 30°C. Setelah durasi penyiraman selesai, ESP32 mematikan relay sehingga pompa berhenti secara otomatis. Sistem kemudian kembali melakukan pembacaan kelembapan dan suhu tanah pada siklus berikutnya sehingga proses pemantauan dan pengendalian berlangsung secara berulang selama sistem beroperasi. Selain mode otomatis, program juga menyediakan fitur manual *override* yang memungkinkan pengguna mengambil alih pengendalian pompa ketika diperlukan. Perubahan mode operasi dapat dilakukan menggunakan push button yang tersedia pada perangkat. Ketika berada pada mode manual, pengguna dapat mengendalikan pompa secara langsung menggunakan push button maupun melalui aplikasi Blynk. Pada mode manual, pengaktifan pompa tidak mengikuti keputusan otomatis berdasarkan batas kelembapan dan durasi penyiraman berdasarkan suhu. Fitur tersebut berfungsi sebagai pengendalian tambahan, sedangkan logika penyiraman otomatis menjadi mekanisme utama yang digunakan dalam proses pengujian sistem.



Gambar 3. Tampilan Blynk IoT



Gambar 5. Flowchart sistem

4.1.3 Hasil Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem irigasi otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk tanaman cabai menggunakan ESP32. Pengujian dilakukan pada berbagai kondisi kelembapan tanah dan suhu tanah untuk mengetahui kesesuaian kerja sistem terhadap parameter pengendalian yang telah ditentukan. Selain itu, pengujian dilakukan untuk mengetahui fungsi koneksi internet, indikator LED, push button, LCD 16×2 I2C, serta aplikasi Blynk. Pengujian fungsi kendali juga mencakup pengoperasian sistem dalam mode otomatis dan mode manual. Dengan demikian, pengujian bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak dapat bekerja sesuai dengan rancangan sistem.

Tabel 3. Hasil pengujian sistem

Kondisi	Mode	Kelembapan tanah	Suhu Tanah	Pompa Air	Lampu LED	LCD	Blynk IoT	Hasil
Tanah kering dan suhu tanah rendah	Auto	0%	20°C	Menyala 5 detik	LED kuning menyala dan LED Merah menyala	Tampil kelembapan tanah (0%), suhu tanah (20°C), dan durasi penyiraman 5 detik	Tampil kelembapan tanah (0%), suhu tanah (20°C), status mode Auto, status pompa ON, dan durasi penyiraman 5 detik	Berhasil
Tanah kering dan suhu tanah normal	Auto	0%	27°C	Menyala 10 detik	LED kuning menyala dan LED Merah menyala	Tampil kelembapan tanah (0%), suhu tanah (27°C), dan durasi penyiraman 10 detik	Tampil kelembapan tanah (0%), suhu tanah (27°C), status mode Auto, status pompa ON, dan durasi penyiraman 10 detik	Berhasil
Tanah kering dan suhu tanah tinggi	Auto	0%	31°C	Menyala 15 detik	LED kuning menyala dan LED Merah menyala	Tampil kelembapan tanah (0%), suhu tanah (31°C), dan durasi penyiraman 15 detik	Tampil kelembapan tanah (0%), suhu tanah (31°C), status mode Auto, status pompa ON, dan durasi penyiraman 15 detik	Berhasil
Tanah lembap dan suhu tanah rendah	Auto	85%	18°C	Mati	LED kuning menyala dan LED Merah mati	Tampil kelembapan tanah (85%), suhu tanah	Tampil kelembapan tanah (85%), suhu	Berhasil

						(18°C), dan durasi penyiraman 5 detik	tanah (18°C), status mode Auto, status pompa OFF, dan durasi penyiraman 5 detik	
Tanah lembap dan suhu tanah normal	Auto	82%	27°C	Mati	LED kuning menyala dan LED Merah mati	Tampil kelembapan tanah (82%), suhu tanah (27°C), dan durasi penyiraman 10 detik	Tampil kelembapan tanah (82%), suhu tanah (27°C), status mode Auto, status pompa OFF, dan durasi penyiraman 10 detik	Berhasil
Tanah lembap dan suhu tanah tinggi	Auto	84%	47°C	Mati	LED kuning menyala dan LED Merah mati	Tampil kelembapan tanah (84%), suhu tanah (47°C), dan durasi penyiraman 15 detik	Tampil kelembapan tanah (84%), suhu tanah (47°C), status mode Auto, status pompa OFF, dan durasi penyiraman 15 detik	Berhasil
Sistem terkoneksi internet	Auto/Manual	Persen (%)	Derajat Celsius (°C)	Menyala/Mati	LED hijau menyala	Tampil kelembapan tanah (%), suhu tanah (°C), dan durasi penyiraman	Tampil kelembapan tanah (%), suhu tanah (°C), status mode, status pompa, dan durasi penyiraman	Berhasil

Sistem tidak terkoneksi internet	Auto/Manual	Persen (%)	Derajat Celsius (°C)	Menyala/Mati	LED hijau mati	Tampil kelembapan tanah (%), suhu tanah (°C), dan durasi penyiraman	Tampil kelembapan tanah (%), suhu tanah (°C), status mode, status pompa, dan durasi penyiraman	Berhasil
Button mode ditekan selama 1 detik	Switch dari auto ke manual maupun sebaliknya	Persen (%)	Derajat Celsius (°C)	Menyala/Mati	LED kuning menyala/mati	Tampil kelembapan tanah (%), suhu tanah (°C), dan durasi penyiraman	Tampil kelembapan tanah (%), suhu tanah (°C), status mode, status pompa, dan durasi penyiraman	Berhasil
Button pump ditekan selama 1 detik	Manual	Persen (%)	Derajat Celsius (°C)	Menyala/Mati	LED merah menyala/mati	Tampil kelembapan tanah (%), suhu tanah (°C), dan durasi penyiraman	Tampil kelembapan tanah (%), suhu tanah (°C), status mode, status pompa, dan durasi penyiraman	Berhasil
Tombol mode pada aplikasi Blynk ditekan	Switch dari auto ke manual maupun sebaliknya	Persen (%)	Derajat Celsius (°C)	Menyala/Mati	LED kuning menyala/mati	Tampil kelembapan tanah (%), suhu tanah (°C), dan durasi penyiraman	Tampil kelembapan tanah (%), suhu tanah (°C), status mode, status pompa, dan durasi penyiraman	Berhasil
Tombol	Manual	Persen (%)	Derajat	Menyala/M	LED merah	Tampil	Tampil	Berhasil

pompa air pada aplikasi Blynk ditekan	Celsius (°C)	ati	menyala/m ati	kelembapa n tanah (%), suhu tanah (°C), dan durasi penyirama n	kelembap an tanah (%), suhu tanah (°C), status mode, status pompa, dan durasi penyiram an
---	-----------------	-----	------------------	--	---

Pengujian sistem menggunakan media tanah dalam pot dengan berat 600 gram. Kondisi tanah kering diperoleh tanpa penambahan air sehingga nilai kelembapan tanah yang terbaca oleh sensor Soil Moisture berada pada kisaran 0%. Kondisi tanah lembap diperoleh dengan menambahkan air sebanyak 200 mL ke dalam media tanam sehingga nilai kelembapan tanah meningkat hingga lebih dari 60%. Pengujian suhu tanah dilakukan dengan memberikan perlakuan berupa penambahan 100 mL air dingin untuk menghasilkan suhu tanah rendah, yaitu kurang dari 25°C. Sementara itu, suhu tanah tinggi diperoleh melalui penambahan 100 mL air hangat dengan suhu tanah lebih dari 30°C, sedangkan suhu tanah normal berada pada rentang 25–30°C tanpa perlakuan khusus. Pada pengujian kondisi tanah kering dengan suhu tanah rendah, media tanah tanpa penambahan air menghasilkan nilai kelembapan tanah sebesar 0%. Selanjutnya, media tanah diberikan perlakuan berupa penambahan 100 mL air dingin sehingga suhu tanah yang terbaca oleh sensor DS18B20 sebesar 20°C. Karena nilai kelembapan tanah berada di bawah ambang batas 60%, sistem mengaktifkan pompa air selama 5 detik sesuai dengan parameter suhu tanah rendah. LED kuning menyala sebagai indikator mode otomatis, sedangkan LED merah menyala sebagai indikator bahwa pompa air sedang aktif. Nilai kelembapan tanah, suhu tanah, dan durasi penyiraman berhasil ditampilkan pada LCD 16×2 I2C dan aplikasi Blynk secara real-time. Pada pengujian kondisi tanah kering dengan suhu tanah normal, nilai suhu tanah yang terbaca oleh sensor DS18B20 adalah 27°C, sedangkan nilai kelembapan tanah berada pada kisaran 0%. Karena kelembapan tanah berada di bawah ambang batas 60%, sistem mengaktifkan pompa air selama 10 detik. Durasi penyiraman tersebut sesuai dengan parameter suhu tanah normal yang telah ditentukan dalam program. Informasi mengenai kelembapan tanah, suhu tanah, status pompa air, mode operasi, dan durasi penyiraman berhasil ditampilkan pada LCD 16×2 I2C dan aplikasi Blynk. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menentukan durasi penyiraman berdasarkan kategori suhu tanah yang terbaca.

Pada pengujian kondisi tanah kering dengan suhu tanah tinggi, media tanah diberikan perlakuan berupa penambahan 100 mL air hangat sehingga suhu tanah meningkat menjadi 31°C. Nilai kelembapan tanah yang terbaca oleh sensor Soil Moisture tetap berada pada kisaran 0%, sehingga kondisi media tanam masih dikategorikan membutuhkan penyiraman. Sistem kemudian mengaktifkan pompa air selama 15 detik sesuai dengan parameter suhu tanah tinggi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa durasi penyiraman dapat disesuaikan berdasarkan peningkatan suhu tanah ketika nilai kelembapan tanah berada di bawah ambang batas. Seluruh data sensor, status pompa air, mode operasi, dan durasi penyiraman berhasil ditampilkan pada LCD 16×2 I2C dan aplikasi Blynk secara real-time. Pengujian berikutnya dilakukan pada kondisi tanah lembap dengan suhu tanah rendah. Kondisi tanah lembap diperoleh dengan menambahkan air sebanyak 200 mL sehingga nilai kelembapan tanah meningkat menjadi 85%. Setelah itu, media tanah diberikan perlakuan berupa penambahan 100 mL air dingin sehingga suhu tanah yang terbaca oleh sensor DS18B20 menjadi 18°C. Meskipun suhu tanah berada pada kategori rendah, pompa air tidak diaktifkan karena nilai kelembapan tanah telah melebihi ambang batas 60%. LED kuning tetap menyala sebagai indikator mode otomatis, sedangkan LED merah mati sebagai indikator bahwa pompa air tidak sedang bekerja. Pada kondisi tanah lembap dengan suhu tanah normal, nilai kelembapan tanah yang terbaca oleh sensor Soil Moisture adalah 82%, sedangkan suhu tanah yang terbaca oleh sensor DS18B20 sebesar 27°C. Karena nilai kelembapan tanah berada di atas ambang batas 60%, sistem tidak mengaktifkan pompa air. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kandungan air pada media tanam masih mencukupi berdasarkan parameter kelembapan yang telah ditentukan. Informasi mengenai kelembapan tanah, suhu tanah, mode otomatis, status pompa air, dan durasi penyiraman berhasil ditampilkan pada LCD 16×2 I2C dan aplikasi Blynk. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan kondisi pompa air tetap mati meskipun suhu tanah berada pada kategori normal. Pada pengujian kondisi tanah lembap dengan suhu tanah tinggi, media tanah yang sebelumnya telah diberikan 200 mL air diberikan perlakuan tambahan berupa 100 mL air hangat. Perlakuan tersebut menghasilkan suhu tanah sebesar 47°C dan nilai kelembapan tanah sebesar 84%. Meskipun suhu tanah berada pada kategori tinggi, sistem tidak mengaktifkan pompa air karena nilai kelembapan tanah telah melebihi

ambang batas 60%. Hasil ini menunjukkan bahwa sensor Soil Moisture berfungsi sebagai parameter utama dalam menentukan kebutuhan penyiraman, sedangkan sensor DS18B20 berfungsi sebagai parameter pendukung dalam menentukan durasi penyiraman. Dengan demikian, suhu tanah hanya digunakan untuk menentukan durasi penyiraman apabila nilai kelembapan tanah berada di bawah ambang batas yang telah ditentukan. Selain pengujian sistem irigasi otomatis, dilakukan pengujian terhadap koneksi internet dan aplikasi Blynk. Ketika ESP32 berhasil terhubung ke jaringan Wi-Fi dan aplikasi Blynk, LED hijau menyala sebagai indikator bahwa koneksi internet telah berhasil terbentuk. Pada kondisi tersebut, data kelembapan tanah, suhu tanah, status pompa air, mode operasi, dan durasi penyiraman berhasil dikirimkan serta ditampilkan pada aplikasi Blynk secara real-time. Ketika koneksi internet terputus, LED hijau mati sebagai indikator bahwa sistem tidak terhubung ke jaringan internet. Meskipun koneksi internet terputus, LCD 16×2 I2C tetap dapat menampilkan hasil pembacaan sensor sehingga kondisi sistem masih dapat dipantau secara lokal. Pengujian yang dilakukan belum menghasilkan data akurasi pembacaan sensor, *mean absolute error* (MAE), *root mean square error* (RMSE), waktu respons dari perubahan kondisi sensor hingga pompa aktif, maupun volume air yang digunakan. Oleh karena itu, hasil penelitian ini belum dapat digunakan untuk menyatakan besarnya error sensor, kecepatan respons dalam satuan waktu, atau persentase penghematan air dibandingkan penyiraman manual. Hasil yang dapat disimpulkan dari data yang tersedia adalah keberhasilan fungsi sistem dalam mengikuti aturan pengendalian yang telah diprogramkan. Hasil pengujian fungsional pada Tabel 3 mencakup 12 skenario, yaitu enam kombinasi kelembapan dan suhu, pengujian koneksi internet, pengujian kondisi tanpa koneksi internet, dua fungsi push button, serta dua fungsi kendali melalui Blynk. Seluruh 12 skenario menghasilkan status “Berhasil”, sehingga tingkat keberhasilan fungsional berdasarkan skenario yang diuji adalah 12/12 atau 100%. Nilai ini menunjukkan kesesuaian keluaran sistem dengan kondisi dan logika kontrol yang dirancang, tetapi tidak dapat diinterpretasikan sebagai akurasi sensor 100% karena tidak terdapat nilai acuan atau alat pembanding untuk mengukur kesalahan sensor.

Pengujian fungsi push button dilakukan untuk mengetahui keberhasilan kendali lokal pada sistem. Push button Mode ditekan selama 1 detik untuk mengubah mode operasi dari otomatis ke manual atau dari manual ke otomatis. Perubahan mode operasi ditunjukkan melalui perubahan kondisi LED kuning serta pembaruan informasi mode pada LCD 16×2 I2C dan aplikasi Blynk. Push button Pump digunakan untuk mengaktifkan atau menonaktifkan pompa air ketika sistem berada dalam mode manual. Hasil pengujian menunjukkan bahwa fungsi kedua push button dapat berjalan sesuai dengan rancangan dan perubahan status sistem dapat ditampilkan pada LCD serta aplikasi Blynk. Pengujian kendali melalui aplikasi Blynk dilakukan untuk mengetahui keberhasilan pengoperasian sistem menggunakan smartphone. Tombol Mode pada aplikasi Blynk berhasil digunakan untuk mengubah mode operasi dari otomatis ke manual maupun dari manual ke otomatis. Selain itu, tombol Pompa Air pada aplikasi Blynk berhasil digunakan untuk mengaktifkan dan menonaktifkan pompa air ketika sistem berada dalam mode manual. Perubahan mode operasi dan status pompa air dapat dipantau melalui aplikasi Blynk dan ditampilkan pada LCD 16×2 I2C. Hasil pengujian menunjukkan bahwa aplikasi Blynk dapat digunakan sebagai media pemantauan dan kendali sistem sesuai dengan fungsi yang telah dirancang. Berdasarkan seluruh hasil pengujian, sistem irigasi otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk tanaman cabai menggunakan ESP32 telah bekerja sesuai dengan rancangan yang ditetapkan. Sensor Soil Moisture berhasil digunakan sebagai parameter utama untuk menentukan kebutuhan penyiraman berdasarkan ambang batas kelembapan tanah sebesar 60%. Sensor DS18B20 berhasil digunakan sebagai parameter pendukung untuk menentukan durasi penyiraman, yaitu 5 detik pada suhu kurang dari 25°C, 10 detik pada suhu 25–30°C, dan 15 detik pada suhu lebih dari 30°C. Komponen sistem yang meliputi sensor, pompa air, relay, LCD 16×2 I2C, indikator LED, koneksi Wi-Fi, aplikasi Blynk, dan push button dapat berfungsi sesuai dengan skenario pengujian. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan mampu melakukan penyiraman otomatis, menyediakan pemantauan secara real-time, serta mendukung kendali manual melalui push button dan aplikasi Blynk.

4.1.4 Hasil Validasi Internal

Validasi internal dilakukan oleh dosen pembimbing untuk menilai kesesuaian sistem dengan tujuan penelitian, desain perangkat keras, desain perangkat lunak, dan kinerja sistem secara keseluruhan. Aspek yang dinilai meliputi kesesuaian rancangan sistem, integrasi perangkat keras dan perangkat lunak, fungsi sensor Soil Moisture dan DS18B20, logika penyiraman otomatis, serta tampilan informasi pada LCD 16×2 I2C dan aplikasi Blynk IoT. Selain itu, penilaian mencakup kemudahan pengoperasian sistem dan kesesuaian fungsi setiap komponen dengan kebutuhan penelitian. Hasil validasi menunjukkan bahwa sistem memperoleh total skor sebesar 37 dari skor maksimum 40. Berdasarkan hasil tersebut, diperoleh nilai rata-rata sebesar 3,70 dengan persentase kelayakan sebesar 92,5%. Hasil validasi menunjukkan bahwa sistem berada pada kategori sangat baik dan layak digunakan sebagai prototipe sistem irigasi otomatis berbasis IoT untuk tanaman cabai menggunakan ESP32. Sensor Soil Moisture dinilai mampu berfungsi sebagai parameter utama dalam menentukan kebutuhan penyiraman, sedangkan sensor DS18B20 telah terintegrasi sebagai parameter pendukung dalam menentukan durasi penyiraman. Komunikasi data antara ESP32, LCD 16×2 I2C, dan aplikasi Blynk IoT juga dinilai telah berjalan sesuai

dengan rancangan sehingga kondisi media tanam dapat dipantau secara real-time. Beberapa indikator memperoleh skor 3, yang menunjukkan bahwa masih terdapat aspek yang perlu disempurnakan, khususnya pada antarmuka pengguna dan kemudahan pengoperasian sistem. Hasil penilaian tersebut dapat digunakan sebagai dasar untuk melakukan penyempurnaan sistem pada pengembangan atau penelitian selanjutnya.

4.1.5 Hasil Validasi Eksternal

Validasi eksternal dilakukan oleh pengguna untuk mengetahui tingkat penerimaan dan kemudahan penggunaan sistem secara langsung dalam proses penyiraman tanaman cabai. Aspek yang dinilai meliputi kemudahan penggunaan alat, kesesuaian fungsi sistem, kemudahan pemantauan melalui aplikasi Blynk IoT, serta kinerja sistem dalam melakukan penyiraman otomatis berdasarkan kondisi media tanam. Hasil validasi menunjukkan bahwa sistem memperoleh total skor sebesar 37 dari skor maksimum 40. Berdasarkan hasil tersebut, diperoleh nilai rata-rata sebesar 3,70 dengan persentase kelayakan sebesar 92,5%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sistem memperoleh kategori sangat baik berdasarkan hasil penilaian pengguna. Hasil penilaian menunjukkan bahwa sistem mampu membantu proses penyiraman tanaman cabai secara otomatis berdasarkan nilai kelembapan tanah, sedangkan suhu tanah digunakan sebagai parameter pendukung untuk menentukan durasi penyiraman. Pengguna juga menilai bahwa fitur pemantauan melalui aplikasi Blynk IoT memudahkan pengamatan terhadap nilai kelembapan tanah, suhu tanah, status pompa air, dan mode operasi secara real-time. Selain itu, pengoperasian sistem melalui push button dan aplikasi Blynk IoT dinilai mudah dipahami dan digunakan. Hasil penilaian tersebut menunjukkan bahwa fungsi sistem telah sesuai dengan kebutuhan pengguna dalam membantu proses penyiraman tanaman cabai. Dengan demikian, sistem dinilai layak digunakan sebagai prototipe irigasi otomatis berbasis IoT dan dapat dikembangkan lebih lanjut untuk mendukung budidaya tanaman cabai skala kecil.

4.2 Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor Soil Moisture dapat digunakan sebagai parameter utama dalam keputusan penyiraman, sedangkan sensor DS18B20 berfungsi sebagai parameter pendukung untuk memilih durasi pompa. Pola ini sejalan dengan penelitian Anoop dan Bala (2024), Dong *et al.* (2024), serta Jaiswal *et al.* (2025) yang menempatkan sensor tanah sebagai sumber data utama bagi keputusan irigasi dan menggunakan pengendalian berbasis ambang atau model keputusan. Namun, berbeda dari penelitian yang menggunakan fuzzy atau pendekatan prediktif, sistem pada penelitian ini menggunakan aturan ambang yang sederhana agar mudah diterapkan pada prototipe skala kecil (Pamungkas *et al.*, 2025). Kesederhanaan tersebut memudahkan implementasi, tetapi keputusan penyiraman belum mempertimbangkan variabel lain seperti curah hujan, kelembapan udara, radiasi matahari, jenis tanah, fase pertumbuhan tanaman, dan evapotranspirasi. Dibandingkan penelitian Roziqin *et al.* (2025) yang juga mengembangkan penyiraman tanaman cabai menggunakan ESP32 dan sensor kelembapan tanah, penelitian ini menambahkan suhu media tanam sebagai parameter pendukung untuk menentukan durasi penyiraman. Sementara itu, kesamaan dengan penelitian Ella *et al.* (2026) dan Aisyah *et al.* (2025) terdapat pada pemanfaatan ESP32 dan IoT untuk monitoring kondisi tanah. Dengan demikian, kontribusi penelitian ini lebih tepat diposisikan sebagai rancangan integrasi dan logika kendali untuk prototipe, bukan sebagai pengembangan sensor atau algoritma baru. Penelitian memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, pengujian dilakukan pada media tanah dalam pot kecil dengan berat 600 gram sehingga belum merepresentasikan heterogenitas lahan budidaya nyata. Kedua, jumlah pengulangan independen tidak didokumentasikan sehingga belum tersedia analisis statistik mengenai kestabilan hasil. Ketiga, kalibrasi sensor belum dibandingkan dengan metode acuan sehingga akurasi dan error pembacaan belum dapat dihitung. Keempat, waktu respons sistem dan volume air kumulatif belum diukur sehingga belum dapat disimpulkan besarnya penghematan air. Kelima, pengujian belum dilakukan dalam periode panjang untuk mengamati pengaruh sistem terhadap pertumbuhan dan produktivitas tanaman cabai. Keterbatasan ini perlu diperhatikan sebelum sistem diterapkan pada skala lahan yang lebih besar.

5 | KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, pengujian, dan validasi, penelitian ini berhasil mengembangkan prototipe sistem irigasi otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan ESP32 untuk tanaman cabai. Sensor Soil Moisture digunakan sebagai parameter utama keputusan penyiraman, sedangkan DS18B20 digunakan sebagai parameter pendukung untuk menentukan durasi pompa. Pada 12 skenario fungsional yang diuji, seluruh skenario berjalan sesuai dengan logika sistem yang dirancang, termasuk pemantauan melalui LCD dan Blynk serta kendali manual. Nilai ambang 60% berfungsi sebagai batas operasional prototipe pada media uji, bukan sebagai nilai kelembapan universal. Validasi internal oleh satu dosen pembimbing dan validasi eksternal oleh satu pengguna masing-masing memperoleh skor 37 dari 40 atau 92,5% berdasarkan instrumen Likert empat

tingkat. Hasil tersebut mendukung kelayakan prototipe dari sisi fungsi dan penggunaan, tetapi belum membuktikan akurasi sensor atau efisiensi penggunaan air secara kuantitatif. Pengembangan berikutnya disarankan mencakup kalibrasi Soil Moisture menggunakan metode atau alat referensi, pengulangan pengujian dengan jumlah yang terukur, perhitungan MAE/RMSE dan waktu respons, pengukuran volume air serta perbandingan dengan penyiraman manual, dan pengujian jangka panjang pada lahan budidaya nyata. Sistem juga dapat dikembangkan dengan menambahkan parameter lingkungan lain, seperti kelembapan udara, curah hujan, atau intensitas cahaya, agar keputusan irigasi dapat mempertimbangkan kondisi budidaya yang lebih beragam.

REFERENSI

- Aisyah, N., Ulhaq, E. D., Dharmawan, A., & Purbakawaca, R. (2025). Design of an IoT-based smart irrigation system using soil moisture sensors for water efficiency. *Journal Online of Physics*, 11(1). <https://doi.org/10.22437/jop.v11i1.48928>.
- Anoop, A. E. G., & Bala, G. J. (2024). IoT and ML-based automatic irrigation system for smart agriculture system. *Agronomy Journal*, 116(3), 1187–1203. <https://doi.org/10.1002/agj2.21344>.
- Borg, W. R., & Gall, M. D. (1983). *Educational research: An introduction* (4th ed.). Longman.
- Dong, Y., Werling, B., Cao, Z., & Li, G. (2024). Implementation of an in-field IoT system for precision irrigation management. *Frontiers in Water*, 6, Article 1353597. <https://doi.org/10.3389/frwa.2024.1353597>.
- Elmanda, T., Rizal, A., & Purwadi, H. (2026). Monitoring soil moisture in chili plants on a household scale based on the Internet of Things (IoT) using NodeMCU ESP2866 and soil moisture. *Journal of Engineering, Electrical and Informatics*, 6(1), 9–16. <https://doi.org/10.55606/jeei.v6i1.6678>.
- Espressif Systems. (2025). *ESP32 series datasheet* (Datasheet Version 5.2).
- Hammouch, H., El-Yacoubi, M., Qin, H., & Berbia, H. (2024). A systematic review and meta-analysis of intelligent irrigation systems. *IEEE Access*, 12, 128285–128304. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3421322>.
- Hartono, Y. R., Setiawan, A. B., & Permatasari, D. C. (2024). Drip irrigation system for chili plants using sensor arrays to detect soil moisture. *ENERGY: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*, 14(1), 18–28. <https://doi.org/10.51747/energy.v14i1.p18-28>.
- Istiyono, Y. P., Rokhmanila, S., & Rozak, O. A. (2026). Smart agricultural monitoring and automated irrigation system using Internet of Things (IoT) technology. *Jurnal Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*, 18(1), 175–189. <https://doi.org/10.5614/joki.2026.18.1.14>.
- Jaiswal, N., Vijay Kumar, T., & Shukla, C. (2025). Smart drip irrigation systems using IoT: A review of architectures, machine learning models, and emerging trends. *Discover Agriculture*, 3, Article 253. <https://doi.org/10.1007/s44279-025-00430-1>.
- Mahendra, T., & Ihsan, M. (2026). IoT-based soil moisture monitoring and automatic watering system. *Jurnal Teknologi dan Open Source*, 9(1), 28–36. <https://doi.org/10.36378/jtos.v9i1.5300>.
- Martani, A., Perdana, A. L., & Anugrah, M. (2025). Prototype alat monitoring dan kontrol penyiraman tanaman cabai berbasis Internet of Things (IoT) dan Android. *Journal of System and Computer Engineering*, 6(1), 72–82. <https://doi.org/10.61628/jsce.v6i1.1601>.
- Morchid, A., Jebabra, R., Khalid, H. M., El Alami, R., Qjidaa, H., & Jamil, M. O. (2024). IoT-based smart irrigation management system to enhance agricultural water security using embedded systems, telemetry data, and cloud computing. *Results in Engineering*, 23, Article 102829. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102829>.
- Munawaroh, M., Maulindar, J., & Erlinawati, M. (2025). Implementation of IoT-based soil moisture monitoring system for chili plants. *Journal of Artificial Intelligence and Software Engineering*, 5(3), 1023–1036. <https://doi.org/10.30811/jaise.v5i3.7243>.

- O. D. M. Ella, W., Biabdillah, F., Wajiansyah, A., & Mulia, A. (2026). SMARTSOIL: Sistem monitoring kelembaban tanah berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan ESP32 dan sensor soil moisture. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 14(1), 820–827. <https://doi.org/10.23960/jitet.v14i1.8788>.
- Pamungkas, R., Ullah, A., Faizal, A., & Zarory, H. (2025). Sistem penyiraman pintar dan monitoring tanaman sawi otomatis berbasis ESP 32 dan sensor kelembapan tanah menggunakan metode fuzzy Mamdani. *Jurnal Al-Azhar Indonesia Seri Sains dan Teknologi*, 10(2), 143–152. <https://doi.org/10.36722/sst.v10i2.3687>.
- Roziqin, M., Kabes, A. F., & Haq, S. Z. N. (2025). Rancang bangun penyiraman tanaman cabe otomatis menggunakan ESP32 dan sensor kelembapan tanah. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 13(3S1). <https://doi.org/10.23960/jitet.v13i3S1.7966>.
- Rumondor, C., Mananohas, M. L., Arundaa, R., & Alfonsius, E. (2025). Implementation of IoT-based chili plant watering system prototype with BLYNK control. *Jurnal Informatika dan Rekayasa Perangkat Lunak*, 6(3), 312–323. <https://doi.org/10.33365/jatika.v6i3.483>.
- Sugiyono. (2019). *Metode penelitian dan pengembangan (Research and Development/R&D)*. Alfabeta.
- Wahjuni, S., Wulandari, W., & Kholili, M. (2022). Development of fuzzy-based smart drip irrigation system for chili cultivation. *JUITA: Jurnal Informatika*, 10(1), 115–125. <https://doi.org/10.30595/juita.v10i1.12998>.

How to cite this article: Naja, M. A., Priyadi, P., & Supriadi, C. (2026). Sistem Irigasi Otomatis Berbasis Internet of Things (IoT) untuk Tanaman Cabai Menggunakan ESP32 dengan Kendali Kelembapan dan Suhu Tanah di Desa Boja. *Jurnal Manajemen Sistem Informasi (JMASIF)*, 5(2), 105–124. <https://doi.org/10.59431/jmasif.v5i2.1040>.